



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Caracterización de las ondas milimétricas para determinar su
posible aplicación en la Quinta generación de
comunicaciones inalámbricas.**

AUTOR:

Sánchez Núñez, Carlos Javier

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

M. Sc. Zamora Cedeño, Néstor Armando

Guayaquil, Ecuador

6 de Marzo de 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr.
Sánchez Núñez, Carlos Javier, como requerimiento para la obtención del
título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**.

TUTOR

M. Sc. Zamora Cedeño, Néstor Armando

DIRECTOR DE CARRERA

M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 6 días del mes de Marzo del año 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Sánchez Núñez, Carlos Javier**

DECLARÓ QUE:

El trabajo de titulación “Caracterización de las ondas milimétricas para determinar su posible aplicación en la Quinta generación de comunicaciones inalámbricas.” previo a la obtención del Título de **Ingeniero en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 6 del mes de Marzo del año 2018

EL AUTOR

SÁNCHEZ NÚÑEZ, CARLOS JAVIER



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Sánchez Núñez, Carlos Javier**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “Caracterización de las ondas milimétricas para determinar su posible aplicación en la Quinta generación de comunicaciones inalámbricas.”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 6 del mes de Marzo del año 2018

EL AUTOR

SÁNCHEZ NÚÑEZ, CARLOS JAVIER

REPORTE DE URKUND

URKUND

Documento [Titulacion-Sanchez.docx](#) (D36061927)
Presentado 2018-03-02 07:47 (-05:00)
Presentado por Néstor Zamora (nestor.zamora@cu.ucsg.edu.ec)
Recibido nestor.zamora.ucsg@analysis.orkund.com
Mensaje Analisis Urkund - Titulacion Sanchez [Mostrar el mensaje completo](#)
4% de estas 32 páginas, se componen de texto presente en 3 fuentes.

Lista de fuentes Bloques

Categoría	Enlace/nombre de archivo
	Trabajo de Titulación Sánc
	Trabajo de Titulación Sánc
	Trabajo de Titulación Alejar
	Trabajo de Titulación Alejar
	http://www.asifunciona.com

Fuentes alternativas 0

FACULTAD DE EDUCACION TECNICA PARA EL DESARROLLO

INGENIERIA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

Caracterización de las ondas milimétricas para determinar su posible aplicación a la Quinta generación de comunicaciones inalámbricas.

AUTOR: Sánchez Núñez, Carlos Javier

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de Ingeniero en Telecomunicaciones

TUTOR: Ing.

Néstor Zamora

Guayaquil, Febrero año 2018

I

FACULTAD DE EDUCACION TECNICA PARA EL DESARROLLO

DEDICATORIA

A mi familia en general, quienes me han sabido apoyarme de manera incondicional, compartir conmigo buenos y malos momentos. Ellos supieron darme la fortaleza cada vez que me resbale en este camino, para así poder levantarme y continuar en la lucha hasta logra este gran objetivo.

A mis profesores, gracias por su tiempo, por su apoyo, así como la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional

EL AUTOR

SÁNCHEZ NÚÑEZ, CARLOS JAVIER

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más.

A mi madre por ser la persona quien más me dio fuerzas para lograr culminar esta etapa y me ha acompañado durante todo mi trayecto estudiantil, a mi padre quien con su esfuerzo y trabajo solvento mi carrera universitaria en gran instancia pudiendo así llegar a esta etapa. También un agradecimiento especial a mi tutor, quien día a día supo guiarme en mi Tesis con sus conocimientos hasta lograr el objetivo y poder concluirla de manera eficiente.

EL AUTOR

SÁNCHEZ NÚÑEZ, CARLOS JAVIER



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESÚS
DECANO

f. _____

M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO
COORDINADOR DE ÁREA

f. _____

M. Sc. BOHORQUEZ HERAS, DANIEL BAYARDO
OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XII
RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XIV
CAPÍTULO 1. Generalidades.....	15
1.1 Introducción.....	15
1.2 Antecedentes del problema.....	17
1.3 Definición del problema.	19
1.4 Objetivos	19
1.4.1 Objetivo General.	19
1.4.2 Objetivos Específicos.....	19
1.5 Hipótesis.....	19
1.6 Metodología a aplicarse en este trabajo de investigación.	19
CAPÍTULO 2. Fundamentos teóricos.....	20
2.1 Tecnología 4G y 5G	20
2.2 Breve reseña histórica de la tecnología 4G.....	20
2.2.1 Características técnicas de 4G.	21
2.2.2 La Tecnología 5G.	22
2.3 La evolución a 5G.....	23
2.3.1 De 3GPP hacia 5G.	23
2.4 Demanda insatisfecha de datos LTE ubicuos.	27
2.5 Factores clave que afectan las tasas de datos LTE.	29
2.5.1 Estado actual de LTE.....	31
2.5.2 Diferencias clave entre las interfaces de radio 4G y 5G.	31
CAPÍTULO 3: Caracterización de las ondas milimétricas	35
3.1 El espectro radioeléctrico.	35
3.2 Visión general de la tecnología de las ondas milimétricas.	37
3.3 Reseña histórica.....	38
3.4 Las bandas y el ancho de banda.....	39
3.5 Características de propagación.....	40
3.6 Fiabilidad de rendimiento.	42
3.7 Frecuencias licenciadas.	43

3.8	Beneficios importantes.	45
3.8.1	Ancho de banda no apareado con capacidad escalable.....	45
3.8.2	Haz estrecho con implementaciones altamente escalables..	45
3.8.3	Espectro licenciado.....	46
3.8.4	Tecnología madura con soluciones de varios proveedores. .	47
3.9	Aplicaciones de la tecnología milimétrica.	48
3.9.1	Servicios de red metropolitanos.....	48
3.9.2	Backhaul Celular/WiMAX.....	49
3.9.3	Sistemas de Antenas Celulares Distribuidas.	50
3.9.4	Recuperación de fallas y redundancia.....	51
3.9.5	Redes empresariales y de Campus.....	52
CAPÍTULO 4. Las ondas milimétricas aplicadas a 5G.....		53
4.1	Principios para la gestión del espectro.	53
4.2	El espectro de las ondas milimétricas.	54
4.3	Obstáculos.	55
4.4	Posibles aplicaciones para la banda de 30 a 300 GHz.	56
4.5	Investigación de 5G.....	57
4.6	Diseño de sistemas de ondas milimétricas.....	58
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		63
5.1	CONCLUSIONES.....	63
5.2	RECOMENDACIONES	64
Bibliografía.....		65

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2

Figura 2. 1: Ecosistema 5G: Habilitar una economía movilizada	23
Figura 2. 2: Visión y objetivos	24
Figura 2. 3: LTE Advanced Pro-UE características que crecen en complejidad.....	25
Figura 2. 4: Efecto de rueda volante de datos	27
Figura 2. 5: Redes Avanzadas LTE (CA).....	31

Capítulo 3

Figura 3. 1: Espectro electromagnético	36
Figura 3. 2: .C Bose demuestra la onda milimetrica en 1897	38
Figura 3. 3: Comparación del haz de ondas milimétricas y microondas	46
Figura 3. 4: Extensión de las redes metropolitanas	49
Figura 3. 5: Sistema inalámbrico de ondas milimétricas para DAS.....	51

Capítulo 4

Figura 4. 1: Absorción atmosférica de las ondas milimétricas	58
Figura 4. 2: Antenas de bocina montadas sobre cabezales RF de ondas milimétricas hechas por SiiversIMA en NYU WIRELESS	60
Figura 4. 3: Cabezales RF de onda milimetrica montadas en un plato giratorio	61

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 2

Tabla 2. 1: Categoría de Dispositivo - Enlace descendente	29
Tabla 2. 2: Categoría de Dispositivo - Enlace ascendente	30

Capítulo 3

Tabla 3. 1: Designaciones de banda CCIR.....	37
Tabla 3. 2: Pérdidas de señal en la atmósfera.....	41
Tabla 3. 3: Pérdidas de señal debido a la lluvia.....	41
Tabla 3. 4: Rendimiento de un sistema típico	43

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó el diseño una antena de resonancia de orden cero (ZOR) con metamateriales utilizando capacitores interdigitales a la frecuencia de 2.45 GHz. La antena diseñada presenta un buen acople de impedancias, con pérdidas de retorno en el orden de los -53 dB con una directividad de 3,5 dB a la frecuencia de operación. Se realizó un análisis de la tecnología 5G, ya que la comunicación inalámbrica se ha expandido hacia segmentos adyacentes como la automoción, la conducción autónoma, las comunicaciones tipo máquina, la infraestructura inteligente y las aplicaciones aun no consideradas, donde así la complejidad seguirá aumentando y la búsqueda de soluciones eficaces será la tarea más importante para los expertos en tecnología inalámbrica que están trayendo conectividad a las nuevas verticales del mercado y a todo el mundo. Este trabajo se realizó primero aplicando el método exploratorio para analizar la bibliografía existente acerca de las antenas, sus características de radiación y las herramientas computacionales. Después se usó el método descriptivo para usar los datos obtenidos para diseñar una antena de resonancia de orden cero (ZOR) con metamateriales a la frecuencia de 2.45 GHz. Se verifico la onda milimétrica que ocupa la banda de espectro entre 30 y 300 GHz y las frecuencias más altas significan mayores velocidades de transmisión por lo que este corto alcance puede ser usado como una ventaja mediante el uso de pequeñas estaciones base que se conectan a través de enlaces de ondas milimétricas usando diferentes configuraciones.

Palabras claves: MICROBANDA, METAMATERIALES, ZOR, CAPACITOR INTERDIGITAL, DS, MULTIPLEXACION

ABSTRACT

In the present work, a zero order resonance antenna (ZOR) with metamaterials was designed using interdigital capacitors at a frequency of 2.45 GHz. The designed antenna has a good impedance coupling, with loss of return in the order of - 53 dB with a directivity of 3.5 dB at the operating frequency. An analysis of the 5G technology was carried out, since wireless communication has expanded to adjacent segments such as the automotive industry, autonomous driving, machine-type communications, intelligent infrastructure and applications not yet considered, where complexity will continue to increase and The search for effective solutions will be the most important task for the experts in wireless technology that are bringing connectivity to the new verticals of the market and all over the world. This work was carried out first applying the exploratory method to analyze the existing bibliography about the antennas, their radiation characteristics and the computational tools. The descriptive method was then used to use the data obtained to design a zero-order resonance antenna (ZOR) with metamaterials at the frequency of 2.45 GHz. The millimeter wave occupied by the spectrum band between 30 and 300 GHz was verified and the Higher frequencies mean higher transmission speeds so this short range can be used as an advantage through the use of small base stations that are connected through millimeter wave links using different configurations.

Keywords: MICROSTRIP, METALMATERIALS, ZOR, INTERDIGITAL CAPACITOR, DS, MULTIPLEXING

CAPÍTULO 1. Generalidades

1.1 Introducción

A raíz de la implementación de las primeras redes de tecnología celular, los fabricantes de dispositivos móviles y las redes que las conectan han establecido nuevos requerimientos en lo referente a tasas de transmisión, capacidad y otros parámetros técnicos, a cada etapa correspondiente a tales especificaciones se la denomina "generación" y se la representa por la numeración que le corresponde de acuerdo al orden de aparición y se añade la letra G.

De esta manera se ha llegado en la actualidad a la cuarta generación conocida como 4G, a través de cuyas redes digitales inalámbricas, los teléfonos inteligentes (Smartphone) y las tablets establecen comunicaciones de voz y datos con anchos de banda para transmitir millones de bits por segundo. Estas tasas de datos dependen del operador, la mayoría de los cuales implementan redes con capacidad suficiente para permitir a los abonados descargar archivos con videos de larga duración, superiores a un Gigabyte, en pocos minutos (Greenemeier, 2015).

Hoy en día, ya se habla acerca de la nueva generación, la 5G inalámbrica, la cual deberá evolucionar en lo referente al desempeño para administrar el tráfico de las redes celulares cada día más creciente debido a la necesidad de transportar "pesados" archivos multimedia. Cisco Systems emite un índice de redes móviles (Visual Networking Index, VNI), el cual en su última edición indica que el tráfico de datos móviles se incrementará diez veces más globalmente hasta el año 2019, con lo cual se alcanzaría los 24,3 exabytes mensualmente en el mundo.

En el informe indicado de la VNI se indica que en el año los usuarios de internet fueron el 44% de la población global y se espera que para el año 2021 esa cifra alcance al 58%. Los dispositivos y conexiones por persona fueron de 2.3 en 2016 y se pronostica que llegarán a 3.5 en 2021. En los aspectos técnicos, las velocidades promedio de transmisión fueron de 27.5 Mbps en

2016 y serán de 53.0 en 2021. El tráfico promedio por persona mensualmente considerando enlaces de subida y bajada de información, fueron de 12.9 GB en 2016 y alcanzarán los 35.5 GB en 2021 (CISCO, 2017).

Aún no se han publicado especificaciones de 5G, sin embargo se considera que deberá ofrecer enlaces a Internet aproximadamente 40 veces más veloces y con una cobertura cuatro veces mayor a la de 4G Long Term Evolution (LTE). Independientemente de lo indicado, 5G está siendo probada en Finlandia, Rusia y Corea del Sur (Greenemeier, 2015).

Entre las tecnologías que en teoría se presentan como las más competentes de 5G que están siendo examinadas es la utilización de señales de alta frecuencia, esto es en la banda de longitudes de onda milimétrica, que ofrecen la ventaja de poder fijar un mayor ancho de banda para transmisiones de video e información multimedia con mayor velocidad y superior calidad. Además también se estudian tecnologías que permitan que mediante un único equipo celular se acceda a diferentes redes inalámbricas incrementándose así la conectividad y las tasas de transmisión.

De manera general, para frecuencias de operación mayores, el alcance de transmisión es menor, las ondas no pueden atravesar de manera fácil los muros. Dispositivos tales como los convertidores analógico-digitales para este rango de frecuencia son costosos. Aún se están analizando las ondas milimétricas y comprobando sus capacidades. Además hay que añadir que si no existe una línea de vista (*Line of Sight*, LOS) entre transmisor y receptor (figura 1.1), se producirá una gran atenuación de la señal, por lo cual se profundizan estudios de rendimiento respecto a la seguridad de la transmisión (Greenemeier, 2015).

En la figura 1.1 se observan tres casos: el primero corresponde a una línea de vista clara y sin obstáculos cuya zona de Fresnel está libre; en el segundo caso se observa una propagación casi limpia, algunos obstáculos afectan parte de la zona de Fresnel pero que presenta una línea de vista clara entre

las antenas y finalmente en el tercer caso, la zona de Fresnel y la línea de vista están obstaculizados impidiendo la transmisión. La zona de Fresnel mencionada y que aparece en los diagramas de la figura 1.1 es un fenómeno electromagnético, en la cual las ondas de luz o de radio se difractan o se doblan ante obstáculos sólidos cerca de su trayectoria y las ondas que se reflejan fuera de los obstáculos pueden llegar desfasadas respecto a las señales que van directamente a la antena receptora reduciendo así la potencia de la señal recibida (L-com, 2017).

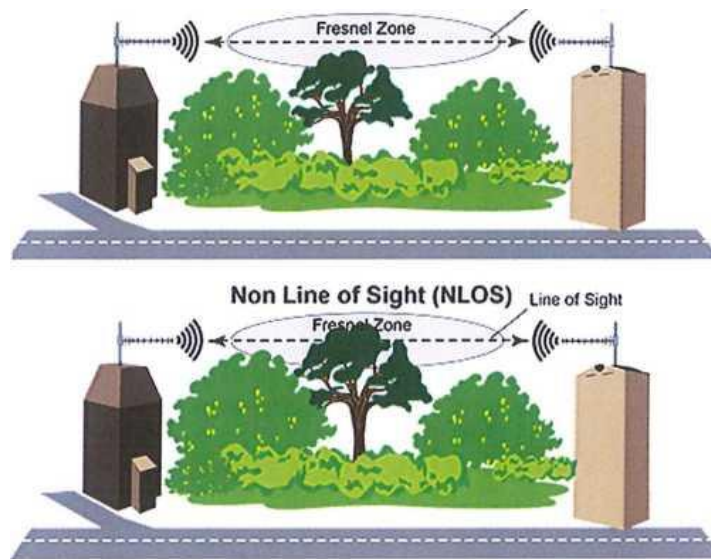


Figura 1.1: Línea de vista de transmisión
Fuente: (L-com, 2017)

Actualmente se estudian nuevas formas de acceder más eficientemente al espectro radioeléctrico por la necesidad de 5G y en tales estudios surge el papel que las frecuencias de ondas milimétricas, en particular, podrían desempeñar en este desarrollo.

1.2 Antecedentes del problema.

El crecimiento exponencial producido en la tecnología inalámbrica ya mencionado en el punto anterior, ha motivado el desarrollo de estudios para la implementación de un nuevo estándar para considerar todas las características de esta nueva generación de comunicación celular.

Es importante tener en cuenta en este punto que se trata de miles de millones de usuarios, dispositivos y conexiones, aspectos que un nuevo estándar debe afrontar, considerando que 4G no podrá responder de manera suficientemente eficiente como para operar este gran crecimiento, debido en gran parte al tráfico de video móvil. Los teléfonos inteligentes, las tablets y las aplicaciones generadas por las redes sociales y los videos compartidos han producido un desarrollo en el tráfico de video móvil para que comprenda en la actualidad más de la mitad de todo el tráfico móvil.

Adicionalmente, los usuarios tienen grandes expectativas respecto al futuro de los servicios inalámbricos, esperan un alto nivel de confiabilidad, bajos niveles de retraso al cargar o descargar información (latencia) y conectividad constante, en todo momento y ubicación. El surgimiento del concepto de Internet de las Cosas, que implica nuevos tipos de dispositivos conectados digitalmente, el aumento del uso de la tecnología móvil en aspectos de salud, la red eléctrica inteligente (SG Smart Grid) y la red de vehículos generan nuevas expectativas en lo que concierne a la tecnología inalámbrica, fundamentalmente en lo referente a velocidad y confiabilidad.

Entre las diferencias principales entre 4G y 5G, cabe destacar que ésta última podrá trasladar señales inalámbricas a un rango de frecuencia más alto, utilizando longitudes de onda milimétricas con frecuencias entre 30 y 300 gigahertz (GHz) en el espectro radioeléctrico. Esta característica permitirá el uso de un gran ancho de banda y por consiguiente aliviará la congestión que actualmente se produce en el tráfico inalámbrico. Esta región del espectro electromagnético es empleada en la actualidad por sistemas tales como los de radar, satélites y varias aplicaciones militares, sin embargo es menos ocupada que las bandas empleadas actualmente. Adicionalmente, 4G opera con tasas de datos de cientos de megabits por segundo y 5G ofrece operar en el rango de gigabits por segundo. Es posible que 5G no pueda trabajar con tales velocidades siempre y en toda ubicación, pero en definitiva reducirá las tasas de latencia en general.

1.3 Definición del problema.

La necesidad de caracterizar las ondas milimétricas para determinar su posible aplicación en la Quinta Generación de comunicaciones inalámbricas.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General.

Caracterizar las ondas milimétricas para determinar su posible aplicación en la Quinta Generación de comunicaciones inalámbricas.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- Analizar las características de la tecnología 4G y las que se considera tendrá la quinta generación de tecnología inalámbrica.
- Establecer las diferencias entre 4G y 5G.
- Caracterizar las ondas milimétricas para determinar su posible aplicación en la Quinta Generación de comunicaciones inalámbricas.

1.5 Hipótesis.

La caracterización de las ondas milimétricas permitirá determinar si este rango de frecuencias del espectro electromagnético puede ser empleado en la quinta generación de comunicaciones inalámbricas.

1.6 Metodología a aplicarse en este trabajo de investigación.

Este trabajo parte de la aplicación del método exploratorio, puesto que la tecnología 5G aún está en estudio y por lo tanto se analizará la bibliografía existente al respecto, sus características, así como de la 4G para determinar los parámetros más importantes a considerar en este estudio. Igual se procede con la caracterización de las ondas milimétricas.

Luego se aplica el método descriptivo para aplicar los datos obtenidos en la investigación bibliográfica para determinar la posible utilización de las ondas milimétricas en la quinta generación de comunicaciones inalámbricas.

En el trabajo se aplicó el paradigma Empírico-Analítico con enfoque Cuantitativo y el diseño de la investigación es Pre-Experimental.

CAPÍTULO 2. Fundamentos teóricos

2.1 Tecnología 4G y 5G

En el último año ha crecido el interés en la tecnología 5G, en los grupos de investigación en el campo de las telecomunicaciones, prueba de esto es que empresas en EE.UU., Europa, Corea del Sur, China y Japón pretenden desarrollar este tipo de sistemas, impulsando proyectos de diseño, pruebas e implementación en busca de este objetivo, considerándose que los sistemas 5G estarán operando antes del año 2020.

2.2 Breve reseña histórica de la tecnología 4G.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) define en el año 2002 la visión estratégica para la tecnología 4G y tres años después se establece para ella como tecnología de transmisión la versión multiusuario OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Múltiple Access). En el mismo año en Corea del Sur la empresa KT (Korea Telecom) presenta el servicio móvil WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) y al siguiente año (2006) lanza el primer celular con servicio de esta tecnología. En el mismo año la compañía de telecomunicaciones Sprint Nextel decide invertir cinco billones de dólares en el desarrollo de WiMAX.

En el año 2007, en Japón la empresa NTT DoCoMo probó un prototipo de 4G con un sistema 4x4 MIMO (Multiple-input Multiple-output) al cual se denomina VSF- OFCDM (Variable Spreading Factor — Orthogonal Frequency and Code División Multiplexing) con una tasa de 100 Mbit/s en movimiento, y 1 Gbit/s detenido. En el año 2008 el Sector de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-R), o Radiocommunication Sector of the International Telecommunication Union (ITU-R), emite una circular definiendo las características de rendimiento de IMT-Avanzado (International Mobile Telecomunicaciones).

También en el año 2008, el fabricante de teléfonos inteligentes de Taiwán, High Tech Computer Corporation (HTC) presenta el primer celular

con WiMax (Max 4G). Ya en 2009, la compañía lituana LRTC pone en operación la primera red 4G en los países bálticos. Y en el mismo año, TeliaSonera informa la primera implementación comercial de LTE (Long Term Evolution), en Estocolmo y Oslo, empleando un módem de Samsung. La empresa EMT en Estonia en 2010, realiza la etapa de prueba de la red LTE 4G. De esta manera, diversas empresas de telecomunicaciones fueron desarrollando e implementando sus redes LTE en el mundo.

2.2.1 Características técnicas de 4G.

La tecnología 4G ofrece tasas superiores a los 300 Mbps, con técnicas de alto desempeño como MIMO y OFDM. Su evolución a partir de 3G ha sido definida por el estándar 3GPP (Third Generation Partnership Program), de esta manera, se aplican los términos LTE para el acceso vía radio y SAE (Service Architecture Evolution) para la sección del núcleo de la red (EcuRed, 2017).

Los requerimientos ITU y estándares 4G definen los siguientes parámetros (EcuRed, 2017):

- En el acceso vía radio deja de emplear CDMA (Code División Múltiple Access) de UMTS (Universal Mobile Telecommunications System).
- Emplea SDR (Software Defined Radios) en el acceso vía radio.
- Toda la red es IP (Internet Protocol).
- Ofrece tasas máximas de 100 Mbps en enlace descendente y 50 Mbps en enlace ascendente y un ancho de banda en ambos sentidos de 20Mhz.
- Sus nodos principales son Evolved Node B (BTS, Base Telecommunication Stations, evolucionada), y el System Access Gateway, como interfaz a Internet, enlazado al Evolved Node B. Otro componente es el servidor RRM (Radio Resource Management), empleado para permitir la interoperabilidad con otras tecnologías.

En resumen, 4G ofrece como evolución de 3G, mayor velocidad, cobertura, planes de atención programada, entre otras características.

2.2.2 La Tecnología 5G.

Luego de seis años de la implementación de LTE, es importante reconocer la transformación que ha producido en las personas de manera global, de tal manera que se puede considerar que LTE ha causado un impacto superior al que otra tecnología pudiera causar en el impulso de las economías desarrolladas y emergentes, puesto que su utilidad alcanza a todos los géneros de usuarios finales.

Gracias a la aceptación de teléfonos inteligentes y el acceso a la información mediante LTE, la industria celular se ha convertido en el generador de innovación más grande del mundo, basta con considerar la cantidad de nuevos usuarios que ahora acceden a Internet, produciendo nacientes oportunidades financieras que nunca se hubiera podido suponer. Sin importar la ubicación, clase socioeconómica, nivel de educación o etnia, los resultados alcanzados por el acceso son indudables globalmente. Los abonados a los servicios celulares actualmente alcanzan a 4.800 millones en el mundo y se espera que lleguen a 5.600 millones en 2020 (Gammel, Pehlke, Brunel, Kovacic, & Walsh, 2017).

Casi en todo el mundo, el celular es el principal dispositivo para acceder a Internet, incluso en zonas que carecen de otro tipo de infraestructura para el acceso. Se espera que para 2020 aproximadamente el 60% de la población mundial accederá a Internet móvil, lo cual deja al otro 40% sin acceso (GSMA, 2016).

Lo indicado demuestra que la evolución de la tecnología celular estará determinada por el incremento de cobertura para las zonas rurales, así como la mejora del acceso a los servicios móviles. Aunque queda claro que el futuro no es sólo conectividad, sino las oportunidades que ésta permite, en la figura 1.1 se plasma esta idea, una conexión global a una forma más eficiente de hacer las cosas, donde todos pueden aprovechar las redes y servicios móviles, generando una "economía movilizadora" en el mundo



Figura 2. 1: Ecosistema 5G: Habilitar una economía movilizada
Fuente: (Gammel, Pehlke, Brunel, Kovacic, & Walsh, 2017)

2.3 La evolución a 5G.

Continuamente se publican nuevos artículos y avisos anunciando como mejorará la vida con 5G. Y al parecer no habrá que esperar mucho para conocer algunos de los servicios asociados con esta tecnología porque se trata de un proceso evolutivo a partir de LTE, aunque también puede anticiparse una revolución con el 5 G New Radio (NR). La denominada evolución de LTE Advanced Pro (Release 13/14) a 5G (Release 15/16/17) presentará grandes aumentos en el rendimiento de la información. Puesto que se esperan tasas promedio en el rango de las decenas de gigabits por segundo, satisfaciendo la definición de cualquier equipo 5G.

El empleo de técnicas 3GPP estandarizadas e incluidas en las versiones 13, 14 y 15, permitirá tasas de transmisión 2 a 3 veces mayores mediante una combinación de métodos estándar 3GPP avanzados (Gammel, Pehlke, Brunel, Kovacic, & Walsh, 2017).

2.3.1 De 3GPP hacia 5G.

Esta evolución de LTE Advanced Pro (Release 13) a 5G, corresponde a la iniciativa Red 2020 de la UIT y otros grupos de trabajo interesados en alcanzar ese objetivo, habiéndose fijado metas y objetivos específicos para

5G. Han definido tres direcciones primordiales para el éxito de esta nueva generación como se muestra en la figura 1.2.

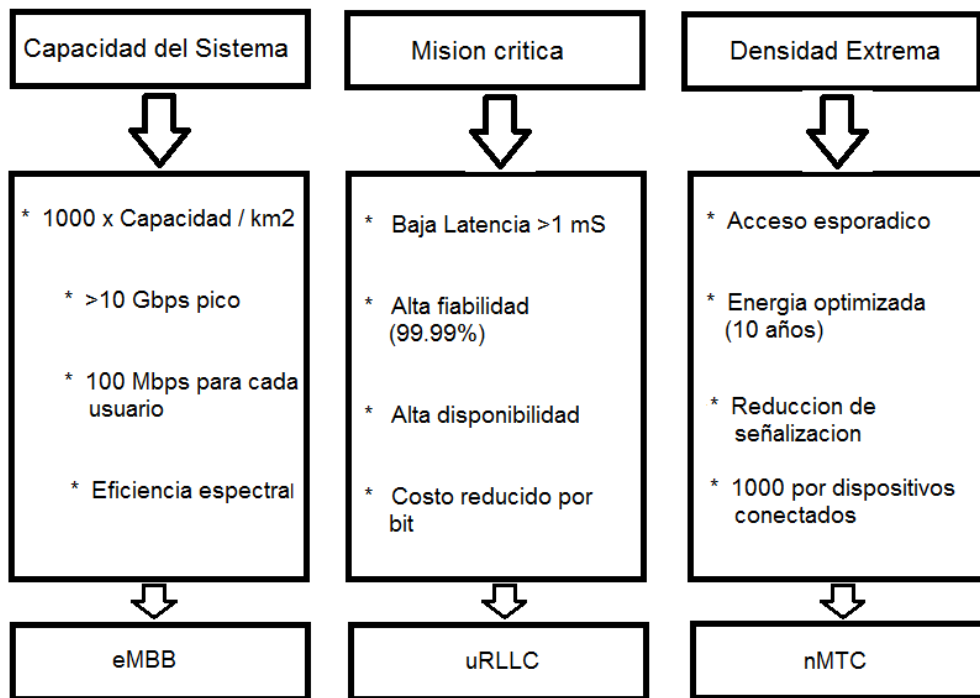


Figura 2. 2: Visión y objetivos

Elaborado por: Autor

eMBB (Enhanced Mobile BroadBand), atenderá la creciente capacidad del sistema, con la meta de superar los 10 Gbps pico, y un mínimo de 100 Mbps por abonado. Así se tendrá rangos de comunicaciones sub-6 GHz 4G y 5G, y por encima de 6 GHz 5G NR.

uRLLC (Ultra-Reliable Low Latency Communications), estará a cargo de nuevas aplicaciones que demandan comunicaciones con latencia mínima. Su meta consiste en garantizar alta fiabilidad y disponibilidad con una latencia extremadamente baja (por debajo de dos milisegundos).

mMTC (Massive Machine-Type Communications), se relacionarán con secciones de mercados emergentes de bajo costo y tasa de datos. Estas características corresponden al Internet de las Cosas y está asociado con una gran cantidad de nuevas conexiones a LTE.

En la figura 2.3 se muestra una descripción de los estados de Release para las versiones de la 12 a la 16, con algunas de las características clave enumeradas anteriormente. Los fabricantes de equipos tienen muchas opciones porque no todas las características se implementan en redes simultáneamente. Estas técnicas deben ser ratificadas en el estándar 3GPP, y validadas en dispositivos de red implementados por los operadores de telefonía celular y la disponibilidad de un equipo de abonados con capacidad de soportar estas nuevas funciones.

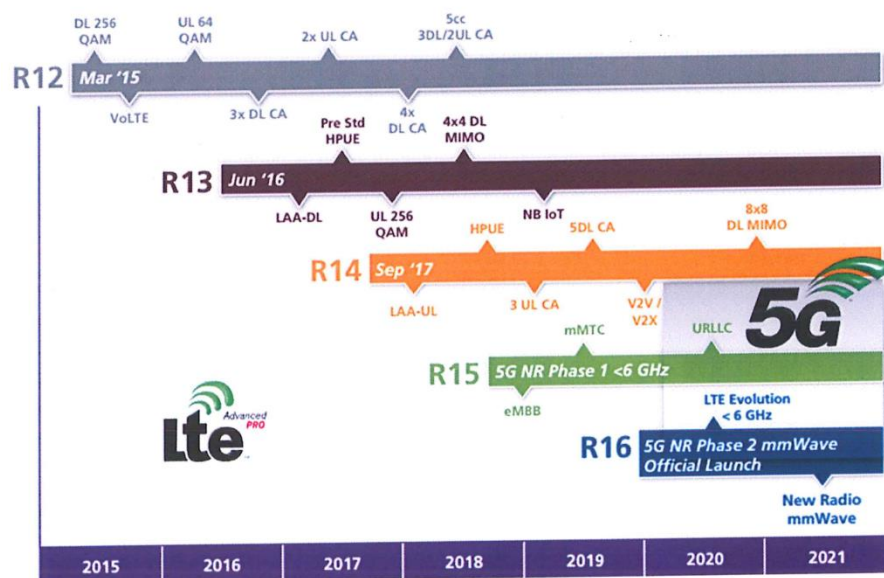


Figura 2. 3: LTE Advanced Pro-UE características que crecen en complejidad Fuente: (Gammel, Pehlke, Brunel, Kovacie, & Walsh, 2017)

Se observa que se ha producido un desarrollo continuo de 3GPP LTE en sus versiones de especificaciones, donde cada lanzamiento tarda uno a dos años y presenta una amplia gama de nuevas características y evoluciones.

Así, el número de portadores componentes, conocido como CA (Carrier Aggregation) de la Versión 10 con dos portadoras de enlace descendente, tiene hasta cinco portadoras y tres portadoras de enlace ascendente en la Versión 14. Además, LTE se inició con 64 QAM en enlace descendente Y 16 QAM en el ascendente, ahora tiene 256 QAM en enlace descendente y 64 QAM en el ascendente, y ambos se despliegan en la mayoría de las redes

avanzadas. La Versión 14 introducirá 256 QAM también en enlace ascendente.

Otras novedades corresponden a la implementación de extensiones para hasta 32 portadoras de componentes y hasta 8x8 MIMO. En realidad, el trabajo detallado de la especificación para implementarlo en espectro disponible es de hasta cinco portadoras y 4x4 MIMO y aún no se ha implementado en todas las redes. Actualmente, las redes más avanzadas combinan tres CA de enlace descendente, 4x4 MIMO y 256 QAM alcanzando tasas de información pico cercanas a 1 Gbps. También se han especificado ULC y MIMO de enlace ascendente, pero sólo se ha implementado CA de enlace ascendente en redes activas a partir de Q1 2017 en regiones de Corea y China (Gammel, Pehlke, Brunel, Kovacic, & Walsh, 2017).

A este flujo de evolución continua de las tasas de información mayores, se añaden nuevas características como la licencia de acceso asistido (LAA, Licensed Assisted Access) y LAA mejorado (eLAA, enhanced License Assisted Access) que emplean la banda sin licencia de 5 GHz como una posibilidad de agregación de ancho de banda, con una banda con licencia, respectivamente, en enlace descendente y enlace ascendente (Gammel, Pehlke, Brunel, Kovacic, & Walsh, 2017).

Además, LTE fue adaptada para el Internet de Cosas (IoT, Internet of Things) introducido en la Versión 13, o Vehículo a Vehículo (V2V) / Vehículo a Todo (V2X) en la Versión 13/14. Otro caso es el equipo de usuario de alta potencia (HPUE), que permite una cobertura de enlace descendente y de enlace ascendente mejor equilibrada en redes TDD (Time División Dúplex) con una capacidad de potencia de 3 dB más alta en enlace ascendente (Gammel, Pehlke, Brunel, Kovacic, & Walsh, 2017).

Para 5G, 3GPP seguirá abordando nuevos casos de uso mediante la evolución de LTE, y además introducirá nueva tecnología como NR en la Versión 15, lo cual añade complejidad a RF por la implementación de técnicas correspondientes a las ondas milimétricas (mmWave), capacidad de

formación de haz, formas de onda de eficiencia espectral más alta, latencia más baja, numerología múltiple y acceso múltiple no ortogonal, todas estas funcionalidades de RF son trascendentales para incorporar más elementos que permitan flexibilidad a las redes, para brindar más información a más abonados en nuevos casos de uso.

2.4 Demanda insatisfecha de datos LTE ubicuos.

Estudios de Cisco, Ericsson, Huawei y la GSMA (Global System for Mobile Communications) acerca del crecimiento exponencial del consumo de datos, reconocen que es un ciclo que comienza con la disponibilidad de datos LTE. Al combinar la movilidad (smartphones), el rendimiento de la red y el contenido deseado, se crea un efecto de rueda volante de datos (véase la figura 2.4) en que se consumen más datos a medida que mejora la experiencia del usuario. Esta "demanda de datos" es el objetivo de la industria celular desde LTE. Cada nueva versión del estándar 3GPP, se han propuesto, validado y aplicado en redes y equipos de usuario (UE, User Equipment), técnicas para mejorar el rendimiento de datos de los teléfonos inteligentes modernos.

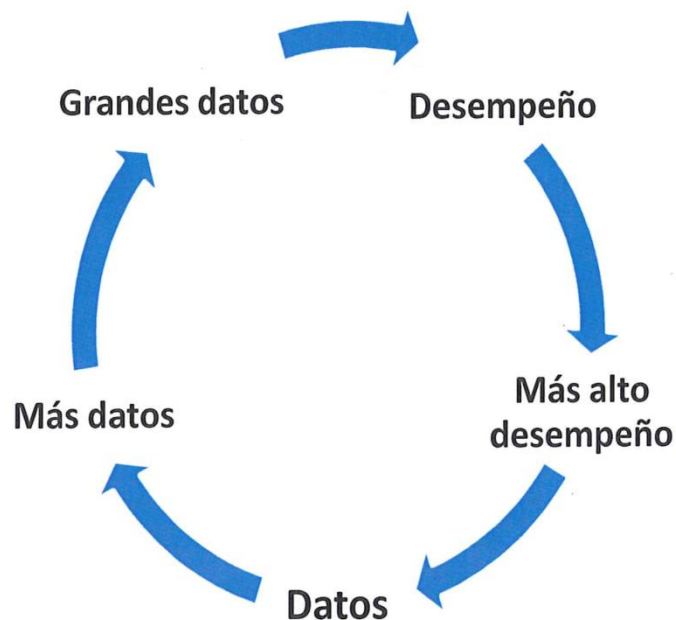


Figura 2. 4: Efecto de rueda volante de datos
Elaborado por: Autor

Cada técnica aplicada mueve el volante más rápido, abriendo aplicaciones nuevas y más intensivas en datos, que sirven como catalizadores para el crecimiento de las redes celulares. Así, las tasas de datos móviles superarán las velocidades de transmisión de información por cable e impulsarán iniciativas globales que aceleren las economías movilizadas y estimulen la innovación. Estos estudios muestran la correlación directa entre el uso creciente de datos LTE con teléfonos inteligentes más avanzados, procesadores más rápidos, tamaños de pantalla más grandes y redes con velocidades de pico más altas (Gammel, Pehlke, Brunel, Kovacic, & Walsh, 2017).

Nuevas aplicaciones se crean diariamente gracias a los revolucionarios avances realizados en dispositivos y redes. Las aplicaciones de celulares para redes sociales están impulsando una gran demanda de contenido, ya que las actualizaciones de perfiles, imágenes y videos se suben a la World Wide Web (www). Reportes de investigación, estiman que los servicios de transmisión de audio crecerán un 45% hasta 2020, y la transmisión de vídeo será el primer conductor del tráfico móvil con un crecimiento estimado del 55% al 72% del total de tráfico de datos móviles (Gammel, Pehlke, Brunel, Kovacic, & Walsh, 2017).

Las mejoras en el rendimiento de datos permitirán que las aplicaciones de realidad aumentada y virtual se vuelvan comunes. Además, se prevé un gran crecimiento en los vehículos conectados a medida que se avance hacia la conducción aumentada y autónoma, la transición a actividades más experienciales como la realidad aumentada y virtual aumentará la demanda de redes y dispositivos que requieren mayor ancho de banda y menor latencia. Una exploración rápida del sitio web de compartimiento de vídeos de YouTube revela que las subidas están migrando de baja fidelidad a HD (High Definition) e incluso ultra HD 4K de vídeo, en consonancia con el dispositivo y las actualizaciones de red (Gammel, Pehlke, Brunel, Kovacic, & Walsh, 2017).

2.5 Factores clave que afectan las tasas de datos LTE.

Hay muchos factores que afectan la experiencia del usuario celular, enmarcados por la incorporación de estándares 3GPP, implementados en la red de operadores móviles, y las implicaciones del dispositivo por las tasas de datos de pico teóricas, de acuerdo a los estándares.

Respecto a las tasas de datos en LTE, 3GPP y operadores de red aplican las técnicas viables para transportar tanta información como sea posible, y a la mayor velocidad, para transmitir más datos hacia y desde el usuario. Con estos antecedentes, el incremento de la capacidad de la red se puede obtener de dos maneras:

- Ampliación del ancho de banda para mayor capacidad; y
- Aumentando la tasa de datos.

También son necesarios transmisores y receptores de alta capacidad para que el sistema funcione, esto implica una mayor capacidad en las redes fronthaul / backhaul. Las normas 3GPP usan un sistema para enumerar la capacidad de velocidad de datos, denominada categoría de dispositivo (CAT), para indicar la velocidad teórica máxima alcanzable, de carga o descarga de datos, bajo un conjunto de condiciones que se pueden admitir en el dispositivo mediante la red existente.

Tabla 2. 1: Categoría de Dispositivo - Enlace descendente

	Categoría	Tasa de datos Mb/s	Agregación de portadora CA	Ancho de banda máximo MHz	Modulación (QAM)	Orden de MIMO
5G	19	1600	3 o más	100*	64 o 256	2 o 4
	18	1200	4 o más	100*	64 o 256	2 o 4
	16	1000	5	100	64 o 256	2 o 4
Clase de liderazgo	11, 12	600	3 o más	60	64 o 256	2 o 4
	9, 10	450	3	60	64	2
Inicio de CA	6, 7	300	2	40	64	2
Legado	4	150	1	20	64	2
	1	10	1	20	64	1
IoT	0, M1	1	1	1.4	16	1
	NB1	0.144	1	0.18	16	1

Fuente: (Gammel, Pehlke, Brunel, Kovacic, & Walsh, 2017)

Los operadores de red y los fabricantes de dispositivos a veces se refieren a la categoría de dispositivos 3GPP cuando se discuten las tasas de datos pico de sus redes o dispositivos, respectivamente. Lo indicado se muestra en las tablas 2.1 y 2.2.

Tabla 2. 2: Categoría de Dispositivo - Enlace ascendente

	Categoría	Tasa de datos Mb/s	Agregación de portadora CA	Ancho de banda máximo MHz	Modulación (QAM)	Orden de MIMO
5G	20*	300	3	60	256	1
	18*	200	2	40	256	1
	16*	100	1	20	256	1
	15*	225	3	60	64	1
Clase de liderazgo	13	150	2	40	64	1
	5	75	1	20	64	1
Legado	4	50	1	20	16	1
	1	5	1	20	16	1
IoT	0, M1	1	1	1.4	16	1
	NB1	0.144	1	0.18	QPSK	1

Fuente: (Gammel, Pehlke, Brunel, Kovacic, & Walsh, 2017)

De las tablas 2.1 y 2.2, se desprenden las siguientes observaciones de la información de la categoría del dispositivo:

- Las velocidades de datos de los enlaces descendente y ascendente son asimétricas, con flujos de enlace descendente (de red a dispositivo) normalmente más rápidos que los de enlace ascendente.
- Las velocidades de datos máximas se ven fuertemente afectadas por el aumento de ancho de banda (mas portadores de componentes), la modulación de orden superior y un aumento en el número de antenas de Transmisión (Tx) / Recepción (Rx) (orden MIMO)

El movimiento hacia una mayor computación basada en la nube y algunas nuevas aplicaciones, conducirá hacia una red más simétrica donde las tasas de carga y descarga son más cercanas a 2:1, bajo

su rango asimétrico de 5:1 a 10:1 (enlace descendente: enlace ascendente).

2.5.1 Estado actual de LTE.

El informe de “Evolution to LTE” de la Global Mobile Suppliers Association (GSA, 2016), revisó y categorizó las tasas pico más altas soportadas en redes LTE comercialmente disponibles. De las 708 redes, como se muestra en la figura 2.5, GSA informó que 147, esto es el 21% soportan las características avanzadas de LTE, incluyendo CA y MIMO, superior a 3GPP Release 10. Había 374 redes LTE potenciales para actualizarse con funciones avanzadas como CA.

De las 147 redes de datos avanzadas LTE, 102 soportan Categoría 6, o velocidades de enlace descendente de 300 Mbps. El mismo reporte indica que el 52% de los dispositivos LTE disponibles comercialmente podrían soportar hasta la categoría 4, o 150 Mbps de enlace descendente. Estos hechos indican un movimiento hacia mayores redes de procesamiento de datos y dispositivos para apoyar a los usuarios en su búsqueda de datos móviles más rápidos.

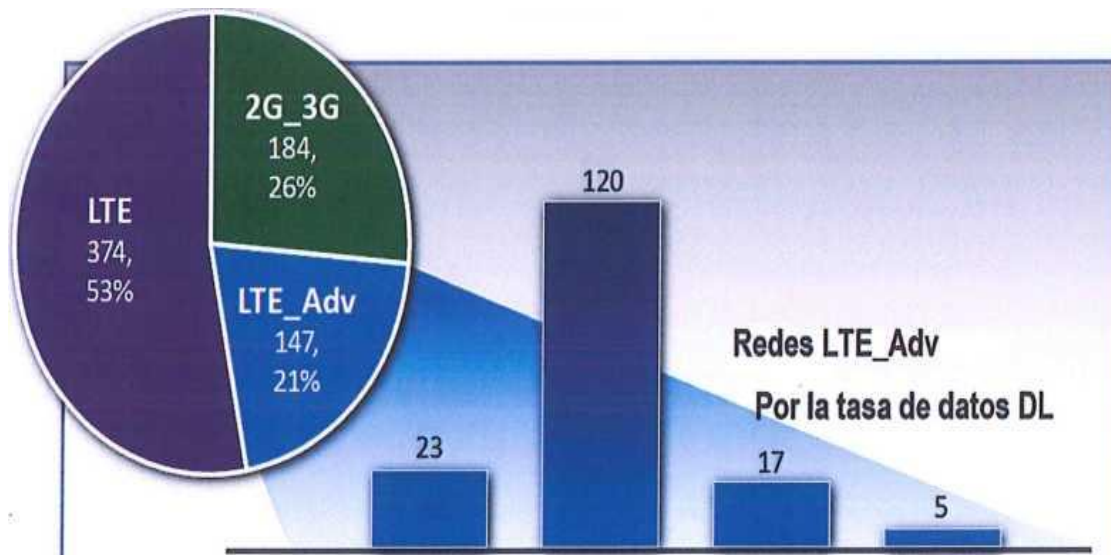


Figura 2. 5: Redes Avanzadas LTE (CA)
Fuente: (Gammel, Pehlke, Brunel, Kovacic, & Walsh, 2017)

2.5.2 Diferencias clave entre las interfaces de radio 4G y 5G.

A continuación se analizarán los cambios que se requieren para implementar nuevos radios 5G.

Las interfaces de radio 4G y 5G afectan a la interfaz de RF y una de las claves es que la fase 1 de 5G no es una radio independiente, sino que opera con 4G LTE. El ancla es que 4G LTE y 5G sub-6 GHz es un suplemento.

Esencialmente, 4G y la frecuencia inferior (sub-6 GHz) 5G son iguales para la interfaz RF y se implementan similarmente con la misma componente. Es decir que LTE 4G y 5G fase 1 sub-6 GHz, usan la misma interfaz RF, aunque sea más complejo que la generación anterior.

El MIMO de enlace ascendente para 4G requiere múltiples flujos de datos separados que conducen elementos discretos de antena, similar a los sub-6 GHz 5G. Estas antenas se ajustan para la fase relativa a la forma del haz según sea necesario, pero la menor frecuencia y número de elementos de la antena limitan la ganancia total de la misma y la sección transversal del haz más estrecho. Generalmente, las antenas sub-6 GHz están diseñadas para ser omnidireccionales para una cobertura obvia y un rendimiento independiente de conectividad / orientación requerido en entornos de radio celular móvil (Gammel, Pehlke, Brunel, Kovacic, & Walsh, 2017).

A medida que se desarrollan capacidades con múltiples funciones en el equipo de usuario (UE, User Equipment) para el enlace ascendente orientadas a MIMO de enlace ascendente, la transmisión múltiple de flujos de datos separados a antenas separadas comienza a parecerse a la arquitectura requerida para MIMO de enlace ascendente 4x4. Es diferente al comparar 4G (sub-6 GHz) con mmWave 5G, en que esas implementaciones son muy diferentes.

Al comparar las implementaciones de sub-6 GHz (enlace ascendente 2x2, enlace descendente 4x4), se destaca que los equipos mmWave requerirán una ganancia sustancial de antena para superar la pérdida de trayecto. Esto indica que el interfaz mmWave será muy diferente al sub-6 GHz. El interfaz RE de mmWave empleará múltiples flujos de transmisión / recepción (8, 16 o más) para alcanzar la ganancia de antena, la potencia total de transmisión combinada. Estos retos en la ganancia y eficiencia limitarán la potencia de transmisión total para

reducir las potencias máximas por elemento de antena y la trayectoria RF (Gammel, Pehlke, Brunel, Kovacic, & Walsh, 2017).

Generalmente, esto mejorará los requisitos generales del nivel de enlace para la energía radiada de nuevo al eNodeB. La gran pérdida de trayectoria conducida asociada con las frecuencias de mmWave significa que el diseño ya no puede tolerar largos trazos entre la circuitería activa y los elementos radiantes de la antena.

Afortunadamente, el conjunto de antenas disminuye en tamaño al aumentar la frecuencia creciente, pues la longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia, de esta manera en la implementación más probable el conjunto de antenas estará integrado en el mismo paquete con los circuitos activos de transmisor y receptor que funcionan a las frecuencias de mmWave. Este paquete estrechamente integrado alojará los troqueles activos, que también están altamente integrados y soportan toda la amplificación requerida, cambio de fase y conmutación de trayecto para accionar adecuadamente cada uno de los elementos radiantes de la matriz de antena independiente.

Debido a la susceptibilidad de la antena de 5G mmWave a la orientación, los problemas de conectividad podrían incluir el bloqueo por la colocación de la mano / cabeza del usuario, la interrupción del rendimiento debido a la obstrucción de la línea de visión y la dificultad para penetrar materiales tales como ladrillo y vidrio pintado.

Por lo tanto, es probable que se necesite más de un arreglo de antenas para un factor de forma de un equipo móvil dado. La diversidad de conmutación de antenas se utilizaría para seleccionar la mejor opción de una elección de dos o más arreglos con el fin de superar estos desafíos y mantener la experiencia del usuario.

El mercado de la tecnología de comunicación inalámbrica está en expansión, y 5G está en el centro de esta transformación. La comunicación inalámbrica se ha expandido hacia segmentos adyacentes como la automoción y la conducción

autónoma, las comunicaciones tipo máquina, la infraestructura inteligente y las aplicaciones aún no consideradas. La complejidad seguirá aumentando y la búsqueda de soluciones eficaces será la tarea más importante para los expertos en tecnología inalámbrica que están trayendo conectividad a las nuevas verticales del mercado y a la gente de todo el mundo.

CAPÍTULO 3: Caracterización de las ondas milimétricas

En la actualidad se ha generalizado la utilización de conexiones inalámbricas en todas las actividades y aplicaciones de telecomunicaciones, para lo cual utiliza el espectro radioeléctrico, dentro del cual a cada aplicación se le establece su propia frecuencia. Sin embargo, se trata de un recurso limitado y por lo tanto con rango insuficiente para una demanda en continuo crecimiento.

Ahora, los usuarios finales, que van desde los centros de datos corporativos a los clientes con teléfonos inteligentes, demandan mayor ancho de banda, lo cual requiere nuevas tecnologías para satisfacer dicho requerimiento. Existe una gran cantidad de tecnologías para la entrega de ancho de banda, con el cable de fibra óptica considerado como el medio de transmisión con el mejor ancho de banda. Sin embargo, la fibra óptica no es incomparable para cualquier medio, especialmente al considerar factores económicos.

La tecnología inalámbrica de onda milimétrica presenta el potencial de ofrecer un suministro de ancho de banda comparable al de fibra óptica, pero sin los retos financieros y logísticos de desplegar fibra. En este capítulo se presenta una visión general de esta nueva tecnología, sus oportunidades y sus limitaciones.

3.1 El espectro radioeléctrico.

Como ya se indicó prácticamente todas las actividades y aplicaciones del ser humano en la actualidad utilizan enlaces inalámbricos, los cuales emplean el espectro de radio. De esta manera, se pueden transmitir y recibir mediante ondas de radio que transportan música, videos o información en general, por ejemplo, desde y hacia los teléfonos inteligentes.

En el espectro radioeléctrico cada una de esas aplicaciones tiene establecida su frecuencia de operación, por lo tanto, siendo este un recurso limitado para atender los requerimientos de una demanda creciente, nace la necesidad de poder expandir las regiones del espectro actualmente utilizadas.

El espectro radioeléctrico se ubica en el extremo inferior del espectro electromagnético (Figura 3.1), así hacia las regiones de las microondas, luz infrarroja, luz visible y luz ultravioleta, rayos X y rayos gamma, aumenta la frecuencia pero disminuyen las longitudes de onda.

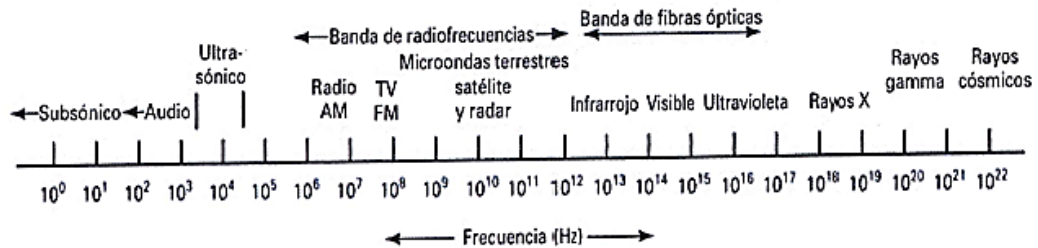


Figura 3. 1: Espectro electromagnético
Fuente: (Tomasi, 2003)

La banda de radiofrecuencias (RE) se fragmenta en bandas más estrechas, que se denominan con nombres y números, estas a su vez se subdividen para albergar varias clases de servicios. El Comité Consultivo Internacional de Radio (CCIR) ha establecido estas designaciones de acuerdo al detalle mostrado en la tabla 3.1 (Tomasi, 2003).

Al operar con ondas de radio usualmente se emplean unidades de longitud de onda, la cual es inversamente proporcional a la frecuencia de la señal, y directamente proporcional a la velocidad de propagación, la cual se asume como la de la energía electromagnética en el espacio libre esto es 3×10^8 m/s, esta relación se formula así (Tomasi, 2003):

$$\text{longitud de onda} = \frac{\text{velocidad}}{\text{frecuencia}}$$

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

X = longitud de onda (metros por ciclo)

c = velocidad de la luz (300.000.000 metros por segundo)

f = frecuencia (Hertz)

Tabla 3. 1: Designaciones de banda CCIR.

Número de banda	Intervalo de frecuencias*	Designación
2	30 Hz-300 Hz	ELF (frecuencias extremadamente bajas)
3	0.3 kHz-3 kHz	VF (frecuencias de voz)
4	3 kHz-30 kHz	VLF (frecuencias muy bajas)
5	30 kHz-300 kHz	LF (bajas frecuencias)
6	0.3 MHz-3 MHz	MF (frecuencias intermedias)
7	3 MHz-30 MHz	HF (frecuencias altas)
8	30 MHz-300 MHz	VHF (frecuencias muy altas)
9	300 MHz-3 GHz	UHF (frecuencias ultra altas)
10	3 GHz-30 GHz	SHF (frecuencias super altas)
11	30 GHz-300 GHz	EHF (frecuencias extremadamente altas)
12	0.3 THz-3 THz	Luz infrarroja
13	3 THz-30 THz	Luz infrarroja
14	30 THz-300 THz	Luz infrarroja
15	0.3 PHz-3 PHz	Luz visible
16	3 PHz-30 PHz	Luz ultravioleta
17	30 PHz-300 PHz	Rayos X
18	0.3 EHz-3 EHz	Rayos gamma
19	3 EHz-30 EHz	Rayos cósmicos

Fuente: (Tomasi, 2003)

El espectro de longitudes de ondas electromagnéticas con los servicios y sus bandas se muestra en la figura 3.2

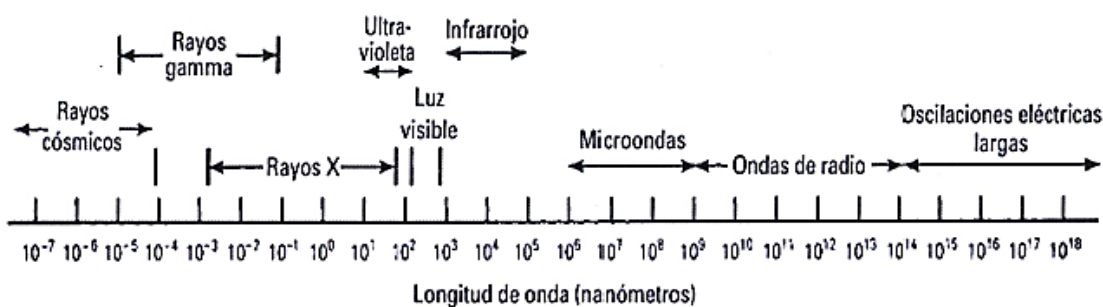


Figura 3. 2: Espectro electromagnético de longitudes de onda

Fuente: (Tomasi, 2003)

3.2 Visión general de la tecnología de las ondas milimétricas.

De acuerdo a lo indicado en el punto anterior, la onda milimétrica corresponde al espectro radioeléctrico entre 30 GHz y 300 GHz, con una longitud de onda entre uno y diez milímetros. Sin embargo, en el contexto de la comunicación inalámbrica, el término generalmente corresponde a unas pocas bandas de espectro cerca de 38, 60 y 94 GHz, y más recientemente a

una banda entre 70 GHz y 90 GHz (también denominada E-Band), que han sido asignadas para la comunicación inalámbrica en el dominio público.

3.3 Reseña histórica.

A pesar de que es relativamente nueva la tecnología de onda milimétrica en las comunicaciones inalámbricas, su historia se remonta a la década de 1890 cuando J. C. Bose experimentaba con señales de onda milimétrica y sus contemporáneos como Marconi inventaban las comunicaciones por radio. Siguiendo la investigación de Bose, la tecnología de ondas milimétricas permaneció dentro de los límites de los laboratorios universitarios y gubernamentales durante casi medio siglo (Adhikari, 2008).

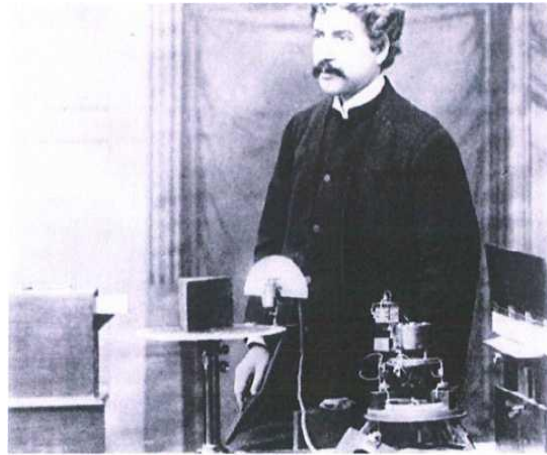


Figura 3. 3: .C Bose demuestra la onda milimétrica en 1897

Fuente: (Adhikari, 2008)

Entre los primeros usos de la tecnología está la Radio Astronomía en los años 60 y aplicaciones militares en los 70. Posteriormente, en los años 80, el desarrollo de circuitos integrados de ondas milimétricas generó oportunidades para la fabricación en masa de productos de onda milimétrica para aplicaciones comerciales.

En la década de 1990, el radar de evitación de colisión de automóviles a 77 GHz marcó el primer uso orientado al consumidor de frecuencias de onda milimétrica por encima de 40 GHz. En 1995, la FCC (Federal Communications Commission) abrió el espectro entre 59 y 64 GHz para la comunicación inalámbrica sin licencia, lo que permitió el desarrollo de abundantes comunicaciones de banda ancha y equipos de radar para aplicaciones

comerciales. En 2003, la FCC autorizó el uso de las bandas de 71-76 GHz y 81-86 GHz para la comunicación punto a punto con licencia, propiciando nuevas industrias desarrollando productos y servicios en esta banda (Adhikari, 2008).

3.4 Las bandas y el ancho de banda.

En los Estados Unidos, se han abierto cuatro bandas en la región de ondas milimétricas superiores para aplicaciones comerciales. La banda de 59-64 GHz (banda V o banda de 60 GHz) se rige por la Parte 15 de la FCC para operaciones no autorizadas. Las regulaciones de la Parte 15 de la FCC y la absorción significativa de la banda de 60 GHz por el oxígeno atmosférico hacen que esta banda sea más adecuada para aplicaciones punto a punto y punto a multipunto de muy corto alcance.

La banda de 92-95 GHz (banda W o banda de 94 GHz) también se rige por las regulaciones de la Parte 15 de la FCC para el funcionamiento sin licencia, aunque sólo para aplicaciones en interiores. La banda de 94 GHz también puede utilizarse para aplicaciones al aire libre autorizadas para comunicación inalámbrica punto a punto según las regulaciones de la Parte 101 de la FCC. Sin embargo, la banda es menos eficiente espectralmente que las otras tres bandas debido a una banda excluida a 94-94,1 GHz.

Quedan las bandas 71-76 GHz y 81-86GHz (banda E o las bandas de 70GHz y 80GHz, respectivamente), cuyo uso en los EE.UU. se rige por la Parte 101 de la FCC para la operación con licencia, como la onda milimétrica más adecuada para comunicaciones inalámbricas punto a punto. Con el espectro de 5 GHz disponible en cada una de estas dos bandas, el ancho de banda espectral total disponible excede el de todas las bandas asignadas en el espectro de microondas.

Este trabajo, se limitará a analizar estas dos bandas. El espectro de 5 GHz disponible en cada sub-banda del espectro de la banda E puede utilizarse como un único canal de transmisión contiguo (lo que significa que no se requiere canalización), permitiendo así el uso más eficiente de toda la banda.

Incluso con las técnicas de modulación simples como OOK (On-Off-Keying) o BPSK (Binary Phase Shift Keying), se alcanza hoy en cada sub-banda del espectro un rendimiento de 1 a 3 Gbps, más que lo que se puede lograr con esquemas de modulación de orden superior más sofisticados, en otras bandas de espectro con licencia.

Mediante la migración a tales técnicas de modulación en la banda E, pueden obtenerse rendimientos aún mayores. Es sólo una cuestión de suficiente demanda del mercado antes de que tales enlaces de ondas milimétricas de mayor rendimiento se conviertan en una realidad comercial.

3.5 Características de propagación.

Todas las señales de radio, a medida que se propagan por la atmósfera, se atenúan por los componentes de la atmósfera. Este efecto atenuante, generalmente en forma de absorción o dispersión de las señales de radio, determina cuánto de la señal transmitida realmente llega al receptor y cuánto se pierde en la atmósfera.

La pérdida atmosférica se define generalmente en términos de decibelios (dB) de pérdida por kilómetro de propagación. Puesto que la fracción de la señal perdida es función de la distancia recorrida, se debe considerar que la pérdida real de la señal, experimentada por un enlace de onda milimétrica específico debido a los efectos atmosféricos depende directamente de la longitud del enlace.

Las características de propagación de las ondas milimétricas a través de la atmósfera dependen principalmente del oxígeno atmosférico, la humedad, la niebla y la lluvia. La pérdida de señal debida al oxígeno atmosférico, aunque es una fuente de limitación significativa en la banda de 60 GHz, es casi insignificante, menos de 0,2dB por km en las bandas de 70 y 80 GHz. El efecto del vapor de agua, que varía dependiendo de la humedad absoluta, está limitado a entre cero y aproximadamente 50% de pérdida por km (3dB / km) a humedad y temperatura muy altas.

La pérdida adicional de señal a medida que se propaga a través de niebla o nube es similar a la pérdida debido a la humedad, ahora dependiendo de la cantidad y el tamaño de las gotas de agua líquida en el aire. Aunque el 50% de pérdida de señal debido a estos efectos atmosféricos puede parecer significativo, son casi insignificantes en comparación con las pérdidas debidas a la lluvia, y sólo son importantes para los despliegues a larga distancia (más de 5 km). En la tabla 2.2 se muestra un resumen de las pérdidas de señal en la atmósfera (Adhikari, 2008).

Tabla 3. 2: Pérdidas de señal en la atmósfera.

Efecto	Comentarios	Pérdida de señal dB/Km
Oxígeno	Nivel del mar	0.22
Humedad	100% at 30°C	1.8
Niebla densa	10°C, 1 gm/m ³ (50m visibilidad)	3.2
Nubes	Lluvia 25 mm/hr	10.7

Elaborado por: Autor

De todas las condiciones atmosféricas, la lluvia causa la pérdida más significativa de la señal de 70 GHz y 80 GHz, como es el caso de las señales de microondas. La cantidad de pérdida de señal debida a la lluvia depende de la tasa de lluvia, a menudo medida en términos de milímetros por hora. La tabla 2.3 proporciona un resumen de diversas tasas de lluvia y la cantidad correspondiente de atenuación de las señales de onda milimétrica por kilómetro de propagación. Se debe tener en cuenta que 10 dB de pérdida de más de 1 km de propagación también significa 20 dB de pérdida de más de 2 km de propagación (Adhikari, 2008).

Tabla 3. 3: Pérdidas de señal debido a la lluvia

Descripción	Tasa de Lluvia	Pérdida de señal dB/Km
Lluvia ligera	1 mm/hr	0.9
Lluvia moderada	4 mm/hr	2.6
Lluvia fuerte	25 mm/hr	10.7
Lluvia intensa	50 mm/hr	18.4

Elaborado por: Autor

A partir de la tabla 2.3, se puede llegar a la conclusión de que, por la severa atenuación a causa de la lluvia, los enlaces inalámbricos de onda milimétrica no son confiables en situaciones de lluvia. Estas conclusiones no están bien fundamentadas, pues los enlaces de ondas milimétricas pueden operar bien sin interrupción, aun en presencia de aguaceros ocasionales sobre los 100 mm / hora. El rendimiento real de un enlace de ondas milimétricas depende de varios factores, en particular la distancia entre los nodos de radio y el margen de enlace de los radios, y a veces incluye factores adicionales tales como la diversidad de rutas redundantes (Adhikari, 2008).

3.6 Fiabilidad de rendimiento.

La fiabilidad de rendimiento de un sistema de comunicación se compara a menudo como porcentaje (%) de disponibilidad del sistema o del servicio que brinda. Este porcentaje corresponde al porcentaje medio del tiempo que se espera que el sistema opere de acuerdo a su especificación, o sea que esté disponible.

Ya se indicó que hay otros factores que establecen el rendimiento de un enlace de onda milimétrica, así por ejemplo, una lluvia intensa puede provocar una atenuación significativa de las señales de onda milimétrica, pero sin interrumpir el enlace de datos si éste tiene un margen adecuado. El hecho de que un enlace tenga o no un margen suficiente para superar una interrupción debida a una lluvia intensa dependen de la especificación técnica del producto (la potencia de transmisión, la sensibilidad de recepción y la divergencia del haz), así como la longitud del enlace de comunicación.

La disponibilidad de un enlace también depende de la probabilidad de que se produzca una lluvia lo suficientemente intensa como para provocar una interrupción. Por ejemplo, en el suroeste de los Estados Unidos donde la probabilidad de que las precipitaciones superen los 100 mm por hora es prácticamente nula, la disponibilidad de un enlace de 2 km puede ser del 99.999%. Sin embargo, la disponibilidad del mismo enlace de 2 km puede ser inferior al 99,9% en el sureste de Estados Unidos, donde las tasas de lluvia superior a 100 mm por hora son más comunes.

Por lo tanto, el porcentaje de disponibilidad de un enlace de onda milimétrica depende de las características de la precipitación en la ubicación donde se implementa el enlace, así como la distancia del trayecto.

Las características de las precipitaciones en todo el mundo han sido estudiadas por varias organizaciones, de acuerdo a tales resultados, la UIT ha elaborado un modelo para calcular la probabilidad de las tasas de lluvia en diversas ubicaciones geográficas, el cual constituye un estándar para estimar el rendimiento de los sistemas de microondas y también puede aplicarse al de un enlace de onda milimétrica en cualquier parte del mundo.

La tabla 2.4 detalla una lista comparativa del rendimiento esperado de un producto de onda milimétrica comercialmente disponible en algunas grandes áreas metropolitanas alrededor del mundo basado en el modelo ITU. La segunda columna indica el alcance máximo del enlace que puede alcanzar el 99,999% de disponibilidad y la tercera muestra la disponibilidad de un enlace de 2 km de longitud.

Tabla 3. 4: Rendimiento de un sistema típico

Ubicación	Rango del enlace (km, a 99.999% de disponibilidad)	Disponibilidad (de un enlace de 2 km)
Los Angeles	1.75	99.998%
New York	1.25	99.991%
Londres	1.65	99.998%
Milán	1.35	99.994%
Sídney	1.2	99.99%
Rayad	2.85	>99.999%

Elaborado por: Autor

3.7 Frecuencias licenciadas.

La coordinación y concesión de licencias para el uso de radiofrecuencias en diversas regiones del mundo es administrada por sus autoridades

correspondientes, en el caso del Ecuador la encargada de esta función es ARCOTEL (Agencia de Regulación y Control de Telecomunicaciones).

En algunas partes del mundo, el espectro de ondas milimétricas de la banda E no se ha abierto para uso público, mientras que en otros países donde se ha abierto, los detalles del sistema de licencias aún están en elaboración. Sin embargo, en Estados Unidos y la Unión Europea, estas bandas de onda milimétrica han sido liberadas al público con regulaciones bien definidas para su uso.

En Estados Unidos, la FCC abrió las bandas de 70GHz y 80GHz para operaciones con licencia en 2003, de acuerdo a un enfoque de dos niveles. Primero, se adquiere una licencia nacional no exclusiva de la FCC para la operación de equipos en bandas de ondas milimétricas. La licencia de la FCC no es por sí misma un permiso para desplegar enlaces de ondas milimétricas con impunidad, sino que es un requisito previo para el segundo paso, en el cual se obtiene una licencia para desplegar mediante el registro de enlaces punto a punto individuales a través de un sistema de registro de enlace independiente (LRS, Link Registration System), desarrollado y mantenido por un administrador de bases de datos designado por FCC.

El proceso de registro verifica que el enlace que se está registrando no interferirá con los enlaces ya registrados, esto garantiza que la prioridad de protección contra interferencias esté basada en la fecha de registro, con todos los licenciatarios anteriores con derecho a protección contra interferencias de los despliegues posteriores. El derecho exclusivo de uso del espectro se concede por enlace, en lugar de una base nacional o incluso regional.

La Unión Europea también ha abierto la banda para la operación con licencia, con una coordinación similar a la FCC, pero con algunas diferencias menores. En particular, la UE ha estipulado la canalización del espectro, con cada canal cubriendo 250 MHz, pero permitiendo la combinación de canales contiguos, sin bandas de guarda, según sea necesario para cualquier requerimiento específico de ancho de banda.

Otros países del mundo han comenzado a abrir el espectro de la banda E, tales como México y Australia han dado pasos importantes para abrir el espectro para la operación con licencia, y esfuerzos similares han comenzado recientemente en Irlanda y Arabia Saudita. Parece ser sólo cuestión de tiempo antes de que el espectro se abra en estos lugares y eventualmente en la mayor parte del mundo.

3.8 Beneficios importantes.

A continuación, se detallarán algunos beneficios considerados claves que brindan las ondas milimétricas.

3.8.1 Ancho de banda no apareado con capacidad escalable.

Una de las principales ventajas de la tecnología de comunicación de onda milimétrica es la gran cantidad de ancho de banda espectral disponible, el cual está disponible en las bandas de 70 GHz y 80 GHz, un total de 10 GHz, que es superior que la suma total de todos los demás espectros con licencia disponibles para comunicaciones inalámbricas. Ese ancho de banda permite enlaces inalámbricos de onda milimétrica que pueden alcanzar capacidades de hasta 10 Gbps full dúplex, lo que es improbable que sean compatibles con cualquier tecnología inalámbrica RE de menor frecuencia.

La disponibilidad de este ancho de banda también permite la escalabilidad de la capacidad de los enlaces inalámbricos de onda milimétrica, de acuerdo a las exigencias del mercado. Los productos típicos de onda milimétrica comercialmente disponibles actualmente operan con una eficiencia espectral cercana a 0,5 bits / Hz. Al producirse la demanda de enlaces de mayor capacidad, la tecnología de ondas milimétricas será capaz de satisfacerla mediante el uso de esquemas de modulación más eficientes.

3.8.2 Haz estrecho con implementaciones altamente escalables.

Los enlaces de microondas arrojan huellas muy amplias, que reducen la cantidad alcanzable de reutilización del mismo espectro dentro de un área geográfica específica, en cambio los enlaces de ondas milimétricas arrojan haces muy estrechos, como se ilustra en la figura 3.4, los cuales permiten el

despliegue de múltiples enlaces independientes en estrecha proximidad, de esta manera, con una antena equivalente, la anchura de haz de un enlace de 70 GHz es cuatro veces más estrecha que la de un enlace de 18 GHz, permitiendo hasta 16 veces la densidad de los enlaces de onda milimétrica de banda E en un área específica. Una ventaja clave de los enlaces de ondas milimétricas de haz de luz muy estrecho es la escalabilidad de sus despliegues.

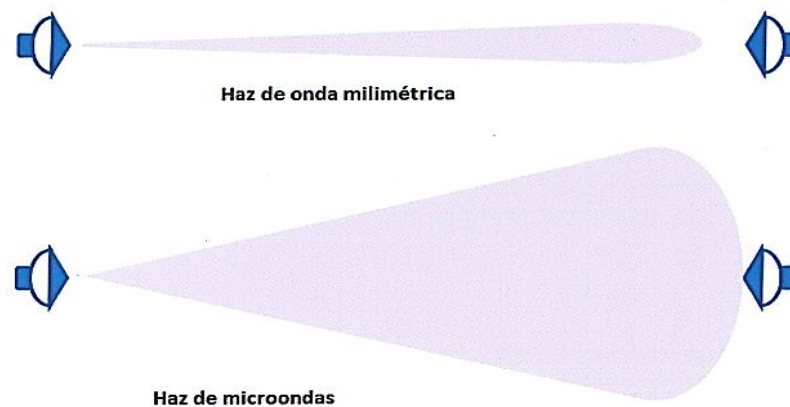


Figura 3. 4: Comparación del haz de ondas milimétricas y microondas
Fuente: (Adhikari, 2008)
Elaborado por: Autor

Por ejemplo, la onda milimétrica es apropiada para topologías de red, como malla punto a punto, dense hub-and-spoke o incluso un anillo. Otras tecnologías inalámbricas a menudo alcanzan su límite de escalabilidad por la interferencia cruzada antes de alcanzar todo el potencial de dichas topologías de red.

3.8.3 Espectro licenciado.

Sin la protección del uso licenciado de un espectro, no es posible hacer un caso de negocio viable para servicios inalámbricos, ya sean servicios de extensión de redes LAN (Local Area Network) o servicios de backhaul celular. Una de las principales ventajas de las bandas de 70 y 80 GHz es que están autorizados, brindando tranquilidad a los usuarios y proveedores de servicios.

La forma tradicional de licencias del espectro ha sido un desafío para quienes poseen licencias y para aquellos que no la tienen. Para el propietario de una licencia, a menudo representa una inversión inicial significativa y obligaciones legales para hacer un uso específico del espectro.

Para quienes no poseen esta licencia, significa un obstáculo para ingresar a competir en este mercado en particular. El sistema de concesión de licencias de la banda de ondas milimétricas de la banda E tiene el beneficio significativo de eliminar ambos retos.

3.8.4 Tecnología madura con soluciones de varios proveedores.

La aplicación de ondas milimétricas en la comunicación es bastante nueva, pero ésta tiene una fuerte historia y evolución tecnológica tras ella. Como las microondas, las características de las ondas milimétricas han sido bien entendidas por muchas décadas.

Las propiedades de propagación de las ondas milimétricas, a través de la atmósfera o de objetos materiales, han sido bien investigadas y documentadas. Los fenómenos meteorológicos que afectan su propagación, como la lluvia, también han sido caracterizados y comprendidos regionalmente en todo el mundo. Además, está soportada por décadas de investigación militar y financiada por el gobierno, por lo que esta tecnología ha alcanzado un nivel de madurez comparable a las antiguas formas de tecnologías de radio.

Varios proveedores han entrado en el mercado ofreciendo soluciones inalámbricas de onda milimétrica, aprovechando la madurez de la tecnología y la oportunidad de negocio potencial en las comunicaciones con esta tecnología. Esto ha resultado en la fijación de precios competitivos de los productos, y además en características diferenciadas para aplicaciones y mercados específicos.

Este panorama competitivo ha dado a los adoptantes de la tecnología inalámbrica milimétrica un conjunto más amplio de productos para elegir, y la tranquilidad de saber que no están jugando con un nicho de la tecnología con un futuro incierto monopolizado por un pequeño número de proveedores.

3.9 Aplicaciones de la tecnología milimétrica.

A continuación, se presentarán algunas de las aplicaciones más importantes de la tecnología inalámbrica de ondas milimétricas.

3.9.1 Servicios de red metropolitanos

En la actualidad la economía depende cada día más de la información, y por consiguiente los requerimientos de ancho de banda de negocios, grandes y pequeños, crecen aparentemente sin límite. Sin embargo, muchos edificios corporativos aún son alimentados por cables de cobre apenas capaces de entregar unos megabits por segundo de ancho de banda.

Es importante considerar que muchos edificios comerciales están dentro de los anillos de fibra óptica construidos en las ciudades (metropolitanos), pero también hay otros que están dentro de una milla o dos de un gran ancho de banda de un anillo de fibra, denotándose la incapacidad práctica de extender los servicios de la red de anillos existentes a los edificios comerciales no conectados a ellos. En estos casos, la tecnología de ondas milimétricas se presenta como una oportunidad para satisfacer estos requerimientos de una manera rentable.

En la figura 3.5, se puede observar que es posible emplear un único enlace de onda milimétrica para conectar un edificio comercial con un anillo de fibra. Con el ancho de banda del enlace de ondas milimétricas, comparable al del propio core metropolitano, este único enlace inalámbrico sería suficiente para servir a un edificio de gran ocupación con altas demandas de ancho de banda (Adhikari, 2008).

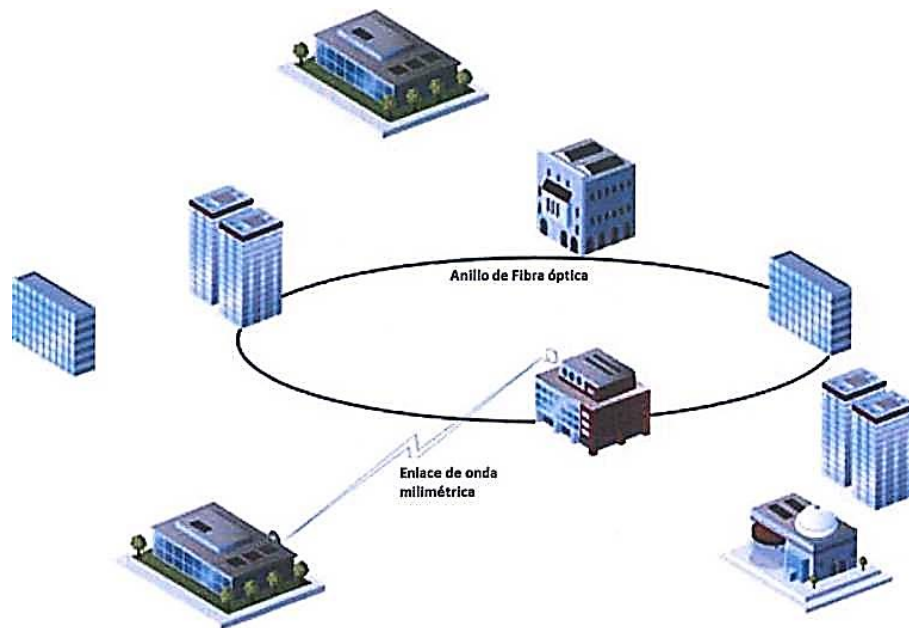


Figura 3. 5: Extensión de las redes metropolitanas
Fuente: (Adhikari, 2008)

3.9.2 Backhaul Celular/WiMAX.

La utilización de teléfonos celulares continúa aumentando y con ello también nuevas aplicaciones emergentes de uso intensivo de ancho de banda, incrementándose la demanda de los usuarios por mayores anchos de banda. Con tecnologías como WiMAX y el nuevo espectro de 700 MHz, para atender estas demandas en el punto de acceso (AP, Access Point), la necesidad de una tecnología de transporte del ancho de banda desde el AP al núcleo de la red crecerá rápidamente.

Hasta ahora, la mayoría de esas necesidades han sido satisfechas mediante canales de capacidad más lenta como las líneas dedicadas TI/EI, pero éstas no podrán satisfacer las necesidades de la próxima generación de redes celulares de manera práctica.

Se considera que las tecnologías de ondas milimétricas podrán satisfacer las necesidades de estas aplicaciones en un futuro previsible, las soluciones que brindan los sistemas inalámbricos de microondas de baja

frecuencia tal vez puedan satisfacer la demanda de ancho de banda a corto plazo de la próxima generación de redes inalámbricas. Sin embargo, al considerar el costo de tales soluciones y el de las licencias del espectro, las soluciones de ondas milimétricas son más atractivas.

La escalabilidad del ancho de banda y la densidad de despliegue que brindan las soluciones de onda milimétrica son mucho más atractivas. Si se compara el costo de la colocación de fibra a una torre celular, la única solución escalable distinta, el uso de onda milimétrica es una opción obvia (Adhikari, 2008).

3.9.3 Sistemas de Antenas Celulares Distribuidas.

A menudo las redes celulares requieren mejorar su cobertura, y lo hacen distribuyendo una red de antenas remotas en lugar de brindar cobertura con antenas situadas centralmente. Estos sistemas de antenas distribuidas (DAS, Distributed Antenna Systems) son básicamente extensiones de las antenas de las estaciones base y se emplean a menudo para brindar cobertura celular en lugares sombreados por estructuras grandes, como edificios, impidiendo el enlace desde antenas de estaciones base.

DAS también puede utilizarse para proporcionar cobertura en áreas donde no es eficiente instalar una estación base. En la figura 3.6, se muestra a manera de ejemplo, un área detrás de un gran edificio comercial, la cual puede ser mejor cubierta con una antena remota detrás del edificio y transmitiendo la señal de radio de vuelta a la estación base más cercana. Otro ejemplo sería el de un edificio corporativo con una gran base de abonados, en el que se puede distribuir antenas en todo el edificio y transportar la señal a la estación base a través de varias vías inalámbricas.

Los estándares industriales de la tecnología DAS para sistemas celulares deben digitalizar la señal de la antena antes de transmitirla a una antena remota, con lo cual generan hasta 3 Gbps de rendimiento de datos digitales, la tecnología capaz de transportar la señal a una antena remota es limitada, a menudo se usa fibra óptica para transportar señales DAS, pero la onda

milimétrica en estos casos es una tecnología ideal, si no la única, cuando las señales DAS deben transportarse sin cables.

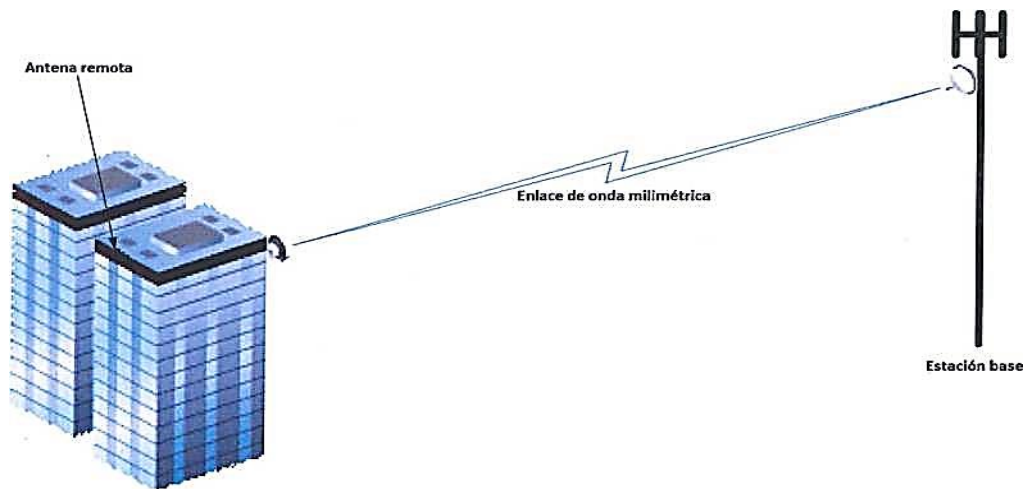


Figura 3. 6: Sistema inalámbrico de ondas milimétricas para DAS
Fuente: (Adhikari, 2008)

3.9.4 Recuperación de fallas y redundancia.

Para aplicaciones que requieren un gran ancho de banda de extremo a extremo, la conectividad por medio de cables de fibra óptica es a menudo la tecnología preferida cuando el acceso a este medio de transmisión está fácilmente disponible. Sin embargo, en los casos de rotura de los enlaces de fibra por accidente, a menudo dejan sin servicio redes importantes por un período de tiempo sustancial. Es estos casos, es preferible diseñar redes importantes con redundancias para minimizar la probabilidad de este tipo de fallas.

Un enlace inalámbrico de onda milimétrica es muy adecuado para proporcionar esa redundancia. Por ejemplo, un centro de datos conectado a un proveedor de servicios de red punto de presencia (PoP, Point-of-Presence) mediante fibra óptica también puede estar conectado al PoP mediante un enlace inalámbrico de onda milimétrica de alta capacidad. Al detectarse un fallo en la fibra óptica, el tráfico de datos se enrutaría a través del enlace de onda milimétrica sin afectar la disponibilidad o el rendimiento de la red.

3.9.5 Redes empresariales y de Campus.

Las necesidades de las empresas de extender las redes LAN de un edificio a otro vecino, a menudo son tan decisivas que los usuarios para estas aplicaciones han adoptado las soluciones de las tecnologías inalámbricas punto a punto.

En efecto, la expansión de las instalaciones de las organizaciones hacia edificios vecinos, obliga a contratar servicios de comunicación de interconexión, cuyo costo de arrendamiento es significativo, razón por la cual con el tiempo los impulsa a buscar soluciones alternativas.

De esta manera, organizaciones en proceso de crecimiento de sus instalaciones u otras con la necesidad de enlazar las instalaciones existentes mediante redes de banda ancha, ven en los enlaces de onda milimétrica una solución muy adecuada largo y corto plazo. La facilidad de establecer enlaces inalámbricos en cuestión de horas, en comparación con las semanas que puede tomar la activación del servicio arrendado, el sistema inalámbrico de onda milimétrica es una solución de corto plazo conveniente.

Además, la protección contra interferencias y ancho de banda suficiente para satisfacer una demanda creciente, también es una solución a largo plazo muy categórica. Económicamente, una empresa que implementa enlaces de onda milimétrica, puede recuperar rápidamente el costo del equipamiento en base a los ahorros obtenidos al no arrendar servicios de banda ancha (Adhikari, 2008).

CAPÍTULO 4. Las ondas milimétricas aplicadas a 5G

La ingeniería actualmente, ve como la mejor solución para un desafío aquella que se considera generalmente que es económicamente viable y ahorra tiempo. Hoy en día, en la era de la comunicación, los teléfonos inteligentes (Smart phones) son básicamente pequeñas computadoras manuales y la electrónica doméstica está empezando a comunicarse con ellos y entre ellos. La necesidad de una electrónica flexible que pueda manejar los diferentes protocolos necesarios para "hablar y entender" el uno al otro, está explotando.

Desde que Joseph Mitola III, habló del concepto de radio cognitiva en 1998 en Estocolmo, el mundo de las telecomunicaciones ha evolucionado hacia el uso de la banda de radio del espectro electromagnético (EM) en la más eficiente forma posible (Nutaq, 2017).

La importancia de optimizar el uso del espectro electromagnético, produjo gran cantidad de investigaciones orientadas a la detección del espectro, esto se fundamenta en descubrir agujeros instantáneos en el espectro para que diversos dispositivos puedan compartirlos y emplearlos de acuerdo con la disponibilidad real e inmediata.

Esto generó que las políticas gubernamentales globalmente, en relación con el espectro electromagnético sean revisadas para permitir que los investigadores y fabricantes apliquen nuevas soluciones y tecnologías de acuerdo al mundo moderno. Así, por ejemplo, en Australia, la Autoridad Australiana de Comunicaciones y Medios de Comunicación (ACMA, Australian Communications and Media Authority) desarrolló los "Principios para la gestión del espectro" para orientar su gestión del espectro (ACMA, 2011).

4.1 Principios para la gestión del espectro.

De acuerdo a lo expuesto se ha determinado que los principios para la gestión del espectro son los siguientes:

1. Asignar el espectro a los usos más importantes

2. Habilitar y estimular la asignación del espectro a los usos más importantes
3. Utilizar el enfoque menos costoso y menos restrictivo para alcanzar los objetivos políticos
4. En la medida de lo posible, promover la seguridad y la flexibilidad
5. Equilibrar el costo de la interferencia y los beneficios de un mayor espectro

4.2 El espectro de las ondas milimétricas.

Actualmente se tiene un desafío específico: el crecimiento continuo de la demanda de espectro para satisfacer las necesidades de comunicación global, es decir una evolución de la tecnología. Por ejemplo, las capacidades de ganancia de la antena han mejorado dramáticamente con la tecnología.

Sin embargo, la meta más importante es responder a la pregunta ¿el espectro utilizable disponible permanece igual o no? En casi 120 años de historia de las telecomunicaciones inalámbricas, la exploración de nuevas regiones de frecuencias siempre ha generado progresos tecnológicos.

Actualmente, investigaciones basadas en la banda EHF (Extremely High Frequency) o región de ondas milimétricas se orienta a la búsqueda de sus ventajas y utilidad para las comunicaciones por radio. La longitud de onda (λ) es de 1 a 10 mm y la gama de espectro de frecuencia es de 30 a 300 GHz.

Las frecuencias altas son muy interesantes en comparación con las bandas tradicionales inferiores por dos razones (Frenzel, 2013):

- Mayor disponibilidad de ancho de banda
- Dimensiones de antena más pequeña para una ganancia fija, o una ganancia mayor para un tamaño de antena dado.

Un mayor ancho de banda es directamente proporcional a mayores tasas de transferencia de datos. Además, con mayor ancho de banda, aplicaciones como transferencias de archivos de 10 Gbps, transmisión de vídeo casi

perfecta y juegos en tiempo real son factibles. Además, un ancho de banda más grande permite capacidades como sistemas de espectro ensanchado (spread spectrum, SS) de banda ancha (para multitrayectoria y desorden reducido) y sistemas con una inmunidad alta al jamming y la interferencia.

4.3 Obstáculos.

Las ondas milimétricas permiten mayor espectro, sin embargo, hasta hace poco tiempo, solo algunos dispositivos electrónicos podían transmitir o recibir ondas milimétricas, lo cual provocó que esta región del espectro permanezca sin usar.

Transmitir y recibir ondas milimétricas es un reto, pero el elemento más importante con estas altas frecuencias es el medio de transmisión. Se ha observado una mala penetración del follaje, pero los mayores retos son la pérdida de trayectoria atmosférica y de espacio libre.

Las ondas milimétricas se rigen por la misma física que el resto del espectro radioeléctrico y, por lo tanto, presentan limitaciones respecto a su longitud de onda. A menor longitud de onda, menor será la gama de transmisión para una potencia dada.

Varias propiedades de señal permanecen constantes, independientemente de elementos como la ganancia de antena en el transmisor y receptor, así como la reflexión, absorción y difracción durante la transmisión de señal. A continuación, se presentarán detalles de tales propiedades. (Belcher, 1990)

- **Pérdida de espacio libre:** se expresa en dB y es calculado así:
$$L(\text{Pérdida de Transmisión}) = 92.4 + 20 \log (f) + 20 \log (R)$$
- **Absorción atmosférica:** la atmósfera absorbe las ondas milimétricas, limitando así su rango de transmisión. La lluvia, la niebla y la humedad en el aire hacen que la atenuación de la señal sea muy alta. La absorción de oxígeno (O₂) es especialmente alta a 60 GHz.
- **Resonancia mecánica:** las frecuencias de resonancia mecánica de las moléculas gaseosas también coinciden con la señal de onda

milimétrica. Para la tecnología actual, los picos de absorción importantes se producen a 24 y 60 GHz.

- **Dispersión:** la propagación de ondas milimétricas también se ve afectada por la lluvia, cuyas gotas tienen aproximadamente el mismo tamaño que las longitudes de onda de la radio y por lo tanto causan la dispersión de la señal.
- **Problemas de pérdida de línea de vista:** cuando no hay una trayectoria de línea de vista entre transmisor y receptor, la señal de desplazamiento todavía tiene formas alternativas de alcanzar el receptor, por difracción, reflexión o flexión. La difracción en ondas milimétricas es escasa debido a las longitudes de onda cortas.
- **Temperatura de brillo:** cuando las ondas milimétricas se someten a absorción por el vapor de agua, el oxígeno y la lluvia, estas moléculas absorben radiación electromagnética de alta frecuencia. Esta absorción hace que las moléculas emitan radiación EM de mayor frecuencia (más cercana al espectro infrarrojo). Esta emisión de energía, cuando es recibida por una antena receptora, se denomina temperatura de brillo y degrada el rendimiento del sistema. Por ejemplo, cualquier antena terrestre dirigida a un satélite con un ángulo de elevación superior, sufrirá la degradación de la señal causada por la absorción de la temperatura de brillo que emana de los constituyentes atmosféricos.

4.4 Posibles aplicaciones para la banda de 30 a 300 GHz.

Aquellos sistemas de comunicación que operan en la banda de frecuencias de ondas milimétricas pueden aprovechar los efectos de propagación descritos en las secciones anteriores.

La gama limitada permite un alto grado de reutilización de frecuencias. Además, las ondas milimétricas son frecuencias privilegiadas para sistemas punto a punto como redes de área local y sistemas de radar vehicular (MacCartney, Zhang, Nie, & Rappaport, 2013).

Adicionalmente, en las bandas de resonancia de absorción (por ejemplo 60 GHz) pueden realizarse comunicaciones relativamente seguras. Esto es útil para sistemas de alta tasa de información donde es deseable una comunicación segura con una baja probabilidad de interceptación. Estas bandas son también útiles para servicios con una densidad potencialmente alta de transmisores que operan en proximidad o para aplicaciones en las que se quieren operaciones sin licencia.

4.5 Investigación de 5G.

En los próximos 5 a 10 años probablemente se presentará una fuerte congestión en las redes inalámbricas. Entonces es necesario hallar oportunamente soluciones eficientes a este problema. El paso de 4G a 5G será dramático en función del crecimiento exponencial en las tasas de datos y latencia, puesto que en ésta se requerirá un rango de 1 ms. La velocidad de información agregada y la tasa límite necesitarán cumplir con los requisitos que son 1000X y 100X, los actuales corresponden a la tecnología actual 4G.

Considerando estos requerimientos, es necesario explotar el ancho de banda del espectro de ondas milimétricas para proporcionar una mayor velocidad de transmisión de datos y una mejor calidad de la señal recibida. Anteriormente, la transición de una generación de tecnología inalámbrica a la siguiente, ha tardado casi una década. Nada hasta ahora parece indicar que esta transición será más rápida. Sin embargo, el ritmo de desarrollo de la tecnología está aumentando con el paso del tiempo.

Para solucionar los requerimientos de cobertura y congestión en los sistemas 4G se ha seguido la tendencia hacia la implementación de células pequeñas, tales como estaciones base portátiles, denominadas microcélulas, femtoceldas o picocélulas, según sus rangos. Las ondas milimétricas pueden aprovechar estas tecnologías, ya que son más adecuadas para la transmisión a intervalos relativamente cortos.

Las señales de alta frecuencia también pueden reutilizarse a través de distancias cortas por diferentes células en una red, lo que significa que el espectro disponible se utiliza de manera más eficiente. Además, el tamaño de la antena es inversamente proporcional al tamaño de la frecuencia, por lo que las señales de mayor frecuencia requerirían antenas más pequeñas, así se podría contener más antenas en dispositivos.

Eso permite las transmisiones direccionales; de hecho, se podría dirigir la señal en una dirección determinada. Esto podría superar la pérdida de parte de la potencia de transmisión de la señal. Más de una antena que opera en el mismo rango de frecuencia también puede enviar múltiples flujos de datos, aumentando la velocidad de datos (Greenemeier, 2015).

4.6 Diseño de sistemas de ondas milimétricas.

Para optimizar el diseño de sistemas inalámbrico de onda milimétrica, es necesario considerar un requisito primario, esto es entender el canal de radio en las frecuencias específicas y los casos de uso relevantes.

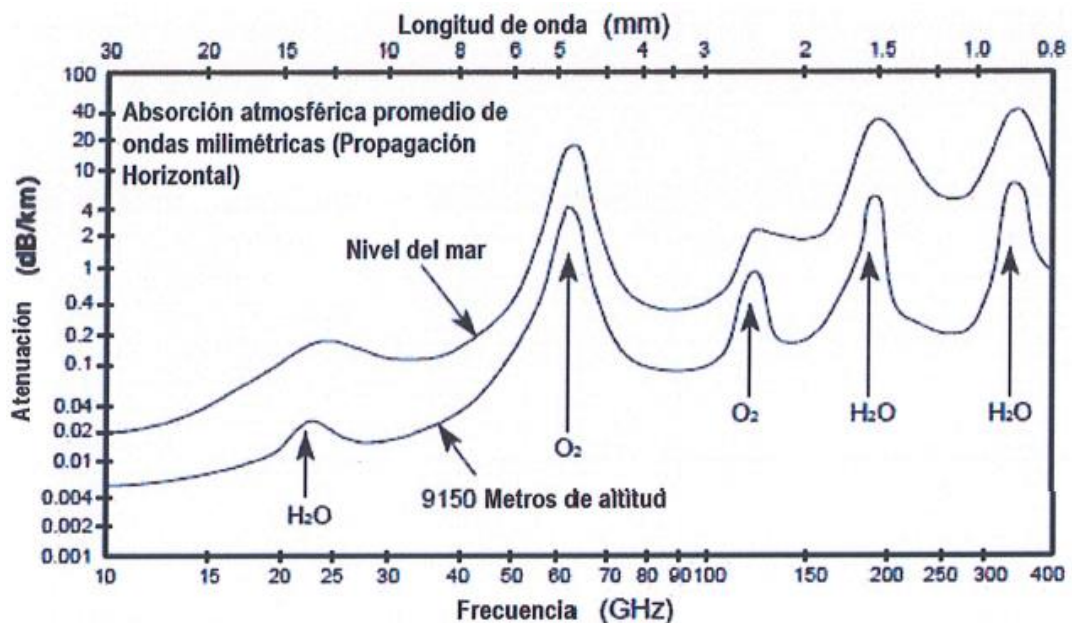


Figura 4. 1: Absorción atmosférica de las ondas milimétricas
Fuente: (Naval Air Systems Command, 2013)

Es necesario profundizar la comprensión de las características de la comunicación en el rango milimétrico de frecuencias y realizar análisis de desempeño de redes de ondas milimétricas. Para un corto alcance, con

dispositivos en posiciones fijas, las ondas milimétricas pueden conectar dispositivos a una red. El desafío es entregar este servicio a un usuario en movimiento, caminando o conduciendo. También es necesario estudiar escenarios de redes donde realmente se puede apoyar el tráfico multimedia en un entorno móvil utilizando ondas milimétricas.

Adicionalmente, la utilización de la transmisión direccional entre la estación base y un dispositivo móvil reduce la interferencia de la señal, y eso podría ayudar a reducir el consumo de energía. Al establecer un enlace directo y evitar la interferencia, es posible enviar datos a tasas mayores para un nivel de potencia de transmisión dado.

De esta manera, el rendimiento por unidad de energía aumenta y por consiguiente mejora la eficiencia energética. En los análisis a realizarse, también es importante considerar posibles incrementos en el consumo de energía del hardware por la operación a altas frecuencias. Además, la eficiencia energética es muy importante por el crecimiento del número de usuarios y dispositivos y la eficiencia debe considerarse con nuevas normas.

Dentro de los estudios realizados merecen destacarse aquellos realizados por los investigadores de NYU Wireless (New York University), quienes están diseñando y validando tecnologías necesarias para el espectro radioeléctrico de ondas milimétricas para crear sistemas inalámbricos 5G. Como ya se indicó anteriormente, la próxima generación de servicios móviles tendrá mayor velocidad y menor latencia.

En este sentido la FCC ha dado un paso importante al proponer nuevas reglas flexibles para las bandas de 28, 37, 39 y 64 y 71 GHz., diseñadas para sentar las bases para las redes 5G en los Estados Unidos, y permitirá el acceso al espectro de ondas milimétricas, ayudando en el desarrollo de una política flexible del espectro de ondas milimétricas y promoverá la innovación inalámbrica. Estas bandas específicas propuestas incluyen (Guerra, 2016):

- 27,5 a 28,35 GHz (banda de 28 GHz)
- 38,6 a 40 GHz (banda de 39 GHz)

- 37 a 38,6 GHz (banda de 37 GHz)
- 64 a 71 GHz

La disponibilidad de estas bandas requeriría una variedad de esquemas de autorización, incluyendo la concesión tradicional de licencias de área amplia, sin licencia y un enfoque compartido que facilitará acceso tanto a las redes LAN como a las WAN (Wide Area NetWork). Estas reglas propuestas son una oportunidad que podría beneficiar tanto a los consumidores como a las empresas, beneficiando así a la economía estadounidense (Guerra, 2016).

Desde 2012, NYU Wireless ha centrado sus investigaciones, en un esfuerzo multidisciplinario, en dispositivos inalámbricos de onda milimétrica desplegados en masa, en una amplia gama de aplicaciones y mercados. Así, por ejemplo, participan Ingenieros Eléctricos y del Departamento de Ingeniería de Computadores pensando en la computación móvil y procesando datos a través de la red. También personas de la Escuela de Medicina NYU Langone por el aspecto de la salud de la onda milimétrica, mientras que la NYU Stem School of Business se está enfocando en cómo la onda milimétrica será utilizada por las empresas y regulada por la FCC (Guerra, 2016).



Figura 4. 2: Antenas de bocina montadas sobre cabezales RF de ondas milimétricas hechas por SiiversIMA en NYU WIRELESS
Fuente: (Guerra, 2016)

Actualmente hay una gran demanda para el sistema celular actual y la demanda de datos móviles sigue creciendo y el backhaul de ondas milimétricas tiene un enorme potencial para construir redes de muy alta capacidad para ofrecer video y contenido multimedia de mayor calidad (Guerra, 2016).

NYU Wireless anuncia planes para construir una plataforma programable avanzada para diseñar, prototipos y validar tecnologías trascendentales para el espectro de radio de onda milimétrica, potencialmente clave para la siguiente generación de alta velocidad de datos de comunicaciones inalámbricas 5G.

La onda milimétrica ocupa la banda de espectro entre 30 y 300 GHz. Las frecuencias más altas significan mayores velocidades de transmisión de datos con una limitación del rango de transmisión, sin embargo, este corto alcance puede ser usado como una ventaja mediante el uso de pequeñas estaciones base, que se pueden conectar a través de enlaces de ondas milimétricas usando diferentes configuraciones MIMO.

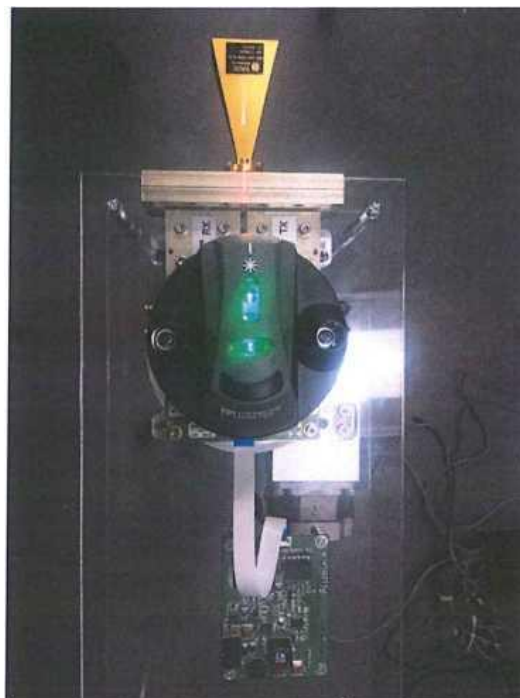


Figura 4. 3: Cabezas RF de onda milimetrica montadas en un plato giratorio
Fuente: (Guerra, 2016)

Los actuales sistemas prototipo de ondas milimétricas (Figura 4.3) emplean antenas de bocina direccionales, a veces montadas en cardanes rotativos mecánicamente. En este caso, se montan sobre las cabezas RF de ondas milimétricas (Figura 4.2). Es importante usar el equipo de prueba adecuado para las tecnologías de investigación iniciales, ya que los sistemas mecánicos son demasiado grandes y lentos para aplicaciones móviles. En síntesis, para diseñar y validar una nueva tecnología de plataforma SDR en el espectro de ondas milimétricas, se debe usar equipos de prueba con altas capacidades que puedan manejar una cantidad tan enorme de información con precisión y latencia muy baja (Guerra, 2016).

En NYU Wireless, el banco de pruebas público empleará una nueva plataforma de SDR que integrará un arreglo escalonado eléctricamente dirigible sin las piezas físicamente móviles y la dirección casi instantánea, la cual ayudará a acelerar la mejora de los sistemas de ondas milimétricas por la construcción de enlaces de ondas milimétricas, la ejecución de experimentos en el aire y la posibilidad de validar diseños y probar su rendimiento. Dos empresas colaboran en este estudio: Sibeam proveerá las antenas de arreglo escalonado que permitirán una plataforma potente, flexible y programable para el diseño y validación de sistemas 5G de ondas milimétricas, y National Instruments (NI) aportará un sistema de procesamiento de gran ancho de banda y masiva banda base para crear prototipos de onda milimétrica capaces de altas tasas de información y muy baja latencia (Guerra, 2016).

La investigación de ondas milimétricas ha proporcionado muchos resultados excelentes y útiles, y aunque 5G está en su primera fase de desarrollo, el futuro parece muy optimista

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- En el capítulo 1 se analizó las diferencias principales entre 4G y 5G, destacando claramente que esta última podrá trasladar señales inalámbricas en un rango de frecuencia más alto, lo cual permitirá el uso de un gran ancho de banda y aliviara la congestión que en la actualidad se produce en el tráfico inalámbrico.

- Se comparó las implementaciones de sub-6 GHz, destacando que los equipos mmWave requieren una ganancia sustancial de antena para superar la pérdida del trayecto, así el interfaz RE de mmWave emplea múltiples flujos de transmisión para alcanzar la ganancia de antena.

- Se simuló la antena de resonancia de orden cero (ZOR) con metamateriales a la frecuencia de 2.45 GHz diseñada usando un modelo electromagnético asimétrico implementado con la herramienta computacional CST Microwave Studio, para obtener sus características de radiación, determinándose la distribución de la Tasa de Absorción Específica (SAR).

- Se realizó un análisis de la tecnología 5G, ya que la comunicación inalámbrica se ha expandido hacia segmentos adyacentes como la automoción, la conducción autónoma, las comunicaciones tipo máquina, la infraestructura inteligente y las aplicaciones aun no consideradas. Por lo tanto la complejidad seguirá aumentando y la búsqueda de soluciones eficaces será la tarea más importante para los expertos en tecnología inalámbrica que están trayendo conectividad a las nuevas verticales del mercado y a todo el mundo.

- Se verificó la onda milimétrica que ocupa la banda de espectro entre 30 y 300 GHz y las frecuencias más altas significan mayores velocidades de transmisión por lo que este corto alcance puede ser usado como una ventaja mediante el uso de pequeñas estaciones

base que se conectan a través de enlaces de ondas milimétricas usando diferentes configuraciones.

5.2 RECOMENDACIONES

- Hacer el análisis del canal de radio en las frecuencias específicas y los casos de uso relevantes para optimizar el diseño de sistemas inalámbrico de onda milimétrica
- Utilizar la transmisión direccional entre la estación base y un dispositivo móvil para reducir la interferencia de la señal, y así reducir el consumo de energía.
- Para diseñar y validar una nueva tecnología de plataforma SDR en el espectro de ondas milimétricas, se debe usar equipos de prueba con altas capacidades que puedan manejar una cantidad tan enorme de información con precisión y latencia muy baja

Bibliografía

- Anguera, J. (2013). Teoría de Antenas. En J. Anguera, *Teoría de antenas*. Ingeniería La Salle.
- Bae, B. D. (2007). Procedure of rectal temperature measurement affects brain, muscle, skin and body temperatures and modulates the effects of intravenous cocaine. *Brain Research*, 1154, 61-70.
- Balanis. (2005). *Antenna Theory, Analysis and Design*. New Jersey: Jhon Wiley & Sons.
- Belyaev, I. K.-L. (2006). Exposure of rat brain to 915 MHz GSM microwaves induces changes in gene expression but not double stranded DNA breaks or effects on chromatin conformation. *Bioelect*.
- C.Autores. (2007). *Redes inalámbricas en los países en desarrollo*. Limehouse Book Sprint Team.
- Caloz, C. I. (2005). Electromagnetic Metamaterials. Piscataway-Hoboken,. En C. I. Caloz, *Electromagnetic Metamaterials*. Piscataway-Hoboken. NJ: Wiley-IEEE Press.
- Cardama, J. R. (2002). *Antenas*. Ediciones UPC.
- Casares, F. O. (2005). Wire bonded interdigital capacitor. *Submitted to IEEE Microwave and Wireless Components Letters*.
- Déas, D., Gilart, F., & Raizar, A. (2011). *Hipertermia Electromagnética para el tratamiento del cáncer*. Obtenido de V latín American Congress on Biomedical Engineering, CLAIB2011:
<http://myslide.es/documents/hipertermia-electromagnetica-para-el-tratamiento-del-cancer.html>

- Garg, B. I. (2001). *Microstrip antenna design handbook*. En P. B. Ramesh Garg. Boston: Artech house .
- Gómez. (2013). *SciELO - Scientific Electronic Library Online*. Obtenido de Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones:
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S 1815-59282013000100003](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282013000100003)
- González, F. (2008). *Diseño de antenas impresas de banda ancha y polarización circular para sistemas WiMax*. Universidad Autónoma de Madrid.
- IEEE. (2004). *145-2004 - IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas*. Obtenido de <https://standards.ieee.org/findstds/standard/145-1983.html>
- Kapp, D. S. (2000). *Principles of Hyperthermia*. Ontario: Cáncer Medicine e.5. 5th ed. Hamilton, Ontario: B.C. Decker Inc.
- Lepockc, J. (2003). *Cellular effects of hyperthermia: relevance to the minimum dose for thermal damage*. .
- Ma, H. F. (2006). Zeroth-order resonators using novel compact meta-structures, Int.Symposium on Biophotonics, Nanophotonics and Metamaterials.
- Mailloux, R. (1981). "Microstrip Antenna Technology". Second Edition. Artech House, London.
- Paz, H. (2009). *Conferencias de antenas*. Santiago de Cuba.
- Pozar, D. (2001). *Analysis and design considerations for printed phased-array antennas*. New Jersey: John Wiley & Sons.

- Rodríguez, A. (2010). *Síntesis de Líneas de Transmisión Metamateriales con Mapeado Espacial Agresivo*. Obtenido de Grupo de Aplicaciones de Microondas del iTEAM :
https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/27148/Sintesis_Lineas_Txon_Metamateriales_Tesina.pdf?sequence=1
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, P. B. (2006). *Metodología de la Investigación*. Istadalapa: Me Graw Hill.
- Sanada, A. C. (2003). Zeroth-order resonance in composite right/left-handed transmission line resonators. *Asia Pacific Microwave Conference*, vol. 3, 1588-1592.
- Sandoval, F. A. (2007). Antenas microcinta o patch: Métodos de alimentación. . En F. A. Sandoval, (2007). .
- Tomasi, W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. México: Pearson Educación.
- Veselago, V. (2002). The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ . *Soviet Physics Uspekhi*, vol. 10, no. 4, 509-514,



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Sánchez Núñez, Carlos Javier** con C.C: # 0921975934 autor del Trabajo de Titulación: **Caracterización de las ondas milimétricas para determinar su posible aplicación en la Quinta generación de comunicaciones inalámbricas.** Previo a la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 06 de Marzo de 2018

f. _____

Nombre: Sánchez Núñez, Carlos Javier

C.C: 0921975934

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA		
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN		
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Caracterización de las ondas milimétricas para determinar su posible aplicación en la Quinta generación de comunicaciones inalámbricas.	
AUTOR(ES)	Sánchez Núñez, Carlos Javier	
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. Néstor A. Zamora Cedeño	
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil	
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo	
CARRERA:	Ingeniería en Telecomunicaciones	
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero en Telecomunicaciones	
FECHA DE PUBLICACIÓN:	06 de Marzo de 2018	No. DE PÁGINAS: 69
ÁREAS TEMÁTICAS:	Red de comunicación, Comunicaciones Inalámbricas, Sistemas inalámbricos	
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	MICROBANDA, METAMATERIALES, ZOR, CAPACITOR INTERDIGITAL, DS, MULTIPLEXACION / MICROSTRIP, METALMATERIALS, ZOR, INTERDIGITAL CAPACITOR, DS, MULTIPLEXING	
<p>RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras): En el presente trabajo se realizó el diseño una antena de resonancia de orden cero (ZOR) con metamateriales utilizando capacitores interdigitales a la frecuencia de 2.45 GHz. La antena diseñada presenta un buen acople de impedancias, con pérdidas de retorno en el orden de los -53 dB con una directividad de 3,5 dB a la frecuencia de operación. Se realizó un análisis de la tecnología 5G, ya que la comunicación inalámbrica se ha expandido hacia segmentos adyacentes como la automoción, la conducción autónoma, las comunicaciones tipo máquina, la infraestructura inteligente y las aplicaciones aun no consideradas, donde así la complejidad seguirá aumentando y la búsqueda de soluciones eficaces será la tarea más importante para los expertos en tecnología inalámbrica que están trayendo conectividad a las nuevas verticales del mercado y a todo el mundo. Este trabajo se realizó primero aplicando el método exploratorio para analizar la bibliografía existente acerca de las antenas, sus características de radiación y las herramientas computacionales. Después se usó el método descriptivo para usar los datos obtenidos para diseñar una antena de resonancia de orden cero (ZOR) con metamateriales a la frecuencia de 2.45 GHz. Se verifico la onda milimétrica que ocupa la banda de espectro entre 30 y 300 GHz y las frecuencias más altas significan mayores velocidades de transmisión por lo que este corto alcance puede ser usado como una ventaja mediante el uso de pequeñas estaciones base que se conectan a través de enlaces de ondas milimétricas usando diferentes configuraciones.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-9-88905712	E-mail: adidas_krlos15@hotmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Palacios Meléndez Edwin Fernando	
	Teléfono: +593-9-68366762	
	E-mail: edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec	
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA		
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):		
Nº. DE CLASIFICACIÓN:		
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		