

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

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

**TEMA:
ANÁLISIS DE COBERTURA DE TELEFONÍA MÓVIL CON FRECUENCIAS EN LTE Y CON
LONGITUD DE ONDA MILIMÉTRICA MEDIANTE SOFTWARE DE SIMULACIÓN.**

**AUTORES:
BYRON XAVIER ARBOLEDA CRUZ
LUIS HERNÁN ESPINOSA MANZANO**

**TUTOR
LENIN WLADIMIR AUCATOMA GUAMÁN**

Quito, enero 2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Luis Hernán Espinosa Manzano y Byron Xavier Arboleda Cruz, con documento de identificación N° 0104440508 y N° 1719627117 respectivamente, 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 COBERTURA DE TELEFONÍA MÓVIL CON FRECUENCIAS EN LTE Y CON LONGITUD DE ONDA MILIMÉTRICA MEDIANTE SOFTWARE DE SIMULACIÓN", 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, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, enero de 2019

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Luis Espinosa Manzano'.

Luis Hernán Espinosa Manzano
CI: 0104440508

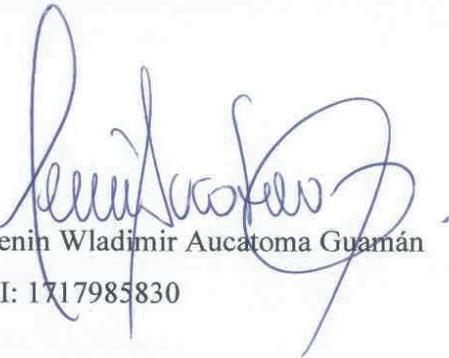
A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Byron Xavier Arboleda Cruz'.

Byron Xavier Arboleda Cruz
CI: 1719627117

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el artículo académico "ANÁLISIS DE COBERTURA DE TELEFONÍA MÓVIL CON FRECUENCIAS EN LTE Y CON LONGITUD DE ONDA MILIMÉTRICA MEDIANTE SOFTWARE DE SIMULACIÓN" realizado por Luis Hernán Espinosa Manzano y Byron Xavier Arboleda Cruz, 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 de 2019



Lenin Wladimir Aucatoma Guamán
CI: 1717985830

Análisis de cobertura de telefonía móvil con frecuencias en LTE y con longitud de onda milimétrica mediante software de simulación

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

Arboleda Cruz Byron Xavier
Ingeniería Electrónica
Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
barboleda@est.ups.edu.ec

Espinosa Manzano Luis Hernán
Ingeniería Electrónica
Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
lespinosam1@est.ups.edu.ec

Resumen—El presente artículo describe el análisis de cobertura para frecuencia en banda AWS (Advanced Wireless Services / 1700 a 2100 MHz) y onda milimétrica (30 a 300 GHz), utilizando como referencia los bloques de comunicación de una radio base LTE (Long Term Evolution). El estudio se realizó en el sector de Turubamba Quito-Ecuador, mediante el software de simulación ICS Telecom. Con el software se determinó los mejores parámetros de simulación de LTE y onda milimétrica (mmW), en los cuales se tomó en cuenta parámetros tales como: radio de cobertura, frecuencias de trabajo, obstáculos interferentes generado por clutters (casas, edificios, árboles, otros), características del terreno y factores atmosféricos (datos proporcionados por la página oficial del INAMI). Para la simulación de cobertura en LTE se trabajó con frecuencia de 2165 MHz, mientras que para onda milimétrica se usó una frecuencia de 71GHz, en la cual, se ubicó distintos repetidores para obtener una similitud entre coberturas. Una vez terminadas las simulaciones, se obtuvo como resultado una mayor cantidad de atenuaciones en el caso de onda milimétrica, también se comparó la cobertura que realiza una sola radio base en LTE con onda milimétrica, lo que determinó la colocación de 14 repetidores (mmW) para asemejarnos a la zona cubierta por la frecuencia en LTE.

Abstract—This article describes the coverage analysis for AWS band frequency (Advanced Wireless Services / 1700 a 2100 MHz) and millimeter wave (30 a 300 GHz), using the blocks of communication of a base LTE (Long Term Evolution) radio like a reference. The study was applied in Turubamba, Quito-Ecuador, using the ICS TELECOM simulation software. With the help of this software, we determined the best simulation parameters of LTE and millimeter wave (mmW), it took into account parameters such as: coverage radio, working frequencies, interference obstacles generated by clutters (houses, buildings, trees and others) ground characteristics and atmospheric factors (information provided by the official web site of INAMI). For the coverage simulation in LTE, worked with 2165 MHz frequency, while for millimeter wave used 71 GHz frequency, in this, was located different repeaters for obtain a similarity between coverages. When the simulation was finished, the result was a higher amount of attenuations in the case of millimeter wave, also, compared the coverage that realized only one base radio in LTE with millimeter wave, what determined the placement of 14

repeaters (mmW) with the objective of look similar as the area coverage by frequency in LTE.

Keywords: *onda milimétrica, borde de cobertura, intensidad de campo.*

I. INTRODUCCIÓN .

El avance tecnológico en telefonía móvil de los últimos años, nace de las múltiples necesidades de los usuarios de tener mayores velocidades y bajas latencias. Esto viene asociado con algunas variables, tales como: nivel de cobertura y número de usuarios, frecuencias entre otras [1].

Las frecuencias que en la actualidad se encuentran operando en Latinoamérica han ido en un rápido crecimiento, abarcando una gran cantidad del espectro radioeléctrico dentro de los 3GHz, por lo cual, se espera una saturación de este espectro en el año 2021 [2]. La gran cantidad de dispositivos se encuentran conectados a sistemas tradicionales de telecomunicaciones, como es el caso de la banda AWS (que tiene la capacidad de trabajar con dos tipos de tecnología móvil: LTE y HSPA; tomando en cuenta que esta banda, es mayormente utilizada en Latinoamérica para frecuencias de 1700 a 2100 MHz) trabajando con frecuencias de 700, 1700, 1900 y 2100 MHz en el caso de Ecuador [3], y en el sistema móvil hasta cuarta generación. Por esto se buscan alternativas de nuevas bandas para implementación de sistemas 5G, con frecuencias en el rango de los 30 a 300 GHz (caso de la onda milimétrica) [1].

Al utilizar altas frecuencias se deben tomar en cuenta las distintas atenuaciones suscitadas: atenuación por multitrayecto, por difracción en trayectos transhorizonte, por difracción sobre obstáculos aislados, pantallas delgadas [4][5], ya que en la actualidad equipos que trabajen en frecuencias sobre los 70 GHz aún se encuentran en fase experimental. Se tomó como referencia equipos utilizados en redes LTE, con el fin de encontrar parámetros necesarios para el estudio de cobertura, características de atenuación en ambientes específicos y

modelos de propagación que engloben estudios para onda milimétrica [6].

En investigaciones realizadas, se demostró que más del 70% del tráfico de datos y el 50% de tráfico de voz es originado en un área de cobertura exterior (Edificios, casas, otros) y existen pérdidas generadas por las diferentes atenuaciones de ambientes urbanos, siendo este uno de los mayores obstáculos para la comunicación móvil en onda milimétrica. Para solucionar este tipo de inconvenientes suscitados con onda milimétrica, se propone colocar repetidores con el fin de que el usuario en todo momento tenga línea de vista directa (LOS) sin problemas de cobertura [7], logrando cubrir áreas que tradicionalmente una sola radio base LTE lo hace [8].

II. PUNTO DE ANÁLISIS PARA UBICACIÓN DEL NODO EN EL SECTOR DE TURUBAMBA

Como punto de inicio para el estudio se escogió un eNB (Evolved Node B) ubicado entre las calles Tendales y Santa Fe al sur de Quito (barrio Turubamba), el cual representa un nodo final de cobertura para un sector de densidad poblacional alto en el sur de Quito.

La simulación mediante el software ICS Telecom, se realizó a una distancia de cobertura de 3 y 4km para LTE, y onda milimétrica (mmW), observando que un radio de cobertura a más de 1km donde los niveles de señal empiezan a bajar dificultando la comunicación [9].

Tomando en cuenta un radio del valor antes mencionado, se determinó construcciones con un promedio de 3 pisos (8 a 9 metros aprox.), con ciertas excepciones de 4 a 5 pisos de altura (12 a 15 metros aprox.) y áreas verdes con un aproximado de 500m², todo esto mediante un estudio de campo realizado en el sector de Turubamba.

3.1. Parámetros de antena LTE y onda milimétrica (mmW)

La *tabla 2* muestra los parámetros utilizados para una antena LTE, en los cuales el ancho de banda y el umbral de recepción son tomados de resoluciones estructuradas por la ARCOTEL [10] y utilizadas en nuestra investigación para simulación en software ICS Telecom. (Ver *Tabla 1*).

Tabla 1. Parámetros Antena LTE.

Parámetro	Valor
Potencia Máxima Tx (W)	2
Ganancia Antena Tx (dBi)	8.0
Pérdidas en Conexiones y Líneas (dB)	5
Frecuencia (MHz)	2165
Altura de la Antena (m)	24
Bandwidth (KHz)	5000
Threshold (dBuV/m)	42

Para las simulaciones realizadas en LTE, se escogieron una serie de parámetros tomados de la antena LTE tipo PAD-1727, la cual trabaja con un rango de frecuencias de 1710 a 2700 MHz. Gracias a que la antena trabaja con una frecuencia de

2165 MHz y al estar dentro del rango permitido por la antena, su uso resulta ser óptima para las simulaciones necesarias en la investigación.

El parámetro “*Pérdidas en Conexiones y Líneas (dB)*” ubicado en la *tabla 1*, es tomado como genérico, puesto que, tras la investigación se determinó que el máximo en pérdidas es de 5 dB. Este parámetro depende del medio que vaya a transmitir las señales, sea en frecuencia AWS o en onda milimétrica.

La *tabla 2* muestra las características de red e infraestructura para onda milimétrica utilizada para la simulación en software ICS Telecom. (Ver *Tabla 2*).

Los parámetros “*Bandwidth (KHz)* y *Threshold (dBuV/m)*” ubicados en la *tabla 1*, fueron tomados de las resoluciones estructuradas por la ARCOTEL para telefonía móvil en LTE [3].

Tabla 2. Parámetros Antena onda milimétrica mmW

Parámetro	Valor
Potencia Máxima Tx (W)	5
Ganancia Antena Tx (dBi)	25.14
Pérdidas Conexiones y Líneas (dB)	5
Frecuencia (GHz)	71
Altura de la Antena (m)	24
Bandwidth (KHz)	5000
Threshold (dBuV/m)	42

3.2. Parámetros de cobertura LTE y onda milimétrica

RECOMENDACIONES ITU- R:

Como se menciona anteriormente, las frecuencias usadas para la investigación en LTE y mmW fueron de 2165 MHz y 71 GHz respectivamente y tomando en cuenta las pérdidas generadas por gases atmosféricos presentes en el sector, se utilizó la recomendación ITU-676, la cual cubre atenuaciones generadas en un rango de frecuencias entre 1 a 350GHz, por gases atmosféricos (como se detalla en la *tabla 3*), tomando en cuenta el caso del *vapor generado* [11].

Debido a las atenuaciones causadas por precipitaciones en LTE y mmW, se usó la recomendación ITU-R 838, la cual toma en cuenta la tasa de lluvia del sector de estudio [12]. Como se detalla en la *tabla 3*. Los datos para el parámetro de lluvia fueron proporcionados por la página oficial del INAMI [13].

Dentro de las simulaciones, los distintos clutters existentes, fueron tomados como atenuadores de la señal y generadores de multitrayecto existentes en el terreno de estudio (Turubamba). Se escogió la recomendación ITU-R 525/526 Deygout, ya que dicha zona se adaptada a los parámetros presentes en el modelo. (Ver *Tabla 5*) [5].

Para los datos de condiciones atmosféricas, se utilizó información proporcionada por la página oficial del INAMI

[14], tomando en cuenta los meses de Julio y Agosto del año 2018 gracias a la estación meteorológica de la Universidad Politécnica Salesiana (campus sur), para el sector de Turubamba (Ver *Tabla 3*), de los cuales, se tomó los siguientes parámetros para los distintos rangos de cobertura.

Las características principales tomadas para el análisis son: Vapor (Pa), Presión (hPa), Temperatura (°C), Tasa de lluvia (m/n).

Tabla 3. Parámetros de condiciones atmosféricas del INAMI estación meteorológica de la Universidad Politécnica Salesiana campus Sur de Quito.

Características Atmosféricas	Valor
Vapor (Pa)	60
Presión (hPa)	731
Temperatura (°C)	19
Tasa de lluvia (m/n)	26.90
Isométrico (Km)	3

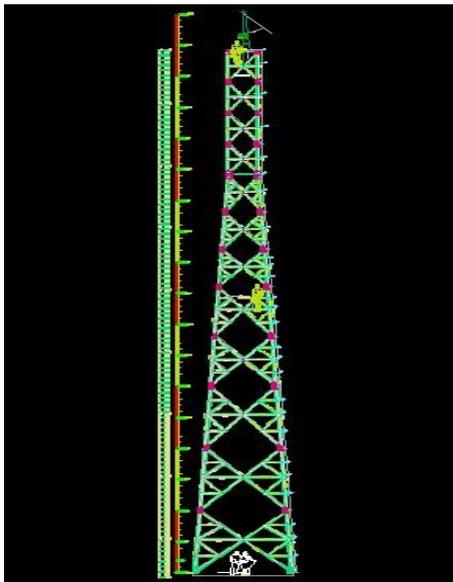


Figura 1. Esquema de conexión entre la antena, la BBU y RRU de sistema de transmisión.

Las pérdidas en la línea de transmisión, entre la Base Band Unit (BBU) y la Remote Radio Unit (RRU, conectadas por medio de un cable de fibra óptica), fueron despreciables, ya que las pérdidas en la fibra óptica son de 0.5 dB/km [15], nuestro estudio tiene una línea de transmisión de fibra óptica con un promedio de 25 metros de longitud, por lo que, al ser una distancia pequeña, las pérdidas siguen siendo despreciables.

Entre la RRU y la Antena LTE (PAD-1727), se obtuvo pérdidas en línea de transmisión de un Jumper 1/2' de 3m, mediante interpolación con parámetros obtenidos del fabricante [16]. En la *tabla 4*, se presenta los resultados de la interpolación realizada.

Tabla 4. Interpolación en Jumper 1/2'' a frecuencia de 2165 MHz

Frecuencia (MHz)	Atenuación (dB/m)
2100	0.155
2165	0.161
2200	0.164

Sin embargo, la distancia entre la RRU y la Antena LTE, al ser de 3 metros, genera una pérdida en el Jumper 1/2' de 0.483 dB/m.

Para las pérdidas totales, se debe sumar las pérdidas parciales (redactadas anteriormente), pérdidas en la BBU, pérdidas en la fibra óptica (despreciables), pérdidas en la RRU y pérdidas en el Jumper 1/2'.

III. COBERTURA DE TELEFONÍA LTE PARA EL SECTOR TURUBAMBA

En las *figuras 2 y 3* se presenta las simulaciones para frecuencia LTE a 2165 MHz, con interferencias (Clutters) y atenuaciones atmosféricas utilizando la recomendación ITU-R. 525/526 Deygout, para radio de simulación de 3 y 4km respectivamente.

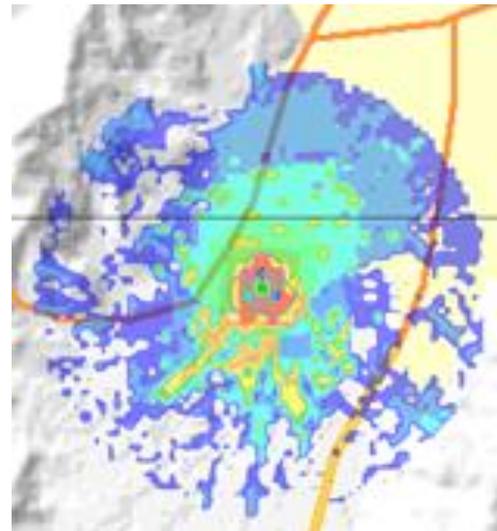


Figura 2. Cobertura realizada en el sector de Turubamba para una distancia de 3 km.

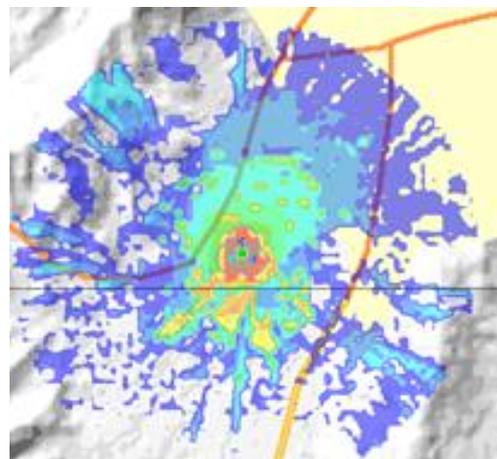


Figura 3. Cobertura realizada en el sector de Turubamba para una distancia de 4 km.

Para la realización de las simulaciones, se tomaron en cuenta los siguientes clutters, con sus respectivas atenuaciones:

Tabla 5. Clutters utilizados en simulaciones [17]

Tipo	Altura (m)	Atenuación (dB)
Casas	3	7-9
Edificios	6	15
Bosques	3	10-12
Otros	3	15

Nota: Para un correcto análisis en la simulación en onda milimétrica, se utilizaron los mismos parámetros en clutters de simulación LTE.

IV. SIMULACIONES ONDA MILIMÉTRICA - ICS TELECOM

Para el trabajo con onda milimétrica se usó como radio de simulación comparativo una distancia de 4km, tomando como referencia para colocar los repetidores, los puntos donde la señal de onda milimétrica tiene zona de sombra con respecto a la cobertura con frecuencia par LTE.

5.1 Simulación de Onda Milimétrica en frecuencia de 71 GHz, atenuaciones por interferencias y atmosféricas mediante la recomendación ITU-R. 525/526 Deygout.

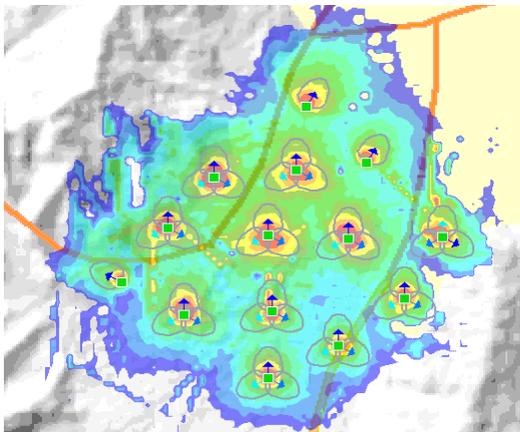


Figura 4. Cobertura con 4Km de alcance utilizando antenas repetidoras, atenuaciones por interferencias.

V. ANÁLISIS Y RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos tras las simulaciones en LTE y onda milimétrica (mmW), para 3 y 4km.

Tabla 6. Resultados de cobertura a 3Km en LTE y onda milimétrica

dBuV/m / dBm	% cubierto LTE	% cubierto mmW 14 repetidores	% cubierto mmW un nodo eNB
42/-101	35.18	32.18	4.76
50/-93	31.43	28.52	3.57
58/-85	13.15	11.15	2.50
66/-77	6.51	4.31	1.57
74/-69	1.63	1.40	1.13
82/-61	1.13	1.11	0.75

90/-53	2.46	1.15	0.51
98/-45	2.09	1.31	0.20
106/-37	2.50	1.02	0.12
114/-29	0.92	0.12	0.01

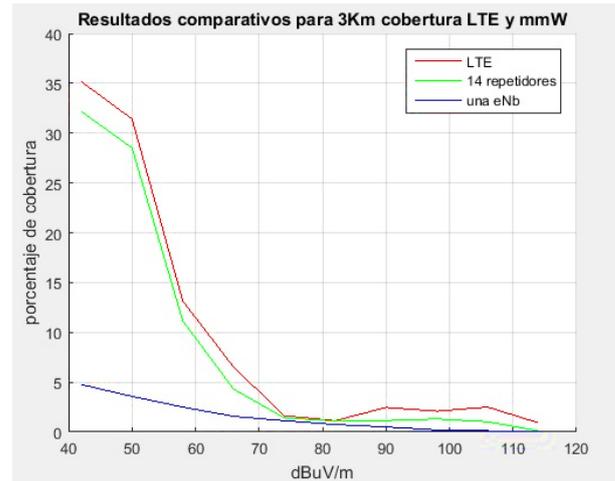


Figura 5. Resultados comparativos para 3km cobertura LTE y mmW.

Mediante el análisis, se obtuvo que en áreas más cercanas a la antena con una intensidad de campo de 114 dBuV/m y un RSSI de -29 dBm, se tiene un porcentaje de área cubierta de 0.92% (LTE), 0.12 (mmW con 14 repetidores) y de 0.01 (mmW un nodo eNB). Y en áreas que se encuentran al borde de los 3Km de radio de cobertura con una intensidad de campo de 42 dBuV/m y un RSSI de -101 dBm, se tiene un porcentaje total de área cubierto del 35.18% (LTE), 32.18 (14 repetidores) y 4.76 (mmW un nodo eNB).

Tabla 7. Resultados de cobertura a 4Km en LTE y onda milimétrica

dBuV/m / dBm	% cubierto LTE	% cubierto mmW 14 repetidores	% cubierto mmW un nodo eNB
42/-101	48.70	46.60	5.43
50/-93	24.77	22.65	4.65
58/-85	12.72	10.50	3.12
66/-77	4.23	3.12	2.14
74/-69	1.14	1.14	2.01
82/-61	0.79	0.52	1.15
90/-53	2.01	1.57	1.10
98/-45	1.42	1.12	0.55
106/-37	1.63	1.01	0.20
114/-29	0.60	0.10	0.13

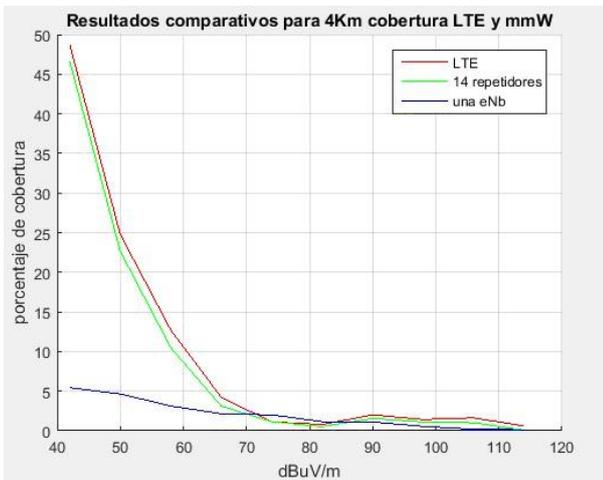


Figura 6. Resultados comparativos para 4km cobertura LTE y mmW.

Mediante el análisis, se obtuvo que en áreas más cercanas a la antena con una intensidad de campo de 114 dBuV/m y un RSSI de -29 dBm, se tiene un porcentaje de área cubierta de 0.92% (LTE), 0.12 (mmW con 14 repetidores) y de 0.01 (mmW un nodo eNB). Y en áreas que se encuentran al borde de los 3Km de radio de cobertura con una intensidad de campo de 42 dBuV/m y un RSSI de -101 dBm, se obtuvo un porcentaje total de área cubierto del 35.18% (LTE), 32.18 (14 repetidores) y 4.76 (mmW un nodo eNB).

Con ayuda de los 14 repetidores colocados en zonas de sombra, el porcentaje de cobertura de onda milimétrica con repetidores se asemeja al de LTE para 3km y 4km, al contrario de un solo repetidor que resulta ser menor.

Tabla 8. Resultados de interferencia señal a ruido C/I a 3Km LTE y onda milimétrica.

Interferencia señal a ruido (dBuV/m / dBm)	Valor de C/I LTE	Valor de C/I mmW 14 repetidores	Valor de C/I mmW un nodo eNB
42/-101	-6	-68	-34
50/-93	-4	-55	-28
58/-85	-2	-38	-22
66/-77	0	-25	-16
74/-69	2	-10	-10
82/-61	4	0	-4
90/-53	6	10	2
98/-45	8	24	8
106/-37	10	36	14
114/-29	12	50	20

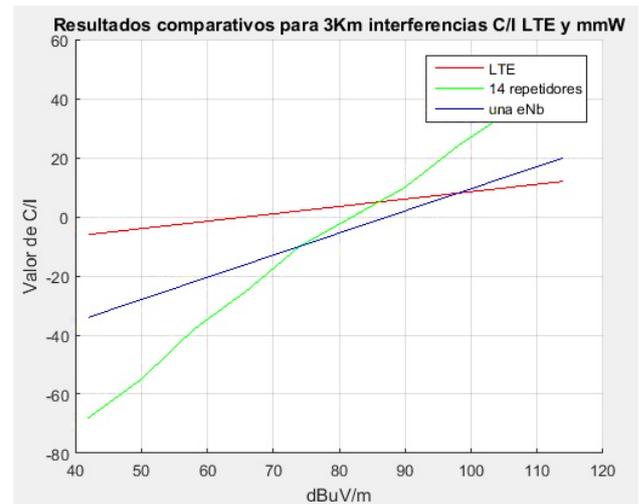


Figura 7. Resultados comparativos para interferencias C/I de LTE y mmW para 3km.

En el gráfico (Figura 7), se realizó un análisis comparativo entre LTE y mmW (para un eNB y para 14 repetidores) en donde el índice de señal a ruido, con una intensidad de campo de 114 dBuV/m y un RSSI de -29 dBm, para LTE es de 12 (numérico), mmW con 14 repetidores es de 50 (numérico) y en el caso de un nodo eNB es de 20 (numérico).

Tabla 9. Resultados de interferencia señal a ruido C/I a 4Km LTE y onda milimétrica.

Interferencia señal a ruido (dBuV/m / dBm)	Valor de C/I LTE	Valor de C/I mmW 14 repetidores	Valor de C/I mmW un nodo eNB
42/-101	-9	-72	-36
50/-93	-6	-58	-30
58/-85	-4	-44	-24
66/-77	0	-30	-18
74/-69	3	-16	-12
82/-61	7	-2	-6
90/-53	9	12	0
98/-45	11	26	6
106/-37	13	40	12
114/-29	15	56	18

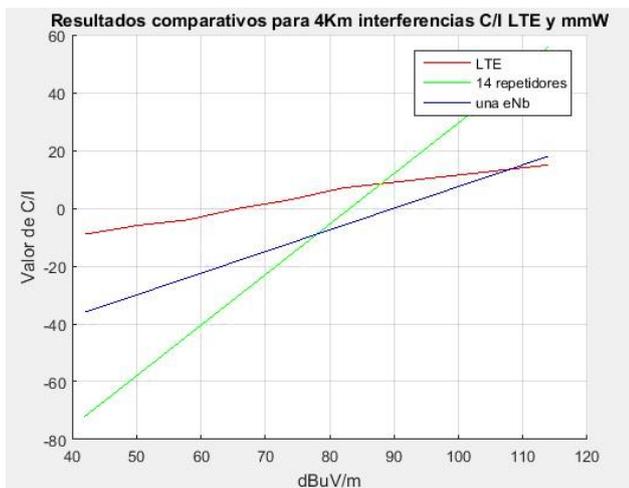


Figura 8. Resultados comparativos para interferencias C/I de LTE y mmW en 4km.

Las gráficas (figura 7 y 8) nos demuestran que se genera más ruido en la transmisión con los 14 repetidores en onda milimétrica (mmW), ya que existen más zonas de sombra y que a grandes frecuencias la señal transmitida, pierde potencia con mayor facilidad en los diferentes obstáculos y las condiciones atmosféricas del sector tomados en cuenta en la cobertura (casas, edificios, árboles, otros).

VI. CONCLUSIONES

Mediante las simulaciones realizadas para frecuencias en LTE a radios de cobertura de 3 y 4 km; a 2165 MHz como el canal de trabajo (tomando en cuenta las condiciones atmosféricas del sector), se obtuvo que una distancia de cobertura óptima para el estudio del área es a 4 Km, ya que este valor representa una celda típica para LTE, obteniendo una mayor área cubierta, a diferencia de los 3 Km, donde la cobertura experimenta una saturación en los niveles de RSSI y RSRP. A 4 km, los niveles de RSSI al cubrir un área de 26.86Km² son de 114/-29, cubrió 0.60% y con un factor de señal a ruido de 6 (numérico). En los extremos de la cobertura, donde los niveles de RSSI fueron de 42/-101 se cubrió 48.70% con un factor de señal a ruido de -6 (numérico).

Los obstáculos y las condiciones atmosféricas de la zona afectan a la cobertura a 71 GHz teniendo la necesidad de usar antenas repetidoras (con un total de 14 repetidores) para cubrir un área de 29.68Km², similar a la de LTE.

Comparando los resultados de LTE y onda milimétrica se concluyó que en los lugares con niveles de RSSI de 114/-29, al trabajar con 71GHz se cubre un porcentaje mayor al de 2.1GHz porque al existir una línea de vista directa, en este caso a las antenas repetidoras, onda milimétrica posee una mayor potencia de transmisión que LTE, a diferencia de los lugares alejados a la antena, donde los niveles de RSSI fueron de 42/-101, ya que el porcentaje de zona cubierta en LTE es mucho mayor al de mmW. En este escenario, onda milimétrica se ve afectada por los obstáculos y las condiciones atmosféricas de la zona antes mencionadas.

Gracias a las simulaciones y a los valores de interferencia obtenidos, se llegó a determinar que para una zona de cobertura LTE (convencional) de rango de cobertura de 4 km, es necesario al menos un total de 14 repetidores con tecnología en onda milimétrica (mmW) y parámetros aplicados, puesto que la cobertura en frecuencias de onda milimétrica (mmW), tiene un alcance de pocos metros por las interferencias generadas por los clutters presentes en el área que generan gran atenuación.

VII. REFERENCIAS

- [1] R. Q. H. Y. Q. G. W. Lili Wei, «Key elements to enable millimeter wave communications for 5G wireless systems,» *IEEE Communications Society*, vol. 21, n° 6, pp. 136-143, 2014.
- [2] GSMA, «Espectro en América Latina,» 4 Junio 2017. [En línea]. Available: <https://www.gsma.com/latinamerica/es/espectro-en-america-latina/>.
- [3] ARCOTEL, «Plan Nacional de Frecuencias Ecuador,» Quito, 2017.
- [4] R. V. A. Elizabeth, «Análisis del estado del arte e innovación en las tecnologías de sistemas de comunicaciones inalámbricas 5G,» Marzo 2016. [En línea]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12401>.
- [5] U. I. d. Telecomunicaciones, «UIT-R,» Enero 2018. [En línea]. Available: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.526-14-201801-I!!PDF-S.pdf.
- [6] F. L. D. Andrés, «Diseño de un protocolo mac para proveer acceso decamétrico inalámbrico usando ondas milimétricas,» 2012. [En línea]. Available: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/111033>.
- [7] M. G. Arun Kumar, «Key Technologies and Problems in Deployment of 5G,» *Communications on Applied Electronics (CAE) - ISSN*, vol. 1, n° 3, pp. 1-4, 2015.
- [8] B. L. W. R. J.-Y. S. J. L. Y. K. Jeongho Park, «IEEE Communications Magazine,» 19 Febrero 2014. [En línea]. Available: 10.1109/MCOM.2014.6736750.
- [9] J. B. Rivera, «Solución para entornos de cobertura esporádica en LTE,» Octubre 2015. [En línea]. Available: https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/25933/PFC_Javier%20Botana_Rivera.pdf.
- [10] ARCOTEL, «www.arcotel.gob.ec,» 12 Diciembre 2012. [En línea]. Available: http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2017/09/Informe-Audiencias-P%C3%BAblicas_.pdf.
- [11] U. I. d. Telecomunicaciones, «UIT-R,» Septiembre 2016. [En línea]. Available: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.676-11-201609-I!!PDF-S.pdf.

- [12] U. I. d. Telecomunicaciones, «UIT-R,» Marzo 2005. [En línea]. Available: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.838-3-200503-I!!PDF-S.pdf.
- [13] I. N. d. M. e. Hidrología, «INAMHI,» 02 07 2018. [En línea]. Available: <http://186.42.174.236/InamhiEmas/#>.
- [14] D. C. M. N. Cable, «Draka,» [En línea]. Available: https://www.prysmiangroup.com/sites/default/files/business_markets/markets/downloads/datasheets/5501-06-RFF-12-Jumper.pdf.
- [15] www.fowiki.com, «Fibra Óptica Wiki,» 2 Junio 2015. [En línea]. Available: <http://www.fowiki.com/b/understand-fiber-attenuation/>.
- [16] I. Á. Calvo, «Universidad Autónoma de Madrid Escuela Politécnica Superior,» Abril 2013. [En línea]. Available: <http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20130423IgnacioAlvarezCalvo.pdf>.
- [17] R. W. H. A. L. T. L. M. P. P. Federico Boccardi, «IEEE Communications Magazine,» 19 Febrero 2014. [En línea]. Available: 10.1109 / MCOM.2014.6736746.