

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**TEMA:
ANÁLISIS DE REUTILIZACIÓN DE FRECUENCIAS PARA CELDAS
CERCANAS EN LA BANDA DE ONDA MILIMÉTRICA**

**AUTOR:
VÍCTOR EDUARDO IÑACASHA MORALES**

**TUTOR:
LENIN WLADIMIR AUCATOMA GUAMÁN**

Quito, enero del 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo Víctor Eduardo Iñacasha Morales, con documento de identificación N° 1720843380, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: “ANÁLISIS DE REUTILIZACIÓN DE FRECUENCIAS PARA CELDAS CERCANAS EN LA BANDA DE ONDA MILIMÉTRICA”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, 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 autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Víctor Eduardo Iñacasha Morales

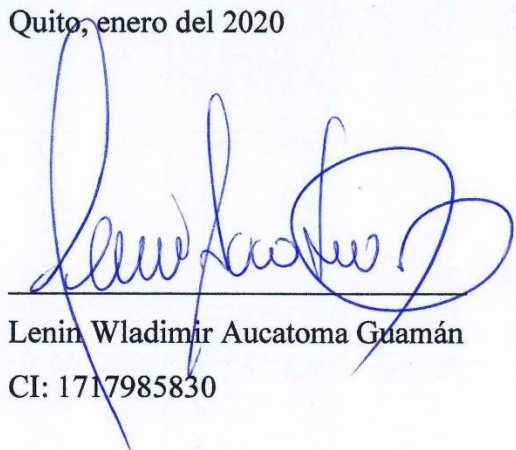
CI: 1720843380

Quito, enero del 2020

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el artículo académico, “ANÁLISIS DE REUTILIZACIÓN DE FRECUENCIAS PARA CELDAS CERCANAS EN LA BANDA DE ONDA MILIMÉTRICA” realizado por Víctor Eduardo Iñacasha Morales, 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 del 2020



Lenin Wladimir Aucatoma Guamán
CI: 1717985830

Análisis de reutilización de frecuencias para celdas cercanas en la banda de onda milimétrica

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

Iñacasha Morales Víctor Eduardo
Ingeniería Electrónica
Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
vinacasha@est.ups.edu.ec

Resumen—El presente artículo describe el análisis de celdas cercanas en la banda de onda milimétrica, empleando reutilización de frecuencias con un factor de 1/3 y usando frecuencias en los rangos de 28 GHz, 38 GHz y 48 GHz. El estudio se desarrolló en el sector urbano, mediante el software de simulación ICS Telecom, con la ayuda del software se realizaron múltiples pruebas para obtener los resultados de porcentaje de interferencia en onda milimétrica. Para el análisis de resultados se tomaron en cuenta parámetros como: frecuencia, potencia, banda de guarda y radio de las celdas. Con los resultados obtenidos se determinaron parámetros para obtener los menores porcentajes de interferencia en cada diseño de celda, así como recomendar distancias mínimas y de reuso entre estaciones base.

Palabras clave: celdas pequeñas, interferencia, onda milimétrica, reuso.

Abstract—This article describes the analysis of nearby cells in the millimeter waveband, using frequency reuse with a factor of 1/3 and using frequencies in the ranges of 28 GHz, 38 GHz and 48 GHz. The study was developed in the sector urban, through the simulation software ICS Telecom, with the help of the software, multiple tests were performed to obtain the results of the percentage of interference in the millimeter wave. For the analysis of results, parameters such as frequency, power, guard band and cell radius were taken into account. With the results obtained, parameters were determined to obtain the lowest interference percentages in each cell design, as well as to recommend minimum and reuse distances between base stations.

Keywords: small cells, interference, millimeter wave, reuse.

I. INTRODUCCIÓN

Los servicios de datos inalámbricos promovidos por Internet y dispositivos móviles inteligentes han sobrevenido en la investigación de las redes 5G, que deberán afrontar requisitos como mayor capacidad, mayor velocidad de datos, menor latencia de extremo a extremo, conectividad masiva de dispositivos, reducción de coste y abastecimiento estable de calidad de experiencia [1], [2].

Las redes 5G se desarrollan en la banda de onda milimétrica (mmW), comprendida entre 30 y 300 GHz, la cual brindará más de 200 veces el espectro de las redes celulares actuales, además por debajo de este rango de frecuencias, banda como la 28 GHz, se están desarrollando estudios importantes en 5G [3], [4]. En la banda de onda milimétrica, también conocida como EHF (Extremely High Frequency), la gama de frecuencias cubre rangos cortos con línea de vista directa LOS, necesaria para que el usuario pueda tener cobertura en su dispositivo. (Banday) Las ondas milimétricas no pueden penetrar los obstáculos como edificios y otros cuerpos, lo cual puede ser usado como una utilidad para la reutilización de frecuencias (clusters) en redes celulares [5]. Por lo tanto, es de vital importancia suministrar un plan eficiente de reutilización de frecuencias para poder cumplir con las expectativas requeridas por 5G en los aspectos de altas velocidades de datos y QoS [6].

Las altas frecuencias generan gran pérdida que puede limitar el área de cobertura en las celdas celulares, pero se soluciona evaluando técnicas de formación de haces para lograr focalizar la potencia de radio hacia la dirección señalada [7]. Las celdas pequeñas (small cells) aumentan la calidad de servicio en redes inalámbricas que trabajan con altas frecuencias como en caso de la banda de onda milimétrica, presentándose además una ventaja interesante ya que estas celdas trabajan a niveles de potencia bajos. Los diferentes tipos de celdas se encuentran detallados en la Tabla 1 [8].

Tabla 1. Características de celdas pequeñas.

Parámetros	Femtocelda	Picocelda	Microcelda	Macrocelda
Potencia (W)	0.001 a 0.25	0.25 a 1	1 a 10	10 a >50
Radio (km)	0.010 a 0.1	0.1 a 0.2	0.2 a 2.0	8 a 30
Usuarios	1 a 30	30 a 100	100 a 2000	>2000
Indoor	✓	✓	✓	
Outdoor		✓	✓	✓

Las interferencias, principalmente, se pueden presentar en un ambiente donde existan varias fuentes transmisoras, debido a

que en el receptor se presenta una señal indeseada referida a otra comunicación y como consecuencia se degrada y dificulta la recepción de la señal deseada. Estas interferencias pueden causar problemas como diafonía en canales de voz, además de llamadas perdidas o bloqueadas en canales de control [9], [10].

La interferencia de tipo co-canal (C/I) usa la misma banda de frecuencias que la señal deseada y es la más perjudicial para los sistemas celulares, para reducir esta interferencia se debe establecer una distancia mínima entre las celdas que permita aplacar los efectos de propagación no recomendables. La interferencia de canal adyacente surge por señal en una banda distinta a la de la señal deseada y se pueden mitigar en su mayoría con la selectividad del transmisor y receptor [9], [10].

II. DISEÑO DE CELDAS

Se utilizará un patrón celular de 7 celdas cercanas con forma hexagonal, organizadas alrededor de la celda central, como se observa en la Figura 1, para determinar el impacto que causan las estaciones interferentes en los diseños planteados. Los diseños planteados se caracterizan, principalmente, por la sectorización de las antenas ubicadas en cada celda, en este caso se plantea utilizar antenas omnidireccionales y trisectoriales, ya que son los tipos más comunes de celdas. La distancia mínima entre 2 celdas hexagonales está definida por $d = \sqrt{3} \times R$, donde “d” es la distancia entre celdas y “R” es el radio de la celda [11].

A. Diseño de celdas omnidireccionales

En la Figura 1 se muestra el diseño de celdas omnidireccionales, en el cual cada celda está provista de una antena y a estas antenas se asignan frecuencias diferentes con un factor de reuso de 1/3, debido a que se utilizan 3 frecuencias diferentes para todo el patrón celular y organizadas de tal forma que no se encuentren celdas adyacentes con la misma frecuencia, con este diseño las celdas tienen un número de estaciones interferentes mayores o iguales a 3 y con un máximo de 6.

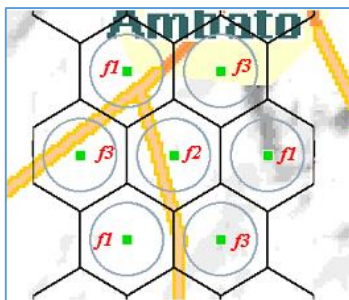


Figura 1. Celdas omnidireccionales simuladas en ICS Telecom, $f_1=28\text{GHz}$, $f_2=38\text{GHz}$ y $f_3=48\text{GHz}$.

La Figura 2 presenta la distribución y numeración de las celdas usadas en este estudio y los diferentes valores de frecuencias representados por cada color. Además, en este diseño se puede determinar la distancia de reuso, determinada

por $D = \sqrt{3} \times n \times R$, siendo “D” la distancia de reuso, “n” el clúster que para el diseño planteado es de 3 y “R” el radio de la celda [12].

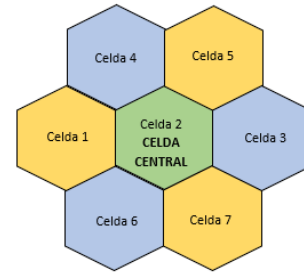


Figura 2. Distribución de celdas y frecuencias para celdas omnidireccionales.

B. Diseño de celdas trisectoriales

En la Figura 3 y 4 se plantean los diseños de celdas trisectoriales, en este caso se disponen de 3 antenas direccionales para cada celda, que comprenden un patrón de radiación de 120° cada una para poder dar cobertura a los 3 sectores de la celda. El patrón de reuso para la reutilización de frecuencias usado en este estudio es de 1/3 por cada celda, pero esta configuración es interna.

Debido a la configuración interna en el reuso de frecuencias de este diseño, el número de estaciones interferente aumenta en comparación al diseño de celdas omnidireccionales, teniendo en este caso un número de estaciones interferentes mayores o iguales a 11 y con un máximo 20.

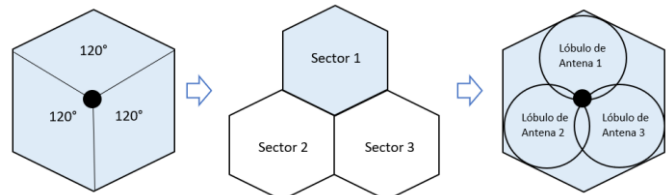


Figura 3. Sectorización de la celda cada 120° .

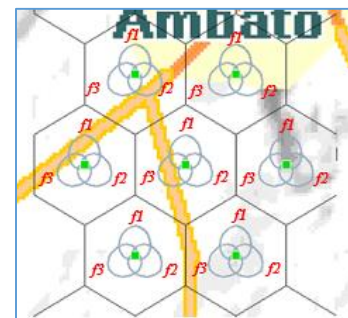


Figura 4. Celdas trisectoriales simuladas en ICS Telecom, $f_1=28\text{GHz}$, $f_2=29,001\text{GHz}$ y $f_3=30,002\text{GHz}$ (banda de guarda= 1 MHz).

III. SIMULACIÓN Y RESULTADOS

A. Parámetros generales de las estaciones base y de cobertura de mmW

En la cobertura realizada mediante la simulación en el software ICS Telecom, se propone la ubicación de gNBs (estaciones base de 5G) en la ciudad de Ambato, ya que se buscó una zona de clima templado, con una extensión alta de terreno y quebradas. Las coordenadas geográficas de la celda central se encuentran a una latitud de 1° 15' 15.8" S y longitud de 78° 37' 21.3" O y la distancia de cobertura usada es de 10 km.

El área de simulación se analiza en el sector urbano de Ambato, en la región Sierra, situada, aproximadamente, a 2.578 msnm. Posee un clima templado con temperaturas media de 14.6 °C, precipitaciones de 42 mm y presión de 744-748 hPa [13], [14]. Estas características han sido tomadas en cuenta al realizar las simulaciones en el software ICS Telecom.

El método de propagación más adecuado para las condiciones de análisis del estudio es la recomendación ITU-R P.452-16 ya que permite evaluar la interferencia entre estaciones situadas en la superficie de la Tierra a frecuencias entre 0,1 y 50 GHz, este método utiliza el modelo de pérdida por difracción Delta-Bullington [15].

Tabla 2. Parámetros experimentales de evaluación para la cobertura de onda milimétrica.

Parámetros	Valores		
Frecuencia	28 GHz	38 GHz	48 GHz
Potencia	0,01 W	0,5 W	1 W
Radio de la celda	0,5 km	1 km	1,5 km
Ganancia de antena	10 dBi		
Pérdidas	1,5 dB		
Altura de la antena Tx	30 m		
Polarización	Vertical		
Ancho de banda	1 GHz		
Banda de guarda	10 KHz	500 KHz	1 MHz
Threshold	42 dB μ V/m		
Max. Uplink y Downlink	10 GHz		
Duplex	5G TDD		
Modulación	256-QAM		
Retardo	1 μ s		

En la Tabla 2 se detallan los parámetros experimentales utilizados en la cobertura para obtener resultados que serán analizados en este estudio de onda milimétrica. Las potencias de las estaciones base tienden a ser bajas en telefonía celular, logrando también con esto reducir el consumo de energía de los receptores móviles [16]. Las antenas en frecuencias en onda milimétrica deben tener alta ganancia, por lo cual en este estudio se propone usar 10 dBi [17]. Para las pérdidas se consideran elementos ideales, es decir se toma en cuenta una pérdida promedio en cables y conectores. Las alturas de las antenas están propuestas con la intención de mejorar la calidad de transmisión del sistema teniendo cuidado de no encarecer los costos de infraestructura. Los valores de banda de guarda están planteados con la finalidad de analizar el comportamiento del

porcentaje de interferencia al ir aumentando este parámetro. El valor de threshold utilizado es de 42 dB μ V/m, el cual expresado en dBm es de -129. Este valor fue tomado de referencia ya que está muy por encima de la sensibilidad de los receptores móviles.

B. Relación portadora/interferencia (C/I)

Mediante este cálculo se conoce la relación entre la potencia de la señal deseada, representada por “C” y la potencia global de la interferencia, representada por “I” [18]. Esta interferencia, también llamada co-canal se causa, principalmente, cuando se utiliza la misma frecuencia portadora entre celdas cercanas, como en el caso de reuso de frecuencias, limitando la capacidad del canal [11]. Esta relación está sujeta a varios parámetros, los cuales serán parte del estudio, pero también se ve afectada por irregularidades del terreno, tipo de antena y otras fuentes de radiación, influyendo directamente en la distancia de reuso y planificación celular [19].

Los radios de celdas propuestos están comprendidos en el rango de microceldas, como se observa en la Tabla 1, con el objetivo de analizar el impacto de interferencia co-canal usando 7 celdas cercanas. En esta sección del artículo se muestran los resultados que se recopilieron de las simulaciones realizadas por el software ICS Telecom usando los parámetros experimentales planteados. Estos resultados de interferencia son mostrados en valores de porcentaje. Para tener una referencia sobre la interferencia permitida, se usará el Criterio de Protección de Interferencia (IPC), descrito por la NTIA. En servicios móviles, se recomienda valores de C/I \geq 9 dB, para lo cual, los resultados obtenidos en porcentaje de interferencia estarán por debajo de la interferencia recomendada [20], [21].

B.1. Relación portadora/interferencia (C/I) para celdas omnidireccionales

Los resultados de relación portadora/interferencia mostrados en las Tablas 3, 4 y 5, para celdas omnidireccionales, se obtuvieron en base a la variación de potencia y radio de la celda de las estaciones base.

Tabla 3. Porcentaje de interferencia para un radio de celda de 0,5 km.

N°	Celdas Frecuencia	% Interferencia		
		P1= 0,02 W	P2= 0,5 W	P3= 1 W
1	48 GHz	75,15	76,39	76,55
2	38 GHz	0,00	0,00	0,00
3	28 GHz	50,87	53,02	54,00
4	28 GHz	58,18	60,13	60,89
5	48 GHz	39,38	40,10	40,97
6	28 GHz	58,64	57,17	56,71
7	48 GHz	49,18	48,26	47,99
Promedio		47,34	47,87	48,16

Tabla 4. Porcentaje de interferencia para un radio de celda de 1 km.

Celdas		% Interferencia		
Nº	Frecuencia	P1= 0,02 W	P2= 0,5 W	P3= 1 W
1	48 GHz	45,97	48,08	48,29
2	38 GHz	0,00	0,00	0,00
3	28 GHz	43,92	44,99	45,56
4	28 GHz	20,99	28,47	30,86
5	48 GHz	27,32	32,06	33,96
6	28 GHz	28,90	27,52	27,19
7	48 GHz	25,30	25,68	25,48
Promedio		27,49	29,54	30,19

Tabla 5. Porcentaje de interferencia para un radio de celda de 1,5 km.

Celdas		% Interferencia		
Nº	Frecuencia	P1= 0,02 W	P2= 0,5 W	P3= 1 W
1	48 GHz	31,76	34,45	35,13
2	38 GHz	0,00	0,00	0,00
3	28 GHz	27,59	28,67	29,27
4	28 GHz	56,28	59,78	60,92
5	48 GHz	27,14	30,47	31,44
6	28 GHz	49,50	49,34	49,33
7	48 GHz	13,16	11,65	11,57
Promedio		29,35	30,62	31,09

Para poder tener una mejor visión de los resultados obtenidos en las Tablas 3, 4 y 5 se elaboró una gráfica que permite determinar cómo se comporta la interferencia para diferentes rangos de celdas y frecuencias, como se observa en la Figura 5.

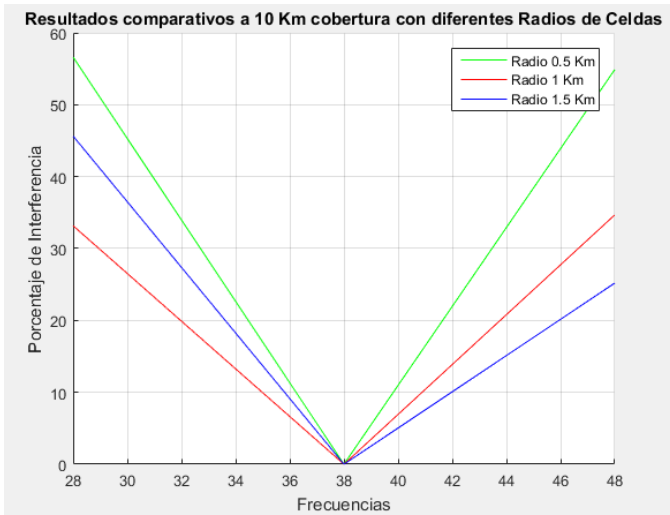


Figura 5. Resultados comparativos a 10 km con diferentes radios de celdas.

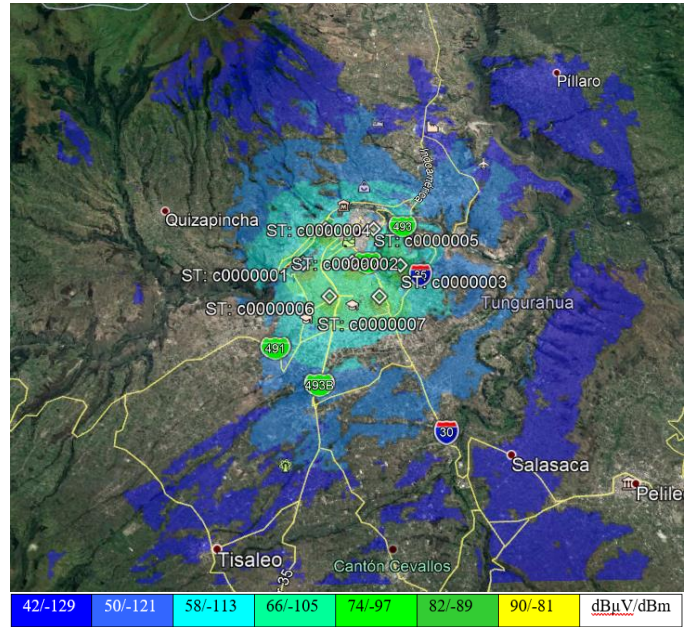


Figura 6. Cobertura realizada a 10 km para celdas omnidireccionales con P=0,02 W y radio de celda de 1000 m.

B.2. Relación portadora/interferencia (C/I) para celdas trisectoriales

En el caso de antenas trisectoriales, además se analiza la variación de la banda de guarda entre frecuencias. Teniendo en cuenta que en celdas trisectoriales se usan 3 frecuencias para cada celda. Los rangos de frecuencias según la banda de guarda utilizada están detallados en la Tabla 6.

Tabla 6. Parámetros de evaluación para celdas trisectoriales según la banda de guarda.

Banda de guarda	Frecuencia (MHz)					
	Rango 1		Rango 2		Rango 3	
10 KHz	28000	38000	29000,01	39000,01	30000,02	40000,02
	29000,01	39000,01	30000,02	40000,02	28000	38000
	30000,02	40000,02	28000	38000	29000,5	39000,5
500 KHz	28000	38000	29000,5	39000,5	30001	40001
	29000,5	39000,5	30001	40001	28000	38000
	30001	40001	28000	38000	29001	39001
1 MHz	28000	38000	29001	39001	30002	40002
	29001	39001	30002	40002	28000	38000
	30002	40002	28000	38000	29001	39001

En los resultados de relación portadora/interferencia mostrados en las Tablas 7, 8 y 9 se realizó un promedio de las bandas de guarda planteadas en la Tabla 6, obteniendo resultados que permitan realizar un análisis comparativo entre los rangos de potencia y radios de celda planteados para cada rango de frecuencia.

Tabla 7. Promedio general de interferencia para el rango 1.

Rango 1	% Interferencia			
Radio de la celda	P1= 0,02 W	P2= 0,5 W	P3= 1 W	% General
500 m	85,78	90,75	91,28	89,27
1000 m	70,83	82,14	83,04	78,67
1500 m	65,65	78,47	80,15	74,75
% General	74,08	83,79	84,83	80,90

Tabla 8. Promedio general de interferencia para el rango 2.

Rango 2	% Interferencia			
Radio de la celda	P1= 0,02 W	P2= 0,5 W	P3= 1 W	% General
500 m	85,71	90,72	91,25	89,23
1000 m	70,58	80,76	81,77	77,71
1500 m	65,54	78,30	80,03	74,62
% General	73,94	83,26	84,35	80,52

Tabla 9. Promedio general de interferencia para el rango 3.

Rango 3	% Interferencia			
Radio de la celda	P1= 0,02 W	P2= 0,5 W	P3= 1 W	% General
500 m	84,82	90,40	90,93	88,72
1000 m	69,19	80,29	81,30	76,92
1500 m	64,27	79,17	79,05	74,16
% General	72,76	83,28	83,76	79,94

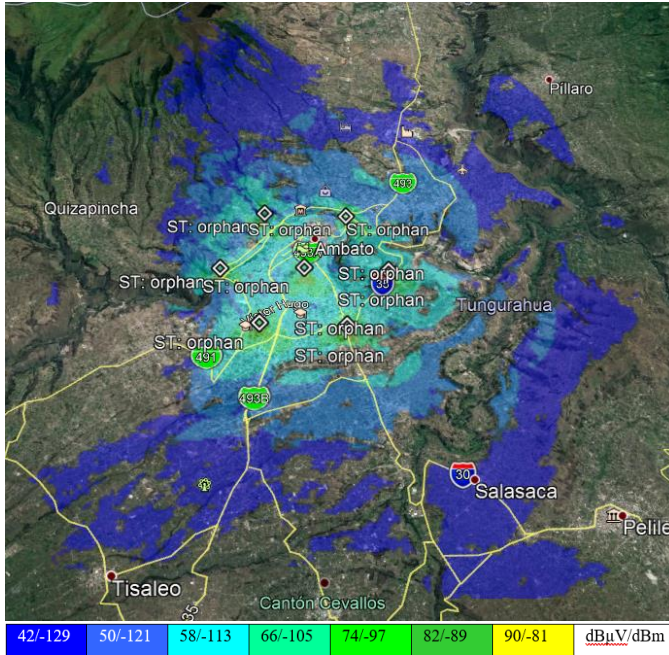


Figura 7. Cobertura realizada a 10 km para celdas trisectoriales con P=0,02 W y radio de celda de 1500 m.

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. Resultados de la variación de parámetros en las celdas omnidireccionales (Ver Tabla 10)

A continuación, se presentan los resultados de interferencia obtenidos tras las simulaciones con diferentes valores de potencias y radios de celdas.

Tabla 10. Promedio general de interferencia general para celdas omnidireccionales.

Celdas	% Interferencia			
Radio	P1= 0,02 W	P2= 0,5 W	P3= 1 W	% General
500 m	47,34	47,87	48,16	47,79
1000 m	27,49	29,54	30,19	29,07
1500 m	29,35	30,62	31,09	30,35
% General	34,73	36,01	36,48	35,74

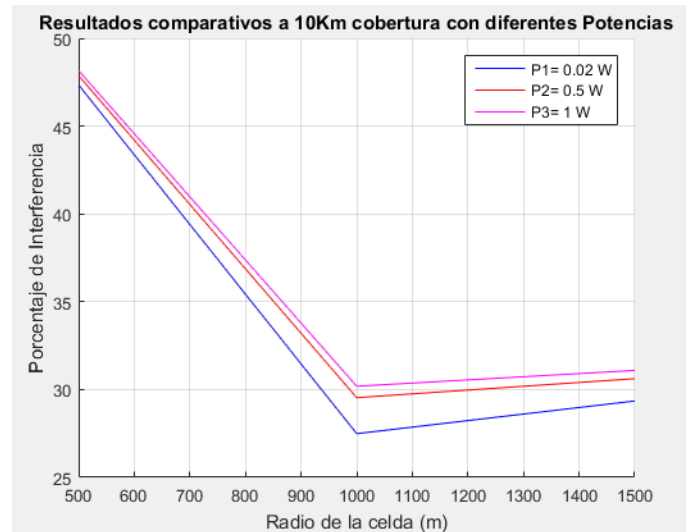


Figura 8. Resultados comparativos para 10 km cobertura para diferentes potencias.

Mediante el análisis se obtuvo que el mejor resultado para celdas omnidireccionales, en el caso de ondas milimétricas, tiene un nivel de interferencia aceptable de 27,49% teniendo en cuenta las siguientes recomendaciones mínimas, como el uso de celdas de 1 km de radio, con una potencia de 0,02 W, una distancia adecuada entre estaciones base de las celdas es de 1,73 km y distancia de reuso de 3 km. Además, hay que tener en cuenta que las celdas de 1,5 km de radio también entregan niveles a tomar en cuenta, con un C/I de 29,35%. En este caso la distancia adecuada entre estaciones base es de 2,6 km y una distancia de reuso de 4,5 km.

B. Resultados de la variación de parámetros en las celdas trisectoriales

Tabla 11. Promedio general de interferencia para celdas trisectoriales para diferentes rangos de frecuencias.

Celdas	% Interferencia				
	Radio	Rango 1	Rango 2	Rango 3	% General
500 m		89,27	89,23	88,72	89,07
1000 m		78,67	77,71	76,92	77,77
1500 m		74,75	74,62	74,16	74,51
% General		80,90	80,52	79,94	80,45

Resultados comparativos a 10Km cobertura con diferentes Rangos de Frecuencias

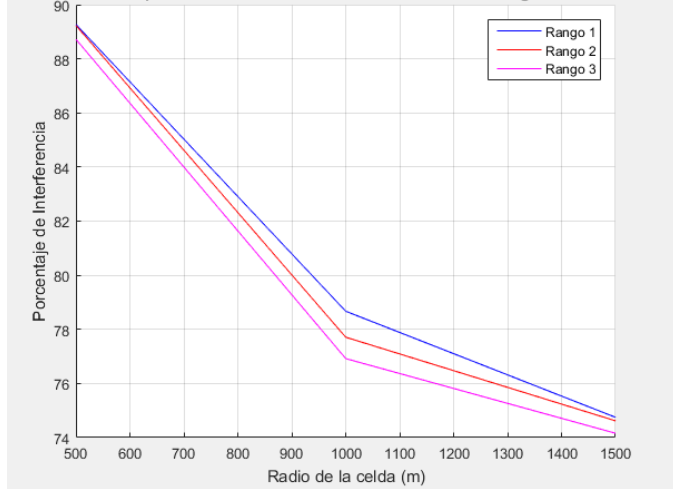


Figura 9. Resultados comparativos para 10 km cobertura para diferentes rangos de frecuencias.

Mediante el análisis se obtuvo que el mejor resultado, en celdas trisectoriales, para diferentes rangos de frecuencia, tiene un nivel de interferencia de 74,16%, usando celdas de 1,5 km de radio, en el rango 3 de frecuencias (48 GHz) como valores mínimos y la distancia adecuada entre estaciones base de las celdas es de 2,6 km.

Además, hay que tener en cuenta que, en las celdas de 1 km de radio, también se obtienen valores de C/I cercanos al mejor resultado obtenido, con valores de 76,92%.

Tabla 12. Promedio general de interferencia para celdas trisectoriales para diferentes rangos de potencias.

Celdas	% Interferencia			% General
	P1= 0,02 W	P2= 0,5 W	P3= 1 W	
500 m	85,44	90,62	91,16	89,07
1000 m	70,20	81,06	82,04	77,77
1500 m	65,15	78,64	79,75	74,51
% General	73,60	83,44	84,31	80,45

Resultados comparativos a 10Km cobertura con diferentes Potencias

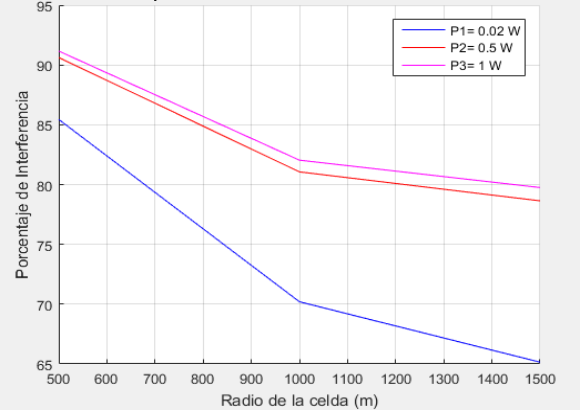


Figura 10. Resultados comparativos para 10 km cobertura para diferentes rangos de potencias.

Las gráficas de la Figura 10 demuestran que, en celdas trisectoriales, para diferentes rangos de potencia, se obtiene el mejor resultado con un nivel de interferencia de 65,15%, usando celdas de 1,5 km de radio, con una potencia de 0,02 W como valores mínimos.

C. Análisis comparativo entre celdas omnidireccionales y trisectoriales

A continuación, se presenta un análisis comparativo general de interferencia, entre los diseños de celdas omnidireccionales y trisectoriales, obtenidos tras las simulaciones con la variación de parámetros como son radio de la celda y potencia.

Tabla 13. Promedio general de interferencia para celdas omnidireccionales y trisectoriales.

Celdas	% Interferencia	
	Omnidireccionales	Trisectoriales
500 m	47,79	89,07
1000 m	29,07	77,77
1500 m	30,35	74,51
% General	35,74	65,89

Resultados comparativos para diferentes Potencias entre Celdas omnidireccionales y trisectoriales

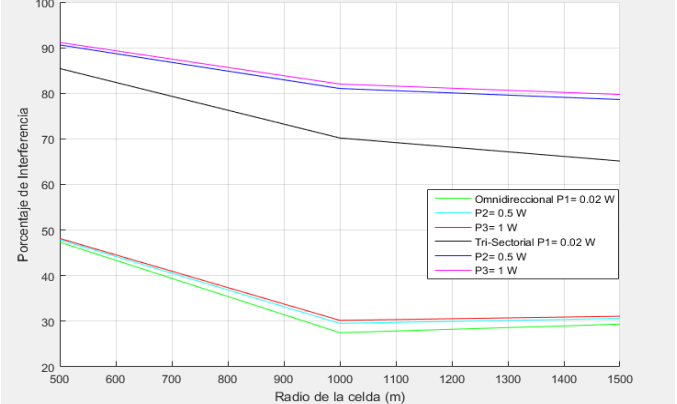


Figura 11. Resultados comparativos para diferentes potencias entre celdas omnidireccionales y trisectoriales.

Los resultados comparativos mostrados en la Figura 11, permiten deducir que, evidentemente, la interferencia será mitigada de manera más eficiente en celdas omnidireccionales, por cualidades propias del diseño como son tener una sola frecuencia por cada celda, por lo que, en el caso de la celda central (Ver Figura 2), no se tiene interferencia, lo cual ayuda en gran medida a reducir los niveles de C/I de las celdas cercanas a esta. Hay que tener en cuenta que los dos modelos de celda son afectados por irregularidades del terreno, como se observa en las Figuras 6 y 7, que no permiten tener una vista directa de propagación (LOS) entre transmisor y receptor, dejando como consecuencia ciertos lugares sin cobertura, además se observa que la mayor parte de la zona de cobertura está por encima del umbral de sensibilidad de $42 \text{ dB}\mu\text{V/m}$, lo cual garantiza una conexión con receptores móviles. También hay que tener en cuenta que el porcentaje de interferencia depende de la distancia de cobertura, ya que a medida que esta distancia aumenta, también lo hará el porcentaje de interferencia.

V. CONCLUSIONES

Por medio de los diseños de celdas propuestos, teniendo en cuenta el impacto distancia vs. frecuencia, se determinaron los parámetros que permiten obtener el menor porcentaje de interferencia posible, siendo para celdas omnidireccionales a partir de un radio de celda de 1 km, con un factor de reuso de $1/3$ y para celdas trisectoriales con un radio de 1,5 km usando frecuencias del rango 3.

Los resultados comparativos para diferentes potencias entre celdas omnidireccionales y trisectoriales determinan una potencia mínima de 0,02 W para obtener los mejores resultados, ya que las potencias en aplicaciones de onda milimétrica, en telefonía celular, tienden a ser bajas.

VI. REFERENCIAS

- [1] E. Hossain and M. Hasan, "5G cellular: Key Enabling Technologies and Research Challenges," *IEEE Instrum. Meas. Mag.*, vol. 18, no. 3, pp. 11–21, 2015.
- [2] A. Gupta and R. K. Jha, "A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies," *IEEE Access*, vol. 3, pp. 1206–1232, 2015.
- [3] S. Rangan, T. S. Rappaport, and E. Erkip, "Millimeter-wave cellular wireless networks: Potentials and challenges," *Proc. IEEE*, vol. 102, no. 3, pp. 366–385, 2014.
- [4] Y. Huo, X. Dong, and W. Xu, "5G cellular user equipment: From theory to practical hardware design," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 13992–14010, 2017.
- [5] Y. Banday, G. M. Rather, and G. R. Begh, "Millimeter Wave in Next generation Cellular Networks : A Study," *2018 Int. Conf. Comput. Power Commun. Technol.*, pp. 233–237, 2018.
- [6] Y. A. Abohamra, M. R. Soleymani, and Y. R. Shayan, "Using beamforming for dense frequency reuse in 5G," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 9181–9190, 2019.
- [7] Y. Takahashi, K. Muraoka, J. Mashino, S. Suyama, and Y. Okumura, "5G downlink throughput performance of 28 GHz band experimental trial at 300 km/h," *IEEE Int. Symp. Pers. Indoor Mob. Radio Commun. PIMRC*, vol. 2018-Sept, no. m, pp. 1140–1141, 2018.
- [8] T. Nguyen, "Small cells help keep 5G connected," *Microwaves RF*, vol. 55, no. 3, pp. 139–140, 2016.
- [9] R. A. C. Oriol Sallent Roig, José Luis Valenzuela González, *Principios de comunicaciones móviles*, 1ª ed. Barcelona: UPC, 2003.
- [10] I. Bernal, "Comunicaciones Inalámbricas Comunicaciones Celulares," *Escuela Politécnica Nacional*, 2017. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/320623603_Comunicaciones_Inalambricas. [Accessed: 25-Nov-2019].
- [11] M. Figueroa de la Cruz, "Sistemas Celulares y Planificación de las Redes," in *Introducción a los sistemas de telefonía celular*, 1a ed., Buenos Aires: Editorial Hispano Americana HASA, 2008, pp. 29–68.
- [12] R. Agüero, "Redes Telefónicas – Tema 3: Dimensionado de sistemas celulares." Universidad de Cantabria, pp. 1–44.
- [13] FDSTAR, "Clima en Ambato." [Online]. Available: <https://es.meteocast.net/detailed-forecast/ec/ambato/>. [Accessed: 04-Dec-2019].
- [14] Climate-Data.org, "Clima Ambato: Temperatura, Climograma y Tabla climática para Ambato." [Online]. Available: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-de-tungurahua/ambato-2957/>. [Accessed: 04-Dec-2019].
- [15] Unión Internacional de Telecomunicaciones, "Recomendación UIT-R P.452-16 Procedimiento de predicción para evaluar la interferencia entre estaciones situadas en la superficie de la Tierra a frecuencias superiores a unos 0,1 GHz," vol. 16, pp. 1–61, 2015.
- [16] L. E. Mena, "Diseño e implementación de un bloqueador de teléfonos celulares para banda GSM que operan en la banda B," Escuela Politécnica del Ejército, 2013.
- [17] D. Santillán-Haro, E. Antonino-Daviu, D. Sánchez-Escuderos, and M. Ferrando-Bataller, "Design of a high-gain millimeter-wave antenna using characteristic modes," *IET Conf. Publ.*, no. CP741, 2018.
- [18] J. M. Hernando Rábanos, L. Mendo Tomás, and J. M. Riera Salís, *Comunicaciones móviles*, 3ª ed. Madrid: Editorial Universitaria Ramón Areces, 2015.
- [19] J. M. Huidobro, "1.5 la tecnología celular," in *Comunicaciones móviles: sistemas GSM, UMTS y LTE*, Madrid: RA-MA Editorial, 2014, pp. 39–63.
- [20] Unión Internacional de Telecomunicaciones, "Recomendación UIT-R M.1073-1 Sistemas celulares digitales de telecomunicaciones móviles terrestres," pp. 1–62, 1997.
- [21] A. Paul *et al.*, "NTIA Report 05-432 Interference Protection Criteria," 2005.