



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

**REDES INALAMBRICAS Y SATELITALES, PARA
ELABORAR UN PROYECTO DE REDES INALAMBRICAS
DE SERVICIOS DE INTERNET (WISP),
CON ENLACE SATELITAL**

**T E S I S
P R O F E S I O N A L**

**PARA OBTENER EL TITULO DE:
LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**

**PRESENTA:
PABLO VIDALS AGUILAR**

**ASESOR:
DRA. BARBARA SANCHEZ RINZA**



**F.C.C.
B.U.A.P.**

PUEBLA, PUE.

Diciembre 2008

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS

En primer lugar quiero agradecer a todas las personas e instituciones que me brindaron apoyo con material didáctico y asesora para poder terminar este trabajo de investigación: Dra. Bárbara Sánchez Rinza, M.C. Cesar de Jesús Cajica Gómez, SATMEX, C-Com Satellite Systems Inc., Wave Reader.

También quiero agradecer a mis Hermanos Antonia Vidals Aguilar, Patricio Vidals Aguilar por su ayuda en la corrección de algunos errores y captura del manuscrito.

Quiero dedicar en especial este trabajo a toda mi familia pero en particular a mis padres: Sr. Patricio Vidals Martínez y Sra. Teresa Aguilar López. Los cuales me han apoyado en muchas formas y a los cuales les debo todo el transcurso y culminación de mis estudios profesionales. Lo cual en lo particular apenas acaba de empezar mi trayectoria profesional.

ANTECEDENTES DEL PROYECTO

Cuando una persona física o moral establece una empresa siempre piensa en obtener beneficios y para esto, en muchas ocasiones se requiere de compartir recursos (impresoras, digitalizadores, computadoras, discos duros, archivos, el conocimiento de personas, etc.) y una solución es tener una red que puede ser local, metropolitana, nacional, amplia o global, dependiendo su amplitud de la dispersión geográfica de los recursos que queremos compartir. Esos recursos deben estar disponibles en el momento adecuado y que los datos o información que produzcan sean altamente confiables, esto es, que no sufran deterioro durante su transmisión. En ocasiones, será vital que contemos con réplicas de algunos recursos para que, dado el caso de un desastre en algún punto de la red, podamos consultar o acceder un recurso similar o de respaldo.

Las compañías también se han dado cuenta que resulta más barato tener una red de computadoras en donde reparten sus procesos productivos que tener una sola supercomputadora en donde concentren todo. Las ventajas de la red son: economía, capacidad de crecimiento más granular, capacidad de soportar fallas, capacidad de tener réplicas más económicas y otras.

El desarrollo tecnológico ha permitido que las computadoras sean accesibles cada vez a mayor número de personas en sus oficinas y en sus hogares, lo cual también implica que se puedan crear micro negocios de alta competitividad y con gastos mínimos. Este tipo de negocios ya no tienen el problema de contar con enormes capitales, ahora su problema es el saber en dónde acceder los recursos que necesitan para proveer bienes y servicios.

Por otro lado, cada vez es más común el usar diversos servicios (correo electrónico, fax, operaciones de compra-venta, reservaciones en hoteles y líneas aéreas, pláticas interactivas persona a persona, acceso al diario en formato electrónico, WWW y videoconferencia) desde una computadora personal en el hogar.

OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS

OBJETIVO GENERAL

Adquirir los conocimientos para comprender el funcionamiento de las Redes Inalámbricas y Satelitales (LAN, MAN Y WAN) tanto en su parte de software (Protocolos de Comunicación) y de Hardware (Routers, Gateways, Servidores, etc.), y así poder aplicar dichos conocimientos en la elaboración de un proyecto.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a)** Describir los conceptos específicos y la importancia de las redes de datos.
- b)** Describir la interconexión adecuada de dos o más equipos de cómputo en un mismo sitio y en sitios distantes, con diferentes formas y frecuencias.
- c)** Dar a conocer las características, tipos y coberturas de los satélites.
- d)** Abordar adecuadamente la instalación y configuración del hardware y software mediante un proyecto de redes de datos.

INDICE

ANTECEDENTES DEL PROYECTO

OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS

INTRODUCCION

CAPITULO 1 (INTRODUCCION A LAS REDES DE DATOS)

1.1 Aplicación de Negocios	1
1.2 Aplicaciones Domesticas	4
1.3 Usuarios Móviles	6
1.4 Aspectos Sociales	9

CAPITULO 2 (TRANSMISION INALAMBRICA)

2.1 Es Espectro Electromagnético	10
2.2 Radio Transmisión	13
2.3 Transmisión por Microondas	14
2.4 Ondas Infrarrojas y Milimétricas	17
2.5 Transmisión por Ondas de Luz	18

CAPITULO 3 (LANS INALAMBRICAS)

3.1 Pila de Protocolos del 802.11	20
3.2 Capa Física del 802.11	21
3.3 Protocolo de Subcapa MAC del 802.11	24
3.4 Estructura de Trama 802.11	26
3.5 Servicios	28

CAPITULO 4 (BANDA ANCHA INALAMBRICA)

4.1 Comparación de Estándares 802.11 y 802.16	31
4.2 Pila de Protocolos del 802.16	31
4.3 Capa Física del 802.16	33
4.4 Protocolo de la Subcapa MAC del 802.16	36

4.5 Estructura de Trama 802.16	38
--------------------------------	----

CAPITULO 5 (SATELITES DE COMUNICACIÓN)

5.1 Satélites Geoestacionarios	40
5.2 Satélites de Orbita Terrestre Media	43
5.3 Satélites de Orbita Terrestre Baja	43
5.3.1 Iridium	43
5.3.2 Globalstar	44
5.3.3 Teledesic	45
5.4 Satélites en Comparación con Fibra Óptica	45
5.5 Principios de un Sistema de Comunicación	47
5.5.1 Descripción de un Sistema de Comunicación	48
5.6 Existen dos Tipos Básicos de Sistemas de Comunicación	48
5.7 Tipos, Características y Coberturas de Satélites	50
5.8 Subsistemas de un Satélite	52
5.8.1 El Satélite Esta Conformado por las Siguietes Partes Principales	53
5.9 Aplicaciones de los Satélites	55
5.10 Satélites Mexicanos	56

CAPITULO 6 (PROYECTO DE REDES INALAMBRICAS DE SERVICIOS DE INTERNET WISP, CON ENLACE SATELITAL)

6.1 Diseño de la Topología del Proyecto WISP	71
6.2 Diseño de la Solución del Proyecto WISP	73
6.2.1 El Enlace Satelital	73
6.2.2 Servidor para el Control de Acceso a Internet	73
6.2.4 Estación Base Transmisora	74
6.2.5 Sistema de Administración de la Red	74
6.2.6 Equipos Terminales de los Usuarios	75
6.2.7 Red Inalámbrica LAN Local	75

Conclusiones del proyecto

Bibliografía

INTRODUCCION

En el transcurso de todo este desarrollo, lo que nos interesa revisar es la evolución de un sector tecnológico: El cómputo electrónico. Este nació con las primeras computadoras en la década de los 40's con los tubos al vacío y los tableros de control enchufables. Y fue así porque la necesidad del momento era extender la rapidez del cerebro humano para realizar algunos cálculos aritméticos y procedimientos repetitivos.

El esfuerzo en el cómputo electrónico se reflejó en crear unidades de procesamiento cada vez más veloces conforme la tecnología en la electrónica avanzaba. Así tenemos cuatro generaciones bien definidas: la primera con tubos al vacío, la segunda con transistores, la tercera con circuitos integrados y la cuarta con circuitos integrados que permitieron el uso de computadoras personales y el desarrollo de las redes de datos.

Una vez resuelto el problema de extender el poder de cálculo del cerebro humano nació o se comenzó a atacar el problema de compartir los datos y la información que ese poder de cálculo produjo, lo cual nos llevó a inventar la forma de compartir recursos (impresoras, graficadores, archivos, etc.) a través de algún medio de transmisión usando una serie de reglas (protocolos) para acceder y manipular dichos recursos.

Las redes de computadoras nos permitieron reunir esfuerzos aislados en esfuerzos conjuntos que producían bienes mayores (sinergia). Sin embargo, en una red la forma de acceder dichos recursos va de la mano con conocer la manera de llegar a esos recursos y saber cómo manipularlos, es decir, no hay transparencia. El siguiente salto tecnológico-filosófico es extender las redes de cómputo (extensiones del poder de cómputo de cerebros humanos aislados) hacia los sistemas distribuidos (una entidad vista como un todo y conformado por múltiples cerebros ubicados en localidades alejadas unas de otras que nos ofrecen servicios y recursos sin importar su ubicación).

CAPITULO 1

INTRODUCCION A LAS REDES DE DATOS

1.1 APLICACIONES DE NEGOCIOS

Muchas compañías tienen una cantidad considerable de computadoras. Computadoras separadas para supervisar la producción, controlar inventarios y hacer la nomina. Al principio estas computadoras hayan trabajado por separado pero, en algún momento, se tomo la decisión de conectarlas para extraer y correlacionar información de la compañía.

El objetivo de compartir recursos como: programas, equipo y particularmente los datos, es, que estos recursos estén disponibles para todos los que se conecten a la red, independientemente de la ubicación física del recurso y del usuario. Sin embargo, compartir información es tal vez mas importante que compartir recursos físicos, como impresoras, escáneres, etc. Para las compañías grandes y medianas, así como para muchas pequeñas, la información computarizada es vital. La mayoría de las compañías tienen en línea registros de clientes, inventarios, cuentas por cobrar, estados financieros, etc. Ahora depende de las redes de computadoras para tener acceso de manera instantánea a la información y a los documentos importantes.

En las compañías más pequeñas, es posible que todas las computadoras se encuentren en una sola oficina o en un solo edificio, pero en las más grandes, las computadoras y empleados pueden estar dispersos en docenas de oficinas y plantas en varios países. El hecho de que un usuario este a 15,000 Km. De sus datos no debe ser impedimento para que utilice esos datos como si fueran locales. En términos más sencillos, es posible imaginar el sistema de información de una compañía como si consistiera en una o mas bases de datos y algunos empleados que necesitan acceder a ellas de manera remota. En este modelo, los datos están almacenados en computadoras poderosas que se llaman servidores. Con frecuencia estos se encuentran alojados en una central y un administrador de sistemas les da mantenimiento. Los empleados tienen en sus escritorios maquinas mas sencillas llamadas clientes, con las que pueden acceder a datos remotos. Las maquinas clientes y servidor están conectadas por una red, como se muestra en la figura (1.1.1).

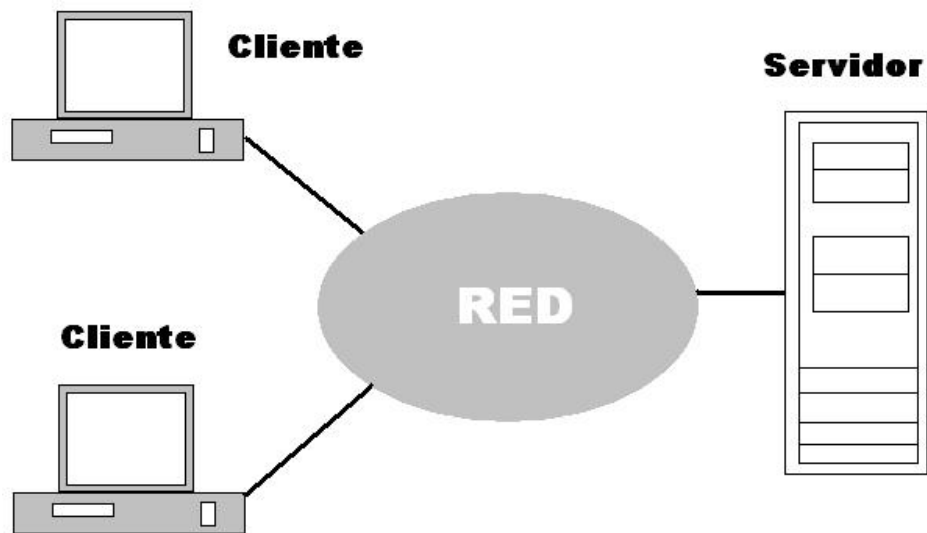


Figura (1.1.1) una red con 2 clientes y un servidor.

Este conjunto se conoce como **Modelo Cliente – Servidor**. Se utiliza ampliamente y forma la base en gran medida del uso de redes. Es aplicable cuando el cliente y el servidor están en el mismo edificio (ejemplo: cuando pertenecen a la misma compañía), pero también cuando están muy retirados. Ejemplo, cuando una persona en casa accede a una página Web, se emplea el mismo modelo, el servidor remoto Web es el servidor y la computadora personal del usuario es el cliente. En la mayoría de los casos, un servidor puede manejar una gran cantidad de clientes.

Si observamos con detalle el modelo cliente – servidor, nos daremos cuenta de que hay dos procesos involucrados, uno en la maquina cliente y otro en la maquina servidor. La comunicación toma la siguiente forma: el proceso cliente envía una solicitud a través de la red al proceso servidor y espera una respuesta. Cuando el proceso servidor recibe la solicitud, realiza el trabajo que se le pide o busca los datos solicitados y devuelve una respuesta. Estos mensajes se muestran en la figura (1.1.2).

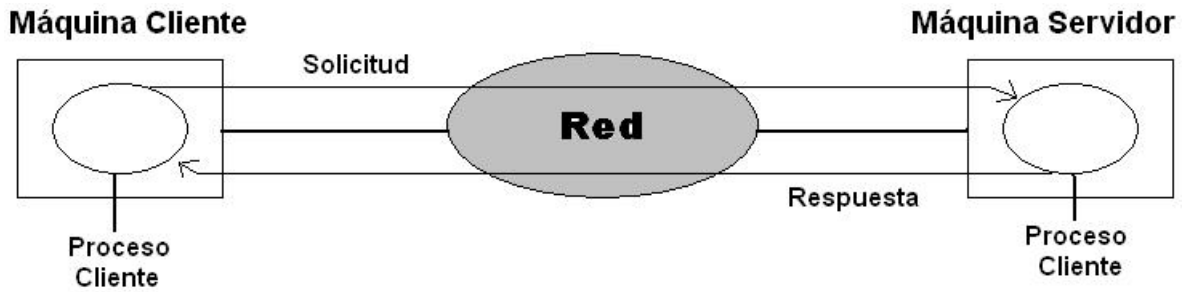


Figura (1.1.2) el modelo cliente – servidor implica solicitud y respuesta.

Una red de computadoras es un poderoso medio de comunicación. Casi todas las compañías que tienen dos o más computadoras cuentan con correo electrónico, mediante el cual los empleados mantienen generalmente una comunicación diaria. De hecho, una queja común es la cantidad de correo electrónico que se tiene que atender.

Pero el correo electrónico no es la única forma de comunicación mejorada que las redes de computadoras hacen posible. Con una red es fácil que dos o más personas que trabajan a distancia escriban en conjunto un informe. Si un empleado hace un cambio a un documento en línea, los demás pueden ver el cambio de inmediato. Esta agilización facilita la cooperación entre grupos de personas que no se encuentran en el mismo lugar, lo cual anteriormente era imposible.

Otra forma de comunicación asistida por computadora es la videoconferencia. Con esta tecnología, los empleados con ubicaciones distantes pueden tener una reunión, viéndose y escuchándose unos a otros incluso escribiéndose en una pizarra virtual compartida. La video conferencia es una herramienta poderosa para eliminar el costo y el tiempo que anteriormente se empleaba en viajar. Se dice que la comunicación y el transporte están en competencia, y el que gane hará obsoleto al otro.

Una tercera meta para las compañías es hacer negocios de manera electrónica con otras compañías, sobre todo proveedores y clientes. Mediante las redes de computadoras los fabricantes pueden hacer pedidos electrónicamente conforme

se requieran. Tener la capacidad de hacer pedidos en tiempo real para reducir la necesidad de tener grandes inventarios y mejorar la eficiencia.

Una cuarta meta que se esta volviendo mas importante es la de hacer negocios con consumidores a través de Internet. Sea descubierto que muchos consumidores prefieren realizar sus compras desde casa. Por lo tanto muchas compañías proporcionan catálogos de sus productos y servicios en línea y levantan pedidos de la misma manera. Es lo que conocemos como comercio electrónico.

1.2 APLICACIONES DOMESTICAS

¿Porque la gente compra computadoras para su uso domestico? En principio para procesamiento de texto y juegos. Talvez la razón más importante ahora sea el acceso a Internet. Algunos de los usos más comunes de Internet por parte de usuarios domésticos son los siguientes:

- 1.- Acceso a información remota.
- 2.- Comunicación de persona a persona.
- 3.- Entretenimiento interactivo.
- 4.- Comercio electrónico.

El acceso a la información remota se puede realizar por diversas razones. Puede ser que navegue por World Wide Web para obtener información o por diversión. La información puede incluir artes, negocios, cocina, gobierno, salud, historia, pasatiempos, recreación, ciencia, deportes, etc.

El tema más importante después de los periódicos son las bibliotecas digitales en línea. Algunas organizaciones como la ACM (www.acm.org) y la sociedad de computación del IEEE (www.computer.org), ya cuentan con muchos periódicos y presentaciones de conferencias en línea. Dependiendo del costo, tamaño y peso de las computadoras portátiles, los libros impresos podrían llegar a ser obsoletos.

La segunda gran categoría del uso de redes es la comunicación de persona a persona, básicamente la respuesta del siglo XXI al teléfono del siglo XIX. Millones

de personas en todo el mundo utilizan a diario el correo electrónico y su uso esta creciendo rápidamente. Ya es muy común que contenga audio y video, así como texto y figuras. Los aromas podrían tardar un poco más en implementarse.

Muchas personas utilizan los mensajes instantáneos. Esta característica, deriva del programa talk de UNIX, que se utiliza aproximadamente desde 1970, permite que las personas se escriban mensajes en tiempo real. Una versión de esta idea es el salón de conversación (Chat room) en el que un grupo de personas puede escribir mensajes para que todos los vean.

Otro tipo de comunicación de persona a persona a menudo se conoce como comunicación de igual a igual (peer to peer). De esta forma los individuos se pueden comunicar con otros del grupo, cada persona puede en principio comunicarse con una o mas personas, como se muestra en la figura (1.2.1).

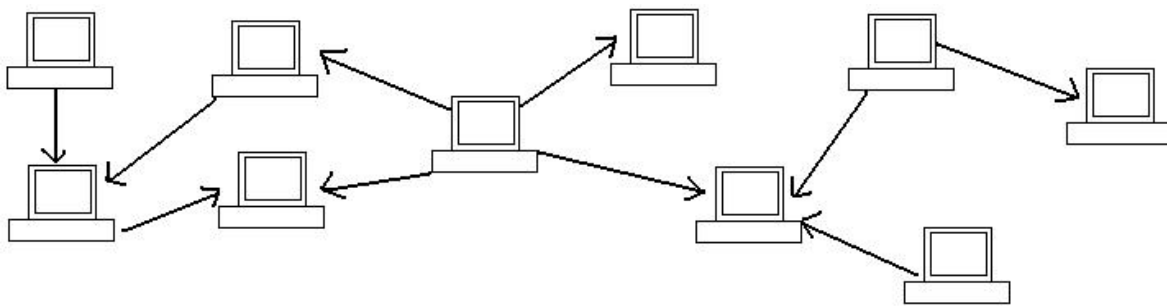


Figura (1.2.1) en el sistema de igual a igual no hay clientes ni servidores fijos.

Otras aplicaciones orientadas a la comunicación y de rápido crecimiento incluyen el uso de Internet para transportar llamadas telefónicas, el teléfono con video y radio por Internet. Otra aplicación es el tele aprendizaje. A largo plazo, el uso de las redes para mejorar la comunicación de persona a persona puede demostrar que esta es el área más importante.

El entretenimiento, que es una industria grande y en crecimiento. La aplicación dominante (la que podría impulsar al resto) es el video bajo demanda. De aquí a 10 años, podría seleccionar cualquier película o programa de televisión producido en cualquier país y proyectarlo en su pantalla al instante. Las películas nuevas

podrían llegar a ser interactivas, en las que se pediría ocasionalmente al usuario que eligiera el rumbo de la narración, con escenarios alternativos preparados para todos los casos. La televisión en vivo podría llegar a ser interactiva, permitiendo que la audiencia participe en programas de preguntas, elija entre los competidores, etc.

Talvez el video bajo demanda no sea la aplicación dominante. Podría ser la de los juegos. En la actualidad ya contamos con juegos de simulación de varias personas en tiempo real. Si los juegos se juegan con anteojos y tiempo real tridimensional, con imágenes de movimiento de calidad fotográfica, tenemos un tipo de realidad virtual compartida.

Otra categoría es el comercio electrónico en el mas amplio sentido de la palabra, el cual se esta dando en las instituciones financieras. Mucha gente ya efectúa sus pagos, administra sus cuentas bancarias y maneja sus inversiones de manera electrónica. Seguramente esto crecerá en cuanto las redes sean más seguras.

Las redes de computadoras podrían llegar a ser muy importantes para la gente que no vive en las grandes ciudades, pues les da el mismo acceso a servicios que a las personas que si viven en ellas.

1.3 USUARIOS MOVILES

Muchos usuarios de computadoras portátiles como notebook y los asistentes personales (PDAs), poseen maquinas de escritorio en la oficina y desean estar conectados a su base domestica cuando están de viaje o fuera de casa. Puesto que no es posible tener una conexión alámbrica en autos y aviones, hay un gran interés en las redes inalámbricas.

Con frecuencia, las personas que están de viaje desean utilizar sus equipos portátiles para enviar y recibir llamadas telefónicas, faxes y correo electrónico, navegar en Web, acceder a archivos remotos e iniciar sesión en máquinas remotas. Y desean hacer esto desde cualquier punto, ya sea por tierra, mar o aire. Por ejemplo, algunas universidades han instalado redes inalámbricas en sus

campus para que los estudiantes puedan consultar sus archivos de biblioteca o leer su correo electrónico sin importar su ubicación dentro de la universidad.

Aunque la conectividad inalámbrica y la computación portátil se relacionan frecuentemente, no son idénticas. Incluso en ocasiones las computadoras portátiles son alámbricas. Por ejemplo, si un viajero conecta una portátil a una toma telefónica en su habitación de hotel, tienen movilidad sin una red inalámbrica. En la figura (1.3.1) vemos la diferencia entre inalámbrica fija e inalámbrica móvil.

Inalámbrica	Móvil	Aplicaciones
No	No	Computadoras de escritorio en oficinas
No	Si	Una computadora portátil usada en un cuarto de hotel
Si	No	Redes en construcciones antiguas sin cableado
Si	Si	Oficina portátil; PDA para inventario de almacén

Figura (1.3.1) Combinaciones de redes inalámbricas y computación móvil.

Por otra parte, algunas computadoras inalámbricas no son móviles. Un ejemplo representativo sería una compañía que posee un edificio antiguo que no tiene cableado de redes y que desea conectar sus computadoras. La instalación de una red inalámbrica podría requerir un poco más que comprar una caja pequeña con algunos aparatos electrónicos. Sin embargo, esta solución podría ser mucho más barata que contratar trabajadores que coloquen ductos de cable para acondicionar el edificio.

También existen las aplicaciones inalámbricas móviles, que van desde la oficina portátil hasta las personas que pasean por una tienda con un PDA realizando un inventario. En muchos aeropuertos, los empleados de alquiler de coches trabajan en los estacionamientos con computadoras portátiles inalámbricas. Escriben el número de la placa de circulación de los autos alquilados, y su computadora

portátil, que tiene una impresora integrada, llama a la computadora principal, obtiene la información del arrendamiento e imprime la factura al instante.

La tecnología inalámbrica podría ahorrar dinero en la lectura de medidores de servicio público. Si los medidores de electricidad, gas, agua y otros servicios domésticos reportaran su uso a través de una red inalámbrica, no habría la necesidad de enviar lectores de medidores. Del mismo modo, los detectores inalámbricos de humo podrían comunicarse con el departamento de bomberos.

Otra aplicación totalmente diferente para las redes inalámbricas es la fusión esperada de teléfonos celulares y PDAs en computadoras inalámbricas diminutas. Un primer intento fue el de los diminutos PDAs que podían despegar páginas Web reducidas al mínimo en sus pantallas pequeñas. Este sistema llamado WAP 1.0 (protocolo de aplicaciones inalámbricas), falló en gran parte debido a sus pantallas microscópicas, bajo ancho de banda y servicio deficiente. Pero con WAP 2.0 serán mejores los dispositivos y servicios nuevos.

La fuerza que impulsa a estos dispositivos se llama comercio móvil (m-commerce). La fuerza que impulsa a este fenómeno consiste en diversos fabricantes de PDAs inalámbricos y operadores de redes que luchan por descubrir como ganar una parte del pastel del comercio móvil. Una de sus esperanzas es utilizar los PDAs inalámbricos para servicios bancarios y de compras. Una idea es utilizar los PDAs inalámbricos como un tipo de cartera electrónica, que autorice pagos en tiendas como un reemplazo en efectivo y las tarjetas de crédito. De este modo, el cargo aparecerá en la factura del teléfono celular. Desde el punto de vista de la tienda, este esquema le podría ahorrar la mayor parte de la cuota de la empresa de tarjetas de crédito, que puede ser un porcentaje importante. Desde luego, este plan puede resultar contraproducente, puesto que los clientes que están en una tienda podrían utilizar los PDAs para verificar los precios de la competencia antes de comprar los productos.

Un punto muy importante para el comercio móvil es que los usuarios de teléfonos celulares están acostumbrados a pagar por todo (en contraste con los usuarios de Internet, que esperan recibir prácticamente todo sin costo). Si un sitio Web

cobrara una cuota por permitir a sus clientes pagar con tarjeta de crédito, provocaría una reclamación muy ruidosa de los usuarios. Si un operador de telefonía celular permitiera que las personas pagaran artículos en una tienda utilizando el teléfono celular y luego cargara una cuota por este servicio, probablemente sus clientes lo aceptarían como algo normal.

1.4 ASPECTOS SOCIALES

La amplia introducción de las redes ha presentado problemas sociales, éticos y políticos. Desde el momento que un monitor en casa permite el acceso a tan variados recursos, se corre el riesgo de ver cosas indeseables. Existen en Internet diversos bancos de información accesibles desde foros de información (newgroups), boletines de información (bulletin board systems), páginas Web, etc.

Muchos de los bancos de datos requieren de permiso (proveer un nombre de usuario y clave de acceso) para accederlos. Otros permiten el acceso abierto y aquí reside el problema principal. Podemos darnos cuenta de temas que algunos sectores de la población apoyan y que talvez vayan contra nuestros principios (por ejemplo el tema del aborto, la pornografía, el racismo, etc.) y en algunos casos junto a los datos podemos ver imágenes que pueden ofender nuestro gusto o talvez pueden ser traumáticas para menores de edad.

Entonces enfrentamos el problema de que este vasto terreno de información puede estar fuera de control y accesible, tal vez, a personas no aptas para digerirlo. Este problema es similar a controlar las emisiones de las cadenas televisivas donde se contraponen la libertad de expresión contra los principios éticos y morales.

CAPITULO 2
TRANSMISION INALAMBRICA

2.1 EL ESPECTRO ELECTROMAGNETICO

Cuando los electrones se mueven creando ondas electromagnéticas que se pueden propagar por el espacio libre (aún en el vacío). La cantidad de oscilaciones por segundo de onda electromagnética es su **frecuencia**, f , y mide en **Hz** (en honor a Heinrich Hertz). La distancia entre dos puntos máximos (o mínimos) consecutivos se llama **longitud de onda** y se designa de forma universal con la letra griega λ (lambda).

Al conectarse una antena del tamaño apropiado a un circuito eléctrico, las ondas electromagnéticas pueden ser difundidas de manera eficiente y ser captadas por un receptor a cierta distancia. Toda la comunicación inalámbrica se basa en este principio.

En el vacío, todas las ondas electromagnéticas viajan a la misma velocidad, no importa cual sea su frecuencia. Esta velocidad, por lo general llamada **velocidad de la luz**, c , es aproximadamente 3×10^8 m/seg o de un pie (30 cm) por nanosegundo. En el cobre o en la fibra óptica, la velocidad baja a casi 2/3 de este valor y se vuelve ligeramente dependiente de la frecuencia. La velocidad de la luz es el límite máximo de velocidad. Ningún objeto o señal puede moverse más rápido que la luz. La relación fundamental entre f , λ y c (en el vacío) es:

$$\lambda f = c \quad (2.1.1)$$

En la figura (2.1.1) se muestra el espectro electromagnético. Las proporciones de radio, microondas, infrarrojos y luz visible del espectro pueden servir para transmitir información modulando la amplitud, frecuencia o fase de las ondas. La luz ultravioleta, los rayos X y los rayos gamma serían todavía mejores, debido a sus frecuencias más altas, pero son difíciles de producir y modular, no se propagan bien entre edificios y son peligrosas para los seres vivos. Las bandas que se listan en la parte inferior de la figura (2.1.1) son los nombres oficiales de la ITU y se basan en las longitudes de onda, de modo que la banda LF va de 1 a 10 km. (aproximadamente 30 a 300 kHz). Los términos LF, MF y HF se refieren a las frecuencias baja, media y alta, respectivamente. Como se podrá observar, cuando se asignaron los nombres, nadie esperaba que se superarían los 10 MHz, por

lo que posteriormente a las bandas más altas se les nombró como bandas VHF (frecuencia muy alta), UHF (frecuencia ultra alta), EHF (frecuencia extremadamente alta) y THF (frecuencia tremendamente alta).

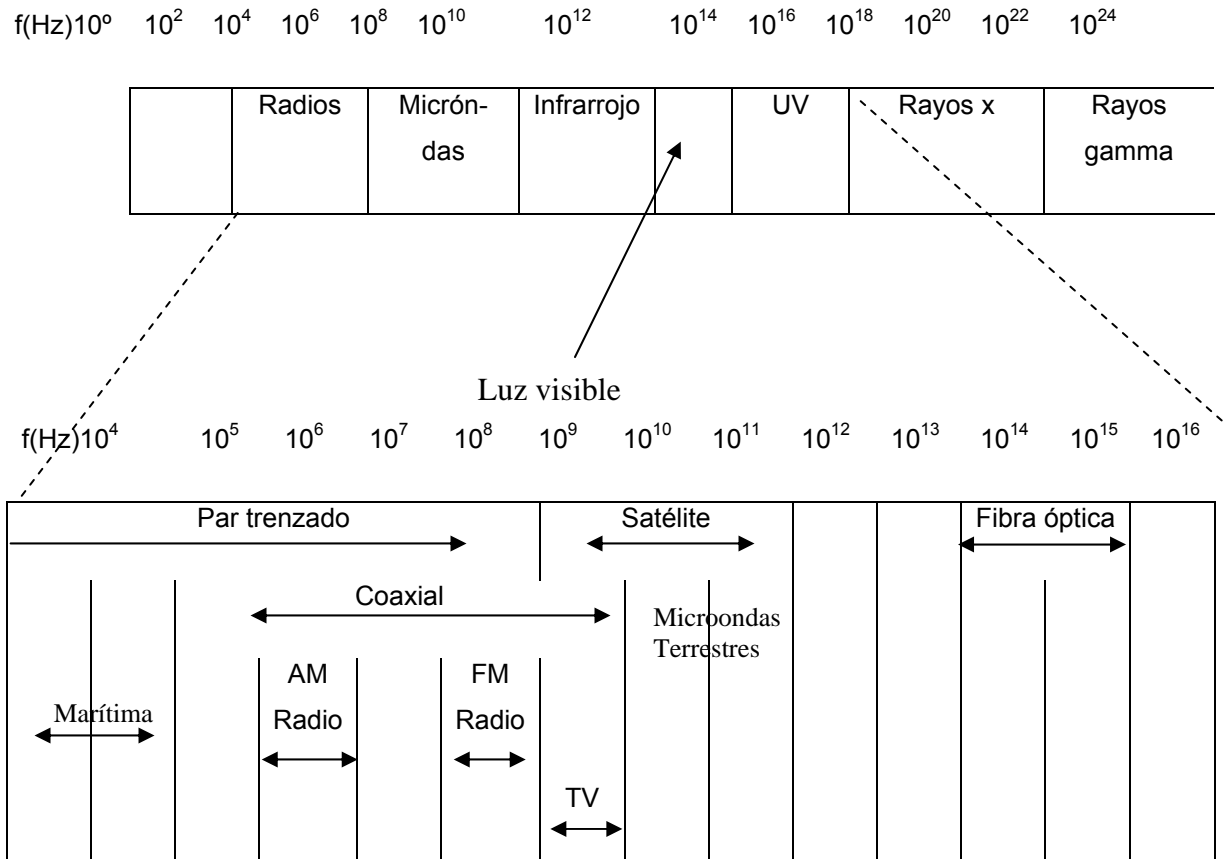


Figura (2.1.1) El espectro electromagnético y sus usos para comunicaciones.

La cantidad de información que puede transportar una onda electromagnética se relaciona con su ancho de banda. Con la tecnología actual, es posible codificar unos cuantos bits por hertz a frecuencias bajas, pero frecuencias altas el número puede llegar hasta 8, de modo que un cable coaxial con un ancho de banda de 750 MHz puede transportar varios gigabits/seg.

Si resolvemos la ecuación (2.1.1) para f y la diferenciamos con respecto a λ , obtenemos:

$$\left(\frac{df}{d\lambda} = -\frac{c}{\lambda^2}\right) \quad (2.1.2)$$

Si ahora usamos diferencias finitas en lugar de diferenciales y solo consideramos los valores absolutos, obtenemos: ecuación (2.1.2)

$$\Delta f = c\Delta\lambda/\lambda^2 \quad (2.1.3)$$

Por lo tanto, dado el ancho de una banda de longitud de onda, $\Delta\lambda$, podemos calcular la banda de frecuencia correspondiente, Δf , y a partir de ella, la tasa de datos que puede producir la banda. Cuando más ancha sea esta, mayor será la tasa de datos.

La mayoría de las transmisiones ocupa una banda de frecuencias estrecha. A fin de obtener la mejor recepción. Sin embargo, en algunos casos se utiliza una banda ancha, con dos variaciones. En el **espectro disperso con salto de frecuencia**, el trasmisor salta de frecuencia en frecuencia cientos de veces por segundo. Es popular en la comunicación militar debido a que de esta manera es difícil detectar las transmisiones y casi imposible intervenirlas. Ofrece buena resistencia al desvanecimiento por múltiples trayectorias debido a que la señal directa siempre llega primero al receptor. Las señales reflejadas siguen una trayectoria más larga y llegan más tarde. Para eso entonces, tal vez el receptor ya haya cambiado de frecuencia y no acepte señales de la frecuencia anterior, con lo que se elimina la interferencia entre las señales directas y reflejadas. En años recientes, esta técnica también se ha aplicado comercialmente por ejemplo, tanto 802.11 (Estándar diseñado para proporcionar comunicaciones inalámbricas de alto ancho de banda) como bluetooth (Red inalámbrica de corto alcance que interconecta dispositivos de comunicaciones y accesorios a través de radios inalámbricos de bajo consumo de energía, corto alcance y económicos) la utilizan.

El otro tipo de espectro disperso, es el **espectro disperso de secuencia directa** el cual dispersa la señal a través de una banda de frecuencia ancha, está ganando popularidad en el mundo comercial. En particular, algunos teléfonos móviles de segunda generación lo utilizan, y dominará en los de tercera generación, gracias a su buena eficiencia espectral, inmunidad al ruido y otras propiedades. Algunas LANs inalámbricas también la utilizan.

2.2 RADIOTRANSMISION

Las ondas de radio son fáciles de generar, pueden viajar distancias largas y penetrar edificios sin problemas, y por ello su uso está muy generalizado en la comunicación, tanto en interiores como en exteriores. Las ondas de radio también son omnidireccionales, lo que significa que viajan en todas direcciones a partir de la fuente, por lo que no es necesario que el transmisor y el receptor se encuentren alineados físicamente.

Las propiedades de las ondas de radio dependen de la frecuencia. A bajas frecuencias, esas ondas cruzan bien casi cualquier obstáculo, pero la potencia se reduce de manera drástica a medida que se alejan de la fuente, aproximadamente en proporción a $1/r^2$ en el aire. A frecuencias altas, las ondas de radio tienden a viajar en línea recta y a rebotar en los obstáculos. También son absorbidas por la lluvia. En todas las frecuencias, las ondas de radio están sujetas a interferencia por los motores y otros equipos eléctricos.

En las bandas VLF, LF y MF las ondas de radio siguen la curvatura de la tierra, como se muestra en la figura (2.2.1). Estas ondas se pueden detectar quizá a 1000 km. en las frecuencias más bajas, y a menos en frecuencias más altas. La difusión de radio AM usa la banda MF, y es por ello que las estaciones de radio AM de Boston no se pueden oír con facilidad en NY. Las ondas de radio en estas bandas cruzan con facilidad los edificios, y es por ello que los radios portátiles funcionan en interiores. El problema principal al usar bandas para comunicación de datos es su ancho de banda bajo.

En las bandas HF y VHF, las ondas a nivel del suelo tienden a ser absorbidas por la tierra. Sin embargo, las ondas que alcanzan la ionosfera, una capa de partículas cargadas que rodea a la tierra a una altura de 100 a 500 km, se refractan y se envían de regreso a nuestro planeta, como se muestra en la figura (2.2.2). En ciertas condiciones atmosféricas, las señales pueden rebotar varias veces. Los operadores de radio aficionados usan estas bandas para conversar a larga distancia. El ejército se comunica también en las bandas HF y VHF.

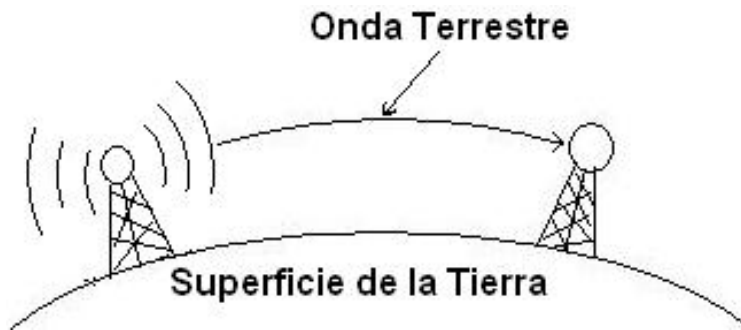


Figura (2.2.1) En las bandas VLF, LF y MF las ondas de radio siguen la curvatura de la tierra.

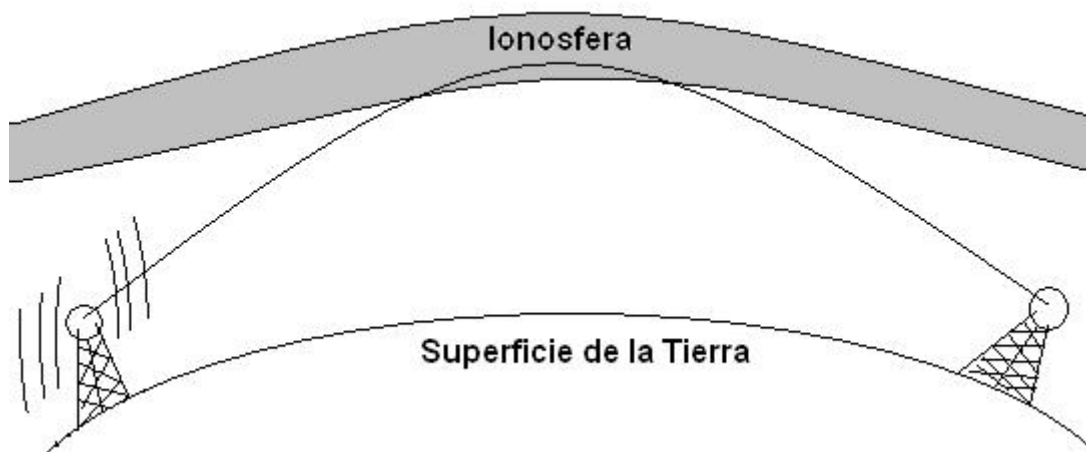


Figura (2.2.2) En la banda HF las ondas rebotan en la ionosfera.

2.3 TRANSMISION POR MICROONDAS

Por encima de los 100 MHz las ondas viajan en línea recta y, por lo tanto, se pueden enfocar en un haz estrecho. Concentrar toda la energía en un haz pequeño con una antena parabólica (como el tan familiar plato de televisión por satélite) produce una relación señal a ruido mucho más alta, pero las antenas transmisora y receptora deben estar bien alineadas entre sí. Además, esta direccionalidad permite que varios transmisores alineados en una fila se comuniquen sin interferencia con varios receptores en fila, siempre y cuando se sigan algunas reglas de espaciado. Antes de la fibra óptica, estas microondas formaron durante décadas el corazón del sistema de transmisión telefónica de larga distancia.

Ya que las microondas viajan en línea recta, si las torres están muy separadas, partes de la tierra estorbarán. Como consecuencia, se necesitan repetidores periódicos. Cuanto más altas sean las torres, más separadas pueden estar. La distancia entre los repetidores se eleva en forma muy aproximada con la raíz cuadrada de la altura de las torres. Con torres de 100 m. de altura, los repetidores pueden estar separados a 80 km de distancia.

A diferencia de las ondas de radio a frecuencias más bajas, las microondas no atraviesan bien los edificios. Además, aún cuando el haz puede estar bien enfocado en el transmisor, hay cierta divergencia en el espacio. Algunas ondas pueden refractarse en las capas atmosféricas más bajas y tardar un poco más en llegar que las ondas directas. Las ondas diferidas pueden llegar fuera de fase con la onda directa y cancelar así la señal. Este efecto se llama **desvanecimiento por múltiples trayectorias** y con frecuencia es un problema serio que depende del clima y de la frecuencia. Algunos operadores mantienen 10 % de sus canales inactivos como repuesto para activarlos cuando el desvanecimiento por múltiples trayectorias cancela en forma temporal alguna banda de frecuencia.

La creciente demanda de espectro obliga a los operadores a usar frecuencias más altas. Las bandas de hasta 10 GHz ahora son de uso rutinario, pero con las de aproximadamente 4 GHz surge un problema: son absorbidas por el agua. Estas ondas solo tienen unos centímetros de longitud y la lluvia las absorbe. Este efecto sería útil si se quisiera construir un enorme horno de microondas externo para rostizar a los pájaros que pasen por ahí, pero para la comunicación es un problema grave. Al igual que el desvanecimiento por múltiples trayectorias, la única solución es interrumpir los enlaces afectados por la lluvia y enrutar la comunicación por otra trayectoria.

En resumen, la comunicación por microondas se utiliza tanto para la comunicación telefónica de larga distancia, teléfonos celulares, distribución de la televisión, etc., que el espectro se ha vuelto muy escaso. Esta tecnología tiene varias ventajas significativas respecto a la fibra. La principal es que no se

necesita derecho de paso; basta con comprar un terreno pequeño cada 50 km y construir en él una torre de microondas para saltarse el sistema telefónico y comunicarse en forma directa.

Las microondas también son relativamente baratas. Construir dos torres sencillas (podría ser simplemente postes grandes con cables de retén) y poner antenas en cada una puede costar menos que enterrar 50 km de fibra a través de un área urbana congestionada o sobre una montaña, y también puede ser más económico que rentar la fibra de la compañía de teléfonos, en especial si esta aún no ha recuperado por completo la inversión hecha por el cobre que quitó cuando instaló la fibra.

LAS POLITICAS DEL ESPECTRO ELECTROMAGNETICO

Para evitar el caos total, hay acuerdos nacionales e internacionales acerca de quién utiliza cuáles frecuencias. Puesto que todos desean una tasa de transferencia de datos más alta, también desean más espectro. Los gobiernos nacionales asignan espectros para la radio AM y FM, la televisión y los teléfonos móviles, así como para las compañías telefónicas, la policía, la marina, la milicia, el gobierno y muchos otros usuarios en competencia. A nivel mundial, una agencia de la ITU – R trata de coordinar esta asignación de manera que se puedan fabricar los dispositivos que operan en diversos países. Sin embargo, los países no están atados a las recomendaciones de la ITU – R por lo que la FCC (comisión federal de comunicaciones), que hace la asignación para estados unidos, ha rechazado ocasionalmente las recomendaciones de la ITU – R (por lo general, porque estas recomendaciones pedía algún grupo políticamente poderoso que se diera una parte del espectro).

Incluso cuando una parte del espectro se ha asignado para un uso en particular, como para los teléfonos móviles, existe un aspecto adicional de cuál empresa portadora tiene permitido utilizar cuáles frecuencias.

Un enfoque para asignar frecuencias es no asignarlas por completo. Tan solo se deja que todos transmitan a voluntad, pero se regula la potencia utilizada de manera que las estaciones tengan un rango tan corto que no interfieran entre

ellas. Por consiguiente, la mayoría de los gobiernos han aportado algunas bandas de frecuencias, llamadas bandas **ISM (industriales, médicas y científicas)** de uso no autorizado. Los dispositivos para abrir puertas de garaje, teléfonos inalámbricos, juguetes, ratones inalámbricos y muchos otros dispositivos inalámbricos domésticos utilizan la banda ISM. Para minimizar la interferencia entre estos dispositivos, la FCC exige que todos los dispositivos que utilizan las bandas ISM utilicen técnicas de espectro disperso.

La ubicación de las bandas ISM varían un poco de país a país. Por ejemplo, en Estados Unidos los dispositivos cuya potencia es debajo de 1w, puede utilizar las bandas que se muestran en la figura (2.3.1) sin requerir una licencia de la FCC. La banda de 900 MHz funciona mejor, pero está atestada y no está disponible en todo el mundo. La banda de 2.4 GHz está disponible en la mayoría de los países, pero está sujeta a interferencia por parte de los hornos de microondas e instalaciones de radar. Bluetooth y algunas de las LANs inalámbricas 802.11 operan en esta banda. La banda de 5.7 GHz es nueva y no se ha desarrollado del todo, por lo que el equipo que la utiliza es costoso, pero debido a que 802.11^a la utiliza, se popularizará con rapidez.

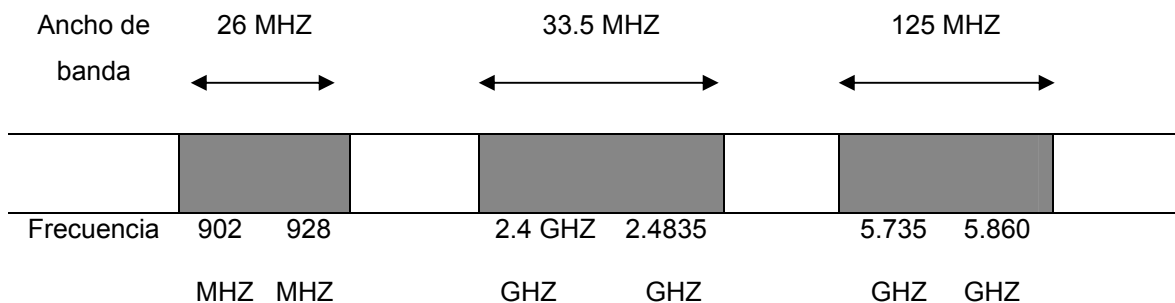


Figura (2.3.1) Las bandas ISM de Estados Unidos.

2.4 ONDAS INFRARROJAS Y MILIMÉTRICAS

Las ondas infrarrojas y milimétricas no guiadas se usan mucho para la comunicación de corto alcance. Todos los controles remotos de los televisores, grabadoras de video y estéreos utilizan comunicación infrarroja. Estos controles son relativamente direccionales, económicos y fáciles de construir, pero tienen

un inconveniente: no atraviesan los objetos sólidos. En general, conforme pasamos de la radio de onda larga hacia la luz visible, las ondas se comportan cada vez más como la luz y cada vez menos como la radio.

Por otro lado, el hecho de que las ondas infrarrojas no atraviesen bien las paredes sólidas también es una ventaja. Esto significa que en un sistema infrarrojo en un cuarto de un edificio no interfiere con un sistema similar en cuartos adyacentes. Por esta razón, la seguridad de estos sistemas contra el espionaje es mejor que de la de los sistemas de radio. Además no es necesario obtener licencia del gobierno para obtener un sistema infrarrojo, en contraste con los sistemas de radio, que deben tener licencia afuera de las bandas ISM. La comunicación infrarroja tiene un uso limitado en el escritorio; por ejemplo para conectar computadoras portátiles e impresoras, aunque no es un juego protagonista principal en el juego de la comunicación.

2.5 TRANSMISION POR ONDAS DE LUZ.

La señalización óptica sin guías se ha utilizado durante siglos. Una aplicación más moderna es conectar las LANs de dos edificios por medio de láseres montados en sus azoteas. La señalización óptica coherente con láseres es inherente unidireccional, de modo que cada edificio necesita su propio láser y su propio fotodetector. Este esquema ofrece un ancho de banda muy alto y un costo muy bajo. También es relativamente fácil de instalar y, a diferencia de las microondas no requiere una licencia de la FCC.

Sin embargo la ventaja del láser, un haz muy estrecho, aquí también es una debilidad. Apuntar un rayo láser de 1mm de anchura a un blanco del tamaño de la punta de un alfiler a 500 m de distancia requiere la puntería de una Annie Oakley moderna. Por lo general, se añaden lentes al sistema para desenfocar ligeramente el rayo.

Sin embargo, se muestra en la figura (2.5.1) que el aire turbulento desvía el rayo y lo hace danzar alrededor del detector. Una "vista" atmosférica como esta hace titilar a las estrellas. Este fenómeno también lo causa del aspecto trémulo

de las carreteras en un día caluroso y de las imágenes onduladas cuando se mira sobre un radiador caliente.

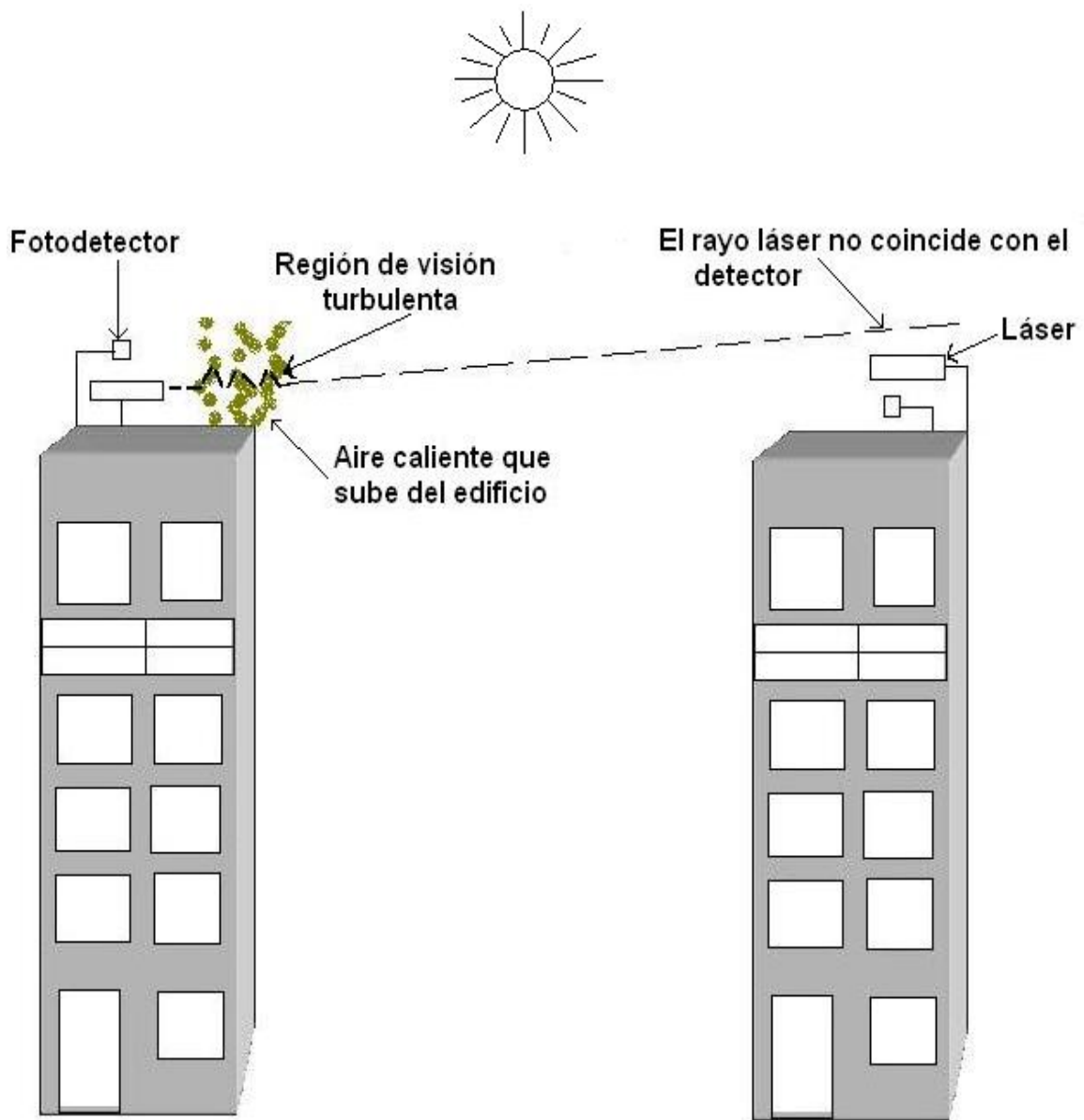


Figura (2.5.1) Las corrientes de convección pueden interferir los sistemas de comunicación por láser.

CAPITULO 3
LANS INALAMBRICAS

3.1 PILA DE PROTOCOLOS DEL 802.11

Los protocolos utilizados por todas las variantes 802, entre ellas Ethernet, tienen ciertas similitudes de estructura. En la figura (3.1.1) se muestra una vista principal de la pila de protocolos del Standard 802.11. La capa física corresponde muy bien con la capa física OSI, pero la capa de enlace de datos de todos los protocolos 802 se divide en dos o más subcapas. En el Standard 802.11, la subcapa MAC determina la forma en que se asigna el canal, es decir, a quien le toca transmitir a continuación. Arriba de dicha subcapa se encuentra la subcapa LLC, cuyo trabajo es ocultar las diferencias entre las variantes 802 con el propósito de que sean imperceptibles para la capa de red.

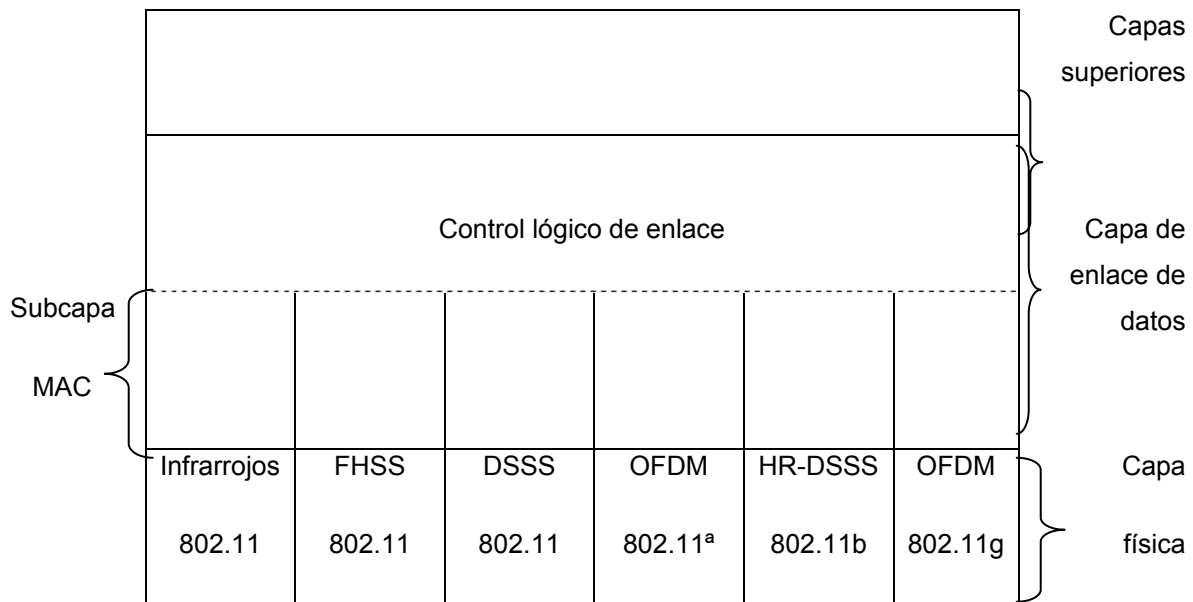


Figura (3.1.1) Parte de la pila de protocolos del 802.11.

El Standard del 802.11 de 1997 especifica tres técnicas de transmisión permitidas en la capa física. El método de infrarrojos utiliza en su mayor parte la misma tecnología que los controles remotos de televisión. Los otros dos métodos utilizan el radio de corto alcance, mediante técnicas conocidas como FHSS y DSSS. Esta última parte del espectro que no necesita licencia (la banda ISM de 2.4 GHz). Los abridores de puertas de cocheras controlados por radio también utilizan esta parte del espectro. Los teléfonos inalámbricos y los hornos de microondas también

utilizan esta banda. Todas estas técnicas funcionan a 1 o 2 Mbps y con poca energía por lo que no interfieren mucho entre sí. En 1999 se introdujeron dos nuevas técnicas para alcanzar un ancho de banda más alto. Estas se conocen como OFDM y HRDSSS. Funcionan hasta 54 y 11 Mbps, respectivamente. En 2001 se introdujo una segunda modulación OFDM, pero en una banda de frecuencia diferente respecto a la primera.

3.2 LA CAPA FÍSICA DEL 802.11

Cada una de las cinco técnicas permitidas de transmisión posibilitan el envío de una trama MAC de una estación a otra. Sin embargo difieren en la tecnología utilizada y en las velocidades alcanzables.

La opción de infrarrojos utiliza transmisión difusa (es decir, no requiere línea visual) a 0.85 o 0.95 micras. Se permiten dos velocidades: 1 y 2 Mbps. A 1 Mbps se utiliza un esquema de codificación en el cual un grupo de 4 bits se codifica una palabra codificada de 16 bits, que contiene quince 0's y un 1, mediante **código de Gray**. Este código tiene la propiedad de que un pequeño error en la sincronización en el tiempo lleva a un solo error de bits en la salida. A 2 Mbps, la codificación toma 2 bits y produce una palabra codificada de 4 bits, también con un solo 1, que es uno de 0001, 0010, 0100 o 1000. Las señales de infrarrojos nos pueden penetrar paredes, por lo que las celdas en los diferentes cuartos están bien aisladas entre sí. Sin embargo debido al bajo ancho de banda (y el hecho de que la luz solar afecta las señales de infrarrojos), esta no es una opción muy popular.

FHSS (Espectro Disperso con Salto de Frecuencia) utiliza 79 canales, cada uno de los cuales tiene un ancho de banda de 1 MHz, iniciando en el extremo más bajo de la banda ISM de 2.4 GHz. Para producir la secuencia de frecuencias a saltar, se utiliza un generador de números pseudoaleatorios. Siempre y cuando todas las estaciones utilicen la misma semilla para el generador de números pseudoaleatorios y permanezcan sincronizadas, saltarán de manera simultánea a la misma frecuencia. El tiempo invertido en cada

frecuencia, el **tiempo de permanencia**, es un parámetro ajustable, pero debe ser menor que 400 mseg. La aleatorización de FHSS proporciona una forma justa de asignar espectro en la banda ISM no regulada. También proporciona algo de seguridad pues un intruso que no sepa la frecuencia de saltos o el tiempo de permanencia no puede espiar las transmisiones. En distancias más grandes, el desvanecimiento de múltiples rutas puede ser un problema, y FHSS ofrece buena resistencia a ello. También es relativamente insensible a la interferencia de radio, lo que lo hace popular para enlaces de edificio a edificio su principal desventaja es su bajo ancho de banda.

Método de modulación, **DSSS (Espectro Disperso de Secuencia Directa)**, también está restringido a 1 o 2 Mbps; el esquema utilizado tiene algunas similitudes con el sistema CDMA, pero difiere en otros aspectos. Cada bit se transmite como 11 chips, utilizando lo que se conoce como secuencia barrer. Utiliza modulación por desplazamiento de fase a 1 Mbaudio, y transmite 1 bit por baudio cuando opera a 1 Mbps y 2 bits por baudio cuando opera a 2 Mbps. Durante mucho tiempo, la FCC exigió que todo el equipo de comunicación inalámbrica que operaba en la banda ISM en Estados Unidos utilizara el espectro disperso, pero en mayo de 2002 esa regla se eliminó conforme apareció nueva tecnología.

La primera de las LANs inalámbricas de alta velocidad, 802.11^a, utiliza **OFDM (Multiplexión por División de Frecuencias Ortogonales)** para enviar hasta 54 Mbps en banda ISM más ancha de 5 GHz. Como lo sugiere el término FDM, se utilizan frecuencias diferentes 52 en total, 48 para datos y 4 para sincronización al igual que ADSL. Debido a que las transmisiones están presentes en múltiples frecuencias al mismo tiempo, esta técnica se considera como una forma de espectro disperso, pero es diferente a CDMA y a FHSS. Dividir la señal en bandas más estrechas tiene más ventajas que el uso de una sola banda ancha, entre ellas mejor inmunidad a la interferencia de bandas estrechas y la posibilidad de utilizar bandas no contiguas. Se utiliza un sistema de codificación complejo, con base en la modulación por desplazamiento de fase para velocidades de hasta 18 Mbps y en QAM para velocidades mayores a

54 Mbps, se codifican 216 bits de datos en símbolos de 288 bits. Parte del motivo para utilizar OFDM es la compatibilidad con el sistema europeo HiperLAN/2. La técnica tiene buena eficiencia de espectro en términos de bits/Hz y buena inmunidad al desvanecimiento de múltiples rutas.

HR-DSSS (espectro disperso de secuencia directa de alta velocidad), otra técnica de espectro disperso, que utiliza 11 millones de chips/seg para alcanzar 11 Mbps en la banda de 2.4 GHz. Se llama 802.11b pero no es la continuación de 802.11^a. De hecho, su estándar se aprobó primero y apareció primero en el mercado. Las tasas de datos soportadas por 802.11b son 1,2,5.5 y 11 Mbps. Las dos tasas bajas se ejecutan a 1 Mbaudio, con 1 y 2 bits por baudio, respectivamente utilizando modulación por desplazamiento de fase (por compatibilidad con DSSS). Las dos tasas más rápidas se ejecutan a 1.375 Mbaudios, con 4 y 8 bits por baudio, respectivamente utilizando códigos Walsh/Hadamard. La tasa de datos puede ser adaptada de manera dinámica durante la operación para alcanzar la velocidad más óptima posible bajo las condiciones actuales de la carga y el ruido. En la práctica la velocidad de operación de 802.11b siempre es de aproximadamente 11 Mbps. Aunque 802.11b es más lento que 802.11^a su rango es aproximadamente 7 veces mayor, lo que es más importante en muchas situaciones.

En noviembre de 2001, el IEEE aprobó una versión mejorada de 802.11b, 802.11g, después de mucho politiquero por cual tecnología patentada podía utilizar. Utiliza el método de demodulación OFDM de 802.11^a pero opera en la banda ISM más estrecha 2.4 GHz ISM junto con 802.11b. En teoría puede operar hasta 54 Mbps aún no se ha decidido si esta velocidad se va a alcanzar en la práctica. Lo que esto significa es que el comité 802.11 ha producido 3 LANs inalámbricas diferentes de alta velocidad: 802.11^a, 802.11b y 802.11g (sin mencionar las 3 LANs inalámbricas de baja velocidad).

3.3 PROTOCOLO DE LA SUBCAPA MAC DEL 802.11

El protocolo de la subcapa MAC para el estándar 802.11 es muy diferente del de Ethernet debido a la complejidad inherente del entorno inalámbrico en comparación con el de un sistema cableado. Con Ethernet, una estación simplemente espera hasta que el medio queda en silencio y comienza a transmitir. Si no recibe una ráfaga de ruido dentro de los primeros 64 bytes, con seguridad la trama ha sido entregada correctamente. Esta situación no es válida para los sistemas inalámbricos.

Para empezar, existe el problema de la estación oculta, el cual se ilustra en la figura (3.3.1). Puesto que no todas las estaciones están dentro del alcance de radio de cada una. En este ejemplo, la estación C transmite a la estación B. Si A detecta el canal, no escuchará nada y concluirá erróneamente que ahora puede comenzar a transmitir a B.

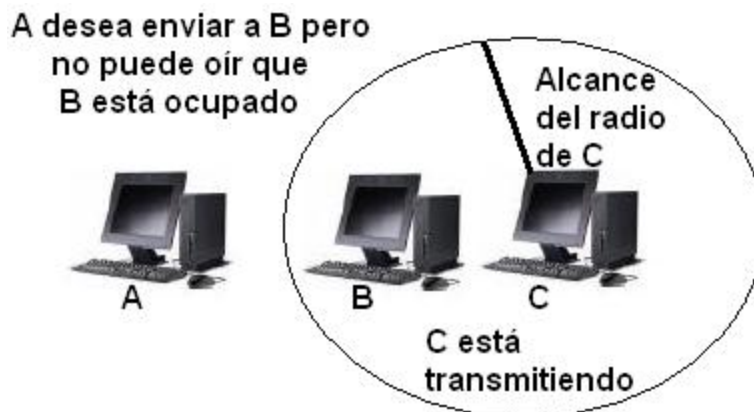


Figura (3.3.1) El problema de la estación oculta.

Además existe el problema inverso el de la estación expuesta que se ilustra en la figura (3.3.2). Aquí B desea enviar a C por lo que escucha el canal. Cuando escucha una transmisión, concluye erróneamente que no debería transmitir a C, aunque A esté transmitiendo a D (lo cual no se muestra). Además la mayoría de los radios son semiduplex, lo que significa que no pueden transmitir y escuchar

ráfagas de ruido al mismo tiempo en una sola frecuencia. Como resultado de estos problemas, 802.11 no utiliza CSMA/CD, como lo hace Ethernet.

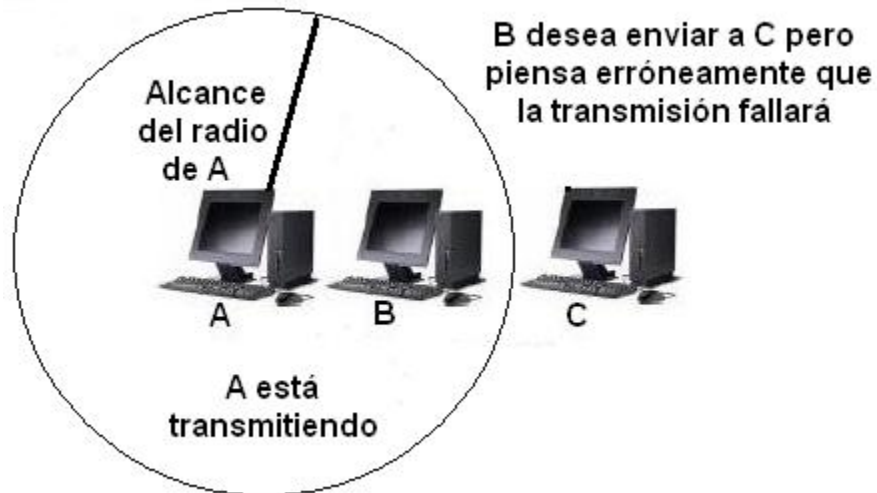


Figura (3.3.2) El problema de la estación expuesta.

Para solucionar este problema 802.11 soporta dos modos de funcionamiento. Primero llamado **DCF (función de coordinación distribuida)**, no utiliza ningún tipo de control central (en ese aspecto, es similar a Ethernet). El otro, llamado PCF (función de coordinación puntual), utiliza la estación base para controlar toda la actividad de su celda. Todas las implementaciones soportan DCF pero PCF es opcional.

Cuando se emplea DCF, 802.11 utiliza un protocolo llamado **CSMA/CA (CSMA con Evitación de Colisiones)**. Este protocolo, se utiliza tanto la detección del canal físico como la del canal virtual. Los dos métodos de funcionamiento no son soportados por CSMA/CA. El primer método, cuando una estación desea transmitir detecta el canal. Si está inactivo, comienza a transmitir. No detecta el canal mientras transmite pero emite su trama completa, la cual podría ser destruida en el receptor debido a interferencia. Si el canal está ocupado, el emisor espera hasta que esté inactiva para comenzar a transmitir. Si ocurre una colisión,

las estaciones involucradas en ella esperan un tiempo aleatorio, mediante el algoritmo de retroceso exponencial binario de Ethernet, y vuelve a intentarlo más tarde.

En contraste con las redes cableadas, las inalámbricas son ruidosas e inestables, en gran parte debido a los hornos de microondas, que también utilizan las bandas sin licencia ISM. Como consecuencia, la probabilidad de que una trama llegue a su destino se decrementa con la longitud de la trama.

En resumen si una trama es demasiado grande, tiene muy pocas probabilidades de pasar sin daño y probablemente tenga que retransmitirse.

Para solucionar el problema de los canales ruidosos, 802.11 permite dividir las tramas en fragmentos, cada uno con su propia suma de verificación. Cada fragmento se enumera de manera individual y su recepción se confirma utilizando un protocolo de parada y espera (es decir, el emisor podría no transmitir fragmentos de $K + 1$ hasta que haya recibido la confirmación de recepción del fragmento K).

3.4 LA ESTRUCTURA DE TRAMA 802.11

El estándar 802.11 define tres clases diferentes de tramas en el cable: de datos, de control y de administración. Cada una de ellas tiene un encabezado con una variedad de campos utilizados dentro de la subcapa MAC. Además, hay algunos encabezados utilizados por la capa física, pero éstos tienen que ver en su mayor parte con las técnicas de modulación utilizadas.

En la figura (3.4.1) se muestra el formato de la trama de datos. Primero está el campo de Control de trama. Este tiene 11 subcampos. El primero es la Versión de protocolo, que permite que dos versiones del protocolo funcionen al mismo tiempo en la misma celda. Después están los campos de tipo (de datos, de control o de administración) y de subtipo (por ejemplo, RTS o CTS). Los bits A DS y de DS indican que la trama va hacia o viene del sistema de distribución entre celdas. El bit MF indica que siguen más fragmentos. El bit retrans marca una retransmisión

de una trama que se envió anteriormente. El bit de administración de energía es utilizado por la estación base para poner al receptor en estado de hibernación o sacarlo de tal estado. El bit más indica que el emisor tiene tramas adicionales para el receptor. El bit W especifica que el cuerpo de la trama se ha codificado utilizando el algoritmo WEP (privacidad inalámbrica equivalente). Por último, el bit 0 indica al receptor que una secuencia de tramas que tenga ese bit encendido debe procesar en orden estricto.

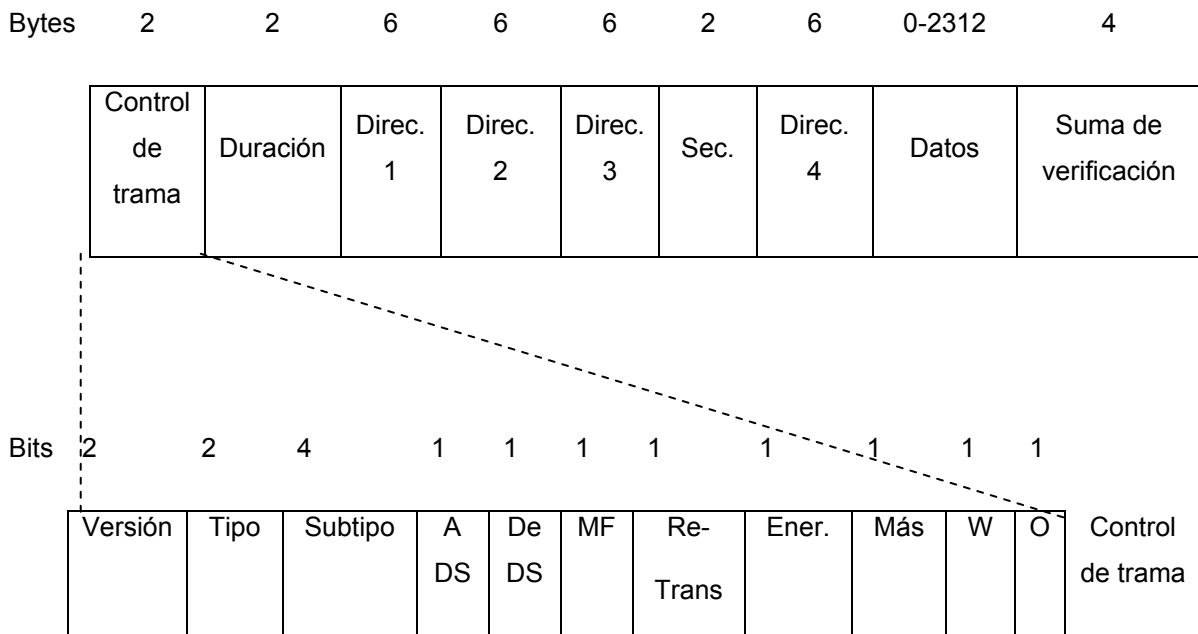


Figura (3.4.1) La trama de datos 802.11.

El segundo campo de la trama de datos, el de duración, indica cuánto tiempo ocuparán el canal la trama y su confirmación de recepción. Este campo también está presente en las tramas de control y es la forma mediante la cual otras estaciones manejan el mecanismo NAV. El encabezado de la trama contiene 4 direcciones, todas en formato estándar IEEE 802. Obviamente se necesitan el origen y el destino, pero, ¿Para qué son las otras dos? Recuerde que las tramas podrían entrar o dejar una celda a través de una estación base. Las otras dos direcciones se utilizan para las estaciones base de origen y destino para el tráfico entre celdas.

El campo de secuencia permite que se enumeren los fragmentos.

El campo de datos contiene la carga útil y le sigue el campo común de suma de verificación.

Las tramas de administración tienen un formato similar al de las tramas de datos, excepto que no tienen una de las direcciones de la estación base, debido a que las tramas de administración se restringen a una sola celda. Las tramas de control son más cortas; tienen una o dos direcciones, y no tienen ni campo de datos ni de secuencia. La información clave aquí se encuentra en el campo de subtipo, por lo general es RTS, CTS o ACK.

3.5 SERVICIOS

El estándar 802.11 afirma que cada LAN inalámbrica que se apegue a él debe proporcionar nueve servicios. Estos se dividen en dos categorías: 5 servicios de distribución y 4 de estación. Los servicios de distribución se relacionan con la administración de membresías dentro de la celda y con la interacción con estaciones que están fuera de la celda.

Los 5 servicios de distribución son proporcionados por las estaciones base y tienen que ver con la movilidad de la estación conforme entran y salen de las celdas, conectándose ellos mismos a las estaciones bases y separándose ellos mismos de dichas estaciones. Estos servicios son los siguientes:

1. **Asociación.** Este servicio es utilizado por las estaciones móviles para conectarse a ellas mismas a las estaciones base. Por lo general, se utiliza después de que una estación se mueve dentro del alcance de radio de la estación base. Una vez que llega, anuncia su identidad y sus capacidades. Estas incluyen las tasas de datos soportadas, necesarias para los servicios PCF (es decir, el sondeo), los requerimientos y administración de energía. La estación base podría aceptar o rechazar la estación móvil. Si se acepta, dicha estación debe autenticarse.
2. **Disociación.** Es posible que la estación o la estación base se disocie con lo que se rompería la relación. Una estación podría utilizar este servicio

antes de apagarse o de salir, pero la estación base también podría utilizarlo antes de su mantenimiento.

3. **Reasociación.** Una estación podría cambiar su estación base preferida mediante este servicio. Esta capacidad es útil para estaciones móviles que se mueven de una celda a otra. Si se utiliza correctamente, no se perderán datos como consecuencia del cambio de estación base. Pero 802.11 al igual que Ethernet es solo un servicio de mejor esfuerzo.
4. **Distribución.** Este servicio determina cómo enrutar tramas enviadas a la estación base. Si el destino es local para la estación base, las tramas pueden enviarse directamente a través del aire. De lo contrario, tendrán que reenviarse a través de la red cableada.
5. **Integración.** Si una trama necesita enviarse a través de una red no 802.11 con un esquema de direccionamiento o formato de tramas diferentes, este servicio maneja la traducción del formato 802.11 al requerido por la red de destino.

Los cuatro servicios restantes son dentro de las celdas (es decir, se relacionan con acciones dentro de una sola celda). Se utilizan después de que ha ocurrido la asociación y son las siguientes:

1. **Autenticación.** Debido a que las estaciones no autorizadas pueden recibir o enviar con facilidad la comunicación inalámbrica, una estación debe autenticarse antes de que se le permita enviar datos. Una vez que la estación base asocia una estación móvil, le envía una trama especial de desafío para ver si dicha estación móvil sabe la clave secreta que se le ha asignado. La estación móvil prueba que sabe la clave secreta codificando la trama de desafío y regresándola a la estación base. Si el resultado es correcto, la estación móvil se vuelve miembro de la celda. En el estándar inicial, la estación base no tiene que probar su identidad a la estación móvil, pero se está realizando trabajo para reparar este defecto en el estándar.

2. **Desautenticación.** Cuando una estación previamente autenticada desea abandonar la red, se desautentica. Después de esto, tal vez ya no utilice la red.
3. **Privacidad.** Para que la información que se envía a través de una LAN inalámbrica se mantenga confidencial, debe codificarse. Este servicio maneja la codificación y la decodificación. El algoritmo de codificación especificado es RC4, inventado por Ronald Rivest del MIT.
4. **Entrega de datos.** Por último la transmisión de datos es parte esencial, por lo que el 802.11 naturalmente proporciona una forma de transmitir y recibir datos. Puesto que el 802.11 está basado en Ethernet y no se garantiza que la transmisión a través de Ethernet sea 100 % confiable, tampoco se garantiza que la transmisión a través del 802.11 sea confiable. Las capas superiores deben tratar con la detección y la corrección de errores.

Una celda 802.11 tiene algunos parámetros que pueden inspeccionarse y en algunos casos ajustarse. Se relacionan con la codificación, intervalos de expiración de temporizador, tasas de datos, frecuencia de trama de beacon, etc.

Las LANs inalámbricas basadas en el 802.11 se están comenzando a distribuir en edificios de oficinas, aeropuertos, hoteles y universidades de todo el mundo. Se espera un crecimiento rápido.

CAPITULO 4

BANDA ANCHA INALAMBRICA

4.1 COMPARACION ANTE LOS ESTANDARES 802.11 Y 802.16

Los entornos en los que funcionan 802.11 y 802.16 son similares en algunas formas, principalmente en que fueron diseñados para proporcionar comunicaciones inalámbricas de alto ancho de banda. Pero también difieren en aspectos muy importantes. Para empezar, el protocolo 802.16 proporciona servicio a edificios, y estos no son móviles. No migran de celda a celda con frecuencia. La mayor parte de 802.11 tiene que ver con la movilidad, y nada de eso es relevante aquí. Además, los edificios pueden tener más de una computadora en ellos, lo cual no ocurre cuando la estación final es una sola computadora portátil.

Debido a que los dueños de edificios por lo general están dispuestos a gastar mucho más dinero en artículos de comunicación que los dueños de computadoras portátiles, hay mejores radios disponibles. Esta diferencia significa que 802.16 puede utilizar comunicación de duplex total, algo que 802.11 evita para mantener el bajo costo de los radios.

Puesto que el estándar 802.16 se usa en parte de la ciudad, las distancias involucradas pueden ser de varios kilómetros, lo que significa que la energía detectada en las estaciones base puede variar considerablemente de estación en estación. Esta variación afecta la relación señal a ruido, que a su vez fija múltiples esquemas de modulación. Además la comunicación abierta a través de la ciudad significa que la seguridad y privacidad son esenciales y obligatorias.

En resumen, 802.11 se diseñó para ser una Ethernet móvil, mientras que el estándar 802.16 se diseñó para ser televisión por cable inalámbrica, pero estacionaria. Estas diferencias son tan grandes que los estándares resultantes son muy diferentes debido a que tratan de optimizar cosas distintas.

4.2 LA PILA DE PROTOCOLOS DEL ESTANDAR 802.16

En la figura (4.2.1) Se ilustra la pila de protocolos del estándar 802.16. La estructura general es similar a la de otras redes 802, pero con más subcapas. La subcapa inferior tiene que ver con la transmisión. El radio de banda estrecha tradicional se utiliza con esquemas de modulación tradicionales. Arriba de la capa

de transmisión física está una subcapa de convergencia para ocultar las diferentes tecnologías a la capa de enlace de datos. En la actualidad el estándar 802.11 también tiene algo parecido a esto, solo que el comité eligió no formalizarlo con un nombre de tipo OSI.

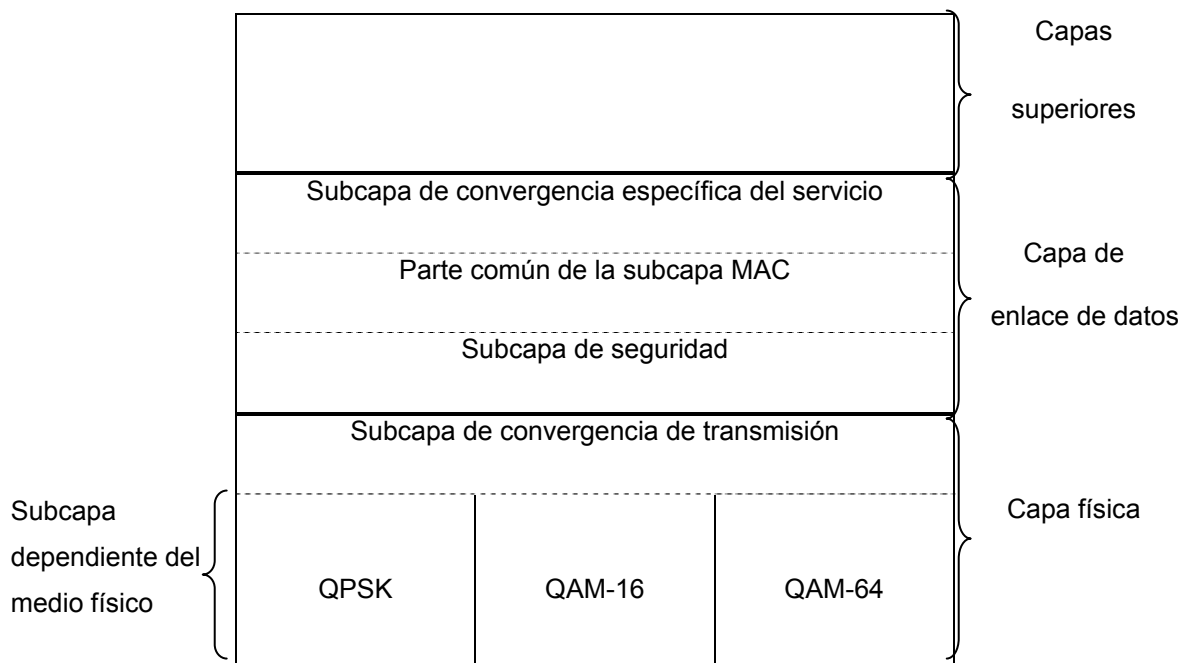


Figura (4.2.1) La pila de protocolos del 802.16.

Aunque no se muestran en la figura se está trabajando para agregar dos nuevos protocolos de capa física. El estándar 802.16^a soportará al OFDM en el rango de frecuencia de 2 a 11 GHz. El estándar 802.16b opera la banda ISM de 5 GHz. Estos dos son intentos para acercarse al estándar 802.11.

La capa de enlace de datos consta de 3 subcapas. La inferior tiene que ver con la privacidad y seguridad, lo cual es más importante para las redes externas públicas que para las redes internas privadas. Maneja codificación, decodificación y administración de claves.

A continuación se encuentra la parte común de la subcapa MAC. Es aquí donde se encuentran los principales protocolos, como la administración de canal. El modelo consiste en que la estación base controla el sistema. Puede calendarizar de manera muy eficiente los canales de flujo descendente (es decir, de la estación

base al suscriptor) y es muy importante en el manejo de los canales ascendentes (es decir, del suscriptor a la estación base). Una característica no muy común de la subcapa MAC es que, a diferencia de las subcapas de las otras redes 802, es completamente orientada a la conexión, para proporcionar garantías de calidad del servicio para la comunicación de telefonía y multimedia.

En los otros protocolos 802, la subcapa de convergencia específica del servicio toma el lugar de la subcapa de enlace lógico. Su función es interactuar con la capa de red. Un problema aquí es que el estándar 802.16 fue diseñado para integrarse sin ningún problema tanto con los protocolos de datagramas (por ejemplo, PPP, IP y Ethernet) como en ATM. El problema es que los protocolos de paquetes no son orientados a la conexión y ATM sí lo es. Esto significa que cada conexión ATM se tiene que asignar a una conexión 802.16, que en principio es un asunto directo. ¿Pero en cuál conexión 802.16 debe asignarse un paquete IP entrante? El problema se soluciona en esta subcapa.

4.3 LA CAPA FÍSICA DEL ESTÁNDAR 802.16

La banda ancha inalámbrica necesita mucho espectro y el único lugar para encontrarlo es en el rango de 16 a 66 GHz. Estas ondas milimétricas tienen una propiedad interesante que las microondas más largas no tienen: viajan en líneas rectas, a diferencia del sonido, pero en forma similar a la luz. Como consecuencia, la estación base puede tener múltiples antenas, cada una apuntando a un sector diferente del terreno circundante, como se muestra en la figura (4.3.1) cada sector tiene sus propios usuarios y es completamente independiente de los sectores adyacentes, algo que no es verdad es el radio celular, el cual es omnidireccional.

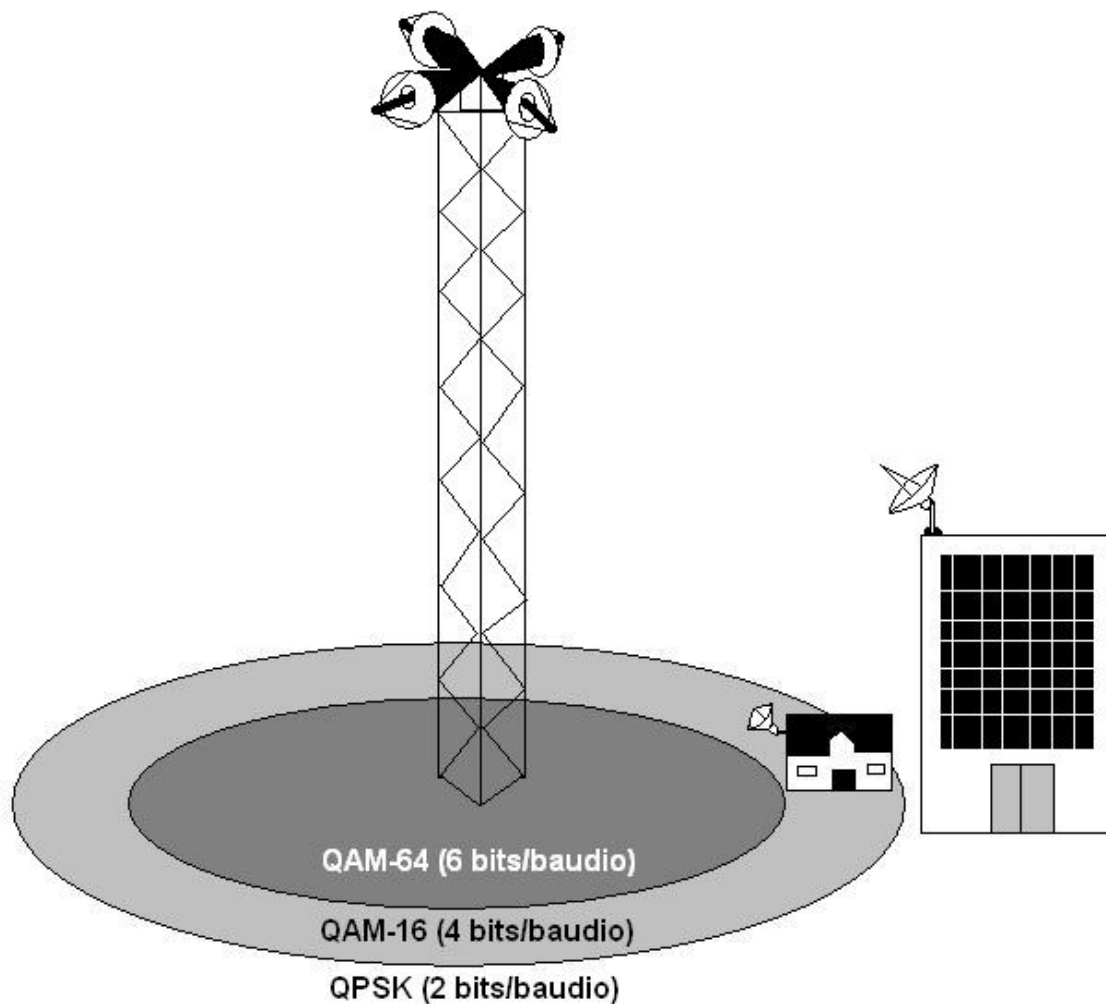


Figura (4.3.1) El entorno de transmisión 802.16.

Debido a que la fuerza de señal en la banda milimétrica desciende drásticamente con la distancia a partir de la estación base, la relación señal a ruido también desciende con la distancia a partir de la estación base. Por esta razón, el estándar 802.16 emplea 3 esquemas de modulación diferentes, dependiendo de la distancia entre la estación suscriptora y la estación base. Para suscriptores cercanos se utiliza QAM-64, con 6 bits/baudio. Para suscriptores a distancias medias se utilizan QAM-16, con 4 bits/baudio. Para suscriptores distantes se utiliza QPSK, con 2 bits/baudio.

Dado el objetivo de producir un sistema de banda ancha sujeto a las limitantes físicas mostradas anteriormente, los diseñadores del protocolo 802.16 trabajaron duro para utilizar eficientemente el espectro disponible. Lo que no les gustaba era la forma en que funcionaban GSM y DAMPS. Ambos utilizan bandas de frecuencia diferentes pero iguales para el tráfico ascendente y descendente. Para voz, es probable que el tráfico sea simétrico en su mayor parte, para acceso a Internet por lo general hay más tráfico descendente que ascendente. En consecuencia, el estándar 802.16 proporciona una forma más flexible para asignar el ancho de banda. Se utilizan 2 esquemas: FDD (duplexación por división de frecuencia) y TDD (duplexación por división de tiempo). Este último se ilustra en la figura (4.3.2) aquí la estación base envía tramas periódicamente cada trama contiene ranuras de tiempo. Las primeras son para el tráfico descendente. Después se encuentra el tiempo de protección o guarda, el cual es utilizado por las estaciones para cambiar de dirección. Por último, están las ranuras para el tráfico ascendente. El número de ranuras de tiempo dedicadas para cada dirección se puede cambiar de manera dinámica con el fin de que el ancho de banda en cada dirección coincida con el tráfico.

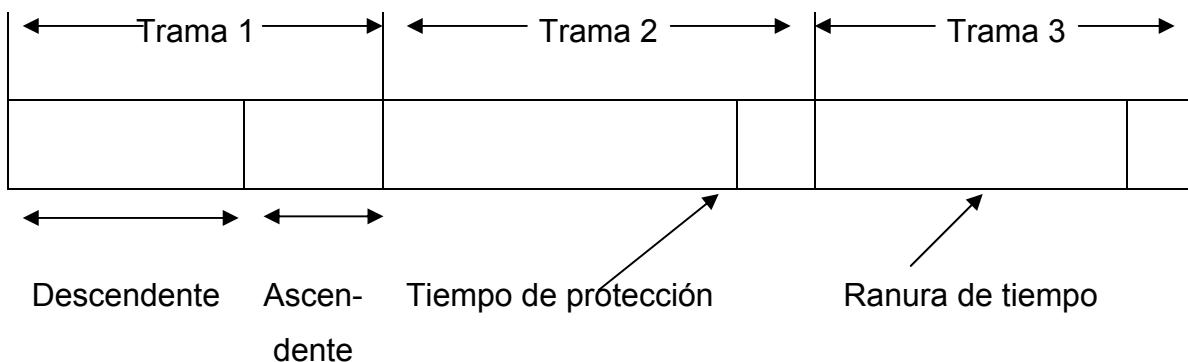


Figura (4.3.2) Tramas y ranuras de tiempo para duplexación por división de tiempo.

La estación base asigna el tráfico descendente en ranuras de tiempo. Además controla por completo esta dirección. El tráfico ascendente es más complejo y depende de la calidad de servicio requerido.

Otra característica interesante de la capa física es su capacidad de empaquetar múltiples tramas MAC consecutivas en una sola transmisión física. Esta característica mejora la eficiencia espectral al reducir el número de preámbulos y encabezados de capa física necesarios.

Otro aspecto que vale la pena mencionar es el uso de los códigos de HAMMING para realizar corrección de errores hacia delante en la capa física. La mayoría de las otras redes se basa simplemente en sumas de verificación para detectar errores y solicitar retransmisiones cuando se reciben tramas erróneas. Pero el entorno de banda ancha de área amplia, se esperan tantos errores de transmisión que la corrección de errores se emplea en la capa física, además de sumas de verificación en las capas superiores. El objetivo de la corrección de errores es hacer que el canal luzca mejor de lo que realmente es (de la misma forma que los CD-ROMs parecen ser muy confiables, pero solo porque más de la mitad de los bits se destinan para la corrección de errores en la capa física).

4.4 PROTOCOLO DE LA SUBCAPA MAC DEL 802.16

La capa de enlace de datos se divide en 3 subcapas, cómo funciona la subcapa de seguridad. Basta decir que la codificación se utiliza para que todos los datos transmitidos se mantengan en secreto. Solo las cargas útiles de las tramas se codifican; los encabezados no se codifican. Esta propiedad significa que un fisgón puede ver quien está hablándole a quién pero no puede saber qué se están diciendo.

Cuando un suscriptor se conecta en una estación base, realiza autenticación mutua con criptografía de clave pública RSA mediante certificados X.509. Las cargas útiles mismas se codifican mediante un sistema de clave simétrica, ya sea DES con cambio de bloques de código o triple DES con dos claves. Es probable que AES se agregue pronto. La verificación de integridad utiliza SHA-1.

Ahora veamos la parte común de la subcapa MAC. Las tramas MAC ocupan un número integral de ranuras de tiempo de la capa física. Cada trama se compone de subtramas, de las cuales las primeras dos son los mapas descendente y

ascendente. Esto indica lo que hay en cada ranura de tiempo y cuáles ranuras de tiempo están libres. El mapa descendente también contiene varios parámetros de sistema para informar de nuevas estaciones conforme entran en la línea.

El canal descendente es muy directo. La estación base decide simplemente lo que se va a poner en cada subtrama. El canal ascendente es más complicado debido a que hay suscriptores no coordinados compitiendo por el. Su asignación está estrechamente relacionada con el aspecto de calidad del servicio. Hay 4 clases de servicios definidas:

1. Servicio de tasa de bits constante.
2. Servicio de tasa de bits variable en tiempo real.
3. Servicio de tasa de bits variable no en tiempo real.
4. Servicio de mejor esfuerzo.

Todos los servicios del estándar 802.16 son orientados a la conexión, y cada conexión toma una de las clases de servicio mostradas anteriormente, que se determina cuando se configura la conexión. Este diseño es muy diferente al de 802.11 o al de Ethernet, los cuales no tienen conexión en la subcapa MAC.

El servicio de tasa de bits constante está diseñado para transmitir voz descomprimida, como en un canal T1.

El servicio de tasa de bits variable en tiempo real está destinado para la multimedia comprimida y otras aplicaciones en tiempo real en las que la cantidad de ancho de banda necesaria puede variar en cada instante.

El servicio de tasa de bits variable en tiempo no real es para las transmisiones pesadas que no son en tiempo real, como transmisiones grandes de archivos.

El servicio de mejor esfuerzo es para todo lo demás. No se realiza sondeo y el suscriptor debe competir por ancho de banda con otros suscriptores de mejor servicio.

El estándar define dos formas de asignación de ancho de banda: por estación y por conexión. En el primer caso, la estación suscriptora agrega las necesidades de todos los usuarios del edificio y realiza solicitudes colectivas por ellos. Cuando se

le conoce el ancho de banda, lo asigna entre sus usuarios como considere necesario. En el último caso, la estación base administra cada conexión de manera directa.

4.5 LA ESTRUCTURA DE TRAMA 802.16

Todas las tramas MAC comienzan con un encabezado genérico. A este le sigue una carga útil y una suma de verificación (CRC) opcionales, como se ilustra en la figura (4.5.1). La carga útil no es necesaria en las tramas de control, por ejemplo, en las que la solicita ranuras de canal. La suma de verificación también es (sorprendentemente) opcional, debido a la corrección de errores en la capa física y al hecho de que nunca se realiza un intento por retransmitir tramas en tiempo real. Si estos intentos nunca ocurren, ¿Para qué molestarse con una suma de verificación?.

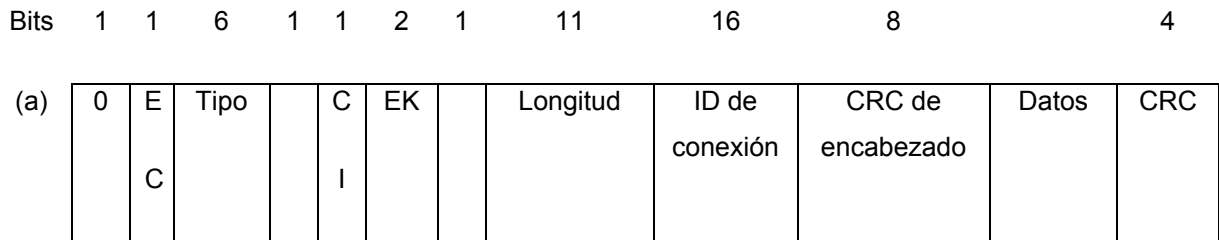


Figura (4.5.1) Una trama genérica.

En la figura (4.5.2) se muestra un segundo tipo de encabezado, para tramas que solicitan ancho de banda. Comienza con un bit 1 en lugar de uno 0 y es similar al encabezado genérico, excepto que el segundo y tercer bytes forman un número de 16 bits, lo que indica la cantidad de ancho de banda necesaria para transmitir un número de bytes especificados. Las tramas de solicitud de ancho de banda no transmiten datos útiles o un CRC de la trama completa.

Bits 1 1 6 16 16 8

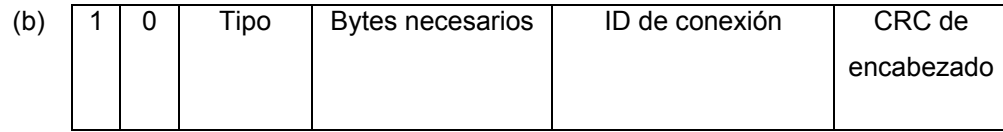


Figura (4.5.2) Una trama de solicitud de ancho de banda.

CAPITULO 5
SATELITES DE COMUNICACIÓN

5.1 SATELITES GEOESTACIONARIOS

El primer satélite de comunicación artificial, Telstar fue lanzado en julio de 1962. Desde entonces los satélites de comunicaciones se han convertido en un negocio millonario y en el único aspecto del espacio exterior altamente rentable. Con frecuencia, a estos satélites que vuelan a grandes alturas se les llama satélites **GEO (órbita terrestre geoestacionaria)**.

Con la tecnología actual, es poco aconsejable utilizar satélites geoestacionarios espaciados a menos de 2° en el plano ecuatorial de 360° para evitar interferencia. Con un espaciamiento de 2° , solo puede haber $360/2 = 180$ de éstos satélites a la vez en el cielo. Sin embargo, cada transpondedor puede utilizar múltiples frecuencias y polarizaciones para incrementar el ancho de banda disponible.

Para evitar el caos total en el cielo, la ITU asigna la posición orbital. Este proceso tiene fuertes connotaciones políticas, y países que apenas están saliendo de la edad de piedra demandan sus posiciones orbitales (con el propósito de alquilarlas al mejor postor). No obstante, algunos países sostienen que la propiedad no se extiende a la luna y que ningún país tiene derechos legales sobre las posiciones orbitales que se encuentran arriba de su territorio. Por si esto no fuera suficiente, las telecomunicaciones comerciales no son la única aplicación. Las compañías televisoras, los gobiernos y la milicia también quieren su tajada del pastel orbital.

Los satélites modernos pueden ser bastante grandes, pesar hasta 4000 kg., y consumir varios kw de electricidad producida por los paneles solares. La gravedad del sol, la luna y los planetas tiende a desplazar a los satélites de sus orbitas y orientaciones asignadas, efecto contrarrestado por los motores turbo integrados de los satélites. Esta actividad de ajuste se conoce como control de la posición orbital. Sin embargo, cuando se termina el combustible de los motores, por lo general a los diez años, el satélite navega a la deriva y cae sin remedio, por lo cual es necesario desactivarlo. Con el tiempo, la orbita se deteriora y el satélite reingresa a la atmósfera y se incendia o en ocasiones se estrella con la tierra.

Las posiciones orbitales no son la única amenaza de la discordia. También lo son las frecuencias, debido a que las transmisiones de los enlaces descendentes

interfieren con los usuarios de microondas existentes. En consecuencia, la ITU ha asignado bandas de frecuencia específicas a los usuarios de satélites. Las principales se muestran en la figura (5.1.1). La banda C fue la primera que se destinó al tráfico comercial por satélite. Tiene dos rangos de frecuencia, la inferior para tráfico descendente o de bajada (proveniente del satélite) y el superior para tráfico ascendente o de subida (hacia el satélite). Para permitir que el tráfico fluya en ambos sentidos al mismo tiempo, se requieren dos canales, uno para cada sentido. Estas bandas están sobresaturadas debido a que las empresas portadoras también las utilizan para los enlaces de microondas terrestres. Las bandas L y S fueron incorporadas en el año 2000 mediante un acuerdo internacional. No obstante, son estrechas y saturadas.

Banda	Enlace descendente	Enlace ascendente	Ancho de banda	Problemas
L	1.5 GHZ	1.6 GHZ	15 MHZ	Bajo ancho de banda; saturada
S	1.9 GHZ	2.2 GHZ	70 MHZ	Bajo ancho de banda; saturada
C	4.0 GHZ	6.0 GHZ	500 MHZ	Interferencia terrestre
Ku	11 GHZ	14 GHZ	500 MHZ	Lluvia
Ka	20 GHZ	30 GHZ	3500 MHZ	Lluvia, costo del equipo

Figura (5.1.1) Principales bandas de satélite.

La siguiente banda ancha disponible para los operadores de telecomunicaciones es la banda Ku (K abajo). Esta banda aún no está saturada, y a estas frecuencias es posible espaciar los satélites a cerca de un grado. No obstante, hay otro problema: la lluvia. El agua es un gran absorbente de estas microondas cortas. La

buena noticia es que por lo general las tormentas se confinan a sitios específicos, por lo que el problema se soluciona con la instalación de varias estaciones terrestres con suficiente separación en vez de una sola, al costo de más antenas, cables y aparatos electrónicos que permitan pasar rápidamente de una estación a otra.

También se ha asignado ancho de banda para tráfico comercial por satélite en la banda Ka (K arriba), pero el equipo necesario para utilizar esta banda aún es caro. Además de estas dos bandas comerciales, también hay muchas bandas gubernamentales y militares.

Un satélite moderno tiene alrededor de 40 transpondedores, cada uno con un ancho de banda de 80 MHz. Por lo general, cada transpondedor opera como un tubo doblado, pero algunos satélites recientes tienen la capacidad de procesamiento a bordo, lo cual les permite una operación más definida. La división de los transpondedores en canales era estática en los primeros satélites: el ancho de banda se dividía simplemente en bandas de frecuencia fija. En nuestros días, cada haz del transpondedor se divide en ranuras temporales, y varios usuarios se turnan para utilizarlo.

Los primeros satélites geoestacionarios tenían un solo haz espacial que iluminaba cerca de un tercio de la superficie de la tierra, el cual se le conoce como huella. Con la considerable reducción en precio, tamaño y requerimientos de energía los componentes microelectrónicas, se ha vuelto posible una estrategia de difusión mucho más refinada. Cada satélite está equipado con múltiples antenas y transpondedores. Cada haz descendente se puede concentrar en un área geográfica pequeña, de tal forma que es posible llevar a cabo simultáneamente una gran cantidad de transmisiones hacia y desde el satélite. Normalmente, estos haces, conocidos como haces reducidos, tienen forma elíptica y pueden ser tan pequeños como algunos cientos de kilómetros. Por lo general, un satélite de comunicaciones para los Estados Unidos de América tiene un haz ancho para los 48 estados contiguos y haces reducidos para Alaska y Hawaii.

Un avance reciente en el mundo de los satélites de comunicación es el desarrollo de microestaciones de bajo costo, llamadas VSATs (terminales de apertura muy pequeña). Estas diminutas terminales tienen antenas de un metro o más pequeñas (en comparación con los 10 m que mide una antena GEO estándar) y pueden producir alrededor de 1 watt de energía. Por lo general, el enlace ascendente funciona a 19.2 kbps, pero el enlace descendente funciona con frecuencia a 512 kbps o más. La televisión de difusión directa por satélite utiliza esta tecnología para transmisión unidireccional.

5.2 SATELITES DE ORBITA TERRESTRE MEDIA.

Los satélites **MEO (órbita terrestre media)** se encuentran a altitudes mucho más bajas, entre los dos cinturones de Van Allen. Vistos desde la tierra, estos satélites se desplazan lentamente y tardan alrededor de 6 horas para dar la vuelta a la tierra. Por consiguiente, es necesario rastrearlos conforme se desplazan. Puesto que son menores que los GEO, tienen una huella más pequeña y se requieren transmisores menos potentes para alcanzarlos. Hoy en día no se utilizan para telecomunicaciones. Los 24 satélites GPS (sistema de posicionamiento global) que orbitan acerca de 18 mil kilómetros son ejemplos de satélites MEO.

5.3 SATELITES DE ORBITA TERRESTRE BAJA.

En una altitud más baja encontramos a los satélites **LEO (órbita terrestre baja)**. Debido a la rapidez de su movimiento, se requieren grandes cantidades de ellos para conformar un sistema completo. Por otro lado, como los satélites se encuentran tan cercanos a la tierra, las estaciones terrestres no necesitan mucha potencia, y el retardo del viaje de ida y vuelta es de tan solo algunos milisegundos. En esta sección examinaremos 3 ejemplos, dos sobre las comunicaciones de voz y uno sobre el servicio de Internet.

5.3.1 IRIDIUM

Como ya mencionamos, durante los primeros 30 años de la era de los satélites casi no se utilizaban satélites de órbita baja porque aparecían y desaparecían con

mucha rapidez. En 1990, Motorola abrió un nuevo camino al solicitar permiso a la FCC (comisión federal de comunicaciones de Estados Unidos) para lanzar 77 satélites de órbita baja para el proyecto Iridium (el iridio es el elemento 77) el plan fue modificado más tarde para utilizar solo 66 satélites, por lo que el proyecto debió haberse renombrado como Dysprosium (elemento 66), pero quizá este nombre sonaba demasiado a enfermedad. El propósito era que tan pronto como un satélite se perdiera de vista, otro lo reemplazaría. Esta propuesta desató el frenesí entre otras compañías. De pronto, todos querían lanzar una cadena de satélites de órbita baja.

El negocio de Iridium era (y es) ofrecer servicios de telecomunicaciones en todo el mundo a través de dispositivos de bolsillo que se comunican directamente con los satélites Iridium. Proporciona servicios de voz, datos, búsqueda de personas, fax y navegación en cualquier parte, sea en tierra, mar y aire. Entre sus clientes están las industrias marítima, de la aviación y exploración petrolera, así como personas que viajan a partes del mundo que carecen de infraestructura de telecomunicaciones (por ejemplo, desiertos, montañas, selvas y algunos países del tercer mundo).

Los satélites Iridium están a una altitud de 750 km, en órbitas polares circulares. Están dispuestos en forma de collar de norte a sur, con un satélite a cada 32° de latitud. La tierra completa se cubre con 6 collares.

Cada satélite tiene un máximo de 48 celdas (haces reducidos), con un total de 1628 celdas sobre la superficie de la tierra. Cada satélite tiene una capacidad de 3840 canales, o 253,440 en total. Algunos de estos canales se utilizan para localización de personas y navegación, en tanto que otros para datos y voz.

5.3.2 GLOBALSTAR

Globalstar es un diseño alternativo para Iridium. Se basa en 48 satélites LEO pero utiliza un esquema de comunicación diferente al Iridium. En tanto que Iridium retransmite las llamadas de satélite en satélite, lo cual requiere un equipo de conmutación refinado en los satélites, Globalstar utiliza un diseño de tubo doblado tradicional.

5.3.3 TELEDESIC

Iridium está destinada a usuarios de teléfonos que se encuentran en lugares extremos. Nuestro siguiente ejemplo, Teledesic, está destinada a usuarios de Internet de todo el mundo deseosos de ancho de banda. Fue concebida en 1990 por Craig McCaw, pionero de la telefonía móvil, y por Bill Gates, fundador de Microsoft, quienes estaban inconformes con el lento ritmo al cual las compañías telefónicas de todo el mundo proporcionaban ancho de banda alto a los usuarios de computadoras. La meta del sistema Teledesic es ofrecer a los millones de usuarios concurrentes de Internet un enlace ascendente de hasta 100 Mbps y un enlace descendente de hasta 720 Mbps mediante antenas tipo VSAT pequeñas y fijas, que ignoran por completo el sistema telefónico. Para las compañías telefónicas esto es demasiado bello para ser realidad.

El diseño original consistía en un sistema de 288 satélites de huella pequeña, dispuestos en 12 planos justo debajo del cinturón inferior de Van Allen a una altitud de 1350 km. Posteriormente se modificó el diseño a 30 satélites con huellas más grandes. La transmisión se realiza en la banda Ka, relativamente poco saturada y con un ancho de banda alto. El sistema es de comunicación de paquetes en el espacio, en el cual cada satélite tiene la capacidad de enrutar paquetes a los satélites vecinos. Cuando un usuario necesita ancho de banda para enviar paquetes, tal ancho de banda se solicita y asigna de manera dinámica alrededor de 50 mseg. El sistema estaba programado para empezar a operar en 2005.

5.4 SATELITES EN COMPARACION CON FIBRA OPTICA

Las conexiones terrestres de fibra óptica dieron la impresión de que serian las ganadoras a largo plazo. No obstante, los satélites de comunicaciones tienen algunos nichos de mercado importantes a los cuales la fibra óptica no se dirige (en ocasiones por que no puede). A continuación veremos algunos de ellos:

1. A pesar de que una fibra óptica tiene mas ancho de banda potencial que todos los satélites que se han lanzado, este ancho de banda no esta

disponible para la mayoría de los usuarios. La fibra que se instala actualmente se utiliza en el sistema telefónico para manejar muchas llamadas de larga distancia al mismo tiempo, no para ofrecer un ancho de banda alto a los usuarios individuales. Con los satélites, es factible que un usuario instale una antena en el techo de la casa y evada por completo el sistema telefónico para conseguir un ancho de banda alto. Teledesic se apoya en esta idea.

2. Comunicación móvil. En estos días mucha gente desea comunicarse mientras otra maneja, vuela o navega. Los enlaces terrestres de fibra óptica no sirven para este uso, pero los enlaces por satélite sí. Sin embargo, es posible que una combinación de radio celular y fibra óptica funcionara para la mayoría de los casos (aun que quizá no para aquellos que viajen por aire o por mar).
3. Situaciones en las cuales se requiere difusión. Un mensaje enviado desde un satélite se puede recibir en miles de estaciones terrestres al mismo tiempo. Por ejemplo, para una organización que transmita un flujo de precios de acciones, bonos o commodities a miles de operadores de bolsa le resultaría más económico un sistema por satélite que simular la difusión en tierra.
4. Las comunicaciones en lugares agrestes o con una infraestructura terrestre pobre desarrollada. Por ejemplo, Indonesia tiene su propio satélite para el tráfico telefónico interno. El lanzamiento de un satélite resultó más económico que el enlace de miles de cables bajo el mar entre las 13,667 islas que conforman el archipiélago.
5. Áreas donde es difícil o extremadamente costoso conseguir un derecho para el tendido de fibra óptica.
6. Cuando un despliegue rápido es primordial, como un sistema de comunicaciones militar en época de guerra, los satélites ganan con facilidad.

En resumen, al parecer la tendencia general de las comunicaciones en el futuro será la fibra óptica terrestre en combinación con radio celular, pero los satélites son mejores para algunos usos especializados. Sin embargo, hay un imponderable que se aplica en todos los casos: el aspecto económico. Aunque la fibra óptica ofrece mas ancho de banda, es muy probable que las comunicaciones terrestres y por satélite competirán agresivamente en precio. Si los avances tecnológicos reducen de manera drástica el costo de despliegue de un satélite (por ejemplo, el despliegue de un transbordador espacial futuro que pueda diseminar docenas de satélites en un solo lanzamiento) o los satélites de orbita baja se popularizan, no hay certeza de que la fibra óptica ganara en todos los mercados.

5.5 PRINCIPIOS DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN

Un sistema de comunicación se describe como el conjunto de elementos que ordenadamente relacionados entre sí, tienen la capacidad de establecer la transmisión de un mensaje entre dos puntos independientes.

Los elementos fundamentales o indispensables que intervienen en el principio de Comunicación son:

- a) Emisor o transmisor:** es el elemento que inicia la comunicación; es el encargado de transmitir el mensaje en un lenguaje que el receptor o receptores puedan descifrar con facilidad para poder establecer el enlace de comunicación.
- b) Medio o canal:** es el medio utilizado por el transmisor para hacer llegar el mensaje al receptor.
- c) Receptor:** es el elemento encargado de recibir el mensaje transmitido por el emisor a través de un medio. Al recibirse el mensaje se cumple el ciclo de la comunicación.

5.5.1 DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN

Se denomina “sistema” al conjunto de componentes o dispositivos físicos que interactúan entre sí, que aceptan señales como entradas, las transforman y generan otras señales a su salida. En la figura (5.5.1) se representan, la entrada, el sistema que transforma la señal de entrada y la salida; como se observa la entrada de la señal es de tipo analógica, el sistema de comunicación se encarga de transformar este tipo de señal para que pueda salir una señal digital.

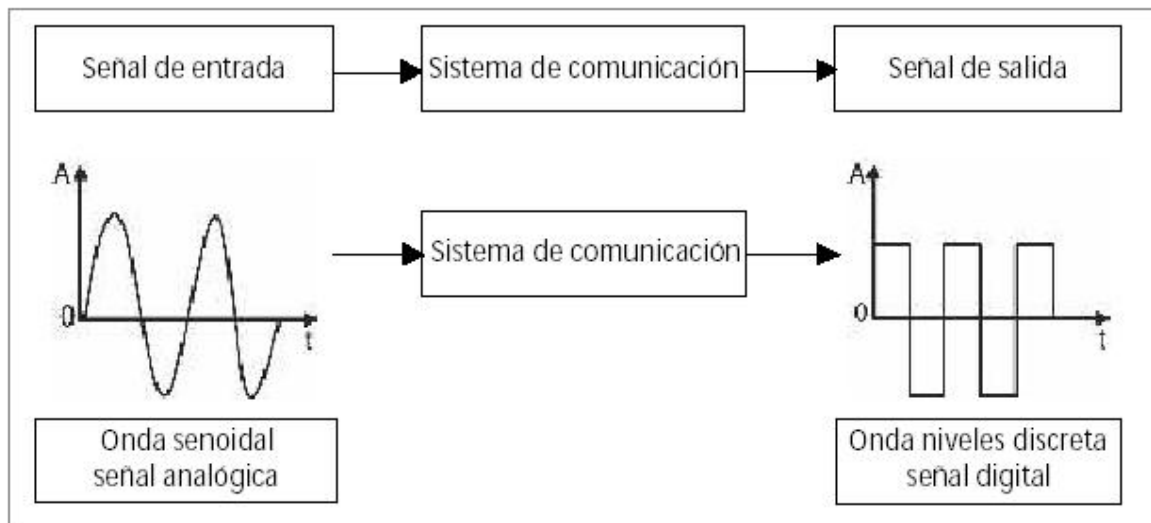


Figura (5.5.1) Sistema de comunicación.

5.6 EXISTEN DOS TIPOS BÁSICOS DE SISTEMAS DE COMUNICACIÓN: ALÁMBRICA E INALÁMBRICA

a) SISTEMA ALÁMBRICO

Depende de un medio de transmisión física, utilizando conductores eléctricos de señal, tales como las líneas telefónicas domésticas, cable coaxial, fibra óptica.

b) SISTEMA INALÁMBRICO

No necesita de un medio físico entre el emisor y el receptor para llevar a fin el mensaje, ocupando como canal transmisor el espacio, por ejemplo la telefonía celular, las estaciones de radio y televisoras locales, la comunicación satelital.

5.6.1 TIPOS DE SEÑAL

Las formas en que se pueden transmitir, recibir y propagar las señales de los sistemas de comunicación son: analógica o digital; las cuales tienen distinta naturaleza.

a) SEÑAL ANALÓGICA

Tiene la característica de que puede variar gradualmente dentro de un intervalo continuo de valores, como son la amplitud y la longitud, dependiendo de las características de la información que se transmite; por lo tanto, una señal analógica (onda senoidal) es una señal de variación continua. Un ejemplo de sistemas analógicos es la señal acústica de un instrumento musical.

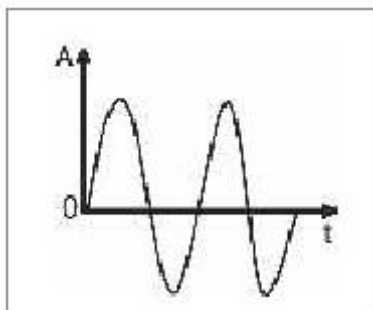


Figura (5.6.1) Forma de onda senoidal.

b) SEÑAL DIGITAL

Es aquella que está conformada por valores discretos tales como los dígitos binarios (0 y 1), por lo tanto, se puede decir que una señal digital es igual a una

señal discreta en amplitud. Algunos de los sistemas digitales más comunes son las calculadoras, algunos tipos de teléfonos celulares, computadoras etcétera.

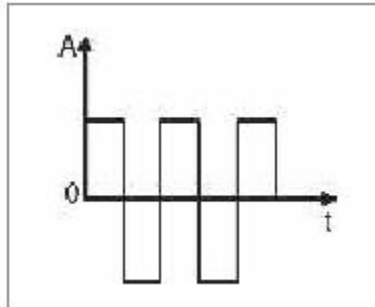


Figura (5.6.2) Forma de señal discreta.

5.7 TIPOS, CARACTERÍSTICAS Y COBERTURAS DE SATELITES

COMUNICACIÓN SATELITAL

El siglo XX ha sido denominado el de las comunicaciones espaciales, ya que se ha alcanzado la tecnología necesaria para poner en órbita diferentes satélites artificiales; esto se logró como resultado de años de investigación, trabajo y por la gran visión tecnológica de muchos hombres en el mundo.

TIPOS DE SATÉLITES

a) SATÉLITE NATURAL

Es un cuerpo celeste animado con movimiento de translación entorno, generalmente, de un planeta.

b) SATÉLITE ARTIFICIAL

Es un elemento físico capaz de recibir y transmitir señales en forma analógica o digital de alta calidad, está colocado en órbita por las necesidades que tiene el hombre para recibir y transmitir información a cualquier punto de la Tierra. La

mayoría de los satélites de comunicación se colocan en el arco satelital; es decir, se encuentran en la **órbita geosíncrona** o **geoestacionaria**, a una altura aproximada de 36,000 Km. sobre el Ecuador; su velocidad es igual a la de la rotación terrestre y giran sobre su propio eje; por ello, cada satélite parece inmóvil con respecto a la Tierra, permitiendo que las antenas fijas apunten directamente hacia cualquier satélite. Un satélite es capaz de recibir y transmitir datos, audio y video en forma analógica o digital de alta calidad y en forma inmediata. Está formado por transpondedores. El satélite toma su energía de la radiación solar, cada satélite tiene un tiempo de vida determinado que varía según la cantidad de combustible que posee. Dicho combustible sirve para mover al satélite cada vez que éste se sale de su órbita, si el satélite pierde su posición y no tiene combustible, no hay manera de regresarlo ya que es atraído por las fuerzas espaciales hasta que se pierde. El satélite tiene un margen bien determinado en el espacio, como un cubo imaginario de aproximadamente 75 Km por lado, en el cual se desplaza sin salirse de control. En la tabla (5.7.1) se mencionan algunos de los primeros satélites lanzados al espacio.

SATELITE	AÑO	CARACTERISTICAS
SPUTNIK I (URSS)	1957	Con 84 kg. De peso transmitió telemetría por 21 días y se desintegro en la atmósfera terrestre después de 1,367 vueltas.
EXPLORER I (USA)	Enero 1958	transmitió telemetría durante 5 meses.
SCORE (NASA)	Diciembre 1958	Primer satélite de órbita baja (182 a 1,048 km.) que transmitió voz.
COURIER (USA)	1960	Recibía y almacenaba la información transmitiéndola al pasar por la estación de destino.
TELSTAR (ATT Y BELL LAB.)	Julio 1962	Con 84 kg. De peso y 87 cm. De diámetro, era capaz de recibir y transmitir simultáneamente. Fue el primero en transmitir televisión. (solo opero durante algunas semanas después su electrónica tuvo averías).
RELAY (RCA)	1962	satélite experimental utilizado para transmitir voz, video y datos.
SYNCOM II y III (NASA)	1963	Fueron los primeros satélites geoestacionarios utilizados para múltiples experimentos. SYNCOM III transmitió la señal de televisión de los juegos olímpicos de Tokio en 1964. Con 39 kg. De peso y 71 cm. De diámetro este satélite constaba de dos transpondedores con 0.5 Mhz. De ancho de banda y 2 watts.
ATS 1 al 5 (NASA)	Diciembre de 1966 a Agosto 1969	El programa ATS fue un programa que cuyo objetivo era la investigación: Probar tecnología de vuelo común a otras misiones. <ul style="list-style-type: none"> • Probar tecnología para la órbita geosíncrona. • Conducir experimentos del gradiente de gravedad. • Conducir experimentos para ciertas aplicaciones específicas en tecnología satelital. • Estudios de comunicación y propagación.
CTS (Canada / NASA)	Enero 1976	Su principal objetivo fue probar la tecnología de transmisión de alta potencia en banda Ku. Este satélite utilizo estabilización de 3 ejes.

Tabla (5.7.1) Características de los primeros satélites en el espacio.

5.8 SUBSISTEMAS DE UN SATÉLITE

Un satélite generalmente se diseña en varios subsistemas para que al ser puesto en órbita pueda ser controlado desde la tierra. Cuenta con los subsistemas de potencia, propulsión, telemetría y comando, y el de comunicaciones, entre otros.

a) **SUBSISTEMA DE POTENCIA**

Éste genera y distribuye **potencia eléctrica** de corriente directa para soportar las operaciones del satélite durante todas las fases de la misión. La potencia primaria es proporcionada por radiación solar a través de las celdas solares de alta densidad hasta el fin de su vida; la potencia secundaria es proporcionada durante el lanzamiento y los eclipses por un sistema de baterías de níquel-hidrógeno.

b) **SUBSISTEMA DE PROPULSIÓN**

Se trata de un sistema integral **bipropelante** que permite la inserción en órbita, el control de orientación y las funciones de mantenimiento en su órbita geosíncrona.

c) **SUBSISTEMA DE TELEMETRÍA Y COMANDO**

Éste proporciona la recepción y **demodulación** de comandos en la **banda C** para su alineación en el cubo imaginario de operación, y de comandos durante todas las fases de la misión.

5.8.1 EL SATÉLITE ESTÁ CONFORMADO POR LAS SIGUIENTES PARTES PRINCIPALES:

- Arreglo de paneles solares.
- Reflectores orientados al Este y al Oeste.
- Amplificador de antena.
- Sensores.
- Antena dipolo para **banda L**.
- Varios subsistemas para el control del satélite.

PARTES DE UN SATÉLITE ARTIFICIAL

a) **SUBSISTEMA DE COMUNICACIONES**

Este permite ampliar y diversificar los servicios de comunicación satelital que actualmente existen, así como optimizar el uso del segmento espacial al permitir nuevas técnicas de explotación; también permite manejar las regiones de cobertura para la comunicación en diferentes bandas, como la banda C, Ku y L.

b) TRANSPONDER

Es un dispositivo que forma parte del satélite, el cual cuenta con varias antenas que reciben y envían señales desde y hacia la Tierra. Los satélites tienen Transpondedores verticales y horizontales, ver tipos de transpondedores en tabla (5.8.1). El transponder tiene como función principal amplificar la señal que recibe de la estación terrena, cambiar la frecuencia y retransmitirla con una cobertura amplia a una o varias estaciones terrenas. Ver diagrama básico en figura (5.8.1) recoge la señal entrante de la antena receptora, ésta es amplificada por un LNA (amplificador de bajo ruido), que incrementa la señal sin admitir ruido. De la salida del LNA la señal es introducida a un filtro Pasa Banda (FPB) para eliminar lo que no pertenece a la señal original y luego esta señal se pasa a un convertidor de frecuencia (OSC) que reduce la señal a su frecuencia descendente, ésta pasa para su amplificación final a un HPA (amplificador de alta potencia, usualmente de 5 a 15 watts), que tiene un amplificador de potencia de estado sólido (SSPA) como amplificador de salida. Una vez concluido el proceso, la señal pasa a la antena descendente y se realiza el enlace con la estación receptora.

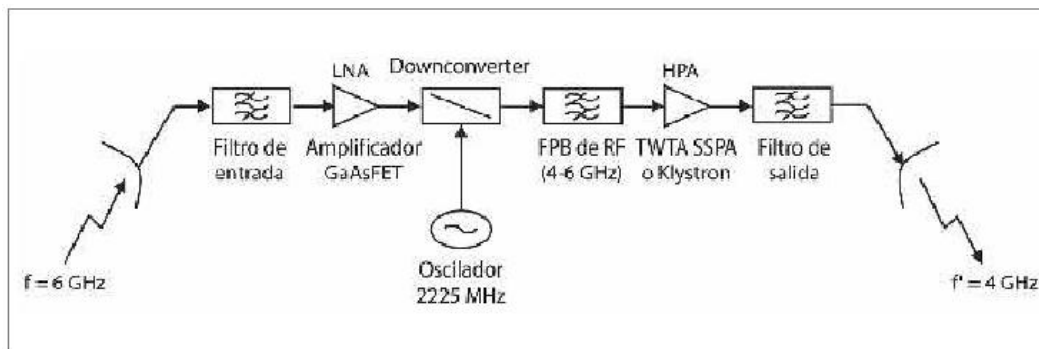


Figura (5.8.1) Diagrama básico de un transponder en banda C.

Tipos de transpondedores

Transpondedor	Estructura	Ancho de banda	Banda
Tipo N	Angosto	36 MHz.	C 6/4 GHz.
Tipo W	Ancho	72 MHz.	C 6/4 GHz.
Tipo Ku	Ancho	54 o 108 MHz.	Ku 14/12 GHz.
Tipo Ku	Angosto	36 MHz.	Ku 14/12 GHz.

Tabla (5.8.1) Tipos de transpondedores y sus características

c) PRINCIPALES FUNCIONES DE UN TRANSPONDEDOR:

- Recibir y transmitir señales.
- Aumentar la potencia de las señales. Este proceso es indispensable, ya que sin la potencia suficiente la información llegará en forma deficiente o simplemente no se recibirá.
- Disminuir la frecuencia e invertir la polaridad. Son dos maneras de evitar que las señales, tanto de ascenso como de descenso, se interfieran y de que existan pérdidas en la información.

En la comunicación satelital es necesario que la señal que se envía a un Transpondedor determinado pueda recibirse por cualquier estación terrena situada en la zona de cobertura correspondiente.

5.9 APLICACIONES DE LOS SATÉLITES

Existe una gran variedad de satélites artificiales girando junto con la Tierra con diferentes aplicaciones como son: científicas, militares, astronómicas, etcétera; equipados, de acuerdo a sus aplicaciones, con diferentes instrumentos y fuentes de energía (**celdas fotovoltaicas**, nucleares, etcétera).

Satélites científicos. Recogen datos del campo magnético terrestre, **auroras boreales** y distintos tipos de radiación.

Satélites astronómicos. Permiten escrutar el espacio sin el obstáculo que presenta la atmósfera terrestre, ya que ésta absorbe gran parte de la luz y la radiación.

Satélites meteorológicos. Recogen información sobre la atmósfera, los grupos de nubes y el equilibrio térmico.

Satélites de comunicaciones. Permiten la transmisión telefónica, de imágenes, de datos de la red de Internet, de programas de televisión, etcétera.

Satélites de navegación. Situados en órbitas fijas, emiten señales para ayudar a barcos y aviones a determinar su posición.

Satélites de observación o espías. Fotografían instalaciones militares, nucleares, detectores de misiles y son utilizados básicamente para fines militares.

Satélites de investigación de recursos terrestres. Informan de la existencia de bosques, yacimientos de petróleo, etcétera.

5.10 SATÉLITES MEXICANOS

En la actualidad, México tiene asignados tres segmentos espaciales, o posiciones orbitales, para el servicio nacional y de casi todo el continente, empleando para ello tres satélites con diferentes tipos de coberturas: Solidaridad II, Satmex 5 y Satmex 6.

a) UBICACIÓN DE LOS SATÉLITES MEXICANOS

Los satélites mexicanos se encuentran ubicados sobre el arco satelital, ubicado a una latitud 0° donde está el Ecuador. El satélite Satmex 6 se encuentra ubicado en la posición orbital de 109.2° Oeste, el satélite Solidaridad II tiene una longitud de 113° Oeste, mientras que el satélite Satmex 5 se encuentra en 116.8° Oeste, con referencia al meridiano de Greenwich.

b) SATÉLITES SOLIDARIDAD

El sistema de satélites Solidaridad representa la segunda generación de comunicaciones espaciales para México. En forma similar a los satélites Morelos, cada uno de los Solidaridad cuenta con 18 Transpondedores en banda C, pero con mayor potencia que la de los primeros, y con cobertura en más áreas geográficas, gracias a la tecnología de los amplificadores de estado sólido que se emplearon en su construcción. Asimismo, dentro de la carga útil se cuenta con 16 transpondedores de **banda Ku** equivalentes a 4 veces la capacidad que se tenía en los Morelos. Adicionalmente existe un sistema de transmisión en banda L, que permite dar servicios de comunicación móvil a todo el país, incluyendo sus costas y mar territorial. Se muestran las especificaciones técnicas de satélite solidaridad II en tabla (5.10.1). Todas las bandas empleadas por los satélites cubren el territorio de México, además de las extensiones en banda Ku para coberturas en la frontera sur de los EUA ver figura (5.10.4), la costa este y las ciudades de San Francisco y Los Ángeles ver figura (5.10.5). La cobertura en banda C se extiende hacia el Caribe ver figura (5.10.1), centro ver figura (5.10.2) y Sudamérica ver figura (5.10.3). El centro de control y operaciones para los satélites se encuentra ubicado en Iztapalapa, D.F., y se cuenta con todos los sistemas electrónicos necesarios para mantener en sana operación esta flota. Asimismo, con el propósito de garantizar gran confiabilidad en el servicio, se cuenta con un centro de control alternativo en la ciudad de Hermosillo, Sonora, en la parte noreste del país.

Tabla de especificaciones técnicas del Satélite Solidaridad II

ESPECIFICACIONES			
Solidaridad II	36 MHz Banda C	72 MHz Banda C	54 MHz Banda Ku
PIRE (dBW) en la orilla de la cobertura	R1: 37.0 R2: 36.2 R3: 37.0	R1: 40.1	R4: 47.0 R5: 45.0
G/T (dB/°K) en la orilla de la cobertura	R1: 4 R2: 1 R3: -1	R1: 2	R4: 2 R5: -1
Densidad de flujo a saturación (dBW/m ²)	R1: -93 R2: -90 R3: -90	R1: -91	R4: -94 R5: -91
No. de transpondedores	12	6	16
Redundancia	14 SSPAs para 12 canales	8 SSPAs para 6 canales	19 TWTAs para 16 canales
Rango de atenuación de entrada	0 a 14 dB en pasos de 2 dB	0 a 14 dB en pasos de 2 dB	0 a 22 dB en pasos de 2 dB
Inicio de operación	Diciembre de 1994		
Vida estimada de operación	14 años		
PARÁMETROS DE SEGMENTO ESPACIAL			
Solidaridad II	Banda C	Banda Ku	
	36 MHz	72 MHz	54 MHz
PIRE (dBW)			
Washington D.C.			R5: 49.7
San Francisco			R5: 48.3
Miami	R2: 37.6		R5: 49.8
San Juan	R2: 37.2		
México D.F.	R1: 39.8 R2: 37.0	R1: 43.1	R4: 50.5
Tegucigalpa	R2: 37.8		
Caracas	R2: 38.4		
Lima	R3: 38.2		
Buenos Aires	R3: 39.0		
Sao Paulo	R3: 38.4		

Tabla (5.10.1) Especificaciones técnicas Solidaridad II

Coberturas del satélite solidaridad II

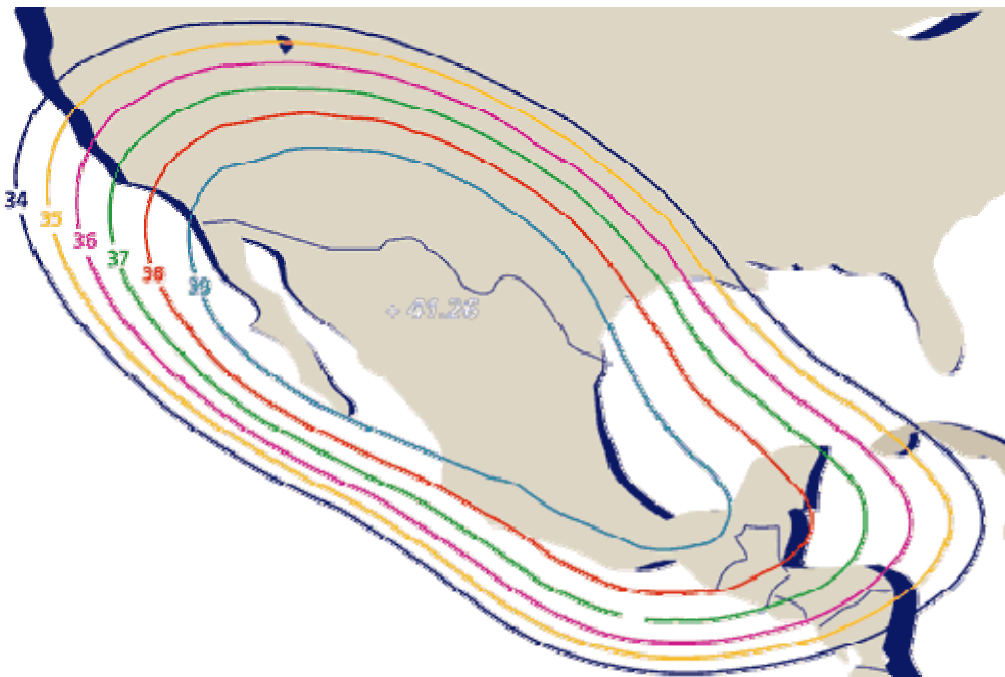


Figura (5.10.1) Cobertura de satélite solidaridad II en banda C1.

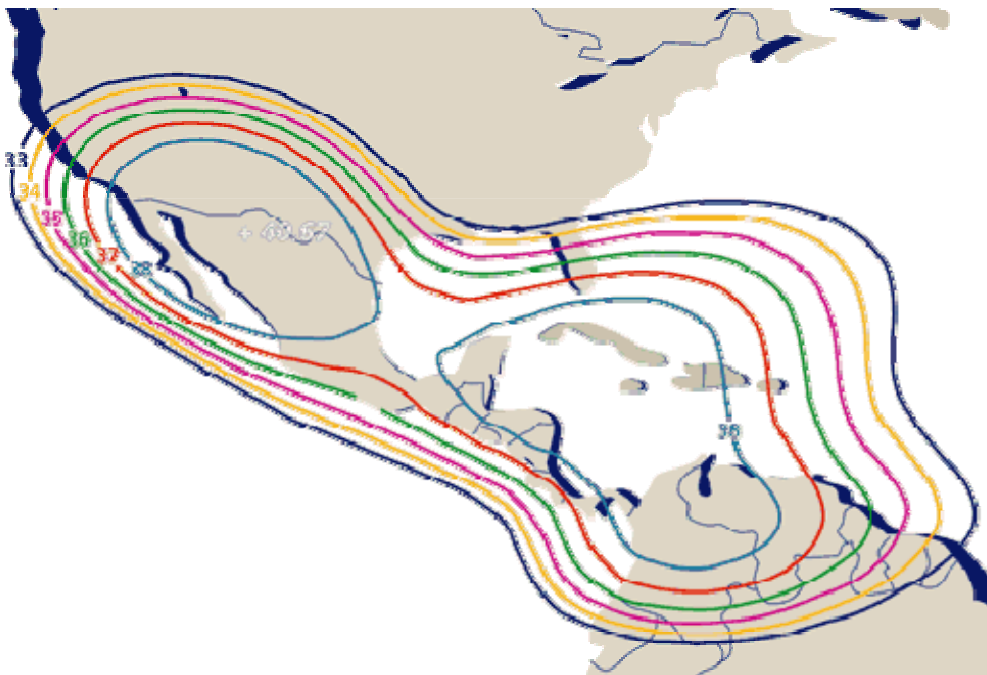


Figura (5.10.2) Cobertura de satélite solidaridad II en banda C2.

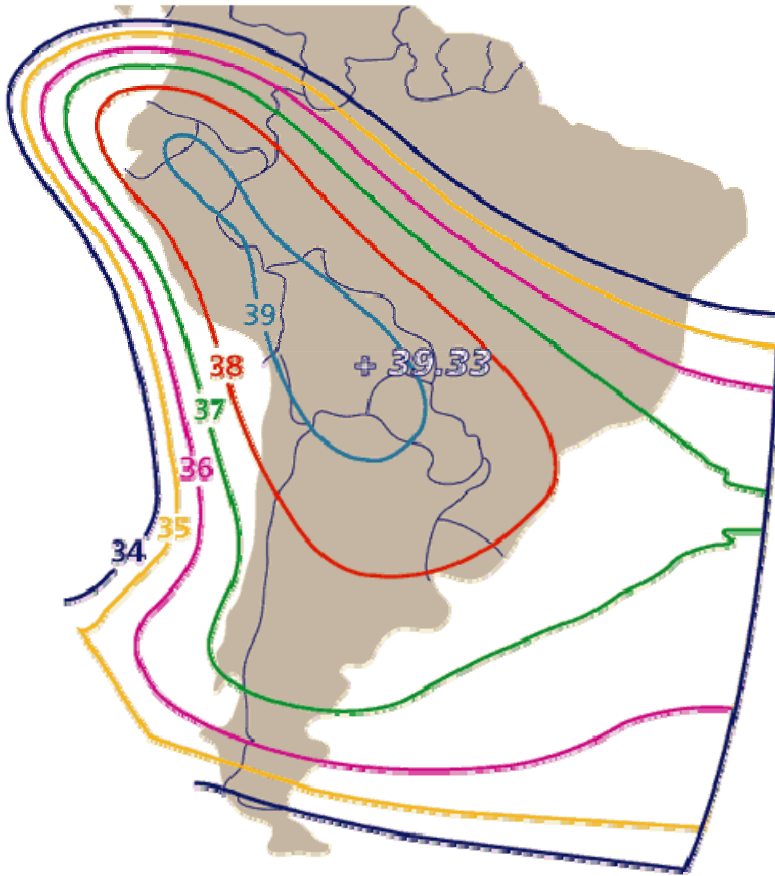


Figura (5.10.3) Cobertura de satélite solidaridad II en banda C3.

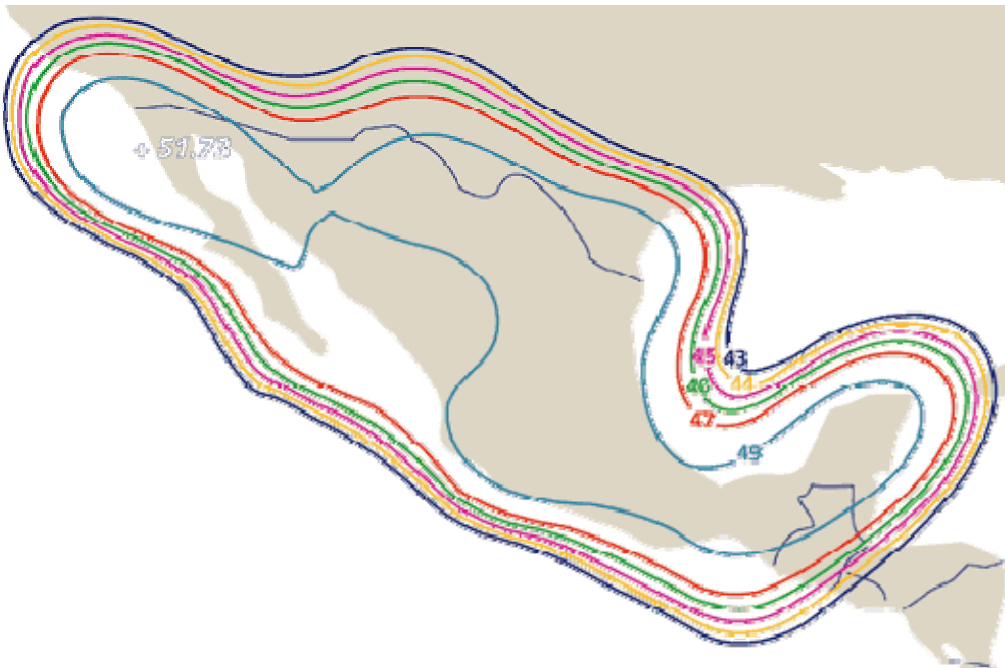


Figura (5.10.4) Cobertura de satélite solidaridad II en banda Ku4.

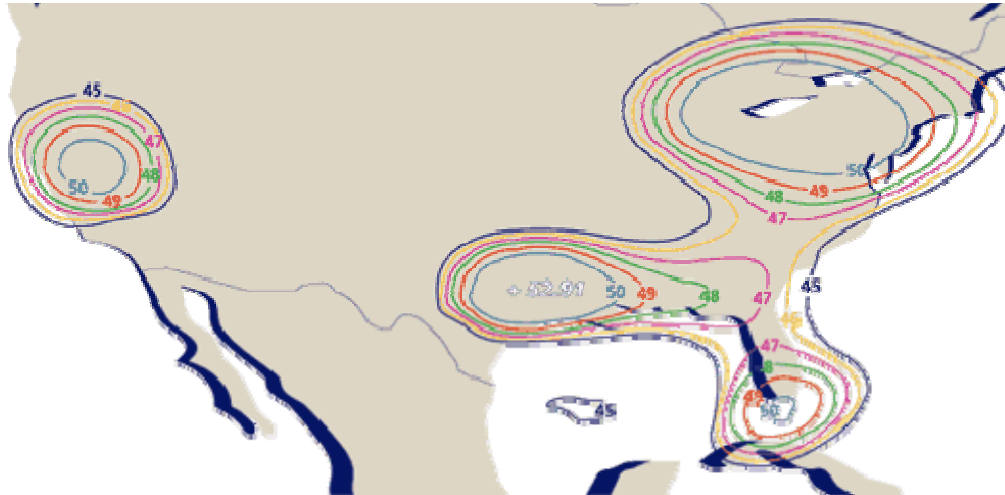


Figura (5.10.5) Cobertura de satélite solidaridad II en banda Ku5.

c) **SATÉLITE SATMEX 5**

Fue fabricado por Hughes Space & Communications, en California, EUA, lugar en donde se construyó la primera y segunda generación de satélites mexicanos. En el trabajo de diseño e integración de este satélite participaron ingenieros mexicanos. La vida útil esperada de Satmex 5 es de 15 años y fue puesto en órbita por un cohete de Arianespace en 1998. Satmex opera este satélite desde su centro primario en Iztapalapa, D.F. y cuenta con un centro de control alterno en Hermosillo, Sonora, con lo que se garantiza la operación del sistema, de la misma forma que se hizo para los satélites Solidaridad. Tiene celdas solares de **arseniuro de galio** y cuenta con nueva tecnología en la batería y el sistema de propulsión, para operar con 24 Transpondedores de banda C y 24 de banda Ku de alto poder. Esta capacidad en banda Ku le permite la transmisión de señales de televisión directa al hogar (DTH), a antenas menores de un metro de diámetro; su PIRE (potencia isotropita radiada efectivamente) y sus márgenes de **G/T** (gain to noise temperatura ratio) le dan capacidad suficiente para hacer radiodifusión digital con gran confiabilidad; además, los haces de cobertura brindan servicio a casi todo el continente americano.

d) BENEFICIOS DE SATMEX 5

El nuevo satélite Satmex 5, lleva a México a una auténtica globalización de los servicios satelitales, ya que cuenta con cobertura continental en todos sus anales, una potencia diez veces superior a los anteriores satélites Morelos, tres veces superior a los Solidaridad, y tiene la tecnología satelital más avanzada, que le permitirá tener una vida útil superior a los 15 años, ver tabla (5.10.2) de especificaciones técnicas. Las aplicaciones satelitales que requieren gran demanda de potencia pueden ser atendidas por Satmex 5, dado que se puede tener un mejor aprovechamiento del segmento espacial. La gran capacidad en potencia efectiva radiada y la elevada densidad espectral de sus transpondedores permiten la radiodifusión digital con gran confiabilidad. Las nuevas aplicaciones que operan en formatos **DVB** alcanzan importantes economías de escala al aprovechar al máximo las características del Satmex 5. Los sistemas como el de televisión directa al hogar (DTH) logran el beneficio de poder transmitir a estaciones con antenas menores a un metro de diámetro, particularmente dentro de la cobertura de Norteamérica. Para los usuarios de servicios ocasionales, Satmex 5 en su banda Ku, ver cobertura de banda Ku en figuras (5.10.7) y (5.10.8) les ofrece la posibilidad de utilizar equipos digitales portátiles, que reducen considerablemente los costos de operación, además de hacer más flexible y dinámico el despliegue de sus equipos de noticias y eventos especiales. Históricamente y por razones fundamentalmente económicas, las receptoras de banda C han sido las preferidas por las cadenas de televisión comercial y sistemas por cable, tanto en Latinoamérica como en EUA y Canadá, ver figura (5.10.6). La cobertura continental de la banda C del Satmex 5, propiciará el crecimiento de la distribución de la televisión por cable y la educación a distancia con costos más competitivos.

Tabla de especificaciones técnicas del satélite satmex 5

Satélite Satmex 5	36 MHz. Banda C	36 MHz. Banda Ku
PIRE (dBW) en la orilla de la cobertura	39	Ku 1:49.0 Ku 2:46.0
G/T (dB/°K) en la orilla de la cobertura	-2	Ku 1:0 Ku 2:-1.5
Densidad de flujo a saturación (dBW/m ²)	-93	Ku 1:-93 Ku 2:-95
No. De transpondedores	24	24
Redundancia	30 TWTAs para 24 canales	32 TWTAs para 24 canales
Rango de atenuación de entrada	0 a 15 dB en pasos de 1 dB	0 a 20 dB en pasos de 1 dB
Combustible remanente al 1° de enero de 1999	Bipropelante 106.761 Kg.	Xenón 229.443 Kg.
Grados de tolerancia en el mantenimiento de nave espacial	+- 0.05° N-S +- 0.05° E-W	
Inicio de operación	Enero de 1999	
Vida estimada de operación	Mas de 15 años	
Posición orbital	116.8° Oeste	

Tabla (5.10.2) Especificaciones técnicas satmex 5

Coberturas del satélite satmex 5

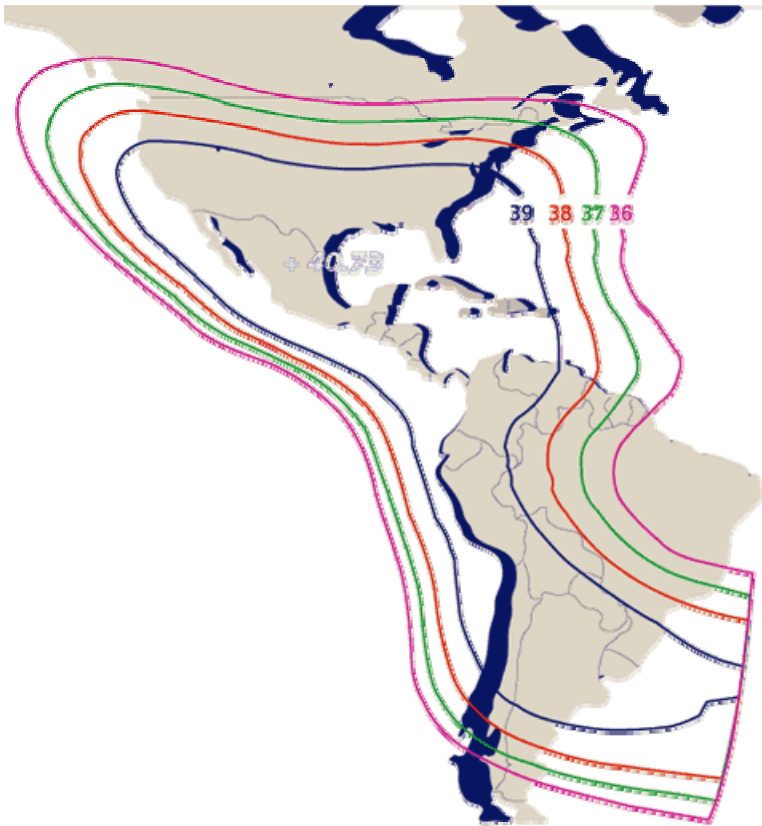


Figura (5.10.6) Cobertura de satélite satmex 5 en banda C.

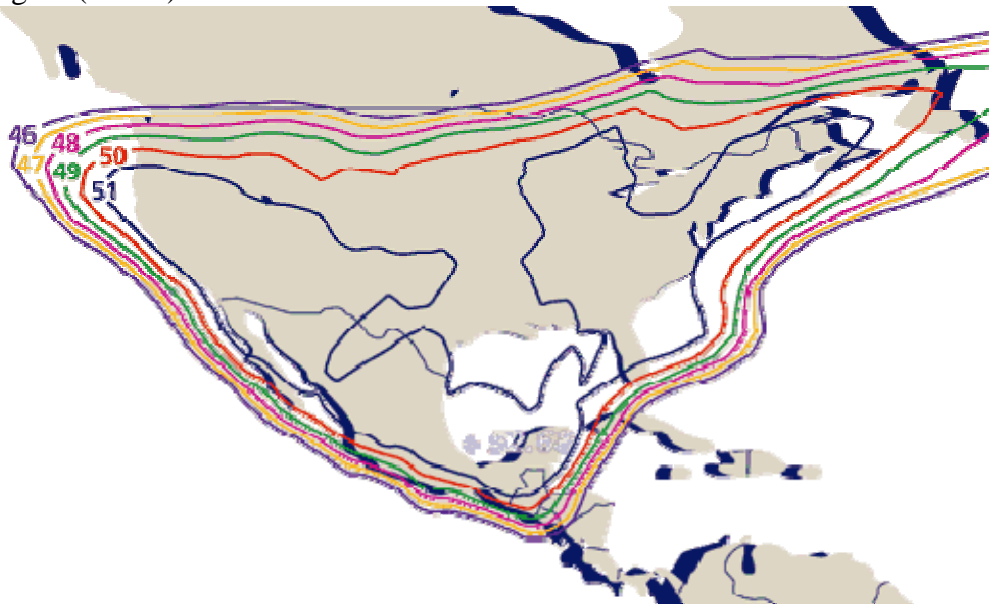


Figura (5.10.7) Cobertura de satélite satmex 5 en banda Ku1.

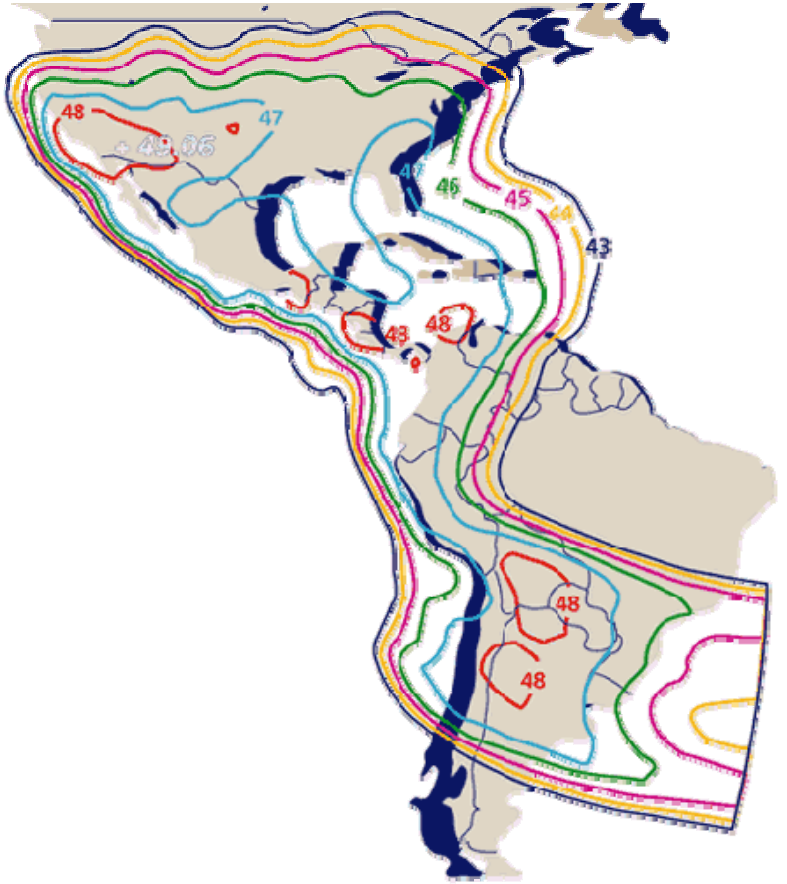


Figura (5.10.8) Cobertura de satélite satmex 5 en banda Ku2.

e) SATÉLITE SATMEX 6

Satmex 6 es el satélite más grande que ha construido Space Systems Loral (SSL), pertenece a la familia FS-13000X, capaz de generar 13.7 KW (BOL) al inicio de su vida útil con un total de 60 Transpondedores de 36 MHz cada uno, ver especificaciones técnicas en tabla (5.10.3); 36 canales en banda C darán servicio en tres regiones (Estados Unidos ver figura (5.10.9), Sudamérica ver figura (5.10.10) y la Plataforma Continental ver figura (5.10.11)) y 24 canales en banda Ku con cobertura NAFTA y Continental, ver figuras (5.10.12) y (5.10.13) con un haz de alta potencia sobre las principales ciudades de Sudamérica incluyendo Brasil ver figura (5.10.13), siendo con ello el satélite con mejor cobertura en el Continente Americano. Este satélite se encuentra ubicado en la posición orbital de 109.2° Oeste.

Tabla de especificaciones técnicas del satélite satmex 6

Satélite satmex 6	Banda C 36 MHz.			Banda Ku 36 MHz.	
	Cobertura C	C1 CONUS + Hawaii	C2 Sudamérica	C3 Continental	Ku-1 Estados Unidos y México
PIRE (dBW) a la orilla de la cobertura	40 dBW	39 dBW	38 dBW	49 dBW	Continental: 46 dBW Sudamérica: 49 dBW
Número de transpondedores	12 Conectividad N-S	12 Conectividad N-S	12 fijos	12 fijos + 6 conmutables	6 fijos + 6 conmutables
Densidad de flujo en saturación a la orilla de la cobertura (dBW/m ²)	-92	-92	-92	-92	Continental: -92 Sudamérica: -95
Redundancia	16:12	16:12	16:12	16:12	16:12
Potencia nominal (W)	42	33	47	150	250
Rango del atenuador	0 a 15 dB en pasos de 1 dB			0 a 20 dB en pasos de 1 dB	
Control Automático de Nivel (ALC)				0 a 15 dB en pasos de 0.5 dB	
Vida útil estimada	15 años				

Tabla (5.10.3) Especificaciones técnicas satmex 6

Coberturas del satélite satmex 6



Figura (5.10.9) Cobertura de satélite satmex 6 en banda C1.



Figura (5.10.10) Cobertura de satélite satmex 6 en banda C2.

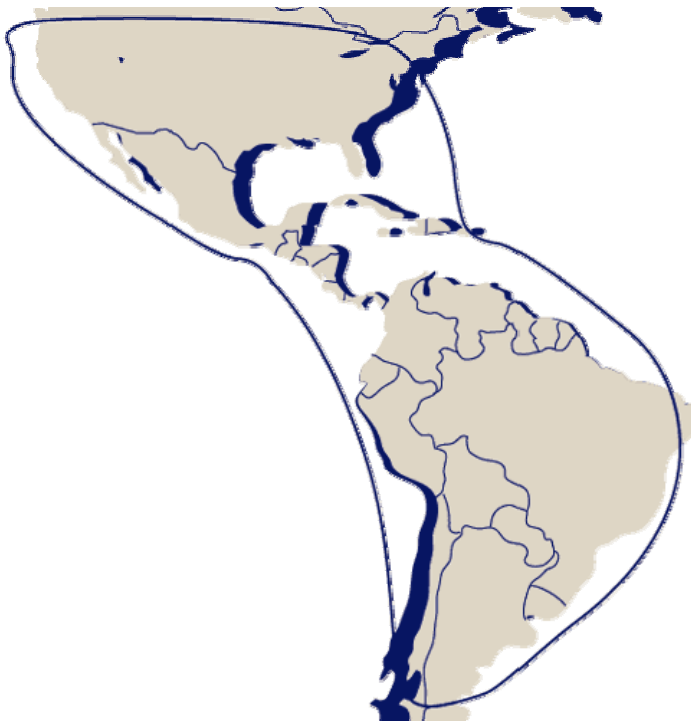


Figura (5.10.11) Cobertura de satélite satmex 6 en banda C3.



Figura (5.10.12) Cobertura de satélite satmex 6 en banda Ku1.

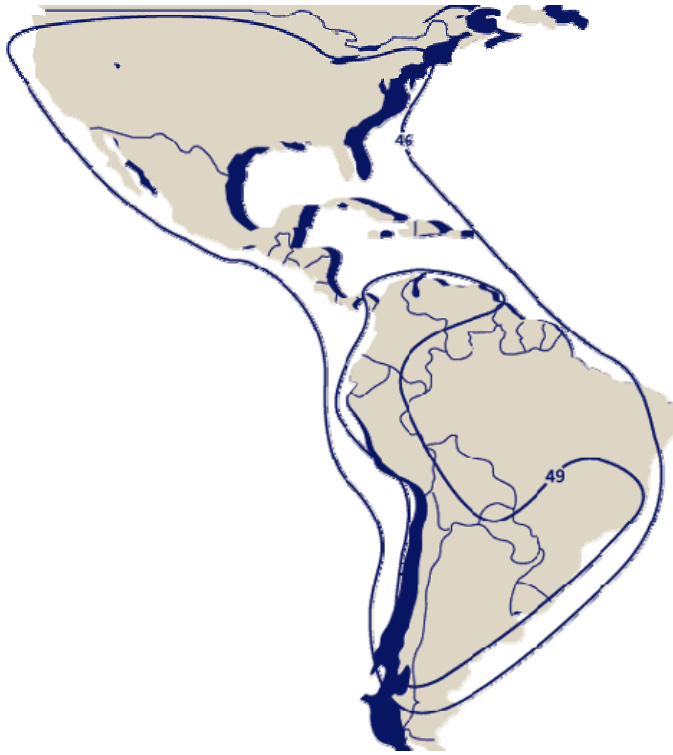


Figura (5.10.13) Cobertura de satélite satmex 6 en banda Ku2.

CAPITULO 6

PROYECTO DE REDES INALAMBRICAS DE SERVICIOS DE INTERNET (WISP), CON ENLACE SATELITAL

INTRODUCCIÓN AL PROYECTO WISP

Actualmente existen diferentes usuarios como campus escolares, pequeñas oficinas, pequeñas empresas, usuarios finales, etc. Que necesitan de una conexión de banda ancha con acceso permanente al servicio de Internet para llevar a cabo sus actividades laborales y/o de investigación, generalmente esto sucede en diferentes ciudades o poblaciones que debido a su ubicación geográfica no es posible contar con un proveedor de servicios de Internet debido a la falta de infraestructura confiable para el suministro de los servicios.

Analizando las diferentes tecnologías de transmisión que tenemos en la actualidad es posible elaborar un proyecto de redes inalámbricas de servicios de Internet (wisp), con enlace satelital. Así poder suministrar el servicio de Internet o conectividad en diferentes poblaciones o pequeñas ciudades sin tener como obstáculo la situación geográfica en la que se encuentren.

El diseño de la topología y la implementación del proyecto es en forma progresiva y abarca varios de sus componentes. Los principales componentes del proyecto WISP son:

- Infraestructura auxiliar (Cableado estructurado, cableado eléctrico, sistemas de tierra física y sistemas de respaldo de energía eléctrica. Infraestructura perteneciente al usuario).
- Equipamiento WAN (Enlace satelital, Router).
- Equipamiento LAN (Base Transmisora, Equipos terminales de los usuarios).
- Equipamiento de Administración y seguridad (Dispositivos de seguridad informática como firewalls, detectores de intrusos, Servidor para el control de acceso, Administrador para ancho de banda y facturación).

6.1 DISEÑO DE LA TOPOLOGIA DEL PROYECTO WISP.

La topología del proyecto es diseñada tomando en cuenta los principales elementos o dispositivos de conexión. El elemento principal es la antena VSAT la cual se conecta al satélite Satmex V, por medio de la banda Ku a una velocidad de 2048 Kbps, posteriormente un router recibe la señal de ancho de banda de la conexión a internet y a él se pueden conectar servidores de mail, servidor de base de datos, servidor de hospedaje Web, servidor de administración y la estación base transmisora que es la encargada de distribuir el servicio de Internet por medio de radiofrecuencia de espectro disperso a los diferentes usuarios o redes LAN de los usuarios que se conectaran a nuestra red WISP, ver figura (6.1.1).

Este modelo de conexión permite la conectividad entre N usuarios y N ciudades o localidades que se necesiten interconectar por medio de nuestra red WISP, gracias a la flexibilidad de la estación base transmisora y al enlace satelital, tomando en cuenta la gran cobertura de la banda Ku del satélite Satmex V.

Topología de la red de servicios de Internet inalámbrico wisp, con enlace satelital.

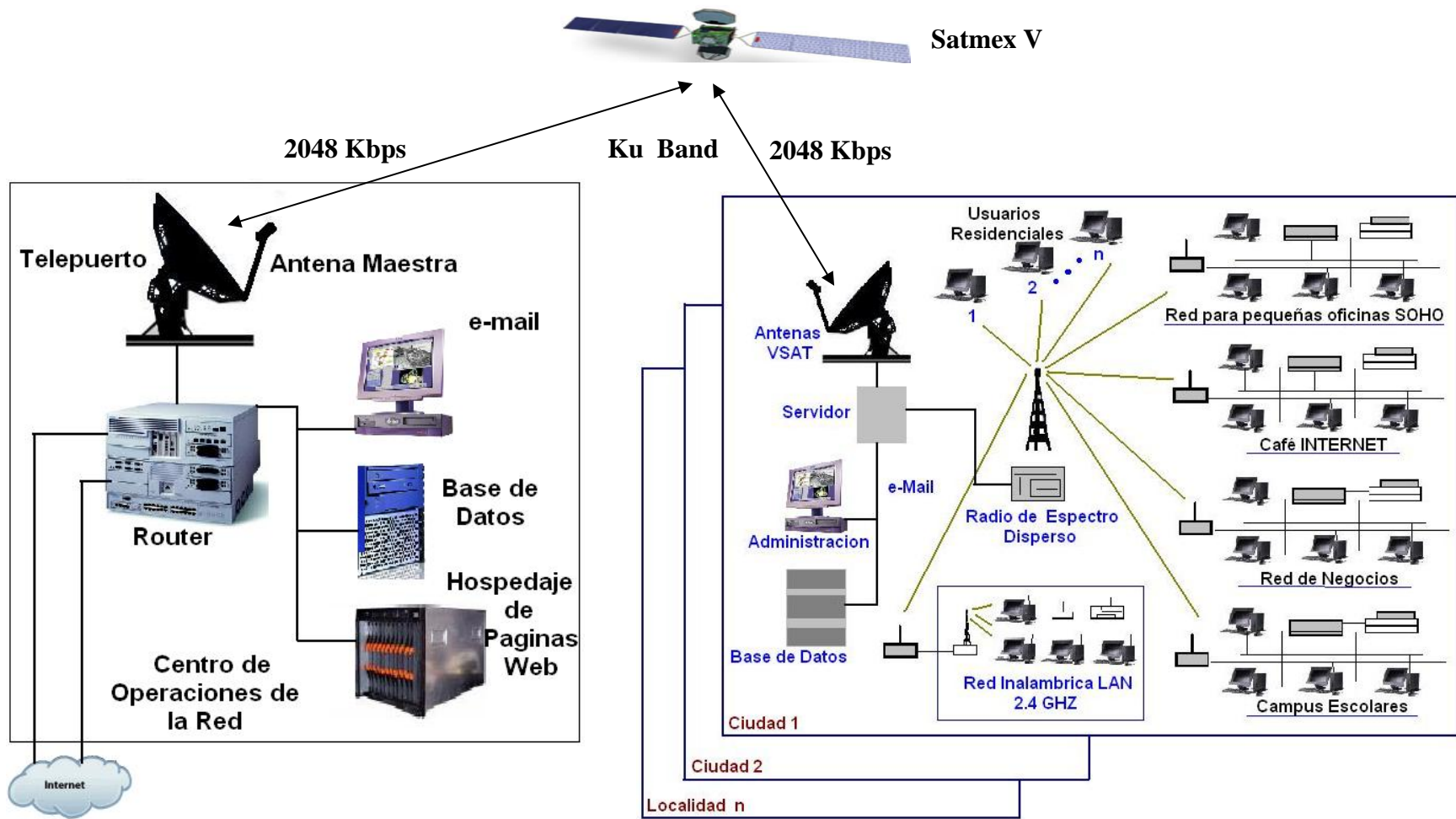


Figura (6.1.1) Topología de la red WISP.

6.2 DISEÑO DE LA SOLUCIÓN DEL PROYECTO WISP (i-PRONTO llamado así por su sencillez).

Se contara con un enlace satelital el cual proveerá el servicio de internet mediante el satélite satmex V a una velocidad de 2048 Mbps. de descarga por una velocidad de transferencia de 1048 Mbps., el cual filtrara el acceso de los usuarios por medio de un servidor Cobalt Qube y el ancho de banda será filtrado por un administrador de ancho de banda que suministrara únicamente la velocidad contratada por el usuario posteriormente el servicio pasara al de la estación base transmisora de radiofrecuencia de espectro disperso sin embargo dicha señal será filtrada por el sistema de administración de red el cual se encarga de la seguridad de la red y la administración de subscriptores y posteriormente el servicio llega a cada usuario de nuestra red WISP siendo un servicio confiable y de calidad, ver figura (6.2.1).

6.2.1 EL ENLACE SATELITAL.

- C-com Satellite Systems provee el acceso a Internet desde un nodo ubicado en Dallas, Tex.
- El Internet esta conectado al Tier-1 con la infraestructura VereStar.
- Velocidades de acceso desde 64/128 Kbps, 256/512 Kbps hasta 2048/4096 Kbps.
- Proporciona acceso directo sin contención.
- Los equipos de acceso satelital a Internet son proporcionados por Hughes en contratos "Llave en mano" (llamado así por las especificaciones de velocidad contratada con el mínimo de error en perdida de datos y sin contrato forzosos).

6.2.2 SERVIDOR PARA EL CONTROL DE ACCESO A INTERNET. Servidor Sun Cobalt Qube.

Es un servidor completo para Internet e intranet en una sola caja, pre-instalado y pre-configurado con todas las herramientas y servicios necesarios para el acceso a Internet.

- Amigable para configurar. (Lo cual no se requiere de un administrador de redes dedicado).
- Permite activar nuevos servicios o implementar las propiedades de seguridad con un solo clic del ratón.
- Excelente para los negocios de Internet, el tamaño perfecto.
- Acceso hasta 2.5 millones de paginas Web por día.
- Maneja más de 35 millones de objetos Web.
- Maneja más de 400,000 e-mails por día.
- Además, se pueden crear y almacenar las páginas Web.
- Controla y evita el acceso de piratas de la red.
- Menú en español.

- Almacena internamente las paginas mas visitadas, lo cual optimiza el uso del acceso a Internet.
- El objetivo del Sun Qube 3 es hacer simple su uso.

ADMINISTRADOR DEL ANCHO DE BANDA Y FACTURACION.

iSurf es un administrador de ancho de banda para soluciones IP.

- Asegura y proporciona el ancho de banda para los usuarios de Internet:
 - 1.- Asegura la calidad de servicio a cada usuario.
 - 2.- Identifica y genera la base de datos para facturación.
 - 3.- Identifica y controla los usuarios abusivos.
 - 4.- Maneja redes privadas virtuales (VPN) y voz.
- Factura los servicios de uso de ancho de banda.
 - 1.- Tarifa Plana.
 - 2.- Permite el cobro variable según el consumo.
- Diseño para ambientes críticos.
- Confiabilidad del 99.999% de operación continúa.

6.2.4 ESTACION BASE TRANSMISORA

Integra el sistema de acceso a Internet inalámbrico en banda ancha.

- Es una solución “Llave en mano” (llamado así por las especificaciones de velocidad contratada con el mínimo de error en pérdida de datos y sin contrato forzosos).
- Usa tecnología de espectro disperso (DSSS) para el acceso inalámbrico.
- Licencia libre.
- La solución ideal para usuarios residenciales, pequeñas oficinas SOHO, café Internet, escuelas, hospitales e industria.
- Los servicios típicos que se soportan:
 - 1.- Correo electrónico.
 - 2.- Navegar por las páginas de Internet.
 - 3.- Transferencia de archivos de datos o de música.
- Ofrece ancho de banda por demanda.
- Bajos costos de infraestructura y fácil de instalar.
- El equipo de transmisión tiene una cobertura de 20 Km. de radio (60,000 m²).
- 300 usuarios por sistema y con capacidad máxima de 4,500 usuarios.

6.2.5 SISTEMA DE ADMINISTRACION DE LA RED

El sistema de administración de la red ofrece:

- Seguridad en la red.
- Administración de suscriptores.
- Operación, alarmas y mantenimiento.

- Distribución de datos y administración del ancho de banda.
- Proporciona información respecto al comportamiento y desempeño de la red inalámbrica y de los usuarios.
- Reporta alarmas y monitorea automáticamente el sistema.
 - 1.- Utiliza la interfaz de usuario grafico (GUI) para la configuración.
 - 2.- Es usado para controlar múltiples sistemas.
- Interfaz con los proveedores locales de servicios de red.

6.2.6 EQUIPOS TERMINALES DE LOS USUARIOS

- El equipo de usuario Terminal provee la conectividad de radiofrecuencia al sistema y a los usuarios de redes o computadoras.
- La conexión se realiza usando la interfaz 10 BaseT.
- La configuración se realiza usando la interfaz de usuario grafico (GUI).
- Instalación rápida y fácil.
- Se puede usar con antena interna o antena instalada dentro de los edificios.

6.2.7 RED INALAMBRICA LAN LOCAL

- El sistema i-PRONTO provee la solución en edificios con la distribución de acceso a Internet para redes LAN con solución inalámbrica extendida.
- Distribución de red inalámbrica LAN en cada piso del edificio.
- Distribución de la red inalámbrica LAN entre edificios cercanos (edificio-edificio).
- Integración de redes privadas virtuales (VPN).

6.3 LA SOLUCIÓN (i-PRONTO)

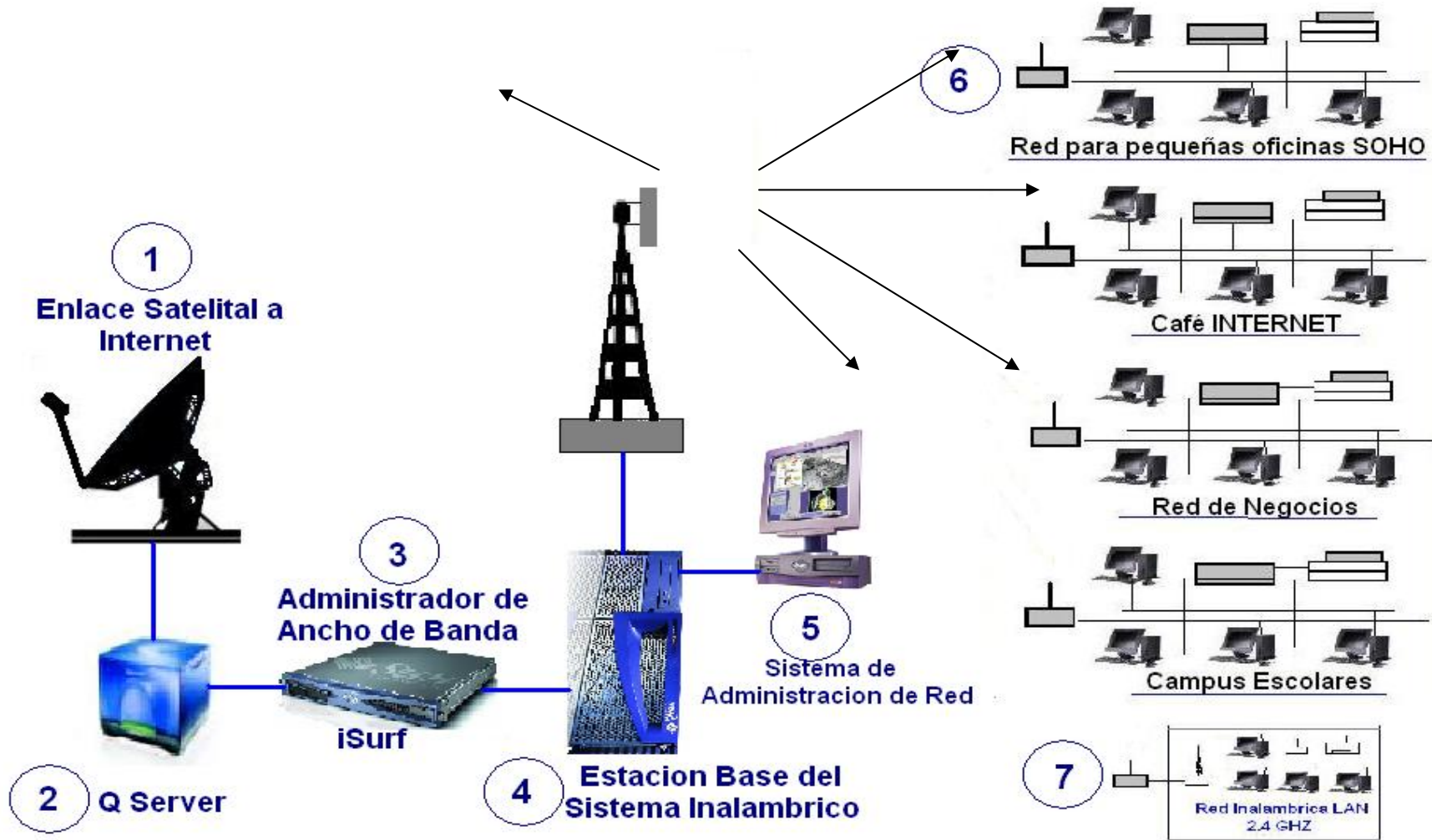


Figura (6.2.1) Solución i-PRONTO.

CONCLUSIONES DEL PROYECTO

Solo nos enfocaremos en los dos puntos mas importantes del proyecto: el enlace satelital y la estación base del sistema de transmisión.

El primer punto importante de este proyecto es el Enlace Satelital en cual provee el servicio de Internet a la estación base del sistema de transmisión; por lo cual se llega a la conclusión que el diámetro de la antena VSAT debe ser de 1.8 metros, y estar apuntada al satélite Satmex 5, debido a que brinda mayor confiabilidad en la fase de apuntamiento y por lo tanto se obtiene una calidad de servicio del 90% (en la practica). Así mismo debe contar con un ancho de banda de 2048/1024 Kbps. Su desventaja principal es, días muy lluviosos por que puede disminuir calidad de servicio hasta el 50%, incluso en casos muy extremos interrumpir el servicio durante algunos minutos.

El segundo punto importante es la Estación Base Transmisora del Sistema Inalámbrico, ya que es la encargada de enviar la señal de Internet a todos los usuarios de nuestra red WISP, se elige la frecuencia de 900 MHZ debido a que esa frecuencia permite tener mayor penetración de obstáculos y no requiere permisos de frecuencia ante la COFETEL. Esto nos permite aprovechar su cobertura máxima para enlazar usuarios que requieren el servicio Sin Línea de Vista. La cobertura de la Estación Base es de 20 Km. de radio (60,000 m²), pero con una buena ubicación geográfica de la torre transmisora se puede llegar a obtener una cobertura de 35 Km.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Tanenbaum, Andrew S. "Computer Networks". Third Edition. Editorial Prentice Hall, New Jersey 1994.
- [2] Miller, Mark A. "Analyzing Broadband Networks": Frame Relay, SMDS & ATM. M&T Books, New York 1994.
- [3] UDLA, "Tutorial de Redes y Telecomunicaciones". Primera Edición. Departamento de Ingeniería en Sistemas Computacionales.
- [4] C-Com Satellite Systems Inc. "Tutorial de Enlaces Satelitales".
- [5] (www.hughes.net).
- [6] (www.satmex.com.mx).
- [7] (www.asisat.org).
- [8] (www.sun.com).
- [9] (www.waverider.com).
- [10] (www.red.com).