



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

TÍTULO:

**CONTRIBUCIÓN DE TÉCNICAS PARA TRANSMISIÓN DE
DATOS EN SISTEMAS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA A
TRAVÉS DE HAPPARA BRINDAR COBERTURA DE INTERNET
EN ZONAS RURALES.**

AUTOR:

ENRIQUE SEBASTIAN ESPINOSA DE LOS MONTEROS BENITEZ

Previa la obtención del Título

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

Ing. Carlos Romero Rosero

Guayaquil, Ecuador

2015



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por **Enrique Sebastián Espinosa de los Monteros Benítez**, como requerimiento parcial para la obtención del Título de **Ingeniero en Telecomunicaciones con mención en gestión empresarial en telecomunicaciones**.

TUTOR

Carlos Romero Rosero

DIRECTOR DE LA CARRERA

Armando Heras Sánchez

Guayaquil, a los 21 días del mes de septiembre del año 2015



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, Enrique Sebastián Espinosa de los Monteros Benítez

DECLARO QUE:

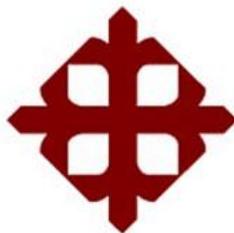
El Trabajo de Titulación **Contribución de técnicas para transmisión de datos en sistemas de comunicación inalámbrica a través de HAP para brindar cobertura de internet en zonas rurales** previa a la obtención del Título **de Ingeniero en Telecomunicaciones con mención en gestión empresarial en telecomunicaciones.**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

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

Guayaquil, a los 21 días del mes de septiembre del año 2015

EL AUTOR (A)

Enrique Sebastián Espinosa de los Monteros Benítez



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, Enrique Sebastián Espinosa de los Monteros Benítez

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **Contribución de técnicas para transmisión de datos en sistemas de comunicación inalámbrica a través de HAP para brindar cobertura de internet en zonas rurales**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 21 días del mes de septiembre del año 2015

EL AUTOR:

Enrique Sebastián Espinosa de los Monteros Benítez

AGRADECIMIENTOS

Primeramente agradezco a Dios por su bendición diaria para poder concluir este trabajo que lo realice con mucho esfuerzo, después quiero agradecer a mis padres ya que con su ayuda y esfuerzo me permitieron estudiar y obtener el título que deseo.

Quiero agradecer a toda mi familia en especial a mis abuelos por su apoyo incondicional. A Rommel Borja por su apoyo y motivación en el área técnica, a mis compañeros y profesores de la universidad.

Al ingeniero Carlos Romero por compartir sus conocimientos y por su apoyo al realizar este trabajo.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

CALIFICACIÓN

CONTENIDO

CAPÍTULO 1: EL PROBLEMA	11
1.1. Situación Problémica	11
1.2. Planteamiento del Problema	11
1.3. Justificación	11
1.4. Objetivos.....	12
1.4.1. Objetivo General	12
1.4.2. Objetivos Específicos.....	13
1.5. Hipótesis	13
CAPITULO 2.....	14
2.1. Breve historia de los globos aerostáticos	14
2.2. El Globo Aerostático	15
2.3. Tipos de globos aerostáticos	15
2.3.1. Globos de aire caliente.....	15
2.3.1.1. Partes del globo de aire caliente.....	16
2.3.1.2. Movimientos del globo de aire caliente.....	16
2.3.2. El globo a gas.....	17
2.3.2.1. Funcionamiento	17
2.3.2.2. Costos.....	18
2.4. Usos de los Globos aerostáticos.....	19

2.5.	Google Loon	19
2.5.1.	Que es Google Loon.....	19
2.5.2.	Objetivo del proyecto Loon.....	19
2.5.3.	Breve historia	20
2.5.4.	Cómo funciona Loon?.....	20
2.5.5.	Partes que componen el globo Loon	21
2.5.6.	Como se conecta Loon?	22
2.6.	TELEFONÍA MÓVIL- RED CELULAR MÓVIL	23
2.6.1.	Estructura de una red celular móvil.....	24
2.6.1.1.	Estación móvil	25
2.6.1.2.	Equipo móvil	26
2.6.1.3.	Modulo de identificación del suscriptor	26
2.6.1.4.	Subsistema de la estación base (BSS)	27
2.6.1.5.	El Subsistema de conmutación de red (NSS)	28
2.6.2.	Evolución de la red celular móvil	29
2.6.2.1.	Primera generación (1G)	30
2.6.2.2.	Segunda generación (2G)	31
2.6.2.3.	Tercera generación (3G).....	32
2.6.2.4.	Cuarta generación (4G)	32
2.7.	LTE	33
2.7.1.	Características de LTE	34
2.7.2.	Requerimientos para LTE	35

2.7.2.1.	Rendimiento del Sistema.....	36
2.7.2.2.	Flexibilidad del espectro.....	37
2.7.3.	Técnicas de acceso múltiple.....	37
2.7.3.1.	OFDM para el enlace descendente	38
2.7.3.1.1.	Modulación.....	41
2.7.3.2.	SC- FDMA para enlace ascendente.....	41
2.7.3.2.1.	Modulación.....	42
2.7.4.	Escalabilidad de ancho de banda.....	43
2.7.4.1.	Bandas de trabajo.....	43
2.7.5.	Arquitectura de la red LTE.....	44
2.7.5.1.	Interfaces E-UTRAN.....	47
CAPITULO 3.....		48
3.1.	Modelo Básico de HAP.	48
3.2.	Modelos de Antenas.....	50
3.3.	Modelo de propagación.	52
3.4.	Planificación de radio enlace.	53
3.4.1.	Despliegue de células y disposición hexagonal	53
3.5.	Escenario de único HAP.	56
3.5.1.	Parámetros de simulación.....	58
3.5.1.1.	Área de estudio	58
3.5.1.2.	Parámetros de la red.	59
3.5.2.	Las variables de estudio.	61

3.5.2.1.	Patrones de las antenas.....	61
3.5.2.2.	Disposiciones de las celdas.....	62
3.5.3.	Estructura de las simulaciones	65
3.6.	Resultados	66
3.6.1.	Probabilidad de servicio	66
3.6.2.	Carga de las celdas para enlaces ascendentes.	73
3.6.3.	Otras opciones del parámetro de interferencia celular.	75
3.6.4.	Potencia de transmisión de la estación móvil.....	78
Capítulo 4: Conclusiones y Recomendaciones		80
4.1.	Conclusiones	80
4.2.	Recomendaciones	80
GLOSARIO		80
BIBLIOGRAFIA		85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Partes principales del globo de aire caliente.	16
Figura 2.2: Imagen de la estructura de un globo a gas.....	18
Figura 2.3: Red de comunicaciones por medio de globos aerostáticos	20
Figura 2.4: Ubicación de los Globos Loon.	21
Figura 2.5: Partes del globo Loon.....	22
Figura 2.6: Red Loon	22
Figura 2.7: Antena de hogar para LTE.	23
Figura 2.8: Esquema General de una Red celular.....	25
Figura 2.9: Figura de una red móvil pública (PLMN).....	27
Figura 2.10: Evolución de la red celular móvil	30
Figura 2.12: estructura del símbolo de tiempo OFDM.....	38
Figura 2.13: Estructura de la trama descendente para tramas de prefijo cíclico corto.	40
Figura 2.14: Estructura de la trama descendente para tramas de prefijo cíclico largo.	40
Figura 2.15: Estructura de la trama de enlace ascendente para LTE.	41
Figura 2.16: Diferentes caminos de evolución hacia LTE.....	44
Figura 2.17: Arquitectura E-UTRAN	46
Figura 2.18: Interfaces usadas en LTE.	47
Figura 3.1: Modelo básico de una HAP.....	48

Figura 3.2: Implementación del modelo HAP.	49
Figura 3.3: Correspondencia de antenas y células.	50
Figura 3.4: Superposición de células para cobertura de HAP.	53
Figura 3.5: Arreglo de células para conjunto de 19 antenas.	54
Figura 3.6: Disposición de las celdas o células.	54
Figura 3.7: Parámetros de las células.	55
Figura 3.8: Estructura de 6 células.	57
Figura 3.9: Área de estudio y cobertura del sistema HAP.	58
Figura 3.10: Área de estudio y cobertura del sistema HAP.	59
Figura 3.11: Diferentes patrones de achura del haz para 2°, 3.14° y 5°.	62
Figura 3.12: Estructura de las celdas de un nivel.	62
Figura 3.13: Estructura de las celdas de dos niveles.	63
Figura 3.14: Resultado en MatLab para dos niveles con 19 celdas.	64
Figura 3.15: Resultado en MatLab para tres niveles con 37 celdas.	65
Figura 3.16: Resultado en MatLab para cuatro niveles con 61 celdas.	65
Figura 3.17: Estructura de las simulaciones.	66
Figura 3.18: Probabilidad de servicio para patrones de antenas a 5°.	67
Figura 3.19: Probabilidad de servicio para patrones de antenas a 3.14°.	67
Figura 3.20: Probabilidad de servicio para patrones de antenas a 2°.	68
Figura 3.21: Comparativa de la probabilidad de servicio (configuración óptima de cada patrón de)	68
Figura 3.22: Número de usuarios atendidos para patrones de antenas a 5°.	70

Figura 3.23: Número de usuarios atendidos para patrones de antenas a 3.14°.....	70
Figura 3.24: Número de usuarios atendidos para patrones de antenas a 2°.....	71
Figura 3.25: Comparación de los resultados analíticos y simulados.	72
Figura 3.26: Comparación del máximo número de usuarios atendidos como una función del número	73
Figura 3.27: Promediod e carga Uplink para patrón de antena 5°.....	74
Figura 3.28: Promediod e carga Uplink para patrón de antena 3.14°.....	74
Figura 3.29: Promediod e carga Uplink para patrón de antena 2°.....	74
Figura 3.30: Parámetro de interferencia “i” para patrón de antena 5°.....	75
Figura 3.31: Parámetro de interferencia “i” para patrón de antena 3.14°.....	76
Figura 3.32: Parámetro de interferencia “i” para patrón de antena 2°.....	76
Figura 3.33: Comparación del parámetro de interferencia “i”.....	77
Figura 3.34: Potencia de Tx de la MS para patrón de antena 5°.....	78
Figura 3.35: Potencia de Tx de la MS para patrón de antena 3.14°.....	78
Figura 3.36: Potencia de Tx de la MS para patrón de antena 2°.....	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Evolución de las generaciones de una red celular móvil.....	33
Tabla 2.2: Velocidades de transmisión de datos de LTE.....	36
Tabla 2.3: Parámetros de la capa física de LTE.	39
Tabla 2.4: Esquemas de Modulación Aplicados a los Canales Físicos del Enlace Descendente.	41
Tabla 2.5: Parámetros de la capa física del enlace ascendente.	42
Tabla 2.6: Esquemas de Modulación Aplicados a los Canales Físicos.	42
Tabla 2.7: Bandas Pareadas para LTE.	43
Tabla 2.8: Bandas no Pareadas para LTE.	44
Tabla 3.1: Parámetros de los patrones de antenas.	51
Tabla 3.2: Distancias entre celdas, número de niveles y número total de celdas. ..	64

RESUMEN

El presente trabajo de titulación está orientado a como brindar un servicio de LTE a zonas rurales por medio de un HAP, el cual equipado con un número de antenas, brindara de una cobertura celular permitiendo acceder a esta red privada por medio de un equipo terminal con adaptaciones para este tipo de tecnología.

Se realizaron varios estudios de propagación para poder determinar los modos de propagación que serán transmitidos por medio de un HAP, la calidad del servicio y la cantidad optima de usuarios para obtener el rendimiento al máximo de la red.

Se realizan ciertas simulaciones por medio del programa Matlab para determinar el número de niveles de la célula y con cuantas celdas se va a trabajar para las distintas anchuras de haz de las antenas

ABSTRACT

The present qualifications work is faced to offer a LTE service to rural areas by HAP, which is equipped with a number of antennas that provides acoverage of a cellular network allowing to gain access to this private network by means of a terminal equipment with some adaptations for this type of technology.

Several spread studies were realized to be able to determine the ways of spread that will be transmitted by means of HAP, the quality of the service and the ideal quantity of users to obtain the maximum throughput of the network.

Certain simulations are realized by the program Matlab to determine the number of levels of the cell and with how many cells it goes to work for the different widths of bundle of the antennas.

CAPÍTULO 1: EL PROBLEMA

1.1.Situación Problémica

Falta de cobertura de servicios de Internet en las zonas rurales de la provincia del Guayas.

1.2.Planteamiento del Problema

La falta de Internet en muchas zonas rurales ha despertado una gran preocupación por parte de las personas que viven en dichas áreas, lo que ha motivado a grandes empresas a buscar métodos alternativos para poder ofrecer Internet en estas zonas y con bajo costo. Una de estas alternativas es la de ofrecer Internet por medio de globos aerostáticos, los cuales en alianzas con los proveedores de Internet pretenden implementar una red de Internet móvil capaz de cubrir una zona la cual no poseía antes Internet.

De lo mencionado anteriormente, la formulación del problema es:

¿Cómo incide la falta de una red comunicaciones para la cobertura de Internet en las zonas rurales en los actuales momentos?

1.3.Justificación

Debido a la falta de cobertura de Internet en zonas rurales, es conveniente realizar un estudio técnico adecuado para justificar una futura implementación de una red de última

generación, ya sea UMTS o LTE, la cual brinde la mayor cobertura de servicios de internet a todas las personas que habitan estas áreas.

Debido que la tecnología avanza a pasos agigantados, es necesario que las personas vayan acorde al avance de la tecnología, ya que esta puede brindar gran ayuda al desarrollo de comunidades las cuales antes no poseían un recurso tan necesario como hoy en día es la Internet y más aun en un dispositivo móvil el cual nos permite estar en permanente comunicación en cualquier momento.

Este trabajo contribuirá a toda la comunidad de la Provincia del Guayas, específicamente a los habitantes de los sectores rurales y especialmente el área de cobertura. Este estudio ayudará a futuros trabajos para factibilidad de implementar un sistema de comunicación a través de HAP.

1.4.Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Contribuir con técnicas de transmisión datos en sistemas de comunicaciones inalámbricas mediante un estudio del sistema HAP para brindar cobertura de Internet en Zonas Rurales.

1.4.2. Objetivos Específicos

- a. Describir los fundamentos teóricos necesarios para la presente investigación del trabajo de titulación.
- b. Estudiar los parámetros del área de cobertura y patrones de antenas para transmisiones de datos a través de plataformas de gran altitud (HAP).
- c. Modelar matemáticamente diferentes escenarios para patrones de antenas y niveles de celdas para la zona de cobertura de una HAP.
- d. Evaluar los diferentes patrones de antenas y niveles de las celdas que garanticen una mejor cobertura y mayor probabilidad de servicio.

1.5.Hipótesis

Mediante la contribución de técnicas para el modelo de propagación en comunicaciones inalámbricas a través de HAP permitirá satisfacer las necesidades de acceso a Internet en beneficio de los habitantes en sectores rurales.

CAPITULO 2

2.1. Breve historia de los globos aerostáticos

El 19 de septiembre de 1783, un científico Pilatre de Rozier, levanto vuelo al primer globo de aire caliente. Los pasajeros fueron una oveja, un gallo y un pato. El globo se mantuvo en el aire un gran tiempo total de quince minutos antes que descendieran al suelo. (eballon.org, 2015)

El primer intento de vuelo tripulado fue dos meses después del intento anterior, por medio de un globo fabricado por dos hermanos franceses Joseph and Etienne Montgolfier. El globo fue lanzado desde el centro de Paris y voló por un periodo de veinte minutos y esto fue el inicio de los globos aerostáticos tripulados.

Después de dos años el piloto francés Jean Pierre Blanchard y su copiloto americano, John Jefferies se convirtieron en los primeros en atravesar el canal Ingles. En aquella época era considerado el primer paso del vuelo a distancia por lo que fue deo una marca en historia de los globos aerostáticos.

Desafortunadamente, ese mismo año el piloto Pilatre de Rozier, pionero en este asunto, murió luego de un intento fallido por cruzar el canal Ingles. Su globo estallo luego de dos horas de vuelo, debido al experimento de atar dos globos uno a hidrogeno y el otro de aire caliente.(eballon.org, 2015)

El siguiente paso importante en los globos aerostáticos fue el siete de enero de 1932, Jean Pierre Blanchard fue el primero en volar un globo en los Estados Unidos donde George Washintong estuvo presente para observar el lanzamiento del globo.

Después de 100 años, en agosto de 1832 el científico suizo Auguste Piccard fue el primero en alcanzar un vuelo tripulado a la estratosfera. El alcanzó una altura de 52,498 pies de altura, estableciendo un record de altitud. (museum, 2011)

En 1935 un nuevo record de altitud fue alcanzado, un globo de helio llamado Explorer 2 alcanzo una altitud de 72,395 pies de altura aproximadamente unas 14 millas que son unos 22 mil kilómetros por primera vez en la historia, esto probó que las personas podrían sobrevivir en cámaras presurizadas a altitudes extremas. Este vuelo estableció un hito para la aviación ypreparóel camino para la futura aviación espacial.

El record máximo alcanzado fue el 1960 cuando el capitán Joe Kittingersaltó en paracaídas desde un globo que estuvo a la altitud de los 102,000 pies de altura. El globo alcanzo el record de máxima altitud y el capitán Kittinger, el record de mayor salto en paracaídas, alcanzando la barrera del sonido con su cuerpo. (museum, 2011)

2.2. El Globo Aerostático

El globo aerostático está considerado como un tipo de nave que permite a las personas desplazarse a través del espacio aéreo aunque en la mayoría de los casos tal desplazamiento sea simplemente recreativo y temporario. El globo aerostático funciona a partir del movimiento de diferentes gases que pueden ser calientes o no. El impulso de esos gases hace que la recámara formada por una extensa tela vaya desplazándose a través del aire, además de subir en altura y despegarse del suelo. Normalmente los globos aerostáticos no cumplen una función de transporte regular como sí lo hacen otras naves aéreas (aviones, helicópteros) si no que se relaciona más que nada con actividades recreativas, de competición, etc. (Definicion abc, 2015)

2.3. Tipos de globos aerostáticos

Los globos se pueden clasificar en dos clases: globos de aire caliente y globos de gas.

Los globos de aire caliente y de gas comparten varias similitudes. La parte del globo que sostiene el aire caliente o gas se llama el sobre. La parte del globo que lleva a pasajeros se llama la góndola o cesta. Las diferencias entre los dos tipos de globos se extienden en el costo y duración de vuelo.

2.3.1. Globos de aire caliente

La base de cómo el globo trabaja es que el aire más caliente se eleva sobre el aire más frío. Esto es porque el aire caliente es más ligero que el aire frío ya que tiene menos masa por unidad del volumen. La masa puede ser definida por la medida de cuanta

materia algo contiene. El globo actual (llamado un sobre) tiene que ser tan grande como toma una cantidad tan grande de aire acalorado para levantarlo de la tierra. Por ejemplo, para levantar el valor de 1000 libras de peso se necesitaría casi 65,000 pies cúbicos de aire acalorado. Para ayudar a mantener el globo en el aire y elevarlo, el aire caliente se tiene que propulsar hacia arriba en el sobre usando el quemador.

2.3.1.1. Partes del globo de aire caliente

Un globo de aire caliente está compuesto de tres partes principales:

1. El sobre: El globo de tela que sostiene el aire.
2. El quemador: La unidad que propulsa el calor dentro del sobre.
3. La cesta: El lugar donde se ubican el piloto y los pasajeros.

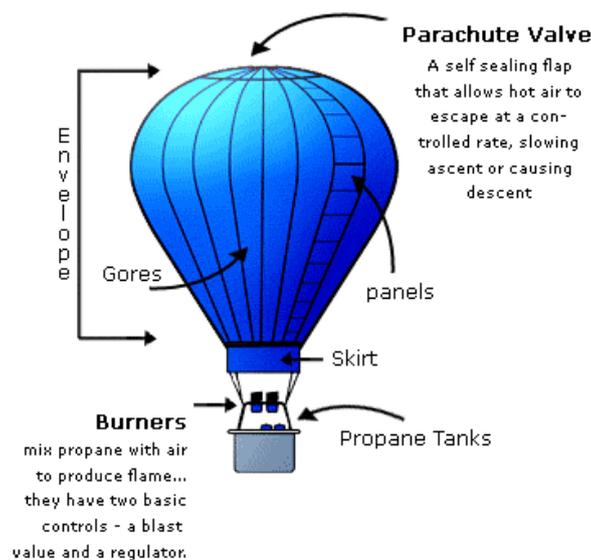


Figura 2.1: Partes principales del globo de aire caliente.

Fuente: (eballon.org, 2015)

2.3.1.2. Movimientos del globo de aire caliente

El quemador usa el gas de propano para calentar el aire sobre el para mover el globo de la tierra y elevarlo en el aire. El piloto debe seguir disparando el quemador con regularidad durante el vuelo para asegurar que el globo siga siendo estable. Naturalmente, el aire caliente no se escapará del agujero en el fondo en primer lugar, y

en segundo lugar el aire caliente subirá, la flotabilidad mantendrá el globo de subida. Los mandos para pilotar un globo son realmente muy simples y son dos:

- Mover el globo de subida: El piloto abre la válvula de propano que deja al propano fluir al quemador que por su parte enciende la llama en el sobre. El trabajo es más o menos igual como una parrilla de gas, entre más se abre la válvula, más grande es la llama para calentar el aire por lo tanto más rápido el globo se eleva.
- Mover el globo de bajada: La 'Válvula del Paracaídas' en la cumbre del globo es lo que es usado para bajar el globo hacia la tierra. Es esencialmente un círculo de reducción de tela en la cumbre del sobre, que es controlado por una cuerda larga que se jala del medio del sobre a la cesta. Si el piloto quiere bajar el globo simplemente se jala la cuerda que abrirá la válvula de paracaídas, dejando al aire caliente escapar, disminuyendo la temperatura del aire interior. Esta refrigeración de aire hace que el globo reduzca la marcha de su subida.

2.3.2. El globo a gas

Los globos a gas vuelan como resultado de soltar un gas en el sobre del globo. El globo a gas tiene una estructura muy parecida al globo de aire caliente.

En los Estados Unidos los pilotos vuelan con helio o hidrogeno como el gas más ligero, ambos gases son más ligeros que el aire.

Los globos a gas tienen su primer levantamiento debido a que se suelta el hidrogeno o el helio en el sobre del globo. Los pilotos prefieren vientos menores a las doce millas aproximadamente veinte kilómetros por hora para levantar vuelo.

2.3.2.1. Funcionamiento

Los pilotos tienen dos formas de controlar la altitud del globo:

1. Descender

Los pilotos pueden expulsar ya sea el helio o el hidrogeno por la parte superior del sobre o esperar que el aire de la tarde-noche que es más ligero que ellos, los contraiga en el sobre provocando el descenso de la nave.

2. Ascenso

Para ascender el globo se debe llenar el sobre con uno de los gases usados para tipo de globos, es preferible que sea en los horas más calientes del día ya que el aire caliente calienta al helio o al hidrogeno y se provoca la elevación de estos gases en sobre y luego se suelta el peso que mantiene la cesta en el suelo que generalmente son bolsas de arena o agua.

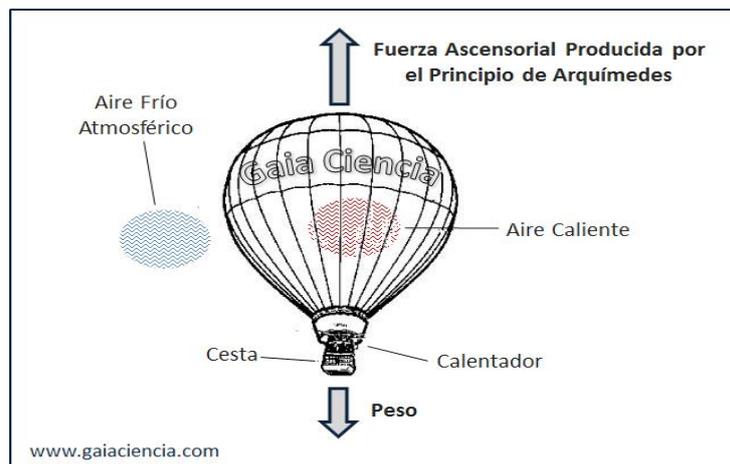


Figura 2.2: Imagen de la estructura de un globo a gas.

Fuente:(gaiaciencia, 2015)

2.3.2.2. Costos

El costo de llenar el sobre de helio para un tiempo de vuelo de tres días es de más de cinco mil dólares. Un monto similar es el valor del hidrogeno que ronda por los mil dólares.

2.4. Usos de los Globos aerostáticos

Los globos son usados en una variedad de diferentes razones como de placeres como lo son: negocios, anuncios, deportes y su mayor uso que es recreativo.

- Comercial y ocio: el principal uso de los globos de aire caliente es el de ofrecer el vuelos comerciales, el cliente reserva un vuelo y lo paga para efectuarlo.
- Promoción y anuncios: Algunas compañías escogen los globos aerostáticos como medio para promocionar sus productos en la parte del sobre o llevando un anuncio detrás de el.
- Corporativo: ciertas compañías deciden llevar a sus empleados a viajes por medio de estos globos como incentivo a su labor.
- Deportes: se ha convertido en un deporte que ha ido creciendo a lo largo de los años, que consiste en una carrera donde participan muchos de estos globos.

2.5. Google Loon

2.5.1. Que es Google Loon

Muchos de nosotros vemos al Internet como una comunicación global, pero la realidad es que dos tercios de la población mundial todavía no tienen acceso a Internet. El Proyecto Loon de Google se compone de una red de globos que viajará sobre el límite con el espacio exterior.

El proyecto está pensado para conectar a las personas que habitan zonas remotas o rurales, para llegar a las zonas con falta de cobertura y para que las personas puedan volver a tener Internet después de una catástrofe.(Google, 2013)

2.5.2. Objetivo del proyecto Loon

Establecer un anillo de conectividad ininterrumpida en latitudes del hemisferio sur, de manera que los probadores pilotos de estas latitudes puedan recibir servicio continuo mediante Internet a través de un globo. (Google, 2013)

2.5.3. Breve historia

El proyecto Loon comenzó a desarrollarse de manera no oficial en el 2011 y fue anunciado oficialmente como un proyecto de Google en el 2013. Un experimento piloto fue puesto a prueba en el 2013 al sur de Nueva Zelanda donde fueron lanzados treinta globos. Después de esta prueba inicial Google planea enviar alrededor de 300 globos alrededor del mundo en el 40 paralelo sur para proveer de Internet a Nueva Zelanda, Australia, Chile y Argentina como se muestra en la figura 2.3, Google espera tener alrededor de mil globos volando en la estratosfera. (Katikala, 2014)



Figura 2.3: Red de comunicaciones por medio de globos aerostáticos

Fuente: (Google, 2013)

2.5.4. Cómo funciona Loon?

Primeramente Loon es un proyecto que se desarrolla en la estratosfera a una altitud de 20 Km de la superficie terrestre, esto equivale al doble de alto en que se realizan los vuelos comerciales y de los cambios climáticos. En la estratosfera existen varias capas de viento con diferentes direcciones y diferentes velocidades y sin presencia de nubes lo que permite que la luz solar sea la fuente de energía de estos globos que llevan paneles solares en su estructura. (Katikala, 2014)

Google Loon utiliza unos algoritmos complejos desarrollados por sus ingenieros, estos algoritmos determinan a dónde debe dirigir el o los globos para formar una red, cada globo posee un GPS para rastrear su ubicación. Los datos que son utilizados por los algoritmos son sacados de los datos climáticos NOAA.



Figura 2.4: Ubicación de los Globos Loon.

Fuente: (Google, 2013)

2.5.5. Partes que componen el globo Loon

El globo está compuesto de tres partes principales las cuales son:

- **Cubierta:** Es fundamental construir una cubierta de calidad para el globo, ya que esto permitirá que permanezca en la estratósfera durante aproximadamente 100 días. Las cubiertas de los globos de Loon están hechas de filamentos de polietileno y miden 15 m de ancho por 12 m de alto cuando están infladas.(Google, 2013)
- **Paneles solares:** Con sol pleno, los paneles producen aproximadamente 100 W de energía, lo suficiente para que los circuitos electrónicos de Loon sigan funcionando mientras se carga una batería para uso nocturno. Los paneles se montan en un ángulo empinado para que puedan capturar de forma efectiva la luz solar durante los días más cortos de invierno en zonas de latitud alta. Se dividen en dos secciones que apuntan hacia direcciones opuestas que permite capturar la energía proveniente de cualquier dirección.(Google, 2013)
- **Electrónica:** contiene placas con circuitos que controlan el sistema, antenas de radio para que los globos se comuniquen entre sí y con las antenas de la Tierra, y baterías de iones de litio para almacenar la energía solar. (Google, 2013)

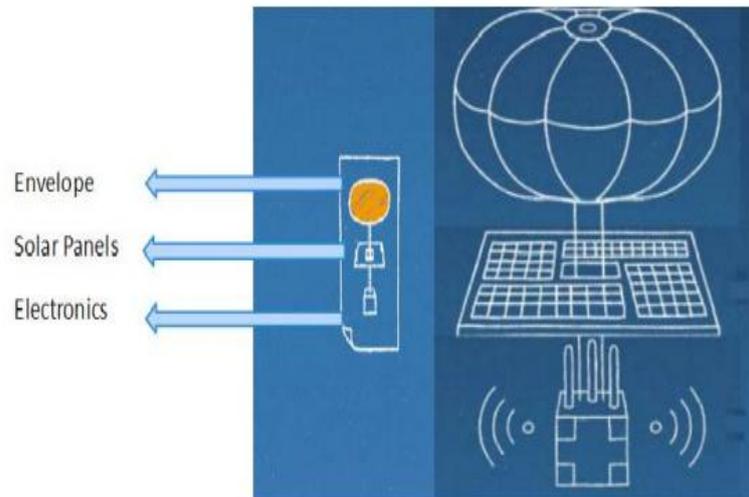


Figura 2.5: Partes del globo Loon

Fuente: (Katikala, 2014)

2.5.6. Como se conecta Loon?

Las radio bases que se encuentran en la superficie terrestre son las responsables de proporcionar la conectividad a la Internet a los globos a una distancia máxima de 100 Km a la redonda. Las señales transmitidas llegan a un globo para después a hacer un siguiente salto a otro globo para así formar una cadena de cinco globos. Cada globo es conectado a otro por medio de un transceptor de radio a una distancia aproximada a los 50 Km, esta red se diseña para asegurar la fiabilidad de la señal. Un segundo transceptor mantiene al globo conectado con las radio bases en una área de 40 km de diámetro. (Smith, 2014)



Figura 2.6: Red Loon

Fuente: (Katikala, 2014)

Cada globo puede proporcionar conectividad a un área terrestre de aproximadamente 40 km de diámetro mediante una tecnología de comunicación inalámbrica llamada LTE. Para usar LTE, el Proyecto Loon se asocia con empresas de telecomunicación para compartir el espectro celular, de manera que las personas puedan acceder a Internet desde cualquier lugar directamente con sus teléfonos y otros dispositivos habilitados para LTE. (Google, 2013)

El proyecto Loon usa las bandas ISM (2.4 y 5.8 GHz) que están disponibles para cualquier uso.

Hay dos tipos de comunicaciones: comunicación de globo a globo y la comunicación entre globo y radio base.

Para que exista comunicación entre el cliente y el ISP se requiere tener un equipo celular o cualquier dispositivo móvil adecuado para LTE o una antena especial para hogares de este tipo de tecnología, esta antena envía una señal al globo el cual reenvía al siguiente globo (no más de cinco) hasta llegar a la radio base más cercana que prevé de Internet a los globos. Luego el ISP envía una señal de respuesta con la información solicitada desde el móvil del cliente al globo más cercano para luego transmitirla a través de la red de globos hacia el usuario.(InterPlanetary Networking Special Interest Group, 2013)



Figura 2.7: Antena de hogar para LTE.

Fuente: (Doowon, 2013)

2.6. TELEFONÍA MÓVIL- RED CELULAR MÓVIL

Los teléfonos celulares y las tecnologías móviles son omnipresentes en la vida cotidiana, aún en las implicaciones culturales que teléfonos móviles han provocado.

En la primera mitad del 2002, el número de usuarios móviles rompieron un record y alcanzaron los 1 mil millones de cuentas activas. Esta revolución en nuestra vida se ha realizado a través de una continua evolución de estándares y productos manteniendo el cuidado de un nivel óptimo de rendimiento. Esta evolución comenzó a principios de los años90 con la migración de la red móvil analógica hacia la red digital, y esta revolución continua hoy en día con el desarrollo de la cuarta generación (4G). Desde la red basada por circuitos ahora entramos al mundo digital por medio de una red de paquetes de datos donde la información y el desarrollo de las tecnologías serán desarrolladas por medio de redes IP.

Entre las principales características presentan las siguientes:

- **Movilidad:** permite enlazarnos y desplazarnos en la red móvil desde cualquier punto donde este implementada dicha red.
- **Convergencia:** permite acceder a la información y a la comunicación de manera rápida, soportando esta red más de 2 tipos de tecnologías.
- **Flexibilidad:** las configuraciones de la red pueden cambiarse fácilmente y una red que inicialmente soportaba pocos usuarios puede extenderse a medida que se incorporan más usuarios, incluyendo nuevos dispositivos de interconexión, sin necesidad de preocuparse por las instalaciones de cables. (Classrrom, 2011)
- **Conectividad:** sin necesidad de cables se conecta de manera inalámbrica.

2.6.1. Estructura de una red celular móvil

La estructura del sistema celular está basada en la interconexión de unidades móviles a través de una red de estaciones base repartidas en un área geográfica las cuales mantienen una comunicación entre sí y con redes externas.(Figuroa de la Cruz, 2008)

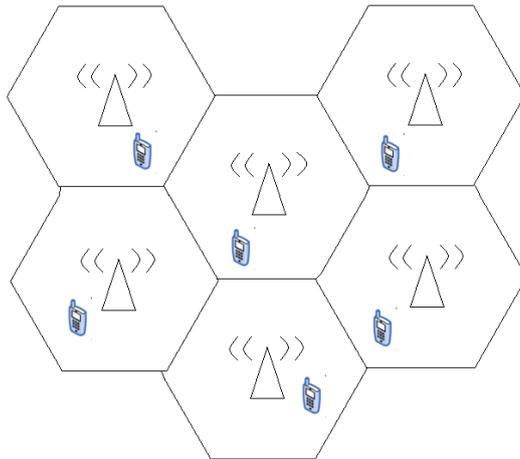


Figura 2.8: Esquema General de una Red celular.

Fuente: (Salazar, 2014)

2.6.1.1. Estación móvil

La estación móvil representa lo último en desarrollo, no solo en la parte de los circuitos integrados sino también en las siguientes características:

- Comprensión de la voz para así minimizar el ancho de banda.
- Codificación, para evitar cualquier intersección en una llamada o en algún mensaje de texto.
- Codificación y decodificación para detectar y corregir errores durante la transmisión aérea provocada por la interferencia.

Hay una diferencia interesante entre la estación móvil y el equipo móvil, la estación móvil funciona a partir de la inserción de la tarjeta SIM (Subscriber Identity Module) al equipo móvil.

2.6.1.2. Equipo móvil

Es una pequeña estación de transmisión y recepción equipada con una larga escala de circuitos integrados que permiten:

- Filtración digital de alto nivel que permite un tiempo de intercambio muy corto.
- Procesamiento rápido de la señal y osciladores muy rápidos.
- Fuente de alimentación por medio de una batería que permite un tiempo largo de espera y un poder de transmisión por encima de los 8 watts.
- El cuerpo está identificado por medio de la IMEI (International Mobile Equipment Identity). El IMEI consiste en 15 dígitos (60 bits).

2.6.1.3. Módulo de identificación del suscriptor

El SIM consiste en el banco de datos del móvil y la memoria utilizable libre. El banco de datos consiste de:

- Administración de la información: PIN (The Personal Identification Number), tabla de SIM-Service.
- Autenticación y cifrado: la codificación de algoritmos (A3, A8) los mismos que se usan para la red y la autenticación de computo.
- Suscriptor Específico: IMSI (International Mobile Subscriber Identity) que consta de 15 dígitos o menos, con 3 dígitos del código del país, 2 dígitos que son provienen de la red y 10 dígitos o más del número de identificación del suscriptor móvil.
- Roaming data: almacenamiento de información de localización cuando el suscriptor esta fuera del área de cobertura de su proveedor local, se le da al usuario un número de identificación móvil temporal.
- Información personal del usuario: almacenamiento de números celulares, mensajes de texto.

2.6.1.4. Subsistema de la estación base (BSS)

El subsistema de la estación base está marcada con verde en la figura 2.9, que se encuentra más debajo de esta descripción, sus principales elementos son los siguientes:

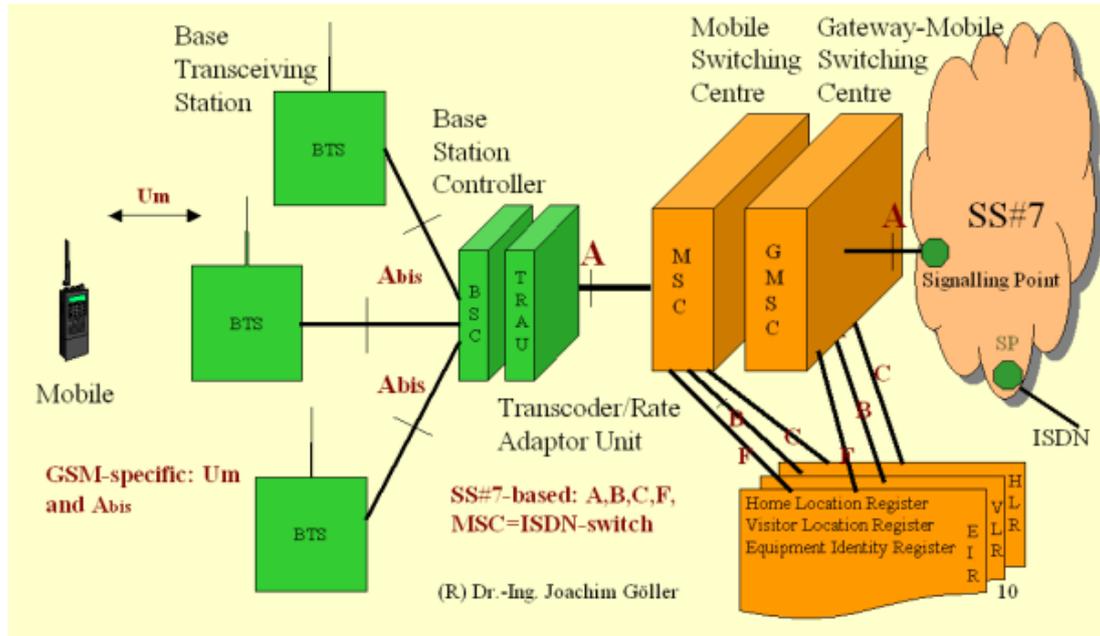


Figura 2.9: Figura de una red móvil pública (PLMN)

Fuente: (Leseprobe, 2014)

1. The Base Transceiver Station (BTS)

Es la interfaz aérea entre el móvil y la red y consiste de: antenas, filtros pasa banda tanto de entrada como de salida, radio transmisores y receptores, módulo de TX y RX (TRX) y el módulo de operación y mantenimiento. (Leseprobe, 2014)

2. The Base Station Controller (BSC)

The Base Station Controller es el centro de inteligencia de la BSS que consiste de:

- una serie de conmutadores que unen varios BTSs con el MSC (Mobile Switching Center).
- un banco de datos en el cual la calidad y la disponibilidad de los recursos de la radio se almacenan y el estado del equipo de BSS es monitoreado.
- Unidad central de procesamiento (CPU).

3. Unidad de adaptación y la tasa de conversión.(TRAU)

Es responsable de la comprensión de la información que será transmitida por aire, el método de compresión usado es llamado 'Regular Pulse Excitation-Long Term Prediction' (RPE-LPT).

2.6.1.5. El Subsistema de conmutación de red (NSS)

Es la parte central de cualquier Sistema de Radio Móvil y controla varios BSSs. Sus componentes son responsables de todo el proceso de llamadas, el control de las mismas y de la base de datos cuya función son necesarias para examinar la autenticación, entablar la llamada, para codificar la información y controlar el roaming, sus componentes son:

1. Centro de conmutación móvil(MSC)

El MSC es un estándar ISDN-switching system adaptado para ser usado en las redes de radio móviles. Asume el intercambio de canales dentro de un PLMN (Red móvil pública) o entre varios PLMNs y controla el intercambio entre varias áreas MSC.

El MSC también adapta protocolos entre Control de llamadas Parte del Usuario (ISDN-típica) e ISDN como es usado en SS#7.(Telecommunications, 2009)

2. Puerta de enlace del centro móvil de servicios (GMSC)

Solo el GMSC es capaz de crear una conexión de un PLMN a otra red. Por ejemplo:

Hay un suscriptor en la red fija que desea llamar a un suscriptor de la red móvil. La información de voz viene de ISDN la utilizando el D-canal, pasa la red de troncado usando el SS#7 y llega al GMSC. Una vez que la llamada llega al GMSC este inicia una búsqueda del suscriptor llamado usando el registro de localización local. Entonces conmuta a la MSC responsable que enlazara la llamada al BSC y a un BTS donde el suscriptor está acampando. Luego la llamada es enviada con una solicitud de contestación al suscriptor deseado. (Leseprobe, 2014)

3. Registro de Ubicación Local(HLR)

Generalmente un PLMN consiste en varios HLRs. Los dos primeros números del número telefónico móvil por ejemplo, 0171 2620757 son los números del HLR donde el suscriptor móvil es almacenado. Entre otras cosas, las siguientes informaciones de cualquier suscriptor son almacenadas:

- Suscriptor Específico: restricción de servicios, servicios adicionales, número de directorio.
- Autenticación y cifrado: algoritmo A3, algoritmo A4.
- Buscador de suscriptor/control de llamadas: información relacionada con la ubicación actual del suscriptor, por ejemplo el VLR actual, numero del MSC.

4. Registro de localización del visitante (VLR)

El registro de la ubicación del invitado almacena la información para aquellos suscriptores que están actualmente situados en un área de servicio del correspondiente centro de conmutación móvil. Un suscriptor que se registra en un PLM permitido es registrado por el VLR responsable después de que este ha pedido sus datos de usuario del HLR responsable. La función del registro de la ubicación del invitado es integrada con cada centro de conmutación móvil. La siguiente información es almacenada en el VLR:

- Suscriptor específico: identificación internacional de suscriptor móvil (IMSI), identificación temporal de suscriptor móvil (TMSI).

5. Equipo de Registro de Identidad (EIR)

Toda estación móvil posee un IMEI. Es posible pedir por esta identificación marcando *#06# en el equipo móvil.

2.6.2. Evolución de la red celular móvil

Los últimos años han atestiguado un crecimiento fenomenal de la industria inalámbrica, tanto en términos de la tecnología móvil como en términos de sus suscriptores. Hubo un cambio claro de la telefonía fija a la telefonía móvil celular, sobre todo desde los finales de este siglo. Para el final del 2010, hubo más de cuatro veces

más suscriptores de telefonía móvil que de telefonía fija. Con todos los avances tecnológicos y la operación simultánea de redes 2G, 2.5G y 3G, el impacto de los servicios de la eficacia de la red se han vuelto más críticos. La ITU ha publicado recientemente los requisitos para el IMT avanzado, que constituye oficialmente la definición de la tecnología 4G donde los requerimientos incluyen ofrecer sus servicios de operación en los canales de radio mayor a los 40 MHz con extrema eficacia espectral. La evolución de la red celular móvil se ha clasificado en “generaciones” como la muestra la siguiente figura. (De Vriend, Philippe, Christophe, & Xiaofeng Xu, 2002)

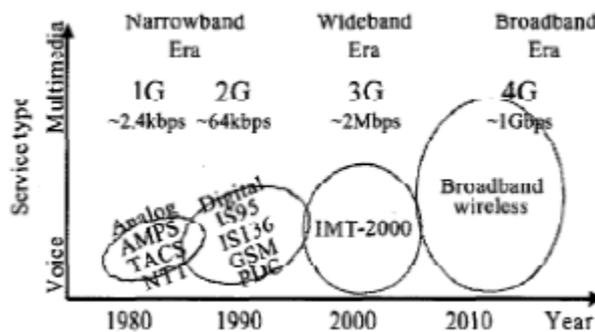


Figura 2.10: Evolución de la red celular móvil

Fuente: IJECT Vol. 1.

2.6.2.1. Primera generación (1G)

Durante los principios de los años 80s, el sistema analógico de telefonía móvil fue presentado. En ese tiempo cada país desarrollaba su propio sistema limitando su uso. Fue en Tokio, Japón donde se comenzó a operar el primer sistema celular en el mundo, desarrollado por la Nippon Telephone and Telegraph (NTT). Los dos sistemas análogos más populares fueron Teléfonos Mviles Nordicos (NMT) y Sistemas de comunicaciones de acceso total (TACS), estos sistemas ofrecían capacidades de intercambio e itinerancia pero esta red celular no era capaz de operar entre países lo cual era una enorme desventaja de esta primera generación. En el año de 1982, en los Estados Unidos fue lanzado el Sistema telefónico móvil avanzado (AMPS), a este sistema se le asignó un ancho de banda de 40 MHz con un rango de frecuencias de 800-900 MHz. Todos estos estándares ofrecían una gran cantidad de canales de información con una tasa de datos de 10 kbps. (Amit, Dr. Yunfei, Dr. Jyotsna, & Divya4, 2010)

2.6.2.2. Segunda generación (2G)

En esta segunda generación coexistieron cuatro sistemas tecnológicos las cuales fueron: GSM, cdmaOne, TDMA y PDC.

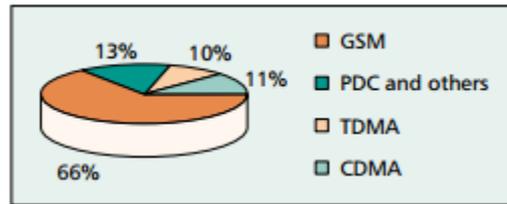


Figura 2.11: Distribución global de estándares móviles 2G

Fuente: (IEEE, 2012)

- GSM (Sistema global para las comunicaciones móviles): su uso comercial comenzó a mediados del año de 1991. GSM permite que hasta ocho usuarios compartan un único canal de radio de 200 KHz asignando una ranura de tiempo único a cada usuario. GSM se usa en las bandas de 900 y de 1800 MHz por todo el mundo excepto en Norte América (banda de 1900 MHz). GSM ofrece mensajes de texto y transferencia de datos usando la conmutación de circuitos de datos (CSD). (Amit, Dr. Yunfei, Dr. Jyotsna, & Divya, 2010)
- cdmaOne: la tecnología del espectro de extensión ha sido usado en las aplicaciones militares por un largo tiempo, a mediados de los 80s se permite el uso de esta tecnología para los dispositivos móviles. La tecnología de extensión del espectro está basada en el estándar de Acceso múltiple por división de código (CDMA), CDMA es llamado cdmaOne para diferenciarlo de los sistemas CDMA 3G. Con CDMA mas de 64 usuarios comparten el mismo canal de 1.25 MHz.
- TDMA: acceso múltiple por división de tiempo. “Emplea una técnica de división de tiempo de los canales de comunicación para aumentar el volumen de los datos que se transmiten simultáneamente. Esta tecnología se usa, principalmente, en el continente americano, Nueva Zelanda y en la región del Pacífico asiático.” (Móvil, 2013)
- PDC: es el estándar base japonés que opera en las bandas de los 800 y 1500 MHz.

2.6.2.3. Tercera generación (3G)

La idea de 3G surgió de la evidente necesidad de una mayor capacidad, nuevas frecuencias y una velocidad de datos mayores. Dos principales sistemas propuestos fueron reconocidos por la Unión Internacional de las Telecomunicaciones (ITU) los cuales fueron: UMTS y cdma2000.(Pereira & Sousa, 2004)

- UMTS: sistema móvil universal terrestre que es usado en Europa, donde WCDMA es la tecnología de interfaz aérea. Sus principales componentes incluyen una estación base (BS) o nodo B, una red de radio controlada (RNC) aparte de la WMSC (centro de conmutación móvil de banda ancha). “Esta tecnología usa un ancho de banda de 5 MHz para la transferencia de voz y datos a una tasa de velocidad de 2 Mbps”. (Salazar, 2014)
- Cdma2000: este sistema fue creado en los Estados Unidos. Las redes 3G permiten a los operadores de red ofrecer a los usuarios una amplia variedad de servicios avanzados consiguiendo mayor capacidad de la red por medio de la eficacia espectral u optimización del espectro de frecuencias. Los servicios incluyen un área emplea de telefonía inalámbrica, video llamadas, intercambio de paquetes de datos todo esto en un ambiente móvil.

También esta generación incluye el HSPA (Acceso de alta velocidad del paquete de enlace descendente) que es un protocolo con capacidad de transmisión de datos en enlaces descendentes de 14.4 Mbps y 5.8 en enlaces ascendentes. (Pereira & Sousa, 2004)

2.6.2.4. Cuarta generación (4G)

En contraste con 3G, la nueva generación 4G intentara llevar a cabo nuevos niveles de experiencias al usuario y capacidades de multi-servicio, integrando también todas las tecnologías móviles que existen como son: GSM, GPRS, IMT-2000, Wi-Fi, Bluetooth.

La razón fundamental para la transición a una red All-IP es la de tener una plataforma común para todas las tecnologías ya desarrolladas hasta ahora y poder brindar al usuario nuevos servicios que se están desarrollando. La diferencia fundamental entre GSM/3G y All-IP es que la funcionalidad de la red controladora de radio (RNC) y la estación controladora base (BSC) es ahora distribuida a la estación

base transistora (BTS) y a un juego de servidores y gateways. Esto significa que esta red será más barata y que la transferencia de información sea más rápida.(Pérez, 2010)

A continuación una tabla que muestra el resumen las tecnologías de redes celulares móviles:

Estándar	Generación	Descripción	Rendimiento
GSM	2G	Transmisión de voz o datos digitales de bajo volumen	9.6 Kbps
GPRS	2.5G	Transmisión de voz o datos digitales de volumen moderado	21.4 a 171.4 kbps
EDGE	2.75G	Transferencia simultánea de voz y datos digitales	43.2 a 345.6 kbps
UMTS/ IMT- 2000	3G	Transferencia simultánea de voz y datos digitales a alta velocidad	0.144 a 2 Mbps
IMT advanced	4G	Convergencia a redes basadas en IP	100 a 50 Mbps

Tabla 2.1: Evolución de las generaciones de una red celular móvil.

Fuente: Autor.

2.7. LTE

El incremento reciente del uso de datos móviles y la aparición de nuevas tecnologías como MMOG (Multimedia Online Gaming), TV móvil, Web 2.0, contenidos de transmisión ha motivado a 3GPP (3rd Generation Partnership Project) a trabajar en lo que hoy se conoce como LTE (Long Term Evolution).(Fiocca & Salvatore, 2010)

Este el último estándar en el árbol de la tecnología de la red móvil que antes realizó GSM/EDGE y las tecnologías de la red UMTS/HSPA y que ahora cuentan con más del

85% de todos los suscriptores móviles. LTE asegurará a 3GPP una ventaja competitiva sobre otras tecnologías celulares.

LTE, cuyo acceso de radio es llamado Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN), red terminal de acceso terrestre evolucionado UMTS, se espera que sustancialmente mejore el rendimiento del usuario final y la capacidad del sector y reduzca la latencia del plano del usuario, trayendo una mejora significativa en la experiencia del usuario con total movilidad.

2.7.1. Características de LTE

LTE es definido en el reporte técnico No. 25.913 de 3GPP donde indica que sus principales objetivos son:

- Soportar una transmisión de banda ancha flexible que llega hasta los 20Mhz.
- Tasa de datos pico de 100Mbps (downlink) y de 50Mbps (uplink).
- Latencia menor a 10ms.
- Eficiencia de espectro mejorado 3 a 4 veces (uplink) y de 2 a 3 veces (downlink) con relación a HSPA.(Salazar, 2014)

Otras características de LTE reflejan que esta tecnología es diseñada para tener canales más amplios por arriba de los 20 MHz con latencia baja y tecnología de radio acceso con paquetes optimizados ya que posee una arquitectura plana lo que reduce el número de elementos de red. Con la aparición del protocolo de Internet IP como protocolo de elección de transporte para todo tipo de tráfico, LTE es programado para proveer soporte de tráfico basado en IP end-to-end Quality of Service (QoS) que en español es conocido como la calidad del servicio de terminal a terminal.(Fiocca & Salvatore, 2010)

El tráfico de la voz se apoyara principalmente como voz sobre IP en inglés Voice Over IP (VoIP), permitiendo una mejor integración con otros servicios multimedia.

A diferencia de HSPA que se acomodó con el lanzamiento de la arquitectura 99 UMTS, 3GPP especifica un nuevo núcleo de paquete el cual es ECP que significa en ingles Evolved Core Packet, núcleo de paquete evolucionado en español el cual ayudara a E-UTRAN a la reducción de elementos de la red como se mencionó

anteriormente, con una funcionalidad más simple mejorando la redundancia pero lo más importante que permite conexiones e intercambio a otras líneas físicas y a tecnologías de acceso inalámbrico dando a los proveedores de servicio la capacidad de entregar una experiencia de movilidad sin costuras.

2.7.2. Requerimientos para LTE

Se espera que el sistema de LTE sea competitivo durante los próximos años, por lo tanto, los requisitos y los objetivos expuestos para este sistema son completamente rigurosos. Los objetivos principales de la evolución son mejorar el servicio de aprovisionamiento y reducir los costos de usuario/operador. (Abdul Basit, 2009)

Más específicamente, algunos requisitos claves y objetivos de capacidad para la evolución a largo plazo son los siguientes:

- Baja latencia: para ambos planos, de usuario y de control, con una asignación del espectro de 5MHz el objetivo de la latencia está por debajo de los 5ms.
- Escalabilidad de ancho de banda: diferentes anchos de banda se pueden usar dependiendo de los requerimientos necesarios (1.25 a 20 MHz).
- Velocidad de transferencia de datos: 100 Mbps para el enlace descendente y 50 Mbps para el enlace ascendente. Como se muestra en la tabla 2.2.
- Soporte únicamente por paquetes conmutados.
- Rendimiento mejorado del borde de la célula.
- Interoperación con los sistemas existentes 2G y 3G y con los sistemas no 3GPP.
- Optimización para velocidades bajas móviles pero también soporte a velocidades móviles altas.
- Reducción de complejidad en ambos sistemas y en los terminales.
- Fácil migración de los sistemas ya existentes.
- Simplificación y minimización de números de interfaces.

Un requisito clave para LTE es hacer posible una transición sin dificultades de los sistemas de telecomunicaciones actuales. Esto se puede hacer posible reduciendo los actuales rangos del espectro de frecuencias, interoperabilidad entre los actuales sistemas

y los sistemas futuros, reutilizando la infraestructura existente y una producción competitiva de los precios de los equipos. Esto permite a los operadores la habilidad e migrar a nuevos sistemas con facilidad. Pero para esto se requiere la adopción de una arquitectura del sistema simplificada, límites rigurosos en el espectro y uso de una nueva tecnología de acceso de la radio con mejores características.(Fiocca & Salvatore, 2010)

BW (MHz) en FDD	1.25	5	10	20
Enlace de bajada MIMO (4x4) (Mbps)	16	68	138	277
Enlace de subida (MHz)	4	18	37	75

Tabla 2.2: Velocidades de transmisión de datos de LTE

Fuente: (Eerola, 2011)

2.7.2.1. Rendimiento del Sistema

Los requisitos de movilidad se concentran en la velocidad de los terminales móviles. El máximo rendimiento es apuntado a los terminales de velocidades bajas, 0-15 Km/h, mientras que una degradación leve se tiene en cuenta en velocidades más altas. Para velocidades mayores a 120 Km/h, el sistema deberá mantener la conexión a través de la red celular. La máxima velocidad manejable en un sistema LTE se establece en 350 Km/h.(Abdul Basit, 2009)

Un énfasis especial es puesto sobre el servicio de voz que LTE necesita proveer con igual calidad como es soportada por WCDMA/HSPA pero por el momento estas últimas tecnologías le llevan ventajas ya que LTE solo brinda voz sobre IP mientras que las pasadas tecnologías ofrecen voz por medio de señales de radio.

Los requisitos de cobertura se concentran en el rango de la célula (radio) que es la distancia máxima del sitio de la célula a un terminal móvil en la célula. Los requisitos para el límite de no interferencia residen en encontrar el rendimiento del usuario, la

eficacia del espectro y los requisitos de movilidad para células con un rango mayor de los 5 Km. Para células con un rango mayor a los 30 Km, una leve degradación del rendimiento del usuario es tolerado y una degradación más significativa del espectro es aceptable.

2.7.2.2. Flexibilidad del espectro

Una parte importante de los requisitos para LTE en términos de la flexibilidad del espectro es la posibilidad de desplegar acceso a la radio base LTE basado en el espectro emparejado o no emparejado con los dos enlaces existentes ya sea de subida como de bajada. Por lo tanto, LTE soporta ambas frecuencias y “división de tiempo dobles” (time-division-based dúplex).

Division de frecuencia doble, en inglés Frequency Division Duplex (FDD), implica que la transmisión del enlace de bajada y el enlace de subida ocurren en bandas diferentes con separación suficiente.

Division de tiempo doble, en ingles Time Division Duplex (TDD), implica que los enlaces de subida y de bajada ocurren en diferentes periodos de tiempo no sobrepuestos. Así, TDD puede funcionar en el espectro no emparejado, mientras que FDD requiere el espectro emparejado.

Además, la posibilidad de operar en diferentes localizaciones del espectro da una posibilidad para la migración gradual del espectro desde otra tecnología de radio acceso a LTE. La especificación básica de radio acceso incluye la capa física y la especificación del protocolo, termite cualquier transmisión en un rango de banda ancha desde aproximadamente 1 MHz hasta alrededor de los 20 MHz.(Abdul Basit, 2009)

2.7.3. Técnicas de acceso múltiple

Los requisitos discutidos en la sección anterior fueron usados para determinar la elección de la tecnología de interfaz aérea. De acuerdo al estudio conducido, hay que tener en mente todas las especificaciones del espectro, la velocidad de transferencia de datos y el rendimiento. Se concluyó que la tecnología de acceso múltiple usada será la multiplexación de división de frecuencia ortogonal (OFDM) para el enlace descendente.(Fiocca & Salvatore, 2010)

Para el enlace ascendente, la elección a favor fue hecha para el acceso múltiple por división de frecuencia basada en una portadora (SC-FDMA).

2.7.3.1. OFDM para el enlace descendente

OFDM cede una estructura de frecuencia que divide los datos sobre varias sub-portadoras. El espaciado entre dos sub-portadoras se fija en 15 kilohercios. Un bloque de recurso (la unidad más pequeña en tiempo y en la frecuencia) se define para consistir en 12 sub-portadoras en la frecuencia y 14 símbolos continuos en tiempo. Se hace un bloque de recurso para atravesar 180 kilohercios y 1 milisegundo en frecuencia y tiempo respectivamente. Esta sub-trama es también el mínimo intervalo de tiempo de transmisión (TTI). Esta opción corta de TTI ayuda a alcanzar los requerimientos de baja latencia. De hecho, aunque OFDM exponga un pico más alto a la proporción de poder media, no se considera que esto sea un problema principal en el lado de la red.

La flexibilidad en el ancho de banda del canal se proporciona permitiendo seis diferentes opciones de canales de ancho de banda para que las operadoras elijan, los canales permitidos incluyen los siguientes: 1.5, 2.5, 5, 10, 15 y 20 MHz. Como se mencionó anteriormente el espaciado de la sub-portadora se fija para todos los posibles anchos de banda en los 15 Khz. Correspondiente al espaciado de la sub-portadora de 15 KHz, el símbolo de tiempo es $1/T_b=66.68$ microsegundos.(Abdul Basit, 2009)

Para evitar una interferencia entre símbolos (ISI), un intervalo de guarda es introducido entre dos símbolos consecutivos. El Intervalo de la Guardia es entonces llenado con un prefijo cíclico (CP). Esto significa que una copia de un número fijo de las últimas muestras es introducida al principio del símbolo como lo muestra la siguiente figura.

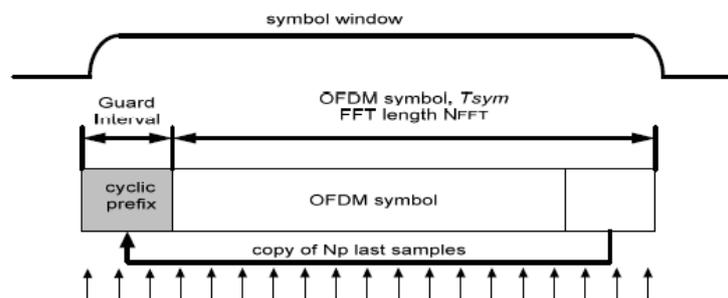


Figura 2.12: estructura del símbolo de tiempo OFDM

Fuente: (Abdul Basit, 2009)

Como el espaciado de sub-portadoras se fija, la amplitud de banda de transmisión se varía, cambiando el número de sub-portadoras. Cada sub-trama consiste en 6 o 7 símbolos OFDM, según la talla de CP.

Los parámetros de la capa física del enlace descendente son resumidos en la siguiente tabla.

Parámetros	Ancho de banda del canal (MHz)					
	1.4	3	5	10	15	20
Numero de bloques de recursos	6	15	25	50	75	100
Número de sub-portadoras	72	180	300	600	900	1200
Ancho de banda sub-portadora de uplink (MHz)	1.08	2.7	4.5	9	13.5	18
Ancho de banda sub-portadora downlink (MHz)	1.095	2.715	4.515	9.015	13.515	18.015

Tabla 2.3: Parámetros de la capa física de LTE.

Fuente:(Inzarrualde, Isi, & Garderes, 2008)

La estructura de la trama del enlace descendente es para el canal compartido de enlace descendente (DSCH), abarcando los prefijos cíclicos cortos y largos. Una trama de radio consiste de sub-tramas, transportando el canal físico compartido de enlace descendente (PDSCH), el control de canal físico compartido de enlace descendente (PDSCH) y el canal de transmisión físico (PBCH). PDSCH y PDSCH están presentes en cada sub-trama.

PBCH está solo presente en esas sub-tramas que están programadas por el sistema de información. El sistema de número de trama (SFN) es usado como una trama de tiempo de referencia y la LTE SFN (eSFN) como una sub-trama de tiempo de referencia para todos los canales físicos en el enlace descendente e indirectamente en el enlace ascendente.

Para la división de frecuencia doble (FDD), 10 sub-tramas están disponibles para la transmisión de bajada y 10 sub-tramas están disponibles para la transmisión de subida en cada intervalo de 10 milisegundos. Los enlaces de subida y de bajada están separados

en el dominio de la frecuencia. Para la división de tiempo doble (TDD), una sub-trama puede estar localizada en ambas transmisiones tanto de subida como de bajada. Las sub-tramas 0 y 5 siempre están localizadas para las transmisiones descendentes. En otras palabras, cada trama consiste en 20 sub-tramas con símbolos pilotos y un canal de sincronización multiplexado en cada sub-trama. El canal de sincronización es transmitido en el último símbolo de OFDM en cada cuatro sub-tramas y los símbolos pilotos y las secuencias de aprendizaje son multiplexadas en cada sub-trama. (Abdul Basit, 2009)

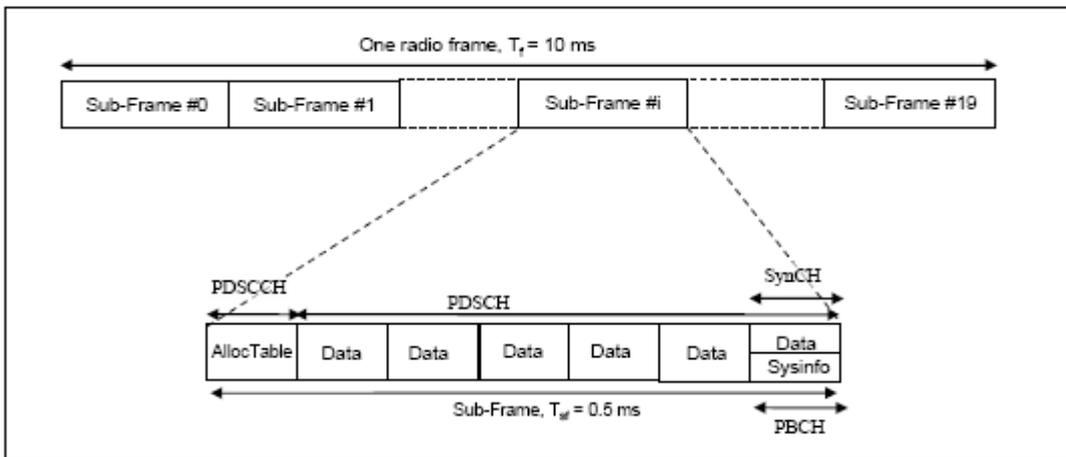


Figura 2.13: Estructura de la trama descendente para tramas de prefijo cíclico corto.

Fuente:(Abdul Basit, 2009)

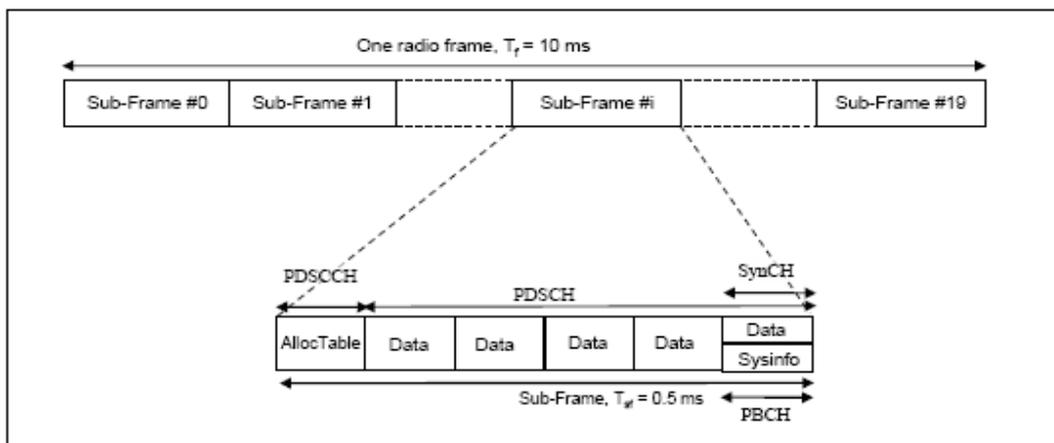


Figura 2.14: Estructura de la trama descendente para tramas de prefijo cíclico largo.

Fuente: (Abdul Basit, 2009)

2.7.3.1.1. Modulación

Un punto interesante en el entramado de LTE es que cada elemento de recurso puede tener un esquema de modulación distinto, por ejemplo un elemento de recurso puede tener símbolos de modulación QPSK mientras que el elemento adyacente puede tener símbolo de modulación 16-QAM o 64-QAM..(Salazar, 2014)

En la siguiente tabla se mostraran los canales físicos y los esquemas de modulación.

Canal físico	Esquema de Modulación	Símbolos de modulación por segundo
PBCH	QPSK	2
PCFICH	QPSK	2
PDCCH	QPSK	2
PHICH	BPSK	1
PDSCH	QPSK, 16QAM, 64QAM	2, 4, 6
PMCH	QPSK, 16QAM, 64QAM	2, 4, 6

Tabla 2.4: Esquemas de Modulación Aplicados a los Canales Físicos del Enlace Descendente.

Fuente: (J.Salo, 2011)

2.7.3.2. SC- FDMA para enlace ascendente

La Transmisión de portadora única con prefijos cíclicos es usada en el enlace ascendente. El CP es usado para permitir la eficiente ecualización en el dominio de la frecuencia y la ortogonalizacion en el lado del receptor. La sub-trama básica del enlace de subida será mostrada en la figura 2.15, esta estructura usa dos bloques cortos (SB) y seis bloques largos (LB) en cada sub-trama. Los bloques cortos pueden ser usados tanto en la demodulación coherente o para el control y la transmisión de la información o en ambos casos. Por otra parte los bloques largos son usados para el control y/o transmisión de la información.

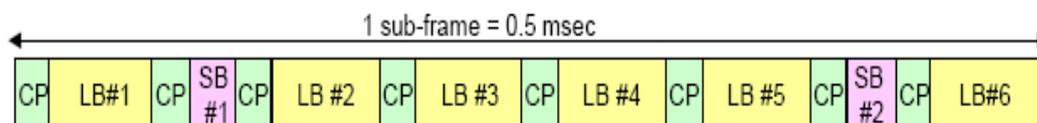


Figura 2.15: Estructura de la trama de enlace ascendente para LTE.

Fuente: (Abdul Basit, 2009)

La tabla siguiente mostrara los parámetros de la capa física del enlace ascendente de acuerdo con el ancho de banda usado. El mínimo intervalo de tiempo de transmisión para el enlace se subida es fijado a la equivalencia de la duración sub-trama de este mismo enlace.

Ancho de banda de TX (MHz)	Duración sub-trama (ms)	Tamaño Bloques Largos (us/Muestras)	Tamaño Bloques Cortos (us/Muestras)
20	0.5	66.67/2048	33.33/1024
15	0.5	66.67/1536	33.33/768
10	0.5	66.66/1024	33.33/512
5	0.5	66.67/512	33.33/256
2.5	0.5	66.67/256	33.33/128
1.25	0.5	66.67/128	33.33/64

Tabla 2.5: Parámetros de la capa física del enlace ascendente.

Fuente: Autor.

2.7.3.2.1. Modulación

De igual manera que en el enlace descendente cada canal físico puede tener su propio esquema de modulación como se puede observar en la siguiente tabla.

Canal físico		Esquema de modulación
PRACH		-
PUCCH	Formato 1	-
	Formato 1 ^a	1 símbolo BPSK
	Formato 1b	1 símbolo QPSK
	Formato 2	10 símbolos QPSK
	Formato 2 ^a	10 símbolos QPSK + 1 símbolo BPSK
	Formato 2b	10 símbolos QPSK + 1 símbolo QPSK
PUSCH		QPSK, 16QAM, 64QAM

Tabla 2.6: Esquemas de Modulación Aplicados a los Canales Físicos.

Fuente: (Dalman, Parkvall, & Skold, 2011)

2.7.4. Escalabilidad de ancho de banda

El sistema LTE opera en la banda convencional de los 2 GHz y se extiende a las bandas de los 2.6 GHz y 900 MHz. Como se menciono anteriormente, en orden para proveer una utilización flexible del ancho de banda, se usan diferentes portadoras de ancho de banda que van de los 1.25 MHz hasta los 20MHz. El espacio entre las sub-portadoras se mantiene en los 15 KHz, es el número de las sub portadoras las que cambia (Eerola, 2011). Como se mostró en la tabla 2.3.

2.7.4.1. Bandas de trabajo

En la publicación 8 de las especificaciones 3GPP para LTE incluye 19 bandas de frecuencia para FDD y nueve para TDD. Las bandas pareadas para el funcionamiento FDD se numeran de 1 a 21, mientras que las bandas no pareadas para la operación TDD están numerados 33 a 41. (Salazar, 2014)

Banda	Rango Uplink(MHz)	Rango Downlink(MHz)	Región
1	1920-1980	2110-2170	Europa, Asia
2	1850-1910	1930-1990	Américas, Asia
3	1710-1785	1805-1880	Europa, Asia, Américas
4	1710-1755	2110-2155	Américas
5	824-849	869-894	Américas
6	830-840	875-885	Japón(solo para UTRAN)
7	2500-2570	2620-2690	Europa, Asia
8	880-915	925-960	Europa, Asia
9	1749.9-1784.9	1844.9-1879.9	Japón
10	1710-1770	2110-2170	Américas
11	1427.9-1447.9	1475.9-1495.9	Japón
12	698-716	728-746	USA
13	777-787	746-756	USA
14	788-798	758-768	USA
17	704-716	734-746	USA
18	815-830	860-875	Japón
19	830-845	875-890	Japón
20	832-862	791-821	Europa
21	1447.9-1462.9	1495.9-1510.9	Japón

Tabla 2.7: Bandas Pareadas para LTE.

Fuente: ETSI; 3GPP Standards (2012).

Las bandas 15 y 16 fueron asignadas para otros propósitos, por lo tanto no han sido incluidas en LTE.

Banda	Rango de Frecuencia (MHz)	Región
33	1900-1920	Europa, Asia (no Japón)
34	2010-2025	Europa, Asia
35	1850-1910	Américas
36	1930-1990	Américas
37	1910-1930	-
38	2570-2620	Europa
39	1880-1920	China
40	2300-2400	Europa, Asia
41	2496-2690	USA

Tabla 2.8: Bandas no Pareadas para LTE.

Fuente: ETSI; 3GPP Standards (2012).

2.7.5. Arquitectura de la red LTE

LTE proporciona un camino evolutivo ligero a operadores que despliegan todas las tecnologías 3GPP y tecnologías non-3GPP. Esto causa que no haya un camino específico a LTE. Cada caso de actualización será diferente según la tecnología existente y la arquitectura de la red.(UMTS, 2009)

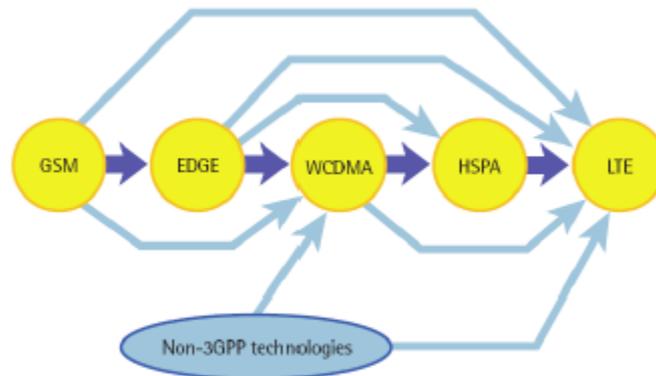


Figura 2.16: Diferentes caminos de evolución hacia LTE.

Fuente: (UMTS, 2009)

La arquitectura de LTE es caracterizada por tres requerimientos especiales: baja latencia, costos reducidos y soporte para el dominio de los paquetes conmutados. Para lograr conseguir los requerimientos anteriores y para sobreponerse de las complejas redes anteriores, LTE deberá ser diseñada para contener menos nodos de red. Esto es muy importante ya que un número menor de nodos de red reduce la cantidad total de proceso en cuanto a protocolo se refiere, coste de pruebas y numero de interfaces. Esto también se traduce a la facilidad de optimizar protocolos de interfaz de radio. Esto puede hacerse mediante la fusión de ciertos protocolos de control y usando secuencias de señales cortas que facilita la configuración de la sesión.(Abdul Basit, 2009)

E-UTRAN consiste de:

- eNB (Enhanced Node B)
- aGW (Access Gateway)

eNB es el elemento básico de la red de acceso que cubre una sola célula. Este proporciona el plano de usuario de E-UTRAN (PDCP/RLC/MAC/PHY) y los protocolos de control (RRC) hacia el equipo del usuario. Dos eNBs están conectados entre ellos por medio de una interface X2. LTE es diseñado para dar a los eNBs un mayor grado de inteligencia para reducir la sobrecarga de mensajes.

Como consiguiente, las funciones para la Administración de recursos de la Radio son proporcionadas por eNB. Esto incluye; Control del portador de la radio, control de la admisión de la radio, control de movilidad de conexión, asignación dinámica de recursos a los equipos de los usuarios tanto en uplink como en downlink. El eNB es implicado en servicios de seguridad por codificación, de la transmisión de datos del usuario y del encaminamiento de datos del plano del usuario hacia el gateway de servicio. Además, también realiza la programación y la transmisión de mensajes de paginación y la información del canal de control de broadcast (BCCH).

aGW está a un nivel por encima de eNB. Un aGW puede ser conectado a uno o más eNBs dependiendo de la red. aGW realiza muchas funciones diferentes junto con el origen de paginación, cifrado de datos de parte del plano del usuario y control de portador de SAE (System Architecture Evolution).

UnaGW está dividido en dos partes funcionales, MME (Entidad de Administración de Movilidad) y UPE (Entidad de Plano de Usuario). MME es la parte de control de un aGW sus funciones incluyen la administración y el almacenamiento temporal IDs de usuarios, terminación de paquetes del lado del usuario por motivos de paginación, administración y seguridad NAT. Por otra parte, UPE es responsable de tareas del lado del usuario como por ejemplo las tareas de direccionamiento y envío de paquetes, asignación de direcciones IP locales para movilidad, cobro de roaming, cobro de mensajes de paginación a eNBs.(Abdul Basit, 2009)

En la siguiente figura se mostrara la arquitectura de E-UTRAN, donde los cuadros sombreados de amarillo representan los nodos lógicos, los cuadros blancos representan las entidades funcionales del plano de control y los cuadros azules representan las entidades funcionales del plano del usuario.

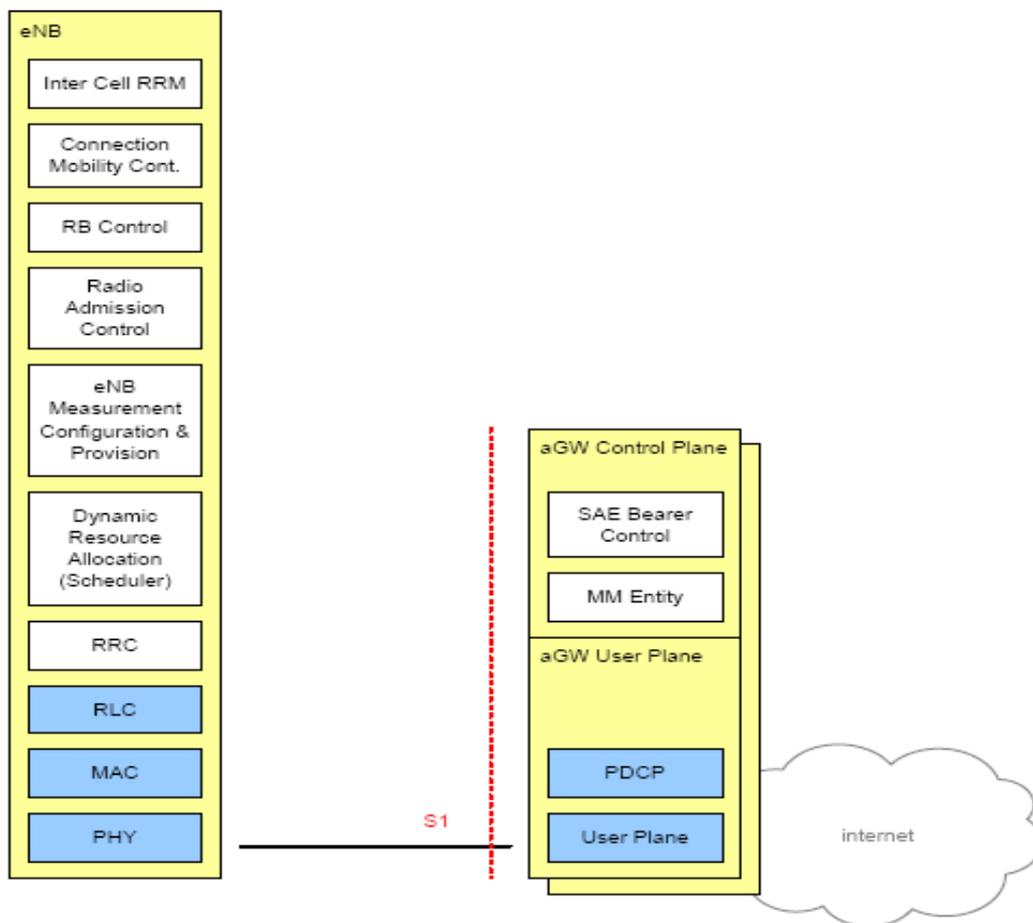


Figura 2.17: Arquitectura E-UTRAN

Fuente: (Abdul Basit, 2009)

2.7.5.1. Interfaces E-UTRAN

Uno de los objetivos de E-UTRAN es simplificar y reducir el número de interfaces entre diferentes elementos de la red. Las interfaces entre los diferentes elementos de red son S1 y para conectar entre si eNBs se usan X2.

S1 es la interfaz entre eNB y la EPC como lo es definida en definida en la especificación 3GPP TS 36.410, ya que soporta el intercambio de información de señalización. Es una comunicación lógica punto a punto entre los elementos mencionados usando diferentes tipos de comunicación física. Permite la integración entre equipos de diferentes proveedores de tecnología y hace el uso del S1 Application Protocol llamado SCTP (Stream Control Transfer Protocol).(Salazar, 2014)

X2 permite la interconexión de eNBs. X2 tiene un estado de una interfaz abierta. Soporta la señal de información intercambiada entre dos eNBs, en términos de un punto de vista lógico, X2 es una interfaz punto a punto dentro de E-UTRAN. Entre sus funciones tenemos la cancelación de los handovers, la liberación de los UE desde eNB de origen, coordinación de interferencia inter-celular, entre otros.(Dalman, Parkvall, & Skold, 2011)

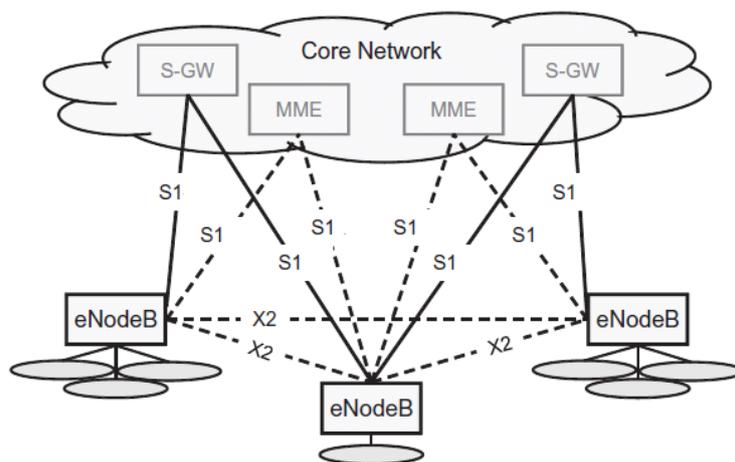


Figura 2.18: Interfaces usadas en LTE.

Fuente: (Dalman, Parkvall, & Skold, 2011)

CAPITULO 3

3.1. Modelo Básico de HAP.

Un número de modelos de sistemas han sido propuestos por muchos investigadores, especialmente sistemas de comunicaciones basados en HAP. Los modelos son aplicables pero basados según la demanda del sistema deben ser analizados. En general podemos tener dos tipos de sistemas de HAP: sistemas HAP único y HAP múltiple.

También podemos tener comunicaciones basadas en telefonía celular, donde varios haces están formadas por cada antena HAP. Un modelo básico de HAP se muestra en la figura 3.1, donde hay dos HAPs que vuelan en la misma plataforma manteniendo un radio de distancia, mientras cubren la misma área de servicio. El uso de una frecuencia similar provoca interferencias en el usuario debido a la superposición de la señal que interfiere al HAP.

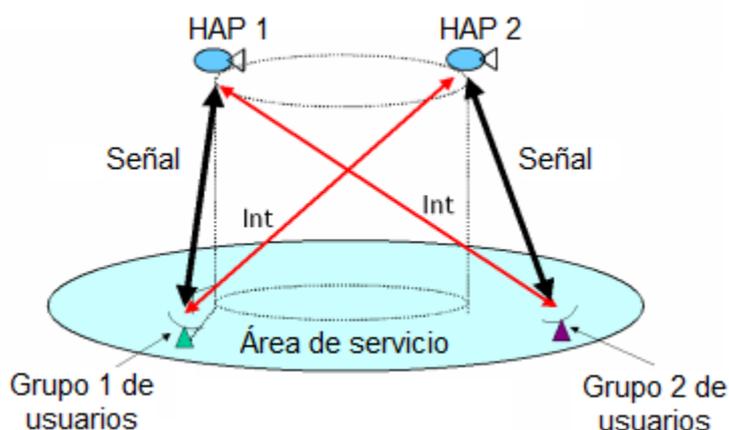


Figura 3.1: Modelo básico de una HAP.

Fuente: Elaborado por Autor.

Para el presente trabajo de titulación, el modelo de sistema propuesto se muestra en la figura 3.2. Un único HAP está cubriendo una determinada área de servicio de vuelo en una plataforma de altura entre 17 km y 22 km. El límite del área de cobertura generalmente se denomina como borde de cobertura (Edge of Coverage, EoC) que

mantiene una distancia constante, llamada radio de cobertura, desde el centro del área de cobertura.

La HAP siempre debe mantener un radio de distancia durante su operación. El punto en el suelo directamente a la HAP se denomina punto sub-plataforma (Sub-Platform Point) y la distancia con el centro de la zona de servicio es el radio espaciado.

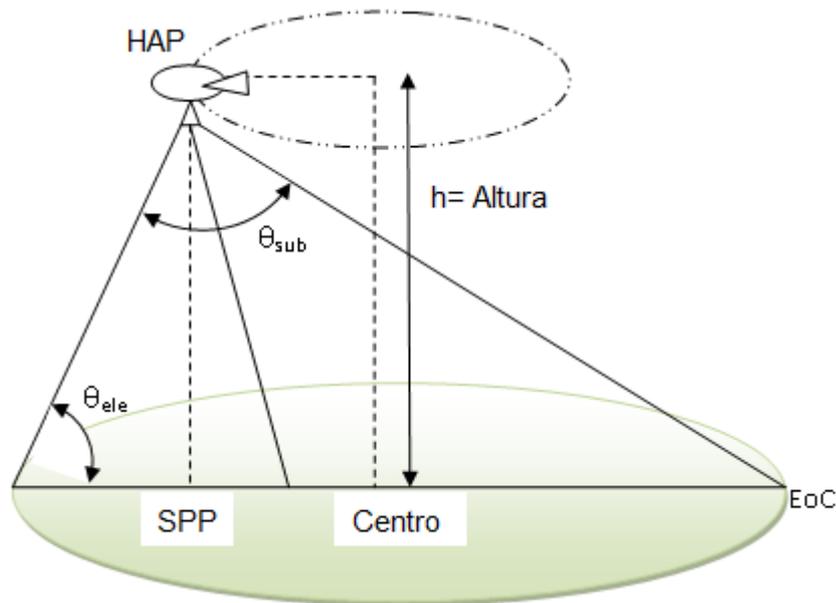


Figura 3.2: Implementación del modelo HAP.

Fuente: Elaborado por Autor.

La porción de la antena HAP puede mantener diferentes anchos de haces de luz para el área de cobertura en el EoC. El ángulo para mantener el despliegue requerido para el borde de cobertura del ancho de luz se lo conoce como el ángulo subtendido (θ_{sub}). Diferentes radios de separación puede utilizarse dependiendo del a geografía de la zona de cobertura para la prestación de servicios de internet inalámbrico. El radio de espaciamiento y el ángulo subtendido tiene relación con el ángulo de elevación. Las siguientes discusiones se centran en la naturaleza de las relaciones del modelo de antenas.

3.2. Modelos de Antenas.

Las antenas son el elemento más importante en la interfaz aire-tierra entre HAP y el equipo de usuario (*User Equipment, UE*) por varias razones. En primer lugar, el diagrama de antena definen sólo una huella y la cobertura, sino también la interferencia y los valores de la tasa de información comprometida (*Committed Information Rate, CIR*) que afecta directamente a la calidad de servicio y al rendimiento de la red. En segundo lugar, debido a la altitud de la plataforma la abertura del haz de la antena debe ser de unos pocos grados con el fin de crear una disposición de las células con un radio de 1 a 5km.

La carga de datos de HAP básicamente consiste en un conjunto de antenas (también equipos como controlador de red de radio, RNC y eNodo B), cada uno de ellos apuntando a diferentes puntos sobre la tierra, que conforman un diseño de celdas (células) con las características deseadas para un Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (*Universal Mobile Telecommunications System, UMTS*) o LTE (4G).

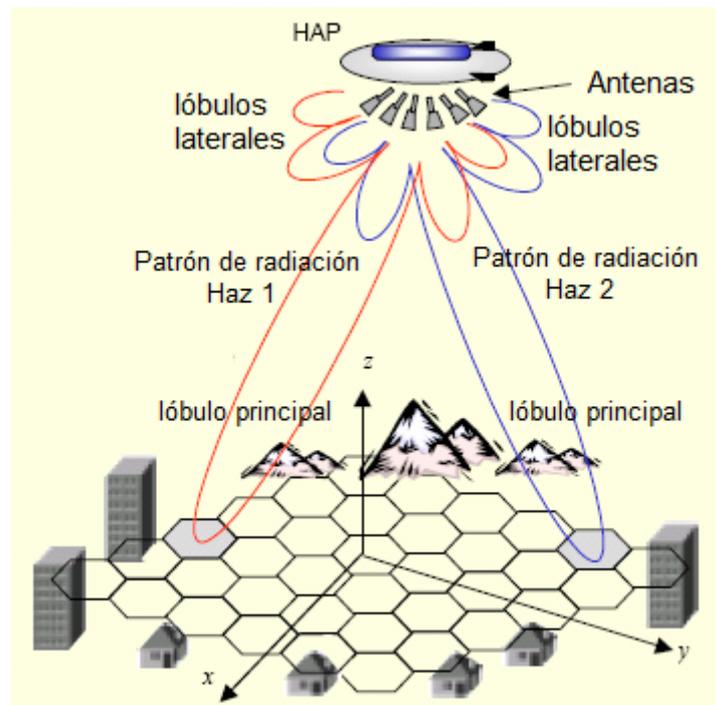


Figura 3.3: Correspondencia de antenas y células.

Fuente: Elaborado por Autor.

El considerado patrón de radiación de la antena para utilizar HAP en redes UMTS o LTE satisface las recomendaciones de la UIT, basado en múltiples haces de alto rendimiento y de agrupación de fase. El patrón está dado por la siguiente expresión matemática:

$$G(\theta) = \begin{cases} G_m - 3 \left(\frac{\theta}{\theta_b}\right)^2 [dBi] & 0 \leq \theta \leq \theta_1 \\ G_m + L_N [dBi] & \theta_1 \leq \theta \leq \theta_2 \\ X - 60 \log(\theta) [dBi] & \theta_2 \leq \theta \leq \theta_3 \\ L_F [dBi] & \theta_3 \leq \theta \leq 90 \end{cases} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

En la tabla 3.1 se explican los parámetros de los patrones de las antenas.

$G(\theta)$	Ganancia del ángulo θ de la dirección del lóbulo principal (dBi)
G_m	Ganancia máxima del lóbulo principal (dBi)
θ_b	La mitad del ancho de haz de 3 dB (por debajo de G_m)
L_N	Nivel del lóbulo cerca-dentro (dB) con respecto a la ganancia máxima requerida por el diseño del sistema, y tiene un valor máximo de -25dB.
L_F	$G_m - 73dBi$ del lóbulo lateral extremo (dBi)
θ_1	$\theta_b \sqrt{-\frac{L_N}{3}}$
θ_2	$3.745 \cdot \theta_b$
X	$G_m + L_N + 60 \log(\theta_2)$
θ_3	$10^{\frac{X-L_F}{60}}$

Tabla 3.1: Parámetros de los patrones de antenas.

Fuente: Elaborado por Autor.

El ancho de haz de 3dB se calcula por:

$$\theta_{3dB} = 2 \cdot \sqrt{\frac{7442}{10^{0.1G_m}}} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

3.3. Modelo de propagación.

Una de las diferencias más obvias entre una UTRAN desplegada utilizando estaciones base terrestres y la utilización de comunicaciones HAP, es el modelo de propagación. No sólo la distancia a la tierra, sino también la presencia de estratosfera es el principal inconveniente para la propagación. El modelo de propagación propuesto para HAP es la pérdida de espacio libre. A través de la revisión de varios estudios se pudo verificar la aplicación del modelo de propagación de dos rayos para el caso de la estratosfera, la atenuación de propagación del enlace HAP y UE aumenta con el cuadrado de la distancia² en lugar de la norma d^4 para sistemas terrestres.

La pérdida del trayecto en dB se obtiene por la ecuación:

$$L = 32.4 + 20 \log[f(\text{MHz})] + 20 \log[d(\text{km})] \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Donde f es la frecuencia de portadora en MHz y d es la distancia entre la antena y los usuarios en km. La curvatura de la tierra puede ser obviada para un diámetro de cobertura menor igual a 100 km.

Un modelo empírico para los cálculos del margen de desvanecimiento en función del ángulo de elevación para el medio ambiente suburbano también podría aplicársela siguiente expresión:

$$M[\text{dB}] = A \cdot \ln(p) + B \quad \text{Ecuación 3.4}$$

Donde p es la probabilidad de interrupción (entre 1 y 20%). Los coeficientes A y B son definidos de la siguiente manera.

$$A = 0.0002\varphi^2 - 0.15\varphi - 0.7 + 0.2f \quad \text{Ecuación 3.5}$$

$$B = 27.2 + 1.5f - 0.33\varphi \quad \text{Ecuación 3.6}$$

Donde φ es el ángulo de elevación en grados y f es la frecuencia en GHz.

Estas tres ecuaciones tratadas en esta sección, representan el modelo de propagación básica utilizada para sistemas HAP y son el mejor método para estimar las pérdidas de trayectoria. Para un modelo más realista de propagación, atenuación por lluvia, dispersión de lluvia (y la interferencia que produce), junto con modelos de propagación

interior complementarían este modelo básico de propagación. Esto conduce a dividir en dos partes a la pérdida de trayectoria. La primera parte, desde la HAP hasta el techo, se obtiene con el método de pérdida de espacio libre. La segunda parte, desde la azotea a la calle, se obtiene la propagación de la aplicación de la propagación en interiores, incluidos los efectos de la lluvia.

3.4. Planificación de radio enlace.

3.4.1. Despliegue de células y disposición hexagonal

Como se sabe, se espera que la HAP lleve un conjunto de antenas y otros equipos conocidos como carga útil. Este conjunto de antenas representa un área cubierta hexagonal sobre la tierra, compuesto por células. Una disposición hexagonal se usa porque con esta geometría (utilizando la cobertura poligonal), la superposición de diferentes zonas se lleva a cabo de manera más efectiva, sin superponerse y rellenando las áreas sin dejar zonas descubiertas.

La figura 3.4 muestra la superposición de áreas hexagonales proporcionadas por tres HAPs.

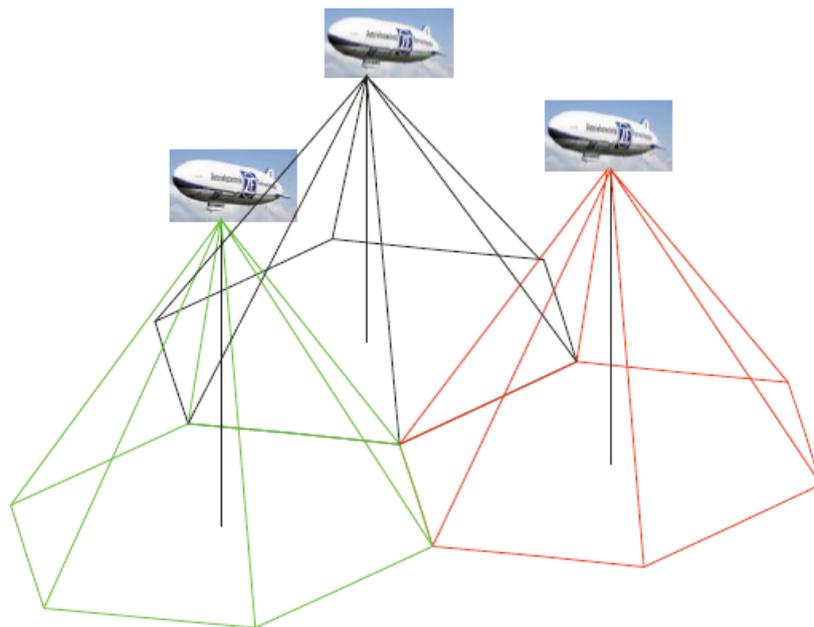


Figura 3.4: Superposición de células para cobertura de HAP.

Fuente: Elaborado por Autor.

Para proporcionar este tipo de cobertura hexagonal, la HAP lleva un conjunto de antenas cuyas huellas sobre la tierra forma un área de cobertura hexagonal. Cada una de estas antenas corresponde a una célula, y un total de estas células se ajusta la zona hexagonal, tal como se muestra en la figura 3.5, donde un conjunto de 19 antenas forma un diseño hexagonal.

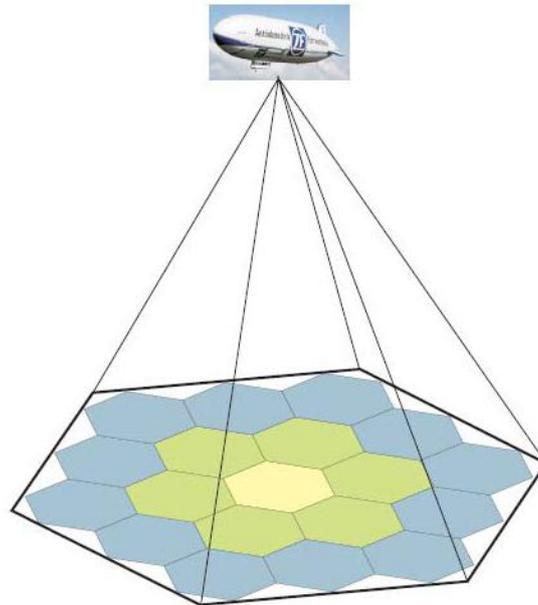


Figura 3.5: Arreglo de células para conjunto de 19 antenas.

Fuente: Elaborado por Autor.

La figura 3.6 muestra dicha disposición de células.

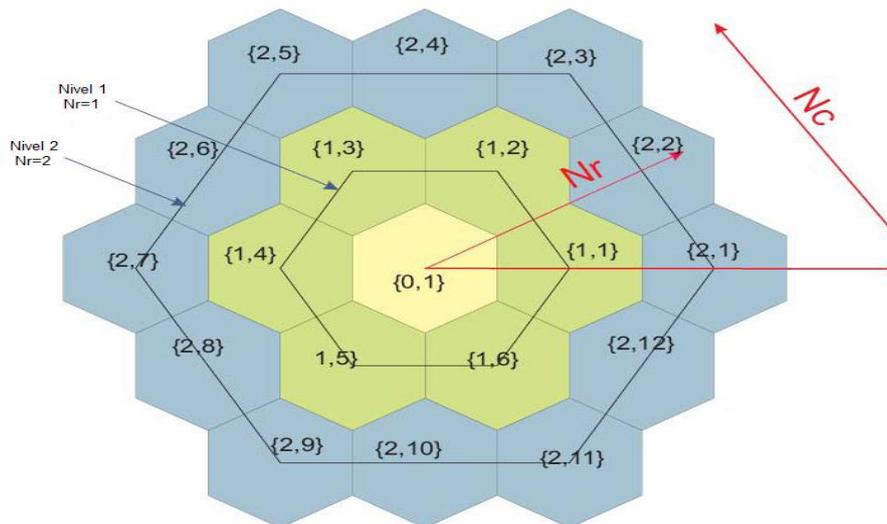


Figura 3.6: Disposición de las celdas o células.

Fuente: Autor.

Cada célula se identifica por un par de coordenadas $\{N_r, N_c\}$, en la cual N_r especifica el número de anillo hexagonal concéntrico o nivel en el que se encuentra la célula, y N_c es el número de la célula dentro de ese nivel, y disminuyen en sentido horario. Todos los niveles se disponen concéntricamente alrededor de la célula central tal como se muestra en la figura 3.6.

En este punto hemos definido la disposición celular y la cobertura hexagonal que se espera en una HAP para proporcionar un conjunto de antenas como carga útil. El siguiente paso es definir los ángulos de azimut y elevación desde HAP apuntando al centro de la célula para estas antenas. En la figura 3.7 se muestra todos los parámetros necesarios para ello.

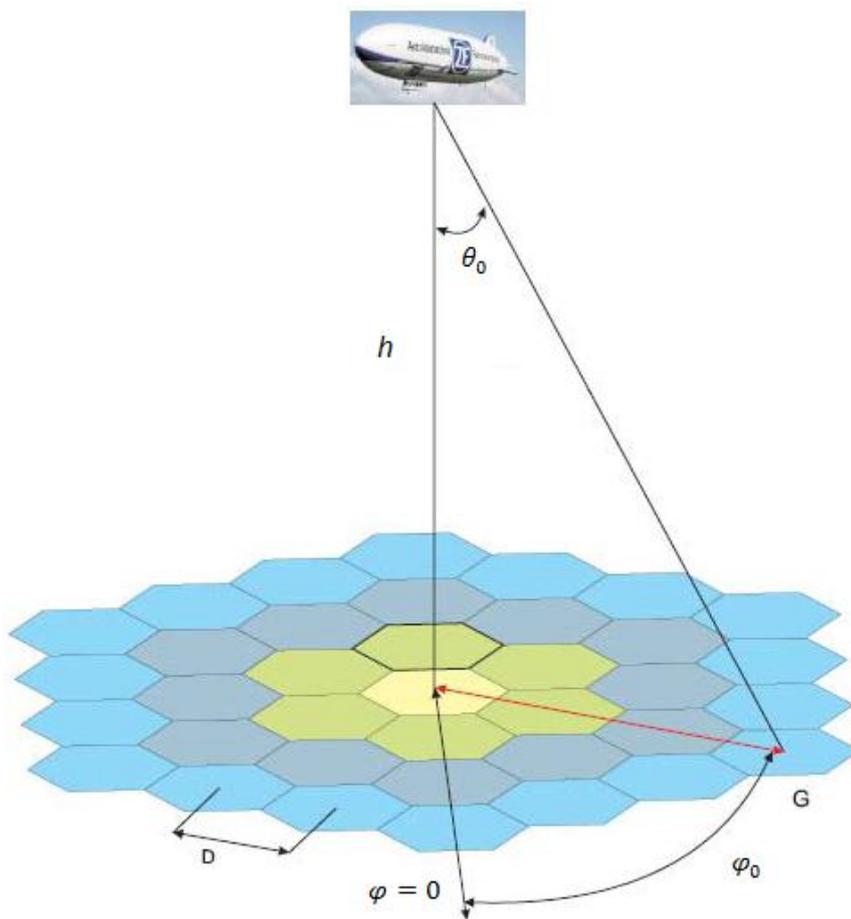


Figura 3.7: Parámetros de las células.

Fuente: Elaborado por Autor.

Para cualquier célula, cuyas coordenadas son $\{Nr, Nc\}$, h es la altura de HAP y D es la separación entre las células. Las expresiones para el ángulo de elevación θ_0 y el ángulo de azimut φ_0 se pueden derivar de:

$$\theta_0 = \tan^{-1} \left(\frac{G}{h} \right) \quad \text{Ecuación 3.7}$$

$$\varphi_0 = \sin^{-1} \left[\frac{(c'-1)d \sin\left(\frac{\pi}{3}\right)}{g} \right] + \frac{\pi}{3} (Ns - 1) \quad \text{Ecuación 3.8}$$

Donde G es la distancia desde el centro de la celda hacia el punto de la sub-plataforma, que se deriva de la siguiente expresión matemática:

$$G = \sqrt{(Nr \cdot d)^2 + [(c' - 1) \cdot d]^2 - 2Nr \cdot d^2 \cdot (c' - 1) \cdot \cos \frac{\pi}{3}} \quad \text{Ecuación 3.9}$$

Donde c' es utilizada para identificar la ubicación de la celda con respecto a la primera celda a lo largo del área de cobertura y está definida por:

$$c' = Nc - (Ns - 1) \cdot Nr \quad \text{Ecuación 3.10}$$

Donde Ns es un número entero entre 1 y 6 para identificar el lado del hexágono.

$$Ns = 1 + \text{floor} \left(\frac{Nc-1}{Nr} \right) \quad \text{Ecuación 3.11}$$

Con todos estos parámetros es posible definir los ángulos de azimut y elevación de antena para todas las celdas que componen la estructura hexagonal. En la siguiente sección se modelará los parámetros de HAP a través de MatLab.

3.5. Escenario de único HAP.

Uno de los objetivos del trabajo de titulación es encontrar una configuración óptima para un único HAP para proporcionar cobertura ya sea para UMTS o LTE. Para esto se desarrollarán modelos de simulación, en la que las simulaciones tratan de ser una aproximación de una situación real donde se espera que una HAP pueda proporcionar cobertura de los sistemas UMTS o LTE con determinada calidad de servicio (QoS) y características de servicio en un área limitada.

La carga útil (Payload) de HAP se compone de un conjunto de antenas y dependiendo de la situación real, de todos los equipos electrónicos necesarios para actuar como un RNC o comportarse como otro nodo en la red, no como una parte simple o un intermediario en la UTRAN. Cada una de las antenas incorporadas en una HAP tiene cierta inclinación que apunte algún sitio sobre la superficie de la tierra. Este punto, se lo conoce como centro de la celda en la que la antena brinda servicio. La figura 3.8 representa un escenario de simulación con un único HAP y siete celdas.

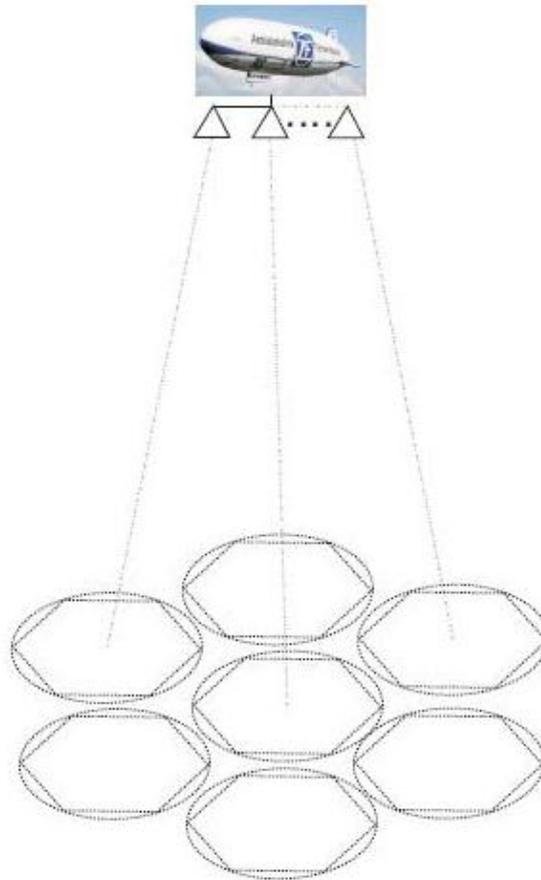


Figura 3.8: Estructura de 6 células.

Fuente: Elaborado por Autor.

Las células se despliegan en una configuración hexagonal, después de las expresiones de la sección 3.4. Con el fin de encontrar una configuración óptima, las simulaciones deben tener las siguientes características:

- a. El área de cobertura y parámetros generales de la red se mantienen fijos.
- b. Se debe utilizar tres diferentes patrones de antena.

- c. Se realizan algunos escenarios de carga, con diferentes números de usuarios, de baja a alta carga.
- d. Se utilizan diferentes diseños de celdas, es decir, diferentes tamaños de celda (diferentes patrones de antenas) y diferente número de niveles utilizados.

3.5.1. Parámetros de simulación

3.5.1.1. Área de estudio

Dado que una disposición hexagonal va a ser utilizado para HAPs, el área de estudio contendrá un hexágono que representa el área cubierta por la HAP. En la figura 3.9 se muestra el área de estudio y la cobertura del sistema HAP.

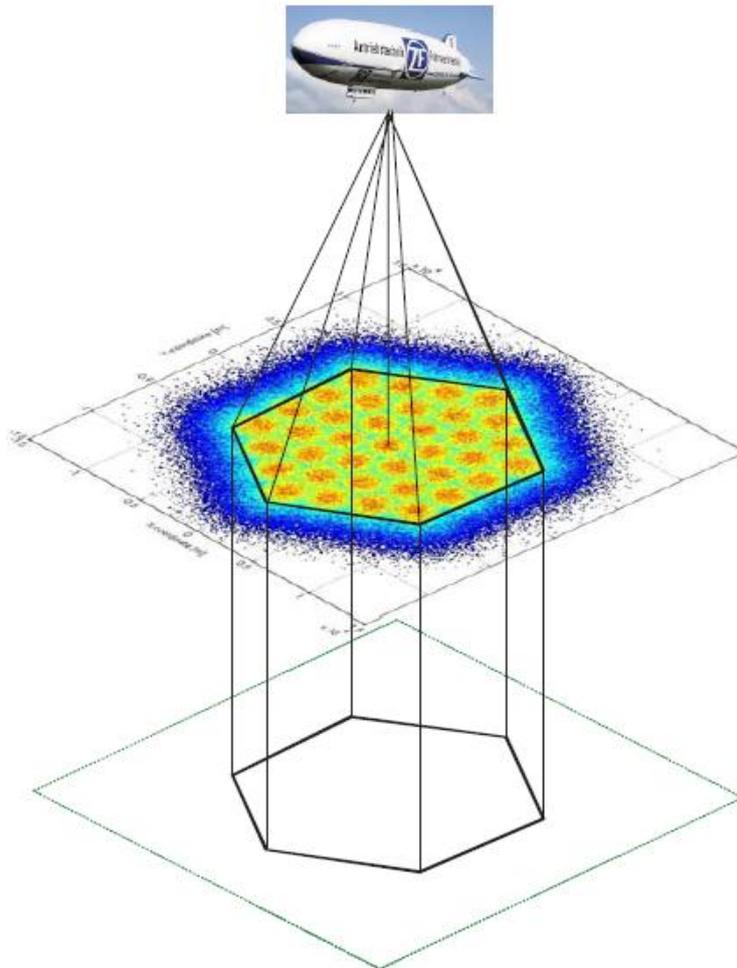


Figura 3.9: Área de estudio y cobertura del sistema HAP.

Fuente: Elaborado por Autor.

La superficie total es de $30 \times 30 \text{ km}^2$, que contienen un hexágono que representa el área cubierta por el sistema HAP. La longitud del lado del hexágono es de 10 km y su área es de 260 km^2 , con el área cubierta por el HAP dentro de este hexágono. La figura 3.10 representa el área de simulación y el hexágono.

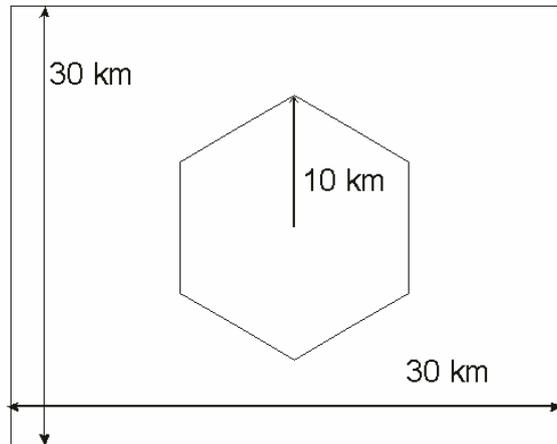


Figura 3.10: Área de estudio y cobertura del sistema HAP.

Fuente: Elaborado por Autor.

3.5.1.2. Parámetros de la red.

En la tabla 3.1 se muestran todos los parámetros de simulación con respecto al sistema HAP, la estación móvil, el modelo de propagación, el rendimiento del enlace y otros parámetros generales.

Parámetros de HAP	
Descripción	Valor
Altura de la antena del sistema HAP	22 km
Potencia total máxima de transmisión de la BS	37 dBm
Potencia máxima de transmisión por enlace de la BS	30 dBm
Potencia piloto	27 dBm
Potencia del canal común y otros canales	27 dBm
Pérdidas del cable de la BS	1 dB
Límite de carga Uplink (enlace ascendente) de la BS	0.75
Factor de ruido de la BS	5 dB
Parámetros de la estación móvil (MS)	
Descripción	Valor
Altura de antena de la MS	1.5 m
Potencia de transmisión máxima de la MS	21 dBm
Potencia de transmisión mínima de la MS	-50 dBm
Ganancia de la antena de la MS	1.5 dBi
Pérdida corporal de la MS	1.5 dBi
Factor de ruido de la MS	8 dB
Parámetros del modelo de propagación	
Descripción	Valor
Altura de la antena de la MS	1.5 m
Potencia de transmisión máxima de la MS	21 dBm
Potencia de transmisión mínima de la MS	-50 dBm
Parámetros del modelo de propagación	
Descripción	Valor
Ventana SHO (Soft HandOver)	-3
Tamaño del mapa	900 km ²
Resolución del mapa	100 m
Frecuencia de portadora	2.5 GHz
Tráfico de la tasa de bits (enlaces Uplink y Downlink)	12.2 kbps
Parámetros de rendimiento de enlace	
Descripción	Valor
Relación Eb/No enlaces Uplink	5 dB
Relación Eb/No enlaces Downlink	9.5 dB
Factor de ortogonalidad	0.9
Factor de actividad de voz en enlaces Uplink	0.67
Factor de actividad de voz en enlaces Downlink	0.67
Ganancia SHO (enlaces Uplink y Downlink)	1 dB

Tabla: 3.1

Fuente: Elaborado por Autor.

3.5.2. Las variables de estudio.

Como se explicó anteriormente, el objetivo del trabajo de titulación es encontrar una configuración óptima para una antena del sistema HAP y el despliegue de las celdas (células). Para alcanzar este objetivo, es necesario estudiar el efecto de la anchura del haz de la antena que tiene los indicadores de rendimiento de la red con diferentes escenarios de carga (es decir, diferente número de usuarios), tratando un conjunto de distribuciones de celdas con la finalidad de encontrar el óptimo de una de ellas. Resumiendo, las variables de estudio son la anchura de haz de patrones de antena, disposición de celdas o células, escenarios de tráfico o escenarios de carga.

3.5.2.1. Patrones de las antenas.

Los patrones de antenas utilizados para esta simulación se han tomado de la UIT dada por la ecuación 3.1. Debemos tener en cuenta que la simulación no se hará con un diagrama de antena realista pero con la máscara que todos los patrones de antena deberán cumplir, a cargo de la UIT. Tres anchuras de haz diferentes van a ser utilizados: 2°, 3.14° y 5°. La anchura de haz de 2° de la antena se expresa como:

$$G(\theta) = \begin{cases} 38.7 - 3 \left(\frac{\theta}{1^\circ} \right)^2 [dBi] & 0^\circ \leq \theta \leq 2.88^\circ \\ 38.7 - 25 [dBi] & 2.88^\circ \leq \theta \leq 3.475^\circ \\ 46.157 - 60 \log(\theta) [dBi] & 3.475^\circ \leq \theta \leq 21.92^\circ \\ -34.2 [dBi] & 21.92^\circ \leq \theta \leq 90^\circ \end{cases}$$

La anchura de haz de 3.14° de la antena se expresa como:

$$G(\theta) = \begin{cases} 34.8 - 3 \left(\frac{\theta}{1.57^\circ} \right)^2 [dBi] & 0^\circ \leq \theta \leq 4.53^\circ \\ 34.8 - 25 [dBi] & 4.53^\circ \leq \theta \leq 5.45^\circ \\ 54.011 - 60 \log(\theta) [dBi] & 5.45^\circ \leq \theta \leq 34.42^\circ \\ -38.2 [dBi] & 34.42^\circ \leq \theta \leq 90^\circ \end{cases}$$

Finalmente, la anchura de haz de 5° de la antena se expresa como:

$$G(\theta) = \begin{cases} 30.7 - 3 \left(\frac{\theta}{2.5} \right)^2 [dBi] & 0^\circ \leq \theta \leq 7.21^\circ \\ 30.7 - 25 [dBi] & 7.21^\circ \leq \theta \leq 8.68^\circ \\ 62 - 60 \log(\theta) [dBi] & 8.68^\circ \leq \theta \leq 54.81^\circ \\ -38.2 [dBi] & 54.81^\circ \leq \theta \leq 90^\circ \end{cases}$$

Posteriormente, estos valores son modelados en MatLab. La figura 3.11 muestra estos tres patrones de antena por completo.

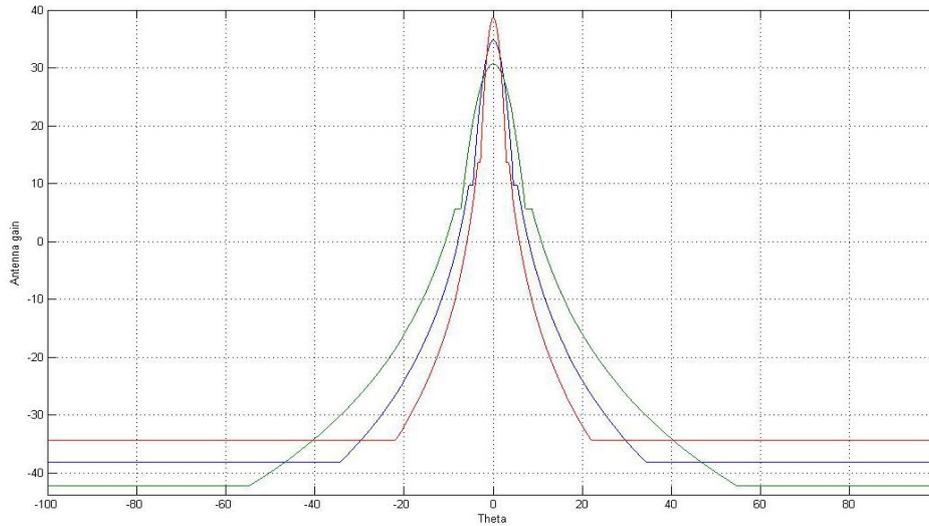


Figura 3.11: Diferentes patrones de achura del haz para 2° , 3.14° y 5° .

Fuente: Elaborado por Autor.

3.5.2.2. Disposiciones de las celdas.

Ya se mencionó que a diferentes números de células son utilizados para las simulaciones. La estructura de los arreglos de celdas ya fue explicada. La disposición de las celdas, se disponen componiendo niveles alrededor de una sola célula situado en el centro de la estructura. Para las simulaciones, se utilizan seis escenarios para diferentes niveles, cubriendo siempre la zona de estudio.

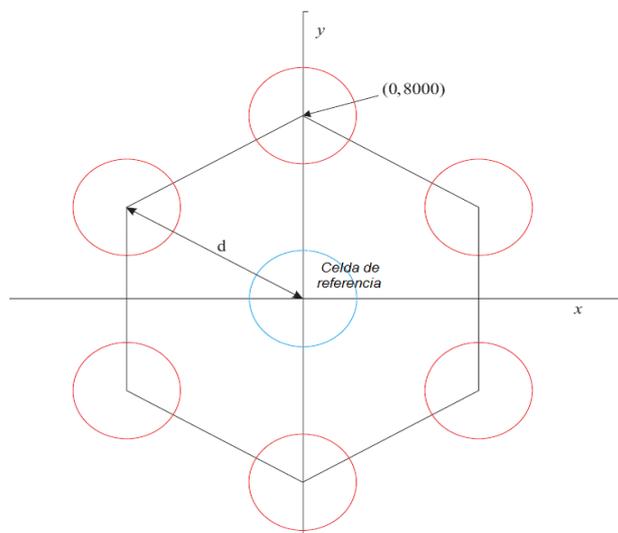


Figura 3.12: Estructura de las celdas de un nivel.

Fuente: Autor.

El uso de un número diferente de niveles puede ser traducido a diferentes separaciones entre celdas. En la figura 3.12 se muestra la configuración de una celda para un nivel. La celda de referencia (que se encuentra bajo la HAP) y las celdas situadas en el último nivel o capa tienen siempre la misma posición. La celda de referencia siempre se encuentra en el centro de la zona de estudio, por debajo de la HAP y la última capa se encuentra en todos los casos a lo largo de las líneas definidas, cualquiera que sea el número de niveles dentro de la zona. La distancia entre celdas para un solo nivel es de 8 km tal como se muestra en la figura 3.12. Si el número de niveles se aumenta a dos, la separación entre las células cambia a 4 km tal como se muestra en la figura 3.13.

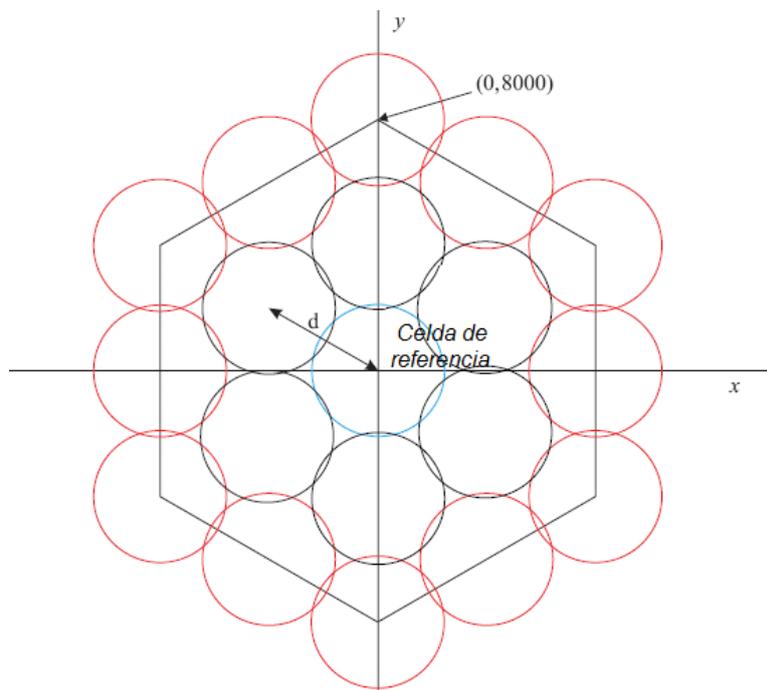


Figura 3.13: Estructura de las celdas de dos niveles.

Fuente: Elaborado por Autor.

Para un mayor número de niveles, la distancia entre las celdas disminuye, y el número de celdas aumentan. El efecto de disminuir la distancia entre las celdas (células) afecta directamente al rendimiento global de la red. En la tabla 3.2 se muestran las diferentes distancias entre las celdas para varios números de niveles, el número de celdas del último nivel y el número total de células. La distancia entre celdas se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$d = \frac{8 \text{ km}}{\# \text{ deniveles}}$$

Número de Niveles	Distancia entre celdas (m)	Celdas en el último nivel	Número total de celdas
1	8000	6	7
2	4000	12	19
3	2666	18	37
4	2000	24	61
5	1600	30	91
6	1333	36	127

Tabla 3.2: Distancias entre celdas, número de niveles y número total de celdas.

Fuente: Autor

Con un nivel, tenemos la celda de referencia y seis celdas en el último nivel, con un número total de 7 celdas. Con dos niveles, tenemos la celda de referencia, 6 celdas en el primer nivel y 12 en las células en el segundo nivel, con un número total de 19 celdas, y así sucesivamente con los siguientes niveles. Debido al hecho de que estamos utilizando la disposición hexagonal de las celdas mostradas en la figura 3.6, el número de celdas del nivel N es 6N.

Para la simulación, se simularán estos seis escenarios, para cada diagrama de antena. En las figuras 3.14, 3.15 y 3.16 se muestran las pérdidas de trayectoria para tres escenarios utilizando 2, 3 y 4 niveles respectivamente, dando así una idea de las configuraciones utilizadas para las simulaciones:

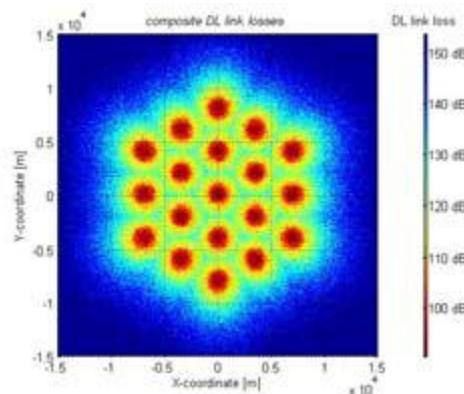


Figura 3.14: Resultado en MatLab para dos niveles con 19 celdas.

Fuente: Autor.

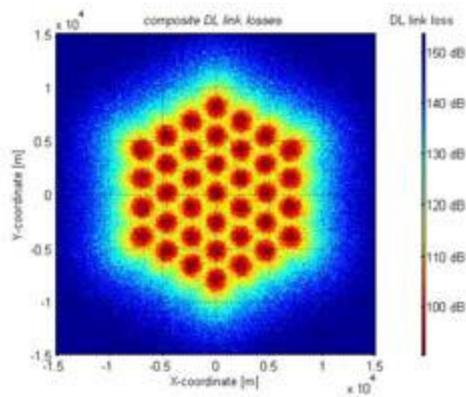


Figura 3.15: Resultado en MatLab para tres niveles con 37 celdas.

Fuente: Autor.

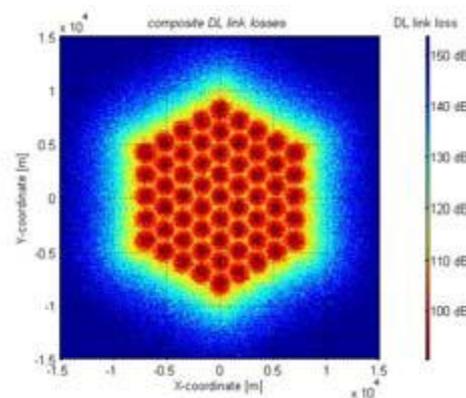


Figura 3.16: Resultado en MatLab para cuatro niveles con 61 celdas.

Fuente: Autor.

3.5.3. Estructura de las simulaciones

Una vez que se definen las variables estudiadas, el siguiente paso es la construcción de la estructura de simulación, que consiste en la combinación correcta de estas variables y la estructura del grupo de simulaciones por hacer. Como se explicó anteriormente, hay tres variables:

- Tres patrones de antenas, con diferentes anchuras de haz: 2° , 3.14° y 5° .
- Seis diseños de celdas, de uno a seis niveles.
- Siete escenarios de usuario, desde 2000 hasta 8000 usuarios.

La idea es que para cada diagrama de antena, y para cada disposición de las celdas, para lo cual todos los escenarios de los usuarios se deben simular.

La figura 3.17 muestra la estructura de las simulaciones para cada patrón de antena (denominado patrón de antena "i").

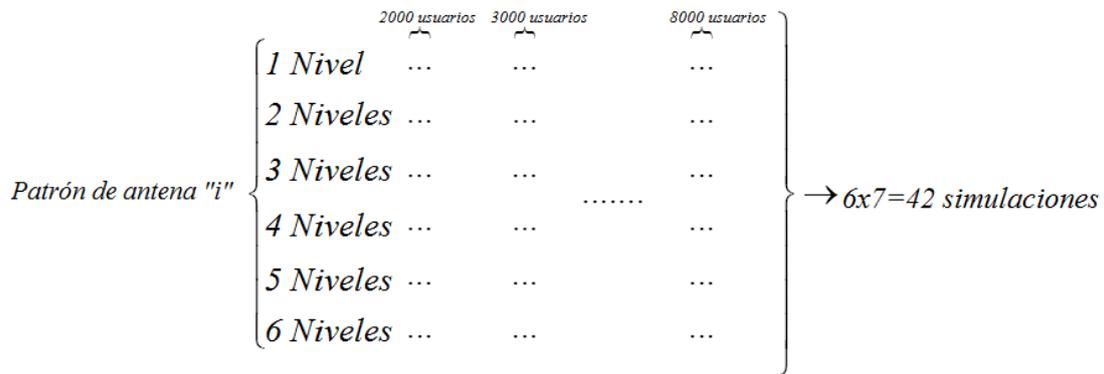


Figura 3.17: Estructura de las simulaciones.

Fuente: Autor.

Cada diagrama de antena representa un grupo de 42 simulaciones. Cada simulación consiste en redondear el número adecuado para las simulaciones de MatLab, y los resultados finales son el promedio de los resultados de estas rondas. Este promedio de datos incluyen la probabilidad de servicios, la interferencia, el número promedio de usuarios atendidos y transferencia suave (SHO).

3.6. Resultados

En esta sección se mostrarán todos los resultados obtenidos con las simulaciones. Para cada patrón de la antena, cada resultado se mostrará, a raíz de la estructura representada en la figura 3.17. Entonces, el escenario óptimo de cada parámetro se extrajo para cada diagrama de antena y se mostrará en conjunto, con el fin de comparar el rendimiento y hacer conclusiones.

3.6.1. Probabilidad de servicio

Servicio de probabilidad se define como porcentaje del número total de usuarios dentro de la zona que se sirven con éxito por el HAP. Las figuras 3.18, 3.19 y 3.20 muestran la probabilidad de servicios para cada diagrama de antena, para todos los escenarios de usuario y niveles.

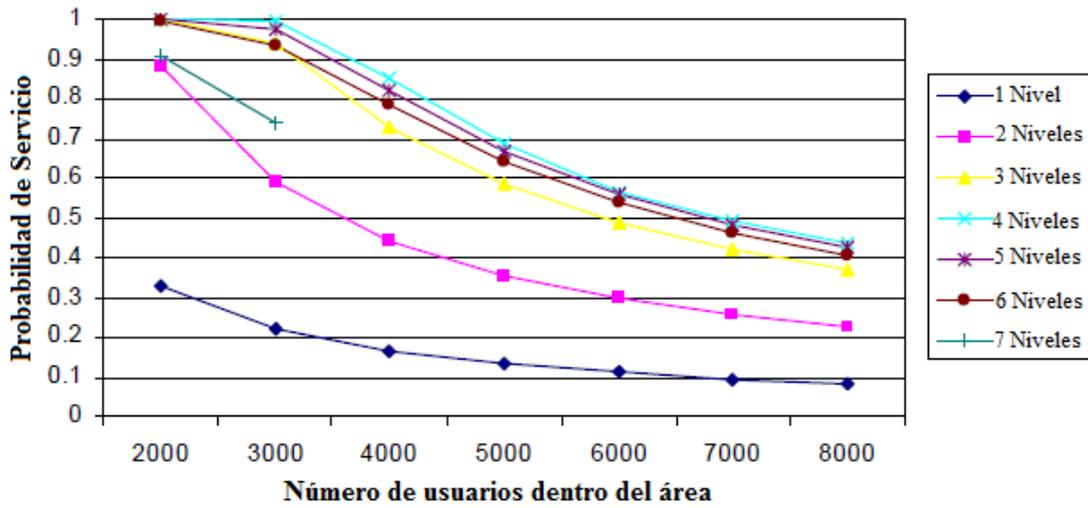


Figura 3.18: Probabilidad de servicio para patrones de antenas a 5°.

Fuente Autor.

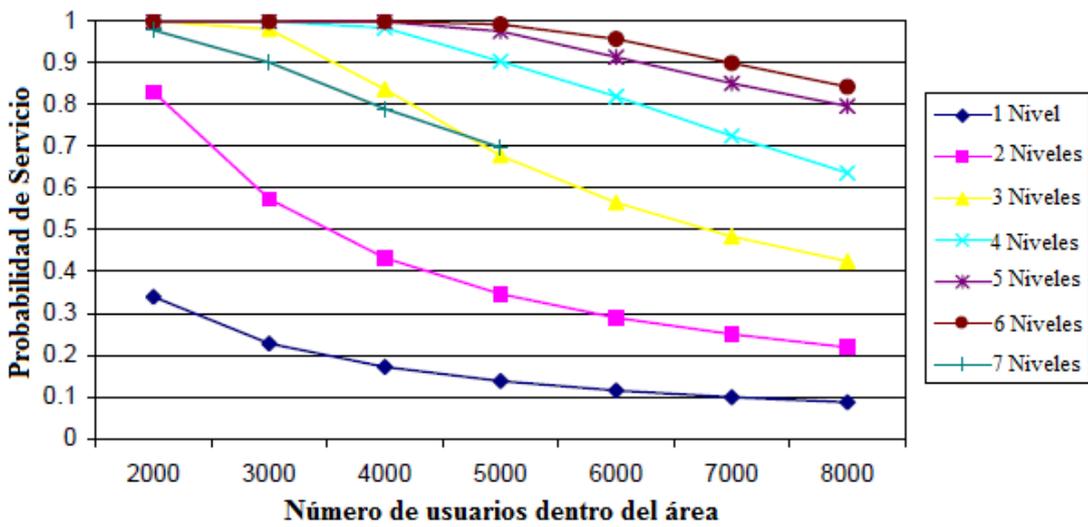


Figura 3.19: Probabilidad de servicio para patrones de antenas a 3.14°.

Fuente: Autor.

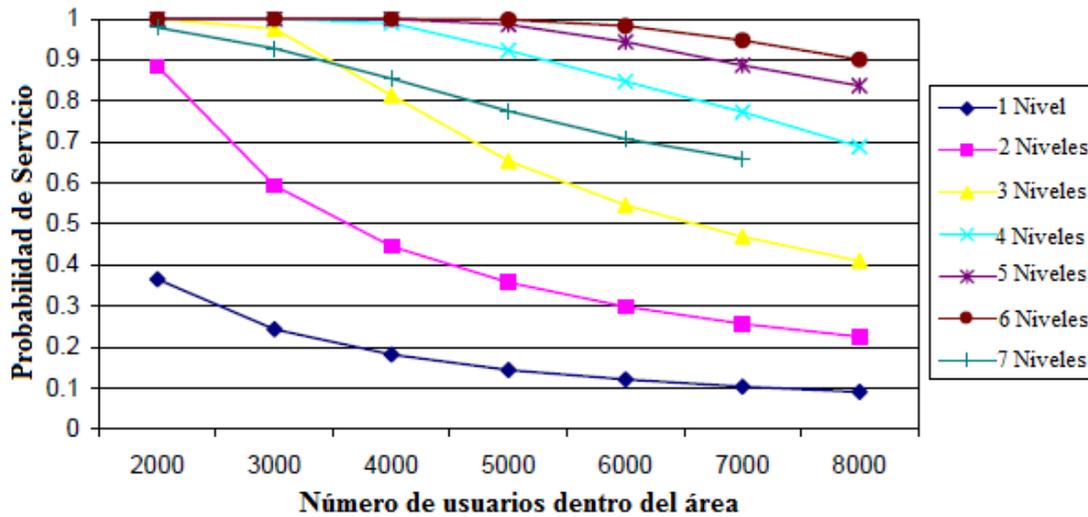


Figura 3.20: Probabilidad de servicio para patrones de antenas a 2°.

Fuente: Autor.

Para un patrón de antena con 5° de anchura de haz, el mejor rendimiento en términos de probabilidad de servicio es con cuatro niveles, y para 3.14° y 2° el mejor es de seis niveles. Los gráficos anteriores muestran también la probabilidad de servicio para siete niveles. Estas simulaciones incluyendo el séptimo nivel se incluyeron con el fin de garantizar que los resultados con siete niveles estaban por debajo del mejor rendimiento de probabilidad de servicio para cada antena.

Por consiguiente, se puede extraer que en todos los casos, la probabilidad de servicio para siete niveles es siempre por debajo de los mejores resultados de la probabilidad de servicio. La figura 3.21 muestra una comparación entre los resultados óptimos de cada patrón de antena.

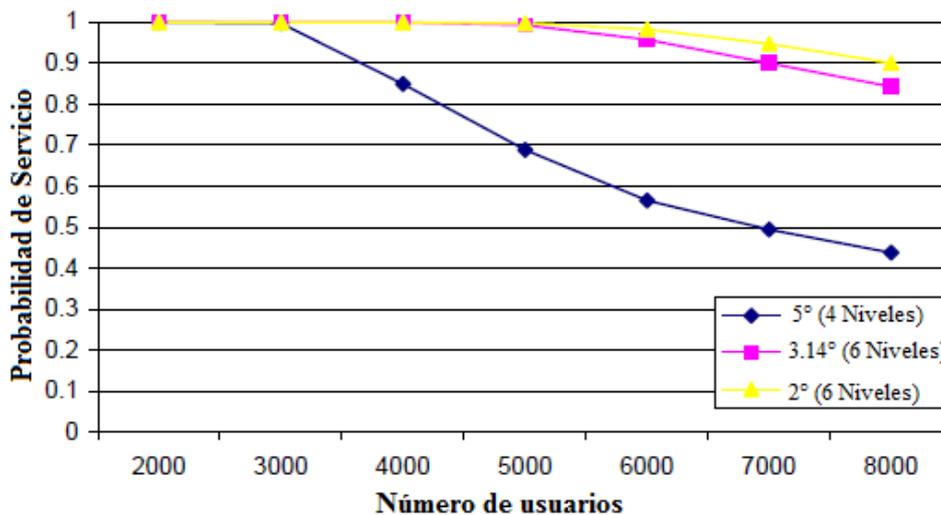


Figura 3.21: Comparativa de la probabilidad de servicio (configuración óptima de cada patrón de antena).

Fuente: Autor.

Para configuraciones óptimas de antenas a 3.14° y 2° de anchura de haz, ambos con seis niveles, la probabilidad de servicio tiene prácticamente los mismos valores de hasta cinco mil usuarios. Por el contrario, para el patrón de antena a 5° de anchura de haz con una configuración de cuatro niveles sólo ofrece altos porcentajes de probabilidad de servicio ($> 95\%$) en escenarios de baja carga, hasta tres mil usuarios.

Otro hecho notable se muestra en los resultados de probabilidad de servicios, es que en las configuraciones de un solo nivel y dos niveles, los valores de probabilidad de servicios para cada patrón de antena son similares. En un escenario de bajo tráfico de carga en una configuración de un solo nivel, por ejemplo, con 2000 usuarios, la probabilidad de servicio está por debajo de 0,4 para todos los patrones de antena. Una posible explicación para este comportamiento se muestra en las figuras 3.14, 3.15 y 3.16 que representan los escenarios simulados y las pérdidas de trayectoria de cada configuración. En las configuraciones de un solo nivel y dos niveles se muestra que la cobertura general no es suficiente para cubrir toda el área hexagonal en el que se encuentran los usuarios, ya que hay algunas áreas entre las celdas que alcanzan valores máximos de pérdidas de trayectoria (alrededor de 130 a 150 dB) y en consecuencia, pobres niveles de señal. La configuración con dos niveles tiene mejores resultados que la configuración de un nivel, porque el uso de un nivel más da una cobertura mejor en general. Esta mejora en la cobertura se traduce en mayor probabilidad de servicio, pero no es lo suficientemente alto para servir a todos los usuarios en la zona.

Por el contrario, los resultados para cuatro, cinco y seis niveles para patrones de antenas a 2° y 3.14° de anchura de haz, de acuerdo con las configuraciones mostradas en las figuras 3.14, 3.15 y 3.16, muestran una alta probabilidad de servicio hasta escenarios de tráfico con 6000 y 7000 usuarios, respectivamente. A partir de estos valores de la probabilidad de servicios que experimentan una disminución que no puede ser explicado en términos de la calidad de la cobertura. Las configuraciones con cuatro, cinco y seis niveles para un patrón de antena a 5° de anchura de haz sólo dan alta probabilidad de servicios en los escenarios de poco tráfico (2000-3000 usuarios).

La probabilidad de servicio también puede ser explicada en términos de número de usuarios ubicados en la zona y que de esos usuarios son atendidos. Las figuras 3.22, 3.23 y 3.24 muestran la variación del número de usuarios atendidos en función del número total de los usuarios dentro de la zona.

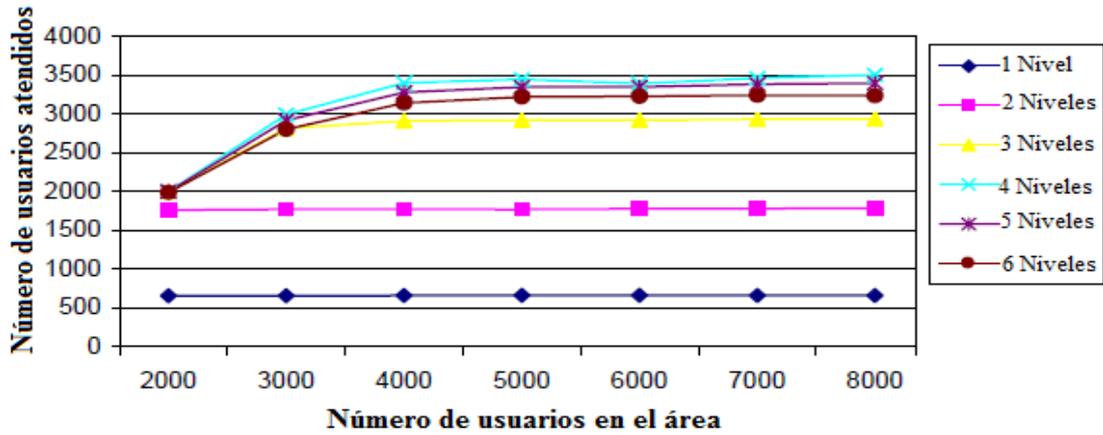


Figura 3.22: Número de usuarios atendidos para patrones de antenas a 5°.

Fuente: Autor.

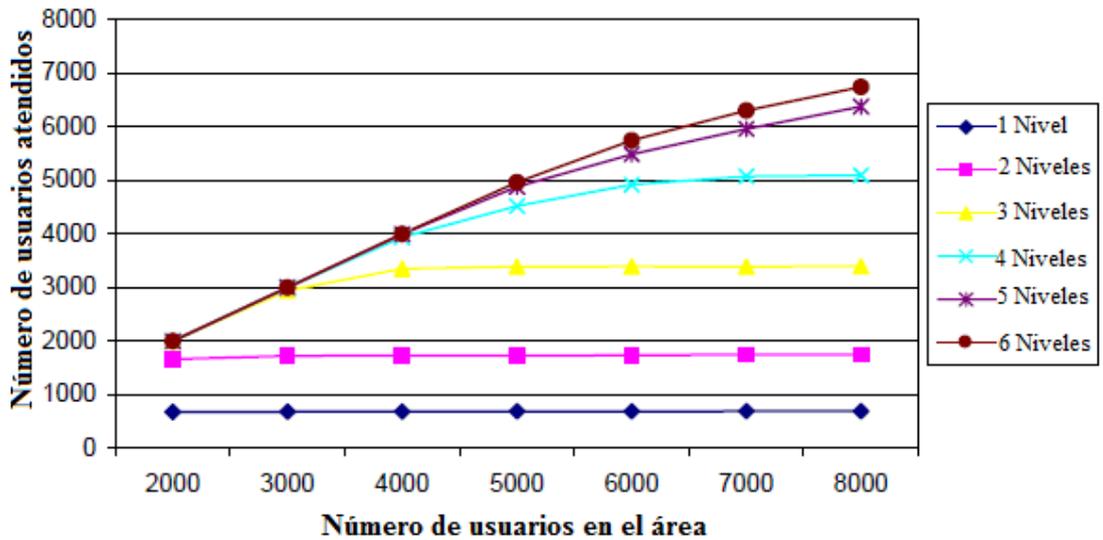


Figura 3.23: Número de usuarios atendidos para patrones de antenas a 3.14°.

Fuente: Autor.

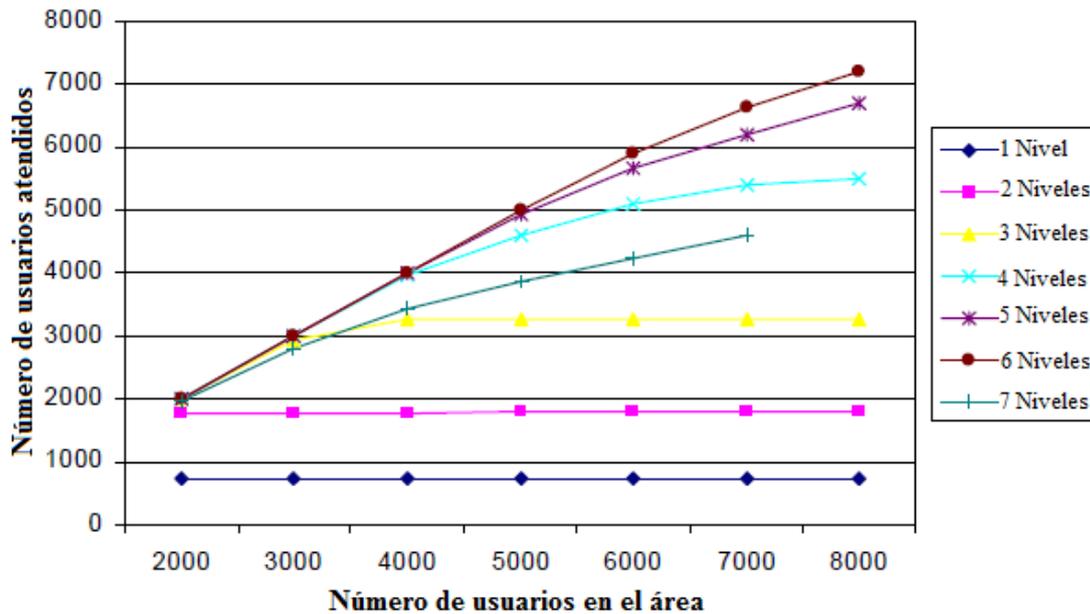


Figura 3.24: Número de usuarios atendidos para patrones de antenas a 2°.

Fuente: Autor.

El hecho más notable en estas figuras es que el número de usuarios atendidos con uno y dos niveles para todos los patrones de antena permanece constante y muestran valores similares. La razón de este comportamiento no variable, como se explica en la subsección anterior, es que el número de celdas es demasiado bajo para proporcionar suficiente cobertura, y aunque el número de usuarios en el área aumenta, el número de usuarios servidos es el mismo. En otras palabras, cada célula individual no es capaz de servir a más usuarios. Por esta razón la probabilidad servicio disminuye, debido a que se sirve el mismo número de usuarios, en cualquier caso, independientemente del número de usuarios dentro de la zona.

El análisis para el patrón de antena a 5° es la siguiente: de los resultados numéricos obtenidos para esta antena como se muestra en la figura 3.22, el número promedio total de usuarios servidos para la configuración con un solo nivel es 661. Tenga en cuenta que la media puede calcularse porque el número de usuarios atendidos se representa para un nivel con valores similares independientemente del número de usuarios. En consecuencia la probabilidad de servicios en un escenario de tráfico de usuarios de 2000 sería $661/2000=0,33$. Este valor coincide con los resultados mostrados en la figura 3.18 para un nivel y 2000 usuarios. Para 3000 usuarios dentro de la zona, la probabilidad de

servicio es $661/3000=0,22$, que también coincide con los resultados mostrados en la figura 3.18. En consecuencia, la expresión analítica de la probabilidad de servicios, para un nivel y patrón de antena a 5° está dado por:

$$Probabilidad\ de\ servicio = \frac{661}{N}$$

N es el número de usuarios dentro de la celda. La figura 3.25 compara esta expresión analítica con los resultados obtenidos para un patrón de antena de 5° y un nivel.

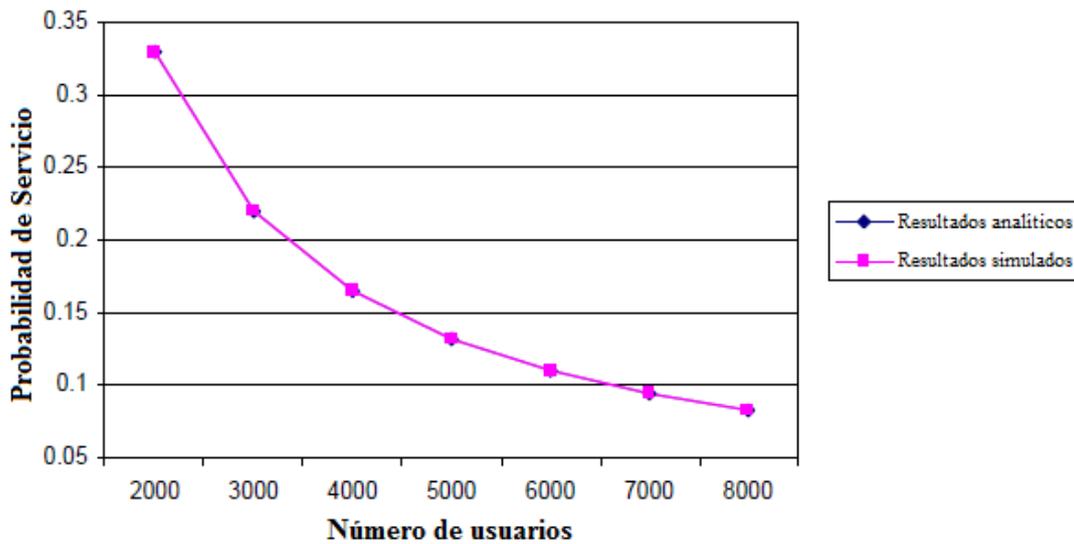


Figura 3.25: Comparación de los resultados analíticos y simulados.

Fuente: Autor.

Este valor de 661 usuarios atendidos da un número de usuarios por celda de $661/7=94$. Aumentar el número de los niveles desde uno a dos, para el patrón de antena a 5°, el número promedio total de usuarios atendidos (véase la figura 3.22) es 1774, y la probabilidad de servicio se comporta de la misma manera para un nivel tal como se muestra en la figura 3.25 y en la ecuación de probabilidad de servicio. El número de usuarios por celda, en este caso de dos niveles es $1774/19=93$. La conclusión que se puede hacer de este análisis es que el aumento del número de niveles de un nivel a dos, el número de usuarios atendidos aumenta proporcionalmente, porque el número de usuarios por celda se mantiene constante. El mismo análisis se puede hacer con un solo nivel y dos niveles para patrones de antenas a 2° y 3.14°, dando resultados similares.

Otro hecho (veáse las figuras 3.23 y 3.24) es el crecimiento lineal del número de usuarios atendidos para configuraciones de seis niveles, de 2000 a 5000 y de 2000 a 6000 usuarios en el área, respectivamente. Este crecimiento lineal de la cantidad de usuarios está relacionada con la alta probabilidad alcanzada para estas configuraciones. Sin embargo el patrón de antena a 5° con cuatro niveles no muestra este crecimiento lineal, alcanzando un número máximo de usuarios atendidos a partir de los primeros valores de usuarios en el área. La figura 3.26 muestra la variación de la cantidad máxima de usuarios atendidos como una función del número de niveles, utilizando la configuración óptima de niveles para cada patrón de antena.

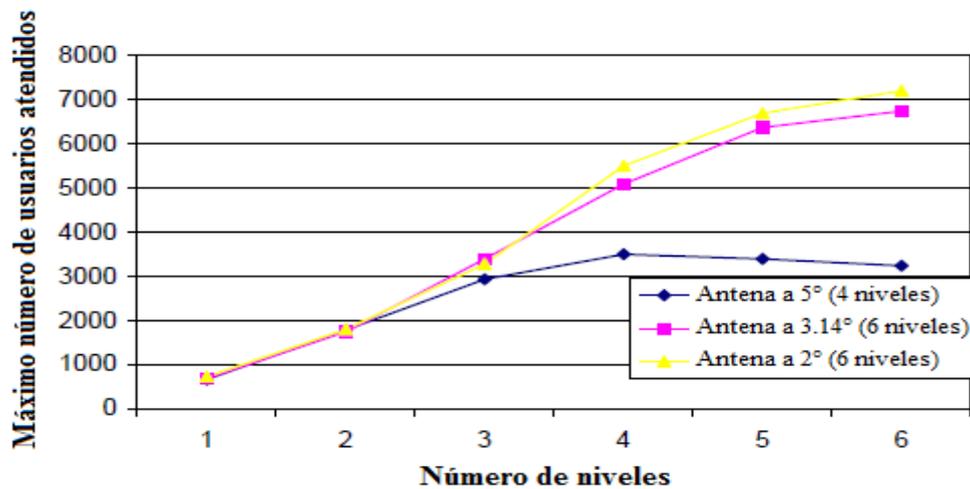


Figura 3.26: Comparación del máximo número de usuarios atendidos como una función del número de niveles.

Fuente: Autor.

Estos resultados muestran el mismo comportamiento mostrados por las figuras 3.18 a 3.20 con la probabilidad de servicio. El número máximo de usuarios es mayor con patrones de antenas a 3.14° y 2°, este hecho indica un rendimiento de red mejorado.

3.6.2. Carga de las celdas para enlaces ascendentes.

Las figuras 3.27, 3.28 y 3.29 muestran la carga promedio de células para enlaces ascendentes.

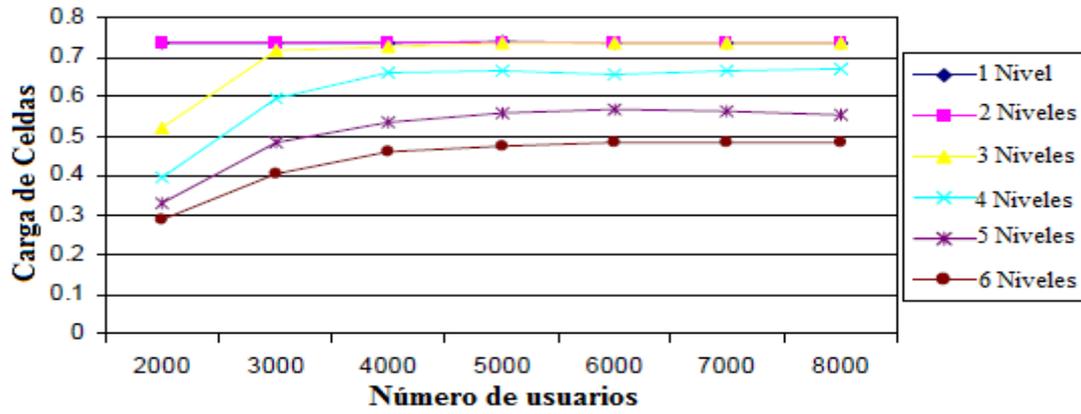


Figura 3.27: Promedio de carga Uplink para patrón de antena 5°.

Fuente: Autor.

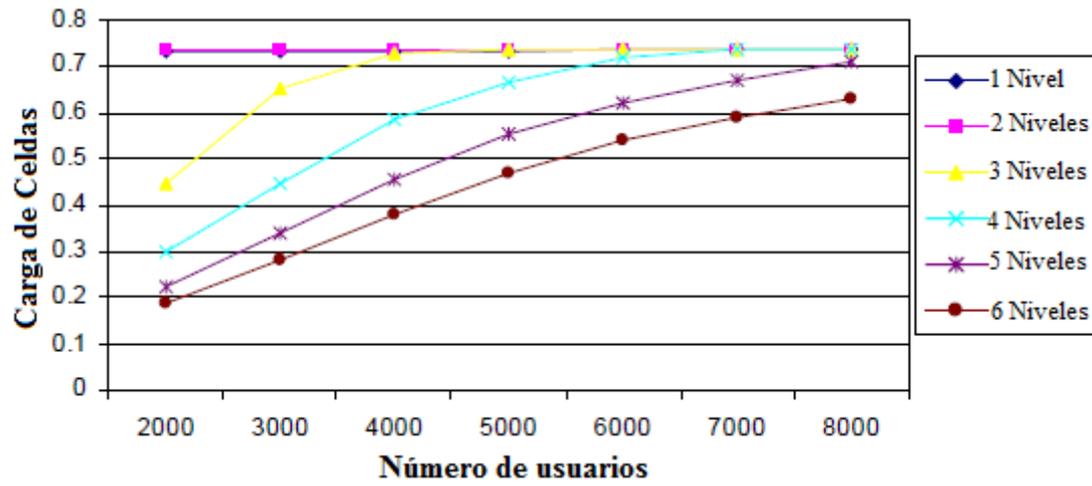


Figura 3.28: Promedio de carga Uplink para patrón de antena 3.14°.

Fuente: Autor.

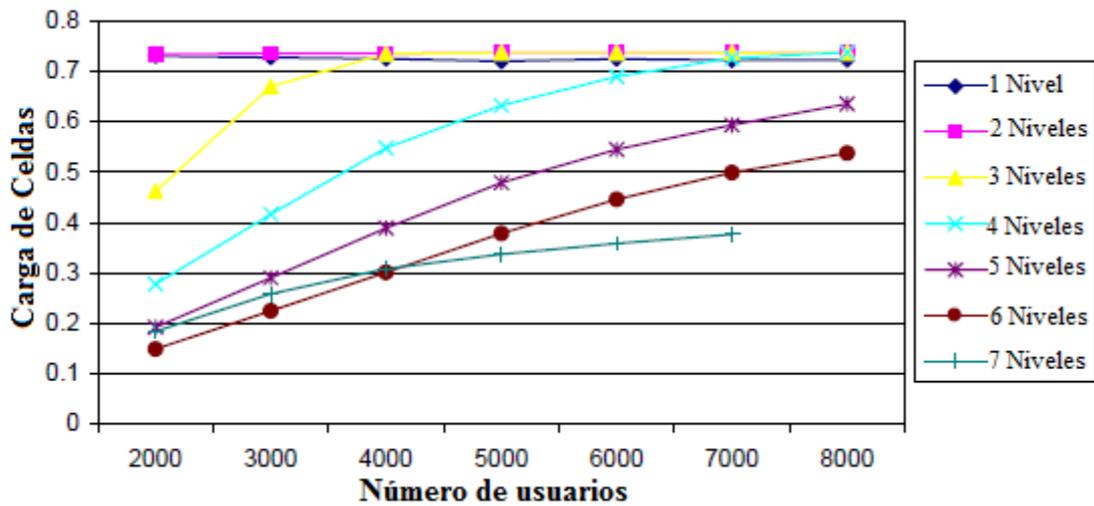


Figura 3.29: Promedio de carga Uplink para patrón de antena 2°.

Fuente: Autor.

A partir de estas cifras las mismas conclusiones que el trazado con el número de usuarios y probabilidad de servicios se pueden extraer. Como se explica con el número de usuarios y probabilidad de servicio, el hecho más notable es que el límite de carga de celdas (0.75, véase tabla 3.1) se alcanza con una, dos y tres niveles para cada patrón de antena. La explicación a esto es la mala calidad de la cobertura que significa altos valores de la propia interferencia. Esto es debido al hecho de que las celdas tienen una distancia tal entre ellos que cada uno está sirviendo a los usuarios incluso en el borde de sus límites de cobertura, siendo imposible compartir la carga con las otras celdas. Esto provoca altos valores de potencia de interferencia propia, más grande que la otra potencia de interferencia de celdas. Por lo tanto, la potencia de interferencia es la propia limitación para el número de usuarios atendidos para un bajo número de niveles.

Para cinco, seis y siete niveles de la carga de celdas, no alcanza el valor máximo de 0,75. La razón es que el número de usuarios por celda disminuye porque el número de las celdas aumenta con el número de niveles. El problema en estas configuraciones sería la superposición de celdas y la otra la potencia de interferencia de las celdas.

3.6.3. Otras opciones del parámetro de interferencia celular.

El parámetro utilizado para el estudio de la interferencia en el enlace ascendente se llama “i” y se define como:

$$i = \frac{\text{otrapotenciadeinterferenciacelular}}{\text{propiapotenciadeinterferenciacelular}}$$

Las figuras 3.30, 3.31 y 3.32 muestran los valores de i para cada patrón de antena.

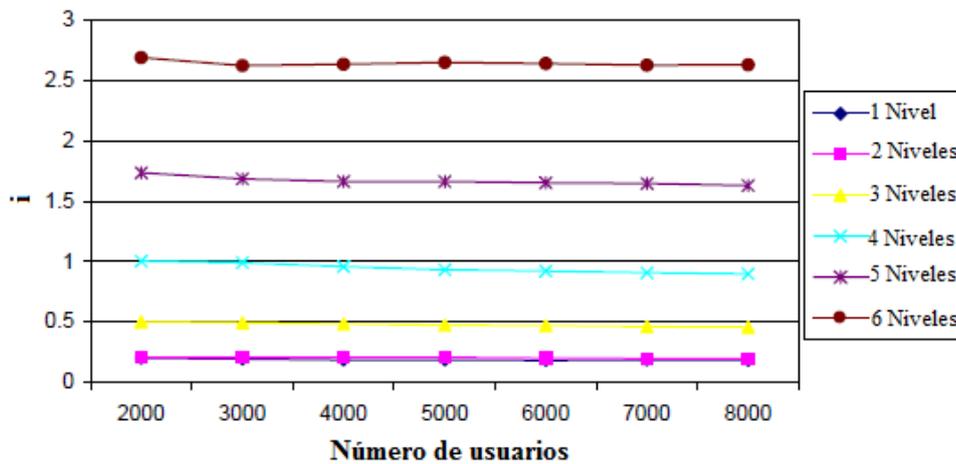


Figura 3.30: Parámetro de interferencia “i” para patrón de antena 5°.

Fuente: Autor.

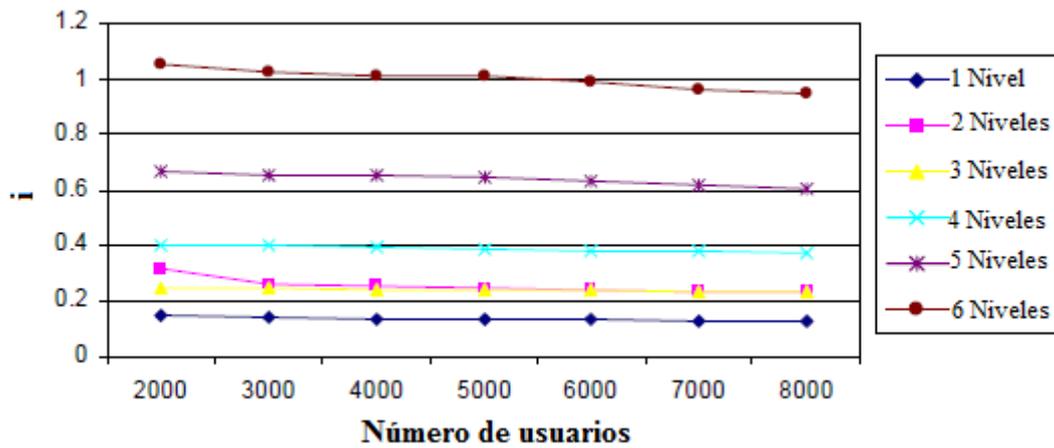


Figura 3.31: Parámetro de interferencia “i” para patrón de antena 3.14°.

Fuente: Autor.

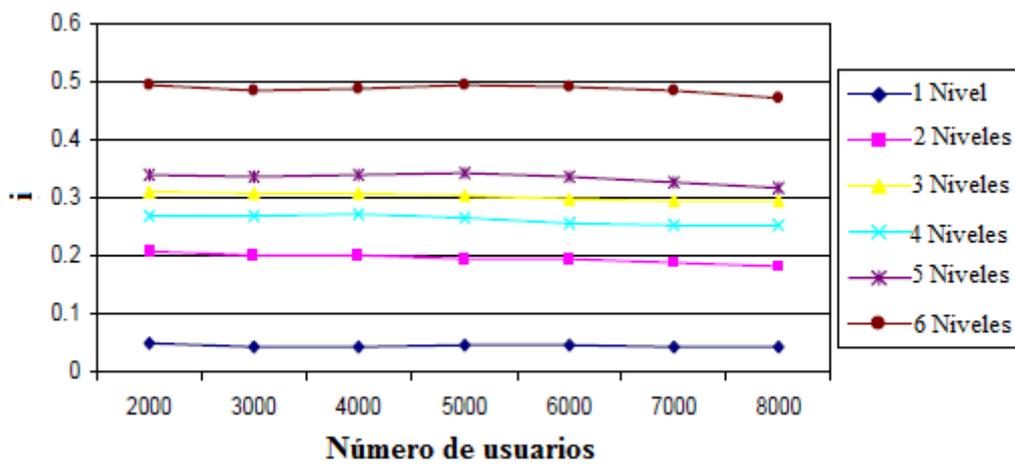


Figura 3.32: Parámetro de interferencia “i” para patrón de antena 2°.

Fuente: Autor.

Estas cifras muestran que los valores de i para cada nivel permanecen prácticamente constante, independientemente del número de usuarios. La razón es que, aunque el número de usuarios por celdas aumenta para un número dado de niveles, la proporción de usuarios que causan la interferencia de otras celdas y los usuarios que causan interferencia en la propia celda es constante. El único hecho que cambia esta proporción es la superposición de celdas, y cuanto mayor sea la superposición, mayor es el valor de i .

Los aumentos de solapamiento celular ocurren cuando el número de niveles aumenta, y por esta razón, los mayores valores de i se alcanzan con seis niveles, para todos los patrones de antena. La explicación de este aumento es que las áreas superpuestas contienen los usuarios atendidos por una de las celdas que cubren esa zona se solapan, causando otra potencia de interferencia celular a las otras células con cobertura en el área solapada. Cuanto mayor sea esta área (mayor solapamiento), es cuanto mayor es el número de usuarios y por consiguiente, es el mayor valor de otra interferencia de célula.

Debido al hecho de que los valores de i permanecen constantes para cada número de nivel, es más interesante calcular el valor medio de i para cada nivel y comparar los resultados de cada patrón de antena. La figura 3.33 muestra la comparación de la i promediado para cada patrón de la antena.

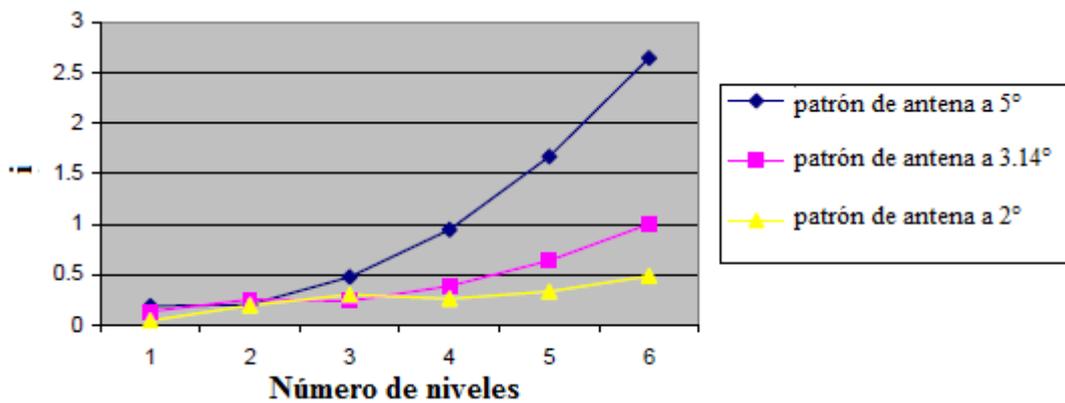


Figura 3.33: Comparación del parámetro de interferencia “ i ”.

Fuente: Autor.

El parámetro de interferencia “ i ” es mayor para una anchura de haz más amplio, debido a la superposición celular. Con una anchura de haz más ancho, el solapamiento de celdas aparece con un bajo número de niveles, mientras que con un anchura de haz estrecho aparece con un mayor número de niveles. Por ejemplo, el valor de $i=1$ se alcanza con cuatro niveles utilizando un patrón de antena a 5°, mientras que con un patrón de antena 3.14° se alcanza con seis niveles. Los bajos valores de i con uno y dos niveles para todos los patrones de antena confirman las explicaciones hechas en el apartado 3.6.1 relativas a la mala calidad de la cobertura obtenida con este número de niveles. Esta bajo valor de i significa que la potencia de interferencia propio es mayor que la otra fuente de interferencia de celda, debido al hecho de que hay más usuarios

dentro de una sola celda que en otros escenarios, incluso en el borde del área de cobertura, causando mayor potencia de interferencia propia de las celdas.

La figura 3.33 también muestra el patrón de antena 2° que da valores más pequeños de “i” (máximo valor promedio de i es 0,5 en la figura 3.33), lo que indica una mejora en la capacidad global.

3.6.4. Potencia de transmisión de la estación móvil.

Las figuras 3.34, 3.35 y 3.36 muestran la potencia media de transmisión de la estación móvil para cada patrón de antena:

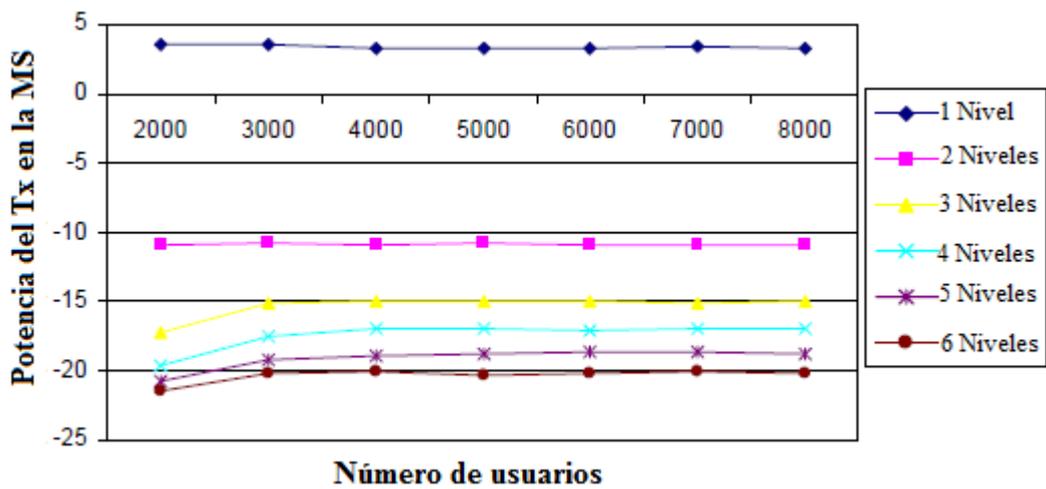


Figura 3.34: Potencia de Tx de la MS para patrón de antena 5°.

Fuente: Autor.

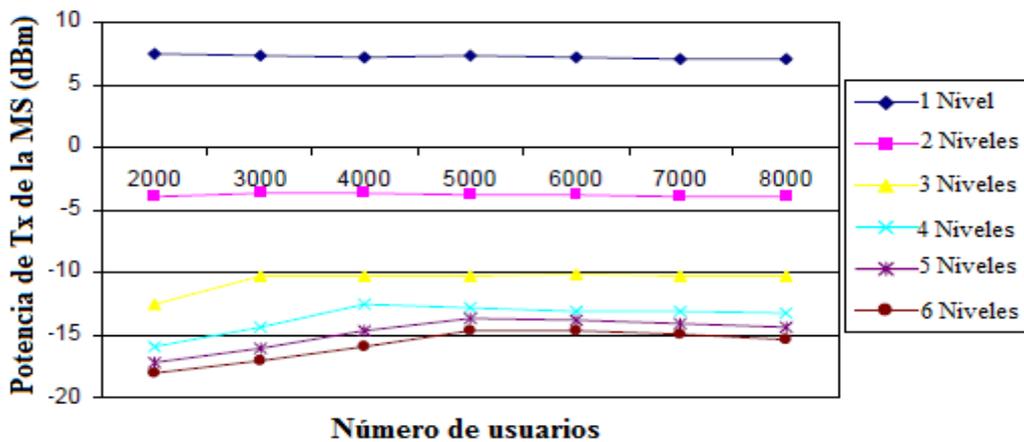


Figura 3.35: Potencia de Tx de la MS para patrón de antena 3.14°.

Fuente: Autor.

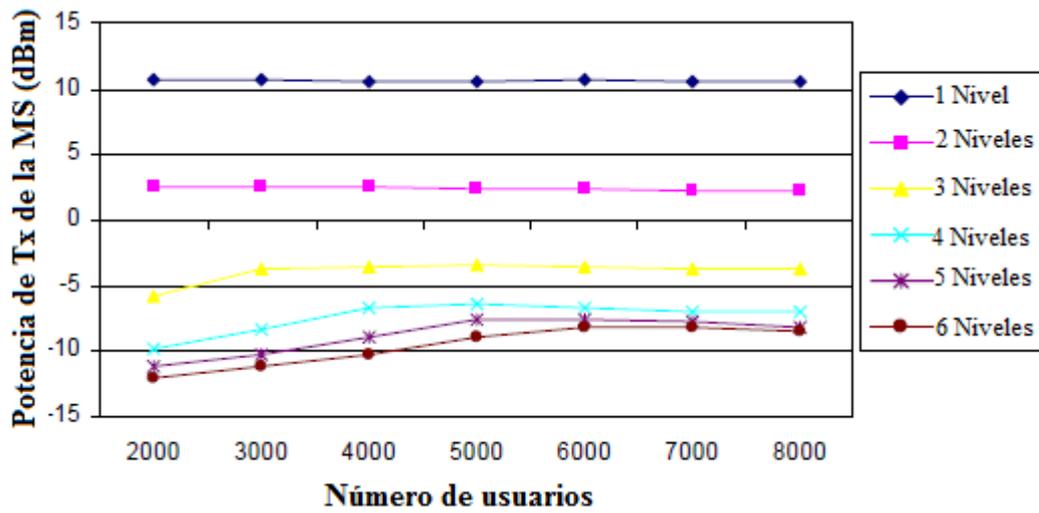


Figura 3.36: Potencia de Tx de la MS para patrón de antena 2°.

Fuente: Autor.

Los resultados muestran que, dado un patrón de antena, la potencia de transmisión de la estación móvil disminuye con el número de niveles, y tiene su valor máximo con un solo nivel. La razón es que con un bajo número de niveles de la probabilidad de una estación móvil estando en una zona en la que la ganancia de la antena no es tan alta como con un mayor número de celdas, debido a que la calidad de cobertura es deficiente.

Capítulo 4: Conclusiones y Recomendaciones

4.1. Conclusiones

La simulación de un solo HAP muestra que podemos hablar de una configuración óptima en función de la situación bajo análisis. Se estudiaron tres anchuras de haz de antena diferentes y los resultados mostraron que el más estrecho ancho del haz es el mejor rendimiento de la red. Con 5° de anchura de haz de la antena utilizado, se obtuvieron buenos resultados de la probabilidad de servicios, especialmente para los escenarios de baja carga, entre 2000 y 3000 usuarios.

Exactamente en este caso el valor del parámetro de interferencia es baja y presenta los mismos valores que los obtenidos para los otros patrones de antena utilizados. El problema que se presenta esta amplia anchura de haz es que al aumentar el número de usuarios, el rendimiento de la red empeora más rápidamente. La configuración de la celda óptima para una anchura de haz 5° utiliza una estructura de cuatro niveles, que en términos de la separación entre las células significa dos kilómetros.

Los resultados obtenidos para anchuras de haz de 3.14° y 2° son diferentes a la obtenida para 5°, pero son bastante similares entre ellos. En ambos casos, se alcanza la configuración óptima de la celda usando seis niveles (o una separación entre las células de 1333 metros). Los resultados de la probabilidad de servicios son similares, alcanzando el 100% de probabilidad de servicios para escenarios de carga baja-media, (2000-6000 usuarios), con sólo la mitad del valor del parámetro “i”. Esto representa una importante mejora en términos de eficiencia y rendimiento de la red.

4.2. Recomendaciones

Iniciar estudios avanzados de investigación en sistemas HAP en beneficio de comunidades rurales que permitan el acceso al Internet, por ejemplo, podría ser la zona de Limoncito.

Realizar modelos de propagación para múltiples antenas sobre múltiples sistemas HAP y así brindar mayor cobertura a varias zonas rurales que no disponen de acceso a Internet.

GLOSARIO

- 1G** (1stGeneration): Primera generación de comunicaciones móviles.
- 2G** (2ndGeneration): Segunda generación de comunicaciones móviles.
- 3G** (3rdGeneration): Tercera generación de comunicaciones móviles.
- 3GPP** (3G Partnership Project): Proyecto de asociación para 3G.
- 4G** (4thGeneration): Cuarta generación de comunicaciones móviles.
- 16-QAM** (16-Quadrature Amplitude Modulation): Modulación de amplitud por cuadratura 16.
- 64-QAM** (64-Quadrature Amplitude Modulation): Modulación de amplitud por cuadratura 64.
- ACK** (Acknowledgment): Acuse de recibido.
- aGW** (Access Gateway): Entrada de acceso.
- AMPS** (Advanced Mobile Phone Systems): Sistema avanzado de teléfonos móviles.
- ANSI** (American National Standards Institute): Instituto Nacional Americano de Estándares.
- BLER** (Block Error Rate): Tasa de error de bloques.
- BCCH** (Broadcast Control Channel): canal de control de transmisión.
- BSC** (Base Station Controller): Controlador de la estación base.
- BSS** (The Base Station Subsystem): Subsistema de la estación base.
- BTS** (Base Station Transceiver): estación base transceptora.
- BW** (Bandwidth): Ancho de banda.
- CCPCH** (Common Control Physical Channel): canal físico de control común.
- CDMA** (Code Division Multiple Access): Acceso múltiple por división de código.
- CN** (Core Network): Núcleo de la red.
- CP** (Cyclic Prefix): Prefijo cíclico.
- DL** (Down-Link): Enlace de bajada.
- DSCH** (Downlink Shared Channel): Canal compartido de bajada.
- E-UTRAN** (Enhanced – UMTS Terrestrial Radio Access Network):
- EDGE** (Enhanced Data for GSM Evolution): Datos Mejorados para la Evolución de GSM.
- EIR** (Equipment Identity Register): Equipo de Registro de Identidad.
- eNB** (Evolved NodeB): NodeB realzado o evolucionado.

EPC (Evolved Packet Core): Núcleo de Paquetes Evolucionados.

EPS (Evolved Packet System): Sistema de Paquetes Evolucionados.

eSFN (Enhanced System Frame Number): Numero de la trama del sistema realizado.

ETACS (Evolved Total Access Communication System): Sistema de Acceso Total de Comunicaciones Evolucionadas.

ETSI (European Telecommunications Standard Institute): Instituto europeo de estándares de telecomunicaciones.

FDD (Full Division Duplex): Duplexación por División de Frecuencia.

FDMA (Frequency Division Multiple Access): Acceso múltiple por división de frecuencia.

GB: Gigabyte

GMSC (Gateway Mobile Services Switching Centre): Puerta de enlace del centro móvil de servicios.

GPRS (General Packet Radio Service): Servicio General de Paquetes de Radio.

GSM (Global System for Mobile Communication): Sistema global para comunicaciones móviles.

HAP (high-altitude platform): Plataforma a gran altitud.

HLR (Home Location Register): Registro de Ubicación Local.

HSPA (High Speed Packet Access): Acceso por Paquetes de Alta Velocidad.

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers): Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.

IMSI: identificación internacional de suscriptor móvil

IP (Internet Protocol): Protocolo IP.

ITU(International Telecommunication Union): Unión Internacional de Telecomunicaciones.

LB (Long Block): Bloque de larga duración.

LTE (Long Term Evolution): Evolución a Largo Plazo.

MAC (Media Access Control): Control de acceso al medio

MB: Megabytes.

MIMO (Multiple Input Multiple Outputs): Múltiples Entradas Múltiples Salidas.

MME (Mobility Management Entity): Entidad de gestión de movilidad.

MSC (Mobile Switching Centre): Centro de conmutación móvil.

NB (Node B): Nodo B.

NSS (The Network Switching Subsystem): El Subsistema de conmutación de red.

OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access): Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal.

PBCH (Physical Broadcast Channel): Canal de transmisión físico.

PDCCH (Physical Downlink Control Channel): Canal de Control Físico de Enlace Descendente.

PDCP (Packet Data Convergence Protocol): Protocolo de convergencia de paquetes de datos.

PHY (Physical Layer): Capa física.

PLMN (Public Land Mobile Network): Red móvil pública.

PS (Packet Switched): Paquete conmutado.

PSTN (Public Switching Telephone Network): Red Pública de Telefonía Conmutada.

PDSCH (Physical Downlink Shared Channel): Canal físicocompartido de enlaces descendente.

QAM (Quadrature Amplitude Modulation): Modulación por amplitud de cuadratura.

QoS (Quality of Service): Calidad de Servicio.

QPSK (Quadrature Phase Shift Keying): Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadraturas.

RAN (Radio Access Network): Red de radio acceso.

RB (Resource Block): Bloque de Recurso.

RLC (Radio Link Control): Control de radio enlace.

RNC (Radio Network Controller): Controlador de red de radio.

RRC (Radio Resource Control): Control de Recursos de Radio.

SAE (System Architecture Evolution): Arquitectura de Sistema Evolucionado.

SB (Short Block): Bloque de duración corta.

SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access): Acceso Múltiple por División de Frecuencia por Portadora Simple.

SCTP (Stream Control Transfer Protocol): Protocolo de Control de Flujo.

TACS (Total Access Communication System): Sistema de Comunicación de Acceso Total.

TCP (Transmission Control Protocol): Protocolo de Control de Transmisión.

TDD (Time Division Duplex): Duplexación por División de Tiempo.

TDMA (Time Division Multiple Access): Acceso Múltiple por División de Tiempo.

TMSI: Identificación temporal de suscriptor móvil.

TS (Time Slot): Ranura de Tiempo.

TRAU (The Transcoding Rate and Adaptation Unit): Unidad de adaptación y la tasa de conversión.

TTI (Transmission Time Interval): Intervalo de tiempo de transmisión.

UE (User Equipment): Equipo de Usuario.

UL (Uplink): enlace de subida.

UMTS (Universal Mobile Telecommunication System): Sistema Móvil Universal de Telecomunicaciones.

UPE (User Plane Entity): Entidad de Plano de Usuario.

UTRA (Universal Terrestrial Radio Access): Acceso Universal Terrestre por Radio

UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access Network): Red de Acceso Universal Terrestre por Radio.

VLR (Visitor Location Register): Registro de localización del visitante.

VoIP (Voice over Internet Protocol): Voz sobre Protocolo de Internet.

WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access): Acceso Múltiple por División de Códigos de Banda Ancha.

BIBLIOGRAFIA

- Abdul Basit, S. (2009). *Dimensioning of LTE Network. Description of Models and Tools.*
- Amit, K., Dr. Yunfei, L., Dr. Jyotsna, S., & Divya4. (2010). *Evolution of Mobile Wireless Communication Networks.* International Journal of Electronics & Communication Technology.
- Arcotel. (2015). *Agencia de Regulacion y Control de las Telecomunicaciones.* Obtenido de <http://www.arcotel.gob.ec/>
- ARENAS, O., & HERNANDEZ, A. (2009). *PROGRAMACIÓN DE CÓDIGOS CICLICOS PARA APLICACIONES EN RADIO DEFINIDO POR SOFTWARE.* Mexico DF.
- Classrrom, W. (10 de 08 de 2011). *CARACTERISTICAS DE LAS REDES MOVILES E INALAMBRICAS.* Obtenido de <http://redes-moviles-e-inalambricas.wikispaces.com/Caracter%C3%ADsticas+de+las+redes+m%C3%B3viles+e+inalambricas>.
- Dalman, E., Parkvall, S., & Skold, J. (2011). *4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband.* Oxford-United Kingdom: Academic Press.
- De Vriend, J., Philippe, L., Christophe, L., & Xiaofeng Xu, A. (2002). *Mobile Network Evolution.* *IEEE Magazine.*
- Definicion abc. (2015). Obtenido de <http://www.definicionabc.com/general/globo-aerostatico.php>
- Doowon, K. (2013). *A Survey of Balloon Networking Applications.*
- eballon.org. (2015). *eballon.* Obtenido de <http://www.eballoon.org/history/history-of-ballooning.html>

- Eerola, V. (2011). *LTE NETWORK ARCHITECTURE EVOLUTION*. Helsinki University of Technology.
- Figueroa de la Cruz, M. (2008). *Introducción a los Sistemas de Telefonía Celular*. Buenos Aires - Argentina: Hispano Americana S.A. - HASA.
- Fiocca, m., & Salvatore, F. (2010). *Long Term Evolution (LTE)*: Roma: Sapienza Universita de Roma.
- gaiaciencia. (2015). *gaiaciencia*. Obtenido de <http://www.gaiaciencia.com/>
- Google. (2013). *Loon para todos*. Obtenido de <http://www.google.com/loon/>
- IEEE. (2012). Evolution of Mobile Network. *IEE Communication Magazine* .
- IEEE, S. (2015). *IEEE Spectrum*. Obtenido de <http://spectrum.ieee.org/telecom/standards/lte-advanced-is-the-real-4g>
- InterPlanetary Networking Special Interest Group*. (2013). Obtenido de <http://ipnsig.org/wp-content/uploads/2014/02/Project-Loon.pdf>
- Inzarrualde, M., Isi, J., & Garderes, J. (2008). *Telefonia Celular*. Montevideo.
- J.Salo, M. N.-A. (2011). *Practical Introduction to LTE Radio Planning*. Finlandia: Helsinki University.
- Katikala, S. (2014). *GOOGLE™ PROJECT LOON*. Rivier University.
- Leseprobe. (2014). *EPV Elektronik-Praktiker-Verlag*. Obtenido de <http://www.epv-verlag.de/>
- Mitschele-Thiel, A. (s.f.). *Mobile Network Evolution From GSM to LTE* . Integrated Communication Systems Group .
- Movil, K.-T. (2013). *kioskea.net*. Obtenido de <http://es.kioskea.net/contents/682-telefonía-movil>

Pereira, V., & Sousa, T. (2004). *Evolution of Mobile Communications: from 1G to 4G*. Ilkley: University of Coimbra.

Perez, F. (2010). *REDES MÓVILES TERRESTRES: 4G*. Madrid.

Salazar, A. (2014). *ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE UNA RED CELULAR DE CUARTA GENERACIÓN LONG TERM EVOLUTION (LTE)*.

Smith, p. (2014). *LOON-A WIRELESS NETWORK COMMUNICATION FOR PROVIDING FAST INTERNET*. India.

Telecommunications, W. (2009). *Wikipedia*. Obtenido de https://en.wikipedia.org/wiki/Public_land_mobile_network

UMTS, F. (2009). *Mobile Broadband Evolution: the roadmap from HSPA to LTE*.

Zamora, A. (2014). *Evaluación para el Control de Tráfico y QoS en el entorno de redes de datos mediante Tecnología MIKROTIK*. Guayaquil.