

# **HAPS (Estaciones situadas en Plataformas de Gran Altitud), una nueva alternativa para las Telecomunicaciones**



Trabajo de Grado

**Karol Eugenia Muñoz Ramírez  
Jairo Andrés Lasso Moreno**

Director: Ing. Víctor Manuel Quintero Flórez

*Universidad del Cauca*

**Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones  
Departamento de Telecomunicaciones  
Grupo GNTT Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones  
Línea de Investigación: Gestión Integrada de Redes,  
Servicios y Arquitecturas de Telecomunicaciones  
Área de interés Comunicaciones móviles e inalámbricas  
Popayán, Diciembre 2003**



## LISTA DE FIGURAS

### CAPITULO I. HAPS GENERALIDADES

Figura 1.1.	Configuración de la red.....	6
Figura 1.2.	Trayectoria inclinada en lluvia.....	9
Figura 1.3.	Ubicación cilíndrica preliminar de HeliPlat.....	17
Figura 1.4.	Concepto celular de reuso de frecuencias.....	19
Figura 1.5.	Perfil de la velocidad del viento vs. altura. (Tomado de la NASA).....	20
Figura 1.6.	Traza típica de una antena multihaz en 28/31 GHz.....	25
Figura 1.7.	Escenario de comunicación para una plataforma HAPS.....	27
Figura 1.8.	Cobertura del Reino Unido con una red de HAPS.....	30
Figura 1.9.	Aeronave Zeppelin NT, lanzada en Enero del 2000.....	32
Figura 1.10.	Impresión del Cargolifter.....	33
Figura 1.11.	Concepto de HAPS de Lindstrand.....	34
Figura 1.12.	Helios. Aeroplano AeroVironment's.....	35
Figura 1.13.	HALO Proteus aircraft.....	36
Figura 1.14.	Predator, un UAV militar.....	37

### CAPITULO II. CONSIDERACIONES DE DISEÑO EN REDES HAPS

Figura 2.1.	Ganancia de antenas para terminales de usuario HAPS.....	44
Figura 2.2.	Esquema para cálculo de la distancia efectiva.....	48
Figura 2.3.	Casos de interferencia.....	61
Figura 2.4.	Análisis de interferencia de señal única interferente.....	62
Figura 2.5.	Interferencia causada por una estación terrena del SFS a un terminal de usuario HAPS situado en una zona adyacente.....	65
Figura 2.6.	FDA de la interferencia para la interferencia combinada causada por las terminales de usuario HAPS a un satélite del SFS.....	69
Figura 2.7.	Nomograma para el cálculo de $\gamma_R$ .....	75



### **CAPITULO III. COMPATIBILIDAD CON SISTEMAS 2.5G Y 3G**

Figura 3.1.	Infraestructura requerida para una aplicación HAPS.....	84
Figura 3.2.	Aplicaciones de las plataformas HAPS.....	87
Figura 3.3.	HAPS proporcionando cobertura integrada.....	91

### **CAPITULO IV.    POSIBLES APLICACIONES Y SERVICIOS DE LA TECNOLOGÍA HAPS EN EL TERRITORIO COLOMBIANO**

Figura 4.1.	Plan de frecuencias para las bandas de 27,5-28,35 GHz y 31-31,3 GHz.....	94
Figura 4.2.	Diagrama para el cálculo de distancias y para el ángulo de elevación....	96
Figura 4.3.	Esquema para cálculo de la distancia efectiva.....	100



## LISTA DE TABLAS

### CAPITULO I. HAPS GENERALIDADES

Tabla 1.1.	Comparación de servicios de banda ancha terrestres, de HAPS y satelitales	12
Tabla 1.2.	Zonas de cobertura.....	23
Tabla 1.3.	Asignación típica de la ganancia a los haces puntuales.....	25

### CAPITULO II. CONSIDERACIONES DE DISEÑO EN REDES HAPS

Tabla 2.1.	Asignación de las bandas en Colombia y en las regiones 1,2 y 3..	39
Tabla 2.2.	Asignación de las bandas en Colombia y en las regiones 1,2 y 3...	39
Tabla 2.3.	Asignación de las bandas en Colombia y en las regiones 1,2 y 3...	40
Tabla 2.4.	Ganancia de antena en diferentes zonas.....	42
Tabla 2.5.	Valores para $a$ , $b$ y $\alpha$ .....	44
Tabla 2.6.	Niveles de potencia en la estación en tierra y en la plataforma HAPS.....	45
Tabla 2.7.	Valores para $R$ .....	47
Tabla 2.8.	Altitud mínima del trayecto entre dos HAPS.....	52
Tabla 2.9.	Altitud mínima del trayecto en el caso de $h_0 = 25$ km.....	54
Tabla 2.10.	Casos de interferencia.....	61
Tabla 2.11.	Distancias de separación requeridas para el análisis de la interferencia producida por una sola señal interferente.....	62
Tabla 2.12.	Interferencia en una plataforma HAPS debida a una estación terrena del SFS ubicada fuera de la zona de cobertura HAPS.....	65
Tabla 2.13.	Distancia de separación entre una estación terrena del SFS y una zona de cobertura HAPS.....	66



Tabla 2.14.	Interferencia causada por un terminal de usuario HAPS a una estación espacial del SFS suponiendo acoplamiento del haz principal.....	67
Tabla 2.15.	Diferentes distribuciones de terminales de usuario HAPS activas utilizadas en el análisis de interferente múltiple.....	68
Tabla 2.16.	Valores de $Y_N$ para N vías.....	74

### **CAPITULO III. COMPATIBILIDAD CON SISTEMAS 2.5G Y 3G**

Tabla 3.1.	Comparación Sistemas 3G y 4G.....	89
------------	-----------------------------------	----

### **CAPITULO IV. POSIBLES APLICACIONES Y SERVICIOS DE LA TECNOLOGÍA HAPS EN EL TERRITORIO COLOMBIANO**

Tabla 4.1.	Coordenadas geográficas de los sitio empleados.....	93
Tabla 4.2.	Valores de MTBF y MTTR para los equipos.....	102
Tabla 4.3.	Valores de indisponibilidad para los equipos en Pasto y en la HAPS.....	103
Tabla 4.4.	Valores de indisponibilidad para los equipos redundantes.....	103
Tabla 4.5.	Valores de indisponibilidad total para Pasto y la HAPS.....	104
Tabla 4.6.	Datos obtenidos de los enlaces.....	105



## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABLAS

INTRODUCCION

### CAPITULO I. HAPS GENERALIDADES

1.	HAPS GENERALIDADES.....	4
1.1	CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS HAPS.....	4
1.1.1	Configuración de la Red HAPS.....	6
1.1.2	Ventajas y Desventajas de los Sistemas HAPS.....	8
1.1.3	Plan de frecuencias para el Funcionamiento de las HAPS.....	17
1.1.4	Altitud de la Plataforma HAPS.....	19
1.1.5	Suministro de Energía Eléctrica.....	21
1.1.6	Sistema de Propulsión.....	21
1.1.7	Posicionamiento de la Plataforma.....	21
1.1.8	Zonas de Cobertura en Tierra de las Plataformas HAPS.....	22
1.1.9	Sistema de Antenas de los HAPS para Comunicaciones.....	23
1.1.10	Esquema de Acceso Múltiple y Técnicas de Modulación.....	25
1.2	APLICACIONES DE COMUNICACIÓN.....	26
1.2.1	Aplicaciones de BWA.....	28
1.2.2	Aplicaciones 3G/2G.....	29
1.2.3	Redes HAPS.....	29
1.2.4	Aplicaciones en Países en Vía de Desarrollo.....	30
1.2.5	Aplicaciones en Emergencias o en Desastres.....	30
1.2.6	Comunicaciones Militares.....	31
1.3	TIPOS DE PLATAFORMAS AEREAS.....	31
1.3.1	Globos.....	31
1.3.2	Aeronave HAPS.....	33



1.3.3	Aeroplanos HAPS.....	35
1.3.4	Algunas otras Plataformas Aéreas.....	36

## **CAPITULO II. CONSIDERACIONES DE DISEÑO EN REDES HAPS**

2.	CONSIDERACIONES DE DISEÑO EN REDES HAPS.....	38
2.1	FRECUENCIAS EN PLATAFORMAS HAPS.....	38
2.1.1	Frecuencias entre 27,5 y 28,35 GHz.....	39
2.1.2	Frecuencias entre 31 y 31,3 GHz.....	39
2.1.3	Frecuencias entre 47,2 y 47,5 GHz y 47,9-48,2 GHz.....	40
2.2	PARÁMETROS DE LAS ANTENAS.....	41
2.2.1	Directividad de la Antena.....	41
2.2.2	Ganancia de una Antena.....	41
2.2.3	Patrones de Radiación de Antena.....	43
2.3	DISTANCIA DE COORDINACIÓN QUE EXIGE EL USO DE HAPS	44
2.4	POTENCIA EFECTIVA PRA Y PRE.....	45
2.5	ATENUACIÓN.....	46
2.5.1	Lluvia.....	46
2.5.2	Atenuación de Propagación Mínima debida a los Gases Atmosféricos...	49
2.5.3	Atenuación entre dos HAPS.....	51
2.5.4	Niebla.....	54
2.5.5	Hielo y Nieve.....	55
2.6	BALANCE DEL ENLACE.....	55
2.6.1	Objetivos de Calidad.....	56
2.6.2	Objetivos de Disponibilidad.....	57
2.7	PROBABILIDAD DE ERROR.....	57
2.7.1	Eficiencia de Error de FSK.....	58
2.7.2	Eficiencia de Error de MPSK.....	59
2.7.3	Eficiencia de Error de QAM.....	60
2.8	ANÁLISIS DE INTERFERENCIA.....	60



2.8.1	Interferencia Causada por Estaciones Terrestres de SFS a Terminales de Usuario HAPS (Caso 1).....	61
2.8.2	Interferencia Causada por Estaciones Terrestres de SFS a Plataformas HAPS (Caso 2).....	65
2.8.3	Interferencia Causada por los Terminales de Usuario HAPS a un Satélite del SFS (Caso 3).....	67
2.8.4	Interferencia Causada por una HAPS a un Satélite del SFS (Caso 4).....	69
2.9	TÉCNICAS DE REDUCCIÓN DE INTERFERENCIA.....	70
2.9.1	Mejora de los Patrones de Radiación.....	70
2.9.2	Aumento de los Ángulos Mínimos de Elevación de los Terminales de Usuario HAPS.....	70
2.9.3	Asignación Dinámica de Canal (ADC).....	71
2.9.4	Apantallamiento Ambiental.....	71
2.10	CALCULO DE LA DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO Y DEL SISTEMA.....	71
2.10.1	Cálculo de la Disponibilidad en un Enlace Digital.....	72
2.10.1	Indisponibilidad debida a fallas de los equipos	72

### **CAPITULO III. COMPATIBILIDAD CON SISTEMAS 2.5G Y 3G**

3.	COMPATIBILIDAD CON SISTEMAS 2.5G Y 3G.....	76
3.1	BWA (ACCESO INALÁMBRICO DE BANDA ANCHA - BROADBAND WIRELESS ACCESS).....	77
3.1.1	Características del Sistema.....	78
3.1.2	Plataformas HAPS como Solución para LMDS.....	79
3.2	IMPLEMENTACIÓN DE LAS PLATAFORMAS HAPS EN SERVICIOS IMT-2000.....	81
3.2.1	Aplicaciones HAPS en Sistemas 3G	83
3.2.2	Infraestructura HAPS para Sistemas 3G y otros Sistemas Futuros .....	83



3.2.3	Ventajas de la implementación de plataformas HAPS en sistemas IMT-2000.....	84
3.3	SISTEMAS DE 4 GENERACIÓN.....	87
3.3.1	HAPS en la 4 generación.....	90

#### **CAPITULO IV. POSIBLES APLICACIONES Y SERVICIOS DE LA TECNOLOGÍA HAPS EN EL TERRITORIO COLOMBIANO**

4.	POSIBLES APLICACIONES Y SERVICIOS DE LA TECNOLOGÍA HAPS EN EL TERRITORIO COLOMBIANO.....	91
4.1	UBICACIÓN DEL ENLACE.....	93
4.2	PLAN DE FRECUENCIAS.....	93
4.3	DATOS GENERALES DEL SISTEMA.....	95
4.4	DISTANCIA DE COORDINACIÓN.....	97
4.5	PÉRDIDAS TOTALES.....	97
4.5.1	Pérdidas de Espacio Libre.....	98
4.5.2	Pérdidas Atmosféricas.....	98
4.5.3	Pérdidas de Lluvia.....	98
4.6	CÁLCULO DE LA POTENCIA EN RECEPCIÓN.....	100
4.7	INFORMACIÓN DIGITAL.....	101
4.8	INDISPONIBILIDAD.....	101
4.9	DATOS OBTENIDOS DE LOS ENLACES.....	104
4.10	SERVICIOS QUE PUEDEN SER IMPLEMENTADOS EN EL SISTEMA.....	106

#### **CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1	CONCLUSIONES.....	107
5.2	RECOMENDACIONES.....	108



HAPS (Estaciones situadas en Plataformas de Gran Altitud), una nueva alternativa  
para las Telecomunicaciones

---

KAROL EUGENIA MUÑOZ RAMÍREZ JAIRO ANDRÉS LASSO MORENO

ACRONIMOS

GLOSARIO

BIBLIOGRAFIA



## INTRODUCCIÓN

El hombre siempre a deseado conquistar el espacio, es por ello que desde mucho tiempo atrás éste a estudiado la manera de poder volar como las aves. Los hermanos José y Esteban Montgolfier, fueron los primeros en crear un globo de papel, utilizando un gas mucho más ligero que el aire, consiguiendo que este se elevara, en su primer ascenso hasta los 500 metros. Habían inventado el globo aerostático, “la Mongolferiana”. Frente a la necesidad de mejorar las características de los globos y resolver problemas como el control de dichos globos, ya que el viento era el único que controlaba el trayecto de vuelo, años más tarde, el Conde Ferdinand Graf Von Zeppelin de origen alemán utilizó un motor para hacer que los globos se desplazaran en una dirección determinada. El Zeppelin es un globo de helio (gas inerte) con forma de dirigible no tripulado que se mantiene elevado sujeto a la tierra por medio de una cuerda a unos 30 metros de altura. El Zeppelin I tenía 32 caballos de fuerza y alcanzó una velocidad de 38 kilómetros por hora. Pasaron cinco años antes de que Zeppelin II estuviese dispuesto para sus pruebas. Este modelo terminó de forma rápida debido a un desastre, pues fue prácticamente destrozado por un huracán. Las autoridades alemanas esperaban confiadamente grandes hazañas de los dirigibles rígidos aplicados a la guerra; pero estos aparatos no habían dado todo el rendimiento esperado. Los zeppelines eran capaces de transportar grandes pesos, y tenían la ventaja de poder situarse sobre cualquier lugar; pero siendo tan grandes, presentaban un excelente blanco a la artillería y tenían que permanecer a considerable altura por esta causa. Estos dejaron de fabricarse luego de los diversos accidentes producidos por el hidrogeno que contenían. También se pensó en la posibilidad de utilizarlos en comunicaciones, pero por la tecnología de la época no era capaz de controlar los diferentes problemas que se presentaban tales como tamaño, estabilidad de la plataforma, etc. Ahora que estas limitaciones están superadas, existen otros retos como las grandes demandas en la capacidad de los servicios inalámbricos sobre todo a nivel de acceso (último kilómetro). En la tierra, la necesidad de trayectorias de propagación que cumplan con los requerimientos de línea de vista representa una



gran limitante a menos que se instale un gran número de estaciones base, mientras que los sistemas vía satélite tienen limitaciones de capacidad. Teniendo en cuenta las dificultades en los sistemas inalámbricos actuales, esta surgiendo una solución la cual es ofrecida por las HAPS, consideradas como globos aerostáticos de gran evolución, que operan en la estratosfera a altitudes de 20 a 25 Km, distancias comprendidas entre los límites que delimitan esta capa (12 y 50 Km), para proporcionar medios de comunicación que aprovechen las mejores características de los esquemas terrestres y satelitales.

La idea de colocar un repetidor radioeléctrico en un globo no es nueva, se intentó incluso con anterioridad al empleo de los satélites; no obstante las dificultades de realización, tanto para ubicarlo a una altura adecuada, libre de posibles choques con objetos naturales (meteoritos) y artificiales (aviones) que pudieran dañar su estructura, así como la falta de tecnología capaz de mantenerlo en una posición fija respecto a la Tierra, impidieron que el sistema pudiera implementarse. Los avances en la tecnología para el mantenimiento en posición, así como la posibilidad de utilizar frecuencias superiores a 20 GHz, menos utilizadas por otros sistemas (exploración de la tierra por satélite, radioastronomía e investigación espacial), y de más fácil compartición, han posibilitado la viabilidad del proyecto.

No existe todavía ningún sistema HAPS en operación comercial, pero sí notificados a la UIT para su inscripción en el Registro Internacional de Frecuencias; dos de ellos, cuyas características se conocen, pueden entrar en funcionamiento en un futuro próximo. Los proyectos que se han realizado, hasta lo que se sabe, ninguno es de operación comercial. Todos los proyectos están bajo desarrollo o en fase experimental.

Sin embargo, la plataforma HAPS funciona como un repetidor y por tanto su aplicación puede extenderse en el futuro a otros servicios tales como el servicio móvil e incluso el servicio de difusión. Se realizan actualmente estudios en relación con su posible aplicación para sistemas móviles de tercera generación, conocida como IMT-2000 (International Mobile Telecommunications 2000 – Telecomunicaciones Móviles Internacionales para el



año 2000) a escala mundial por la UIT (IMT-2000) o ETSI (UMTS Universal Mobile Telecommunication System - Sistema de Telecomunicaciones Móviles Universal) en Europa.

En el trabajo desarrollado se presentan los siguientes temas, en el capítulo I se habla sobre las principales características técnicas de las plataformas HAPS, ventajas y desventajas, frecuencias de uso, potencias y ganancias máximas en diferentes zonas de cobertura; en el capítulo II se realiza una descripción de las ecuaciones manejadas para obtener un diseño de una HAPS; en el capítulo III se muestra la compatibilidad de las HAPS con sistemas 2.5G, 3G y 4G, se habla de FWB (Fixed Wireless Access - Acceso Fijo Inalámbrico), de IMT-2000, su objetivo y su compatibilidad con las HAPS; en el capítulo IV se muestra el desarrollo de un enlace basado en las ecuaciones del capítulo II el cual está desarrollado para la región del Cauca y en el capítulo V se dan a conocer las conclusiones obtenidas al trabajar en el desarrollo del tema y las recomendaciones que se deben seguir para trabajos futuros sobre el tema.

El estudio de la tecnología mejora o amplía la perspectiva de pensar en la viabilidad de la implantación de un sistema de este tipo que proporcione mejoras y supere limitaciones que se tienen actualmente con los sistemas terrestres y satelitales de hoy.



## 1. HAPS GENERALIDADES

HAPS (Plataformas Situadas a Gran Altitud - High Altitude Platforms), es el nombre de una tecnología que provee o brinda servicios de telecomunicaciones de banda estrecha y banda ancha, así como servicios de difusión ya sea con aeronaves o aviones. Una HAPS es capaz de brindar servicio a áreas extensas, dependiendo del mínimo ángulo de elevación aceptado por la ubicación de los usuarios y de la topografía.

Las HAPS fueron ideadas como plataformas para la prestación de servicios de telecomunicaciones. Los altos costos de lanzamiento, de enlace, etc, de los sistemas satelitales convencionales, le permitieron a algunas compañías de telecomunicaciones pensar en la posibilidad de posicionar sus cargas útiles<sup>1</sup> mucho más cerca de la tierra y de una forma más económica. Los sistemas terrestres de comunicaciones ofrecen esta cercanía, pero igualmente implican grandes costos. Cabe notar que tal cercanía involucra posibles riesgos de salud e impacto al medio ambiente debido a las fuentes de RF (Radio frequency - Radio Frecuencia).

Las HAPS han sido propuestas utilizando ya sea tecnología de aeronaves o aviones a gran altitud.

### 1.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS HAPS

Ya que las HAPS son consideradas como satélites de muy baja altitud o antenas en una muy alta posición, poseen unas características que las hace diferentes y las destacan sobre sistemas terrestres y satelitales con los cuales se cuenta en la actualidad.

---

<sup>1</sup> Carga útil : Equipos de gestión de información y radiocomunicación en la plataforma HAPS.



Estas características son:

- Altura de la plataforma o aeronave HAPS: fijada a una altura media entre 20 y 50 Km.
- Plan de abastecimiento de energía de las HAPS: con baterías solares durante el día y baterías secundarias durante la noche (obteniendo combustible al separar el hidrógeno del oxígeno).
- Funcionamiento no interrumpido durante las 24 horas del día.
- Unidad de comunicaciones instalada en la plataforma HAPS, equipada con conmutación a bordo y multiplexores del tipo ATM (Asynchronous Transfer Mode – Modo de Transferencia Asíncrono).
- Antenas a bordo de la plataforma HAPS que brindan cobertura tipo celular en tierra, para optimizar la utilización del espectro de frecuencias disponible.
- Transmisión síncrona TDM (Time Division Multiplex – Multiplexación por División de Tiempo) e interconexión a las redes públicas telefónicas PSTN (Public Switching Telecommunications Network. - Red Telefónica Pública Conmutada – RTPC) y de datos RDPC (Public Data Network - Red de Datos Pública Conmutada).
- Número limitado de señales transmitidas simultáneamente hacia las HAPS, determinado obviamente por la banda de frecuencias que se utilice y el ancho de banda de cada señal portadora.

En particular se considera el uso de HAPS para la entrega en un futuro de comunicaciones inalámbricas de banda ancha.



### 1.1.1 Configuración de la Red HAPS

El sistema central comprende una Plataforma de Gran Altitud situada en la estratosfera, en una posición relativamente fija con respecto a la tierra, que funciona como estación repetidora, como se indica en la figura 1.1.



Figura 1.1. Configuración de la red

El sistema en forma general se conforma de las siguientes partes:

- a. **Estaciones terminales de usuario:** se encuentran distribuidas en tierra, en forma similar a una red celular (pico/micro/macroceldas), lo que permite una mejor reutilización de frecuencias. Los terminales de usuario son dispositivos portátiles que se comunican directamente con la carga útil de la plataforma HAPS. Inicialmente no está prevista la interconexión directa de los terminales de usuario entre sí porque complicaría excesivamente la complejidad de la carga útil de la plataforma HAPS.



- b. La plataforma HAPS:** globo ubicado en la estratosfera que contiene la carga útil encargada de la conmutación de información entre usuarios. Posee una gran unidad de conmutación del tipo ATM.
- c. Estaciones de cabecera:** situadas en tierra, facilitan la interconexión con la red pública de telecomunicaciones (RTPC, RDCP). La mayoría de las estaciones de cabecera se diseñan como unidades no atendidas y autónomas que funcionan por control a distancia desde los centros de control de las plataformas HAPS.

El sistema se ha planteado de forma que las estaciones de cabecera puedan estar situadas básicamente en cualquier punto de la zona de cobertura, a fin de reducir los requerimientos de infraestructura en el suelo. Se situarán en una instalación central de operador o en un punto de presencia del o los proveedores de servicio de Internet (ISP) para minimizar el costo. Pueden añadirse estaciones de cabecera en tierra, a medida que la operación lo exija, en cualquier momento.

- d. Centros de Control (CC) del Sistema:** necesarios para efectuar diversos tipos de tareas, tales como:
- **Centro de Control de Recursos:** se encarga del control en tiempo real de todos los recursos de la red HAPS. Los Centros de Control de Recursos efectuarán tareas tales como la autenticación e identificación del usuario, control de la llamada, gestión del recurso radioeléctrico, gestión del tráfico y la recolección de datos de utilización para efectos de facturación, contabilidad, administración y gestión del sistema.
  - **Centro de Control de Configuración:** se encarga del seguimiento, la telemetría y las instrucciones de la plataforma y de la carga útil. Son funciones parecidas a la de los centros de operaciones de satélites con funcionamiento durante las 24 horas del día, tales como compensación de las pérdidas, transmisión y recepción múltiple,



Administración, Operación y Mantenimiento (AOM) del sistema, enlaces unidireccionales, utilización eficiente de la frecuencia, compartición de las características del transponder, compartición de recursos del transponder, retardo de propagación, disponibilidad.

- **Centro de Control Comercial Regional:** se encarga del control comercial y financiero local, incluyendo la facturación a los abonados, la contabilidad del operador, los análisis de tendencias, etc. Un centro comercial regional puede ocuparse de un grupo de sistemas HAPS.

### 1.1.2 Ventajas y Desventajas de los Sistemas HAPS

#### Ventajas

Las Plataformas HAPS son pensadas como sistemas capaces de vencer o superar las limitaciones que presentan los sistemas satelitales y terrestres utilizados hoy en día por los servicios de comunicaciones. La implementación de éstos desde HAPS llevará a nuevas aplicaciones y servicios, y al desarrollo o mejoramiento de la calidad de los existentes, es por ello, que éstas plataformas tienen una serie de ventajas potenciales frente a otros sistemas o arquitecturas terrestres y/o satelitales, las cuales son:

#### a. Gran área de cobertura (comparado con sistemas terrestres)

La ubicación de la plataforma HAPS implica que los enlaces de gran alcance experimentan relativamente pequeñas atenuaciones por lluvia comparados con los enlaces terrestres sobre las mismas distancias, debido a un camino inclinado mucho más corto a través de la atmósfera.



En la banda de ondas milimétricas, este beneficio puede significar una ventaja en el presupuesto de enlaces dentro de grandes celdas.

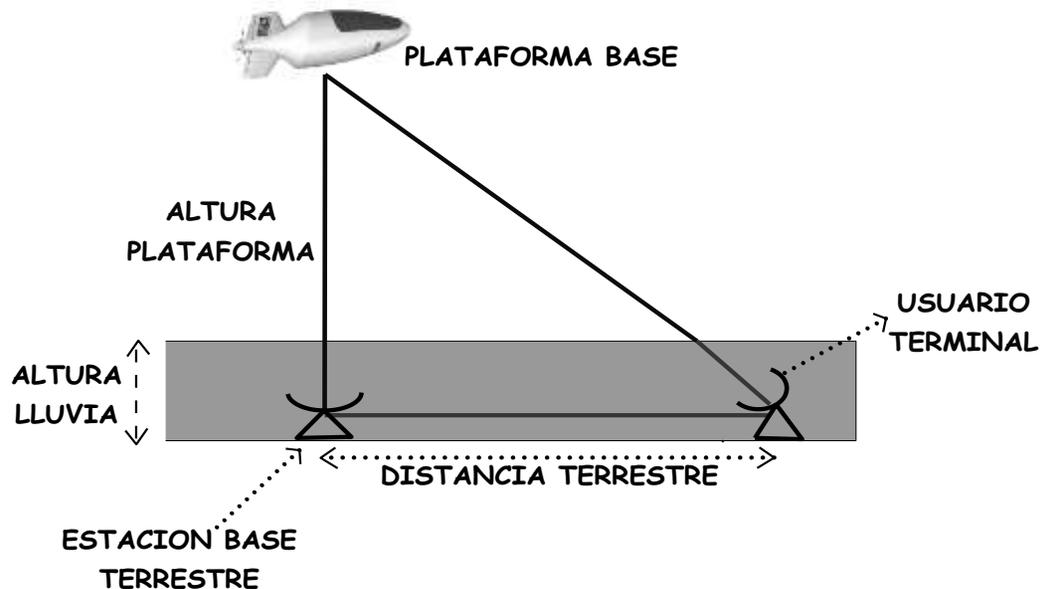


Figura 1.2. Trayectoria inclinada en lluvia

#### b. Reemplazo de extensas infraestructuras de comunicaciones terrestres

Una plataforma HAPS puede proveer servicios en áreas de cobertura con un radio mayor a 200 Km, eliminando así costos de instalación, mantenimiento, riesgo, problemas de adquisición de instalaciones locativas y el impacto ambiental. Con la eliminación de las infraestructuras terrestres, no es necesario la utilización de un backbone terrestre local, es suficiente con solo ubicar estaciones de cabecera en puntos estratégicos dentro de la zona de cobertura.

#### c. Mejores características de propagación en diversos escenarios

Una plataforma HAPS ofrece enlaces con obstrucción por línea de vista menor a la



presentada por estaciones terrestres debido a su ubicación sobre la tierra, y pueden ser menos afectados por la atenuación por lluvia sobre áreas extensas.

**d. Gran capacidad del sistema**

La capacidad del sistema se da a través de un extenso rango de frecuencias de operación y reuso de éstas (300 MHz en la banda de 27,5 - 28,35 GHz, 300 MHz en la banda de 30–31,3 GHz, 600 MHz en la banda de 48 GHz), permitiendo solucionar el problema del escaso ancho de banda y la congestión del espectro electromagnético.

**e. Capacidad global del sistema**

Por su potencialidad para brindar mayor cobertura, esta plataforma está en la capacidad de proveer servicios en áreas de alta densidad de usuarios.

**f. Asignación dinámica para responder a la demanda de tráfico.**

Las plataformas HAPS son adecuadas por sus características de flexibilidad y de sensibilidad en el modelo de reuso de frecuencias y tamaño de celdas (pico/micro/macroceldas), sin restricciones por la ubicación física de la estación base. Casi en tiempo real, la adaptación deberá suministrar un gran incremento global en la capacidad comparado con los actuales esquemas de los sistemas terrestres fijos o satelitales.

**g. Bajos costos**

Esta ventaja se puede ver desde dos aspectos, a nivel de lanzamiento y mantenimiento de una plataforma HAPS. En lo referente a la primera, las plataformas HAPS no necesitan ningún vehículo de lanzamiento para su puesta en órbita, lo cual realmente



reduce los costos de lanzamiento; a nivel de mantenimiento, es menos complejo y exigente que el requerido por los sistemas satelitales.

Es muy notable la ventaja que tiene a nivel de costos las plataformas HAPS sobre los sistemas satelitales actuales, aunque a la fecha no hay una experiencia directa de costos de operación.

#### **h. Rápido despliegue**

Para las plataformas de gran altitud HAPS, el tiempo de despliegue es muy corto, caso que no se da para los satélites, ya que este tiempo puede durar años. Gracias a este rápido despliegue, las plataformas HAPS pueden actualizarse y tener un mantenimiento de manera más fácil y rápida.

#### **i. Despliegue incremental**

Los servicios pueden ser suministrados inicialmente con una sola plataforma y la red puede ser extendida gradualmente ofreciendo una mayor cobertura y/o capacidad requerida desplegando otras HAPS a las zonas requeridas. Esto está en contraste con una red de satélites LEO, la cual requiere un gran número de satélites para lograr una cobertura continua, lo que implica montar una red en su totalidad hasta en sitios en donde no es requerida aún.

#### **j. La plataforma y actualización de la carga útil**

Las plataformas HAPS pueden estar en funcionamiento durante largos periodos de tiempo, con propuestas que exigen 5 años de funcionamiento continuo o más. Ellas pueden bajarse (a tierra) relativamente rápido para efectos de mantenimiento o actualización de la carga útil, aspecto que es muy positivo permitiendo así un alto grado de corrección en pruebas futuras.



### k. Amigable al medio ambiente

Las plataformas HAPS al contar con la luz del sol para su abastecimiento de energía y al no requerir lanzamientos desde vehículos con implicaciones asociadas a la contaminación ambiental por la quema del combustible empleado para tal fin, contribuyen al cuidado del medioambiente.

El uso de HAPS representa una reutilización de ellos mismos que no implican perjuicios para el medio ambiente, completamente aparte de los beneficios potenciales de la necesidad de remover grandes números de torres terrestres y sus infraestructuras asociadas.

La tabla 1.1 suministra una comparación entre sistemas terrestres, HAPS y satelitales para servicios de banda ancha.

	<b>Terrestre (Ej. B-FWA)</b>	<b>HAPS</b>	<b>Satélite LEO</b>	<b>Satélite GEO</b>
<b>Cobertura Estación (diámetro típico)</b>	< 1 Km.	Hasta 200 Km.	> 500 Km.	Global
<b>Tamaño Celda (diámetro)</b>	0.1-1 Km.	1-10 Km.	50 Km.	400 Km. Mínimo
<b>Área de servicio total</b>	Lugar de servicio	Nacional- Regional	Global	Cuasi-global
<b>Tasa de transmisión de datos máxima por usuario</b>	155 Mbps	25-155 Mbps	Enlace ascendente: <2Mbps Enlace descendente: 64 Kbps	155 Mbps
<b>Sistema de despliegue</b>	Varias estaciones base	Flexible	Muchos satélites antes de usar	Flexible, pero lleva tiempo
<b>Costos estimados de infraestructura</b>	Varía	US\$50 millones hacia arriba	US\$9.000 millones	>US\$200 millones
<b>Fecha en Servicio</b>	2000	2003-2008?	2005	1998

**Tabla 1.1. Comparación de servicios de banda ancha terrestres, de HAPS y satelitales**



## **Desventajas**

No es muy apropiado pensar en desventajas que puedan tener tales plataformas, ya que lo que se busca con la implementación de ellas es mejorar y superar limitaciones que poseen las arquitecturas terrestres y satelitales implementadas actualmente, es por ello que lo más correcto sería hablar de problemas críticos u obvios que poseen dichas plataformas HAPS, como lo son:

### **a. Antenas fijas o direccionables**

La escogencia del tipo de antena que se debe utilizar en las estaciones terrestres depende de la variación angular de la posición de las HAPS sobre la superficie terrestre, ya que el movimiento de las HAPS puede ser horizontal o vertical.

La tecnología de antenas será crítica para BWA (Broadband Wireless Access – Acceso Inalámbrico de Banda Ancha) desde plataformas HAPS. Un gran número de puntos de emisión serán requeridos, y estos pueden producirse o por un conjunto de bocinas o alguna forma de arreglo escalonado de antenas. Los lóbulos laterales presentes serán un problema importante, que afectará a los sistemas causando interferencia entre celdas y, finalmente, la capacidad del sistema. A un plan de frecuencia de 48 GHz, la reducción del nivel de los lóbulos laterales es exigida tanto para la antena del sistema HAPS como para los terminales terrestres, con el fin de eliminar o evitar posibles interferencias con sistemas adyacentes.

### **b. Handoff**

La mayoría de los esquemas de HAPS están proponiendo utilizar múltiples puntos de emisión sobre las áreas de cobertura, entregando mayor capacidad a través del reuso de frecuencias. Aunque es probable que una arquitectura de redes BWA este compuesta principalmente por usuarios fijos, el handoff puede ocurrir con el movimiento de haces



de antena debido al desplazamiento de la plataforma (antenas direccionables), dependiendo de las técnicas de estabilidad de la misma. Esto está en contraste con los esquemas celulares móviles convencionales, donde el handoff es invariable debido al movimiento del usuario. Características como el tamaño de las celdas en tierra, y la estabilidad física de la orientación de la antena de la HAPS, indican que a menudo el handoff se presentará. Puede ser posible utilizar antenas fijas en la HAPS, y para controlar el movimiento, simplemente se realiza procedimientos de handoff (qué podrían ser bastantes rápidos). Sin embargo, el retardo y las limitaciones de jitter para los servicios multimedia futuros (especialmente el video) pueden imponer restricciones mucho más severas en los procesos de handoff con servicios de 2G o 3G convencionales.

#### **c. Disponibilidad de energía en la carga útil**

La principal restricción de las HAPS es la eficiencia de la tecnología de celdas de combustible, por esto es de vital importancia los motores de propulsión. Estas celdas deben ser capaces de proporcionar la energía para el sostenimiento de la plataforma en las noches. Es por esto que actualmente grupos de tecnologías avanzadas están proponiendo respaldar la tecnología de almacenamiento solar utilizando motores diesel para cuando la estación se encuentre en problemas.

#### **d. Requerimientos del sistema**

Una red HAPS para brindar servicios de comunicación de banda ancha requerirá que se vuelva a pensar en el diseño básico de servicios tipo celular, con un desarrollo que se enfoque en la planeación de frecuencias de diferentes esquemas de puntos de emisión, que están sujetos a variaciones angulares, cambios en la longitud del enlace, los modelos del reuso de frecuencias para usuarios y enlaces de larga distancia.



#### **e. Propagación y diversidad**

Se han asignado los servicios de las HAPS a las frecuencias establecidas por la UIT en la banda de ondas milimétricas, de 47/48 GHz (y además 28GHz en la Región 3, principalmente Asia). La propagación desde las HAPS no está totalmente caracterizada en estas altas frecuencias: la atenuación por lluvia es muy significativa en estas bandas, así que uno de los principales requerimientos para solución de esto es desarrollar estadísticas de atenuación por lluvia y de dispersión. Esto permitirá incluir márgenes apropiados y resolver cualquier problema con los planes de reuso de frecuencias desarrollados a nivel del sistema. Un objetivo muy importante es determinar las técnicas de diversidad más apropiadas (por ejemplo: espacio, tiempo y frecuencia) para cada tipo de tráfico.

#### **f. Asignación de recursos y protocolos de red**

La asignación de canales y esquemas de asignación de recursos necesitarán ser desarrollados para el escenario HAPS, que es esencialmente diferente de un escenario celular terrestre o satelital. Los esquemas tienen que ser hechos a la medida para tráfico multimedia, además deben tener en cuenta la topología del sistema y la opción del esquema de modulación/codificación a utilizar. La mayoría de técnicas MAC (Medio Access Control – técnicas de Control de Acceso al Medio) y protocolos de red apropiados serán seleccionados como un punto de inicio. Para servicios BWA es probable que una versión modificada de los estándares de la IEEE 802.16/ETSI podrían utilizarse. La integración con arquitecturas terrestres y/o satelitales también requerirá una cuidadosa planificación.

#### **g. Sostenimiento de las plataformas y estabilidad**

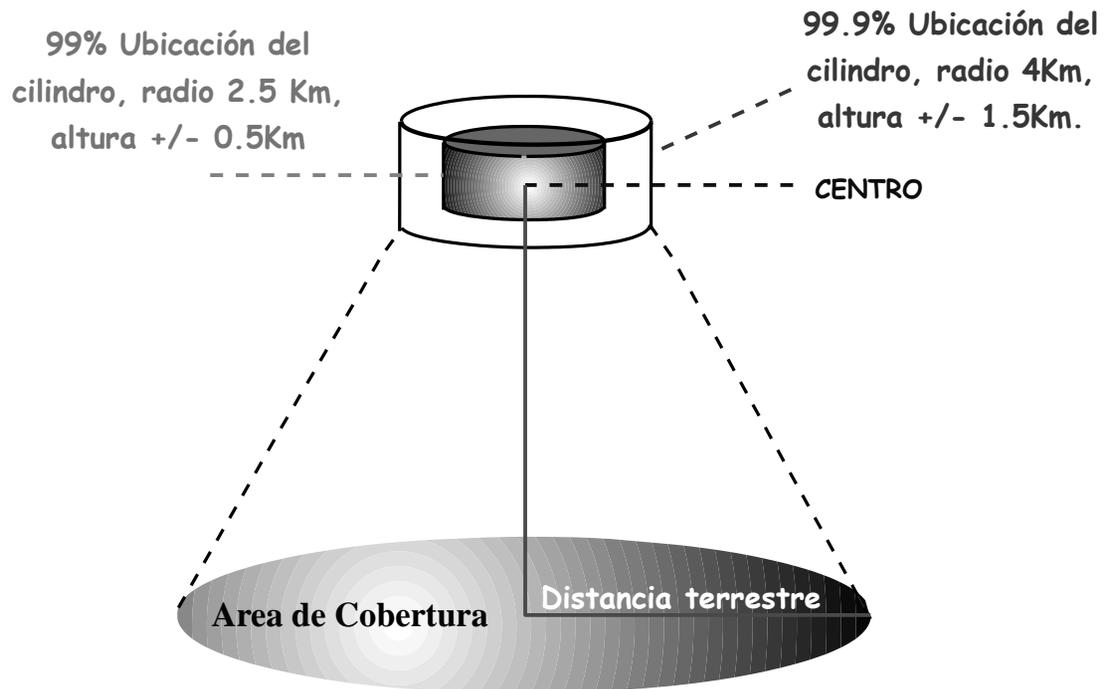
La habilidad de una HAPS para mantener una posición fija ante vientos variables es el mayor desafío, y críticamente afectará la viabilidad de los servicios de comunicación.



El posicionamiento de una HAPS probablemente es representado como una probabilidad estadística de permanecer dentro de un volumen en particular, por ejemplo: una ubicación cilíndrica.

La estabilidad es otro problema crítico. Inevitablemente, estarán presentes los inconvenientes del grado de inclinación y el ángulo de desviación de la plataforma debido a la turbulencia en la estratosfera; teniendo en cuenta esta consideración, es probable que con una mayor experiencia se exhiba una mejor maniobrabilidad en cuestión de estabilidad. La antena que apunta desde la HAPS puede mantenerse estable a través del uso de una sub-plataforma mecánica o se puede utilizar un manejo electrónico de un arreglo de antenas. Ésta última técnica ofrece un considerable potencial, por lo cual también se exige como una demanda tecnológica, especialmente en las bandas de ondas milimétricas que probablemente serán utilizadas para servicios de banda ancha.

La UIT ha recomendado que una plataforma debe tener una órbita dentro de un espacio esférico de radio de 500m. Esto demuestra que es más fácil para las aeronaves permanecer en esa área en lugar de los aviones. Angel Technologies está sugiriendo que su avión HALO (High Altitude Long Operation – Aviones a Gran altitud y Larga Operación) volará dentro de un volumen toroidal de radio de aproximadamente 4-6 Km. El proyecto de HeliNet ha decidido especificar una localidad cilíndrica, con tolerancias de 99% y 99.9% de tiempo como el mostrado en figura 1.3.



**Figura 1.3. Ubicación cilíndrica preliminar de HeliPlat**

### 1.1.3 Plan de Frecuencias para el Funcionamiento de las HAPS

La banda de frecuencias actualmente identificada en todo el mundo para este tipo de aplicaciones o sistemas HAPS formando parte del servicio fijo, es la banda entre 47,2 – 47,5 GHz (300 MHz) para el enlace de bajada y 47,9 – 48,2 GHz (otros 300 MHz) para el enlace de subida. Estas bandas se designan como bandas en 47/48 GHz.

La CMR (Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones) celebrada en Estambul (Turquía) en el mes de Mayo del año 2000 (CMR-2000) designó para algunos países<sup>2</sup> otras bandas de frecuencias inferiores para HAPS, bandas en 28/31 GHz, es decir entre 27,5 – 28,35 GHz para el enlace descendente, y 31,0 – 31,3 GHz para el enlace ascendente. La justificación para esta nueva designación era la dificultad de utilizar las bandas 47/48 GHz en zonas o

<sup>2</sup> Bhután, Indonesia, Irán, Japón, Maldivas, Mongolia, Myanmar, Pakistán, Corea (Rep. Pop, Dem.), Sri Lanka, Tailandia y Vietnam

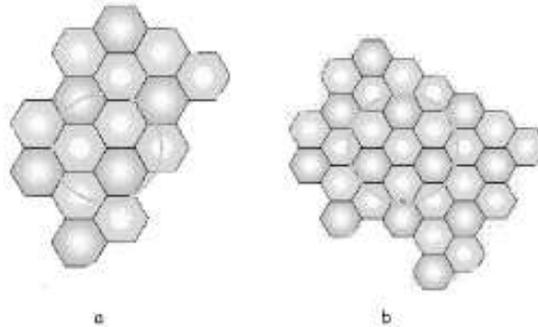


regiones de lluvia intensa. No obstante, su utilización está sujeta a estudios de compartición de frecuencias con otros sistemas existentes en esas bandas, dado que esta segunda designación exigió que el empleo de las bandas en 28/31 GHz por las HAPS no debe causar interferencias perjudiciales a los otros tipos de sistemas del servicio fijo o a los otros servicios con atribuciones a título primario con igualdad de derechos.

Es de señalar que en 28/31 GHz su utilización está condicionada a la conclusión de los estudios que efectúa actualmente la UIT-R en materia de compartición de frecuencias con aplicaciones de otros servicios radioeléctricos que cuentan con atribuciones prioritarias en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT.

Sin embargo brindar servicios inalámbricos de alta capacidad también presenta un desafío, sobre todo cuando el espectro de radiofrecuencia es un recurso limitado sujeto a la presión de la creciente demanda. Para poder proporcionar un ancho de banda considerable a un número grande de usuarios, se debe adoptar estrategias de reuso de frecuencias, normalmente alrededor de una estructura de celdas fijas. La Figura 1.4a ilustra el concepto celular, donde cada hexágono representa una celda que tiene un estación base cerca a su centro y emplea una frecuencia diferente o grupo de frecuencias representadas por el color. Estas frecuencias sólo se reutilizan a una determinada distancia, y su uso es una función de muchos factores, incluyendo las consideraciones de propagación, las propagaciones en el medio ambiente local y la SNR (Signal Noise Ratio - Relación Señal a Ruido).

Para incrementar la capacidad, el tamaño de las celdas se puede reducir de tal forma que el reuso se haga más frecuente dentro de un área geográfica específica, lo que conduce al concepto de microceldas (Figura 1.4b) en áreas de altas densidades de usuarios que se traduce en más estaciones base por zona, afectando al medio ambiente debido a las antenas y también a la radiación de las estaciones base, además con la tarea de proporcionar enlaces de larga distancia para brindar los servicios mediante fibra o medios inalámbricos que implican asumir grandes costos de instalación.



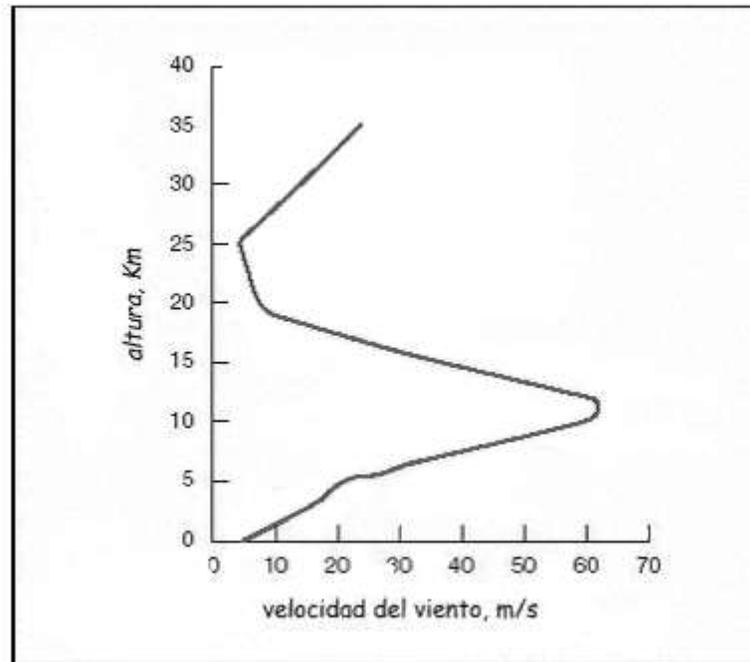
**Figura 1.4. Concepto celular de reuso de frecuencias**

#### **1.1.4 Altitud de la Plataforma HAPS**

En el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT<sup>3</sup> se estipula que las plataformas HAPS deberán estar situadas a una altura sobre la superficie terrestre limitada entre 20 y 50 Km. La limitación inferior de 20 Km trata de evitar choques con ciertas aeronaves de tipo comercial o científico, mientras que el límite superior obedece a la multitud de meteoritos existentes que podrían alterar la configuración de la plataforma e incluso dañar seriamente su carga útil o el repetidor de radiocomunicaciones.

Los dos sistemas HAPS actualmente especificados (aeronaves o aeroplanos), han fijado la altitud entre 21 Km y un máximo de 25 Km. Estas plataformas deben estar situadas a esta altitud debido a que no obstruyen el tráfico aéreo, además, la presencia de vientos es más apacible a esta altura, aunque esto depende en gran parte de la ubicación geográfica en la que se implanta la plataforma HAPS, esta última característica es muy importante ya que la estabilidad de la plataforma se puede ver afectada debido a la presencia de ráfagas de viento o cambios en la presión atmosférica. En la figura 1.5, se puede observar como la velocidad del viento puede afectar o hacer oscilar la estabilidad de los HAPS en el espacio.

<sup>3</sup> Nota S1.66A



**Figura. 1.5 Perfil de la velocidad del viento vs. altura.**  
(Tomado de la NASA)

Altitudes superiores permitirían una mayor zona de cobertura e incluso obtener un mayor aporte de energía solar al estar más altas y próximas al sol, pero dificultarían el mantenimiento de la posición de la plataforma e incrementaría la energía necesaria para su funcionamiento (mayor potencia de transmisión requerida) al estar más alejada. La densidad atmosférica a una altitud de 50 Km es muy inferior a la de la altitud de 20 Km, en una relación aproximada de 1/90. Esto significa que la aeronave HAPS situada a 50 Km de altitud necesitaría 90 veces más de gas helio que la situada a 20 Km y requeriría una longitud de la estructura 4,5 veces mayor. Suponiendo que a una altitud de 20 Km se necesita un HAP de 200 m de longitud para soportar un cierto peso, a una altitud de 50 Km se requeriría una aeronave de 900 m de longitud para el mismo peso. Es absolutamente imposible construir una aeronave HAPS tan enorme con la tecnología actual y la previsible en un futuro próximo.



### **1.1.5 Suministro de Energía Eléctrica**

La plataforma HAPS necesita energía eléctrica durante las 24 horas del día, tanto para el funcionamiento de la carga útil como para el mantenimiento en posición de la aeronave. Esta función de suministro de energía se efectúa durante el día con baterías alimentadas por paneles solares eficaces que irán situadas en la zona superior de la aeronave, y durante la noche mediante baterías de regeneración de combustible (hidrógeno-oxígeno).

Los componentes de las celdas de combustible y del subsistema electrolítico que tiene la plataforma, convierten el agua en combustible durante el día y dicho combustible se utiliza para generar la energía eléctrica que se requiere para el funcionamiento nocturno.

### **1.1.6 Sistema de Propulsión**

El sistema de propulsión para el mantenimiento en posición de la HAPS consta de unas hélices de velocidad variable activadas por un motor eléctrico, aunque también pueden emplearse otros tipos de propulsión con características de funcionamiento similares.

### **1.1.7 Posicionamiento de la Plataforma**

Las HAPS en 47/48 GHz utilizarán un sensor DGPS (Differential Global Positioning System – Sistema de Posicionamiento Global Diferencial), para el mantenimiento en posición, mediante un control de lazo cerrado de su emplazamiento espacial, con precisión dentro de un círculo de 400 m de radio y una variación vertical de  $\pm 700$  m de altitud.

La carga útil cuenta con un sistema giroscópico de 3 ejes. Dicha carga útil tiene su propio sistema de estabilización para compensar el movimiento de la plataforma y mantener un esquema de cobertura estable sobre la superficie. La carga útil aporta también su propio



control térmico, estando refrigerada por un fluido presurizado.

### 1.1.8 Zonas de Cobertura en Tierra de las Plataformas HAPS

Las zonas de cobertura total de una aeronave HAPS en las bandas en 47/48 GHz se han dividido en tres zonas, necesarias para garantizar un servicio de banda ancha a los usuarios a lo largo de toda la zona de visibilidad en la superficie de las plataformas HAPS. Estas zonas, resumidas en la tabla 1.2 a continuación, son:

- **Zona de cobertura urbana.**

Se extiende entre 36 y 43 Km desde un punto situado directamente bajo la plataforma. Todos los usuarios de estas zonas tendrán un ángulo de elevación comprendido entre  $30^0$  y  $90^0$  desde el suelo hacia la plataforma HAPS. Los terminales de usuario requieren aproximadamente una potencia en RF de transmisión de 0,15 W.

- **Zona de cobertura suburbana.**

Va desde la zona de cobertura urbana hasta 76,5/90,5 Km, dependiendo de la altitud de funcionamiento de la HAPS. Los usuarios de la zona de cobertura suburbana deberán utilizar antenas directivas de alta ganancia (41 dBi) con una potencia de transmisión de 0,2 W. Se pueden utilizar las mismas antenas en las zonas de cobertura urbana para instalaciones fijas en azoteas. Las antenas de transmisión de la plataforma son las mismas que para la zona de cobertura urbana. Los ángulos de elevación oscilan entre  $15^0$  y  $30^0$ .

- **Zona de cobertura rural.**

Los ángulos de elevación van de  $5^0$  a  $15^0$ . Esta zona se reserva para el acceso especializado de gran velocidad de transmisión punto a punto y para coberturas de zona amplia en bandas



de frecuencia inferiores, semejantes a las de 800 MHz en 5 GHz. Existe una alta atenuación atmosférica debida a la lluvia en 47/48 GHz.

Zona de cobertura	Angulo de elevación (grados)	Alcance en el suelo (Km.)	
		Plataforma a 21 Km.	Plataforma a 25 Km.
Urbana	90-30	0-36	0-43
Suburbana	30-15	36-76,5	43-90,5
Rural	15-5	76,5-203	90,5-234

**Tabla 1.2. Zonas de cobertura**

### **1.1.9 Sistema de Antenas de los HAPS para Comunicaciones**

Para maximizar la capacidad a través del reuso de frecuencias, las arquitecturas HAPS emplean múltiples haces para cubrir las celdas sobre la tierra. Al contrario de esto en una red terrestre, las celdas co-canal en una arquitectura HAPS son de interferencia limitada por el solapamiento del haz de la antena.

Las plataformas HAPS poseen dos clases de movimientos, horizontal y vertical. Cualquier cambio en alguno de estos movimientos produce efecto en la variación angular, la cual es de gran uso para determinar si se requieren antenas fijas o direccionables en bases terrestres. Si la variación angular es mayor que el ancho del haz de la antena entonces es necesario utilizar antenas direccionables. La gran variación angular está debajo de la plataforma HAPS. Sin embargo, puede ser posible utilizar anchos de haz de antena más anchos a los de estos puntos, debido a que la extensión de la trayectoria es más corta. Cambios en la altura vertical son causados en la mayoría por cambios en la variación angular para pequeñas y grandes distancias desde tierra; en distancias grandes, este cambio es de mayor importancia porque la altura vertical hace cambios integrales principalmente en variaciones angulares.



Los sistemas de antenas que se indican a continuación corresponden a los dos sistemas cuyas características se conocen actualmente.

- **Sistema en 47/48 GHz**

En 47/48 GHz, la carga útil típica a bordo de la plataforma HAPS tendrá un sistema de antenas de ranura giroscópica con una unidad de inserción para polarización que asegura un aislamiento adecuado de polarización cruzada. El sistema de antenas proyectará un total de 700 haces para cada una de las zonas de cobertura urbana y suburbana, y una cobertura selectiva en la zona de cobertura rural. El esquema de celdas facilitará una reutilización de frecuencias con un factor de 7:1.

- **Sistema en 28/31 GHz**

Recientes estudios efectuados para la banda de frecuencias en 28/31 GHz muestran preferencia por el tipo de antena multi-puntual o multihaz. La figura 1.6 muestra la traza en el suelo típica de una antena multihaz para un ángulo de elevación mínimo de  $20^{\circ}$ . El número de haces puntuales sería de 367. Esto puede lograrse asignando las distintas ganancias de antena a cada haz puntual conforme a su ángulo de elevación (véase la tabla 1.3) y utilizando diagramas de haz elíptico.

Cabe notar que el número de antenas y de celdas, es inicialmente restringido por la capacidad de procesamiento en la carga útil. Es así como el tamaño de las celdas es disminuido y su número es incrementado.

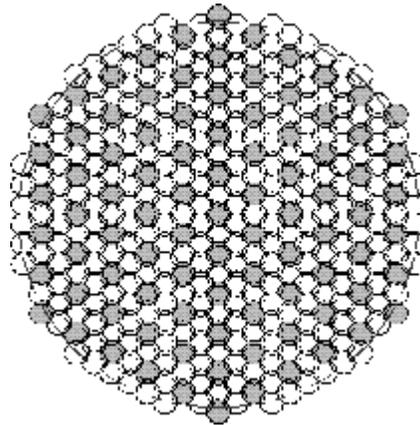
Con este diseño multihaz, se desea y se espera obtener una interferencia menor en otras aplicaciones y servicios, incluso en el caso de trayectos con ángulo de



elevación reducido, ya que los haces próximos al extremo de la cobertura del servicio con pequeños ángulos de elevación tienen mayor ganancia.

<b>Ángulo de elevación en el centro del haz (grados)</b>	81,0	66,0	53,9	44,7	37,8	32,6	28,5	25,2	22,5	20,3	20,0
<b>Ganancia máxima del haz puntual (dBi)</b>	19,5	19,7	20,8	22,4	24,2	25,9	27,6	29,1	30,5	31,9	32,5

**Tabla 1.3. Asignación típica de la ganancia a los haces puntuales**



**Figura 1.6. Traza típica de una antena multihaz en 28/31 GHz**

### **1.1.10 Esquema del Acceso Múltiple y Técnicas de Modulación**

Para maximizar eficiencia espectral en el sistema en la banda de 47/48 GHz se utiliza un esquema de acceso múltiple por asignación dinámica como los siguientes: FDMA (Frequency Division Multiple Access - Acceso Múltiple por División de Frecuencia), TDMA (Time Division Multiple Access - Acceso Múltiple por División de Tiempo) y

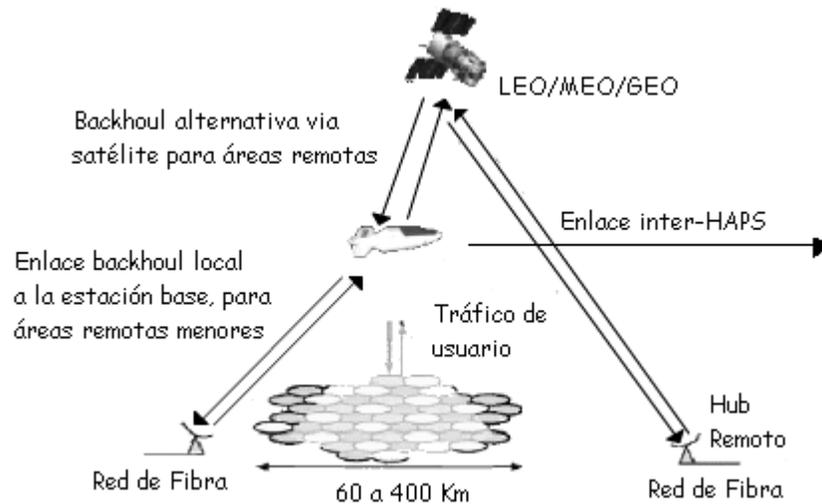


CDMA (Code Division Multiple Access - Acceso Múltiple por División de Código), que permite a los usuarios compartir eficazmente el ancho de banda, y a bordo hay una unidad de conmutación y multiplexación ATM para multiplexar estadísticamente el tráfico generado por los usuarios en cada momento. En el enlace ascendente y en el descendente se utiliza la modulación PSK-4 y una codificación FEC concatenada.

Estudios presentados por el proyecto Helinet demuestran que dada la eficiente compartición del ancho de banda y el reducido ciclo de trabajo en la mayoría de los tipos del tráfico de banda ancha, cabe esperar que la totalidad de unos 110.000 usuarios no superen una velocidad máxima de carga de 2.048 Kbps y una velocidad de descarga de 11,24 Mbps, usando un ancho de banda de sólo 2x100 MHz. Suponiendo que en todo momento esté activa una media del 10% de la población total de abonados, una sola red HAPS puede servir para atender una población de abonados de cerca de un millón de usuarios, con la asignación de 2x100 MHz. Si la asignación de ancho de banda se incrementa a 2x300 MHz, cabe esperar que una sola plataforma HAPS sirva para atender más de cinco millones de abonados.

## **1.2 APLICACIONES DE COMUNICACION**

La figura 1.7 ilustra un escenario general de comunicaciones para HAPS. Pueden proporcionarse servicios desde una sola plataforma HAPS con enlaces de subida y bajada a los terminales del usuario, junto con los enlaces de larga distancia como los requeridos en el backhaul de fibra.



**Figura 1.7. Escenario de comunicación para una plataforma HAPS**

La región de cobertura de una HAPS está esencialmente determinada por la propagación en línea de vista (por lo menos a las bandas de frecuencia más altas) y el ángulo de elevación mínimo ( $5^\circ$ ). Desde 20 Km de altitud sobre el terreno plano,  $5^\circ$  implican una área de cobertura de 200 Km de radio o  $120.000 \text{ Km}^2$ , aunque para muchas aplicaciones de servicio (ej. para una ciudad o área suburbana), tal ancho de cobertura no puede ser requerido o apropiado.

Ahí esta entonces la oportunidad para subdividir esta área en un gran número de pequeñas zonas de cobertura, o celdas, para proporcionar una gran capacidad global a través del reuso de frecuencias. El tamaño, número, y la forma de estas celdas está ahora sujeto al diseño de las antenas en la plataforma HAPS, con la ventaja de que la configuración de las celdas puede determinarse internamente en la HAPS y así adaptarse a las reconfiguraciones y para satisfacer requisitos de tráfico. De hecho, la arquitectura de la HAPS se presta así misma para emplear técnicas de asignación de recurso adaptables<sup>4</sup> que pueden proporcionar un uso eficaz del ancho de banda y pueden aumentar al máximo la capacidad.

<sup>4</sup> Reuso de frecuencias y toma de energía solar para su beneficio



Comparado con esquemas terrestres, una sola HAPS puede ofrecer la capacidad equivalente a la que se proporciona con un gran número de estaciones base; además los medios de geometría de enlace evitarán la mayoría de los obstáculos.

Las aplicaciones pueden ser divididas tecnológicamente en dos tipos principales:

- **Bajas velocidades en datos, terminales móviles.** La norma para la tercera Generación móvil (IMT-2000) abarca una provisión para el despliegue de la estación base desde las HAPS. La tecnología exigida para entregar IMT-2000 terrestre ya está bajo desarrollo por proveedores de equipo móviles, como Ericsson, Nokia, Motorola y Nortel. Esta área requiere un estudio extenso antes del despliegue de las HAPS, particularmente en la planeación del área de las celdas y el desarrollo de las antenas. La UIT sugiere que los footprints (huellas, patrón de radiación en tierra) superiores a un radio de 150 Km pueden emitirse desde una HAPS (el tamaño teórico máximo originado por señales que no se propagan sobre el horizonte es aproximadamente de un radio de 500 Km), permitiendo potencialmente que una HAPS reemplace a varias estaciones terrestres.
- **Altas velocidades de datos, potencialmente en terminales fijos.** Para los servicios de banda ancha, significativas investigaciones y desarrollos son requeridos antes de que un servicio pueda ofrecerse desde HAPS.

### 1.2.1 Aplicaciones de BWA

La principal aplicación para HAPS está comprendida en B-FWA (Broadband Fixed Wireless Access – Acceso Inalámbrico Fijo de Banda Ancha), como se describió anteriormente y proporciona potencialmente datos a muy alta velocidad al usuario. La asignación de frecuencias para HAPS a 47/48GHz ofrece 2x300 MHz de ancho de banda, el cual podría ser distribuido 50:50 entre los usuarios y enlaces de larga distancia, y otra vez 50:50 para enlaces de subida y de bajada. (Una excepción podría ser donde los enlaces son



principalmente utilizados para tráfico de Internet que garantizaría una distribución asimétrica). Estudios emprendidos basados en el escenario de HeliNet proponen un esquema con una región de cobertura global por una HAPS de un diámetro de 60 Km, teniendo 121 celdas, cada una con un diámetro de tierra nominal de 5 Km. La potencia del enlace de bajada de cada HAPS es de 1W por celda, y esto puede apoyar proporciones de los datos de 60 Mbps que están incluidos dentro del ancho de banda de 25 MHz requerido por las celdas al utilizar 16-QAM o los esquemas de modulación más avanzados.

### **1.2.2 Aplicaciones 3G/2G**

Las HAPS ofrecen una oportunidad para el despliegue de los servicios móviles celulares de tercera generación (3G), o de hecho los servicios (2G) actuales, y el uso de las bandas de IMT-2000 (3G) que han sido autorizadas específicamente por la UIT. Una sola estación HAPS servirá a una extensa área, lo cual es una ventaja en regiones escasamente pobladas. Alternativamente, un número de pequeñas celdas podrían ser desplegadas con antenas direccionales apropiadas. Los beneficios incluirán un gran cubrimiento de regiones, caminos de propagación relativamente ordenados, y la eliminación de gran parte de la infraestructura terrestre.

### **1.2.3 Redes HAPS**

Varias HAPS pueden formar una red para cubrir una región entera. Por ejemplo, la figura 1.8 muestra varias HAPS que sirven para el cubrimiento de Reino Unido. Entre HAPS pueden lograrse enlaces a frecuencias altas de EHF (Extra High Frecuencias - Frecuencias Extremadamente Altas) o utilizando enlaces ópticos; tal tecnología está bien establecida por los satélites y no debe presentar mayores problemas.



**Figura 1.8. Cobertura del Reino Unido con una red de HAPS**

#### **1.2.4 Aplicaciones en Países en Vía de Desarrollo**

Las HAPS ofrecen un rango de oportunidades para la prestación de servicios en países en vía de desarrollo o que deseen evolucionar en sus infraestructuras de comunicaciones. Estos servicios incluyen telefonía rural, radiodifusión y servicios de transmisión o comunicación de datos. Tales servicios pueden ser particularmente valiosos donde no existe una infraestructura de telecomunicaciones o donde hay dificultad para la prestación de estos.

#### **1.2.5 Aplicaciones en Emergencias o en Desastres**

Las HAPS puede desplegarse para complementar servicios existentes rápidamente en caso de un desastre (ej. terremoto, diluvio), o como restauración siguiendo a las fallas de una red central.



### **1.2.6 Comunicaciones Militares**

Las posibilidades de las HAPS para comunicaciones militares están implícitas en ellos mismos, con su habilidad para el despliegue rápido.

Ellas pueden actuar como nodos dentro de las redes inalámbricas militares existentes, o como sustituto del satélite; en este caso llevando la carga útil del satélite y operando con terminales del satélite de comunicaciones convencionales. Además de la habilidad de proporcionar comunicaciones donde ningún otro podría existir, existe un beneficio en tanto a su rango relativamente estrecho, limitado por emisiones de potencia desde los terminales terrestres, lo cual proporciona ventajas LPI (Low Probability Interception - Probabilidad Baja de Interceptación) reforzadas.

Aunque podría pensarse que las aeronaves HAPS son vulnerables al ataque del enemigo, ellas poseen una ventaja sobre eso a pesar de su gran tamaño, su cubierta es principalmente transparente a las microondas y ellas presentan una forma de camuflaje al radar.

## **1.3 TIPOS DE PLATAFORMAS AEREAS**

### **1.3.1 Globos**

Las primeras plataformas aéreas eran globos cuya historia se remonta al tiempo de la antigua china. En el Oeste, el primer uso de ultralivianos mostró la destreza de los hermanos Montgolfier que tripularon un globo de aire caliente en Francia en 1783. El desarrollo subsecuente de globos siguió en gran parte para aplicaciones militares, aunque su aplicación para propósitos de comunicación parecía tener muchas limitaciones. A principios del siglo XX, las aeronaves rígidas, impulsadas, fueron desarrolladas por Zeppelin



Company en Alemania para transporte de pasajeros, y éstos demostraron un hecho de la notable ingeniería habilitando así la posibilidad de viajar con pasajeros de Europa a América del Sur. Desafortunadamente, esta era se acabó con el desastre de Hindenburg en Lakehurst, EE.UU., en 1937. Lo que causó precisamente ese desastre, fue el uso del hidrógeno altamente inflamable para llenar la aeronave por lo que ya no fue considerado aceptable, y con el desarrollo de viajes aéreos comerciales después de la Segunda Guerra Mundial las grandes aeronaves parecían ser depositadas a la historia.

En los últimos años se ha visto un resurgimiento del interés en los globos y aeronaves, con desarrollos de tecnologías como los nuevos materiales de plástico que son fuertes y se implementan como envoltura en la HAPS, resistentes a rayos ultra violeta y a prueba de fugas de helio, gas que es ahora casi universalmente utilizado en lugar del hidrógeno y más barato. Una nueva aeronave, el Zeppelin NT, aeronave de bajas alturas, se lanzó por Zeppelin Company en el 2000, exactamente 100 años después de su primera aeronave, con vista al mercado de los escenarios turísticos, figura 1.9. Otro gran proyecto aunque de altitud baja, es el Cargolifter, figura 1.10; esta gran aeronave es propuesta para ser de unos 250 m de largo y el objetivo es proveer servicios de “grúa volante” para el transporte de mercancías pesadas sobre terrenos difíciles.



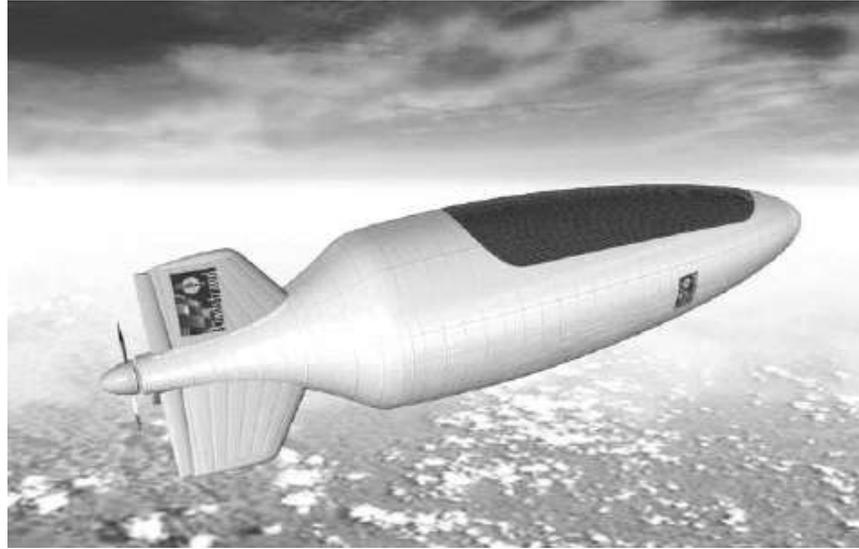
**Figura 1.9. Aeronave Zeppelin NT, lanzada en Enero del 2000**



**Figura 1.10. Impresión del Cargolifter**

### **1.3.2 Aeronave HAPS**

Las aplicaciones propuestas para el despliegue de aeronaves de gran altitud utilizan contenedores o recipientes muy grandes de helio semi-rígidos o no rígidos, del orden de 100 m de longitud o más. La figura 1.11 muestra la impresión de un HAPS de Lindstrand Balloons. Se utilizan motores eléctricos y hélices en estaciones de vigilancia, la aeronave vuela prevaleciendo contra el viento. Primero se requiere energía para la propulsión de la estación de guarda así como para la carga útil y aplicaciones; esto se proporciona desde las celdas solares ligeras en la forma de hojas flexibles grandes que pueden pesar típicamente en el orden de  $400\text{g/m}^2$  y pueden cubrir las superficies superiores de la aeronave.



**Figura 1.11. Concepto de HAPS de Lindstrand**

Uno de los mayores proyectos de aeronaves HAPS es el proyecto japonés SkyNet. Consolidado substancialmente por el gobierno japonés, y llevado por el Laboratorio de comunicaciones Yokosuka, este proyecto apunta para producir una red integrada de unas 15 aeronaves para servir a la mayoría de Japón y proporciona servicios de comunicación de banda ancha operando en la banda de 28GHz , así como para difusión.

Un rango de aeronaves están siendo desarrolladas a través de un grupo de Tecnologías Avanzadas, de Bedford, Reino Unido, en colaboración con SkyStation International de EEUU, quién propuso una aeronave 150m en longitud que apoya una carga útil de comunicaciones de 800 Kg. Las aeronaves HAPS también son propuestas por Lindstrand Balloons. Un nuevo diseño de HAPS que comprende varias aeronaves más pequeñas unidas a la vez en una configuración horizontal es desarrollada por La Universidad de Stuttgart: los objetivos de la formación son para proporcionar el despliegue mientras se evita algunos de los problemas estructurales y aerodinámicos asociados con aeronaves muy grandes.



### 1.3.3 Aeroplanos HAPS

Otra forma de las HAPS son los aviones no tripulados e impulsados solarmente, que necesitan volar contra el viento o en un camino firme aproximadamente redondo. De nuevo, el primer desafío es como hacer el balance de energía, la habilidad que tiene para poder guardar energía suficiente para la estación de guarda a lo largo de la noche. AeroVironment en EE.UU desarrolla los aeroplanos con mayor destreza; su proyecto Helios tiene un envergadura de 75m; su Pathfinder y su programa Centurión, figura 1.12, ya ha demostrado ensayos de resistencia de vuelo hasta 25 Km de altitud. Hecho inicialmente por la NASA, estos programas tienen la meta de operar con gran resistencia para las comunicaciones comerciales y otras aplicaciones.



**Figura 1.12. Helios. Aeroplano AeroVironment's**

HeliPlat es un aeroplano impulsado solarmente que está siendo desarrollada bajo los auspicios del Politécnico de Torino en Italia, como parte del proyecto HeliNet, consolidado por la iniciativa de la Comisión Europea bajo una estructura V. HeliNet está examinando muchos problemas o inconvenientes, desde aspectos aeronáuticos - desarrollando un prototipo de avión a escala - hasta tres posibles aplicaciones: la telecomunicación de servicios de banda ancha, supervisión del medio ambiente y localización de vehículos. Los aspectos de comunicaciones de banda ancha son llevados a cabo por la Universidad de York.



Pero para la mayoría de los proyectos HAPS, el mercado actualmente está más cercano para comunicaciones desde un avión tripulado con pilotos que operan en un turno de 8-horas. El proyecto HALO de Angel Technologies emplea el avión de Proteus especialmente diseñado, figura 1.13, para operar a altitudes entre 16–18 Km entregando servicios de comunicación de banda ancha sobre un área de cobertura de 40 Km de diámetro. El avión mantendrá una posición casi estacionaria volando en una trayectoria aproximadamente circular con un diámetro típico de menos de 13 Km. La carga útil de comunicaciones utiliza una protección debajo del fuselaje que aloja a 125 antenas de microondas. El avión está bien probado, y este puede ser considerado como una solución relativa de bajo riesgo, aunque el último éxito comercial dependerá en la economía de funcionamiento.



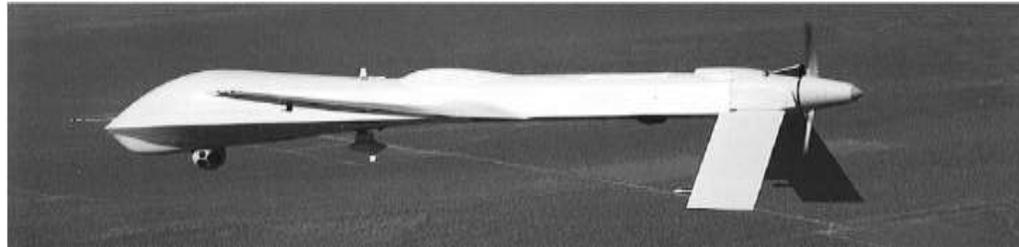
**Figura 1.13. HALO Proteus aircraft**

#### **1.3.4 Algunas otras Plataformas Aéreas**

Otra categoría de plataformas aéreas es el UAV (Unmanned Aerial Vehicles - Vehículo Aéreo no Tripulado). Este se refiere típicamente al avión no tripulado de poco combustible, tiene emisiones de corta duración y opera a altitudes generalmente modestas. El uso principal de los UAVs es para la vigilancia militar, con algunas pequeñas habilidades que están siendo consideradas como disponibles. La aplicación de UAVs como nodos de parada de comunicación parece ser limitada, no hay ninguna duda debido a su permanencia o



periodo relativamente corto en el aire. UAVs militares más grandes incluyen el Global Hawk y el Predator, figura 1.14, que puede apoyar cargas útiles grandes y volar grandes distancias pero generalmente no ha sido considerado rentable para proveer servicios de comunicación normales.



**Figura 1.14. Predator, un UAV militar**

Finalmente, las plataformas más simples y utilizadas son los dirigibles atados aerostáticos. Estos son unos dirigibles sobre un cable cuya longitud puede alcanzar 5 Km o más. El desafío evidente es el riesgo que presenta para el tráfico aéreo, y aunque algunos dirigibles aerostáticos se despliegan en zonas exclusivas de tráfico aéreo, su aplicación general puede satisfacer más a las regiones menos desarrolladas. Un importante programa actual es el de Plataformas Inalámbricas Internacionales que está desarrollando un dirigible aerostático atado para el uso en Brasil a una altitud de 4 - 6 Km. Este es el sistema ARC (Comunicaciones de Relevé Aerotransportadas) que apunta para entregar un rango de servicios de comunicación celular a más de 125.000 subscriptores.



## 2. CONSIDERACIONES DE DISEÑO EN REDES HAPS

En este capítulo se trata lo referente al modelo matemático que soporta el funcionamiento de los sistemas HAPS. Los sistemas HAPS al estar ubicados a una altura entre los 20 y 50 Km podrían tratarse a nivel de diseño como un repetidor terrestre de microondas por las distancias manejadas, pero por los esquemas de modulación trabajados y también por poseer un repetidor activo se tratará en parte como un sistema satelital. Se tendrá en cuenta las características necesarias para obtener un diseño completo del sistema, algunas de ellas son: plan de frecuencias, cálculo de pérdidas, cálculo de potencia en recepción o transmisión, interferencias, disponibilidad del equipo, etc.

### 2.1 FRECUENCIAS EN LAS PLATAFORMAS HAPS

La UIT ha establecido que las frecuencias a utilizar por las HAPS, estarán en las bandas de 47,2-47,5 GHz y 47,9-48,2 GHz. La decisión de instalar HAPS se puede tomar a nivel nacional, pero dicha instalación puede afectar a administraciones vecinas, en particular a pequeños países, además de interferir con sistemas LMDS, por esto se pensó en el posible uso de las bandas de 27,5-28,35 GHz<sup>1</sup> y 31-31,3 GHz<sup>2</sup> por las HAPS en el

---

**NOCEUR/13A13/2**  
**5.537<sup>a</sup>**

En Bhután, Indonesia, Irán (República Islámica del), Japón, Maldivas, Mongolia, Myanmar, Pakistán, Rep. Pop. Dem. de Corea, Sri Lanka, Tailandia y Viet Nam.

<sup>2</sup> **MOD**    EUR/13A13/4  
**5.543A**



servicio fijo en países donde se vea afectado el espectro.

### 2.1.1 Frecuencias entre 27,5 y 28,35 GHz

El empleo de la banda 27,5-28,35 GHz por estaciones HAPS se limita al uso en sentido descendente (HAPS - Tierra). La asignación de las bandas se indica en la tabla 2.1.

Frecuencia	Region 1	Región 2	Región 3	Colombia	Notas
27,5 - 28,35	FIJO S5.5SSS			27,5 - 28,35	
	FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio)	S5.484A	S5.539	LMDS	
	Móvil			FIJO POR SATÉLITE (Tierra - espacio) S.5484A S5.539	CLM 79
	S5.538 S5.540			S5.538 S5.540	

**Tabla 2.1. Asignación de las bandas en Colombia y en las regiones 1,2 y 3**

### 2.1.2 Frecuencias entre 31 y 31,3 GHz

Las frecuencias de la banda 31-31,3 GHz pueden ser utilizadas también por las estaciones HAPS en el sentido ascendente (Tierra-HAPS). La distribución de las frecuencias se puede observar en la tabla 2.2.

Frecuencia	Region 1	Región 2	Región 3	Colombia	Notas
30 - 31	FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio)			30 - 31	
	MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra - espacio)			FIJO POR SATÉLITE (Tierra - espacio)	
	Frecuencia patrón y señales horarias por satélite (espacio - Tierra)			MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra - espacio)	CLM 2
	S5.542			Frecuencia patrón y señales horarias por satélite (espacio - Tierra)	
31 - 31,3	FIJO S5.5RRR			31 - 31,3	
	MÓVIL			FIJO	
	Frecuencia patrón y señales horarias por satélite (espacio - Tierra)			MÓVIL	
	Investigación espacial S5.544 S5.545			Frecuencia patrón y señales horarias por satélite (espacio - Tierra)	CLM 2
	S5.149			Investigación espacial S5.544	
				S5.149	

**Tabla 2.2. Asignación de las bandas en Colombia y en las regiones 1,2 y 3**



### 2.1.3 Frecuencias entre 47,2-47,5 GHz y 47,9-48,2 GHz

Las frecuencias de las bandas 47,2-47,5 GHz y 47,9-48,2 GHz<sup>3</sup> están destinadas para las estaciones en Plataformas a Gran Altitud (HAPS). Las frecuencias entre 47,2-47,5 GHz serán utilizadas para el funcionamiento en el sentido descendente (HAPS-Tierra) y la banda de 47,9-48,2 GHz para el funcionamiento ascendente (Tierra-HAPS). Las frecuencias de estas banda tienen la asignación presentada en la tabla 2.3.

Frecuencia	Region 1	Región 2	Región 3	Colombia	Notas
47,2 - 50,2	FIJO			47,2 - 50,2	
	FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio)	S5.552		FIJO	CLM 52
	Móvil			FIJO POR SATÉLITE (Tierra - espacio) S.552	
	S5.149 S5.340	S5.552A S5.555		S5.149 S5.340 S5.552A S5.555	

**Tabla 2.3. Asignación de las bandas en Colombia y en las regiones 1,2 y 3**

Para proteger el servicio de exploración de la Tierra por satélite, que funciona en las bandas anteriormente mencionadas, se debe disminuir el nivel de potencia, ya que señales con estas frecuencias no deben causar interferencias perjudiciales a otros tipos de sistemas del servicio fijo o a otros servicios con atribuciones a título primario con igualdad de derechos.

Como se ve en las tablas 2.1, 2.2 y 2.3, las bandas de frecuencias asignadas en Colombia están asignadas para otros sistemas o servicios, pero en un futuro estas bandas deben ser tomadas en consideración para el uso de sistemas HAPS.

<sup>3</sup> NOCT EUR/13A13/5  
5.552A



## **2.2 PARÁMETROS DE LAS ANTENAS**

Existen varios tipos de antenas como antenas de onda progresiva, arreglos, aperturas, etc., estas últimas son las utilizadas para frecuencias de 1GHZ a 100GHZ. Para las HAPS en la necesidad de radiar diferentes haces, se emplearán arreglos de antenas cumpliendo con los requerimientos de dichos sistemas.

Algunas de las características de las antenas son tratadas a continuación:

### **2.2.1 Directividad de la Antena**

En las HAPS la directividad es un aspecto a tener muy en cuenta, ya que los arreglos de antenas deben ser capaces de manejar hasta 700 haces, lo cual hace que se deba tratar la directividad de forma cuidadosa para no ocasionar interferencias entre los haces.

### **2.2.2 Ganancia de una Antena**

La ganancia de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección y la densidad de potencia que radiaría una antena isotrópica, a iguales distancias y potencias entregadas a la antena.

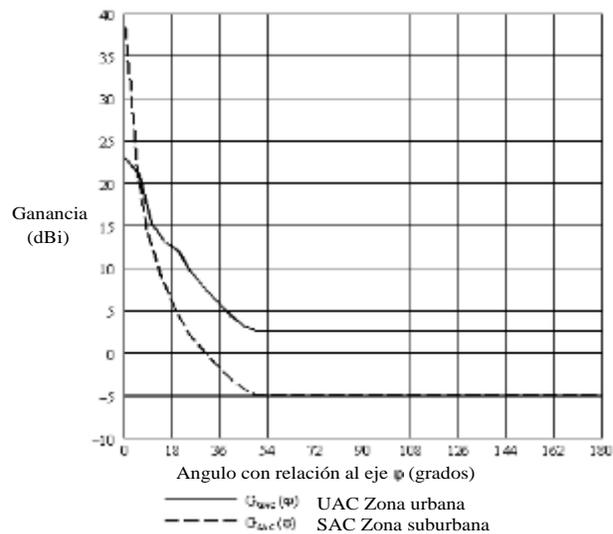
Así en la tabla 2.4 se muestran las ganancias típicas utilizadas por las HAPS y en las estaciones en tierra.



Comunicación con	Ganancia de antena en la estación en tierra (dBi)	Ganancia de antena en la plataforma (dBi) <sup>4</sup>
Zona de cobertura urbana	23	30
Zona de cobertura suburbana	38	30
Zona de cobertura rural	38	41
Cabecera (zona de cobertura urbana)	46	35
Cabecera (zona de cobertura suburbana)	46	38

**Tabla 2.4. Ganancia de antena en diferentes zonas**

En la figura 2.1, se observa medidas de la ganancia dependiendo del ángulo de inclinación de la antena en dispositivos de usuario HAPS, siguiendo la recomendación UIT-R F.699 para la zona urbana y suburbana.



**Figura 2.1. Ganancia de antenas para terminales de usuario HAPS**

<sup>4</sup> Ganancias máximas de antena en la plataforma.



### 2.2.3 Patrones de Radiación de Antena

Los patrones de radiación de las antenas de la plataforma se ajustan a la Recomendación UIT-R S.672. El patrón de radiación de referencia viene dado por:

$$G(\psi) = G_m - 3 (\psi/\psi_b)^\alpha \quad \text{dBi} \quad \text{para } \psi_b \leq \psi \leq a \psi_b \quad (2.1)$$

$$G(\psi) = G_m + L_N + 20 \log(z) \quad \text{dBi} \quad \text{para } a \psi_b < \psi \leq 0,5b \psi_b \quad (2.2a)$$

$$G(\psi) = G_m + L_N \quad \text{dBi} \quad \text{para } 0,5b \psi_b < \psi \leq b \psi_b \quad (2.6b)$$

$$G(\psi) = X - 25 \log(\psi) \quad \text{dBi} \quad \text{para } b \psi_b < \psi \leq Y \quad (2.3)$$

$$G(\psi) = L_F \quad \text{dBi} \quad \text{para } Y < \psi \leq 90^\circ \quad (2.4a)$$

$$G(\psi) = L_B \quad \text{dBi} \quad \text{para } 90^\circ < \psi \leq 180^\circ \quad (2.4b)$$

siendo:

$$X = G_m + L_N + 25 \log(b \psi_b) \quad (2.5)$$

y

$$Y = b \psi_b \times 10^{0,04(G_m + L_N - L_F)} \quad (2.6)$$

$\psi$ : Ángulo sobre el cual se toman las medidas

$G(\psi)$ : ganancia para un ángulo  $\psi$  a partir de la dirección del haz principal (dBi)

$G_m$ : ganancia máxima en el lóbulo principal (dBi)

$\psi_b$ : Es el ángulo medido desde el eje del lóbulo del haz hasta el punto de potencia mitad en el plano de interés (3 dB por debajo de  $G_m$ ) (grados)



- $L_N$ : nivel del lóbulo dirigido al oído<sup>5</sup>, (dB) con relación a la ganancia de cresta que exige el diseño del sistema
- $L_F$ : nivel de 0 dBi del lóbulo exterior (dBi)
- $z$ : (eje mayor/eje menor) para el haz radiado
- $LB$ : el valor mayor de  $15 + L_N + 0,25 G_m + 5 \log z$  dBi ó 0 dBi. (2.7)

$L_N$ (dB)	a	b	$\alpha$
-20	$2,58 \sqrt{(1 - \log z)}$	6,32	2
-25	$2,58 \sqrt{(1 - 0,8 \log z)}$	6,32	2
-30	-	6,32	-

**Tabla 2.5. Valores para a, b y  $\alpha$ .**

### 2.3 DISTANCIA DE COORDINACION QUE EXIGE EL USO DE HAPS

Puede ser adecuado utilizar una distancia de coordinación entre una HAPS y otras estaciones en el servicio fijo convencional o en diferentes HAPN<sup>6</sup>.

Debe adoptarse la siguiente distancia de coordinación predeterminada (medida desde tierra en el punto directamente bajo la HAPS) entre una HAPS y terminales en tierra de otros sistemas del servicio fijo convencional o de una HAPN diferente:

$$150 + (141,6 - 0,274 * h) * \sqrt{h} \quad (Km) \quad (2.8)$$

donde  $h$  es la altitud de la HAPS (Km) sobre el nivel del mar, entre 20-50 Km.

<sup>5</sup> Se ha supuesto un nivel del lóbulo exterior de -10 dBi para las antenas de transmisión y de recepción de la HAPS de gran calidad.

<sup>6</sup> HAPN: Hace referencia a una Red de HAPS.



Debe adoptarse la siguiente distancia de coordinación predeterminada (medida desde tierra en el punto directamente bajo la HAPS) entre HAPS de diferentes sistemas:

$$(141,6 - 0,274h_1)\sqrt{h_1} + (141,6 - 0,274h_2)\sqrt{h_2} \quad (Km) \quad (2.9)$$

donde  $h_1$  y  $h_2$  son las altitudes de las HAPS (Km) sobre el nivel del, ambas entre 20-50 Km.

## 2.4 POTENCIA EFECTIVA PRA Y PRE

En la tabla 2.6 se puede observar diferentes potencias características para el transmisor en la plataforma y en la estación terrestre, estas se pueden tomar como referencia al diseñar un enlace.

Comunicación con	Potencia del transmisor en la estación en tierra (dBw)	Potencia del transmisor en la plataforma (dBw)
Zona de cobertura urbana	-8,2	1,3
Zona de cobertura suburbana	-7	1,3
Zona de cobertura rural	-1,5	3,5
Cabecera (zona de cobertura urbana)	1,7	0
Cabecera (zona de cobertura suburbana)	13,4	9,7

**Tabla 2.6. Niveles de potencia en la estación en tierra y en la plataforma HAPS**



## 2.5 ATENUACIÓN

### 2.5.1 Lluvia

Las ondas de radio que se propagan a través de una región de lluvia, se atenúan como consecuencia de la absorción de potencia que se produce en un medio dieléctrico con pérdidas como es el agua. Adicionalmente, también se producen pérdidas sobre la onda transmitida, debido a la dispersión de parte de la energía del haz que provocan las gotas de lluvia, aunque son menores.

Con el siguiente procedimiento se puede calcular dichas pérdidas:

Primero se encuentra la atenuación específica.

$$\text{Atenuación específica} = k * R^\alpha, \quad (\text{dB}) \quad (2.10)$$

donde

R = intensidad de lluvia excedida en mm/h

k y  $\alpha$  = constantes que dependen de la frecuencia y de la temperatura de la lluvia

Para poder tomar un valor de R, el cual depende de la zona y de la probabilidad de la lluvia de ser excedida en un tiempo, típicamente es una probabilidad de  $P = 0.01\%$  y puede ser tomada de los mapas estadísticos del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios ambientales).

Conviene indicar que las pérdidas por lluvia son sensibles a la polarización de la señal transmitida, siendo algo mayores en el caso de polarización horizontal. Los valores de las



constantes  $k$  y  $\alpha$  en función de la frecuencia y de la polarización se pueden tomar de la tabla 2.7.

Frecuencia (GHz)	$k_H$	$k_V$	$\alpha_H$	$\alpha_V$
1	0.0000387	0.0000352	0.912	0.880
2	0.000154	0.000138	0.963	0.923
4	0.000650	0.000591	1.121	1.075
6	0.00175	0.00155	1.308	1.265
7	0.00301	0.00265	1.332	1.312
8	0.00454	0.00395	1.327	1.310
10	0.0101	0.00887	1.276	1.264
12	0.0188	0.0168	1.217	1.200
15	0.0367	0.0335	1.154	1.128
20	0.0751	0.0691	1.099	1.065
25	0.124	0.113	1.061	1.030
30	0.187	0.167	1.021	1.000
35	0.263	0.233	0.979	0.963
40	0.350	0.310	0.939	0.929
45	0.442	0.393	0.903	0.897
50	0.536	0.479	0.873	0.868
60	0.707	0.642	0.826	0.824
70	0.851	0.784	0.793	0.793
80	0.975	0.906	0.769	0.769
90	1.06	0.999	0.753	0.754
100	1.12	1.06	0.743	0.744
120	1.18	1.13	0.731	0.732
150	1.31	1.27	0.710	0.711
200	1.45	1.42	0.629	0.680
300	1.36	1.35	0.688	0.689
400	1.32	1.31	0.683	0.684

**Tabla 2.7. Valores para  $k$  y  $\alpha$**

Con estos valores se puede calcular el valor de  $\gamma_R$  mediante fórmula 2.10 o por medio del nomograma de la figura 2.7.

Para encontrar la atenuación total se multiplica  $\gamma_R$  por la distancia efectiva, esta se determina multiplicando la longitud del camino recorrido por el enlace dentro de la lluvia ( $L_s$ ) por un factor que tiene en cuenta la inhomogeneidad de la lluvia. En el cálculo intervienen:

- Altura del terreno  $h_s$  (Km).



- Altura de lluvia  $h_{lluvia}$  (depende de la latitud, en Km).
- Angulo de elevación E (en grados)
- Intensidad de lluvia  $r_{0.01}$  (mm/h)

La distancia efectiva se calcula de la siguiente manera:

$$L_e = L_s * r_{0.01} \quad (2.11)$$

para encontrar  $L_s$  es necesario determinar el valor de  $h_s$  que depende de la latitud así:

$$h_{lluvia} (Km) = 4 \quad \text{para } (0 < \text{Lat.} < 36^\circ) \quad (2.12)$$

ó

$$h_{lluvia} (Km) = 4 - 0.075 * (\text{Lat} - 36) \quad \text{para } (\text{Lat.} > 36^\circ) \quad (2.13)$$

Con este valor, el ángulo de elevación y  $h_s$  se tiene:

$$L_s = \frac{h_{lluvia} - h_s}{\text{Sen}(E)} \quad (2.14)$$

Luego para  $r_{0.01}$  tenemos:

$$r_{0.01} = \frac{1}{1 + 0.045 L_s * \cos(E)} \quad (2.15)$$

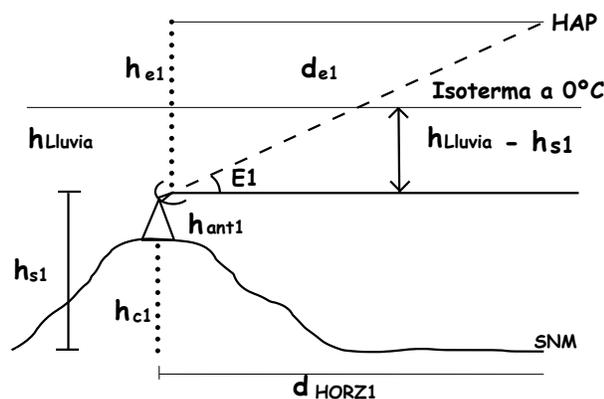


Figura 2.2. Esquema para cálculo de la distancia efectiva.



De esta forma la atenuación será :

$$A = \gamma_R * L_e \quad (\text{dBw}) \quad (2.16)$$

donde  $L_e$  (Km) es la distancia efectiva que recorre la señal. Para obtener la atenuación con diferentes probabilidades ( $A_r$ ) se utiliza la siguiente fórmula :

$$A_r(P) = A * 0.12 * P^{-(0.546+0.043*\log P)} \quad (2.17)$$

Algunas veces se requiere el porcentaje del mes más desfavorable ( $P_m$ ) en vez del porcentaje de la media anual ( $P_a$ ). La relación es:

$$P_m = 0.3P_a^{1.15} \quad (2.18)$$

### 2.5.2 Atenuación de Propagación Mínima debida a los Gases Atmosféricos

De acuerdo con la Recomendación UIT-R SF.1395, pueden utilizarse las siguientes fórmulas numéricas para estimar la atenuación mínima de trayecto oblicuo en la banda de 47 GHz, donde:

$A_L(h, \theta)$ ,  $A_M(h, \theta)$  y  $A_H(h, \theta)$ : pérdida total por absorción atmosférica (dB) en las áreas de latitud baja (a menos de 22,5° del Ecuador), latitud media (a más de 22,5°, pero a menos de 45° del Ecuador) y de alta latitud (45° o más del Ecuador), respectivamente;

$h$  y  $\theta$ : altitud sobre el nivel del mar de la antena del terminal en tierra (km) y ángulo de elevación (grados), respectivamente.



La aproximación esta hecha para  $0 \leq h \leq 3$  km y  $0 \leq \theta \leq 90^\circ$ . El ángulo<sup>7</sup> de elevación real puede determinarse a partir del ángulo de elevación obtenido en condiciones de propagación en espacio libre utilizando el método de la Recomendación UIT-R F.1333.

- **Banda de frecuencias 47,2-47,5 GHz**

En esta banda de frecuencias, la atenuación es mayor a las frecuencias altas, y, por tanto, las siguientes fórmulas dan la atenuación a 47,2 GHz.

$$A_L(h, \theta) = 52,43/[1 + 0,7364\theta + 0,03601\theta^2 - 0,001099\theta^3 + 0,8024 \times 10^{-5} \theta^4 + h(0,2624 + 0,2479\theta) + h^2(0,08130 + 0,02637\theta)] \quad (2.19a)$$

$$A_M(h, \theta) = 47,00/[1 + 0,7004\theta + 0,03568\theta^2 - 0,001081\theta^3 + 0,7878 \times 10^{-5} \theta^4 + h(0,2527 + 0,1970\theta) + h^2(0,05539 + 0,03239\theta)] \quad (2.19b)$$

$$A_H(h, \theta) = 46,70/[1 + 0,6872\theta + 0,03637\theta^2 - 0,001105\theta^3 + 0,8087 \times 10^{-5} \theta^4 + h(0,2472 + 0,1819\theta) + h^2(0,04858 + 0,03221\theta)] \quad (2.19c)$$

- **Banda de frecuencias 47,9-48,2 GHz**

En esta banda de frecuencias, la atenuación es mayor a las frecuencias altas, y, por tanto, las siguientes fórmulas dan la atenuación a 47,9 GHz.

$$A_L(h, \theta) = 57,90/[1 + 0,7262\theta + 0,03534\theta^2 - 0,001074\theta^3 + 0,7826 \times 10^{-5} \theta^4 + h(0,2576 + 0,2382\theta) + h^2(0,07645 + 0,02443\theta)] \quad (2.20a)$$

<sup>7</sup> Para ángulos de elevación reales por debajo de  $0^\circ$ , debe utilizarse la atenuación para  $0^\circ$ .



$$A_M(h, \theta) = 53,06/[1 + 0,6962\theta + 0,03555\theta^2 - 0,001076\theta^3 + 0,7840 \times 10^{-5}\theta^4 + h(0,2495 + 0,1940\theta) + h^2(0,05420 + 0,03176\theta)] \quad (2.20b)$$

$$A_H(h, \theta) = 53,21/[1 + 0,6864\theta + 0,03632\theta^2 - 0,001103\theta^3 + 0,8073 \times 10^{-5}\theta^4 + h(0,2476 + 0,1812\theta) + h^2(0,04791 + 0,03191\theta)] \quad (2.20c)$$

### 2.5.3 Atenuación entre dos HAPS

Si la distancia entre los puntos subHAPS<sup>8</sup> es muy grande, el trayecto puede estar sujeto a atenuación debida a los gases atmosféricos, sobre todo en la atmósfera inferior. El método de estimación del valor mínimo de esta atenuación se describe a continuación.

En primer lugar, se calcula la altitud media,  $h_o$  (km), de las altitudes  $h_1$  y  $h_2$  de las dos HAPS como sigue:

$$h_o = \frac{(h_1 + h_2)}{2} \quad (2.21)$$

Se calcula a continuación por la tabla<sup>9</sup> 2.8, para  $20 \leq h_o \leq 30$  Km, la altitud mínima del trayecto,  $h$  (Km) entre las dos HAPS. Para los valores de  $h_o$  y la distancia, que se indica en la tabla 2.8, la altitud mínima del trayecto puede estimarse mediante una interpolación adecuada.

<sup>8</sup> Punto subHAPS: Es el punto directamente bajo la HAPS.

<sup>9</sup> El Cuadro 1 se elaboró para el modelo de refractividad atmosférica de refracción máxima definido en la Recomendación UIT-R SF.765.



## HAPS (Estaciones situadas en Plataformas de Gran Altitud), una nueva alternativa para las Telecomunicaciones

KAROL EUGENIA MUÑOZ RAMÍREZ    JAIRO ANDRÉS LASSO MORENO

Distancia subHAPS (km)	Altitud mínima del trayecto, h (km)					
	Para una altitud media de dos HAPS, $h_0$					
	20 km	22 km	24 km	26 km	28 km	30 km
350	17,63	–	–	–	–	–
400	16,91	–	–	–	–	–
450	16,10	–	–	–	–	–
500	15,20	17,16	–	–	–	–
550	14,22	16,16	–	–	–	–
600	13,16	15,08	17,03	–	–	–
650	12,03	13,92	15,85	17,79	–	–
700	10,84	12,69	14,59	16,51	–	–
750	9,61	11,41	13,26	15,16	17,08	–
800	8,36	10,09	11,89	13,74	15,63	17,55
850	7,11	8,75	10,47	12,27	14,12	16,01
900	5,89	7,42	9,05	10,77	12,56	14,40
950	4,73	6,13	7,64	9,26	10,97	12,75
1 000	3,64	4,91	6,29	7,79	9,39	11,08
1 050	2,66	3,77	5,01	6,37	7,85	9,43
1 100	1,78	2,75	3,84	5,05	6,38	7,83
1 150	1,00	1,84	2,79	3,85	5,03	6,33
1 200	0,32	1,04	1,89	2,78	3,80	4,95
1 250	–	0,35	1,05	1,84	2,72	3,71
1 300	–	–	0,35	1,02	1,77	2,62
1 350	–	–	–	0,32	0,96	1,68
1 400	–	–	–	–	0,26	0,87
1 450	–	–	–	–	–	0,18

**Tabla 2.8. Altitud mínima del trayecto entre dos HAPS**

Cuando  $h \geq 17$  km, la atenuación es despreciable. Si  $0 \leq h < 17$  km, la atenuación de propagación mínima puede ser estimada por las fórmulas numéricas siguientes, donde:

$A_L(h)$ ,  $A_M(h)$ ,  $A_H(h)$ : pérdida total por absorción atmosférica (dB) en las áreas de latitud baja, latitud media y latitud alta, respectivamente.



• **Banda de frecuencias 47,2-47,5 GHz**

$$A_L(h) = 104,36/(1 + 0,25960h + 0,092795h^2 - 0,0047598h^3 + 0,00018436h^4 + 0,000031666h^5) \quad (2.22a)$$

$$A_M(h) = 93,94/(1 + 0,28813h + 0,010729h^2 - 0,018033h^3 - 0,0024068h^4 + 0,00014071h^5) \quad (2.22b)$$

$$A_H(h) = 93,39/(1 + 0,27156h + 0,023900h^2 + 0,0096081h^3 - 0,0013613h^4 + 0,00012031h^5) \quad (2.22c)$$

• **Banda de frecuencias 47,9-48,2 GHz**

$$A_L(h) = 115,28/(1 + 0,25520h + 0,085840h^2 - 0,0041978h^3 + 0,00016894h^4 + 0,000030414h^5) \quad (2.23a)$$

$$A_M(h) = 106,07/(1 + 0,28529h + 0,0097223h^2 + 0,017834h^3 - 0,0023697h^4 + 0,00013852h^5) \quad (2.23b)$$

$$A_H(h) = 106,44/(1 + 0,27253h + 0,023020h^2 + 0,0095858h^3 - 0,0013468h^4 + 0,00011928h^5) \quad (2.23c)$$

NOTA 1 – Cuando  $0 \leq h \leq 3$  km, los valores de las ecuaciones (2.22a)-(2.23c) son casi dos veces los valores de las ecuaciones (2.19a)-(2.20c) para la misma altitud y  $\theta = 0^\circ$ .

NOTA 2 – Para la misma altitud media  $h_0$ , cuando  $h_1$  y  $h_2$  no son iguales, la altitud mínima del trayecto resulta ligeramente más baja, lo que produce una pérdida por absorción atmosférica ligeramente mayor. La tabla 2.9 presenta la altitud mínima (km) del trayecto en el caso de  $h_0 = 25$  km. Los efectos de las altitudes de HAPS desiguales son pequeños.



Distancia subHAPS (km)	Altitud mínima del trayecto (km)					
	Para $h_1$ y $h_2$					
	25/25	24/26	23/27	22/28	21/29	20/30
700	15,55	15,52	15,45	15,32	15,14	14,90
900	9,90	9,88	9,84	9,77	9,66	9,53
1 100	4,43	4,42	4,40	4,36	4,31	4,24
1 300	0,68	0,67	0,66	0,64	0,62	0,58

**Tabla 2.9. Altitud mínima del trayecto en el caso de  $h_0 = 25$  km**

#### 2.5.4 Niebla

La atenuación por niebla de las microondas y de las ondas milimétricas está gobernada por las mismas ecuaciones que en el caso de la lluvia. La principal diferencia es que la niebla puede modelarse como un conjunto de gotas de agua muy pequeñas en suspensión con radios variables entre 0,01 y 0,05 mm. Para frecuencias por debajo de 300 GHz la atenuación producida por la niebla es linealmente proporcional al contenido total de agua por unidad de volumen para cada frecuencia. Una concentración de  $0,032 \text{ g/m}^3$  corresponde a un nivel de niebla que permite visibilidad a unos 700 m. Por otro lado, una concentración de  $0,32 \text{ g/m}^3$  permite visibilidad a algo más de 100 m. El nivel máximo de contenido de agua se sitúa en torno a  $1 \text{ g/m}^3$ , con densidades considerablemente menores para la mayor parte de las nieblas. Para una frecuencia de 100 GHz, la atenuación en el caso de niebla densa es de tan sólo 1 dB/Km. Por lo tanto, en el diseño de enlaces con suficiente margen de señal para evitar la atenuación por lluvia, la niebla no constituirá un factor de limitación.



### 2.5.5 Hielo y Nieve

Cuando el agua se solidifica formando cristales de hielo o nieve se produce un cambio significativo en el valor de la constante dieléctrica compleja. En el caso del hielo, la parte real de la constante dieléctrica es prácticamente constante e igual a 3,17 para el rango de temperaturas de 0°C a -30°C en la banda de frecuencias microondas/milimétricas. La parte imaginaria, por otro lado, es muy pequeña y casi independiente de la frecuencia en dicha banda. Precisamente este reducido valor de la parte imaginaria de la constante dieléctrica indica que los cristales de hielo introducen poca atenuación. No obstante, la nieve y el granizo consisten en una combinación de cristales de hielo y agua en muchos casos, por lo que la atenuación es muy dependiente de las condiciones meteorológicas. Además, las formas de los cristales de hielo y de nieve son tan variadas que el cálculo de la absorción producida por una única partícula es una tarea muy complicada.

La atenuación de las microondas en nieve seca es al menos un orden de magnitud inferior que para la lluvia, considerando la misma tasa de precipitación. No obstante, la atenuación para la nieve húmeda es comparable a la de la lluvia e incluso superior en la banda de frecuencias milimétricas. Medidas experimentales han mostrado valores de atenuación en torno a 2 dB/Km para 35 GHz y una tasa de precipitación de 5 mm/h. Para nieve seca, la atenuación es dos ordenes de magnitud inferior. Debido a la gran cantidad de variables involucradas, en particular el contenido de agua relativo, resulta difícil especificar la atenuación en función de la tasa de precipitación de una forma simple.

## 2.6 BALANCE DEL ENLACE

La calidad del enlace obtenida se expresa después de la demodulación en términos de la BER (Bit Error Rate - Proporción de Bits Erróneos) en las transmisiones digitales. Así pues, la calidad depende de la relación portadora/temperatura de ruido,  $C/T$ , antes de la



demodulación y del proceso de modulación empleado, así como del funcionamiento real del equipo instalado (demodulador, filtros, etc.).

### **2.6.1 Objetivos de Calidad**

La UIT ha establecido los objetivos de calidad que han de cumplirse para los diversos tipos de servicio y los procesos de modulación empleados. Por lo general, establece tres umbrales de calidad que no deben rebasarse durante más de un porcentaje de tiempo determinado.<sup>10</sup>

Cuando se dispone de estadísticas para la atenuación debida a las condiciones atmosféricas, puede calcularse la relación C/T que se obtendrá, según las previsiones, a la entrada del receptor de la estación terrestre durante los diversos porcentajes de tiempo especificados en los objetivos de calidad de la UIT.

Se puede deducir entonces la correspondiente proporción de bits erróneos (BER) y se verifica si el sistema satisface los criterios de calidad establecidos. Sin embargo, al efectuar este cálculo se debe dejar cierto margen para tener en cuenta la diferencia entre el comportamiento teórico y el real de los equipos, así como para cubrir cualquier deterioro de la señal o aumento del ruido (interferencia debida a otras redes, a la propagación por trayectos múltiples o a la transmisión en los canales adyacentes).

---

<sup>10</sup> (Recomendaciones 353 y 522 para telefonía, Recomendaciones 567 y 568 para televisión, Recomendación 614 para RDSI).



### 2.6.2 Objetivos de Disponibilidad

En el enlace de plataformas HAPS se asumirán las mismas condiciones de indisponibilidad de un satélite entonces se dice que el sistema está indisponible si se producen una o más de las siguientes condiciones en cualquiera de los dos extremos receptores del enlace durante más de 10seg consecutivos:

- En transmisiones digitales, hay una interrupción de la señal digital (es decir, hay una pérdida de alineación de trama o de temporización )
- En transmisiones digitales, la proporción de bits erróneos (valor medio durante 1seg) excede de  $10^{-3}$ .

## 2.7 PROBABILIDAD DE ERROR

La probabilidad de error  $P(e)$  y la BER, a menudo se utilizan en forma intercambiable, aunque en la práctica si tienen significados un poco distintos.  $P(e)$  es una expectativa teórica de la tasa de error de bit para un sistema determinado.

La probabilidad de error es una función de la relación de potencia de la portadora con respecto a la potencia de ruido y el número de posibles condiciones de codificación utilizadas. La relación de potencia de la portadora a ruido es la relación de la potencia promedio de la portadora mas la potencia de las bandas laterales a la potencia de ruido térmico.

Dichas relaciones se presentan de la siguiente forma:

$$\frac{C}{N_o} = \frac{C}{KT} = \frac{C}{T} - 10\log K \quad (\text{dB}/^\circ\text{K}) \quad (2.24)$$



$$\frac{C}{N} = \frac{C}{KTB} = \frac{C}{No} - 10 \log B \quad (\text{dB}/^\circ K) \quad (2.25)$$

$C/N$  = Relación portadora a ruido

$C/No$  = Relación portadora a ruido con densidad de potencia de ruido normalizada

$C$  = potencia de la portadora (W)

$N$  = densidad de potencia de ruido (W)

$No$  = densidad de potencia de ruido normalizada (W/Hz)

$B$  = Ancho de banda de la señal digital (Hz)

$$\frac{Eb}{No} = \frac{C}{No} - 10 \log R \quad (\text{dB}) \quad (2.26)$$

donde

$Eb/No$  = Energía por bit no codificado por densidad de ruido

$R$  = Tasa de bits no codificados (b/s)

### 2.7.1 Eficiencia de Error de FSK

La probabilidad de error para los sistemas FSK (Frequency Shift Keying - Modulación por conmutación en Frecuencia) se evalúa en forma un tanto diferente a los PSK (Phase Shift Keying – Modulación por conmutación en Fase) y QAM (Quadrature Amplitude Modulation - Modulación de Amplitud en Cuadratura). Hay en esencia sólo dos tipos de sistema FSK: no coherente(asíncronos) y coherentes (síncronos). Con FSK no coherente, el receptor y el transmisor no están sincronizados en frecuencia o fase. Con FSK coherente, las señales de referencia del receptor local están cerradas, en frecuencia y en fase, con las señales transmitidas. La probabilidad de error para FSK no coherente es:



$$P(e) = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{Eb}{2N_0}\right) \quad (2.27)$$

Y para FSK coherente es:

$$P(e) = \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{Eb}{N_0}}\right) \quad (2.28)$$

$\text{erfc}(z)$ : función de error complementario y es igual a:

$$\text{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} \exp(-y^2) dy \quad (2.29)$$

### 2.7.2 Eficiencia de Error de MPSK

La probabilidad de error usando modulación MPSK es:

$$P(e) = \frac{1}{\log_2(M)} \text{erfc}(z) \quad (2.30)$$

$$z = \text{Sen}\left(\frac{\pi}{M}\right) \sqrt{\log_2(M)} \frac{Eb}{N_0} \quad (2.31)$$

donde

M = Número de fases



### 2.7.3 Eficiencia de Error de QAM

Para un gran número de puntos de señal (por ejemplo, sistemas M-ario mayores a 4), el QAM funciona mejor que el PSK. Esto se debe a la distancia entre dos puntos de señalización en un sistema de PSK, es mas pequeña que la distancia entre puntos en un sistema QAM comparable. La expresión general para la distancia entre puntos de señalización adyacentes para un sistema QAM con nivel L en cada eje es:

$$d = \sqrt{\frac{2D}{L-1}} \quad (2.32)$$

donde

d = distancia de error

L = número de niveles en cada eje

D = amplitud pico de la señal

La expresión general de un sistema QAM de nivel L es:

$$P(e) = \frac{1}{\log_2(L)} \frac{L-1}{L} \text{erfc}(z) \quad (2.33)$$

$$z = \sqrt{\frac{\log_2(L)}{L-1}} \sqrt{\frac{Eb}{No}} \quad (2.34)$$

## 2.8 ANÁLISIS DE INTERFERENCIA

La figura 2.3 ilustra los casos de interferencia considerados en este estudio. Estos casos se enumeran en la tabla 2.10.

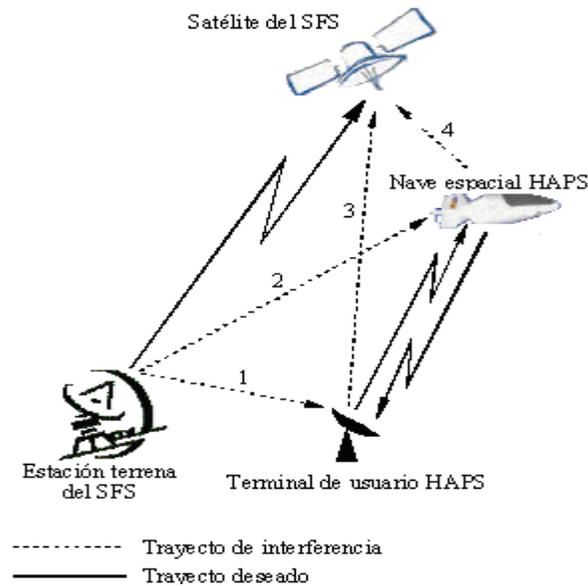


Figura 2.3. Casos de interferencia

Caso de interferencia	Fuente de interferencia	Sistema víctima
1	Estación terrestre del SFS	Terminal de usuario HAPS
2	Estación terrestre del SFS	Nave espacial HAPS
3	Terminal de usuario HAPS	Satélite del SFS
4	Nave espacial HAPS	Satélite del SFS

Tabla 2.10. Casos de interferencia

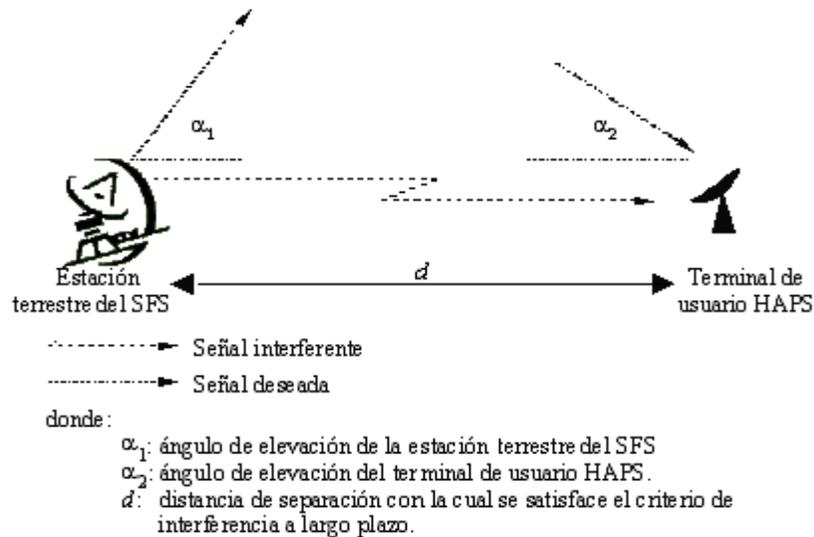
### 2.8.1 Interferencia Causada por Estaciones Terrestres del SFS a Terminales de Usuario HAPS (Caso 1)

En este punto se trata la interferencia provocada por las estaciones terrestres SFS en los terminales de usuario HAPS.



• **Análisis de interferencia en el caso de una sola señal interferente**

Este análisis se basa en la propagación en el espacio libre y en la pérdida atmosférica, no se toma en cuenta los efectos de edificaciones e irregularidades del terreno.



**Figura 2.4. Análisis de interferencia de señal única interferente**

La tabla 2.11 contiene los datos de las distancias de separación que se presentan utilizando parámetros de un sistema de SFS típico.

Zona de cobertura HAPS	Zona urbana	Zona suburbana	Zona rural
Ángulo de elevación del terminal de usuario HAPS (grados)	30	15	5
Ángulo de elevación de la estación terrestre del SFS (grados)	55	55	55
Distancia de separación (km)	10,25	7,5	20

**Tabla 2.11. Distancias de separación requeridas para el análisis de la interferencia producida por una sola señal interferente**



- **Modelo de obstrucción por edificios**

En realidad, no siempre habrá un trayecto de visibilidad directa entre las estaciones terrestres del SFS y los terminales de usuario HAPS, especialmente en zonas urbanas y suburbanas. En consecuencia, puede suponerse que cuando no existe ese tipo de trayecto entre los terminales de usuario HAPS y las estaciones terrestres del SFS, la pérdida del trayecto debería ser tal que se podría ignorar la interferencia causada a los terminales de usuario HAPS. Este tipo de situaciones se ha modelado utilizando la Recomendación UIT-R P.1410 “ Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas terrestres de acceso radioeléctrico de banda ancha en ondas milimétricas que funcionan en una gama de frecuencias de 20-50 GHz aproximadamente”. La Recomendación utiliza un modelo estadístico sencillo para predecir la probabilidad de que exista un trayecto de visibilidad directa entre el terminal de usuario HAPS y la estación terrestres del SFS. El modelo utiliza los siguientes parámetros:

- ocupación media de edificios dentro de la zona bajo investigación;
- número medio de edificios/km<sup>2</sup>;
- altura media de los edificios (m).

La Recomendación incluye también valores típicos para cada uno de los tres parámetros antes enumerados. Es importante observar que las características de los edificios difieren de una ciudad a otra. En consecuencia, en la mayor medida posible se deben utilizar los parámetros de edificios reales cuando se lleva a cabo un análisis de interferencia detallado.

- **Análisis de interferencia utilizando un modelo de obstrucción por edificios**

El modelo de obstrucción por edificios toma en cuenta la manera en que están distribuidos los edificios. Este modelo se utilizó para evaluar la interferencia provocada por las



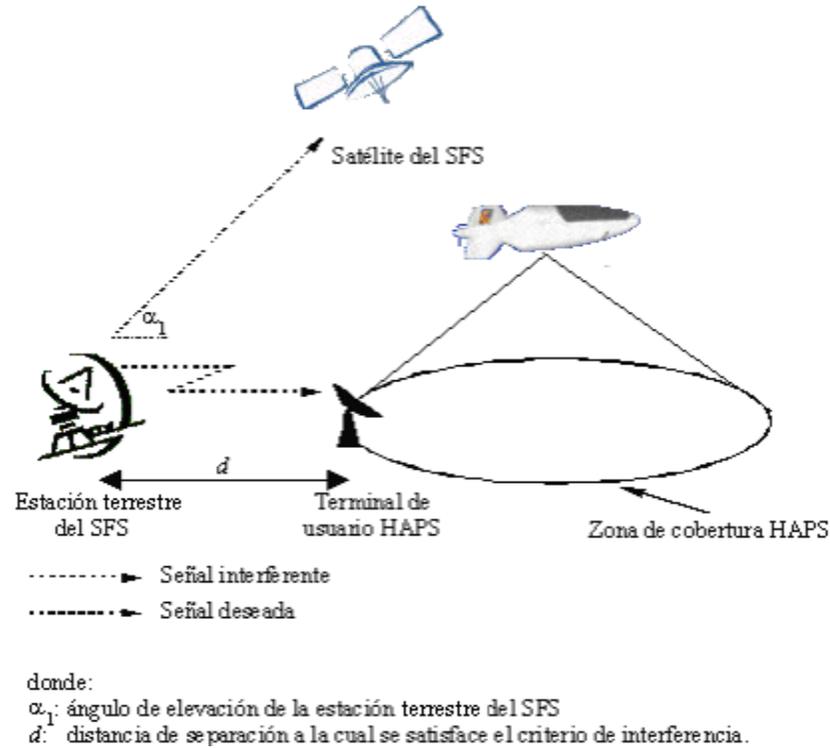
estaciones terrestres del SFS a los terminales de usuario HAPS empleando el siguiente procedimiento:

- Se establece una distancia de separación mínima inicial entre la estación terrestre del SFS y el terminal de usuario HAPS;
- Se establecen un millón de distribuciones aleatorias de terminales de usuario HAPS y se evalúa el nivel de interferencia causada por la estación terrestre del SFS para cada distribución aleatoria de los terminales de usuario;
- Si alguna de las distribuciones aleatorias da lugar a un caso en el que se rebasa el criterio de interferencia, se aumenta la distancia de separación;
- Si la interferencia no se rebasa, se disminuye la distancia de separación y se repite la simulación.

Teniendo en cuenta esta modelo se presenta una reducción significativa de las distancias de separación requeridas cuando se toma en cuenta el bloqueo debido a las edificaciones.

- **Distancias de separación entre las estaciones terrestres del SFS y las zonas de cobertura HAPS**

La reducción en las distancias de separación motivada por el apantallamiento debido a los edificios puede no ser suficiente para facilitar la instalación de estaciones terrestres del SFS en zonas de cobertura HAPS, especialmente en zonas donde se prevé un servicio ubicuo. Bajo estas condiciones, sólo será posible el funcionamiento de las estaciones terrestres del SFS fuera de las zonas de cobertura HAPS.



**Figura 2.5. Interferencia causada por una estación terrestre del SFS a un terminal de usuario HAPS situado en una zona adyacente**

### 2.8.2 Interferencia Causada por Estaciones Terrestres del SFS a Plataformas HAPS (Caso 2)

El análisis de este punto se basa en la suposición de que sería difícil instalar estaciones terrestres del SFS dentro de una zona de cobertura HAPS, especialmente en zonas donde se prevé un servicio ubicuo.



- **Análisis**

Se ubica una estación terrestres del SFS a una distancia dada fuera de la región de cobertura HAPS. Tomando la distancia de separación inicial se determina a continuación la interferencia en la plataforma HAPS debida a la estación terrestre del SFS.

Zona de cobertura HAPS	Zona urbana	Zonas urbana y suburbana	Zonas urbana, suburbana y rural
Ángulo de elevación del terminal de usuario (grados)	30	15	5
Distancia de separación (km)	6,2	4,2	4,2
Nivel de interferencia (dB(W/MHz))	-144,2	-149,37	-152,65

**Tabla 2.12. Interferencia en una plataforma HAPS debida a una estación terrestres del SFS ubicada fuera de la zona de cobertura HAPS**

Los resultados de la tabla 2.13 indican que las distancias de separación son suficientes solamente para el caso cuando la cobertura HAPS se extiende hacia terminales de usuario a 5° (zonas urbana, suburbana y rural). Las distancias de separación para la cobertura de la zona urbana y de la zona suburbana dan lugar a unos niveles de interferencia que rebasan el criterio.

Zona de cobertura HAPS	Sólo zona urbana	Zonas urbana y suburbana	Zonas urbana, suburbana y rural
Ángulo de elevación del terminal de usuario (grados)	30	15	5
Distancia de separación (km)	9,6	15,5	4,2

**Tabla 2.13. Distancia de separación entre una estación terrestres del SFS y una zona de cobertura HAPS.**



### 2.8.3 Interferencia Causada por los Terminales de Usuario HAPS a un Satélite del SFS (Caso 3)

- **Análisis de interferencia en el caso de una sola señal interferente**

Este punto analiza la interferencia provocada por un solo terminal de usuario HAPS suponiendo que su antena está orientada en dirección del eje de puntería del satélite del SFS.

Los resultados de la tabla 2.14 indican que el acoplamiento del haz principal entre los terminales de usuario de una zona suburbana HAPS o zona rural HAPS rebasaría el criterio de interferencia de la estación espacial del SFS.

Zona de cobertura	Zona urbana	Zona suburbana	Zona rural
Interferencia (dB(W/MHz))	-155	-140,9	-134
Criterio de interferencia (dB(W/MHz))	-150,5		

**Tabla 2.14. Interferencia causada por un terminal de usuario HAPS a una estación espacial del SFS suponiendo acoplamiento del haz principal**

- **Análisis de interferencia combinada**

En realidad, sólo unos pocos, o en algunos casos ninguno, de los terminales de usuario HAPS apuntaría hacia la estación espacial del SFS, especialmente cuando el haz principal del satélite del SFS no está orientado en dirección de la zona de cobertura HAPS. Para el análisis de interferencia combinada, las regiones de cobertura HAPS se ocupan con terminales de usuario y se calcula la interferencia recibida en la estación espacial del SFS para una serie de pruebas, correspondiendo cada una de ellas a una distribución aleatoria de



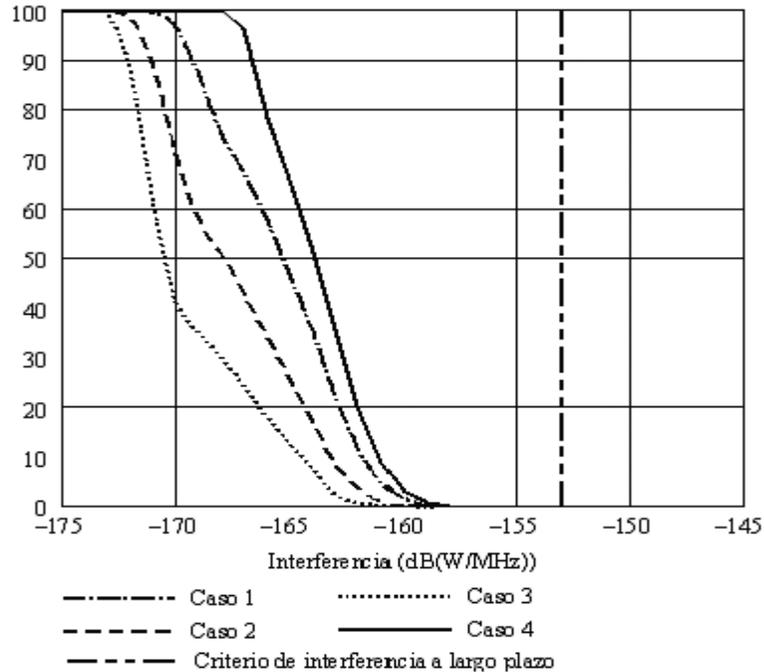
terminales de usuario HAPS. Se supone que el haz principal del satélite del SFS no está orientado en dirección de la zona de cobertura HAPS, de manera que hay suficiente compensación entre la huella del satélite del SFS y la zona de cobertura HAPS.

Además, es importante observar que una plataforma HAPS totalmente cargada podría admitir 100 terminales de usuario cocanal en cada una de las tres zonas de cobertura.

Zona de cobertura	Zona rural	Zona suburbana	Zona urbana
Ángulos de elevación	5-15	15-30	30-90
	<i>Número de terminales de usuario</i>		
Caso 1	0	0	100
Caso 2	10	30	60
Caso 3	33	33	34
Caso 4	100	100	100

**Tabla 2.15. Diferentes distribuciones de terminales de usuario HAPS activas utilizadas en el análisis de interferente múltiple**

En la figura 2.15 se representa la función de distribución acumulativa (FDA) de la interferencia para 10 000 ensayos e indica que la interferencia recibida en el satélite del SFS está por debajo del umbral en todos los casos que fueron considerados.



**Figura 2.6. FDA de la interferencia para la interferencia combinada causada por las terminales de usuario HAPS a un satélite del SFS**

#### 2.8.4 Interferencia Causada por una HAPS a un Satélite del SFS (Caso 4)

El análisis en este punto se basa en la hipótesis de que el lóbulo posterior de la plataforma HAPS apunta en la dirección del haz principal de los satélites del SFS. No se toma en cuenta el efecto de las reflexiones ni la dispersión de fondo. Con base en lo anterior, la interferencia en el satélite del SFS se calcula que es aproximadamente  $-167$  dB(W/MHz) para una HAPS con una zona de cobertura rural. La interferencia debida a una plataforma con una zona de cobertura suburbana o urbana será menor que  $-167$  dB(W/MHz) debido a la menor ganancia de antena y a la menor potencia de transmisión. Por lo tanto, se puede concluir que sería aceptable la interferencia causada por una o más HAPS a un satélite del SFS.



## **2.9 TÉCNICAS DE REDUCCIÓN DE INTERFERENCIA**

Las técnicas de reducción de la interferencia que se pueden aplicar para facilitar la compartición de frecuencias entre los sistemas HAPS del servicio fijo y las estaciones del SFS son las siguientes:

- patrones de radiación mejorados
- aumento del mínimo ángulo de elevación de los terminales de usuario HAPS
- asignación dinámica de canal (ADC)
- apantallamiento ambiental.

### **2.9.1 Mejora de los Patrones de Radiación**

Al mejorar las características de los lóbulos laterales de los patrones de radiación de antena de los terminales de usuario HAPS y de las estaciones terrestres del SFS se tendrían menores efectos en el grado de compartición. Por ejemplo, habría una reducción en la distancia de separación entre las estaciones terrestres del SFS y los terminales de usuario HAPS, además de la disminución de la interferencia causada por las estaciones terrestres del SFS a las plataformas HAPS.

### **2.9.2 Aumento de los Ángulos Mínimos de Elevación de los Terminales de Usuario HAPS**

El aumento del ángulo mínimo de elevación de los terminales de usuario HAPS reduciría la ganancia con respecto al haz principal en el sentido de las estaciones terrestres del SFS, lo cual haría disminuir la interferencia recibida en el terminal de usuario así como la distancia de



separación desde la estación terrestres del SFS. El único inconveniente sería que las plataformas adicionales deberían ofrecer una cobertura completa.

### **2.9.3 Asignación Dinámica de Canal (ADC)**

No puede confirmarse que la ADC tenga una influencia significativa sobre la compartición entre HAPS en el servicio fijo y el SFS, teniendo en cuenta que la ADC daría lugar a una reducción de la capacidad del sistema.

### **2.9.4 Apantallamiento Ambiental**

La ubicación de terminales de usuario HAPS en emplazamientos que aprovechan el apantallamiento local por edificios, árboles, etc., puede aumentar significativamente la posibilidad de la compartición de frecuencias. Sin embargo, se debe reconocer que tales mejoras solamente se pueden obtener en casos ad-hoc de situaciones particulares, que sería difícil incluir en la planificación de la red.

## **2.10 CALCULO DE LA DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO Y DEL SISTEMA**

La disponibilidad es un concepto importante ya que mediante este se puede determinar o calcular el tiempo que el sistema y los equipos están disponibles en correcto funcionamiento.



### 2.10.1 Cálculo de la Disponibilidad en un Enlace Digital

El cálculo de la disponibilidad para sistemas reales difiere del esquema aplicado a un solo equipo, debido a las siguientes razones:

- Los sistemas reales se aíslan cuando fallan, por lo que el mantenimiento preventivo generalmente no se tiene en cuenta.
- En estos sistemas casi siempre se emplean redundancias.
- Además de las fallas de equipo, las interrupciones del servicio debidas a problemas de propagación (desvanecimientos) tienen que tenerse en cuenta.

Además, debe notarse que una salida en una dirección puede o no significar una interrupción en el servicio. Debido a que las dos direcciones son esencialmente independientes, solo es necesario calcular la salida para una vía. En el caso en que se deban considerar las salidas para las dos vías, los valores entonces deberán duplicarse.

### 2.10.3 Indisponibilidad debida a fallas de los equipos

Existen ciertos tipos de interrupciones de poca ocurrencia por lo cual se consideran imprescindibles, lo que hace que no sean tenidas en cuenta en la realización de los cálculos; entre tales interrupciones están las debidas a errores humanos o a fallas en el suministro de potencia en sistemas de antena, guías de onda o de la torre. Estas interrupciones caen en la categoría de excepcionales.

- **Indisponibilidad de sistemas no redundantes**

La indisponibilidad de una portadora única sin protección ( $I_E^*$ ) en un sistema compuesto de « n » saltos está dado por la expresión:



$$I_E^* = nI_{TR} + (n-1)I_{MDR} + I_{MDT} \quad (2.35)$$

$I_{TR}$  = indisponibilidad del transmisor

$I_{MDR}$  = indisponibilidad del MODEM (versión del repetidor)

$I_{MDT}$  = indisponibilidad del MODEM (versión del terminal)

- **Indisponibilidad de los sistemas redundantes**

Los sistemas protegidos (1 +1, N+1,...) son aquellos sistemas en los cuales un sistema (1+1, dos o más canales de RF de trabajo), opera en paralelo sobre un trayecto, cada uno con su frecuencia individual.

Un canal paralelo adicional se usa para suministrar protección contra fallas del equipo.

Las siguientes ecuaciones también se aplican para el caso de configuración HOT – STAND – BY, cuando se consideran fallas de equipo. La indisponibilidad de una portadora individual sin protección, sin consideraciones de prioridad en sistemas de n saltos está dada por la expresión:

$$I_E = X_N + 0.5I_E^* I_{S1} + I_{ss} \quad (2.36)$$

donde:

$$X_N = \frac{1}{m-r} \sum_{r+1}^m \binom{m}{i} (I_E^*) (D_E^*)^{m-i} \quad (2.37)$$

Es la indisponibilidad de una portadora de radio debido al hecho de que el número de portadoras con fallo excede al número de portadoras de reserva.

$M = N + r$  : Número de portadoras de RF(servicio y reserva)



$r$ : número de portadoras de RF de reserva

$I_E^*$  : indisponibilidad de una portadora no protegida debido a transceptor y módem

$D_E^* = 1 - I_E^*$  : disponibilidad de una simple portadora con o sin protección

$I_{S1}$  : indisponibilidad de aquellas partes del conjunto de protección, las cuales cuando fallan, hacen que quede inoperante el conjunto de protección pero que no afectan el tráfico.

$I_{SS}$  : indisponibilidad de aquellas partes del conjunto de protección en BB en serie con la señal, las cuales cuando fallan, originan una interrupción de una portadora de RF y no permiten la conmutación hacia una portadora de reserva.

En la ecuación, el segundo término  $0.5I_E^*I_{S1}$  es la indisponibilidad de una portadora debida a su imposibilidad de conmutar hacia la de reserva en caso de falla, debido a fallas propias del sistema de conmutación. Sin embargo, puede ser que la falla de conmutación ocurra después de que la portadora ha sido conmutada hacia la reserva, lo cual no causará interrupción: por esto se introduce un factor de corrección de  $\frac{1}{2}$ .

La expresión puede simplificarse, asumiendo que los términos de alto orden no son significativos (lo que significa que ignorar indisponibilidad simultánea de una o mas portadoras), y considerando al sistema de microondas protegido solo por una portadora de reserva ( $r = 1$ ). Bajo estas condiciones la ecuación quedaría:

$$X_N = Y_N(I_E^*)^2 \quad (2.38)$$

en donde los valores de  $Y_N$  aparecen en la tabla 2.17, dependiendo de las líneas de tráfico principales (vías N).

<b>N</b>	1	2	3	4	5	6	7
<b>Y<sub>N</sub></b>	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4

**Tabla 2.17. Valores de  $Y_N$  para N vías.**



En el caso de sistemas, en donde diferentes criterios de prioridad sean asignados a varias portadoras, la indisponibilidad  $I_E$  no será igual para todas las portadoras del caso.

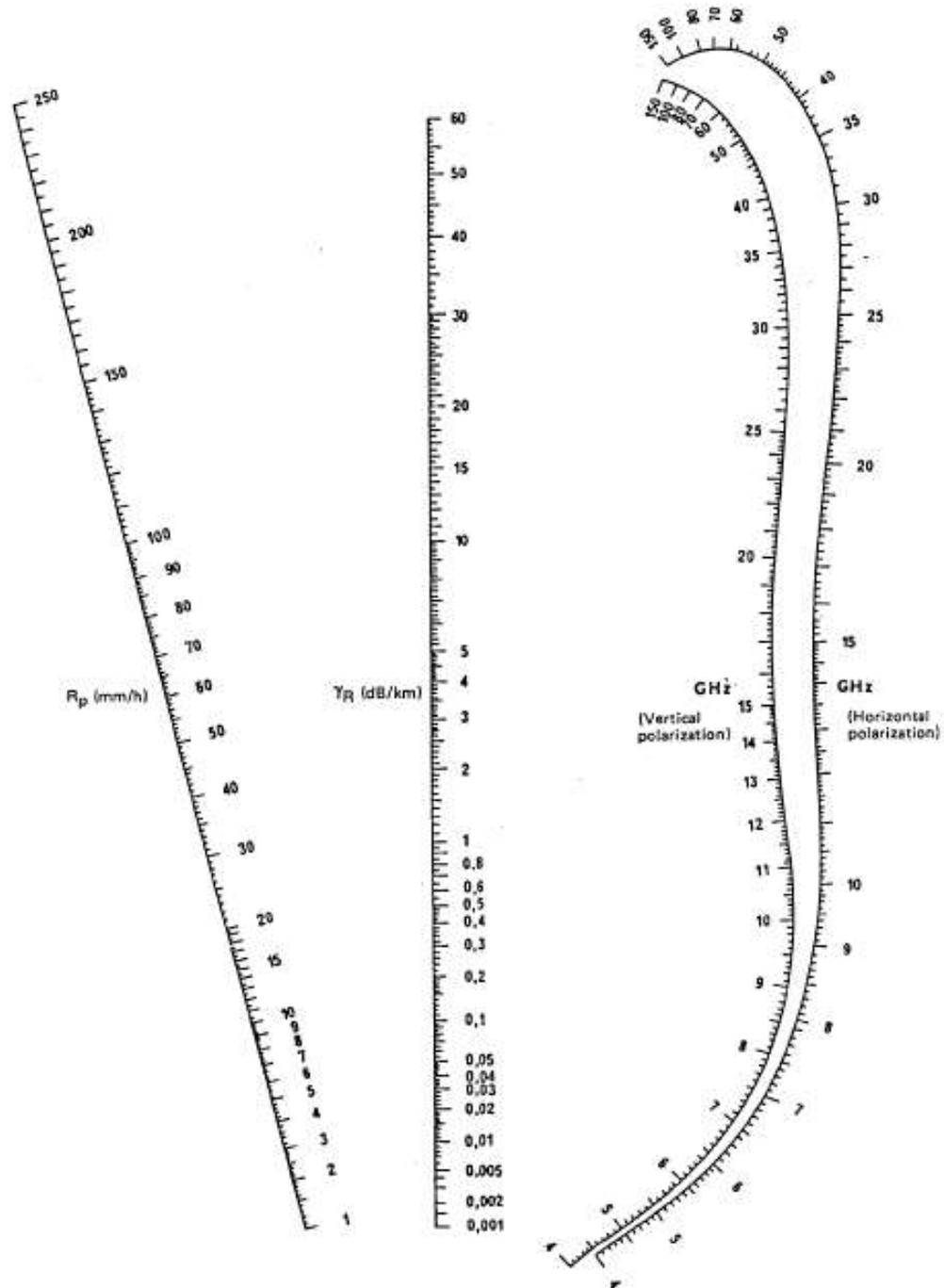


Figura 2.7. Nomograma para el cálculo de  $\gamma_R$



### **3. .COMPATIBILIDAD CON SISTEMAS 2.5G Y 3G**

Las comunicaciones móviles han ido evolucionando con cada década. La primera generación (1G en 1980) y la segunda generación (2G en 1990) fueron diseñadas principalmente para aplicaciones de voz. Los sistemas 1G fueron implementados basados en tecnología analógica las cuales en algunos países aún se siguen utilizando; mientras que los sistemas 2G, son sistemas digitales, como por ejemplo, GSM (Global System for Mobile Communications - Sistema Global para Comunicaciones Móviles), PDC (Personal Digital Cellular - Sistema Digital Celular Personal). Estos sistemas funcionan a nivel nacional e internacional y son los más representativos del día de hoy.

IMT-2000 (International Mobile Telecommunications 2000 – Telecomunicaciones Móviles Internacionales para el año 2000), el cual fue presentado a principios del siglo XXI como el estándar para los sistemas celulares de tercera Generación (3G), que suministrará servicios a 2 Mbps para tráfico en interiores, 384 Kbps para tráfico peatonal y 144 Kbps para tráfico vehicular con gran movilidad.

Tanto la sociedad como la economía dependerán en gran medida de las comunicaciones personalizadas en formato digital. La convergencia de las comunicaciones impone la necesidad de ancho de banda por demanda para nuevos servicios de voz, datos, video, multimedia desde cualquier lugar y hora. La respuesta a esto se ve reflejada en lo que hoy se conoce como “NGN (New Generation Networks - Redes de Nueva Generación)” que de cierta forma replantean el modelo actual de las comunicaciones.

La nueva o futura tendencia de las comunicaciones móviles tiene que satisfacer las demandas de altas tasas de datos, variedad de servicios exigidos por los clientes y mayor



movilidad tanto personal como de terminal; refiriéndose la primera al desplazamiento del usuario con su dispositivo móvil en funcionamiento a través de su zona de cobertura; la segunda, a la posibilidad de almacenar y transportar la información propia de cada usuario en una tarjeta o chip inteligente y conectarla a un terminal diferente cargando la información en dicho dispositivo y accediendo a los servicios que el usuario demande; sin embargo, esto es algo difícil ya que depende en gran parte del desempeño del sistema, como por ejemplo del tamaño de la celda, la cantidad de datos a transmitir, y de las bandas de frecuencia. Teniendo en cuenta dichos problemas técnicos, los futuros sistemas con el fin de eliminar estos inconvenientes implementarán diferentes sistemas o tecnologías, como las plataformas de gran altitud (HAPS), las cuales han causado gran interés en el campo de las comunicaciones móviles.

Actualmente se llevan a cabo investigaciones sobre la posibilidad de la implementación de plataformas HAPS para infraestructuras de tercera generación 3G o como parte de ellas, y porque no, para futuras generaciones (4G).

Los sistemas de próxima generación no solo incluirán nuevos teléfonos celulares, si no también nuevos tipos de sistemas de comunicación como sistemas inteligentes de transporte, sistemas de acceso a redes LAN (Local Area Network - Redes de Área Local), sistemas de onda milimétrica y Plataformas Estratosféricas Situadas a Gran Altitud (HAPS).

### **3.1 BWA (ACCESO INALÁMBRICO DE BANDA ANCHA - BROADBAND WIRELESS ACCESS)**

La demanda por una banda ancha en redes de acceso está creciendo considerablemente debido a la necesidad de obtener comunicaciones de alta capacidad, calidad y variedad de



servicios, así como también un acceso más rápido a Internet. Los usuarios están en espera de estas grandes capacidades y velocidades en la transmisión de datos, audio y vídeo.

Para satisfacer estas necesidades, se habla de la banda ancha inalámbrica (BWA), que ofrece una excelente oportunidad para superar de manera rápida la falta de ancho de banda de las redes de acceso.

La banda ancha inalámbrica representa una gran oportunidad para suministrar mayor capacidad, servicios multimedia, datos, voz y video de gran calidad, tanto a nivel empresarial como residencial, empleando transporte inalámbrico.

Los operadores deberán desarrollar una infraestructura de banda ancha tanto para acceso como para transporte que pueda soportar datos, video y servicios de voz. Tales operadores deben asegurar que dicha infraestructura esté a prueba para el futuro, es decir, que no solamente escale fácilmente para crecimiento gradual, sino que también permita la integración de nuevas tecnologías.

### **3.1.1 Características del Sistema**

#### **a. Tamaño de Celdas**

El tamaño máximo de la celda se encuentra directamente relacionado con la calidad de servicio (QoS) exigida y puede calcularse por medio del balance de potencias. El tamaño de la celda puede variar dentro de la zona de cobertura debido al tipo de antena utilizado, a su altura, a las pérdidas por obstrucciones, fenómenos meteorológicos (lluvia, vapor de agua), el esquema de modulación y codificación empleado, entre otros factores.

Para el caso de la banda de 28 GHz los radio típicos de celda varían entre 2-4 Km, mientras que para la banda de 3.5 GHz proporciona enlaces de 15-20 Km.



En caso de zonas de alta densidad de usuarios o grandes consumos de ancho de banda, no se puede garantizar una cierta calidad del servicio, por lo tanto es necesario reducir el radio de las celdas, en algunos casos hasta los 500m.

### **b. Costo Total del Sistema**

El costo total del sistema depende de una serie de factores: balance de potencias, tamaño de celda, solapamiento entre celdas, número de celdas, capacidad de tráfico, número de sectores por celda y costo por celda. En general, el costo del sistema depende del número de celdas necesario para cubrir toda el área de servicio.

El costo de los equipos de radiofrecuencia se ve reflejado en cada uno de los sectores de la celda, mientras que el costo de equipo de la estación base depende de la capacidad de tráfico requerido.

### **c. Antenas**

En la estación base, la utilización de antenas omnidireccionales dan lugar a múltiples interferencias en las celdas vecinas, las cuales se pueden evitar empleando frecuencias distintas. Pero debido al congestionamiento del espectro, se utilizan técnicas de reuso de frecuencias para un mejor aprovechamiento del mismo, tales técnicas consisten en la multitrayectoria y polarización cruzada utilizando antenas altamente direccionables y posicionándolas a grandes alturas, alta direccionalidad de las antenas de las celdas, maximización del aislamiento entre sectores adyacentes.

### **3.1.2 Plataformas HAPS como Solución para LMDS**

Con el incremento de la demanda por capacidad para aplicaciones multimedia, se esta



estudiando la posibilidad de utilizar las bandas de frecuencia asignadas a LMDS para el diseño y desarrollo de sistemas HAPS. En las bandas de frecuencia manejadas por LMDS las trayectorias con línea de vista son realmente necesarias, además de esto, se experimenta grandes atenuaciones debido a la lluvia, por lo que es apropiado la utilización de márgenes de enlace con el fin de garantizar disponibilidad y QoS. Una posible solución para este inconveniente es la utilización de plataformas HAPS, por la gran potencialidad que poseen dichas plataformas en el cubrimiento de un gran número de usuarios ubicados en áreas geográficas extensas.

La atenuación por lluvia se restringe a los primeros kilómetros de la atmósfera, y con la capacidad de las HAPS de garantizar línea de vista se pueden habilitar servicios que aprovechen las mejores características de las comunicaciones terrestres y satelitales, implementando considerablemente menos infraestructura que la que se puede requerir para servir la misma área de cobertura en comparación con los servicios terrestres.

En términos de características de propagación, las plataformas HAPS presentan dos ventajas claras:

- a. Para las mismas bandas de frecuencia, la utilización de altos ángulos de elevación hace que la señal sufra una menor atenuación por lluvia y obstrucciones que los sistemas terrestres. Sin embargo, las frecuencias asignadas para plataformas HAPS alrededor de 48 GHz hace a estos sistemas más sensibles a la atenuación que los sistemas tradicionales LMDS que están trabajando a 28GHz.
- b. Los retardos en la propagación de la señal serán más pequeños comparados con los sistemas satelitales LEO.

Las plataformas HAPS son consideradas como una solución para la prestación de servicios de banda ancha entre los que se encuentra LMDS, actuando como estaciones base.



### **3.2 IMPLEMENTACIÓN DE LAS PLATAFORMAS HAPS EN SERVICIOS IMT-2000**

Sistemas como EDGE y GPRS son de gran importancia para las tecnologías actualmente diseñadas con el fin de mejorar servicios actuales y ofrecer nuevos sin cambios excesivos en la infraestructura existente. Posteriormente, como CDMA2000 y WCDMA se han propuesto respaldar o soportar los objetivos establecidos por la UIT (IMT-2000). Además de pensar en estos sistemas, con el fin de superar los principales inconvenientes presentados por las actuales redes de comunicación inalámbrica, también se optó la posibilidad de que sistemas situados a gran altura tales como HAPS, HALO, HELIOS y otros vehículos no tripulados (UAVs) tengan efecto sobre los sistemas existentes debido a sus grandes áreas de cobertura y potencia radiada efectiva.

La idea de implantar Plataformas a Gran Altitud (HAPS) para el suministro de servicios de telecomunicaciones, siendo más específicos, servicios de tercera generación (3G) surge de la necesidad de eliminar o de ir reemplazando parcialmente las estaciones base terrestres que se tienen actualmente.

Las plataformas HAPS ofrecen mayor capacidad que los sistemas satelitales y es más flexible que los terrestres; teniendo en cuenta estos aspectos y algunos otros como el área de cobertura y el manejo de frecuencias entre otros, se considera que las HAPS son ideales para la prestación de servicios 3G. Debido a las altas frecuencias manejadas por los sistemas de tercera generación (3G), las estaciones base terrestres son inadecuadas para el manejo de estas, ya que el principal requisito es la presencia de trayectoria con línea de vista, y de esta manera, con estaciones base terrestres se necesitaría un transmisor en cada esquina de la calle, lo cual traería graves consecuencias a nivel ambiental y de salud como resultado de la radiación. Teniendo en cuenta que con la utilización de las HAPS se superaría tales inconvenientes, dichas plataformas se consideran como parte de la solución de IMT-2000 a las limitaciones de las redes de telecomunicaciones inalámbricas actuales.



Otra ventaja y aspecto a considerar es el desarrollo de altas velocidades, aunque esto también depende de la aplicación y la infraestructura utilizada. Una HAPS está en la capacidad de atender o procesar 425.000 conversaciones previstas simultáneamente.

Las bandas en las cuales pueden utilizarse HAPS son: 1885-1980 MHz, 2010-2025 MHz (Regiones 1 y 3) y 2110-2170MHz (Región 2). Estas plataformas pueden ser utilizadas en estas bandas como estaciones de base para la prestación de los servicios de IMT-2000. Estudios realizados por la UIT-R han demostrado que se puede permitir un valor limitado de umbral de dfp (densidad de flujo de potencia, de 4.5 dB) para proteger la recepción de las estaciones móviles.

Se analiza la posibilidad de utilizar plataformas HAPS para servicios móviles y fijos por encima de 3GHz, y se atribuyan las respectivas bandas de frecuencia<sup>1</sup>.

Para la implantación de plataformas HAPS en sistemas IMT-2000, se debe estar acorde con lo establecido en la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones-2003 (CMR-03), en donde algunos de los puntos mencionados fueron:

- Las plataformas HAPS deben cumplir con un valor de densidad de flujo de potencia para no causar interferencia con otros sistemas.
- Las bandas de frecuencia establecidas para la operación y funcionamiento de las plataformas HAPS (1885-1980 MHz, 2010-2025 MHz y 2110-2170MHz) como complemento u operación conjunta a los sistemas móviles actuales.
- Las plataformas HAPS pueden ofrecer un nuevo medio para proporcionar servicios IMT-2000 mediante la construcción de una red de mínimo tamaño ya que son capaces de brindar servicio a una zona extensa proporcionando una gran cobertura.

<sup>1</sup> Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones 2000 (CMR2000). Resolución [COM 5/14].



### 3.2.1 Aplicaciones HAPS en Sistemas 3G

Los sistemas HAPS son considerados para brindar una variedad de aplicaciones o servicios 3G dentro de bandas de frecuencia específicas. Algunas de estas aplicaciones son:

- *Servicios fijos para HAPS:* estos servicios se brindan en las bandas de 47.2 GHz-47.5 GHz y 47.9 GHz-48.2 GHz. Las HAPS también trabajan en estas bandas de frecuencia<sup>2</sup>.
- *Servicios móviles 3G:* Las HAPS pueden ser utilizadas para complementar las infraestructuras terrestres de comunicaciones móviles existentes. Por ejemplo, estas plataformas pueden ser utilizadas para brindar cobertura en regiones o áreas donde no es viable económicamente brindar servicios con infraestructura terrestre debido a la cantidad de éstas requerida.
  - Servicios IMT-2000 en las Regiones 1 y 2 (Europa, Asia, Africa, Australia, etc.) y Región 3 (Estados Unidos) en sus respectivas bandas.

### 3.2.2 Infraestructura HAPS para Sistemas 3G y otros Sistemas Futuros

La infraestructura necesaria para la prestación de servicios 3G a través de plataformas HAPS consta de las siguientes partes:

- Plataforma de gran altitud (HAP).
- Suministro de energía.
- Equipo de comunicaciones en tierra.
- Equipo de comunicaciones a bordo de la plataforma.

En la figura 3.1 se indica la infraestructura requerida:

---

<sup>2</sup> WRC-97 (World Radio Conference-1997).

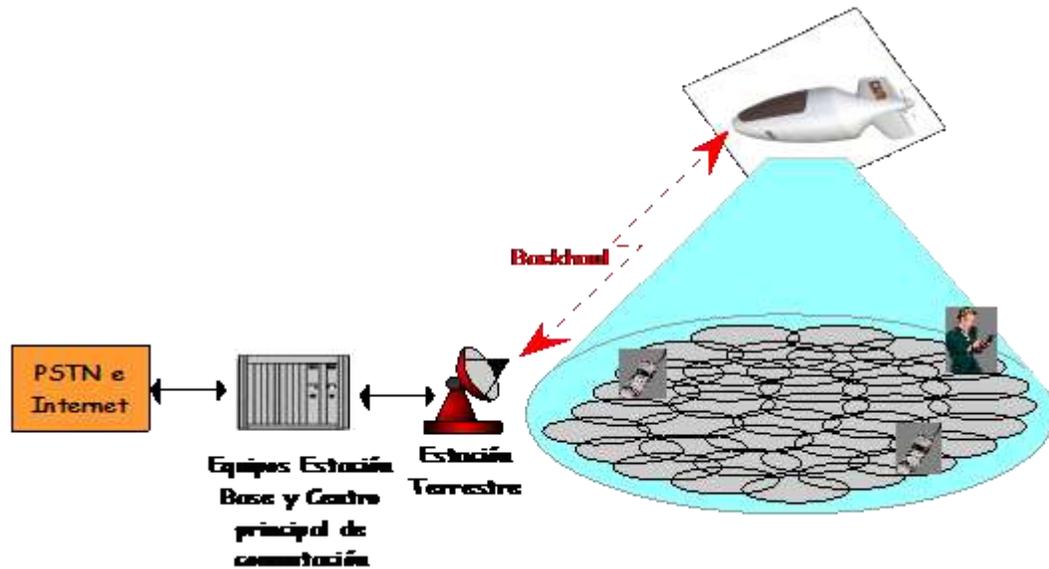


Figura 3.1. Infraestructura requerida para una aplicación HAPS

### 3.2.3 Ventajas de la implementación de plataformas HAPS en sistemas IMT-2000

La utilización de las Plataformas Situadas a Gran Altitud en la prestación de servicios IMT-2000 brinda una serie de ventajas que no solo benefician a los sistemas 3G, sino que también a los sistemas de Cuarta Generación (4G), aunque no es tiempo de pensar en la migración hacia esta nueva tecnología.

Se espera que los servicios 3G/4G entregados vía HAPS tengan las siguientes ventajas:

- Puedan ser desplegados para servir como componentes de macroceldas, ofreciendo así una solución rentable para la disposición de la arquitectura pico/micro/macrocelular basada en una única interfaz estándar de aire.
- Soluciona las restricciones actuales de adquisición o disponibilidad de instalaciones comparado con los sistemas terrestres (cobertura en lugares de difícil adquisición, como montañas, valles, colinas, etc.).



- Mayor compatibilidad con el medio ambiente que las macroceldas terrestres que se encuentran actualmente en uso, particularmente con lo relacionado a los posibles efectos de exposición a la radiación de RF.
- Mejora en la arquitectura centralizada (eficiencia en la utilización de recursos): es decir, la dimensión del tráfico se puede clasificar según el tráfico medio en toda el área de servicio en vez del tráfico en horas picos, ya que los recursos se pueden compartir entre diferentes celdas.
- Sincronización inherente entre diversas celdas, debido a la posibilidad de utilizar un contador o cronometro que permita la implementación de un handover más rápido y suave entre celdas.
- Incrementar la capacidad del sistema a través de la reducción del tamaño de las celdas. Los servicios 3G brindados desde una plataforma HAPS serán capaces de soportar más de 3 millones de usuarios en un área metropolitana.
- Antenas dinámicamente orientables, las cuales pueden reasignar automáticamente e instantáneamente capacidad dado que la demanda cambia a través del día. El sistema puede dirigir 1000 haces puntuales dentro de un área de cobertura de 400 Km de diámetro.
- Listos para un rápido despliegue, rápida actualización y control de la plataforma, lo que reduce costos de mantenimiento.
- Utiliza microteléfonos y protocolos estándar (GSM, CDMA, TDMA, TD-SCDMA, etc.) con interfaces transparentes a la red.



- Hardware fácilmente modificable o actualizable para aplicaciones de servicios 3/4G, IMT-2000 (CDMA2000<sup>3</sup>, UMTS, GPRS, TDMA, IMT-2000<sup>4</sup>, etc.).
- Las plataformas pueden ser re-ubicables en nuevos sitios.
- Ofrece línea de vista reduciendo el multitrayecto, la dispersión de las señales, liberación de obstáculos, etc. mejorando de esta manera la calidad de la señal al microteléfono.
- Para servicios 2G y 3G las frecuencias portadoras están en el rango de 1-2 GHz donde la atenuación por lluvia (atenuación de la señal debido a la lluvia) es casi despreciable y fácilmente compensada aumentando el margen de desvanecimiento.
- Para enlaces en los rangos de 27-31 GHz, u otras bandas de ondas milimétricas que son más susceptibles a los desvanecimientos por lluvia, las plataformas HAPS despliegan técnicas de mitigación además de un mayor margen de desvanecimiento.
- Roaming continuo.
- Servicios B-FWA, DVB (Digital Video Broadcasting – Difusión de Video Digital) vía HAPS, DAB (Digital Audio Broadcasting – Difusión de Audio Digital), video sobre demanda, altas velocidades de acceso a Internet.

En la figura 3.2 se ilustra un esquema que indica la implementación de HAPS en sistemas de tercera generación.

---

<sup>3</sup> Anexo 1, Recomendación UIT-R M.1456 numeral 1.2.

<sup>4</sup> Anexo 1, Recomendación UIT-R M.1456 numeral 1.1.

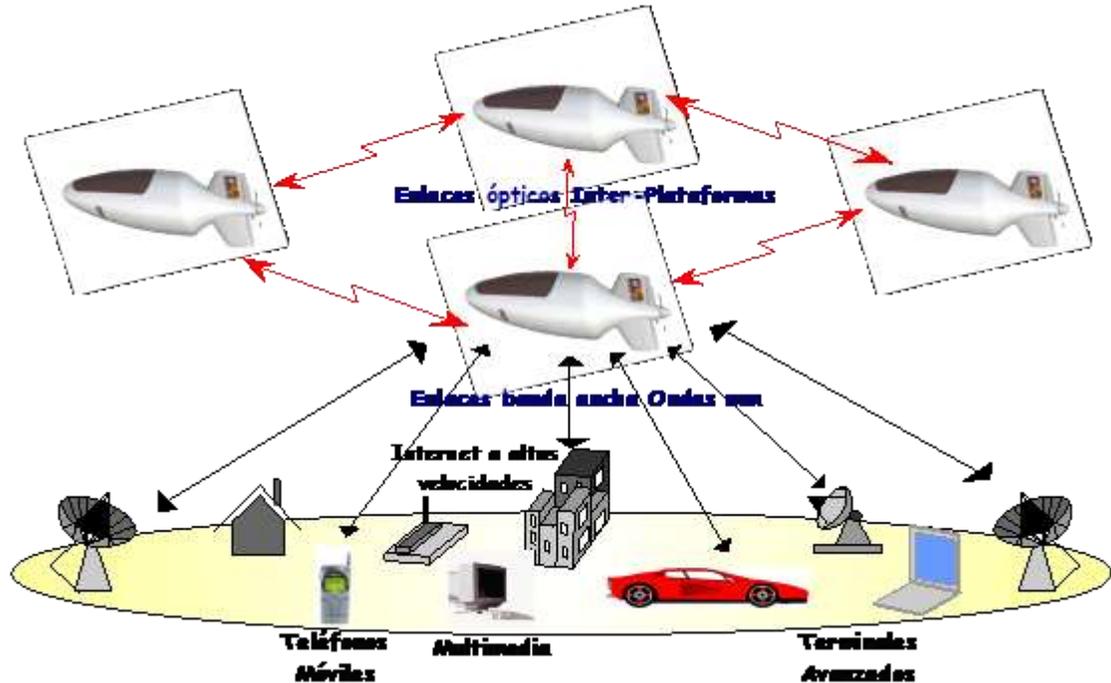


Figura 3.2. Aplicaciones de las plataformas HAPS

A pesar de que las plataformas HAPS son de gran ayuda para la prestación de servicios FWA, 3G, entre otros, la mayor aplicación de estas plataformas se verá en el momento en que se esté evolucionando a 4G, debido a que las bandas de frecuencias manejadas por estos sistemas están dentro de las asignadas para las HAPS.

### 3.3 SISTEMAS DE 4 GENERACIÓN

Aunque las redes de tercera generación aún no son del todo comerciales en algunos países, la industria ya se está poniendo en la tarea de investigar y prepararse para la futura tecnología inalámbrica conocida actualmente como 4G. Debido a los problemas de tecnología y la disponibilidad limitada de microteléfonos, el despliegue de los sistemas 3G se ha retardado un poco. Debido a los inconvenientes que pueda presentar la tecnología 3G



con respecto a demoras o algo más, se ha comenzado a hablar de la posibilidad de la aparición de otra tecnología (4G) que supere estos inconvenientes.

4G podría soportar servicios interactivos multimedia como teleconferencia e Internet inalámbrico además de un ancho de banda mucho más amplio, altas tasas de bits, movilidad global y portabilidad de servicios. Esto podría ser algo que las redes de 3G no podrían ofrecer.

La generación 4G principalmente se basa en un núcleo IP encargado de ofrecer el transporte de la red, sobre esta base se edificarán los servicios y se suministrarán otros nuevos. Las redes de cuarta generación harán uso de la tecnología de modulación/transmisión inalámbrica de multicanalización en frecuencia con portadoras ortogonales OFDM (Multicanalización por División de Frecuencias Ortogonales o Modulación Multiportadora), para lograr una eficiencia espectral óptima. OFDM, consiste en dividir una señal de información de alta velocidad en múltiples sub-señales de información y transmitir las en paralelo utilizando frecuencias portadoras ortogonales. OFDM es 4G es considerado como un método de modulación para reducir las interferencias ocasionadas por propagación multitrayectoria.

4G no solo superará los inconvenientes de los sistemas 3G, sino que además se espera que disminuya los costos de implementación de la infraestructura debido a que serán construidos sobre redes ya existentes y por lo tanto no requerirán de operadores completamente re-equipados.

La generación 4G en vez de ser un nuevo estándar, se podría pensar en ser una conglomeración de tecnologías existentes, aunque, algunas de ellas pueden o no tener un gran impacto en 4G, esto realmente depende del auge que tengan en el mercado en los próximos años. Algunas de estas tecnologías son: Bluetooth, WAP (Wireless Application Protocol – Protocolo de Aplicación Inalámbrica), TD-SCDMA, Satélites, WLAN, Ad-Hoc,



DVB-T (digital), etc. La idea es tener una fusión completa de modo que los usuarios móviles puedan vagar libremente por los estándares.

En la tabla 3.1, se realiza una comparación entre los parámetros claves de 3G y 4G.

<b>Parámetros claves</b>	<b>3G</b>	<b>4G</b>
Bandas de Frecuencia	1.8 – 2.5 GHz	40-60 GHz
Ancho de banda	5-20 MHz	5-20 MHz
Tasa de datos	Hasta 2 Mbps	Hasta 100 Mbps
Acceso	WCDMA	MC-CDMA o OFDM
Tipo de Conmutación	Circuitos y/o Paquetes	Paquetes
Compatibilidad	Compatible con 2G	Amplia la capacidad de 3G

**Tabla 3.1. Comparación Sistemas 3G y 4G**

4G tendría todo su acceso basado en IP y un control efectivo de QoS sobre IP, debido a que IP tolera una variedad de protocolos de radio que permite hacer el centro de la red lo suficientemente flexible para soportar una red de acceso. Esto podría soportar diferentes tecnologías de acceso tales como 802.11a, W-CDMA, Bluetooth y permite que la red núcleo IP evolucione independientemente de la red de acceso.

El objetivo que se desea lograr con 4G es que los usuarios sean capaces de acceder a la red desde cualquier lugar del mundo, utilizando múltiples métodos de acceso de radio, incluyendo satélites, plataformas HAPS para áreas remotas. Para lograr tal objetivo es fundamental el control de movilidad de usuarios (roaming, handover).

4G pretende eliminar en gran medida los inconvenientes de handover que se presentan en los sistemas actuales, mediante técnicas fiables que ya son implementadas por cada tecnología de radio.



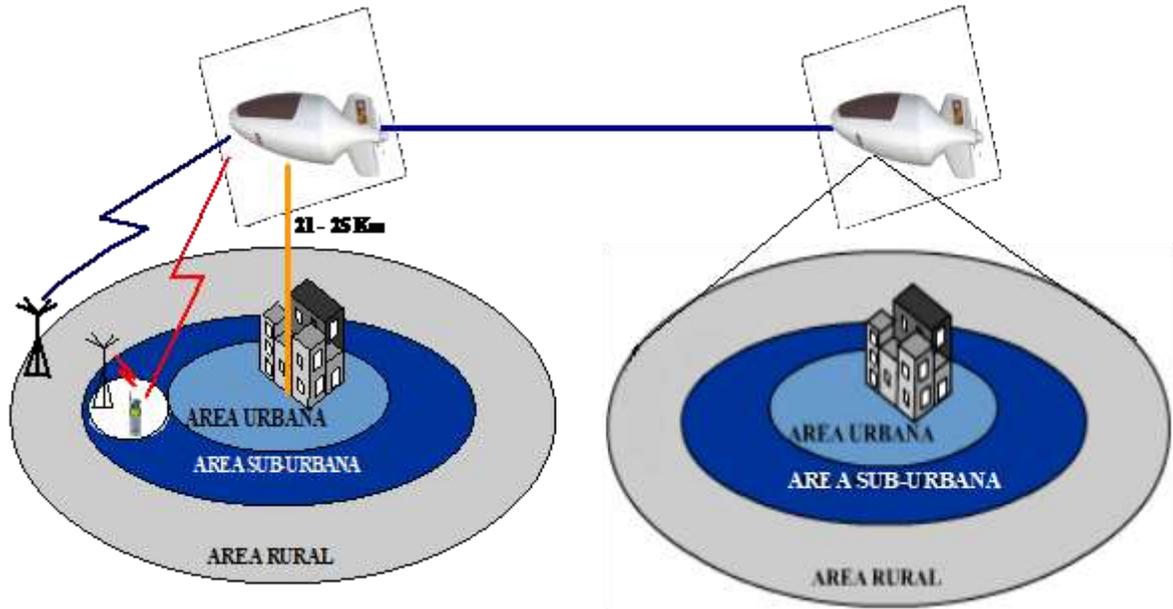
### **3.3.1 HAPS en la 4 generación**

La introducción de las plataformas HAPS se verá más marcada en el momento de la entrada de los sistemas de 4G.

El hecho de pensar en la posibilidad de utilizar plataformas HAPS para sistemas de 3G y 4G, es consecuencia de la falta de cobertura que existe actualmente con los sistemas de comunicaciones. La cobertura es probablemente el principal problema de 3G, y con la estructura de red de 4G, junto con la adición de servicios multimedia, este inconveniente se puede presentar, considerándose así la cobertura como una de los mayores desafíos de estas tecnologías.

Puesto que la potencia necesaria para el transmisor es directamente proporcional al ancho de banda de la señal, el área de cobertura de una estación base para red de cuarta generación es de diámetro reducido; por lo que se prevee que se limitará a una picocelda (hasta 200m de radio). Por tanto, la tecnología inalámbrica 4G no reemplazará a la de 3G, será un complemento para ésta. Considerando las limitaciones de cobertura que presentan las redes de 4G, hasta el momento se ha asumido que los satélites son los encargados de ofrecer cobertura; sin embargo otra alternativa muy atractiva, son las plataformas situadas a gran altitud (HAPS) las cuales ofrecen muchas ventajas, particularmente en la ampliación de cobertura y en ayudar a la integración.

Las HAPS no son una alternativa a las comunicaciones satelitales son más un elemento de complemento para las arquitecturas de redes terrestres, principalmente suministrando cobertura a las macro/micro celdas. Estas plataformas pueden ser casi-estacionarias a una altitud de unos 21 – 25 Km en la capa estratosférica y proyectar centenares de celdas en áreas metropolitanas.



**Figura 3.3. HAPS proporcionando cobertura integrada**

Debido a la gran cobertura suministrada por cada plataforma, estas presentan ventajas para proporcionar servicios de difusión local y posiblemente regional. Una carga útil de comunicación que soporta interfaces aéreas 3G/4G, DAB (Digital Audio Broadcasting – Difusión de Audio Digital)/DVD (Digital Video Disk - Disco de Video Digital) terrestre, puede además soportar banda ancha y servicios asimétricos más eficientemente que interfaces de aire 3G/4G o DAB/DVD individualmente.

El desafío es integrar el acceso de radio terrestre y de HAPS para aumentar la eficiencia espectral y conservar el QoS en la gama de servicios ofrecidos.



#### **4. POSIBLES APLICACIONES Y SERVICIOS DE LA TECNOLOGÍA HAPS EN EL TERRITORIO COLOMBIANO**

La implementación de plataformas HAPS como tecnología complementaria para los sistemas terrestres y satelitales actuales, es de gran utilidad ya que con la prestación de sus servicios, muchas de las principales limitaciones presentes en los sistemas existentes serán superadas.

El desarrollo e implementación de un sistema HAPS aplicado a las condiciones o características del territorio Colombiano, sería de gran utilidad para solucionar la falta de cobertura de los sistemas inalámbricos entre ciudades o en zonas rurales que requieran para su desarrollo servicios de comunicación y entretenimiento con gran ancho de banda. Las características que presenta dicha plataforma la hacen pensar como una solución viable y acorde a las necesidades de comunicación y en especial de cobertura del territorio colombiano, ya que por su gran accidentalidad geográfica, posee terrenos de difícil acceso en donde es prácticamente imposible tener una buena recepción de la señal.

Es así como se piensa en la posibilidad de implantar plataformas HAPS en el territorio colombiano, con el fin de mejorar los servicios existentes ampliando el radio de cobertura para una mayor movilidad y alcance de los servicios que actualmente se brindan y abriendo puertas para la implantación de nuevos servicios, para tal fin se muestra el diseño de un enlace entre las capitales de los departamentos de Nariño, Cauca y Valle, en donde se demuestra las ventajas de estos sistemas. El desarrollo matemático es presentado solo para el tramo Pasto-HAPS, ya que el tratamiento para los demás enlaces es similar.



#### 4.1 UBICACIÓN DEL ENLACE

El enlace debe tener la capacidad de dar cubrimiento a la zona norte de Nariño, a la zona del Cauca y al sur de la zona del Valle del Cauca, para tal fin se ubica estaciones de cabecera en las capitales de los departamentos mencionados (Pasto, Popayán y Cali respectivamente), aprovechando la infraestructura que se tiene ya instalada. La estación HAPS se localiza en el departamento del Cauca cerca de la ciudad de Popayán; las coordenadas de los sitios mencionados y sus alturas son:

<b>Ubicación</b>	<b>Latitud (grados)</b>	<b>Longitud (grados)</b>	<b>Altura (m snm)</b>
Pasto	1° 13' 29"	77° 17' 02"	2559
Popayán	2° 27' 32"	76° 36' 19"	1738
Cali	2° 28' 29"	76° 29' 02"	991
HAPS	2° 00' 02"	76° 56' 33"	25000

**Tabla 4.1. Coordenadas geográficas de los sitio empleados**

Cabe mencionarse que las coordenadas de la HAPS son tomadas como referencia, debido al movimiento de esta.

#### 4.2 PLAN DE FRECUENCIAS

El plan de frecuencias para la HAPS, a las cuales se les ha asignado un ancho de banda de 300 MHz para el enlace de subida y 300 MHz para el enlace de bajada, el cual puede ser distribuido de la siguiente forma:

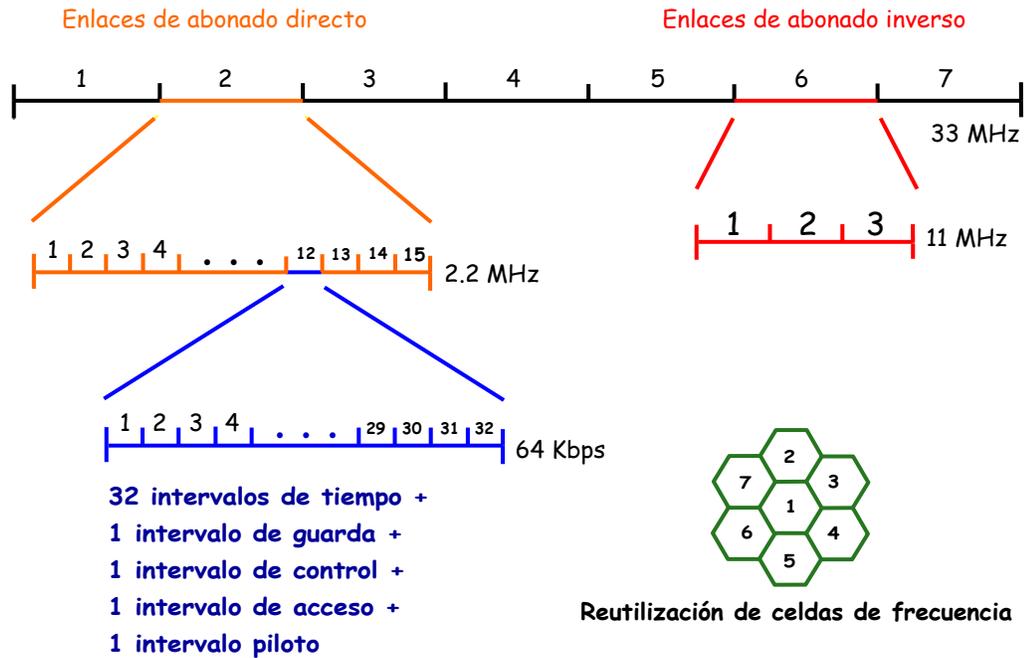


Figura 4.1. Plan de frecuencias para las bandas de 27,5-28,35 GHz y 31-31,3 GHz

Cada sentido del enlace puede dividirse en siete bandas de frecuencia de 33 MHz cada una, con dos bandas de guarda de 33 MHz.

- Para el enlace descendente (abonado inverso), cada banda se divide en 15 canales de 2,2 MHz. Cada canal de enlace inverso vuelve a segmentarse en 32 intervalos de tiempo de 64 Kbps, más un intervalo de guarda, un intervalo de control de acceso y un intervalo piloto.
- Para el enlace ascendente (abonado directo), cada banda de 33 MHz se divide a su vez en 3 canales de 11 MHz. De forma similar al enlace inverso, cada canal de enlace directo se divide en múltiples intervalos de 64 Kbps más todos los intervalos de composición de trama.



Para cada una de las zonas pueden ubicarse hasta 700 celdas y hasta 20 estaciones de cabecera. Cada estación de cabecera se sitúa en el centro de una celda para minimizar la interferencia cocanal con las celdas adyacentes.

Cada enlace de cabecera utiliza todo el espectro atribuido, excepto la banda utilizada por las celdas anfitrionas, y las bandas de guarda necesarias para reducir la interferencia del canal adyacente, a fin de maximizar la capacidad del enlace. Cada estación de cabecera utiliza en total 22 canales de 11 MHz, con un total de 242 MHz en cada sentido, lo que deja cuatro bandas de guarda de 11,75 MHz.

### 4.3 DATOS GENERALES DEL SISTEMA

Las coordenadas de la ciudad de Pasto y de la HAPS se pueden ver en la tabla 4.1. La distancia horizontal desde Pasto a la HAPS se consultó en la pagina <http://www.indo.com/cgi-bin/dist>, introduciendo las coordenadas de los respectivos sitios, obteniéndose la siguiente distancia horizontal:

$$h_{\text{HORZ}} = 94\text{Km.}$$

Se calcula la distancia efectiva que recorre la señal mediante el Teorema de Pitágoras, para esto se necesita la distancia desde la antena transmisora hasta la HAPS ( $h_e$ ) y la distancia horizontal ( $h_{\text{HORZ}}$ ). La  $h_e$  se obtiene restando la altura de la HAPS menos  $h_s$  que es la suma de la altura geográfica ( $h_c$ ) más la altura a la que está ubicada la antena ( $h_{\text{ant}}$ ).

$$h_s = h_c + h_{\text{ant}} = 2,559 + 0,060 = 2,619\text{Km}$$

$$h_e = h_p - h_s = 25,000 - 2,619 = 22,381\text{Km}$$



$$de = \sqrt{(h_e)^2 + (d_{HORZ})^2} = \sqrt{(22,381)^2 + (94)^2} = 96,627Km$$

Ahora se encuentra el ángulo de inclinación de la siguiente manera:

$$E = \tan^{-1}\left(\frac{h_e}{d_{HORZ}}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{22,381}{94}\right) = 13,39^\circ$$

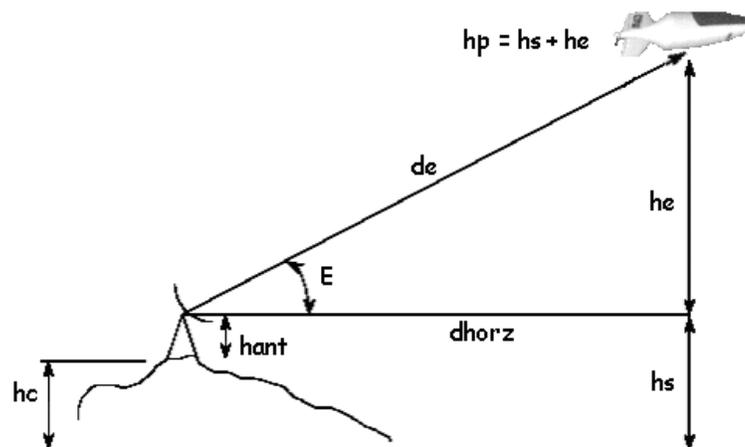


Figura 4.2. Diagrama para el cálculo de distancias y para el ángulo de elevación

La PIRE se obtiene sumando la potencia del transmisor ( $P_{tx}$ ) con la ganancia de la antena transmisora ( $G_{atx}$ ) y restándole las pérdidas del sistema ( $L_{sist}$ ):

Los valores de los datos anteriormente mencionados son tomados con base a la recomendación UIT-R F.1569.

Las pérdidas del alimentador son:

$$L_{sist} = 0,5dB$$

Con los valores anteriores se procede a calcular la PIRE de la estación terrena:

$$PIRE = P_{tx}(dBw) + G_{atx}(dBi) - L_{sist} = 9 + 38 - 0,5 = 46,5dBW$$



La PIRE en MHz se obtiene así:

$$PIRE_{(dB(W/MHz))} = PIRE_{(dBW)} - 10\log_{(BW_{MHz})} = 46,5 - 10\log(13,3) = 35,261dB_{(W/MHz)}$$

La densidad ( $\phi$ ) de flujo de potencia para la estación base en Pasto es calculada mediante la siguiente formula:

$$\phi = \frac{PIRE}{4\pi * r^2} (w/m^2) = 46,5 - 10\log(4\pi(96627)^2)(dBw/m^2) = -64,194(dBw/m^2)$$

#### 4.4 DISTANCIA DE COORDINACIÓN

Para determinar la distancia de coordinación que establece la separación de la HAPS y terminales en tierra, de otros sistemas del servicio fijo convencional o de una red de HAPS diferente, es necesario considerar acuerdos de compartición detallados, los cuales se calculan de la ecuación 2.8:

$$150 + (141,6 - 0,274 * h) * \sqrt{h} = 150 + (141,6 - 0,274 * 25) * \sqrt{25} = 823,75 \text{ (Km)}$$

#### 4.5 PÉRDIDAS TOTALES

Las pérdidas para el enlace incluyen pérdidas del sistema ( $L_{sist}$ ), pérdidas de espacio libre ( $L_{fs}$ ), pérdidas atmosféricas ( $L_{atm}$ ) y pérdidas por lluvia ( $L_{lluvia}$ ).



#### 4.5.1 Pérdidas de Espacio Libre

Las pérdidas de espacio libre varían si el enlace es ascendente o descendente, ya que, la frecuencia para el enlace ascendente es diferente a la del enlace. Para el enlace ascendente se utilizó una frecuencia de 31,28GHz, así:

$$Lfs(dB) = 32,45 + 20 * \log f_{MHz} + 20 \log d_{km} \text{ (dB)}$$

se tiene:

$$Lfs(dB) = 32,45 + 20 * \log(31280) + 20 \log(96,627) = 162,057 \text{ (dB)}$$

#### 4.5.2 Pérdidas Atmosféricas

Las pérdidas atmosféricas son tomadas de la siguiente fórmula:

$$A_L(h, \theta) = 20,1/[1 + 0,9428\theta + 0,02816\theta^2 + h(0,3417 + 0,4499\theta) + h^2(0,2165 + 0,09728\theta)]$$

Para un valor de  $h = 25\text{Km}$  y para un valor de  $\theta$  de  $13.39^\circ$  se tiene que las pérdidas por atenuación atmosférica son de:

$$A_L(25, 13,39) = 0.0178 \text{ dB}$$

#### 4.5.3 Pérdidas por Lluvia

Para las pérdidas por lluvia se sigue el siguiente procedimiento:



De la gráfica de los mapas estadísticos para el cálculo de lluvia ofrecida por la UIT se observa que la región considerada en el análisis se ubica en la zona N, con lo cual se puede obtener R de la tabla de la estadística de tasa de lluvia, también dada por la UIT, para una probabilidad  $P=0.01\%$  y las constantes  $k$  y  $\alpha$  se toman mediante interpolación (para una frecuencia de 31,28GHz) de la tabla 2.7 . De la ecuación 2.10 se tiene:

$$\text{Atenuación específica} = k * R^\alpha = 0,206 * 95^{1,01} = 20,481 \quad (\text{dB/km})$$

Para encontrar la atenuación total se multiplica  $\gamma_R$  por la distancia efectiva recorrida por la lluvia, entonces:

De la ecuación 2.12 se obtiene la altura de la lluvia así:

$$h_{\text{lluvia}} (\text{Km}) = 4 \quad \text{para } (0 < \text{Lat.} < 36^\circ)$$

ya con la altura de la lluvia se puede calcular la distancia recorrida de la ecuación 2.14

$$L_s = \frac{h_{\text{lluvia}} - h_s}{\text{Sen}(E)} = \frac{4 - 2,619}{\text{Sen}(13,39)} = 5,963 \text{Km}$$

Pero debido a que las gotas de lluvia causan un efecto físico en la trayectoria de la propagación, la distancia recorrida es multiplicada por el factor de corrección  $r_{0,01}$ . Este valor se calcula mediante la fórmula 2.15.

$$r_{0,01} = \frac{1}{1 + 0,045 L_s * \cos(E)} = \frac{1}{1 + 0,045 * (5,963) * \cos(13,39)} = 0,793$$

Para obtener la distancia efectiva multiplicamos el factor  $r_{0,01}$  por  $L_s$  mediante la fórmula 2.11:



$$L_e = L_s * r_{0,01} = 5,963 * 0,793 = 4,729 Km$$

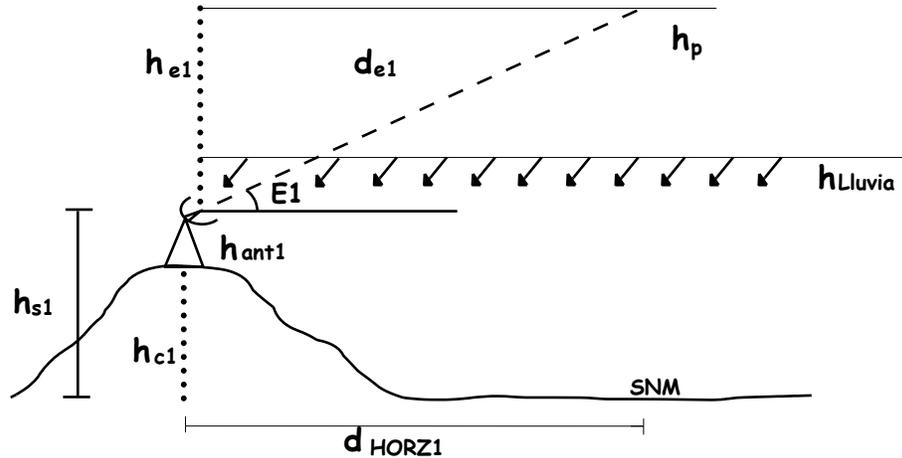


Figura 4.3. Esquema para cálculo de la distancia efectiva

Con la distancia efectiva la atenuación específica para una probabilidad de 0,01% será :

$$A_{0,01} = \gamma_R * L_e = 20,481 * 4,729 = 96,854 dB$$

y para obtener la atenuación para la indisponibilidad de 0,4% se utiliza la fórmula 2.17:

$$A_r(P) = A * 0,12 * P^{-(0,546+0,043*\log P)} = 96,854 * 0,12 * (0,6)^{-(0,546+0,043*\log(0,6))} = 15,286 dB$$

#### 4.6 CALCULO DE LA POTENCIA EN RECEPCIÓN

La potencia en recepción se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$P_{rx(dBw)} = P_{tx} - 2 * L_{sist} - L_{fs} - L_{lluvia} - L_{atm} + G_{atx} + G_{arx}$$

$$P_{rx} = 9 - 2 * (0,5) - 162,057 - 15,286 - 0,0178 + 38 + 26 = -105,343 dBw$$



## 4.7 INFORMACIÓN DIGITAL

Con el valor de la señal portadora ( $P_{rx}$ ) y la temperatura de ruido se calcula  $C/T$  mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{P_{rx}}{T} = P_{tx} - 2 * L_{sist} - L_{fs} - L_{lluvia} - L_{atm} + G_{atx} + \frac{G_{arx}}{T}$$

$$\frac{C}{T} = \frac{P_{rx}}{T} = P_{rx} - 10 * \log(T) = -105,343 - 10 * \log(500) = -132,332 dBw / ^\circ K$$

Al tener la relación  $C/T$  se puede encontrar la relación portadora a ruido de la ecuación 2.24:

$$\frac{C}{No} = \frac{C}{T} - 10 \log K = -132,332 - 10 \log(1.38 * 10^{-23}) = 96,268 dB$$

Por último se encuentra la relación  $E_b/No$  de la ecuación 2.26 para una velocidad de transmisión de usuario de 13,3Mbps:

$$\frac{Eb}{No} = \frac{C}{No} - 10 \log R [dB] = 96,268 - 10 \log(13,3 * 10^6) = 25,029 dB/Hz$$

## 4.8 INDISPONIBILIDAD

Ya que aun no se tienen datos reales de los equipos que se emplearán para realizar las funciones de transmisión, recepción, y las funciones de los equipos de tratamiento de señal, se supondrán los valores mostrados en la tabla 4.2 siguiendo el valor de los equipos utilizados en tierra; se muestra valores de MTBF para equipos de transmisión, recepción, de tratamiento de señal y la fuente, también se presentan valores de MTTR para la estación terrena en Pasto y para la plataforma HAPS.



EQUIPOS	MTBF (H)	MTTR (H)	
		Pasto	HAPS
Transmisor	300000	10	5
Receptor	300000	10	5
Fuente	400000	10	5
Carga útil	350000	10	5

Tabla 4.2. Valores de MTBF y MTTR para los equipos

Para encontrar la indisponibilidad del sistema se debe tener en cuenta la indisponibilidad de los equipos y la indisponibilidad del trayecto, esta última es muy baja y se puede decir que es la indisponibilidad por lluvia.

Ahora para calcular la indisponibilidad por equipos utilizamos la siguiente fórmula:

$$I = \frac{MTTR}{MTBF}$$

La fuente de alimentación está conectada en paralelo debido a que todos los equipos dependen de ella, sin embargo, para cálculos de indisponibilidad se toman en serie los equipos, ya que en el caso de ocurrir una falla en el sistema, automáticamente deja de funcionar el resto del sistema.

Entonces para la indisponibilidad en Pasto tenemos:

$$I_{tx} = I_{rx} = \frac{10}{300000} = 3,333 * 10^{-5}$$

$$I_{carga} = \frac{10}{350000} = 2,857 * 10^{-5}$$

$$I_{fuente} = \frac{10}{400000} = 2,5 * 10^{-5}$$



Los datos son de igual forma calculados para la plataforma HAPS y consignados en la tabla 4.3 .

Equipo	Indisponibilidad	Indisponibilidad
	PASTO	HAPS
Transmisor	$3,333*10^{-5}$	$1,666*10^{-5}$
Receptor	$3,333*10^{-5}$	$1,666*10^{-5}$
Carga útil	$2,857*10^{-5}$	$1,428*10^{-5}$
Fuente	$2,5*10^{-5}$	$1,25*10^{-5}$

**Tabla 4.3. Valores de indisponibilidad para los equipos en Pasto y en la HAPS**

Todos los equipos deben ser redundantes (1+1), por lo tanto la indisponibilidad de los equipos redundantes del sistema serán:

$$I_{rx} = \prod_{i=1}^2 (I_{rx_i}) = I_{rx} * I_{rx}$$

En la tabla 4.4 se muestran los valores para la indisponibilidad de los equipos redundantes.

Equipo	Indisponibilidad	Indisponibilidad
	PASTO	HAPS
Transmisor	$1,111*10^{-9}$	$2,777*10^{-10}$
Receptor	$1,111*10^{-9}$	$2,777*10^{-10}$
Carga útil	$8,162*10^{-10}$	$2,039*10^{-10}$
Fuente	$6,250*10^{-10}$	$1,562*10^{-10}$

**Tabla 4.4. Valores de indisponibilidad para los equipos redundantes**

Se calcula la indisponibilidad total de los equipos con redundancia a partir de la siguiente formula:

$$I_{serie} = \sum_{i=1}^N (D_i) = I_{rx}^2 + I_{tx}^2 + I_{carga}^2 + I_{fuente}^2$$



Los valores de indisponibilidad total del sistema en Pasto y en la HAPS se muestran en la tabla 4.5.

Ubicación	Indisponibilidad
PASTO	$3,663 \cdot 10^{-9}$
HAPS	$9,155 \cdot 10^{-10}$

**Tabla 4.5. Valores de indisponibilidad total para Pasto y la HAPS**

La indisponibilidad total del sistema será la suma de la indisponibilidad de Pasto, la de la HAPS y la de lluvia.

$$I_{total} = I_{pasto} + I_{HAPS} + I_{lluvia} = 3,663 \cdot 10^{-9} + 9,155 \cdot 10^{-10} + 0,6 = 0,6000004579\%$$

#### 4.9 DATOS OBTENIDOS DE LOS ENLACES

En la tabla 4.6 se muestra los datos que se obtienen al realizar los cálculos con el método seguido en el diseño anterior.

Ciudad	Pasto	Popayán	Cali
Latitud	1° 13' 29"	2° 27' 32"	2° 28' 29"
Longitud	77° 17' 02"	76° 36' 19"	76° 29' 02"
Altura (snm) = hc (Km)	2,559	1,738	0,991
Distancia HORZ (Km)	94	63	73
hant (m)	60	22	50
hs (Km)	2,619	1,760	1,041
hp (Km)	25	25	25
he (Km)	22,381	23,24	23,959
de (Km)	96,627	67,149	76,831
Ángulo de elevación E	13,39°	20,24°	18,17°



Tipo de enlace	Up	Down	Up	Down	Up	Down
Frecuencia (GHz)	31,28	28	31,28	28	31,28	28
Polarización	H	V	H	V	H	V
Ancho de banda (MHz)	13,3		13,3		13,3	
$L_{sist}$ (dB)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
$G_{atx}$ (dBi)	38	26	37	30	41	33
$G_{arx}$ (dBi)	26	38	30	37	33	41
$P_{tx}$ (dBw)	9	5	8	5,5	8,5	5
PIRE (dBw)	46,5	30,5	44,5	35	39,5	33,5
d.f.p. $\phi$ (dB (W/m <sup>2</sup> · MHz))						
$L_{fs}$ (dB)	162,057	161,095	158,896	157,933	160,066	159,103
Zona	N		N		N	
$L_{atm}$ (dB)	$1,783 \cdot 10^{-2}$	$1,582 \cdot 10^{-2}$	$1,230 \cdot 10^{-2}$	$1,086 \cdot 10^{-2}$	$1,357 \cdot 10^{-2}$	$1,200 \cdot 10^{-2}$
Porcentaje de indisponibilidad por lluvia (%)	0.4		0.4		0.4	
R	95	95	95	95	95	95
$k_h$	0,206	-	0,206	-	0,206	-
$k_v$	-	0,1574	-	0,1574	-	0,1574
$\alpha_h$	1,010	-	1,010	-	1,010	-
$\alpha_v$	-	1,012	-	1,012	-	1,012
$\gamma_R$	20,481	15,792	20,481	15,792	20,481	15,792
$h_{lluvia}$ (Km)	4		4		4	
$L_s$ (Km)	5,963		6,474		9,448	
$r_{0,01}$	0,793		0,785		0,712	
$L_e$ (Km)	4,729		5,082		6,726	
$A_{0,01}$ (dB)	96,854	74,680	104,084	80,254	137,755	106,216
$A(p)$ (dB)	15,286	11,786	20,278	15,635	26,871	20,693
$P_{rx}$ (dBw)	-105,343	-104,881	-105,174	-102,068	-105,437	-101,796
T° de ruido	700	500	700	500	700	500
C/T (dBw)	-132,332	-13,331	-132,163	-130,518	-132,426	-130,246
C/No (dB)	96,268	95,269	96,437	98,082	96,174	98,354
Velocidad de datos de usuario R (MHz)	13,3		13,3		13,3	
BW (MHz)	20		20		20	
$E_b/No$ (dB)	25,029	24,030	25,198	26,843	24,935	27,115
$E_b/No$ (dB) requerida	23	23	23	23	23	23

Tabla 4.6 Datos obtenidos de los enlaces



#### **4.10 SERVICIOS QUE PUEDEN SER IMPLEMENTADOS EN EL SISTEMA**

Con la implementación de un sistema basado en la utilización de plataformas HAPS, se pueden brindar o ampliar un gran número de servicios ofrecidos actualmente por las infraestructuras o tecnologías con las que se cuentan hoy en día. Entre dicho servicios están:

Servicios de comunicación de banda ancha, servicios de acceso fijo, Internet, servicios multimedia, servicios de telefonía celular, servicios de prevención y detección de desastres, etc.

La implementación de un sistema como este en el territorio colombiano, tendría gran importancia o significado para la prestación de servicios de telefonía y cobertura en zonas en las cuales es casi imposible acceder por su accidentada geografía o difícil adquisición, tales como el amazonas, región Andina, y toda zona en la cual no se tiene cobertura total con las infraestructura actual, como por ejemplo, el trayecto entre Popayán - Pasto.



## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 CONCLUSIONES**

Con una sola plataforma HAPS se puede brindar una mayor o igual cobertura que la ofrecida por un grupo de estaciones base terrestres, lo cual no solo reflejará en costos de implementación y mantenimiento, sino también en la disminución de los efectos de exposición a radiofrecuencia en lo concerniente a la salud.

Un inconveniente es el mantener fija la estabilidad de la plataforma HAPS, ya que el posicionamiento de ésta en la estratosfera se ve afectado por la existencia de vientos que ejerzan fuerza sobre la plataforma.

La implementación de plataformas HAPS en la prestación de servicios inalámbricos permite satisfacer las grandes demandas y necesidades de los usuarios, tales como las altas tasas de datos, alta movilidad, debido a la gran cobertura que las plataformas brindan y técnicas de reuso de frecuencias.

Las plataformas HAPS, son ideales para la prestación de servicios inalámbricos de 3G como tecnología complementaria a la ya existente, debido a su rápido despliegue, técnicas de reuso de frecuencias, y bandas de frecuencia asignadas; aunque su mayor aplicación estará en la cuarta generación (4G).

Características como gran capacidad ofrecida, mayor flexibilidad, grandes áreas de cobertura, y manejo de técnicas de reuso de frecuencia, entre otros, comparada con los sistemas satelitales e infraestructuras terrestres, hacen posible que las plataformas HAPS sean ideales para la prestación de servicios de tercera generación (3G), de comunicación de



banda ancha, servicios multimedia de gran capacidad entre otros. Una HAPS esta en la capacidad de atender a más usuarios (425.000 conversaciones simultaneas) que los atendidos por los sistemas satelitales y terrestres.

Para realizar una evaluación exacta de una situación de HAPS múltiple deben utilizarse en los cálculos las características de cada uno de los sistemas HAPS. Si no se dispone de esa información para uno o más de los sistemas, puede obtenerse una indicación aproximada como referencia, al ser sistemas que no han sido probados aún.

En Colombia el sistema podría cubrir regiones como la Amazonía, los Llanos y en general en zonas rurales, que son sectores en los cuales las comunicaciones son escasas y muy necesarias.

En Colombia se debe tener en cuenta los inconvenientes relacionados con las pérdidas por lluvia en zonas como el Chocó en donde la intensidad de lluvia es muy alta.

La asignación de frecuencias para Colombia debe ser reasignada para el funcionamiento de las plataformas, o debe realizarse una política de compartición de frecuencias con sistemas LMDS.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

Ampliar el estudio realizado profundizando en otros aspectos como el comportamiento y funcionamiento de una plataforma HAPS con sistemas satelitales u otras plataformas HAPS (HAPN); analizando las características de un enlace entre plataformas, cual debe ser la distancia mínima entre ellas y la zona de cobertura que ofrece dicha red, también ampliar el estudio sobre como se presenta el mantenimiento de la posición mediante GPS, y como se presenta el establecimiento de un enlace con un satélite del SFS.



Estudio del comportamiento de las plataformas HAPS, dependiendo de las bandas de frecuencias utilizadas, tecnologías de acceso como CDMA, TDMA, de las cuales pueden hacer uso y combinación entre ellas, con otros sistemas como IMT-2000.

La Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones debería mantenerse actualizada de manera periódica en cuanto a la normatividad de la UIT.

A medida que se amplíe el conocimiento sobre el tema, contactar Universidades como la Universidad de York, con la cual se podría hacer una alianza para la investigación de un determinado tema, como el diseño de la central de comunicación del sistema.



## ACRONIMOS

<b>3GPP</b>	<i>3rd Generation Partnership Project</i> – Proyecto Societario de la 3G
<b>AMPS</b>	<i>Advanced Mobile Phone System</i> – Sistema de Telefonía Móvil Avanzada
<b>AOM</b>	Administración, Operación y Mantenimiento
<b>ARC</b>	Comunicaciones de Relevé Aerotransportadas
<b>ATM</b>	<i>Asynchronous Transfer Mode</i> – Modo de Transferencia Asíncrono
<b>BER</b>	<i>Bit Error Rate</i> – Tasa de Error de Bits
<b>B-FWA</b>	<i>Broadband Fixed Wireless Access</i> – Acceso Inalámbrico Fijo de Banda Ancha
<b>BWA</b>	<i>Broadband Wireless Access</i> – Acceso Inalámbrico de Banda Ancha
<b>CDMA 2000 1xEV-DO</b>	<i>Evolution Data Only</i> – Evolución solo Datos
<b>CDMA 2000 1xEV-DV</b>	<i>Evolution Data Voice</i> - Evolución Datos y Voz
<b>CDMA</b>	<i>Code Division Multiple Access</i> - Acceso Múltiple por División de Código
<b>CMR:</b>	Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones de la UIT
<b>CPE</b>	<i>Customer Premises Equipment</i> – Equipo Local de Abonado



<b>DAB</b>	<i>Digital Audio Broadcasting</i> – Difusión de Audio Digital
<b>DECT</b>	<i>Digital Enhanced Cordless Telecommunication</i> – Telecomunicaciones Digitales sin Hilos Mejoradas
<b>DFP</b>	Densidad de Flujo de Potencia
<b>DGPS</b>	<i>Differential Global Positioning System</i> – Sistema de Posicionamiento Global Diferencial
<b>DVB</b>	<i>Digital Video Broadcasting</i> – Difusión de Video Digital
<b>DVD</b>	<i>Digital Video Disk</i> - Disco de Video Digital
<b>EDGE</b>	<i>Enhanced Data Rates for Global Evolution</i> - Velocidades de Datos Mejoradas para la Evolución de GSM
<b>EHF</b>	<i>Extra High Frequencies</i> - Frecuencias Extremadamente Altas
<b>ETSI</b>	<i>European Telecommunications Standards Institute</i> – Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones
<b>FDMA</b>	<i>Frequency Division Multiple Access</i> - Acceso Múltiple por División de Frecuencia
<b>FEC</b>	<i>Forward Error Correction</i> – Corrección de Errores hacia delante
<b>FSK</b>	<i>Frequency Shift Keying</i> - Modulación por conmutación en Frecuencia
<b>FSPL</b>	<i>Free Space Path Loss</i> - Pérdidas de espacio libre



<b>GPRS</b>	<i>General Packet Radio System</i> – Sistema General de Paquetes de Radio
<b>GPS</b>	<i>Global Positioning System</i> – Sistema de Posicionamiento Global Diferencial
<b>GSM</b>	<i>Global System for Mobile Communications</i> - Sistema Global para Comunicaciones Móviles
<b>GSMA</b>	Asociación de GSM
<b>HALO</b>	<i>High Altitude Long Operation</i> – Aviones a Gran altitud y Larga Operación
<b>HAPN</b>	<i>HAPs Network</i> - Red de HAPs
<b>HAPS</b>	<i>High Altitude Platform Stations</i> - Estaciones Situadas en Plataformas de Gran Altitud
<b>IDEAM</b>	Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios ambientales
<b>IEEE</b>	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i> – Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
<b>IMT-2000</b>	<i>International Mobile Telecommunications 2000</i> – Telecomunicaciones Móviles Internacionales para el año 2000
<b>IMT-CDMA Multi Carrier, MC</b>	IMT-2000 CDMA Portadora Múltiple
<b>ISDN</b>	<i>Integrated Services Digital Network</i> – Red Digital de Servicios Integrados
<b>ISP</b>	<i>Internet service provider</i> - Proveedores de servicio de Internet
<b>LAN</b>	<i>Local Area Network</i> - Redes de Área Local



<b>LEO</b>	<i>Low Earth Orbit</i> - Satélites de orbita baja
<b>LMDS:</b>	<i>Local Multipoint Distribution Service</i> – Sistema de Distribución Multipunto Local
<b>LPI</b>	<i>Low Probability Interception</i> - Probabilidad Baja de Interceptación
<b>MAC</b>	<i>Medio Access Control</i> – técnicas de Control de Acceso al Medio
<b>MBS</b>	<i>Mobile Broadband System</i> - Sistema móvil de ancho de banda
<b>MTBF</b>	<i>Mean Time Between Failure</i> – Tiempo Medio Entre Fallas
<b>MTRH</b>	<i>Mean Time To Repair</i> – Tiempo Medio para Reparaciones
<b>MVDS</b>	<i>Multipoint Video Distribution System</i> - Distribución de Servicios de video multipunto
<b>NGN</b>	<i>New Generation Networks</i> - Redes de Nueva Generación
<b>NMT</b>	<i>Nordic Mobile Telephone</i> – Telefonía Móvil Nórdica
<b>OFDM</b>	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i> - Multicanalización por División de Frecuencias Ortogonales o Modulación Multiportadora
<b>PDC</b>	<i>Personal Digital Cellular</i> - Sistema Digital Celular Personal
<b>PIRE</b>	Potencia Isotropica Efectiva Radiada
<b>PSK</b>	<i>Phase Shift Keying</i> – Modulación por conmutación en Fase



<b>PSTN</b>	<i>Public Switching Telecommunications Network</i> - Red Telefónica Pública Conmutada
<b>QAM</b>	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i> - Modulación de Amplitud en Cuadratura
<b>QoS</b>	<i>Quality and Service</i> – Calidad de Servicio
<b>RDPC</b>	Red de Datos Pública Conmutada
<b>RF</b>	<i>Radio frequency</i> - Radio Frecuencia
<b>RTPC</b>	Red Telefónica Pública Conmutada y de datos
<b>SFS</b>	<i>Service Fixe par Satellite</i> - Sistema Fijo por Satelite
<b>SMS</b>	<i>Short Message Service</i> – Servicio de Mensajes Cortos
<b>TACS</b>	<i>Total Access Communication System</i> – Sistema de Comunicación de Acceso Total
<b>TDM</b>	<i>Time Division Multiplex</i> – Multiplexación por División de Tiempo
<b>TDMA</b>	<i>Time Division Multiple Access</i> - Acceso Múltiple por División de Tiempo
<b>TD-SCDMA</b>	<i>Time División Synchronous Code División Múltiple Access</i> - Acceso Múltiple por División de Código y División de Tiempo
<b>UAV</b>	<i>Unmanned Aerial Vehicles</i> - Vehículo Aéreo no tripulado
<b>UIT</b>	<i>International Telecommunication Union</i> - Unión Internacional de Telecomunicaciones



HAPS (Estaciones situadas en Plataformas de Gran Altitud), una nueva alternativa  
para las Telecomunicaciones

---

KAROL EUGENIA MUÑOZ RAMÍREZ    JAIRO ANDRÉS LASSO MORENO

- UIT-R**      *UIT Radiocommunication* – UIT Sección de Radiocomunicaciones
- UMTS**      *Universal Mobile Telecommunication System* - Sistema de  
Telecomunicaciones Móviles Universal
- WAP**      *Wireless Application Protocol* – Protocolo de Aplicación Inalambrica
- WARC-92**    *World Administrative Radiocommunications Conference* - Conferencia  
Administrativa Mundial de Telecomunicaciones
- WCDMA**    *Wideband Code Division Multiple Access* - Acceso Múltiple por División de  
Código de Banda Ancha
- WCDMA**    *Wideband Code Division Multiple Access* - Acceso Múltiple por División de  
Código de Banda Ancha
- WLAN**      *Wireless Local Area Network* - Redes de Área Local Inalámbricas



## GLOSARIO

**3GPP** (3rd Generation Partnership Project – Proyecto Societario de la 3G): Organización que desarrolla las especificaciones para sistemas de 3G basados en la interfaz aérea UTRA de ETSI (UMTS), esta organización es responsable también por el futuro de las especificaciones de trabajo de GSM, incluye dentro de sus miembros a ETSI, ARIB, entre otros.

**AMPS** (Advanced Mobile Phone System – Sistema de Telefonía Móvil Avanzada): Estándar de telefonía móvil analógica que cubre los EE.UU, varias regiones de sudamérica y el Pacífico Sur. Un 80 por ciento de los clientes de teléfonos móviles de EE.UU. todavía utilizan el estándar AMPS, que no es compatible con los estándares de telefonía móvil europeos.

**ATM** (Asynchronous Transfer Mode – Modo de Transferencia Asíncrono): Transmisión orientada a paquetes y tecnología de conmutación para datos. Desarrollada originalmente para redes fijas terrestres, ATM está siendo utilizada para transmisiones inalámbricas. En el futuro, los paquetes de datos podrán ser transportados en el sistema UMTS utilizando celdas ATM.

**BACKHOUL** Un canal de comunicación terrestre que enlaza una estación terrestre con una red de conmutación local.

**BALANCE DE POTENCIAS:** En un sistema de comunicaciones ha de establecerse el balance de potencia entre el transmisor y el receptor, ya que el mínimo nivel de señal detectable en este último fija la potencia mínima que ha de suministrar el primero.

**BER** Bit Error Rate –Relación mínima de errores sobre el número total de bits.



**B-FWA** (Broadband Fixed Wireless Access – Acceso Inalámbrico Fijo de Banda Ancha)

**BLUETOOTH:** Es la norma que define un estándar global de comunicación inalámbrica, que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes equipos mediante un enlace por radiofrecuencia.

**BWA** Broadband Wireless Access – Acceso Inalámbrico de Banda Ancha: Es una alternativa para las conexiones de tierra para brindar una mayor velocidad en servicios multimedia en banda ancha combinando datos, vídeo y voz.

**CARGA ÚTIL:** Equipos de gestión de información y radiocomunicación en la plataforma HAPS

**CDMA** (Code Division Multiple Access - Acceso Múltiple por División de Código): Se refiere a los tipos de protocolo utilizado en la segunda y tercera generaciones de sistemas de comunicaciones móviles en Norteamérica, Corea y Japón. CDMA posibilita el uso de un mismo canal de transmisión por varios usuarios simultáneamente. Consecuentemente, el ancho de banda disponible puede ser utilizado con más eficiencia.

**CDMA 2000 1xEV-DO** Desarrollada comercialmente por KT Freetel y SK Telecom de Corea, permite a usuarios móviles una experiencia de Internet móvil y aplicaciones ricas en multimedia a velocidades de datos mayores de hasta 2,4 Mbps.

**CDMA 2000 1xEV-DV** Tecnología de 3G que integra voz y datos en la misma portadora. CDMA2000 1xEV-DV ha sido presentado ante la UIT para su aprobación formal como estándar.

**CELDAS:** Las modernas redes de telefonía móvil tienen una estructura celular. En mitad de cada célula se encuentra una torre de radio o una antena de radio, que se controla por un BTS.



**CLUSTER:** Conjunto o arreglos de celdas, se asemeja a la forma de un panal de abejas, también se denomina “patrón de agrupamiento de celdas”. Este agrupamiento da la posibilidad a la reutilización de las frecuencias en una misma área geográfica asignada al sistema.

**DENSIDAD DE FLUJO DE POTENCIA (dfp):** Es la potencia radiada por la antena en una dirección dada a una distancia suficientemente grande,  $d$ , por unidad de superficie. Permite obtener la calidad deseada en recepción en ausencia de interferencias.

**DGPS:** Sistema de correcciones para aumentar la precisión del GPS. Se necesita un receptor, que se adquiere a parte, que es capaz de captar y procesar la información que se envía por radio. Su aplicación prácticamente se reduce al campo profesional, principalmente en topografía.

**DVB:** Es un formato de transmisión de datos que multiplica varias veces la capacidad de un canal de transmisión. Las utilidades del DVB superan a las de la TV analógica convencional por esta característica.

**EDGE** (Enhanced Data Rates for Global Evolution - Velocidades de Datos Mejoradas para la Evolución de GSM): Velocidades de Datos Extendidas para la Evolución de GSM. Extensión dentro de GSM Fase2+ que posibilita transmisiones de datos superiores.

**FDMA** (Frequency Division Multiple Access - Acceso Múltiple por División de Frecuencia): Acceso Múltiple por División de Frecuencia. junto con TDMA y CDMA es una técnica por la que un canal de transmisión es utilizado por más de un usuario. El principio básico consiste en que el rango de frecuencias disponible se divide en varios sub-rangos ('bandas parciales'), que son entonces asignadas a diferentes usuarios.

**FOOTPRINTS:** Áreas en la tierra donde las señales a partir de un satélite pueden ser recibidas. Incluye la energía de la señal recibida.



**GPRS**            (General Packet Radio System – Sistema General de Paquetes de Radio): Servicio General de Paquetes de Radio. tecnología principal de la generación 2,5 . GPRS se basa en la tecnología GSM y permite velocidades de transmisión de datos superiores (velocidad 144 Kbps). La principal modificación consiste en la introducción de transmisiones de datos orientas a paquetes.

**GSM**            (Global System for Mobile Communications - Sistema Global para Comunicaciones Móviles): Sistema Global para Comunicaciones Móviles. el estándar 2G europeo para la comunicación móvil . GSM utiliza los rangos de frecuencia de los 900 MHz y 1800 MHz. En EE.UU., redes regionales GSM operan en la frecuencia de los 1.900 MHz. Esta variación de los 1900 MHz también se denomina PCS.

**HALO**            (High Altitude Long Operation – Aviones a Gran altitud y Larga Operación): Avión tripulado ideado para ofrecer servicios de telecomunicaciones de banda ancha.

**HANDOVER:** El Handover, o transferencia de conexión portadora entre estaciones de base debida al movimiento del terminal. Es la función que supone un cambio de canales físicos radio o terrestres durante una llamada manteniendo dicha llamada.

**HELINET** : Proyecto fundado por la European Framework V en Enero del 2000. Ha desarrollado tres prototipos de aplicaciones: para servicios de comunicación de banda ancha, monitoreo ambiental y localización de vehículos.

**HELIPLAT:** Plataforma alimentada por energía solar, con una carga útil de 100 Kgr y una potencia de 100W.

**IEEE:** Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos. Es una sociedad profesional con membresía en todo el mundo. Se empeña en actividades técnicas educacionales y profesionales que promueven la teoría y la práctica de la electrotecnología para el desarrollo personal y profesional de sus miembros.



**ITU** (International Telecommunication Union - Unión Internacional de Telecomunicaciones): Es un grupo internacional que promueve la adopción de estándares de telecomunicaciones para asegurar compatibilidad de facilidades de telecomunicación entre países.

**JITTER:** Error causado por una señal fuera de sincronización con otros dispositivos que produce oscilaciones de corta duración y no acumulativas con frecuencia mayor a 0,01 Hz.

**REDES AD-HOC:** Formadas por hosts móviles y que pueden estar conectados entre sí arbitrariamente y de manera dinámica. Es decir, no hay ningún elemento fijo y la topología de la red puede adoptar múltiples formas siendo igual de funcional. En este tipo de redes, todos los nodos funcionan como enrutadores y se ven involucrados tanto en el descubrimiento como en el mantenimiento de rutas. Algunos ejemplos de uso de las redes Ad-Hoc son: Operaciones de emergencia de búsqueda y rescate, convenciones y análisis de datos en terrenos catastróficos.

**ROAMING:** Se da en el momento en que los clientes del servicio celular utilizan los servicios de proveedores de telefonía celular de otras ciudades, cuando dejan su área de servicio local.

**UMTS** (Universal Mobile Telecommunication System - Sistema de Telecomunicaciones Móviles Universal): El más famoso y prometedor miembro de la familia IMT-2000 o Tercera Generación. Las redes UMTS están basadas en las tecnologías de transmisión TD-CDMA y W-CDMA y ofrecen servicios multimedia mediante altas velocidades de transmisión de datos.

**WCDMA** (Wideband Code Division Multiple Access - Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha): Extensión de banda ancha de CDMA con altos anchos de banda. El estándar de radio IMT-2000 de UMTS proporciona el método de W-CDMA al modo de transmisión de radio. W-CDMA se utiliza principalmente en Europa en el contexto de la migración de GSM a UMTS.



## **BIBLIOGRAFÍA**

### **DOCUMENTOS PDF**

- D.Grace, T.C. Toser y N. E. Daly. Communications from high altitude platforms –a complementary or disruptive technology?. Noviembre 2001.
- C. L., Wrench y S.,Ventouras. The impact of propagation on effective operation of a High Altitude Platform based communications system. RCRU, CCLRC-Rutherford Appleton Laboratory, United Kingdom. 2000.
- OFCOM- FEDERAL OFFICE OF COMMUNICATIONS. HAPS- High Altitude Platform Stations. 1998.
- D., Grace y T.C., Tozer. High Altitude Platform for wireless communications. Electronics & Communications Engineering Journal. Junio 2001.
- ZAVERI, Rahul y JOBSON, Tom. Blimps as research platforms. Atmospheric Sciences Pacific Northwest National Laboratory. Abril 2002.
- D. Grace, N. E. Daly y T. C. Tozer, A. G. Burr. LMDS from High Altitude Aeronautical Platforms. Communications Research Group, Department of Electronics University of York, York YO10 5DD. United Kingdom. Abril 1999.
- UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA. Antenas, Consideraciones generales sobre antenas. Parámetros. Departamento de comunicaciones. Septiembre 2000.
- CDMA DEVELOPMENT GROUP. CDMA2000, 3G hoja informativa. Junio 2003.
- CDMA DEVELOPMENT GROUP. CDMA2000, Telecomunicaciones avanzadas para una Costa Rica emprendedora. San José de Costa Rica. Marzo 2003.



- PEARSON, Chris. The power of TDMA-based technologies & the 3G evolution. Universal Wireless Communications Consortium. Junio 2001.
- MARTIN MARTINEZ, Jorge Alberto. LMDS Banda Ancha Inalámbrica. Departamento de instalaciones y transmisión de datos. Abril 2003.
- GRUPO DE COMUNICACIONES RADIO. Sistemas 4G conceptos y retos. Mayo 2003.
- DISH, Sarah y NICODEMUS, Robert. 3G or 4G: That is the question. Mayo 2002.
- B. G., Evans, K y Baughan. Version of 4G. 2000.
- MORENO NOVELLA, José Ignacio. La Internet y los sistemas móviles de 4G. Departamento de Ingeniería Telemática. Universidad Carlos III de Madrid. Julio 2003.
- Historia y Estándares actuales. Capitulo 1. Abril 2003.
- SÁNCHEZ GARCIA, Jaime. Comunicaciones Inalámbricas de 4ta generación. Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones. Instituto tecnológico de Chihuahua. 2001.
- TOSER, Tim. High Altitude Platforms (“HAPS”). SkyLARC Technologies LTD. The University of York. 2000.

## RECOMENDACIONES

- Recomendación UIT-R F.699-5. Diagramas de radiación de referencia de antenas de sistemas de radioenlaces con visibilidad directa para utilizarlos en los estudios de coordinación y en la evaluación de la interferencia en la gama de frecuencias de 1 GHz a unos 70 GHz
- Recomendación UIT-R F.758-3. Consideraciones relativas a la elaboración de criterios para la compartición entre el servicio fijo terrenal y otros servicios.
- Recomendación UIT-R. F.1029. Criterios de interferencia para la teledetección pasiva por satélite.
- Recomendación UIT-R F.1245-1. Modelo matemático de diagramas de radiación media y diagramas conexos para antenas de sistemas de radioenlaces punto a



punto con visibilidad directa para aplicarlo en ciertos estudios de coordinación y en la evaluación de la interferencia en la gama de frecuencias de 1 GHz a unos 70 GHz.

- Recomendación UIT-R SF.1395. Atenuación mínima de propagación debida a los gases atmosféricos que debe utilizarse en los estudios de compartición de frecuencias entre el servicio fijo por satélite y el servicio fijo.
- Recomendación UIT-R SF.1481-1. Compartición de frecuencias entre sistemas del servicio fijo que utilizan estaciones situadas en plataformas a gran altitud y sistemas de satélites geostacionarios del servicio fijo por satélite que funcionan en las bandas 47,2-47,5 y 47,9-48,2 GHz.
- Recomendación UIT-R F.1500. Características preferidas de los sistemas del servicio fijo que utilizan plataformas de gran altitud en las bandas 47,2-47,5 GHz y 47,9-48,2 GHz.
- Recomendación UIT-R F.1501. Distancia de coordinación en los sistemas del servicio fijo cuando intervienen estaciones situadas en plataformas a gran altitud (HAPS) que comparten las bandas de frecuencias 47,2-47,5 GHz y 47,9-48,2 GHz con otros sistemas del servicio fijo.
- Recomendación UIT-R. F.1569. Características técnicas y operacionales para el servicio fijo que utiliza estaciones situadas en plataformas a gran altitud en las bandas 27,5-28,35 GHz y 31-31,3 GHz.
- Recomendación UIT-R M.1456. Características mínimas de calidad y condiciones de funcionamiento para las estaciones en plataformas a gran altitud que proporcionan IMT-2000 en las bandas 1 885-1 980 MHz, 2 010-2 025 MHz Y 2 110-2 170 MHz en las regiones 1 Y 3 Y 1 885-1 980 MHz y 2 110-2 160 MHz en la región 2.
- Recomendación UIT-R M.1457. Especificaciones detalladas de las interfaces radioeléctricas de las telecomunicaciones móviles internacionales-2000 (IMT-2000).
- NOC EUR/13A13/2. 5.537A.
- MOD EUR/13A13/4 5.543A.
- NOC EUR/13A13/5 5.552A.



## ENLACES INTERNET

<http://www.google.com.co>

<http://www.indo.com/distance/>

<http://www.cibertele.com/nuevo/acercade/mostrar.asp?doc=casatar.htm>

<http://www.itu.int/ITU-R/>

<http://www.satelitska-tv.com/>

<http://www.gr.ssr.upm.es/rcii/listatps.htm>

<http://wireless.iop.org/articles/feature>

<http://www.cdg.org/technology>

<http://neutron.ing.ucv.ve>

[http://www.mobileinfo.com/3G/4G\\_OFDM\\_Xilinc.htm](http://www.mobileinfo.com/3G/4G_OFDM_Xilinc.htm)

<http://www.aerovironment.com>

<http://www.skystation.com>

<http://www.lindstrand.co.uk>

<http://www.atgplc.com>

<http://www.skylarc.com>

<http://www.angelhalo.com>

## DOCUMENTOS

- ROMO R., Harol A. FUNDAMENTOS DE RADIOPROPAGACIÓN PARA ONDA TERRESTRE Y LÍNEA DE VISTA. Universidad del Cauca. 2000.
- HOLGUÍN R., Aldemar. ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE RADIO EN MICROONDAS DIGITALES. Universidad del Cauca 2000.
- VERA, Pedro. TELECOMUNICACIONES POR SATELITE. Universidad del Cauca 2001.
- TOMASI, Wayne. SISTEMAS DE COMUNICACIONES ELECTRÓNICAS. México. Prentice Hall Hispanoamérica 1996