

# Capítulo 1: Introducción

## 1.1 Introducción

A principios de 1960, la American Telephone and Telegraph Company (AT&T) publicó estudios, indicando que unos cuantos satélites poderosos, de diseño avanzado, podían soportar más tráfico que toda la red AT&T de larga distancia. El costo de estos satélites fue estimado en solo una fracción del costo de las facilidades de microondas terrestres equivalentes. Desafortunadamente, debido a que AT&T era un proveedor de servicios, los reglamentos del gobierno le impedían desarrollar los sistemas de satélites. Corporaciones más pequeñas y menos lucrativas pudieron desarrollar los sistemas de satélites y AT&T continuó invirtiendo billones de dólares cada año en los sistemas de microondas terrestres convencionales. Debido a esto los desarrollos iniciales en la tecnología de satélites tardaron en surgir.

A través de los años, los precios de la mayoría de los bienes y servicios han aumentado sustancialmente; sin embargo, los servicios de comunicación, por satélite, se han vuelto más accesibles cada año. En la mayoría de los casos, los sistemas de satélites ofrecen más flexibilidad que los cables submarinos, cables subterráneos escondidos, radio de microondas en línea de vista, radio de dispersión troposférica, o sistemas de fibra óptica.

Esencialmente, un satélite es un repetidor de radio en el cielo (transponder). Un sistema de satélite consiste de un transponder, una estación basada en tierra, para controlar el funcionamiento y una red de usuario, de las estaciones terrestres, que proporciona las facilidades para transmisión y recepción de tráfico de comunicaciones, a través del sistema de satélite. Las transmisiones de satélites se catalogan como bus o carga útil. La de bus incluye mecanismos de control que apoyan la operación de carga útil. La de carga útil es la información del usuario que será transportada a través del sistema. Aunque en los últimos años los nuevos servicios de datos y radioemisión de televisión son más y más demandados, la transmisión de las señales de teléfono de voz convencional (en forma analógica o digital).

El objetivo de las comunicaciones móviles por satélites es el establecimiento de comunicaciones móviles mediante satélites en órbita entre estaciones terrenas fijas y estaciones terrenas móviles. La necesidad de este nuevo servicio se basa en el hecho de que al final del presente siglo los sistemas de comunicaciones móviles celulares terrestres tales como GSM o PCS, darán servicio al cincuenta por ciento de la población, pero sólo al quince por ciento de la superficie terrestre. Incluso el hecho de

desplazarse a otra ciudad puede dar lugar a problemas debido a la incompatibilidad entre los distintos sistemas de comunicaciones móviles (a pesar del esfuerzo de estandarización, existen trece o catorce sistemas distintos de los que GSM es sólo uno más).

La solución a todos estos problemas puede ser un sistema global de comunicaciones móviles por satélite que permita el acceso a lugares remotos sin necesidad de grandes infraestructuras terrestres adicionales.

Los organismos regulatorios internacionales están buscando un estándar que permita el uso de los terminales de comunicaciones móviles por satélite en cualquier lugar del mundo. Las redes que ofrecen tales servicios reciben el nombre de Redes de Comunicaciones Personales por Satélite (S-PCN - Satélite Personal Communications Networks).

Aquellos que viajen a cualquier lugar del planeta, podrán usar el mismo terminal móvil con el mismo conjunto de servicios a los que estén suscritos en cualquier lugar del mundo, sin necesidad de familiarizarse con equipos diferentes cuando visiten distintos países.

El estándar de telefonía del sistema de comunicaciones móviles por satélite, será similar al proporcionado por las redes de comunicaciones móviles digitales según el estándar GSM. Además de los servicios de voz, los usuarios de este sistema tendrán acceso a otros servicios como fax o transmisión de datos en cualquier momento y en cualquier lugar de la Tierra.

Mientras que todavía cualquier sistema de telefonía móvil presenta problemas debidos a barreras regulatorias al cambiar de país, esto no sucederá con el sistema de comunicaciones móviles por satélite, facilitando la definición y el lanzamiento de los sistemas de comunicaciones móviles mundiales.

## **1.2 Motivación de las comunicaciones por satélite**

Desde el principio de los tiempos el hombre se ha comunicado con sus semejantes con el fin de transmitir información, con el paso del tiempo y las investigaciones tecnológicas se han conseguido formas de comunicaciones que apenas hace dos décadas parecían de ciencia ficción.

La constante evolución de las comunicaciones ha pasado en los últimos años por la aparición de la telefonía móvil, la televisión por satélite y la expansión de Internet a un ritmo que ni sus creadores podían imaginar. Pero todavía quedan muchos obstáculos a superar.

Paralelamente, la carrera espacial ha permitido abrir un nuevo horizonte en comunicaciones aéreas a larga distancia. Hasta los años 60 solo se podían alcanzar distancias de unos 10000 km mediante propagación ionosférica bajo estrictas condiciones meteorológicas.

En la actualidad disponemos de sistemas de telefonía móvil que ofrecen una cobertura del 95% del territorio español. Se puede mantener un enlace saltando de celda en celda sin perder calidad de transmisión gracias a la diversidad de antenas transmisoras.

La posibilidad de establecer enlaces a larga distancia mediante el uso de satélites ha ampliado los conceptos de comunicaciones de entornos reducidos hasta llegar a maximizarlos a escala mundial. Iridium, Globalstar o el sistema GPS son algunos de los más conocidos.

Numerosos estudios se están llevando a cabo con la finalidad de eliminar las fronteras de la comunicación y ampliar las redes de comunicaciones a todo el mundo mediante redes satelitales y a su vez aportar la libertad de movimiento que ofrece la telefonía móvil celular.

### **1.3 Sistemas de comunicaciones por satélite**

Las radiocomunicaciones por satélite tienen por objeto el establecimiento de radioenlaces entre estaciones fijas o móviles a través de repetidores activos o pasivos situados en una órbita alrededor de la Tierra.

La estructura básica de un sistema de telecomunicación por satélite guarda una estrecha analogía con la de un sistema de radioenlace terrenal con un repetidor, aunque existen importantes diferencias debidas a la inaccesibilidad del repetidor y las derivadas de la distancia y limitación de la potencia a bordo del satélite, con sus repercusiones de gran sensibilidad y reducido factor de ruido que se requiere en el receptor de la estación terrena.

La estación terrena transmisora recibe la señal en banda base a transmitir. En transmisión, se requieren normalmente potencias elevadas, asociadas a la reutilización de antenas de gran directividad.

El satélite es una estación repetidora que amplifica, cambia la banda y retransmite la señal radioeléctrica recibida, estableciendo conexiones entre las estaciones de su zona de cobertura.

La estación terrena receptora dispone de una antena muy directiva y un sistema receptor de muy bajo factor de ruido.

Los tipos de satélites según sus órbitas son:

- Satélites LEO (*Low Earth Orbit*, órbitas bajas)

Son los más cercanos a la Tierra. Orbitan la Tierra a una distancia de 160-2000 km y su velocidad les permite dar una vuelta al mundo en 90 minutos. Se usan para proporcionar datos geológicos sobre movimiento de placas terrestres y para la industria de la telefonía por satélite. Son necesarios más de 40 satélites para la cobertura total. Un observador solo tendrá cobertura por un satélite durante 10 minutos.

- Satélites MEO (*Medium Earth Orbit*, órbitas medias)

Son satélites con órbitas medianamente cercanas, de unos 10.000 km. Recorren una vuelta a la Tierra en 6 horas. Su uso se destina a comunicaciones de telefonía y televisión, y a las mediciones de experimentos espaciales. Un observador en la superficie de la Tierra “vería” uno de estos satélites durante 2 horas. Son necesarios entre 10 y 15 satélites para abarcar toda la Tierra.

- Satélites HEO (*Highly Elliptical Orbit*, órbitas muy elípticas)

Estos satélites no siguen una órbita circular, sino que su órbita es elíptica. Esto supone que alcanzan distancias mayores en el punto más alejado de su órbita. A menudo se utilizan para cartografiar la superficie de la Tierra, ya que pueden detectar un gran ángulo de superficie terrestre.

- Satélites GEO (Geoestacionarios)

Tienen una velocidad de traslación igual a la velocidad de rotación de la Tierra, lo que supone que se encuentren suspendidos sobre un mismo punto del globo terrestre. Por eso se llaman satélites geoestacionarios. Para que la Tierra y el satélite igualen sus velocidades es necesario que este último se encuentre a una distancia fija de 35.800 km sobre el ecuador. Se destinan a emisiones de televisión y de telefonía, a la transmisión de datos a larga distancia, y a la detección y difusión de datos meteorológicos. Actualmente hay centenares de satélites de comunicaciones situados a esta altura y describen órbitas circulares sobre la línea ecuatorial. Con tres satélites se puede ofrecer cobertura al 95% de la superficie terrestre.

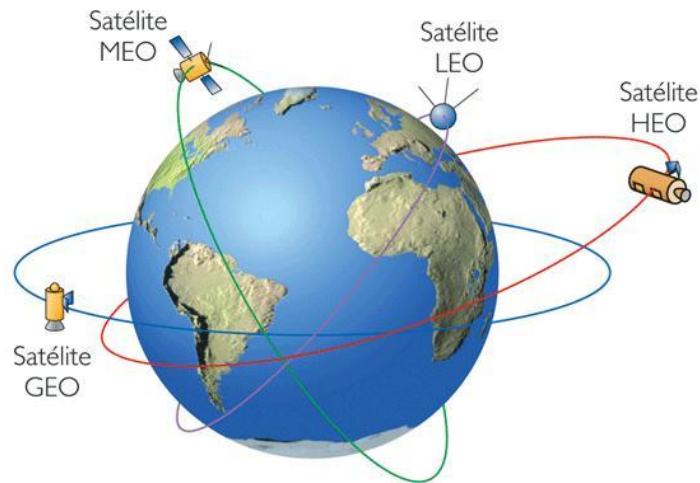


Figura 1.1: Satélites según sus órbitas.

Cada sistema tiene un tiempo de retardo en las comunicaciones asociado a la distancia con la Tierra. En sistemas unidireccionales como el Meteosat o la TV por satélite, este retardo se considera despreciable. Pero en sistemas de telefonía móvil como Iridium se ha minimizado al máximo para ofrecer una conexión suficientemente asequible.

Las inclemencias del medio de propagación con la señal radioeléctrica hacia o desde el satélite, afectan en mayor proporción a los sistemas GEO que a los LEO debido a la diferencia de distancias entre los terminales y los satélites en ambas órbitas. Por esta razón las comunicaciones móviles exigen la condición de línea de vista para mantener velocidades adecuadas, en este caso, el multitrayecto no puede usarse como mecanismo para ofrecer servicio en interiores teniendo en cuenta que estas componentes no podrían tener la potencia suficiente, aún usando receptores tipo Rake y amplificadores de alta potencia así como antenas de gran ganancia en el satélite.

La velocidad de los satélites en órbitas bajas respecto de las antenas en tierra, involucra el efecto doppler, el cual consiste en un aumento o disminución de la frecuencia recibida respecto de la transmitida por efecto del desplazamiento entre receptor y transmisor. No obstante este hecho puede corregirse en el segmento terreno debido a que la posición y velocidad de cada satélite es bien conocida, luego puede predecirse con alguna capacidad de procesamiento añadida a los equipos del usuario o bien por un mecanismo de exploración alrededor de la frecuencia estimada antes de establecer la comunicación. Debe aclararse que este fenómeno no afecta a los satélites en órbita geosincrónica debido a que estos permanecen aparentemente estáticos para las antenas dispuestas en tierra.

## 1.4 Efecto de los obstáculos sobre la propagación de la señal

En un entorno urbano lo más probable es que la señal encuentre edificios, árboles, farolas, etc. o incluso que el receptor atraviese un túnel (a diferencia de las comunicaciones con satélites de televisión o meteorológicos que se encuentran fijos y en línea directa). En estos casos la señal recibida estará formada por la línea de transmisión directa, LOS, y por las reflexiones con los alrededores, llegará degradada y su calidad dependerá de la potencia de emisión, de la velocidad del receptor, de la dispersión, del retardo debido al multitrayecto o de la dispersión Doppler que producirá una expansión espectral de la señal.

En entornos móviles será necesario proporcionar una cobertura constante y una calidad de señal óptima. Para ello se deberá trabajar con sistemas basados en la diversidad de señal, como veremos en el siguiente capítulo.

El análisis de la influencia de los obstáculos se realiza mediante los elipsoides de Fresnel, considerándose que la propagación se efectúa en condiciones de visibilidad directa si no existe ningún obstáculo dentro del primer elipsoide. Debido al carácter oscilatorio, es innecesario que el trayecto pase muy por encima de los obstáculos. Basta trabajar en el entorno de la primera zona de Fresnel, por lo que se utilizará como parámetro de referencia el radio  $R_1$ , haciendo  $n=1$  en:

$$R_1 = 548 * \sqrt{\frac{d_1 * d_2}{f * d}} \quad (1.1)$$

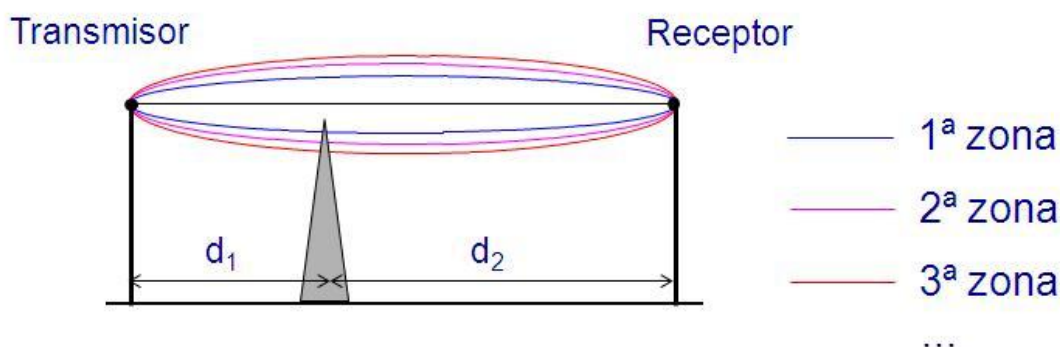


Figura 1.2: Zonas de Fresnel.

Cuando el rayo pasa cerca de un obstáculo o es interceptado por éste, experimenta una pérdida debida a la difracción. La difracción  $h$  entre el rayo y el obstáculo recibe el nombre de «despejamiento».

En la práctica se trabajo con «despejamiento normalizado»  $h/R_1$ . La zona correspondiente a la difracción es la comprendida entre  $-0.6 \leq h/R_1 \leq \infty$ .

La intensidad del desvanecimiento aumenta en general con la frecuencia y con la longitud del trayecto.

## **1.5 Introducción a la diversidad de satélites**

La diversidad de satélites, es la facultad ofrecida exclusivamente por los sistemas de orbitas no geosincrónicas para permitir que un usuario pueda "ver" varios satélites en un mismo momento. Esta condición reduce las posibilidades de bloqueo de la señal, pues permite el cambio de satélite a conveniencia del usuario e incluso podría aumentar la capacidad si establece comunicación con varios de ellos.

La probabilidad de bloqueo se relaciona directamente con el ángulo de elevación y con la cantidad de satélites visibles, al respecto la ventaja es de los sistemas no Geosincrónicos pues las constelaciones están diseñadas para ofrecer, dependiendo de la posición del usuario entre uno y tres satélites, mientras que los GEO, por su condición de amplia cobertura un usuario solo puede "ver" un satélite siempre.

## **1.6 Objetivos y alcances del proyecto**

El objetivo de este proyecto es el modelado del efecto de los edificios sobre la propagación de la señal en comunicaciones móviles por satélites, empleando modelos geométricos y estadísticos.

En este proyecto se ha intentado estudiar con un poco de más profundidad la recomendación ITU.R P.681-6.

Para ello, se han llevado a cabo una serie de simulaciones usando el programa Matlab, para recrear un escenario de propagación de la señal en comunicaciones móviles por satélites.

Se ha intentado demostrar mediante resultados gráficos el efecto de los edificios sobre la propagación de la señal en comunicaciones móviles por satélite.

## **1.7 Organización de la memoria**

Para llevar a cabo los objetivos propuestos, se ha organizado la memoria en varios capítulos, con la intención de estructurar adecuadamente los conceptos abordados en el proyecto.

En el capítulo 02, *Recomendación ITU*, se estudia desde un punto de vista teórico la Recomendación ITU-R P.681-6 en la que está basado nuestro proyecto.

En el capítulo 03, *Simulaciones en Matlab y resultados*, abordaremos la implementación de los códigos utilizados para las simulaciones. En este capítulo, se detallarán las experiencias con Matlab a lo largo del período de trabajo y los resultados obtenidos en las simulaciones citadas.

En el capítulo 04, *Conclusiones y futuras líneas de investigación*, se propondrán nuevas líneas de investigación que se pueden llevar a cabo a partir del trabajo realizado en este proyecto.

Por último, se dejará a modo de anexo el código utilizado para las simulaciones, así como la bibliografía empleada para la documentación del proyecto.