

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIEROS ELECTRÓNICOS**

**TEMA:
ANALISIS DE LA RELACIÓN SEÑAL A RUIDO EN ESCENARIOS DE HANDOVER A DIFERENTES
VELOCIDADES PARA CELDAS CONJUNTAS EN ONDA MILIMÉTRICA**

**AUTORES:
CRESPO RUIZ CHRISTIAN ANDREY
MAFLA PRADO LEONARDO JOSÉ**


**TUTOR:
AUCATOMA GUAMÁN LENIN WLADIMIR**

Quito, Enero del 2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

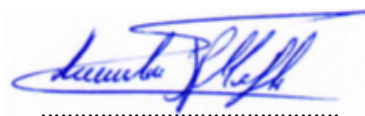
Nosotros, Christian Andrey Crespo Ruiz, con documento de identificación N°1725787749 y Leonardo José Mafla Prado, con documento de identificación N°1724613235, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: ANÁLISIS DE LA RELACIÓN SEÑAL A RUIDO EN ESCENARIOS DE HANDOVER A DIFERENTES VELOCIDADES PARA CELDAS CONJUNTAS EN ONDA MILIMÉTRICA, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Electrónicos, 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 nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Nombre: Christian Andrey Crespo Ruiz

Cédula: 1725787749



Nombre: Leonardo José Mafla Prado

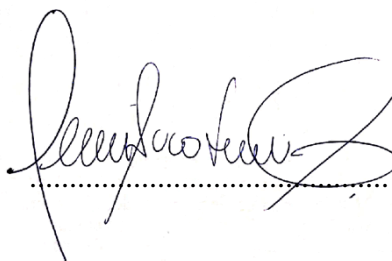
Cédula: 1724613235

Quito, Enero 2021

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico, ANÁLISIS DE LA RELACIÓN SEÑAL A RUIDO EN ESCENARIOS DE HANDOVER A DIFERENTES VELOCIDADES PARA CELDAS CONJUNTAS EN ONDA MILIMÉTRICA, realizado por Christian Andrey Crespo Ruiz y Leonardo José Mafla Prado, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Enero 2021

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Aucatoma Guamán Lenin Vladimir', written over a horizontal dotted line.

AUCATOMA GUAMÁN LENIN WLADIMIR

Cédula de Identidad: 1717985830

DEDICATORIAS

Este trabajo es dedicado a mis padres Guido Crespo y Marlene Ruiz, por el esfuerzo realizado a lo largo de toda mi vida estudiantil, dándome las guías para convertirme en un hombre responsable y comprometido con el estudio.

A mi hermana Michelle Crespo por estar ahí apoyándome y aconsejándome sobre las experiencias universitarias.

A mi amigo Leo, con el que pasamos varias experiencias no solo en clases si no también fuera de las aulas.

Christian Andrey Crespo Ruiz

Este trabajo es dedicado de manera especial a mis padres Ernesto Mafla y María Prado quienes me apoyaron desde mis inicios en los estudios, en la vida y han sido un pilar fundamental durante todo mi desarrollo académico. Las personas más importantes que me guiaron en el crecimiento como ser humano y me ayudan cada día a seguir con mis sueños. Una grata forma de poder agradecerles por todo lo que han hecho por mí, es este trabajo y llenándolos de orgullo.

A ti Karly por el amor, por ser parte de mi vida, por estar en mis días buenos y más aún en los malos, y a pesar de eso seguir a mi lado apoyándome para crecer y ser mejor cada día.

A mi amigo y colaborador de este trabajo de Titulación, Christian, por los conocimientos compartidos durante mi vida estudiantil.

Leonardo José Mafla Prado

AGRADECIMIENTOS

A Dios por todo lo que me ha brindado a lo largo de mi vida, por ser la persona que soy en cualquier momento ya sea de fortaleza o debilidad, a mis padres Guido Crespo y Marlene Ruiz por brindarme su apoyo en cada momento, guiándome con esfuerzo para convertirme en la persona que soy hoy en día, a mi hermana Michelle por enseñarme que en la vida hay que dejar las preocupaciones de lado y tomarse un tiempo para respirar y relajarse, a mis amigos que entre risas y reuniones compartimos momentos que se quedaron grabados en el corazón.

Christian Andrey Crespo Ruiz

Quiero agradecer a Dios por la dicha de haberme permitido consumir una etapa más de mi vida, a mis padres Ernesto Mafla y María Prado de todo corazón gracias por apoyarme siempre y ser esa motivación día a día para seguir adelante y ser mejor cada día, a cada uno de mis compañeros, amigos, mi novia Karly y personas que me apoyaron en cada momento de mi etapa como estudiante dentro y fuera de las aulas. A cada uno de los docentes de la Universidad Politécnica Salesiana que me inculcaron el gusto a esta hermosa profesión, por brindar su conocimiento tanto académico, como personal para ser un excelente profesional.

Leonardo José Mafla Prado

Agradecemos al Ingeniero Lenin Aucatoma MSc. Quien es el tutor de este artículo académico, quien confió y nos brindó su apoyo y conocimiento, en la formación académica y en el proceso de titulación.

Análisis de la relación señal a ruido en escenarios de handover a diferentes velocidades para celdas conjuntas en onda milimétrica

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

Crespo Ruiz Christian
Andrey
Ing. Electrónica, Universidad
Politécnica Salesiana
UPS
Quito, Ecuador
ccrespor0@est.ups.edu.ec

Mafla Prado Leonardo José
Ing. Electrónica, Universidad
Politécnica Salesiana
UPS
Quito, Ecuador
lmaflap@est.ups.edu.ec

Resumen— En el presente artículo académico, a través del software de simulación ICS Telecom, se experimenta y estima los parámetros de handover en una misma ruta a diferentes velocidades, todo este procedimiento se realiza en la banda n260, la misma que es utilizada en coberturas 5G o de onda milimétrica, esta es una banda definida para comunicaciones de ondas milimétricas dadas en redes de 5G en el rango de 28GHz. La zona de estudio elegida es las Orquídeas y San Miguel de Amagás; analizando edificaciones, conjuntos y colonias que son características del sector urbano de la ciudad de Quito. Es importante conocer que existen factores influyentes al implementar la cobertura, tales como son: (a) El modelo de propagación; (b) Diámetro de la celda; (c) Tipo de señal; (d) Ancho de banda, potencia y ganancia de la antena. A partir del análisis de la relación señal a ruido en una misma ruta y a diferentes velocidades entre celdas conjuntas, se procede a la medición de la potencia o intensidad de la señal óptimos para un traspaso eficiente, en el presente documento se detalla que a 120Km/h se tarda 1.58us en enlazar de extremo a extremo la zona de cobertura.

Abstract— In this academic article, by means of the ICS Telecom simulation software, the handover parameters are experienced and estimated on the same route at different speeds, all this procedure is carried out in the n260 band, the same one used in 5G or millimeter wave, this is a defined band for millimeter wave communications given in 5G networks in the 28GHz range. The chosen study area is Orquídeas and San Miguel de Amagás; analyzing buildings, complexes and neighborhoods that are characteristic of the urban sector of the city of Quito. It is important to know that there are influencing factors when implementing coverage, such as: (a) The propagation model; (b) Diameter of the cell; (c) Type of signal; (d) Antenna bandwidth, power and gain. From the analysis of the signal-to-noise ratio in the same route and at different speeds between joint cells, we proceed to measure the power or intensity of the optimal signal for efficient handover, in this document it is detailed that at 120Km / h it takes 1.58us to link the coverage area end-to-end.

Keywords: *handover,threshold,microcell,celdas* .

I. INTRODUCCIÓN .

La expansión de mecanismos electrónicos por cliente ha dado paso a la evolución y perfección de redes móviles, las mismas que ofertan una buena rentabilidad en las redes inalámbricas. La evolucionada tecnología en onda milimétrica mejora la modulabilidad, viabilidad, asequibilidad y rentabilidad energética. Un proceso muy importante dentro de las redes móviles es el denominado traspaso o handover (HO), el cual consta de los saltos entre celdas para realizar la comunicación de un punto a otro [1]. La puesta en práctica de esta evolucionada tecnología limita la latencia a 1 ms y eleva el potencial de red. Aprovecha el espectro de onda milimétrica (mmW, millimeter wave) ampliando el ancho de banda y la velocidad de datos [2].

Existen eventos disparadores que se debe considerar para seleccionar un eficiente HO los cuales son: (a) La cobertura de la celda en servicio supera el límite; (b) La cobertura de la celda seleccionada desciende debajo de un límite; (c) La cobertura de la celda vecina excede la cobertura de la celda seleccionada más una compensación; (d) La cobertura de la celda vecina excede un límite; (e) La cobertura de la celda en seleccionada desciende debajo de un límite 1 y la cobertura de la celda vecina excede un límite. Son tomadas en cuenta ondas milimétricas a aquellas que forman parte de la banda de frecuencia EHF, entre 20 y 300GHz, a una longitud de onda dada en el rango de entre 1 cm y 1 mm. [3]. Al usar elevadas frecuencias para la cobertura inalámbrica, el tamaño de las celdas es muy pequeño llegando a tener microceldas y hasta femtoceldas, de este modo para poder cubrir un área geográfica determinada se necesitará un mayor número de celdas.

Con ondas milimétricas también se disminuye casi a cero el retardo entre los mecanismos electrónicos y servidores con los que están conectados, sin interrupciones, necesitará viajar en

ondas milimétricas que tienen velocidades elevadas y un más amplio ancho de banda. Con esto se conlleva a instalar millones de microantenas encima de cada poste de luz, edificios, sus alrededores y al interior de cada domicilio Para el uso de microceldas se tiene diferentes rangos como son: (a) Para exterior en el rango de entre 0.05 y 1 Km; (b) Para la urbe y colonias densas en el rango de 0.05 y 0.5 Km; (c) Para uso de picoceldas ubicadas en el interior de los hogares se tiene un rango de 50 m [4]. Aquí también se tiene que considerar que existen parámetros que influyen directamente la cobertura como son los niveles de tráfico, esto ocasionado por el incremento de usuarios o dispositivos que harán que las bandas de frecuencia se desborden, para esto se toma en cuenta una banda de guarda que evitará interferencias o incluso pérdidas de llamadas [5].

Con énfasis al futuro de redes inalámbricas se propone eficiencia en traslado, entrega, latencia y velocidad en cada ruta guiada ya que los enlaces establecidos para onda milimétrica (mmW) están en el rango de los 200 metros que depende de la intensidad de campo y la técnica de acceso al medio con la que se propague. Un efecto positivo es que la interferencia se reduce considerablemente por lo que mayormente las redes mmW serán ruido en lugar de imitación de interferencias, esto tiene un efecto significativo en la cobertura celular, lo que indica que el rendimiento alcanzable de las redes mmW depende en gran medida de la asociación del usuario, es decir, el proceso de asociación de un usuario con un servicio en particular de la estación base (BS, base station), por ello es importante tomar en cuenta los valores de los diferentes parámetros de la relación señal-ruido (SNR, signal to noise ratio) [6]. Con esto se evitaría el efecto ping pong, en el cual el equipo de usuario (UE, user equipment) cambia innecesariamente de BS. Al elevar el número de HO, aumentará el retardo promedio, se tiene una pérdida aleatoria de paquetes y está dada por el régimen transmisión y los mecanismos correctores de errores. Con esto se deduce que si la señal es menor que el umbral definido se tendrá la pérdida de paquetes. Según el estudio de impactos de HO [7], se analiza la probabilidad de pérdidas de paquetes (Ppl, probability of packet loss) a velocidades de 30, 60 y 120 Km/h en un evento donde la cobertura de la microcelda adjunta rebasa la cobertura de la celda usada más una compensación, obteniendo una alta Ppl de aproximadamente el 50% en 120 Km/h, este caso no se obtiene a una velocidad de 30 Km/h ya se tiene una Ppl de un 9% aproximadamente [7].

Al tener un mayor número de celdas existe un mayor efecto de HO, ya que, para comunicarse de un punto a otro existirán más saltos entre celdas

provocando a su vez una mayor latencia en la comunicación, además los dispositivos móviles al desplazarse a diversas velocidades provocan un efecto considerable en la relación señal a ruido, la cual determinará el buen funcionamiento de las comunicaciones inalámbricas. Con ello se compara el impacto en las relaciones señal a ruido durante el handover en una ruta definida con diferentes velocidades de movimiento en banda de onda milimétrica y también se revisa el estado del arte de bandas de onda milimétrica, tecnología 5G y handover en celdas de cobertura, para determinación de las características esenciales de los sistemas inalámbricos.

II. PLANTEAMIENTO DEL ESCENARIO Y DISEÑO

La zona urbe de las Orquídeas y San Miguel de Amangasí ha sido seleccionada para la cobertura debido a sus características estructurales tanto edificios, como también conjuntos o colonias y a la afluencia de clientes que conforman el lugar, siendo específicos en la Av. De los Nogales y Av. Galo Plaza Lasso, en estas avenidas constan edificios y viviendas cuyo promedio de altura es de entre 3 a 5 pisos, es decir que tendrían aproximadamente 15 metros, siendo esta una altura promedio, el área aparente es de 3,33 kilómetros cuadrados con un perímetro de 7,88 kilómetros aproximadamente, debido a que es una zona urbana y residencial, la velocidad máxima que puede alcanzar el móvil es de 40 Km/h.



Figura 1. Área de cobertura establecida en Google Earth [8].

Una forma de intensificar la capacidad y cobertura del sistema, se impartió la zona en grupos de celdas conjuntas para que las mismas adyacentes reciclen las frecuencias, haciendo uso del factor 1/7, es decir, formar un grupo de celdas idénticas donde están repartidas todos los canales disponibles, este constará de 7 celdas y 21 frecuencias, cada celda consta de 3 frecuencias, para ello se consta de un número de estaciones situadas de forma central de cada celda como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Distribución y ubicación de las estaciones base.

ESTACIÓN	LONGITUD	LATITUD
Estación 1	78° 28' 10.0'' W	0° 08' 02.2'' S
Estación 2	78° 27' 58.3'' W	0° 08' 02.2'' S
Estación 3	78° 28' 15.8'' W	0° 08' 10.0'' S
Estación 4	78° 28' 04.2'' W	0° 08' 10.0'' S
Estación 5	78° 27' 52.5'' W	0° 08' 10.0'' S
Estación 6	78° 28' 10.0'' W	0° 08' 19.8'' S
Estación 7	78° 27' 58.3'' W	0° 08' 19.8'' S
Estación 8	78° 27' 52.5'' W	0° 08' 27.6'' S
Estación 9	78° 27' 40.9'' W	0° 08' 27.6'' S
Estación 10	78° 27' 58.3'' W	0° 08' 37.4'' S
Estación 11	78° 27' 46.7'' W	0° 08' 37.4'' S
Estación 12	78° 27' 35.1'' W	0° 08' 37.4'' S
Estación 13	78° 27' 52.5'' W	0° 08' 45.2'' S
Estación 14	78° 27' 40.9'' W	0° 08' 45.2'' S

La distancia entre dos celdas que utilizan el mismo grupo de frecuencias se denomina, distancia de reuso de frecuencia o también conocida como distancia Co-canal, para determinar esta distancia en un patrón celular regular se debe aplicar la fórmula 1 [9] detallada con más claridad en el siguiente párrafo.

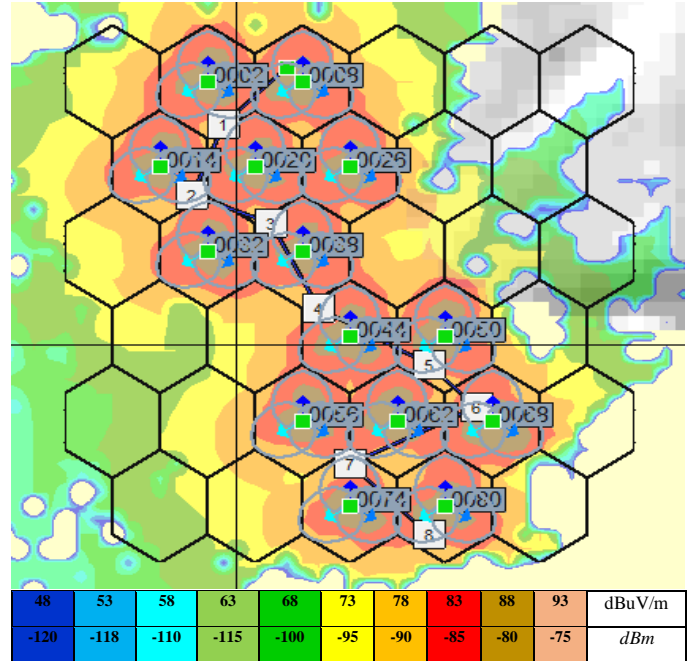


Figura 2. Cobertura descripción de la ruta por diferentes celdas.

$$D=(R\sqrt{3N})=(0.24\sqrt{3(7)})=1,1 \text{ Km};$$

(1)

N: Patrón de reutilización (reutilización usada de 1/7)
 R: Radio del Hexágono (0.24 Km)
 D: distancia de rehuso

La fórmula 1 representa la distancia que se tiene entre dos celdas que utilizan el mismo grupo de frecuencias, también es comúnmente conocida como distancia co-canal y está dada en función al patrón utilizado (N) y al radio de la celda (R), El valor de 0.24 que es el radio del Hexágono, es determinado mediante el software ICS Telecom para crear la celda ya que al multiplicar este valor para las 14 implementadas se tendrá un valor de 3,36 Kilómetros cuadrados, con este valor se podrá obtener la cobertura del área aparente que es de 3,33 kilómetros cuadrados, aproximadamente, además se consideran modelos de geometría de difracción y atenuación para las simulaciones proporcionadas por el software ICS Telecom. En la figura 2 se muestra la cobertura que se tiene entre las celdas y la ruta respectiva dada en 12 HO.

Mediante la función “profile to” de ICS Telecom se obtiene la distancia entre estaciones base como se observa en la figura 3.

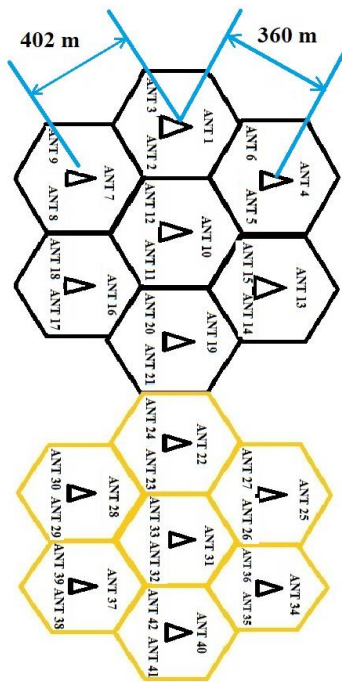


Figura 3. Distribución y distancia entre celdas.

Para el rango de 28 a 33 GHz, con el modelo de propagación vigente ITU-R 452-14, el cual es administrado por R00-SG03. Este modelo utiliza en un rango de 0.1 a 50 GHz [10]. Para lo cual se tiene la siguiente distribución de frecuencias para cada celda que va desde 28 GHz hasta 33 GHz, dado que cada estación base usa 3 antenas sectoriales, se dividió este rango de frecuencias para las 21 antenas formando así nuestro factor de reuso de 1/7, estas frecuencias se especifican tal y como se muestra en la tabla 2.

Los valores mostrados en la tabla 2 son referentes a las características del modelo de propagación y a las características de las antenas transmisoras, su ancho de banda es de 199.9MHz teniendo un amplio espectro con el cual se puede transmitir información, por lo cual se tiene 100KHz para la banda de guarda, esto con el fin de evitar la interferencia intersímbolo, cada estación proporciona servicio por medio de 3 antenas sectoriales en cada picocelda para tener una mejor cobertura de la zona de análisis.

Tabla 2. Distribución de frecuencias para cada estación base y sus antenas

ESTACIÓN	ANTENAS	FRECUENCIA DE OPERACIÓN (GHz)
Estación 1	Ant 1	28
	Ant 2	28.2
	Ant 3	28.4
Estación 2	Ant 4	28.6
	Ant 5	28.8
	Ant 6	30
Estación 3	Ant 7	30.2
	Ant 8	30.4
	Ant 9	30.6
Estación 4	Ant 10	30.8
	Ant 11	31
	Ant 12	31.2
Estación 5	Ant 13	31.4
	Ant 14	31.6
	Ant 15	31.8
Estación 6	Ant 16	32
	Ant 17	32.2
	Ant 18	32.4
Estación 7	Ant 19	32.6
	Ant 20	32.8
	Ant 21	33
Estación 8	Ant 22	28
	Ant 23	28.2
	Ant 24	28.4
Estación 9	Ant 25	28.6
	Ant 26	28.8
	Ant 27	30
Estación 10	Ant 28	30.2
	Ant 29	30.4
	Ant 30	30.6
Estación 11	Ant 31	30.8
	Ant 32	31
	Ant 33	31.2
Estación 12	Ant 34	31.4
	Ant 35	31.6
	Ant 36	31.8
Estación 13	Ant 37	32
	Ant 38	32.2
	Ant 39	32.4
Estación 14	Ant 40	32.6
	Ant 41	32.8
	Ant 42	33

En la figura 4 se aprecia el ancho de banda asignado para cada antena de transmisión, de 199.9 MHz, según [11, p. 16], afirma que en altas frecuencias se recomienda colocar bandas de guarda que previenen las interferencias entre canales adyacentes con valores de entre 20 KHz a 200 KHz, dependiendo del servicio. El servicio al cual está designado el presente estudio es telefonía móvil, por lo que debe ser colocado un valor de 100 KHz para las bandas de guarda como lo menciona [12, p. 46] a partir de la implementación de la separación entre portadoras directamente afectada por el raster del canal.

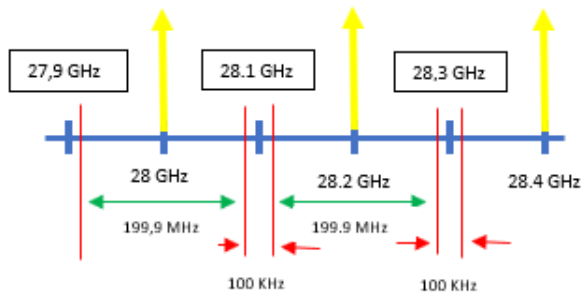


Figura 4. Ancho de Banda y Bandas de Guarda.

Características de las antenas de transmisión, cada estación base cuenta con un total de tres antenas sectoriales, esto permite cubrir completamente la celda de cobertura, se usa un tipo de señal dúplex por división en frecuencia 5G, mediante el cual se asignan dos bandas de frecuencia, un enlace ascendente o uplink y una de enlace descendente o downlink, (FDD, frequency division duplex) de 256QAM con una forma de señal de portadora múltiple de banco de filtros (FBMC, filter bank multi carrier) para interpretar nuevas tecnologías en cuanto al acceso al medio para las comunicaciones móviles para 5G. Los parámetros de las estaciones base se configuran a nivel de la misma tecnología [13]. Para la convergencia de 5G se tiene mediante diferentes dispositivos conectados a un nodo C que estará procesando todo a través de la nube (cloud), esto hace que la conectividad y procesamiento sea casi instantánea o inmediata, en esta convergencia conocida como red cognitiva de acceso por radio se provee de puntos esenciales como son:

a. Funcionar como punto de intersección o puerta de convergencia de las distintas entidades de acceso a la red dadas de tecnologías móviles anteriores las cuales son las macro estaciones base MBSs, micro BSs, pico BSs. Donde se lleva a cabo los procesos cooperativos de los distintos recursos de radio y la implementación de los trasposos de HO, es decir que cumple con las funciones que anteriormente realizaban el controlador de red de radio (RNC, radio network controller) y el

controlador de las BS (BSC, Base station controller) [14, p. 40].

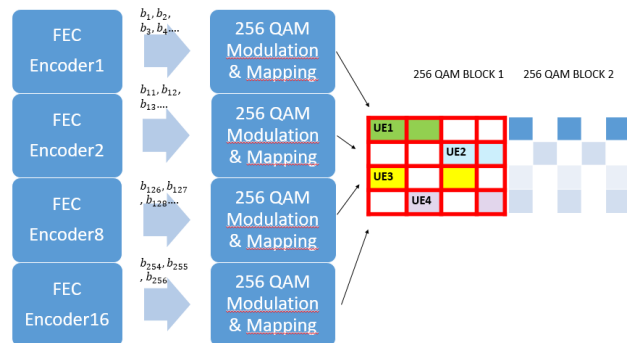


Figura 5. Técnica de acceso al medio de 256 QAM en 5G, por medio de la forma de señal FBMC se reduce la transmisión en la banda de guarda o en las zonas fuera de banda ahorrando así energía considerablemente.

b. Administra los puntos de acceso remoto (R-AP, remote Access point), realizando procesos y enrutamiento cooperativo a gran escala para los R-AP desplegados optimizados y funcionales [14, p. 40].

Es crucial que los R-AP y la entidad de control de acceso (ACEs) tengan la funcionalidad de plug and play, de esta forma se podrá conectar de manera inmediata y automática, fortaleciendo así la capacidad de auto organización sin la necesidad de un tedioso despliegue [14, p. 41].

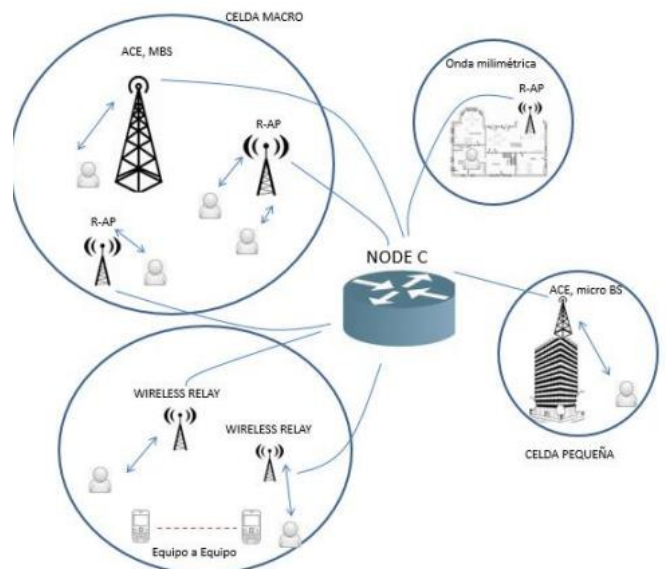


Figura 6. Técnica de acceso al medio de 256 QAM en 5G, una vez aplicado el filtro OQAM de la señal FBMC no se transmitirán varias veces los mismos símbolos y se conserva el ancho de banda original por lo que tiene una conectividad estable con los ACE, MBS y R-AP.

Tabla 3. Características de antenas de transmisión

TRANSMISOR	VALOR
Señal	5G FDD
Frecuencia	28-33 GHz
Modulación	256 QAM
Umbral de cobertura (dB μ V/m)	42
Altura de las antenas (m)	25
Ancho de banda (MHz)	199.9
KTBF	-89
Potencia(W)	0.3
Ganancia (dBi)	5
Pérdidas (Referencial dB)	0.5

Se utilizó una modulación de 256 QAM con forma de onda FBMC debido a que tiene una alta tasa de transferencia de información o de datos, también con esto se reduce considerablemente la energía contenida fuera de la zona de filtrado, es decir, se tendrá una menor transmisión fuera de banda, esto lo hace acorde a la tecnología 5G, también con esta modulación se espera un bajo BER, esto se reducirá por medio de la técnica de filtrado que se tiene con la señal FBMC al aplicar un filtro en la modulación de amplitud en cuadratura desplazada (OQAM, offset quadrature amplitude modulation) con esta técnica de acceso al medio, esto será reducido y aprovechado ya que no transmite el mismo símbolo varias veces y conserva el ancho de banda original con la concatenación de dos tipos de códigos para la codificación de canales que son código turbo (TC, turbo code) y código de verificación de paridad de baja densidad (LDPC, low density parity check code), cabe recalcar que estos dos códigos son aplicados en los filtros de modulación OQAM en las técnicas de acceso al medio.

III. ANÁLISIS DE PARÁMETROS

Para el caso de estudio se establece una única ruta, la cual se recorre de extremo a extremo en el sector de cobertura, como se puede visualizar en la figura 7. La ruta designada para el móvil consta de varios saltos entre celdas, esta ruta fue escogida debido a que cumple con los parámetros como distancia y número de HO, brindando así una gran cantidad de información para un análisis a detalle de velocidades de propagación en la zona cubierta.

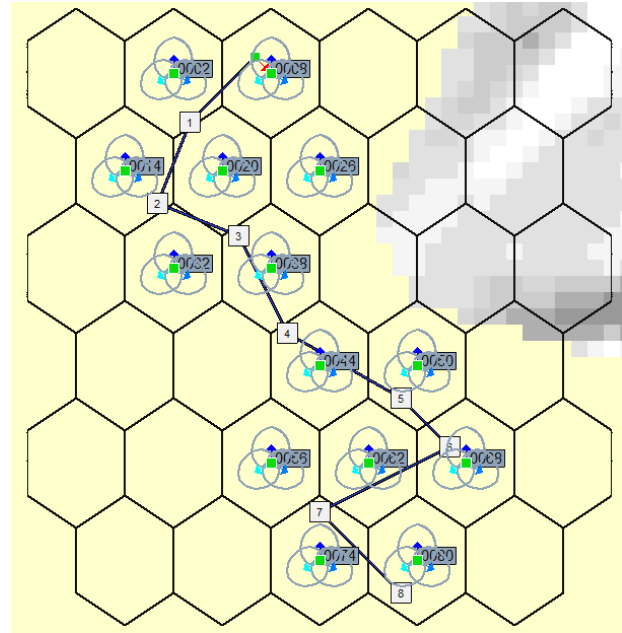


Figura 7. Ruta de Tránsito del dispositivo móvil

El establecer una ruta fija permite realizar una comparación del comportamiento de la señal que el móvil recibe, cuando este se ve afectado por el movimiento a diferentes velocidades. Para este estudio, se va a realizar una comparación de la señal de recepción, cuando la velocidad del móvil sea de 30, 60, 90 y 120 Km/h.

3.1. Análisis del RSRP (Reference Signals Received Power)

3.1.1 Análisis de señal RSRP en ruta principal

Cuando el equipo de usuario (UE) se enciende, lo primero que hace es escuchar canales de difusión para sincronizarse y conectarse inicialmente con la estación base que tenga las mejores condiciones de radio. El UE monitorea el RSRP correspondiente a una celda en la cual se encuentra conectado y si es lo suficientemente alto no necesita estar monitoreando los RSRP de las estaciones vecinas ya que el UE se mantendría en la misma celda. [15]

La relación RSRP, se encuentra involucrada dentro del proceso de HO, ya que permite conectar al móvil a la celda con mayores condiciones en cuanto a señal. A través del software ICS, se simula el proceso de HO donde se varió la velocidad del móvil, para el análisis requerido, en la figura 8 se muestra el proceso de HO que el software brinda.

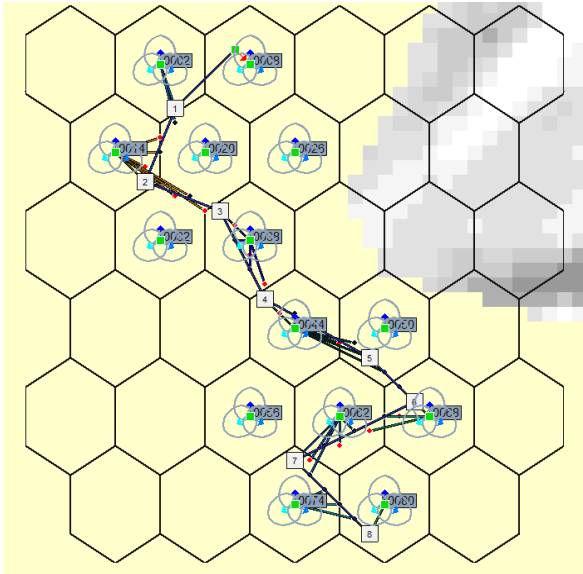


Figura 8. Proceso de HO en la ruta establecida.

Al observar la figura 9 subíndices (a), (b), (c) y (d), se logró determinar que las curvas son las mismas, a las velocidades de análisis de 30, 60, 90 y 120 Km/h, con la única diferencia en el tiempo de trayecto de la ruta, debido a que el móvil se desplaza a diversas velocidades. Para obtener un análisis más detallado, en la tabla 4 se muestran los valores obtenidos por el software.

En la figura 9 se puede apreciar los parámetros que el software ICS determina en el proceso de HO, como son:

- La antena en la que recibe la señal el móvil en el HO.
- La intensidad de señal que el móvil recibe en un determinado punto.
- Posición del móvil en coordenadas.
- La distancia que recorre el móvil.
- El tiempo de recorrido a través de la ruta.

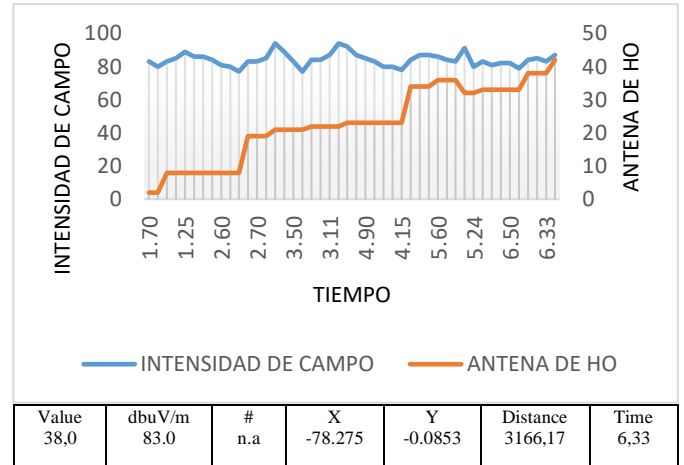


Figura 9(a). RSRP en el HO con velocidad de 30km/h.

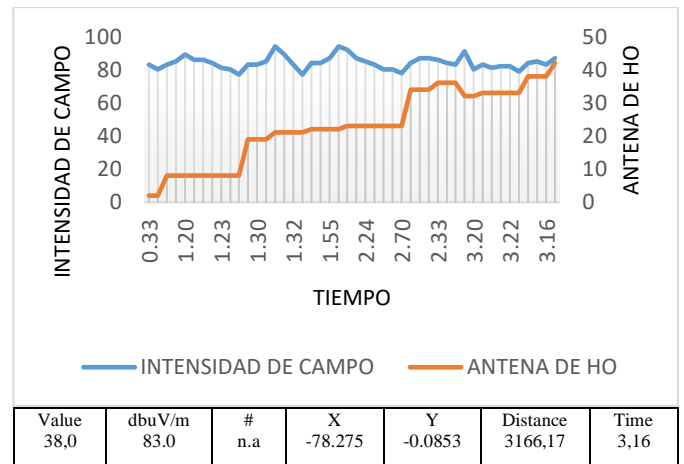


Figura 9(b). RSRP en el HO con velocidad de 60km/h.

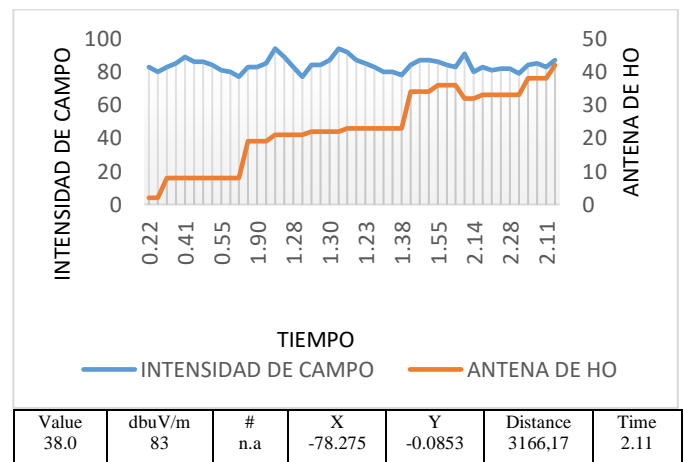


Figura 9(c). RSRP en el HO con velocidad de 90km/h.

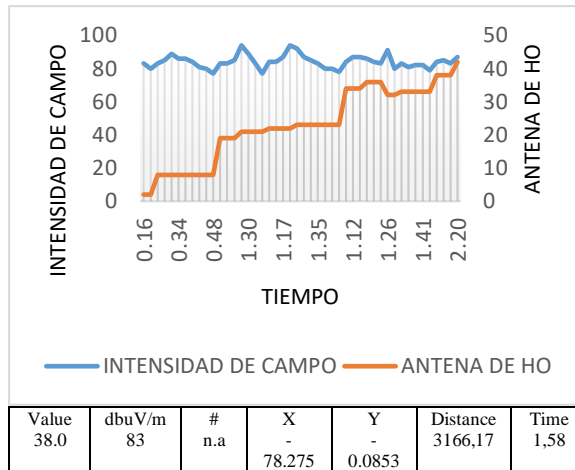


Figura 9(d). RSRP en el HO con velocidad de 120km/h.

El software ICS al momento de simular genera un total de 45 puntos lo cual es una gran cantidad de información para colocar en una tabla, por lo que se decidió resumir esa información tal como se muestra en la tabla 4, la cual es una tabla resumida en función de la antena involucrada en el proceso de HO.

En el dato número 1 de la tabla 4, el móvil recorrió una distancia de 399 metros desde el punto de partida, hasta dicho punto el móvil se encuentra en las coordenadas X, Y de la tabla 4 y la antena encargada de proveer la señal al móvil es la antena número 2, la intensidad de señal que el móvil recibe es de un promedio de 80 dBuV/m, la cual supera el umbral de recepción que se tenía como base.

Tabla 4. Valores obtenidos por el software ICS en el HO

# datos	X	Y	Distancia recorrida desde la partida del móvil(m)	Intensidad de Campo promedio (dBuV/m)	Antena de HO
1	-78,28	-0,08	399	80	2
2	-78,28	-0,08	979	83	8
3	-78,28	-0,08	1124	84	19
4	-78,28	-0,08	1413	86	21
5	-78,28	-0,08	1618	87	22
6	-78,27	-0,08	2078	84	23
7	-78,27	-0,08	2247	86	34
8	-78,27	-0,08	2477	84	36
9	-78,27	-0,08	2622	86	32
10	-78,28	-0,08	2912	81	33
11	-78,27	-0,09	3166	84	38

Para un análisis a detalle con respecto a las velocidades, se toman las intensidades de campo más alta y la más baja que el móvil recepta a lo largo de la ruta, como se mencionó anteriormente la ruta contó con un total de 45 puntos que el software ICS arroja en la simulación.

Con una ruta definida, al incrementar la velocidad se reduce el tiempo de llegada del usuario a los puntos análisis como se puede apreciar en la tabla 5, a la velocidad de 120 Km/h el móvil se demora 0,59 minutos en recorrer 1184 m, donde se obtiene la mejor señal dentro de la ruta.

Tabla 5. Intensidades de campo más representativas y el tiempo en el que se obtienen a diferentes velocidades, dentro de la ruta definida.

Intensidad de Campo (dBuV/m)	Tiempo a la velocidad de 30 Km/h (min)	Tiempo a la velocidad de 60 Km/h (min)	Tiempo a la velocidad de 90 Km/h (min)	Tiempo a la velocidad de 120 Km/h (min)
94 (MAYOR)	2.36	1.18	1.18	0.59
77 (MENOR)	3.22	1.41	1.34	1.10

La señal con mayor intensidad es de 94 dBuV/m aproximadamente -74 dBm, mientras que la menor es de 77 dBuV/m aproximadamente -91 dBm, ambas superan el umbral mínimo establecido de 42 dBuV/m, dicho valor umbral se lo tomo del artículo "Análisis de parámetros de handover para celdas conjuntas en onda milimétrica" [16], lo que implica una señal de recepción excelente en el móvil generando así un nivel de servicio adecuado para el usuario.

Manteniendo la velocidad de 120 Km/h en 1,10 minutos el móvil recorrió 1413 m, siendo este el punto de la ruta en el que se tiene el nivel más bajo de señal cabe mencionar que dicho nivel de señal denominado "bajo" cumple con los requisitos para un correcto funcionamiento de los servicios para el usuario.

3.1.2 Análisis de señal RSRP en ruta alterna

Para tener un análisis más completo, se realizó el proceso de HO en una ruta alterna a la

principal, con el fin de comparar los valores de RSRP entre las dos rutas.

En la figura 10 se visualiza la ruta secundaria que el móvil seguirá para las comparaciones, esta ruta alterna recorre de extremo a extremo el sector de estudio y cuenta con un número de saltos menor para el proceso de HO. Las velocidades del móvil para el análisis serán las mismas que en la ruta principal, las cuales fueron de 30, 60, 90 y 120 Km/h.

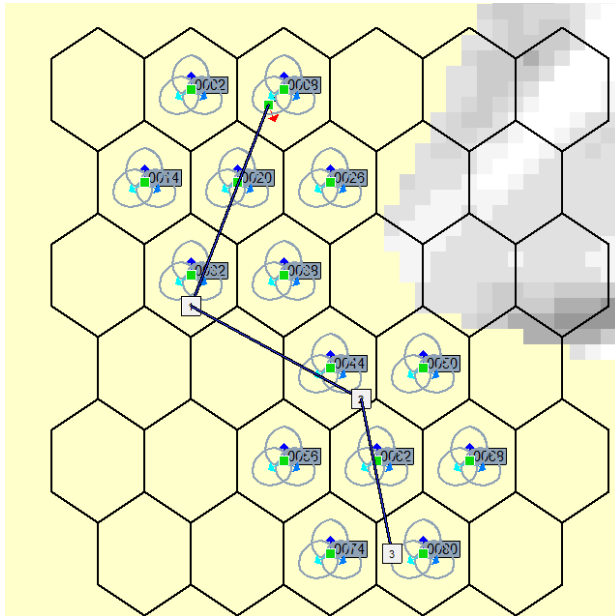


Figura 10. Ruta de tránsito alterna para el dispositivo móvil.

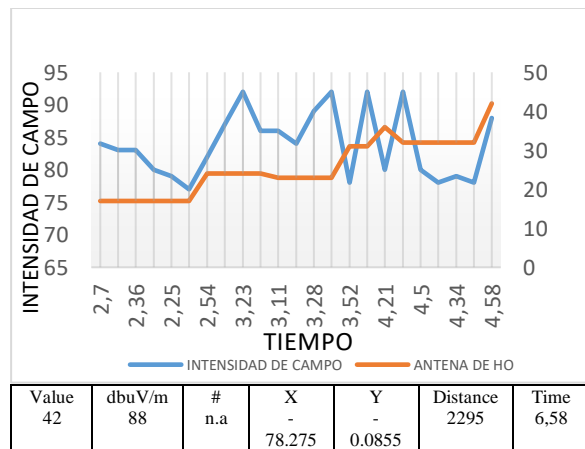


Figura 11 (a). RSRP en el HO de la ruta alterna con velocidad de 30km/h.

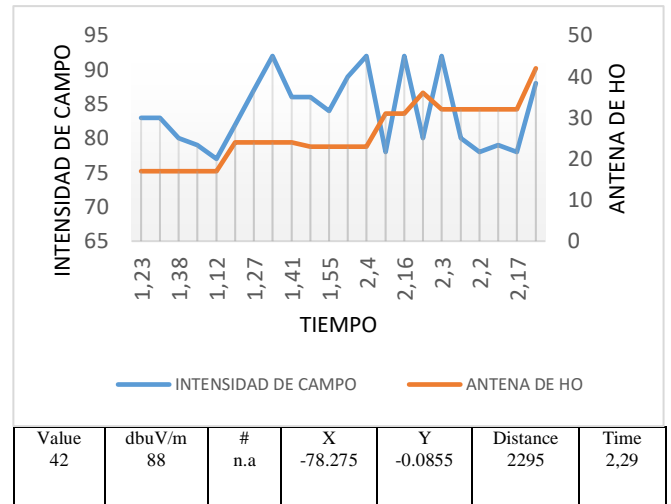


Figura 11 (b). RSRP en el HO de la ruta alterna con velocidad de 60km/h.

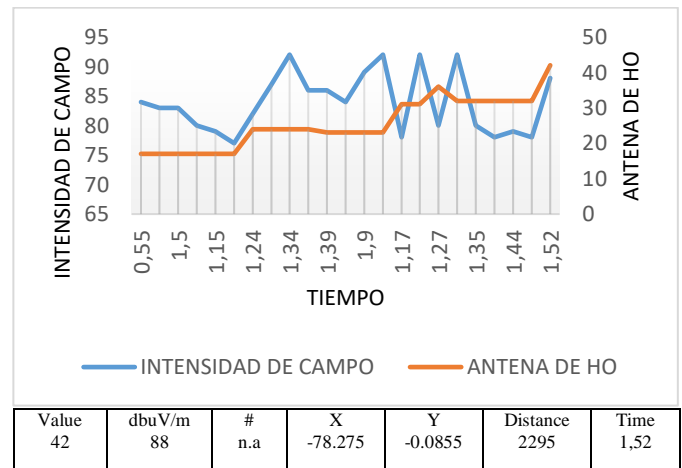


Figura 11 (c). RSRP en el HO de la ruta alterna con velocidad de 90km/h.

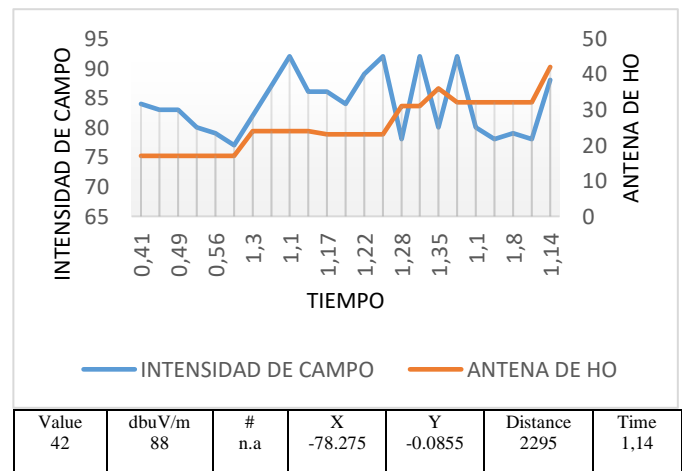


Figura 11 (d). RSRP en el HO de la ruta alterna con velocidad de 120km/h.

En la figura 11 (a), (b), (c) y (d) se observa como la variación de velocidad del móvil no afecta a la señal en el proceso de HO, únicamente cambia el tiempo en el cual el móvil recorre la ruta, siendo este en un tiempo mayor o menor dependiendo de la velocidad a la cual se desplace.

De igual forma que el caso anterior, el software ICS toma varias muestras, que para el caso de la ruta alterna consta de un total de 23 puntos, en la tabla 6 se visualiza una tabla resumen en función de la antena de HO y de la intensidad de campo promedio que el móvil recepta.

Tabla 6. Valores obtenidos por el software ICS en el HO de la ruta alterna.

# datos	X	Y	Distancia recorrida desde la partida del móvil(m)	Intensidad de Campo promedio (dBuV/m)	Antena de HO
1	-78,28	-0,08	1210	81	17
2	-78,28	-0,08	1500	87	24
3	-78,28	-0,08	1705	88	23
4	-78,28	-0,08	1850	85	31
5	-78,28	-0,08	1010	80	36
6	-78,28	-0,09	2235	81	32
7	-78,28	-0,09	2295	88	42

La tabla 7 muestra el tiempo en el cual el móvil llega a tener la mayor y menor intensidad de señal en la ruta alterna, como se puede visualizar en dicha tabla se indica las diferentes velocidades a las que el móvil se desplazó a lo largo de la ruta alterna.

En la ruta alterna el móvil logra captar niveles de señal de 92 dBuV/m como máximo y 77 dBuV/m como mínimo, en el proceso de HO, siendo estos valores excelentes para la comunicación, para el caso de la ruta alterna el nivel de señal más potente se recepta después del nivel de señal con la potencia más baja.

Tabla 7. Intensidades de campo más representativas y el tiempo en el que se obtienen a diferentes velocidades, dentro de la ruta alterna.

Intensidad de Campo (dBuV/m)	Tiempo a la velocidad de 30 Km/h (min)	Tiempo a la velocidad de 60 Km/h (min)	Tiempo a la velocidad de 90 Km/h (min)	Tiempo a la velocidad de 120 Km/h (min)
92 (MAYOR)	3,23	1,41	1.34	1,1
77 (MENOR)	2,42	1,21	1.2	1

3.2. Análisis del SINR (Signal to interference and noise ratio)

En cuanto a interferencias el SINR expresa la relación de portadora e interferencia con ruido (C/I), el software ICS determina dicha relación. Para este caso de estudio se realiza sobre el canal PSDCH (Physical Search Downlink Channel), se simula sobre el PSDCH ya que es el principal canal físico utilizado para transmitir en el enlace descendente. [15]

En la figura 12 se muestra el resultado del análisis del SINR del software ICS, el software genera una tabla de datos la cual se muestra en la tabla 8.

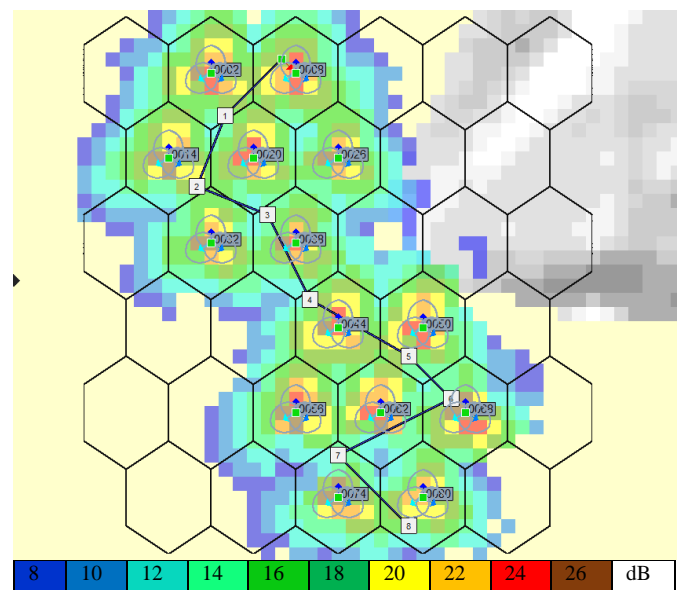


Figura 12. Interferencia SINR en el enlace PSDCH.

Tabla 8. Lista de interferencia SINR mostrada por el software ICS.

Código de color	Valor encontrado (dB)	Superficie cubierta (Km ²)	Total de área cubierta (Km ²)	Porcentaje de cobertura (%)	Nivel de señal
1	8	0.30	2.99	9.97	M E D I A
2	10	0.39	2.99	13	
3	12	0.46	2.99	15.40	
4	14	0.49	2.99	16.49	B U E N A
5	16	0.49	2.99	16.37	
6	18	0.40	2.99	13,36	
7	20	0.21	2.99	6.98	E X C E L E N T E
8	22	0.11	2.99	3.73	
9	24	0.07	2.99	2.29	
10	26	0.07	2.99	2.41	

Basándose en la tabla 8, con respecto a la relación SINR se puede determinar que el área de cobertura total es de 2.99 Km², en un área de 1.15 Km² la cual representa un 38.37% del área total cubierta se tiene un nivel medio de señal, para un área cubierta de 1.38 Km² que representa un 46.22% del área total cubierta se tiene un nivel bueno de señal, por último en un área de 0,46 Km² que representa un 15,41% del total del área cubierta se tiene un nivel de señal excelente, se deduce a partir de los datos de la tabla 5, que los usuarios se encuentren dentro de la celda de cobertura tendrán mayor señal en comparación a los usuarios que se encuentren a los alrededores de las celdas.

3.3. Análisis del RSRQ (Reference Signal Received Quality)

El RSRQ, permite realizar un análisis completo sobre la calidad de la señal RS (Reference Signal), que el UE recibe de una celda, en otras palabras, sirve para determinar la mejor celda para un usuario dentro de un área geográfica. [15]. La relación RSRQ analiza el total de un área de cobertura, para el

estudio realizado es de suma importancia determinar la calidad de señal que el móvil recibirá dentro del sector.

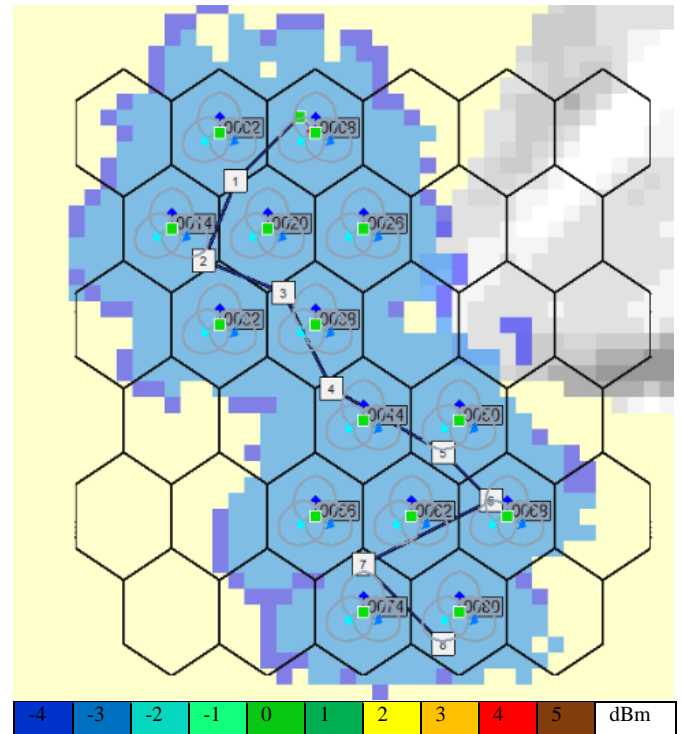


Figura 13. Calidad recibida de señal de referencia RSRQ.

El software ICS determina el nivel de señal RSRQ por medio de sus opciones, en la figura 13 se visualiza la cobertura RSRQ que se tendría dentro del sector de estudio. Para un análisis detallado el software entrega información de la cobertura mediante una tabla de valores como se muestra en la tabla 9.

En la tabla 9 se indica el total de cobertura de señal RSRQ en la ruta principal, en la simulación se tienen dos valores de nivel señal RSRQ, cada una con un código de color para su mejor entendimiento, además se indica la superficie que cubre cada nivel de señal y el porcentaje de cobertura de cada una de ellas.

Tabla 9. Lista de la Calidad recibida de señal de referencia mostrada por el software ICS.

Código de color	Mínimo valor encontrado (dB)	Superficie e cubierta (Km ²)	Total de área cubierta (Km ²)	Porcentaje de cobertura (%)
1	-4	0.30	2.99	9.99
2	-3	2.69	2.99	90,01

En la tabla 9, únicamente existen dos valores de señal en cuestión de la calidad RSRQ, que son -4 y -3 dB, los cuales son niveles de calidad excelentes ya que están sobre el valor de -10 dB que es el rango para superar para ser determinada como señal excelente, el valor de -10 dB es el umbral de uso práctico para la señal RSRQ. [15]

IV. CONCLUSIONES

- Para el proceso de HO, se usaron varias velocidades de desplazamiento del móvil como fueron 30, 60, 90 y 120 Km/h, por medio del software ICS se determinó que la velocidad de desplazamiento no afecta la relación señal a ruido ni la recepción de señal del dispositivo móvil, pero si afecta directamente el proceso de HO, ya que entre mayor sea la velocidad menor será el tiempo de proceso HO, por ejemplo para llegar a la celda en donde existe la mayor intensidad de campo, al móvil a una velocidad de 30 Km/h le tomo un total de 2,36 minutos, mientras que a una velocidad de 120 Km/h le tomo un total 0,59 minutos, dando como resultado una reducción del 75% en el tiempo de HO.

- Al comparar los niveles de recepción de señal entre la ruta principal y la alterna se logró identificar ciertas diferencias. En la ruta principal el nivel más bajo de señal era de 77 dBuV/m y el más alto de 94 dBuV/m, mientras que en la ruta alterna el nivel de señal más bajo fue de 77 dBuV/m y el más alto de 92 dBuV/m, esto se debe a que las rutas no eran iguales por tanto el relieve, la distancia, y las antenas involucradas en el proceso HO no serían las mismas, esto permite concluir que la señal que el dispositivo móvil reciba si dependerá del trayecto por el cual se desplace.

V. BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. O. V. G. J. L. A. C. R. Sallent Roig, Principios de comunicaciones móviles, Barcelona, España: Edicions UPC, 2003.
- [2] Adler instruments, «La tecnología 5G requiere las frecuencias de ondas milimétricas / mmWave,» Madrid, 2019.
- [3] Á. F. Gobantes, «Modelado y simulación de Tecnologías MMW en escenarios 5G,» Cantabria, 2019.
- [4] ITU, «Recomendación UIT-R P.1411-9,» Ginebra, 2017.
- [5] K. Navarro, «Handover en Telecomunicaciones – Parte I,» 8 Marzo 2014. [En línea]. Available: <http://panamahitek.com/handover-en-telecomunicaciones-parte/>. [Último acceso: 17 mayo 2020].
- [6] A. Jain, E. López y I. Demirkol, «Evolutionary 4G/5G Network Architecture Assisted Efficient Handover Signaling,» *IEEE Xplore*, vol. 7, 2019.
- [7] C. A. R. L. S. M. S. R. L. F. E. O. C. Pablo M. Aviles Delgado, «Estudio Del Impacto Del Handover En Redes LTE.,» *Telemática*, vol. 15, n° 1, p. 16, 2016.
- [8] Google, «Google Earth,» [En línea]. Available: https://earth.google.com/web/search/sector+de+las+Orquideas+y+San+Miguel+de+Amangas+%c3%ad+entre+la+Av.+De+los+Nogales+y+Av.+Galo+Plaza+Lasso/@-0.14330073,-78.4655962,2891.41260416a,2984.78899506d,35y,-0h,0t,0r/data=CigiJgokCb8ARuA0FDIAEazy_7IUsCrAGVyVzsjr. [Último acceso: 25 mayo 2020].
- [9] E. F. N. Gomez Coello, «Escuela Politécnica Nacional, Faculta de de Ingeniería Eléctrica,» Mayo 1997. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5718/1/T284.pdf>. [Último acceso: 8 Junio 2020].
- [10] ITU, «Recomendación UIT-R P.452-16,» Julio 2015. [En línea]. Available: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.452-16-201507-I!!PDF-S.pdf. [Último acceso: 05 08 2020].
- [11] N. O. Pisciotta, «Sistema ISDB-Tb,» [En línea]. Available: http://www2.elo.utfsm.cl/~elo341/SistemaISDB_Tb.pdf. [Último acceso: 15 Julio 2020].
- [12] L. A. S. Yanes, «Planificación de Redes,» [En línea]. Available: http://oa.upm.es/22008/1/TFG_LEONARDO_SCRICCA_YANES.pdf. [Último acceso: 15 julio 2020].
- [13] D. M. R. M. J. E. A. P. Kevin Eliu Requena B., «Comparación de simulaciones de radiopropagación en frecuencias de ondas milimétricas para,» Actas de Ingeniería, Bogotá, Colombia, 2017.
- [14] H. M. Borrueal, «Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicaciones,» 23 junio 2016. [En línea]. Available: <http://oa.upm.es/44166/>. [Último acceso: 05 agosto 2020].

- [15] S. Guerrón y L. Romero, «Diseño y Simulación de una Red LTE (Long Term Evolution) para el norte de la ciudad de Quito mediante el software ICS-Desinger,» 2016.
- [16] L. Aucatoma, M. Bustos y N. Lopez, «Análisis de parámetros de handover para celdas conjuntas en onda milimétrica,» p. 6, 2020.