

20



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**SATELITES LEO's DE ANCHO DE BANDA
ANCHO EN LA TELEMEDICINA**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

P R E S E N T A N
**MONICA LOZADA MUÑOZ
RICARDO CORDOVA MUÑOZ**

DIRECTOR DE TESIS
M.C. AMANDA O. GÓMEZ GONZÁLEZ



CIUDAD UNIVERSITARIA
2002

TEJIS CON
FALTA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Yo, Monica Lozada Muñoz, quiero dedicar ésta tesis a:

Mi madre, por ti estoy aquí y gracias a eso logré cumplir uno de tus sueños, por darme la vida y todas las enseñanzas, que me ayudaron mucho en mi vida, gracias por seguir a mi lado.

A mi abuelita, siento mucho no haberlo logrado cuando estabas presente, te doy las gracias por los consejos, la educación y los cariños que siempre me brindaste y porque sé que aún estas conmigo.

A mi tía Lur, gracias por haber sido mi madre todos estos años, por tus consejos, tu cariño y sobre todo por el apoyo que me has brindado y por creer en mí.

Y en general a mi familia que de una u otra forma han aportado algo a mi alma y han complementado mi vida.

A Richard y Lily sin su amistad, no hubiera sobrevivido en mi soledad, gracias por esas noches que pasábamos juntos y por comprender cuando no los podía atender.

A Lily, gracias por todas las veces que te preocupabas por mí, demostrarme que había a alguien que le importaba, y sobre todo por ser mi amiguita.

A Richard, gracias por ser tan paciente conmigo, y aguantar nuestras locuras, y por seguir juntos después de tanto tiempo, gracias amiguito.

A Mel, gracias mi niño por existir y ayudarme a superar mis momentos de depresión y darme ese pretexto necesario para salir adelante por alguien y por ese amor incondicional.

A Eduardo, gracias amor por presionarme para que me apurara, por tu apoyo y por todos esos momentos en que me has hecho feliz. Gracias por formar parte de mi historia y por permitirme estar dentro de la tuya.

Ricardo, gracias por haber trabajado conmigo en éste proyecto y por brindarme tu amistad.

A todas esas personas que han formado parte de mi vida, dentro y fuera de la escuela, a mis compañeros de carrera generación 96-2, a los grandes amigos que saben que estarán siempre en mi corazón.

A la UNAM que me ha permitido formar parte de ella durante 9 años y que me ha dado la formación necesaria para ser un buen profesionista.

A ese ser incondicional que me ha guiado y no me ha dejado caer en los momentos más difíciles de mi vida, que me ha dado el carácter y la fuerza para seguir adelante. Gracias Dios.

A todos los antes mencionados los quiero mucho y espero que estén orgullosos de mí.

Yo, Ricardo Cordova, les doy mi agradecimiento:

Señor, tu que en silencio me has acompañado a lo largo de nuestra vida y sin pedirnos nada a cambio, hoy nos regalas la alegría de ver realizado uno más de nuestros sueños, nuestra tesis. Guarda nuestros corazones cerca de ti y gútanos día con día en el camino que lleva hacia ti.

A mis padres:

Este trabajo es la culminación de años de estudio que dedico a ustedes, pues son los autores de mi vida que me han llevado hasta donde estoy, porque ustedes son los seres humanos más maravillosos y porque gracias a ustedes, Dios me ha dado la oportunidad de vivir y la tarea de ser alguien en la vida. Gracias les doy por haberme impulsado y por la dicha enorme de ser su hijo.

Muchas gracias por su apoyo y por ser unos Padres maravillosos.

A mi familia:

Al término de esta etapa de mi vida, quiero expresar un profundo agradecimiento a quienes con su ayuda, apoyo y comprensión, me alentaron a lograr esta hermosa realidad, la finalización de esta tesis y mi formación profesional.

Gracias a ustedes he llegado a concluir un objetivo más en mi vida, espero contar con ustedes todos los días de mi vida, que Dios los bendiga familia.

A Moni:

Porque eres de esa clase de personas que todo lo comprenden y dan lo mejor de sí mismas sin esperar nada a cambio...

Porque sabes escuchar y brindar ayuda cuando es necesario...

Porque te has ganado el cariño, admiración y respeto de todo el que te conoce...

Te doy las gracias por ser una amiga en la que encontré el apoyo y comprensión durante la elaboración de este trabajo y en los años de estudios que compartimos con todos nuestros amigos.

A Amanda:

Siendo esta etapa la más importante de nuestra vida y agradeciendo todo el esfuerzo y dedicación que nos ha brindado a lo largo de esta dura jornada, queremos hacer participe de este importante logro a Amanda, quien siempre nos alentó a perseguir uno de nuestros más grandes anhelos, nuestra Tesis.

A mis profesores:

Para quienes han sabido guiar mis pasos hacia el conocimiento y han sembrado en mí la vocación de servir y ser cada día mejor en todos los aspectos. Para quienes la principal satisfacción ha sido verme convertido en un profesionalista y a quienes nunca podré defraudar.

Gracias profesores por haberme instruido durante mi estancia en la honorable Facultad de Ingeniería.

A mis amigos:

No hay palabras para describir la que una amistad representa, es la base de todo, y cuando esa amistad se comparte, no hay nada mejor. Y es eso lo que todos ustedes me han hecho sentir, sobre todo, por su apoyo y estímulo que me han brindado enormemente en mi formación profesional.

Gracias por su amistad que conservo, hoy y siempre, como el tesoro más valioso.

Infinitas gracias a todos aquellos que hicieron posible este trabajo cooperando con la información que en este se presenta.

Índice

| | |
|--|-----------|
| Introducción | 7 |
| Definición del problema | 9 |
| Objetivo | 9 |
| I. Satélites de órbita baja | 10 |
| Conceptos generales de satélites | 10 |
| Principales métodos de acceso al satélite | 11 |
| Bandas de frecuencia para acceso al satélite | 12 |
| Regeneración de la señal en el satélite | 13 |
| Órbitas satelitales | 14 |
| Clasificación de las órbitas satelitales | 14 |
| Satélites LEO | 16 |
| Tipos de LEO's | 19 |
| Arquitectura de la carga útil | 20 |
| Topologías de red | 20 |
| Topología de estrella (bent pipe star topology) | 21 |
| Topología punto a punto (bent pipe point point topology) | 22 |
| Topología de conmutación de OBP (OBP switching topology) | 22 |
| Efectos del medio sobre los satélites LEO | 23 |
| Diseño de un sistema LEO | 24 |
| SkyBridge | 27 |
| Un sistema de acceso de banda ancha usando una constelación de satélites LEO | 27 |
| El sistema SkyBridge | 28 |
| Principales Características del sistema | 30 |
| Retardo de la señal en el sistema SkyBridge | 31 |
| Utilización optimizada del espectro de frecuencias | 32 |
| Segmento espacial | 32 |
| Segmento terreno | 33 |
| Implementación de SkyBridge | 35 |
| Proyecto Skybridge | 35 |
| Servicios de SkyBridge | 36 |
| SkyBridge y las alternativas tecnológicas | 36 |
| Conclusiones | 38 |
| II. Telemedicina | 39 |
| Definición de Telemedicina | 39 |
| Definición de Telesalud | 40 |
| Aplicaciones de la Telesalud | 40 |
| Componentes de un Sistema de Telemedicina | 41 |

| | |
|--|-----------|
| Componentes de telecomunicaciones en los servicios de Telemedicina | 42 |
| Servicios de Telemedicina | 42 |
| Técnicas de transmisión de telecomunicaciones empleadas en la telemedicina | 43 |
| Telemetría | 43 |
| Datos | 43 |
| Audio | 43 |
| Imágenes | 44 |
| Captura de la imagen y transmisión | 44 |
| Teleradiología | 47 |
| Imágenes de Radiología | 48 |
| Rayos-x | 48 |
| Tomografía computarizada (CT) | 48 |
| Resonancia magnética | 49 |
| Ultrasonido | 49 |
| Medicina nuclear | 50 |
| Termografía | 51 |
| Fluoroscopia | 51 |
| Angiografía digital | 51 |
| Especialidades Médicas | 52 |
| Anatomía Patológica | 52 |
| Cardiología | 53 |
| Cirugía | 53 |
| Dermatología | 54 |
| Ginecología | 55 |
| Neurocirugía | 55 |
| Oftalmología | 56 |
| Otorrinolaringología | 57 |
| Psiquiatría | 58 |
| Reumatología | 59 |
| Traumatología | 59 |
| Beneficios que aporta la Telemedicina | 60 |
| Requisitos técnicos mínimos de la Telemedicina | 61 |
| Conclusiones | 62 |
| III. Parámetros de enlace en satélites LEO | 68 |
| Efecto Doppler | 70 |
| Espectro de frecuencias | 72 |
| Interferencia | 73 |
| Análisis del enlace vía satélite | 73 |
| Conclusiones | 78 |
| IV. Aplicaciones de Telemedicina en México vía satélites LEO | 79 |
| Conclusiones | 85 |
| V. Resultados | 86 |

| | |
|--|------------|
| Conclusiones | 88 |
| VI. Discusión | 89 |
| VII. Conclusiones generales | 92 |
| Anexo 1. La Telemedicina y las Telecomunicaciones | 93 |
| Tecnologías de Telecomunicaciones | 93 |
| Telefonía | 93 |
| Modems | 93 |
| Comunicación celular | 94 |
| Comunicación por radiolocalización | 94 |
| Comunicación VHF | 95 |
| ISDN | 95 |
| ATM | 95 |
| Sistemas de videoconferencia | 95 |
| Satélites | 98 |
| Compresión | 98 |
| Correo electrónico | 99 |
| FTP (File Transfer Protocol) | 100 |
| Internet | 100 |
| Tecnologías de telemedicina | 100 |
| Anexo 2. Reglamentaciones | 103 |
| Anexo 3. Programa para el cálculo de enlace | 107 |
| Bibliografía | 109 |

Introducción

La telemedicina puede ser definida como la transmisión de información médica y la prestación de servicios de salud a través de redes de telecomunicaciones. Esta incluye la transmisión de imágenes fijas, video y otras formas de datos médicos.

Uno de los experimentos más tempranos en usar comunicaciones de video y sonido con fines médicos, fueron llevados a cabo en las misiones espaciales de la década de los 60 por los programas espaciales norteamericanos y soviéticos.

Actualmente, la telemedicina es predominantemente vista como una manera de resolver problemas como: insuficiencia de especialistas, escasez y centralización de recursos, centros de salud rurales con servicios médicos limitados y dificultades geográficas de comunicación; de esta manera logrando el objetivo de proveer igualdad en servicios de salud, sin importar la localización geográfica.

Aunado a esto, se están incrementando las necesidades de intercambiar información entre distintas instituciones médicas, adicionalmente existe una creciente necesidad de crear y administrar grandes bases de datos que incluyan historias médicas, registros de señales e imágenes y otros datos que puedan ser procesados para generar estadísticas, reportes de diagnósticos y tratamientos.

Otro de los aspectos muy interesantes y en los que la telemedicina está cobrando una gran preponderancia, radica en la obtención de una "segunda opinión" a cargo de un experto en una materia concreta. En tal sentido, la medicina rural, la medicina deportiva, la medicina de emergencia (catástrofes, terremotos, inundaciones, etc.) o simplemente la medicina habitual que requiere de expertos en casos concretos, están encontrando a través de este sistema, una excelente vía de comunicación y trabajo en equipo.

Casi todas las especialidades médicas pueden ser practicadas a través de la telemedicina. La mayoría de las aplicaciones médicas se concentran en áreas en la cual hay una escasez de expertos en comunidades rurales, ejemplos incluyen radiología, patología, dermatología, ultrasonido y cardiología.

El desarrollo de tecnologías en las áreas de computación y comunicaciones ha proporcionado los medios para el impulso del desarrollo de la telemedicina como herramienta de consulta y diagnóstico a distancia.

Los satélites LEO presentan grandes ventajas respecto a los GEO. En éste proyecto se discute la aplicación de los LEO de banda ancha a una red de telemedicina, pues la actual está en una plataforma GEO, interconectando las zonas rurales y/o ambulancias con cada uno de los tres niveles de atención según la prioridad requerida, pues estos nos brindan un gran ancho de banda y muy poco retardo en la señal, lo que nos hace más eficiente el enlace.

La intención del presente trabajo es plantear una red de Telemedicina que sea capaz de autofinanciarse en un periodo no mayor a dos años para resolver el problema médico a distancia, puesto que el traslado de pacientes a hospitales especializados requiere de un gran presupuesto.

En el Capítulo I se realiza una breve descripción de los diversos tipos de órbitas satelitales que existen, así como una síntesis de los satélites que hay, enfocándose en los satélites LEO. Estos últimos son los que se contemplan en el desarrollo del presente trabajo, teniendo en cuenta que el sistema propuesto es el conocido como SkyBridge, del cual se presenta información concisa dentro del primer capítulo.

En el Capítulo II se discute lo referente a la telemedicina, las aplicaciones de ésta, y los servicios que nos brinda, así como la transferencia de datos, audio e imágenes. También se presenta una lista de los equipos que se utilizan en las distintas especialidades médicas para éste fin.

Para el Capítulo III presentamos los parámetros de enlace para los satélites LEO, así como el análisis de un enlace via satélite.

El Capítulo IV se refiere a las aplicaciones de telemedicina en México y que son posibles a implementarse sus aplicaciones en los satélites LEO, también se presentan los equipos necesarios para lograr dicha aplicación con el costo total de la implementación.

En lo que concierne a los resultados, presentamos el costo total por cada variante propuesta, así como el análisis costo-beneficio que nos muestra si dicha implementación es capaz de autofinanciarse en no más de dos años, y si representa ganancias o pérdidas durante éste proceso.

Lo siguiente a encontrar es la discusión de resultados, y unos breves comentarios referidos a lo discutido en esta tesis.

Por último tenemos las conclusiones así como tres anexos, en el primero, se muestran las tecnologías de telecomunicaciones y de telemedicina, en el segundo, las reglamentaciones de la telemedicina y en el tercero el programa para el cálculo de enlace.

Definición del problema

Actualmente los servicios médicos, requieren de gran presupuesto para el traslado de pacientes a hospitales especializados, sobre todo cuando los pacientes viven en zonas muy alejadas de éstos.

El problema que aquí se plantea, es lograr la comunicación entre las clínicas de zonas rurales, ambulancias y hospitales de primer, segundo y tercer nivel, para que se eviten los traslados de pacientes que realmente no lo requieran y de esta manera resolver su problema médico a distancia contando con el equipo mínimo necesario para cada especialidad médica.

Ésta comunicación se hará por medio de un enlace satelital, teniendo como opción los satélites de órbita baja (LEO) de banda ancha en el sistema SkyBridge.

Objetivo

Proponer una red de telemedicina, con los equipos necesarios para lograr gran eficiencia en los servicios médicos, que sea capaz de autofinanciarse en un periodo no mayor a dos años.

I. Satélites de órbita baja

Conceptos generales de satélites

En el inicio de las comunicaciones por medio de microondas electromagnéticas moduladas en los años 20's, las cuales han tenido un crecimiento muy rápido, los sistemas se encontraban restringidos al hecho de que los puntos que iban a comunicar estuvieran en la línea vista, hasta que en la década de los 50's surgió la idea de usar la troposfera e ionosfera para reflejar señales electromagnéticas y poder establecer comunicación entre dos puntos que no se encuentren en la línea de vista. La primera versión de esta idea apareció en 1956 con el satélite ECO, el cual era simplemente un balón metálico en órbita que únicamente reflejaba las señales electromagnéticas que recibía de la tierra. Con este sistema se pudo concentrar la comunicación, pero sólo a manera de demostración. A finales de la década de los 50's surgió la propuesta de utilizar satélites activos, es decir, con amplificadores y en 1958 se pudo llevar a cabo la primera conferencia telefónica via satélite.

Actualmente los satélites en órbita son parte fundamental en los sistemas de comunicación, a pesar de las nuevas tecnologías terrenas que ofrecen comunicación de grandes flujos de información a menor costo, los sistemas satelitales cada día son más sofisticados y tienen más aplicaciones en las telecomunicaciones modernas.

Cada generación de satélites es más sofisticada que su predecesora y esto ha tenido gran impacto en el desarrollo y capacidad de los sistemas domésticos, militares y de comunicación internacional.

Existen varias formas de comunicación satelital, básicamente: Tierra - Tierra, Tierra - Satélite - Satélite - Tierra y Tierra - Usuario Móvil.

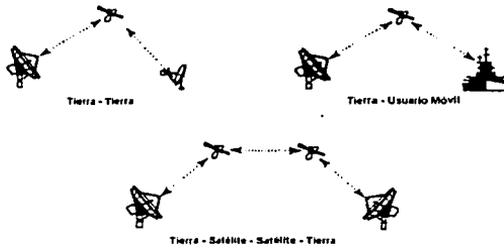


Figura 1.1 Formas de comunicación satelital.

Básicamente una comunicación vía satélite trabaja bajo el siguiente esquema: a) una señal electromagnética modulada se propaga hacia el satélite, b) el satélite la recibe, la amplifica y por ultimo c) la señal es retransmitida hacia una o varias estaciones terrenas. El satélite transmite la señal de subida, es por esto que al dispositivo encargado de este proceso se le denomina transponder.

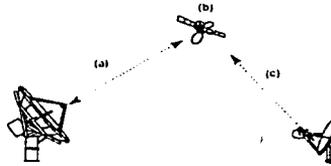


Figura 1.2 Esquema básico de comunicación vía satélite.

Los sistemas satelitales son usados para una gran cantidad de aplicaciones como son navegación y control de posición, observaciones terrestres, monitoreo climatológico, exploración espacial y telemedicina.

Principales métodos de acceso al satélite

El transpondedor de un satélite puede ser ocupado completamente por el canal de una estación terrena, a esta operación se le denomina Acceso Único. También es posible y más común, que un transpondedor sea utilizado por un número de N de portadoras, las cuales pueden ser originadas por estaciones terrenas separadas geográficamente y cada estación puede transmitir una o más de las portadoras. Este modo de operación es llamado Acceso Múltiple. La necesidad del acceso múltiple se debe a que por lo general, más de dos estaciones terrenas estarán dentro

del área de servicio del satélite. Estas áreas de servicio están delimitadas por heces puntuales, los cuales provienen de las antenas del satélite y cubren áreas de cientos de kilómetros.

Los métodos más comúnmente usados de Acceso Múltiple son: *Acceso Múltiple por División de Frecuencia* FDMA, *Acceso Múltiple por División de Tiempo* TDMA. Estos métodos son análogos a los de Multiplexado por División de Frecuencia FDM y Multiplexado por División de Tiempo TDM. Sin embargo, Acceso Múltiple y Multiplexado son conceptos diferentes; Multiplexado es esencialmente una característica de Transmisión, mientras que Acceso Múltiple es una característica de tráfico.

Una tercera categoría de Acceso Múltiple es el *Acceso Múltiple por División de Código* CDMA. En este método, cada señal es asociada a un código particular que es usado para expandir la señal en frecuencia y/o tiempo. Tales señales serán recibidas simultáneamente en una estación terrena, pero por el uso de una clave para ese código, la estación terrena puede recobrar la señal deseada por medio de correlación. El resto de las señales que ocupan el transpondedor se presentan como ruido aleatorio a la correlación del decodificador. CDMA se divide en dos subconjuntos: *Acceso Múltiple por Espectro Expandido* SSMA y *Acceso Múltiple por Dirección de pulsos* PAMA.

Bandas de frecuencia para acceso al satélite

El espectro electromagnético de frecuencias se muestra continuación junto con las bandas de frecuencias designadas. Las frecuencias utilizadas para las comunicaciones vía satélite son seleccionadas a partir de las bandas que son más favorables en términos de eficiencias de potencia, distorsiones de propagación mínimas y efectos reducidos de distorsión e interferencias.

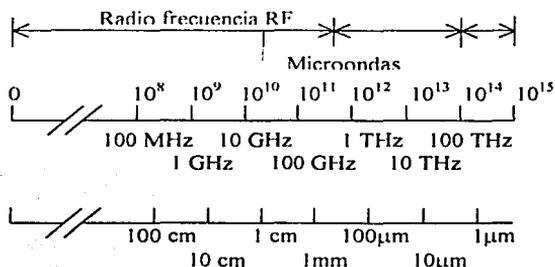


Figura 1.3 Espectro electromagnético de frecuencias.

El tema a tratar en este capítulo son los satélites de órbita baja, los cuales son llamados de esta manera en referencia a la ubicación y altura de su órbita. Ésta es menor en distancia con respecto a la tierra, comparada con la órbita geoestacionaria.

Hasta el momento, la órbita más usada para sistemas satelitales de comunicaciones es la geoestacionaria (GEO), la cual es una órbita circular en el plano ecuatorial y con una altitud de 36,000 km (exactamente 35,786 km). Precisamente debido a esa distancia, los satélites pueden cubrir grandes áreas terrestres y como la velocidad a la que giran alrededor de la tierra es la misma que la de ésta, nunca pierden contacto con un punto dado, por lo que las antenas usadas son fijas. Sin embargo, requieren transmisores de alta potencia y grandes antenas; otra desventaja es que no pueden cubrir regiones ubicadas en latitudes altas de la tierra. También tienen grandes retardos en la comunicación y un costo de lanzamiento demasiado alto, así como la necesidad de utilizar lanzadores de satélites de mucha confiabilidad.

Regeneración de la señal en el satélite

Los enlaces de comunicaciones digitales vía satélite, pueden ser clasificados como regenerativos y no regenerativos. La operación regenerativa involucra demodulación, decodificación, procesamiento en banda base, codificación y modulación de la portadora. Cuando se compara ésta con la operación no regenerativa, se tienen algunas ventajas con el desacoplamiento del enlace de subida y de bajada debido al procesamiento que se tiene que llevar a cabo. Estas ventajas son:

- La razón de transmisión de datos de los enlaces de subida y de bajada, puede ser optimizada para cada uno en particular.
- Se pueden emplear diferentes esquemas de modulación para los enlaces de subida y de bajada.
- En el satélite se pueden usar la corrección de errores FEC (Forward Error Correction).

Aún más, en el procesamiento sobre el satélite, puede incluirse el almacenamiento temporal de información (buffering), detección de errores, compresión de datos, conmutación y enrutamiento del haz o de transpondedor, sincronización, linealización digital y equalización de canales, rechazo de interferencia, etc.

La regeneración requiere todo el equipo necesario (hardware) en el satélite, para hacer el procesamiento de la señal digital. El contenido y complejidad de este equipo, está determinado por el tipo de información, métodos de acceso al canal, protocolos de transmisión, tipo de modulación, etc. Esta

regeneración es particularmente importante para el proceso del paso de tráfico entre satélites.

En cualquier sistema de comunicaciones vía satélite, los dos recursos primarios son la potencia del transmisor y el ancho de banda del canal. La sofisticación de la codificación de la señal y el tipo de modulación, determinan la eficiencia del espectro de frecuencias y la potencia de salida. La selección de la modulación, puede ser usada para establecer el compromiso entre la razón de información transmitida y la potencia necesaria para esto. Sin embargo, la demodulación es limitada por el rango de amplificación lineal del amplificador del canal. En canales de comunicación limitados en potencia, la codificación puede ser usada para determinar el compromiso entre el ancho de banda de la señal y la potencia de ésta. La codificación de la información, incrementa el ancho de banda del ruido, pero también mejora la relación señal a ruido C/N.

En los sistemas LEO, es muy importante utilizar la misma frecuencia en diferentes celdas cuando se tiene un número grande de usuarios. Una manera para optimizar esta característica, es el tener un esquema por división de código. Con el acceso múltiple por división de código (CDMA, Code División Multiple Access), se tendrá una eficiencia alta del uso del espectro y poca degradación del rendimiento conforme la carga de tráfico se incrementa. Otra ventaja, es que facilita el comportamiento del espectro con otros sistemas de comunicaciones móviles GEO en la banda L.

Órbitas satelitales

La órbita es una trayectoria seguida por el satélite, la cual es mantenida debido al equilibrio entre dos fuerzas opuestas. Estas fuerzas son, la fuerza de atracción, producida por la fuerza de gravedad de la tierra que actúa con una dirección hacia el centro de ésta, y la fuerza centrífuga asociada con la curvatura de la trayectoria del satélite.

Clasificación de las órbitas satelitales

Las órbitas no geostacionaria son agrupadas como, órbita baja (*Low Earth Orbit, LEO*), órbita media (*Medium Earth Orbit, MEO*) y órbitas elípticas altas (*Highly Elliptical Orbits, HEO*).

Las órbitas bajas, LEO, son las que están en el rango de 800 a 3, 000 km, entre la llamada altitud de densidad atmosférica constante y los cinturones de radiación Van Hallen¹. Posee un periodo orbital variable de

¹ La Tierra está rodeada de regiones que contienen partículas cargadas de alta energía constan de electrones y protones capturados en una región de forma toroidal centrada alrededor del ecuador magnético. Esta región se extiende desde algunos cientos de kilómetros sobre la Tierra hasta unos 48.000 a 64.000 km.

entre 90 minutos y 2 horas, según la altura a la que se encuentre el satélite. Presentan inclinaciones que van desde los 30° a los 90° , pero con casi 90° de inclinación se garantiza que el satélite pasará sobre cada región de la tierra a la misma hora local. El diámetro de la huella del satélite varía de 1400 a 5900 Km. El tiempo máximo en que un satélite en ésta órbita está arriba del horizonte local para un observador en tierra es de 20 minutos.

Las órbitas medias (MEO) inician en los 3,000 Km. y se extienden hasta la distancia de las órbitas GEO. Los satélites en estas órbitas siempre pasan a través de los cinturones de radiación, por lo que se tiene altos niveles de radiación. El periodo orbital es de aproximadamente 6 horas y el tiempo que se encuentra visible para un observador es de unas cuantas horas. Los ángulos de inclinación son similares a los de las órbitas LEO.

Las órbitas elípticas tienen una trayectoria tal que pasan cerca de la superficie terrestre (perigeo) y después sobrepasan la distancia de la órbita geostacionaria (apogeo).

Las órbitas satelitales pueden ser circulares o elípticas con diferentes altitudes. Por otro lado, el ángulo de inclinación ($\angle i$) de una órbita, es el ángulo que tiene el plano orbital con respecto al plano del ecuador. De acuerdo con esto, todas las órbitas pueden ser divididas por su inclinación en dos clases, las órbitas ecuatoriales ($\angle i=0^\circ$) y las órbitas inclinadas ($\angle i \neq 0^\circ$). Estas últimas se pueden subdividir en órbitas retrogradadas ($\angle i < 90^\circ$), órbitas polares ($\angle i=90^\circ$) y órbitas posigradas ($\angle i > 90^\circ$).

Todas las órbitas también pueden ser divididas en cuatro clases:

- a) órbitas geosíncronas, circular inclinadas,
- b) geosíncronas elípticas inclinadas,
- c) órbitas no geosíncronas, inclinadas y del tipo ecuatorial y
- d) órbitas geosíncronas.

Un término importante, usado para especificar la localización de un satélite en órbita, es el punto subsatelital (*subsatellite point*). Este punto es el que se localiza sobre la superficie de la tierra, al pasar una línea desde el centro de la tierra hasta el satélite.

En una órbita geostacionaria (clase a y b), un satélite completa un número entero de vueltas por día. Estos satélites giran igual o submúltiplos de la velocidad de la tierra, por ejemplo cada 24 hrs, 12 hrs, 8 hrs, etc..

La órbita geostacionaria (clase d), es circular, sin inclinación sobre el plano ecuatorial y geosíncrona, es decir que los satélites alojados en esta órbita giran a la misma velocidad que la tierra.

No todas las órbitas son utilizadas para comunicaciones comerciales; como las orbitas no geosíncronas (clase c), que raramente son utilizadas para este tipo de comunicaciones, ya que preferentemente se usan para aplicaciones militares o científicas.

Los tipos de órbitas clase (a) LEO y MEO, son particularmente adecuadas para los sistemas de comunicaciones celulares móviles, debido a que el tamaño de las celdas permanece constante a lo largo de toda la trayectoria orbital. Pueden ser combinadas constelaciones de satélites geosíncronos en órbitas polares y/o circulares inclinadas, para obtener una cobertura total de la tierra.

Todas las órbitas elípticas tienen dos puntos característicos. Éstos son el perigeo (punto más cercano a la tierra) y el apogeo (el punto más alejado de la tierra). Un problema que se tiene con la clase (b), que son las órbitas no ecuatoriales y de perigeo bajo, es que las imperfecciones de la tierra varían la gravedad terrestre, lo que ocasiona rotación del plano orbital. Esta inestabilidad, moverá constantemente el área de cobertura.

La única manera para estabilizar las órbitas elípticas de perigeo bajo, es el uso de un valor particular de inclinación $\angle i = 63.435^\circ$. Una órbita estable de este tipo, es la órbita llamada Molnya. Ésta tiene un periodo de medio día sideral (aproximadamente 12 hrs.), una altura del perigeo de 500 km y una distancia de apogeo de 39,800 km. El apogeo de esta órbita permanece siempre en una latitud geográfica. Otra órbita de esta clase con menor excentricidad es la llamada órbita Tundra. El periodo aquí es de un día sideral (86164 seg.). En ambos casos la parte de la órbita más útil, es el apogeo. En la región del apogeo, el satélite da la impresión de moverse lentamente por lo que permanece visible desde la tierra por un periodo grande.

Con las características de los diferentes tipos de órbitas vistas anteriormente, se puede notar que a mayor altura del satélite, más grande será el área de cobertura y el satélite permanecerá visible mayor tiempo.

Satélites LEO

Un satélite GEO puede tener una cobertura regional. Para una cobertura global excluyendo las altitudes altas, se necesitan tres satélites GEO o HEO. En cambio con los satélites LEO, el área de cobertura es reducida,

entonces el segmento espacial debe contener un alto número de pequeños e idénticos satélites. Éstos son pequeños debido al menor tráfico de comunicaciones que manejan. Ya que estos satélites deben ser idénticos, es posible tener una producción en serie lo que reduce costos de fabricación.

Cada satélite puede ser dividido en lo que se llama plataforma (Bus) y carga útil (Payload). La carga útil del satélite comprende a todo el equipo de comunicaciones, mientras que la plataforma proporciona el soporte mecánico, potencia eléctrica, control y estabilización de temperatura de éste y esta compuesta de los siguientes subsistemas: estructura mecánica, control de órbita y apuntamiento, propulsión, telemetría, seguimiento, comandos, control térmico y potencia eléctrica. Los satélites de comunicaciones LEO tienen una plataforma de diseño similar a otro tipo de satélites no geoestacionarios (meteorológicos, militares y de investigación). No obstante, esta plataforma es algo diferente a la de los GEO. Los sistemas de carga útil son los más importantes porque realizan la principal función para la que los satélites fueron creados, que es la de recibir la señal de información proveniente de un punto (o varios puntos) de la tierra, hacer todo el proceso necesario sobre ella para después transmitirla nuevamente hacia uno o más lugares de la superficie terrestre, logrando así la comunicación entre dos lugares distantes entre sí. Estos sistemas consisten de los transpondedores electrónicos, los circuitos para el procesamiento de la señal y las antenas.

La elección más adecuada de antenas para un satélite LEO, es un arreglo de antenas multihaz (Multiple Beam Array, MBA) o un arreglo multihaz adaptivo. Los arreglos multihaz son aquellos en fase que pueden ser diseñados para tener haces nulos dirigidos hacia una celda contigua, con lo que se minimiza la interferencia en las celdas vecinas. En un sistema multihaz la mayor fuente de interferencia que se tiene, son las señales de los haces contiguos. El factor que reduce la posibilidad de utilizar en un canal contiguo la misma frecuencia (co-channel) es el número de radios de celdas entre dos células con la misma frecuencia. Con un buen diseño del arreglo de antenas, este factor puede tener como mínimo cuatro. Esto quiere decir, que cualquier celda no adyacente puede hacer uso de la misma frecuencia, la desventaja del arreglo de antenas es su complejidad y masa.

En sistemas de satélites LEO, se tiene un compromiso entre el número de satélites de la constelación, con el tiempo de propagación de la señal y las pérdidas en el espacio. Debido a que cuando el área de cobertura incrementa y el número de satélites requeridos decrece, se necesita incrementar la altitud de la órbita, entonces ambos parámetros de

comunicaciones (retardo y pérdidas en el espacio), aumentan su valor, lo que no es deseable.

Para una constelación de satélites con órbita polar circular, el número de satélites equiespaciados para cada plano orbital (N_s), y el número de planos (N_p), con igual espacio entre ellos, para la cobertura completa sin traslape son respectivamente:

$$N_s = \frac{\pi}{\phi - \varepsilon}$$

$$N_p = \frac{\pi - 2 * \arccos\left(\frac{\cos \phi}{\cos(\phi - \varepsilon)}\right)}{\phi + \frac{\arccos \phi}{\cos(\phi - \varepsilon)}} + 1$$

donde

$$\phi = \arccos\left(\frac{r_E * \cos \gamma}{r_E + h}\right) - \gamma$$

$$\varepsilon \equiv \frac{(-\phi + \sqrt{\phi^2 + 6 * \phi * \tan \phi})}{18 * \tan \phi}$$

γ = es el ángulo de elevación

ϕ = es el ángulo de cobertura

El número total de satélites LEO en la constelación deberá ser $N_t = N_p * N_s$. Una característica importante es que con un ángulo de elevación grande, se tiene menor interferencia en la comunicación por obstáculos terrestres (árboles, edificios, etc.). Sin embargo aumentando este ángulo se incrementa también el número de satélites requerido.

Los enlaces para comunicaciones móviles son particularmente sensibles a obstáculos terrestres como son colinas, árboles, edificios, etc.. Debido a esto para tener una buena calidad en la comunicación por obstáculos el ángulo de elevación debe ser tan alto como sea posible. De igual manera, para obtener una comunicación aceptable en lugares con ángulos de vista baja, es necesario mantener niveles de calidad en el enlace.

Con satélites estacionarios, una deficiencia que se tiene es el bajo ángulo de elevación en latitudes altas, como por ejemplo en el norte de Asia,

Escandinavia, Alaska y el norte de Canadá. Estas áreas requieren márgenes de enlace de 20 a 30 dB, para superar estos bloqueos en la comunicación. Sin embargo, con los satélites de órbita polar circular, se pueden cubrir estas regiones con un ángulo de elevación suficientemente grande.

La red de satélites de órbita baja (LEO) elimina el gran retardo de la señal que experimentarían las comunicaciones a través de los satélites geostacionarios tradicionales. Estas redes pueden proporcionar la calidad del servicio (QoS) como la de una fibra óptica, por ejemplo: el retardo es menor que 75 ms para la mayoría de las conexiones, la razón dígito-error es menor que 10^{-10} (BER), y la disponibilidad es del 99,9%. La baja altitud permite grandes y pequeños anchos de banda y equipo terrestre de baja potencia en la terminal de usuario. Las redes LEO de banda ancha pueden proporcionar los servicios de telecomunicaciones globales tales como redes de computadoras, acceso Internet de banda ancha, voz de alta calidad, telemedicina y otras necesidades digitales de datos que son compatibles con las redes terrestres.

El soporte de la red de banda ancha en demanda, permite al usuario solicitar la capacidad que necesite. Esto deja a los usuarios pagar solamente por la capacidad que utilizan realmente y a la red apoyar a millones de usuarios. La mayoría de los usuarios tendrán conexiones de dos vías que proporcionan 64 Mbps en el flujo de bajada (downlink) y a hasta 2 Mbps en el flujo de subida (uplink). Las terminales de banda ancha ofrecerán 64 Mbps de capacidad en dos vías.

Tipos de LEO's

Existen tres tipos principales de satélites LEO's los cuales son:

- Pequeños LEO's. Son satélites muy pequeños de aproximadamente 1 m³ de dimensión con un peso de casi 100 kg y operan a frecuencias por debajo de 1 GHz, transmiten en canales de entre 100 y 300 bps que se utiliza para transmitir pequeños paquetes de datos. Para proveer cobertura geográfica global utilizan repetidores relevadores fijos terrestres.
- Grandes LEO's. Operan a frecuencias de 1 a 3 GHz, tienen una capacidad típica entre 2 y 10 Kbps. Proveen de servicios de voz y datos interactivos para comunicación personal, su órbita puede encontrarse dentro del rango de 778-1575 Km para los de órbita baja y los de órbitas medias entre 9260-11112 Km.

- LEO's de banda ancha. Proveen de velocidades de acceso 2000 veces más rápidas que los módems analógicos y operan en frecuencias dentro del rango de 19 y 29 GHz. Es posible transmitir a velocidades de 64 Mb/s en el enlace de bajada y 2 Mb/s en el de subida.

Arquitectura de la carga útil

Un diagrama de bloque de una carga útil de comunicaciones se muestra en la figura 1.4. La antena multi-haz del enlace de subida (uplink) recibe las señales de las terminales del usuario. Estas señales después se convierten en IF (frecuencia intermedia) y se encaminan a un demodulador/decodificador donde se transforman nuevamente en paquetes. El interruptor de paquetes, enruta los paquetes del uplink y también los de los receptores de la conexión de inter-satélite (ISL) al acceso de salida apropiado basado en el direccionamiento que existe en la cabecera del paquete. Los paquetes se pueden enviar a los transmisores de la ISL que se comunican con los satélites próximos o a las terminales del usuario en tierra vía la antena del downlink. El acceso de usuarios es controlado por la computadora telecom, así como los módulos que se accionan por intervalos, la conectividad conmutada de IF, la selección de la frecuencia del demodulador, la desconexión del satélite, las actualizaciones del vector de encaminamiento, etc.

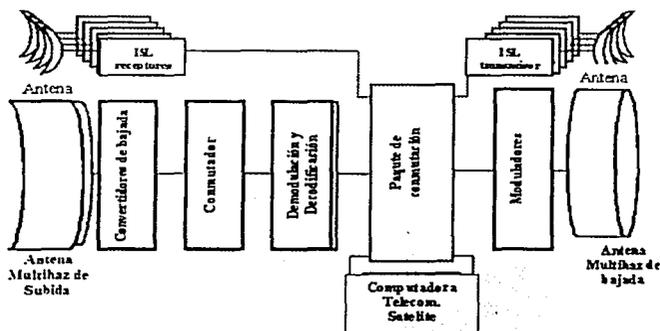


Figura 1.4 Diagrama de bloques de la carga útil.

Topologías de red

Independiente del tipo de órbita usado, hay tres topologías principales de red usadas para los sistemas de banda ancha. El tipo de órbita afecta solamente la complejidad de la implementación física. La topología es, sin

embargo, dependiente de la carga útil usada en los satélites, o se tiene una tabla de procesos y capacidad de conmutación, o bien, se tiene transparencia.

- Topología de estrella (bent pipe star topology).
- Topología punto a punto (bent pipe point to point topology).

Las anteriores aplicables a las cargas útiles transparentes

- Topología de conmutación de OBP (OBP switching topology). La cual es utilizada para la tabla de procesos de la carga útil (OBP).
- **Topología de estrella (bent pipe star topology)**

Ésta es una evolución del concepto del concentrador interactivo de VSAT, aunque algunos operadores han alcanzado ésta agregando al camino de regreso una gran transmisión de tasa de datos en el uplink de la estación.

Esta topología es caracterizada por tener un Gateway grande en la estación terrestre que comunica una o más transmisiones en el enlace expedido a un gran número de terminales pequeñas de usuarios. Estas transmisiones contienen información de direccionamiento que permite que cada terminal del usuario seleccione su información provista para ella. En la dirección de regreso, las terminales remotas del usuario transmiten en ráfagas a una razón baja o alta de información al Gateway.

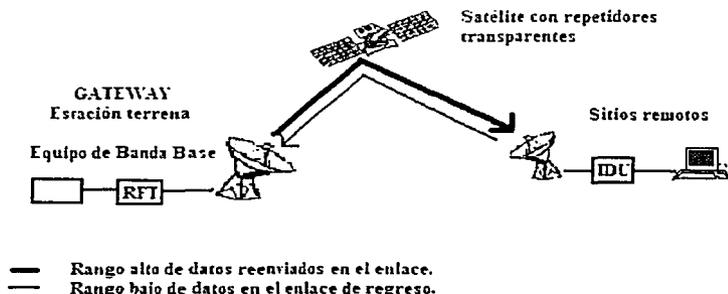


Figura I.5 Topología de estrella (Bent Pipe Star Topology).

□ Topología punto a punto (bent pipe point to point topology)

Este es un desarrollo del concepto punto a punto de VSAT. En esta topología, una conexión dedicada de dos vías se instala entre un Gateway grande de una estación terrestre y una única terminal de usuario.

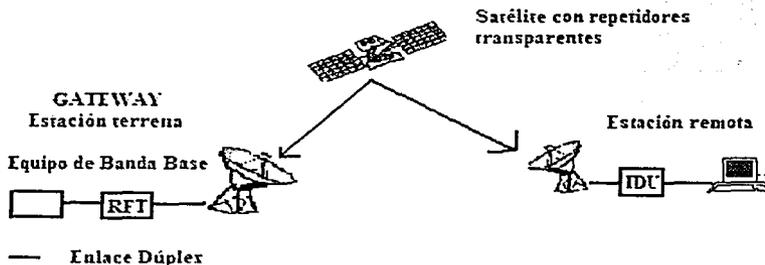


Figura 1.6 Topología punto a punto (bent pipe point to point topology).

□ Topología de conmutación de OBP (OBP switching topology)

Esta topología tiene al satélite como foco de una red de estrella en vez de un Gateway de una estación terrestre.

El satélite es conectado con el Gateway de la estación terrestre por uno o más troncos grandes de información.

En el satélite el On Board Processor (OBP), lleva a cabo una demultiplexación del enlace y las separa en downlinks para áreas geográficas determinadas (generalmente células determinadas por el modelo de la cobertura de la antena). Los downlinks producidos de esta manera contienen mensajes para una gran cantidad de terminales de usuario, en las cuales la terminal identifica su mensaje por las cabeceras que hay en ellos.

En uplink, las transmisiones de las terminales del usuario de una o más células se multiplexan juntas sobre un tronco de downlink para ser transmitidas al Gateway.

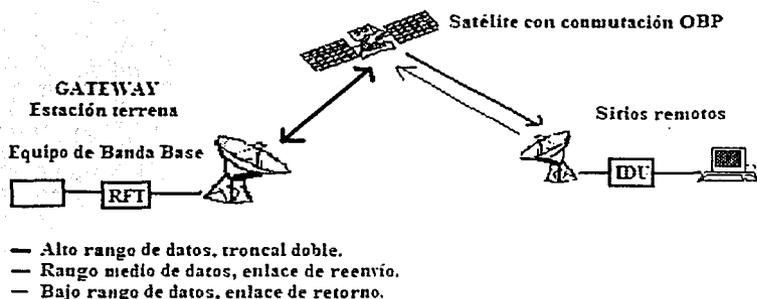


Figura 1.7 Topología de conmutación de OBP (OBP switching topology).

Efectos del medio sobre los satélites LEO

Todos los satélites en el espacio sufren algunos efectos de deterioro debido al medio ambiente que los rodea, como son por causas térmicas, liberación de gases por efectos del vacío, etc.. El medio ambiente de los satélites LEO es un poco diferente al de los GEO. La exposición a radiación ionizante es mayor, aunque ésta existe en todas las altitudes de las órbitas. Hay dos fuentes principales que originan estos efectos, como es el incremento de la radiación solar por actividad y los rayos cósmicos. Sin embargo, el campo magnético de la tierra atrapa las partículas con mayor carga eléctrica dentro de dos cinturones toroidales concéntricos que están ubicados sobre el ecuador, los que son conocidos como cinturones de radiación Van Hallen. El cinturón inferior consta primordialmente de protones con alta velocidad y el superior de electrones. Los niveles de radiación de estos cinturones varían en el transcurso del año en las latitudes geográficas y con la actividad solar. En promedio, en el plano del ecuador la radiación pico se encuentra a una altura sobre la tierra entre 2,200 y 18,500 km. La aproximación de satélites o que pasen a través de ellos requieren medidas especiales de protección, como por ejemplo la fabricación de componentes electrónicos más resistentes a radiaciones.

A muy bajas alturas, se tiene erosión por efectos del oxígeno la cual es más pronunciada en las partes más delgadas del satélite; para evitar este deterioro se cubren las partes con compuestos hechos a base de polímeros. Las celdas solares son las más vulnerables a radiación y oxidación, por lo que son cubiertas por una capa gruesa de polímeros o vidrio transparente para evitar estos dos efectos.

Otra causa que hacen particularmente difícil el medio ambiente de los satélites LEO, son los fragmentos de objetos en el espacio que pueden ser partes de satélites que ya están fuera de operación y meteoros.

Diseño de un sistema LEO

Lo que sigue es una lista de algunos de los elementos principales que constituyen el diseño de un sistema LEO de banda ancha:

Sistema.

- Constelación basada en los satélites. Cobertura única y múltiple, ediciones de la conectividad del ISL.
- Ángulo de elevación contra el número de satélites.
- Altitud contra el número de satélites.
- Capacidad y capacidad de densidad.
- Disponibilidad.
- Emisiones reguladas.
- Eficacia contra complejidad.

Uplink.

- PIRE del UE contra la G/T del satélite.
- Arreglos en fase contra arreglos de antena multi-haz.
- Transmisiones fijas del satélite contra las células fijas de la tierra.
- Dirección compleja de los recursos.
- Número de transmisiones contra capacidad y densidad de capacidad.
- Demodulador y canalizador / conmutador complejo de IF / eficiencia comercial.
- Acceso y ancho de banda en demanda.

Downlink.

- G/T del UE contra el PIRE del satélite.
- Arreglos en fase contra arreglos de antena multi-haz.
- Dirección compleja de la transmisión.

UT.

- Arreglos en fase contra 2 fuentes seguidoras.
- Demodulación / decodificado de una sola portadora contra la ineficacia de la antena del downlink de portadoras múltiples.

La optimización del sistema es extremadamente importante debido al alto costo para poner los satélites en órbita. El sistema también debe ser flexible para manejar cambios en el tráfico, en la geografía y ambos debido a los nuevos tipos de uso, entre el tiempo de diseño y cuando el sistema está finalmente en operación. El espacio del diseño para las redes de LEO banda ancha es muy grande, además de que el sistema es muy dinámico y complejo. Esto proporciona mucha flexibilidad para adaptar el sistema a los mercados planeados. Sin embargo, el desafío es determinar los comercios de una manera oportuna y estudiar cómo manejar un sistema tan complejo.

Típicamente, las constelaciones de banda ancha ofrecen conexiones de datos altas en el rango de centenares de kbps a Mbps. Estas conexiones son pensadas generalmente para el uso de una gran cantidad de terminales de bajo precio. A largo plazo, estos sistemas harán las VSAT's convencionales obsoletas. En un período corto de tiempo, en los años próximos, los sistemas satelitales de banda ancha, con las terminales del usuario más económicas, llegarán arriba del orden de las terminales de VSAT's convencionales, se hará una incursión significativa en el mercado corporativo de estas.

Los mercados dominantes identificados para los servicios basados en los satélites de banda ancha son:

- Conectividad de Internet / Intranet/ Extranet para ambos consumidores y todas las categorías de los negocios del usuario.
- TV interactiva.
- Conexiones dedicadas punto a punto.
- Conectividad compartida (conexión en demanda en un tiempo corto para transmisión de la información).
- Transporte (portadoras de telecomunicaciones sobre una base total).
- Telefonía fija (servicios básicos en regiones subdesarrolladas).

La mayoría de los sistemas comparten un número de características dominantes:

- Las terminales del usuario pequeñas que poseen un bajo costo, serán conectadas en una topología de red estrella a un mayor Gateway de las estaciones terrestres.
- Solamente un número pequeño de Gateway's de las estaciones terrestres se establecerá para cada sistema. Generalmente éstos serán usufructuados y operados por los inversionistas dominantes del sistema.

- Los satélites pueden tener repetidores regenerativos con una tabla de conmutación y un encaminamiento automático entre ellos usando conexiones inter-satélite.
- Las características de las terminales del usuario estarán estandarizadas por el operador de los satélites para cada sistema.
- Las terminales del usuario para cada sistema serán provistas por un número muy restringido de fabricantes, que serán generalmente inversionistas dominantes en el sistema.

Los analistas de la industria creen que de los veinte o más de los sistemas que procurarán incorporarse al mercado antes de que este se establezca en los próximos cinco a diez años, solamente sobrevivirán algunos.

Los sistemas LEO/MEO se enfocan en los usuarios de negocios y a aquellos que utilizan servicios profesionales. Estos están en competencia con tecnologías de banda ancha terrestres tales como fibra óptica y XDSL. Dondequiera que el acceso de banda ancha terrestre sea una solución disponible, los basados en los satélites no serán probablemente rentables, sin embargo, por todas partes el satélite será la única solución. En la mayor parte del mundo, lejos de concentraciones grandes de la población (principalmente en el mundo desarrollado), no se tendrá acceso de banda ancha terrestre disponible por décadas.

Los sistemas de GEO también se enfocan en los negocios del usuario, no obstante hay un mercado potencial de consumidores muy grande para los servicios interactivos, determinados servicios Internet y la TV interactiva, que no es tratada actualmente por ningún proveedor de servicios. Este mercado comenzará a crecer concluidos los años próximos y puede lentamente convertirse en una eventual norma, substituyendo virtualmente la difusión como la conocemos actualmente. Una vez más los satélites tendrán un lugar significativo en el mercado dondequiera que una opción terrestre no esté disponible, ni sea empaquetada por los locutores así como algunos productos basados en mejores satélites o equivalentes.

Varias conclusiones se forjan en el mercado sobre el cual tendrá un impacto profundo en la industria de servicio basado en los satélites en su totalidad:

- El mercado de satélites de banda ancha experimentará un nivel extremo de competencia que probablemente resulte en una guerra de precios que empezará quizás en 2002 o 2003, cuando la mayoría de los sistemas comiencen a establecer operaciones.
- Aunque la tecnología terminal de la banda Ka es hoy relativamente costosa, al paso del tiempo llegará a ser tan barata como tecnología actual de la TV vía satélite. La economía de escala puede hacer que

la banda Ka sea considerablemente más barata que los productos correspondientes a la banda de Ku (el mercado de la banda Ku está alrededor de diez de millones), dentro del plazo de cinco a diez años el mercado de la banda Ka podría ser diez millones de unidades de consumidores domésticos.

- Esta competencia tendrá golpes severos sobre el mercado convencional de VSAT que hará frente a la competencia del precio. A menos que los proveedores existentes de equipo y de servicio reduzcan sus precios perceptiblemente (por cualquier cosa hasta un factor de 10) podrán sobrevivir.
- Invirtiendo en operadores de Gateway y proveedores de terminales de usuario en sistemas de banda ancha fallidos, crearán pérdidas variables, como por ejemplo diez centenares de millones dólares. Muchos de éstos estarán frente a la bancarrota o conseguirán su propósito.

La competencia en la industria de los servicios basados en los satélites será seriamente restringida por el año 2005, debido a que los proveedores existentes dejarán el mercado o serán absorbidos por otras empresas.

SkyBridge

Un sistema de acceso de banda ancha usando una constelación de satélites LEO

Se están desarrollando nuevas soluciones de satélites para proporcionar acceso a servicios interactivos de banda ancha. Varios tipos de arquitecturas consideran el uso de los satélites geoestacionarios o innovadoras constelaciones de órbita baja (LEO) o de satélites de órbita media (MEO). Una primera generación de tales constelaciones está a punto de ser lanzada para proporcionar servicios de comunicaciones móviles en la banda estrecha (GlobalStar).

Las constelaciones de la segunda generación incluirán las facilidades de banda ancha que implican una gran cantidad de demanda del espectro. La limitación del espectro disponible entonces se convierte en un programa piloto técnico importante para el desarrollo de cualquier nuevo sistema basado en los satélites.

Los satélites se han usado tradicionalmente para ofrecer servicios fijos de radiodifusión y de telecomunicaciones. Los sistemas de satélites se están diversificando rápidamente en función de los servicios que proporcionan y de la tecnología que usan con la introducción de constelaciones de satélites de órbita baja y de órbita media como complemento de los existentes sistemas geoestacionarios.

Debido a su gran cobertura geográfica, rentabilidad (particularmente en áreas con densidad demográfica baja o moderada) y la velocidad de la instalación, los sistemas basados en satélites contribuirán a aumentar el alcance de las redes de telecomunicaciones de alta calidad. Consecuentemente, en el futuro jugarán un papel importante para ofrecer un acceso mundial a los servicios interactivos de banda ancha.

Se han anunciado muchas iniciativas basadas o en los satélites geoestacionarios o en constelaciones de satélites de LEO. Tanto patrocinando el proyecto SkyBridge como diseñando nuevas soluciones, como el proceso a bordo y el equipo de microondas de banda Ka para sistemas avanzados de satélites geoestacionarios, Alcatel comparte el que los sistemas geoestacionarios y las constelaciones de satélites LEO se complementarán proporcionando servicios de multimedia.

Basándose en su fuerte posición actual en el mercado de los servicios de radiodifusión, los sistemas geoestacionarios desarrollarán novedades como los servicios asimétricos unidireccionales y de dos vías utilizando un enlace de retorno espacial o terrestre de baja velocidad.

Las constelaciones de satélites LEO son una solución muy eficiente para proporcionar servicios altamente interactivos. Debido a que ofrecen un tiempo total de propagación muy corto en el segmento espacial (típicamente 20 ms con respecto a 250 ms en los sistemas geoestacionarios). Así, los sistemas LEO también ofrecerán unas prestaciones similares a las de las redes terrestres, permitiendo el uso de protocolos, aplicaciones y estándares de comunicaciones comunes.

El sistema SkyBridge

SkyBridge es un sistema de acceso de banda ancha basado en satélites que ofrecerá servicios tales como acceso a Internet de alta velocidad y videoconferencia, a usuarios de todo el mundo. El sistema conecta a usuarios profesionales y residenciales equipados con terminales económicas a las pasarelas terrestres (Gateways). Las terminales del usuario no son específicas al sistema y la arquitectura de los sitios de recepción se puede adaptar a las configuraciones siguientes: recepción individual, recepción comunitaria (una terminal de SkyBridge se comparte entre varios suscriptores) y la configuración profesional donde la terminal de SkyBridge está conectada con una red LAN o un PBX (figura 1.8).

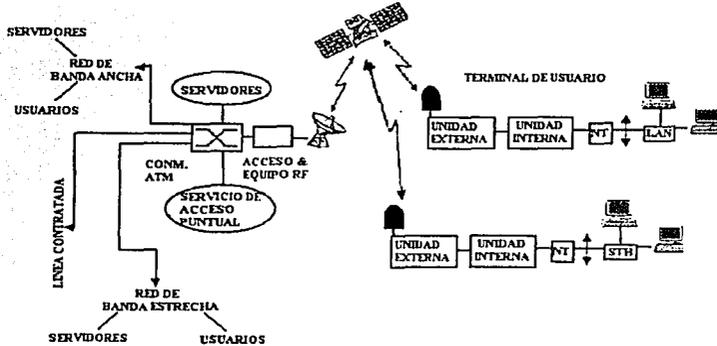


Figura 1.8 Arquitectura del sistema.

Este sistema se enfoca a las áreas urbanas, suburbanas y rurales que aún no están conectadas con la infraestructura terrestre de banda ancha, o que no se pueden cubrir económicamente con infraestructura tradicional. Esto coloca con eficacia a SkyBridge como sistema de bucle inalámbrico local de banda ancha.

SkyBridge consta de dos segmentos, el espacial y el terreno. El segmento espacial consiste en una constelación de 80 satélites LEO (más los de reserva), orbitando a una altitud de 1,469 km, y en el segmento de control terreno de satélites que comprende las estaciones SOCC (Centro de Control de Satélites) y TT&C (Comunicaciones, Navegación y Vigilancia). El segmento espacial proporciona cobertura permanente en la banda de latitud $\pm 68^\circ$. Interconecta cada usuario de SkyBridge con la pasarela más cercana y también puede proporcionar enlaces de infraestructura de alta velocidad entre las pasarelas.

El segmento terreno consta de estaciones terrestres de pasarelas y de las terminales de usuario de satélite. Las primeras proporcionan interconexiones, a través de un conmutador ATM (Modo de Transferencia Asíncrono), con servidores locales y con redes terrestres de banda estrecha y banda ancha.

La red de acceso SkyBridge está basada en ATM, que proporciona conexión de "última milla" entre los usuarios y una central local. El tráfico generado por las terminales se transmite de una manera transparente por el satélite (es decir, sin otros procesos que la amplificación y la transposición de frecuencias) hacia la pasarela y viceversa (figura 1.9). Las pasarelas

incorporan las funciones de conmutación y las interfaces con las redes terrestres, como se muestra en la figura 1.8. En el caso de las comunicaciones terminal a terminal, la conectividad se establece por el conmutador de la pasarela con un doble salto.

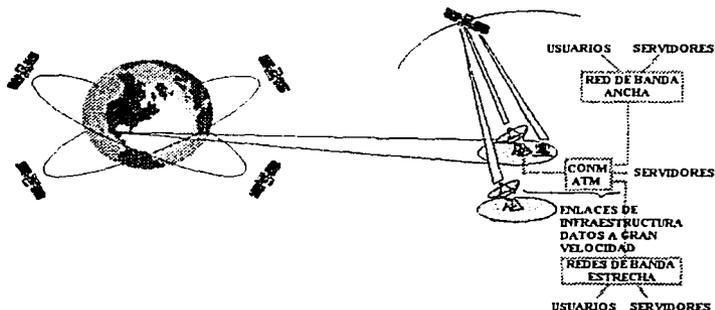


Figura 1.9 Principios del sistema SkyBridge.

Cada pasarela recoge, por el segmento espacial, el tráfico terminal en una celda de 350 Km. de radio. Las celdas de SkyBridge están permanentemente iluminadas por al menos un haz estrecho de satélite. En la mayoría de los casos en latitudes templadas, se encuentran visibles permanentemente al menos dos satélites.

Como los satélites se mueven, de vez en cuando las pasarelas tienen que conmutar el tráfico a un nuevo satélite mediante un procedimiento de traspaso transparente.

Principales Características del sistema

- Uso de la banda Ku
- Uso de transpondedores transparentes
- Sin enlaces intersatelitales
- Protección de los sistemas geoestacionarios y terrestres a través del manejo de hand-over satelital y de un diseño de antena cuidadoso.

Todas estas características minimizan el costo del sistema y el riesgo asociado con la implementación del mismo.

Retardo de la señal en el sistema SkyBridge

El retardo de la señal es un parámetro muy importante, ya que al tener una altitud de 1,469 Km, con franjas de cobertura de 6,000 Km de diámetro y con un diámetro de 700 Km. en sus células de cobertura satelitales, tiene una latencia de 9.989 ms en el enlace Tierra - Satélite y un valor aproximado de 20.13 ms al recorrer el camino inverso, como se muestra a continuación.

$$Tp1 \approx Tp2$$

$$Tp1 \leq \frac{\sqrt{h^2 + (d/2)^2}}{c} = \frac{\sqrt{1469^2 + (700/2)^2}}{3 \times 10^8} = 5.03ms$$

$$Tpt = Tp1 + Tp2 = 10.07ms$$

$$Tt = (Tp1 + Tp2) \times 2 = 20.13ms$$

en donde: T_p = Tiempo de propagación

T_{pt} = Tiempo de propagación total

T_t = Tiempo total

h = altura nominal del satélite sobre el nivel de la tierra

d = diámetro de la célula de cobertura

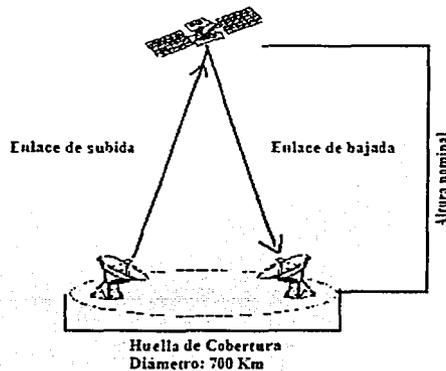


Figura I.10 Retardo de la señal en el sistema Skybridge.

Utilización optimizada del espectro de frecuencias

SkyBridge no requiere asignar exclusivamente una banda de frecuencias específica. Por el contrario, SkyBridge optimiza la utilización del espectro de frecuencias al estar el sistema diseñado para proteger las redes de satélites geoestacionarios y los servicios terrestres.

SkyBridge utilizará la banda Ku (11/14 GHz) para la conexión entre terminales de usuario y pasarelas, así como para enlaces de infraestructura de alta velocidad entre las pasarelas.

Según las regulaciones de radio de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), las redes geoestacionarias deben protegerse contra las interferencias de los sistemas no geoestacionarios. Para conseguir esta protección, los satélites y estaciones terrenas SkyBridge tendrán una "zona no operativa" en torno a cada satélite geoestacionario. La transmisión entre un satélite SkyBridge y una celda se interrumpe cuando el satélite está dentro de esta zona no operativa, que acompaña la región extendiéndose $\pm 10^\circ$ del arco geoestacionario, como se ve por cualquier estación terrena SkyBridge en al celda. El tráfico de la celda traspasa entonces a otro satélite SkyBridge que no se encuentre en una posición de interferencia similar.

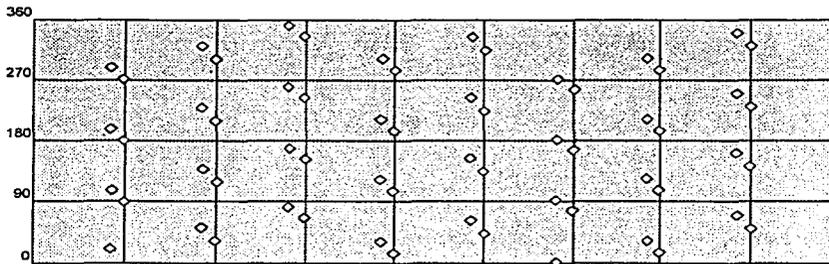
Segmento espacial

La constelación SkyBridge se basa en la combinación de subconstelaciones simétricas de 32 satélites posicionados en ocho planos orbitales con cuatro satélites igualmente espaciados por plano a una altitud de 1,469 km con una inclinación de 55° (figura 1.11). Un desplazamiento de fase entre las dos constelaciones lleva a emparejar los satélites como se muestra en la figura 1.12. Este diseño minimiza el número de satélites requeridos para garantizar la cobertura permanente en la banda de latitud $\pm 68^\circ$, teniendo en cuenta la zona no operativa definida para proteger los sistemas geoestacionarios.



Figura 1.11 Constelación SkyBridge.

Anomalía Media (Grados)



Planos Orbitales

Figura 1.12 Distribución de los satélites en la constelación SkyBridge.

Los satélites de SkyBridge pertenecen a la categoría "gran LEO": la masa de lanzamiento final del satélite es inferior a 1200 kg con una carga útil de comunicaciones de 400 kg. El consumo de energía del satélite es menor de 2.5 kW. Su tiempo de vida operacional es de 8 años. La capacidad equivalente del sistema, definida como el tráfico de banda ancha instantáneo residencial y profesional acumulativo en las horas máximas respectivas, está contemplado a 215 Gbps.

Un elemento clave en el diseño se relaciona con la utilización de antenas activas que se usarán para generar haces estrechos y para mantenerlas apuntadas hacia las correspondientes pasarelas terrestres. Cada satélite ilumina un área de 3,000 km de radio. Un satélite SkyBridge puede generar hasta 45 haces estrechos simultáneamente.

Segmento terreno

El segmento terreno consta de las pasarelas terrestres (figura I.13) y de las terminales de usuario. Las pasarelas proporcionan las siguientes importantes funciones:

- Subsistema de RF para transmisión.
- Acceso a los recursos de radio, incluyendo la gestión de los recursos del satélite.
- Funciones de conmutación y encadenamiento de tráfico.
- Interfaces normalizadas con redes terrestres, como PDH (Jerarquía Digital Plesiócrona), SDH (Jerarquía Digital Síncrona) y ATM (Modo de Transferencia Asíncrona).

- Interfuncionamiento con Internet, Frame Relay y RDSI de banda ancha (RDSI-BB).
- Punto de acceso de servicios (SAP) para interfaz de servicio y gestión de usuarios.
- Acceso a servidores locales mediante funciones de encaminamiento.

Se requieren unas 200 pasarelas para cubrir más del 90% de todo el posible mercado de SkyBridge.

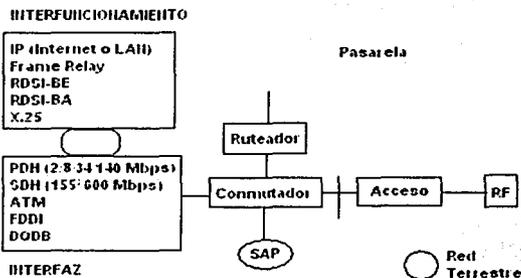


Figura 1.13 Arquitectura de la pasarela.

Según el tipo de aplicación se consideran diferentes tipos de terminales de usuario:

- Terminales individuales.
- Terminales para edificios de oficinas o residenciales.
- Terminales internodos, para instalar en empresas, que proporcionan mayores capacidades.

Una terminal se compone de dos partes:

- Unidad exterior que incluye la antena, los componentes de RF, los módems y una unidad de control.
- Unidad interior con equipo estándar: ATMizer e interfaces con los terminales de usuario (computadora personal, set top box, teléfono web o computadora de red, PABX, etc.). El diseño permite utilizar diferentes tipos de interfaz.

El diseño de antenas para las terminales de usuario se simplifica ya que las posiciones de los satélites están predeterminadas y programadas; los satélites siguen regularmente una órbita idéntica en el cielo, por lo que no hay que buscarlos aleatoriamente. Durante la fase de cada instalación, cada terminal aprende su entorno radioeléctrico, es decir, cuando debe tener lugar un traspaso.

Se están diseñando dos tipos de unidades externas con las prestaciones objetivo indicadas en la tabla 1.

| Características. | Residencial. | Edificio profesional o residencial + internodo. |
|-------------------------------|--|---|
| Diámetro de la antena. | 40 cm | 60 a 100 cm |
| Máxima velocidad transmitida. | 2Mbps | Arriba de 2Mbps |
| Máxima velocidad recibida. | 60 Mbps | Arriba de 20.5 Mbps |
| Posibles tecnologías. | Antena activa Antena mecánicamente orientable | |

Tabla 1. Prestaciones de las unidades externas.

Implementación de SkyBridge

Las principales etapas de implementación del sistema se muestran en la tabla 2. Se ha planificado introducir el servicio en América del Norte, Europa y parte de Asia en el año 2001 utilizando la primera constelación de 32 satélites.

| Estado del sistema | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Estudios Iniciales | | | | | | | | | | |
| Definición del sistema | | | | | | | | | | |
| Adecuación UIT-T | | | | | | | | | | |
| Adecuación FCC | | | | | | | | | | |
| Especificación* | | | | | | | | | | |
| Desarrollo** | | | | | | | | | | |
| Desarrollo/Fabricación*** | | | | | | | | | | |
| Lanzamientos | | | | | | | | | ↓ | ↓ |
| Instalación de estaciones | | | | | | | | | | |
| Introducción del servicio | | | | | | | | | | ⇒ |

* Especificación del sistema, segmento espacial, pasarela y terminal de usuario

** Desarrollo de tecnologías críticas

*** Desarrollo / Fabricación del segmento espacial, pasarelas y terminales de usuario

Tabla 2. Principales etapas de implementación del sistema.

Proyecto Skybridge

El proyecto SkyBridge se divide en tres segmentos de negocio clave:

- Nivel de operador del segmento espacial.
- Segmento de operador local pasarela.

- Segmento de proveedor de servicios.

El primer segmento lo gestionará globalmente SkyBridge Limited Partnership, empresa con base en Estados Unidos. Los otros dos se gestionarán regional o localmente.

Servicios de SkyBridge

SkyBridge proporcionará a los usuarios finales ancho de banda global a demanda. El sistema ofrecerá una conexión asimétrica de banda ancha a la red fija de al menos 60 Mbps (en incrementos de 16 kbps) en el usuario y 2 Mbps (en incrementos de 16 kbps) en el enlace de subida. Dentro de la banda Ku para los enlaces de subida (12.85-13.25 GHz, 13.75- 14.5 GHz y 17.3-17.8 GHz) y para los de bajada (10.7-12.7 GHz). El diseño se ha optimizado para las comunicaciones Internet, que se caracterizan por la transmisión de ráfagas aleatorias de datos asimétricos.

Los conceptos básicos de su arquitectura hacen de SkyBridge el sistema ideal para utilizar con aplicaciones en tiempo real altamente interactivos, tales como:

- Acceso a Internet de alta velocidad, y más generalmente, servicios en línea.
- Teleconmutación a través de acceso a servidores de negocio y redes de área local, correo electrónico y transferencias de fichero.
- Videoconferencia y videotelefonía de alta calidad.
- Telemedicina.
- Servicios de ocio: video a demanda (VoD) interactivo, juegos electrónicos, etc..

Además, SkyBridge proporcionará:

- Enlaces de infraestructura para aplicaciones como la interconexión de estaciones base en redes de radio móvil celular, así como en otros bucles inalámbricos locales.
- Servicios de banda estrecha mejorados para comunicaciones de la voz, datos e imágenes.

SkyBridge y las alternativas tecnológicas

Varias tecnologías de líneas terrestres pueden proporcionar acceso de banda ancha. Sin embargo, SkyBridge no competirá directamente con estos sistemas, sino proporcionará una atractiva solución complementaria.

| Tecnología. | Descripción. | Ancho de banda. | Aplicaciones. |
|--------------------|---|---|---|
| POTS | Telefonía de cobre tradicional. | 56.6 kbps | Telefonía y datos a baja velocidad. |
| RDSI-BE | Uso de tecnología digital para aumentar el ancho de banda. | 128 kbps | Telefonía y datos a velocidad media. |
| XDSL | Utilización de las tecnologías de compresión para usar todo el ancho de banda de los pares de cobre existentes. | 9 Mbps en el enlace ascendente y 1.5 Mbps en el enlace descendente. | Datos a alta velocidad, VoD y telefonía. |
| HFC mejorada/nueva | Red que utiliza una mezcla de fibra hacia el nodo (sirviendo hasta 500 hogares) y coaxial hacia el hogar. | 64kbps a 30 Mbps | Datos a alta velocidad, VoD, telefonía, difusión de video y casi VoD. |
| FTTC | Usando toda planta de fibra hacia los nodos que sirven de 4 a 12 hogares. | 80 a 150 Mbps | Datos a alta velocidad, VoD, telefonía y difusión de videoCast VoD. |
| ATM | Transmisión de datos en paquetes de tamaño fijo (celdas) y también define el uso de conexiones lógicas. | 155.52 a 622.08 Mbps | Telemedicina, Internet de alta velocidad, videoconferencia y servicios de gran demanda en ancho de banda. |

Tabla 3. Aplicaciones para diferentes tecnologías de acceso.

Las prestaciones de SkyBridge son comparables las tecnologías de líneas de abonado digitales, como ADSL (línea de abonado asimétrica digital) y las tecnologías de acceso basadas en fibra tales como de HFC (híbrido fibra óptica-cable coaxial) y FTTC (fibra hasta el borde). Sin embargo, varias diferencias relacionadas con el costo y la velocidad de desarrollo sugieren que SkyBridge será una solución eficaz en zonas de baja densidad de población. Además, proporciona a una atractiva solución precursora en zonas muy pobladas, iniciando el mercado antes de que se puedan desplegar sistemas de banda ancha terrestre.

Se espera que SkyBridge alcance una comunidad de usuarios entre 12 y 20 millones de personas en todo el mundo hacia finales de la próxima década.

SkyBridge es una solución muy atractiva para proporcionar acceso de una manera rentable una gama muy amplia de servicios de banda ancha y de banda estrecha de alta calidad, para con ello contribuir al objetivo del acceso universal a los servicios de comunicación.

Conclusiones

Los satélites LEO nos proporcionan grandes ventajas, ya que al encontrarse a una distancia de los 800 a los 3,000 km de la tierra se tiene un menor retardo de la señal, al ser éste de 20 ms aproximadamente. Además de que la reutilización de frecuencias favorece en el desempeño del ancho de banda del canal ya que así no se abarca un gran espectro de frecuencias y con lo cual se evita la interferencia con otros sistemas de comunicación, esto es importante sobre todo cuando se tiene un gran número de usuarios.

Skybridge es un sistema de banda ancha que proporcionará servicios tales como acceso a Internet, videoconferencia, telemedicina, etc. Este sistema satelital está enfocado a áreas urbanas, suburbanas y rurales que aún no están conectadas con la infraestructura terrestre de banda ancha, o que no se pueden cubrir económicamente con infraestructura tradicional, aunque en las regiones donde se cuenta con infraestructura tradicional no quedarán excluidas de éste sistema.

Para el desarrollo de esta tesis se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

- a) Ancho de banda que se requiere para la transmisión y recepción de información médica (datos, audio y video), el cual es de 60 Mbps y 2 Mbps en el enlace de subida.
- b) Retardo de la señal puesto que se requiere de tiempo real dependiendo de la aplicación médica.
- c) Un sistema satelital que complemente los servicios terrestres y ofrezca una solución eficiente en lugares donde la implementación de comunicaciones terrestres sea nula.
- d) Uso de la banda Ku (11/14 GHz) en un sistema satelital para optimizar el uso del espectro de radiofrecuencias y proteger las redes de servicios terrestres y las de satélites GEO contra interferencias.

II. Telemedicina

Definición de Telemedicina

Se puede definir la Telemedicina como la distribución de servicios de atención médica², en el que la distancia es un factor crítico, donde los profesionales de la salud usan información y tecnología de comunicaciones para el intercambio de datos que conforman el diagnóstico, tratamiento y prevención de enfermedades o daños, investigación y evaluación; y para la educación continuada de los proveedores de salud pública, todo ello en interés del desarrollo de la salud del individuo y su comunidad.

Aunque una definición un poco más general sería la siguiente: "Telemedicina es el uso de avanzadas tecnologías de telecomunicaciones para intercambiar información de salud y proveer servicios de cuidado de la salud, a través de barreras geográficas, de tiempo y socio-culturales."



Figura II.1 Telemedicina.

² Los servicios de atención médica representan un medio para la conservación y protección de la salud de las personas, involucrando actividades de prevención, curación y rehabilitación.

Definición de Telesalud

Según la Organización Mundial de Salud (OMS) se entiende por telesalud a *la integración de los sistemas de Telecomunicaciones en las prácticas de protección y promoción de la salud.*

Aplicaciones de la Telesalud

Las tres principales aplicaciones de la Telesalud:

- Clínica
- Administrativa
- Educativa

La Telesalud nos brinda una mejor planeación del uso de los recursos para lograr los siguientes aspectos:

- Mejor acceso al cuidado de la Salud para más gente.
- Reducción de costos de traslado.
- Menos pérdida de tiempo.
- Mejora en la productividad de los Proveedores Primarios de Salud.
- Menos inconvenientes y más comodidad para el usuario.
- Capacitación continua de médicos, enfermeras y público en general.
- Administración de recursos, insumos, etc.
- Unificación de criterios

Hoy son ilimitados los usos de la Telesalud y algunas de sus aplicaciones podrían ser éstas, sin dejar de lado las más elementales con uso de tecnología básica (Ej.: teléfono):

- Teleconsultas, diagnósticos y tratamientos marcados por un especialista situado en un centro hacia otro referencial, así como consultas de segunda opinión por parte de especialistas, a fin de obtener criterios diagnósticos especializados que permitan brindar mayor calidad en la atención a los pacientes.
- Servicios de Salud de Calidad en lugares remotos por medio de la llegada de "telecentros móviles", que viajando de un poblado a otro pueden realizar esas teleconsultas (con transferencia de datos e imágenes) junto a los centros especializados de la capital.

- Crecimiento de la capacitación y comunicación de los profesionales de la salud, al utilizar bancos de datos médicos (Ej.: Internet, educación continua a distancia).



Figura H.2 Educación a distancia.

- Efectividad y eficiencia en el gerenciamiento de las acciones relativas a la reducción de esperas para consultas y la introducción de los Sistemas de Información Médica (con una correcta identificación del usuario y el paulatino camino hacia la completa digitalización de sus fichas clínicas), creando bases de datos de imágenes y de estudio de casos de interés en archivos de imágenes y diagnóstico en el centro de referencia para la consulta de especialistas y futuras investigaciones y edición de catálogos y otras publicaciones
- Monitoreo domiciliario de enfermos crónicos (Ej.: Teleenfermería en diabéticos, asmáticos, etc.)
- Disseminación y promoción de prácticas preventivas, de estilos de vida saludable y de primeros auxilios, a través de "centros de llamados" (Ej.: líneas 080).
- Teleambulancias móviles equipadas para poder transmitir datos, imágenes y compartir comunicación desde el vehículo hacia el centro al cual se dirige.
- Entre otras.

Componentes de un Sistema de Telemedicina

Una característica clave de los sistemas de telemedicina, la cual los distingue de los sistemas de videoconferencia, es el uso de dispositivos periféricos. Estos permiten una mejor aproximación a la evaluación física en sitio, e incluyen versiones electrónicas estándares de herramientas de evaluación médica tales como: estetoscopios, oftalmoscopios y otoscopios.

Además se implementan equipos casi exclusivamente electrónicos como cámaras de acercamiento, dermoscopios y microscopios. Existe una gran variedad de dispositivos electrónicos específicos para cada una de las especialidades médicas.

Un sistema de telemedicina requiere de conexiones remotas. Las señales de vídeo son suministradas por una cámara de vídeo de alta resolución, la imagen analógica es digitalizada, usando un convertidor analógico digital, después la imagen resultante es comprimida. La compresión de la imagen es hecha por un CODEC (Compresor - Decompresor). La manipulación de imágenes y la teleconferencia es controlada por un sistema de computación.

El control directo de dispositivos remotos tales como un microscopio, endoscopio u otro instrumento operativo pueden ser implementados, requiriendo un ancho de banda elevado y sofisticadas interfaces con el usuario porque la señal de control deberá estar sincronizada con la realimentación visual desde el dispositivo.

Componentes de telecomunicaciones en los servicios de Telemedicina

Los circuitos telefónicos locales (entre el teléfono y la central) normalmente utilizan un medio físico de capacidad de transmisión limitada (como por ejemplo los cables). A pesar de ello, resultan adecuados para el intercambio de información por teléfono o para la transmisión analógica de datos de relativamente baja velocidad (por ejemplo, el fax). Ahora bien, si está equipada con un módem, una misma línea telefónica puede transmitir información digital e intercambiar datos de audio y vídeo entre computadoras. La combinación de telefonía y radio permite utilizar los receptores (teléfonos) sin cables u otras conexiones físicas, ésta característica lo convierte en el método más ventajoso para los lugares en donde no existen infraestructuras físicas. Los servicios móviles comprenden los teléfonos celulares, los radiomensajes, los teléfonos satelitales móviles y las estaciones terrenas móviles en los cuales su capacidad de transmisión puede variar.

Servicios de Telemedicina

La telemedicina envuelve diversas tecnologías y aplicaciones de éstas, las cuales pueden ser caracterizadas por el tipo de información enviada (como radiografías o expedientes clínicos) y por los medios usados para transmitirlos. Muchas áreas de medicina práctica tienen aplicaciones potenciales de telemedicina.

Los servicios de telemedicina pueden ser categorizados por tres tipos basados en la transmisión de datos, audio ó imágenes.

Técnicas de transmisión de telecomunicaciones empleadas en la telemedicina

Las técnicas que se exponen a continuación no se excluyen mutuamente, y una aplicación o servicio de telemedicina puede utilizar una sola técnica, o cualquier combinación de ellas.

Telemetría

Es un sistema de monitoreo a distancia (remoto) que con la ayuda de un software especial para la interpretación de señales vía radio, permite conocer la información exacta sobre el evento que se sucede en el lugar de origen de la señal.

Datos

La transmisión de datos puede ser en información estática, como las historias clínicas o materiales didácticos, o información dinámica como los datos de los signos vitales (ritmo cardiaco, presión sanguínea, etc.). Entre las aplicaciones más comunes de la transferencia de datos estáticos se encuentra facilitar el acceso de los médicos a las historias de los pacientes, almacenadas en la computadora de una clínica especializada lejana, posibilitar la transferencia de fax o documentos, el acceso de los internistas a bases de datos médicos especializadas o bibliotecas, con el objeto de actualizar sus conocimientos. Un ejemplo de transferencia dinámica de datos tiene lugar cuando desde un hospital se supervisan los signos vitales de un paciente que se encuentra en una ambulancia. La tasa de transferencia de datos cuenta con un rango de 32 a 512 kbps.

Audio

Uno de los más simples servicios de telemedicina es la consulta entre los proveedores del cuidado de la salud por teléfono. El servicio convencional telefónico es probablemente la más fácil comunicación entre el remoto y las áreas rurales y los hospitales urbanos en un país o entre los centros de excelencia entre otros países. El teléfono puede también usarse en la consulta entre el doctor y el paciente, o por ejemplo el tener una línea telefónica de asistencia atendida por enfermeras que permite a los usuarios consulten problemas corrientes con un profesional de la salud. El rango de frecuencias para audio se encuentra de 4 KHz a 16 KHz.

Imágenes

La imagen es clave en la actividad médica, y en el estudio diagnóstico del paciente, al ofrecer una reproducción del cuerpo humano en la normalidad y en la enfermedad que permite al médico instaurar un tratamiento.

Las imágenes médicas pueden ser imágenes inmóviles (radiografías, etc.) o imágenes en movimiento (video) que pueden emplearse para consultas, interpretación de diagnósticos o videoconferencia. Muchas imágenes de telemedicina se transmiten para propósitos de teleradiología la cual es probablemente el servicio más común actualmente.

Captura de la imagen y transmisión

El primer paso del proceso de radiología es la captura de las imágenes para su interpretación. Una película convencional de radiografía puede ser convertida a una forma digital, usando una cámara digital o un digitalizador de películas. La radiografía por computadora es una nueva técnica en la cuál las imágenes son capturadas en forma digital. Algunas imágenes, como las provenientes del CT, MR, ultrasonido o medicina nuclear, son producidas ya digitalmente.

Una vez que las imágenes están en forma digital, pueden ser comprimidas para un más eficiente almacenaje y/o transmisión via telecomunicaciones a una lejana locación. Usando sofisticadas técnicas de compresión, es posible comprimir las imágenes de rayos-x con un factor de 30:1 sin tener una significativa pérdida de información. Usando éste tipo de compresión es posible transmitir imágenes radiológicas sobre cualquier red virtual de comunicaciones (incluyendo la red pública de telefonía, radio celular o teléfonos móviles por satélite) con bajas velocidades de transmisión.

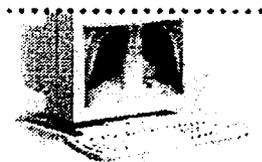


Figura II.3 Radiografía capturada.

Adquisición de Imágenes: Es comúnmente ejecutada por un digitalizador de imagen, el cual convierte la radiografía convencional a formato digital para la transmisión sobre la red. Hay dos categorías generales de digitalizadores de imagen: digitalizadores lasers y digitalizadores CCD (Charged Couple Devices). Los primeros ofrecen muy buen contraste y

resolución espacial, pero son más caros que los digitalizadores CCD. Los últimos ofrecen una resolución espacial comparable a los primeros, pero su contraste o resolución de escala de grises es más baja.

Otra alternativa para la adquisición de imágenes es la radiografía computarizada (CR), la cual usa láminas de almacenaje de fósforo para directamente obtener imágenes digitales y ofrecer un rango dinámico más amplio, el cual es particularmente útil para aplicaciones de radiología portátil. Debido a que CR está siendo muy difundido y su uso está en un continuo incremento, la técnica de la digitalización de imagen llegará a estar obsoleta.

Despliegue de Imágenes: Los monitores de despliegue son cruciales para la teleradiología, los cuales están signados a desplegar imágenes idénticas a aquellas disponibles en la radiología convencional.

Un punto importante a tomar en cuenta es la fidelidad de la imagen, la cual es medida por parámetros como: luminancia, rango dinámico, distorsión, resolución y ruido.

En los sistemas de imágenes digitales, hay una separación física entre el receptor de la imagen y el despliegue de la misma, por lo cual la imagen desplegada no es necesariamente igual a la imagen almacenada. La imagen almacenada puede ser muy rica en contraste o detalles, de tal manera que la información en esta puede exceder la capacidad del terminal para el despliegue, así los datos leídos de la imagen almacenada deben ser procesados selectivamente antes de ser desplegada.

Aunado a todo esto, se proveen herramientas muy amigables para la exploración de las imágenes almacenadas. Desde el punto de vista del observador, la imagen desplegada tiene tres atributos importantes: fidelidad, nivel de información y nivel de atraktividad.

Esta fidelidad de la imagen, desde el punto de vista del observador, puede ser expresada en términos de resolución espacial, resolución y linealidad de la escala de grises y ruido. El nivel de información puede ser expresado en términos de la visibilidad de características diagnósticas importantes o como la detectabilidad de alguna anomalía específica. El nivel de atraktividad se relaciona con las propiedades estéticas de la imagen desplegada.

En términos del rendimiento de la escala de grises y el realce del contraste, las variaciones en la intensidad de cada píxel en la imagen almacenada pueden ser representadas preferiblemente con 10 bits resultando 1024 niveles de intensidad.

Transmisión de Imágenes: La elección del medio de telecomunicación para los sistemas de teleradiología se basa en un compromiso entre ancho de banda y gasto, para lograr la calidad de servicio deseada. Los principales aspectos a ser tomados en cuenta para la solución de telecomunicaciones para esta aplicación se basan en: el número de casos a ser enviados, tamaño promedio de los archivos y picos de la actividad.

Uno de los aspectos muy importantes es que las soluciones de telecomunicaciones disponibles dependen de la infraestructura existente. A menudo una discrepancia existe entre la necesidad y la disponibilidad de los servicios de comunicaciones para la telemedicina.

Las redes ISDN son muy usadas para estas aplicaciones, ofreciendo un ancho de banda de hasta 2 Mbps, aunque los servicios de ISDN están completamente difundidos, hay lugares donde la transmisión de imágenes médicas sobre líneas telefónicas ordinarias es la única posibilidad.

La transmisión de imágenes médicas sobre Internet es ahora posible, sin embargo la velocidad de transmisión es muy baja, por esta razón la Internet, en el presente, solo puede ser útil en teleradiología para educación y entrenamiento.

La tecnología que posee una muy buena ejecución en cuanto a la comunicación de imágenes es ATM. Sin embargo, en el presente estos servicios no están completamente disponibles y requiere normalmente cableado de fibra óptica entre la estación emisora de las imágenes y la estación receptora de las mismas.

Compresión de Imágenes: Muchos sistemas de teleradiología incluyen facilidades para la compresión de imágenes, para así obtener tasas de transmisión compatibles con un servicio de teleconsulta eficiente y reducir los requerimientos de almacenamiento.

La compresión de imágenes puede ser sin pérdidas (reversible) y con pérdidas (irreversible).

La ventaja de la compresión sin pérdidas es que la imagen original puede ser recuperada, asegurando de esta manera que no hay pérdida de información importante para realizar el diagnóstico al paciente. Los métodos de compresión sin pérdidas, explotan el hecho de que una radiografía digital contiene información redundante, esto es hecho a través de técnicas matemáticas, las cuales no causan alguna pérdida de información, entre estas técnicas matemáticas se tienen: Modulación por código de pulso diferencial (DPCM), interpolación jerárquica (HINT),

pirámide diferencia (DP), codificación de bit plano (BPE) y auto-regresión multiplicativa (MAR).

Las técnicas de compresión sin pérdidas alcanzan ratios de compresión máximos en el rango entre 1,5:1 y 3:1.

Por otro lado, la ventaja de la compresión de imágenes con pérdidas, es el logro de la reducción de los tiempos de transmisión, logrando ratios de compresión mucho más elevados que la compresión sin pérdidas. Existen evidencias de que la compresión de imágenes con pérdidas no comprometen la cantidad de información suficiente para realizar el diagnóstico.

El algoritmo más ampliamente usado hoy día, para la compresión de imágenes con pérdidas es el estándar JPEG, el cual no fue originalmente creado para aplicaciones médicas. Sin embargo, recientes extensiones de JPEG han logrado resultados satisfactorios en la compresión de imágenes radiográficas.

Teleradiología

Se refiere a la transmisión de imágenes radiológicas de una locación a otra con el propósito de interpretación o de consulta. El término teleradiología también incluye la transferencia de rayos-x e imágenes tomográficas computarizadas (CT), imágenes de resonancia magnética (MRI), imágenes de ultrasonidos, imágenes provenientes de los escáneres de medicina nuclear, y de termografía, fluoroscopia y angiografía. Cada una de estas modalidades puede producir una imagen anatómica o funcional del paciente.

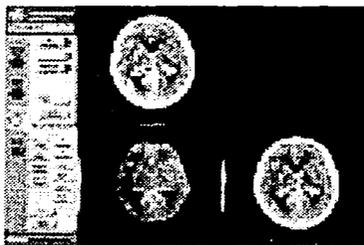


Figura II.4 Imagen radiológica.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Imágenes de Radiología

Los diferentes tipos de imágenes producidas y transmitidas en los departamentos de radiología incluyen:

□ Rayos-x

Para producir rayos X primeramente se necesita una fuente de electrones que choque contra una diana con suficiente energía: el tubo de rayos X. El tubo de rayos X es básicamente un vidrio (una ampolla de cristal) conteniendo en su interior, al vacío, un electrodo negativo llamado cátodo, y uno positivo llamado ánodo. En el cátodo hay un filamento (generalmente un alambre de tungsteno) que emite electrones cuando se calienta, los cuales son enfocados para chocar contra el ánodo en una zona llamada foco. De esta zona surge el haz de rayos X (radiación incidente), que se dirige al objeto en estudio (el cuerpo humano en nuestro caso), y éste absorbe una cantidad de rayos X, y otra cantidad lo atraviesa. Esta cantidad de rayos que atraviesa al objeto se puede visualizar como imagen permanente en una placa radiográfica, o bien como imagen transitoria en una pantalla fluoroscópica.

□ Tomografía computarizada (CT)

Una tomografía se obtiene mediante el movimiento combinado del tubo de rayos X hacia un lado mientras la placa radiográfica se mueve hacia el contrario, por lo que una superficie plana de la anatomía humana es perfectamente visible, y las áreas por encima y por debajo quedan borradas.

La imagen se consigue con medidas de absorción de rayos X, hechas alrededor del objeto. La imagen del monitor es *bidimensional*, en realidad representa el volumen, y por eso habría que considerarla *tridimensional*, pues cada unidad, además de su superficie, tiene su profundidad, a semejanza del grosor de un corte tomográfico.

Los escáneres de CT brindan una imagen de la densidad del tejido biológico en la computadora. Un modelo tridimensional puede ser computado a partir de múltiples escaneos y la imagen resultante se puede manipular usando una imagen.

La tomografía computarizada, procesa muchísimas imágenes a la vez, por lo que puede guardar en su memoria una representación tridimensional de lo que se observa (recordemos que cada radiografía nos muestra sólo una proyección en dos dimensiones).

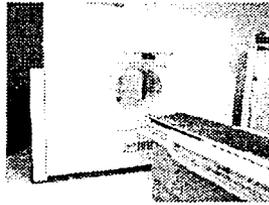


Figura II.5 Tomógrafo.

□ **Resonancia magnética**

La MRI (Imagen por Resonancia Magnética), se basa en la capacidad de algunos núcleos para absorber ondas de radiofrecuencia cuando son sometidos al efecto de un campo magnético. Dicha capacidad genera una señal que es detectada por un receptor y tratada en una computadora.

Respecto a otras técnicas como los rayos X y la CT, se usa cada vez más por sus *ventajas*, como permitir cortes más finos, y en varios planos, ser más sensible para demostrar accidentes vasculares cerebrales, tumores y otras patologías, y no utilizar radiaciones ionizantes. Como *desventajas* tiene un mayor costo económico, el tiempo prolongado para obtener las imágenes y el tener que excluir a portadores de marcapasos y otros objetos extraños intracorpóreos.

□ **Ultrasonido**

Los ultrasonidos son sonidos (vibraciones mecánicas) que tienen una frecuencia por encima del nivel audible. Al igual que el sonido, los ultrasonidos viajan a través de un medio con una velocidad definida y en forma de una onda, pero, a diferencia de las electromagnéticas, la onda del sonido es un disturbio mecánico del medio mediante el cual se transporta la energía del sonido. El diagnóstico por ultrasonidos *depende del medio físico* en el que el sonido se propaga y de cómo las ondas ultrasónicas *interaccionan* con los materiales biológicos que atraviesan, especialmente con las estructuras de los tejidos blandos del cuerpo humano. El diagnóstico por ultrasonidos se basa en la detección de los ecos que provienen *del interior del organismo*.

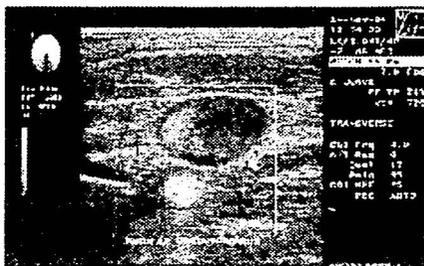


Figura II.6 Ultrasonido.

Los equipos más comúnmente usados, se conocen como de "tiempo real", con los que se pueden capturar en un monitor, los continuos movimientos. Generalmente se utilizan para éste propósito, frecuencias de sonido muy altas (entre 3.5 y 7.0 MHz). Estas frecuencias se emiten a través de un transductor, el cual se pone en contacto con la piel. La información obtenida del reflejo de éstas ondas sonoras, son resultado del rebote en el mismo transductor, las cuales se analizan y se convierten en imágenes en movimiento. Diferentes movimientos especiales, como los del corazón fetal, se pueden evaluar y medir en las imágenes que se despliegan en la pantalla.

□ Medicina nuclear

Se basa en la introducción de un isótopo radiactivo por diferentes vías para ver su distribución por el organismo. Posteriormente una cámara de escintigrafía registra la radiactividad del órgano en estudio, y a continuación se obtienen unas imágenes llamadas gammagrafías, que tienen la virtud de ofrecer información funcional del cuerpo humano. Actualmente han surgido nuevas técnicas con un constante mayor uso, como la PET (Tomografía por emisión de positrones), y la SPECT (Tomografía por emisión de fotón único), con mayores resultados en algunas patologías, como las neurológicas.

El SPECT detecta los fotones emitidos por los rayos gamma del cuerpo y construye una imagen bidimensional. El PET confía en el hecho de que cuando los positrones son emitidos por la sustancia radioactiva, subsecuentemente producen dos rayos gamma viajando en direcciones opuestas.

□ **Termografía**

Técnica de imaginería médica en la que se visualizan las temperaturas de la piel y los órganos subyacentes a la misma, muy sensible a los aumentos de circulación en los tejidos. Es usada por detectores infrarrojos para la medición del calor radiado desde la superficie de la piel.

Muchas enfermedades comienzan por la aparición de fiebre, como resultado de procesos infecciosos. Ésta es un sistema de aviso que posee el organismo, sin él muchas enfermedades acabarían inexorablemente en muerte. Pues bien la fiebre o aumento de la temperatura corporal, se detectará de forma automática mediante sensores corporales o mediante la captación en imágenes de éstos cambios de temperatura.



Figura II.7 Termografía del torso de una mujer.

□ **Fluoroscopia**

Es una técnica de imagen dinámica, usada para el estudio fisiológico, como el sistema digestivo. El paciente es llevado a un medio de contraste de rayos-x y las series de imágenes de rayos-x son hechas en intervalos de tiempos regulares. Se pueden ver en tiempo real o pueden ser guardados en un videocasete.

□ **Angiografía digital**

La angiografía digital es un método de generar imágenes de estructuras vasculares basado en la técnica de sustracción, la cual trata de "sustraer" determinados elementos o componentes de una imagen que dificultan la visualización de algunos detalles concretos. Básicamente, el sistema consiste en una imagen basal de la que se obtiene un negativo o máscara, que es la imagen inversa de la basal. Si sobre la imagen basal añadimos un nuevo elemento, como el contraste intravascular, la superposición de éste con la máscara permitirá borrar o sustraer todos los elementos de la imagen basal, dejando únicamente el elemento añadido nuevo. Así, mínimos detalles de vasos pequeños, difícilmente visibles por la

superposición de estructuras óseas, pueden ser claramente visibles al borrar o "sustraer" el hueso.

La aplicación de las computadoras a este proceso y el tratamiento en imágenes digitalizadas es la base de la llamada "angiografía por sustracción digital" (DIVAS).

Especialidades Médicas

La telemedicina es de aplicación, en sus facetas de teleformación³ y teleasistencia⁴ a todas las facetas y especialidades de la medicina y a las profesiones relacionadas; como muestra de ello, realizaremos un breve recorrido por sus aplicaciones en diversos campos médicos.

o Anatomía Patológica

Los médicos especializados en anatomía patológica pueden acceder a un gran banco de datos de imágenes de células o de trozos de tejido para comparar y poder dar un diagnóstico exacto sobre existencia o no de zonas tumorales o de tipo de células anormales o intercambiar opiniones diagnósticas entre Laboratorios.

Esto es especialmente interesante en cirugía, ya que cuando se está en una operación para extirpar una tumoración que se sospecha maligna, la exéresis o eliminación de la zona supuestamente afectada, debe certificarse al máximo si es cancerígena o no. En ocasiones se hace lo que se llama una biopsia intraoperatoria y en el mismo quirófano el anatomopatólogo lleva a cabo el diagnóstico.

Ahora ése diagnóstico lo puede realizar el propio cirujano en el mismo acto operatorio, porque estará conectado mediante unas gafas tridimensionales no solo a las partes orgánicas en las que está actuando sino a bases de datos e imágenes que le informen de la certeza o no del diagnóstico. De ésa forma podrá conservar partes orgánicas que en la actualidad son extirpadas "ante la duda".

La existencia de estos grandes bancos de imágenes ayudara a un diagnóstico 100% cierto y en el mismo acto quirúrgico, sin necesidad de esperas.

³ Formación a distancia interactiva que, aprovechando los medios actuales, permite el empleo de todos los recursos pedagógicos existentes.

⁴ La asistencia a distancia se basa en el uso de redes de comunicaciones para transmitir información e imágenes con calidad diagnóstica.

o **Cardiología**

Las primeras aplicaciones de la telemedicina se realizaron en este campo, por la facilidad de adaptación de las señales electrocardiográficas (ECG), dada su naturaleza eléctrica a su transmisión a distancia.

El sistema se basa en un teléfono al que se incorpora un minielectrocardiógrafo que graba la actividad eléctrica del corazón utilizando las derivaciones estándar mínimas. Una vez que se ha grabado se conecta la bocina o auricular del teléfono del lugar donde se encuentra el paciente y se envía el registro electrocardiográfico. El Centro de Control lo recibe, lo clasifica y lo informa, instantáneamente o en diferido, el Centro Control informa al médico que realiza la prueba y que está junto al paciente, los resultados de la prueba. El médico entonces decide la terapia a seguir bien sea de traslado e ingreso en un Centro Hospitalario o bien de tratamiento in situ. Está claro que el sistema es utilizado sólo por médicos.

Otro campo de la cardiología que se ha adaptado perfectamente a la telemedicina ha sido la imaginería médica, que han cobrado gran auge en cardiología con la cineangiografía y la ecografía cardiaca en sus múltiples variedades.

Los avances más recientes incluyen la toma de tensión a distancia, el control del peso y la auscultación cardiaca, lo que ha ampliado la aplicación de la teleasistencia a los programas de insuficiencia cardiaca e hipertensión arterial.

o **Cirugía**

En cirugía existen actualmente no sólo sistemas de transmisión de imágenes, a través de PACS, sino que incluso los sistemas más modernos en investigación actualmente (3D Image Overlay), permiten la presentación al cirujano, sin obstruir su campo de visión, de información tridimensional para ayudarlo en la intervención, posibilitando la realización de teleintervenciones, donde un experto puede indicar, de forma tridimensional, a sus ayudantes, en otras partes del mundo, los pasos siguientes en la operación, lo que facilitará la aplicación de técnicas quirúrgicas avanzadas en lugares en los que falta personal suficientemente experimentado como países en desarrollo, campos de batalla o de refugiados, zonas rurales, etc., y se constituirá como una gran ayuda en la segunda opinión.

También se vislumbra su gran utilidad en la teleformación, al permitir la "telepresencia" en intervenciones importantes, novedosas o poco frecuentes, así como la práctica dirigida por un experto a distancia.



Figura II.8 Asistencia quirúrgica 3D.

o Dermatología

La microelectrónica ha desarrollado ya cámaras con una calidad, zoom, contraste y focalización verdaderamente sorprendentes. Derivada de la tecnología espacial, los cientos de satélites que dan vueltas alrededor de la tierra están equipados de potentes microcámaras⁵ de escaso tamaño y peso pero de precisión milimétrica. La aplicación telemédica de las mismas en dermatología será una de los desarrollos mas brillantes de ésta próxima década. Con un arma diagnóstica así, se podrán descubrir pequeños cambios de pigmentación, roturas tempranas en la superficie de la piel que será escrutada y sus datos comparados con otros bancos de imágenes.

La precisión de actuación de un láser quirúrgico para cirugía plástica eliminando exclusivamente las zonas elegidas, estará guiada por la aplicación de éstas microcámaras (32-128 Kbps).

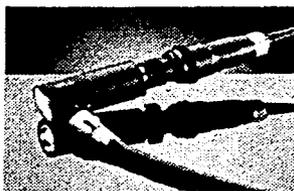


Figura II.9 Microcámara.

⁵ Cámara de video basada en CCD (Charged Couple Device; Instrumento de acoplamiento de cargas), en la que el elemento sensible a la luz es una matriz de transistores. Su ejemplo actual más extendido son las videocámaras digitales y las denominadas "web-cams". Originalmente se desarrolló para la ingeniería astronómica en tierra y en satélites.

o Ginecología

La ginecología es una especialidad donde la imagen y el sonido hace tiempo que forman parte de sus herramientas básicas. Escuchar los latidos fetales para saber como esta el corazón o pasar la mano del ecógrafo por el vientre de una embarazada son imágenes habituales. Pero en esto también se avanzará.

Pero las aplicaciones de la telemedicina en el campo ginecológico no se circunscriben al campo de la teleconsulta de imágenes, existiendo ya monitores fetales que permiten el control del embarazo a distancia.

Los avances en ecografía⁶, y su transmisión a otros lugares ha representado, como en otros campos, una gran ayuda en a la obstetricia, unido al empleo cada vez más importante de otras técnicas de imaginería.



Figura 11.10 Ecografía de feto con 9 semanas.

o Neurocirugía

Aparte de la transmisión de imágenes, aspecto básico de la neurocirugía, recientes avances en la robotización de la neurocirugía, facilitados por la estandarización de las localizaciones cerebrales y las técnicas estereotáxicas desarrolladas en los años 70 presagian unas intervenciones más definitivas y menos lesivas en este delicado órgano.

El proyecto más avanzado, de los Laboratorios AMES de la NASA, incluye algoritmos para distinguir, mediante un sensor⁷ en la punta de la lanceta el tejido sano del tumoral, o ambos de los vasos sanguíneos.

⁶ Técnica de imaginería médica en la que se aprovecha la distinta capacidad de reflejar las ondas sonoras de los distintos tejidos. Consiste en un emisor de ultrasonidos y un captador de sus ecos, usualmente integrados en el mismo cabezal.

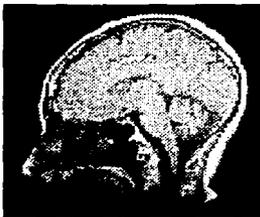


Figura II.11 MRI del cerebro

o Oftalmología

La oftalmología estudia las enfermedades de los ojos. Las microcámaras detectan cambios y alteraciones oculares, grabar y enviar para ser examinadas y valoradas por el especialista.

Desde la catarata, a la vista cansada, pasando por alteraciones de la retina. Incluso podrá hasta explorarse el fondo de ojo, que como se sabe informa de evoluciones peligrosas como puede ser la diabetes.

Una norma preventiva que permita autoanalizar nuestros ojos y graduar nuestra visión, ayudará a efectuar las correcciones precisas en tanpreciado sentido.

La nueva tecnología del láser, está permitiendo corregir defectos graves en la visión. Prácticamente en pocos años pocas personas deberán llevar gafas. Las operaciones en oftalmología son escasamente invasivas, no obligan a un internamiento y son enormemente efectivas.



Figura II.12 Teleoftalmología.

⁷ Cualquier sistema de transducción (traducción) de señales de cualquier índole a eléctricas, susceptibles de ulterior procesamiento.

o Otorrinolaringología

La exploración a distancia del oído en sus tres partes, externa, media e interna es ya posible por ejemplo con las microcámaras de American Medical Device (32-128 Kbps). La excelente calidad de su imagen y el poderoso zoom permiten, al igual que en la piel, detectar en el oído inflamaciones, infecciones, objetos extraños, etc.



Figura II.13 Otoprotector electrónico.

Las audiometrías se realizan en cámaras blindadas al sonido. Un aparato envía señales acústicas que se miden en decibelios. El oído humano, dependiendo de la edad, tiene ciertos niveles de audición de agudos y de graves.

Conforme envejecemos el oído va convirtiéndose en más rígido. Se están desarrollando nuevos "chips" para que las personas sordas puedan oír sonidos. La Telemedicina aportará la posibilidad de autoevaluar nuestra audición y procurar que nuestra capacidad auditiva no disminuya o lo haga muy lentamente. Un sistema de cascos acoplado a la cabeza puede darnos a conocer nuestro grado de sordera, grabar los sonidos, almacenarlos para su cotejo y enviarlo al especialista para su análisis y diagnóstico. Muchas veces son pequeñas infecciones o inflamaciones por catarros, etc, que van alterando el mecanismo de la audición. Si esto pudiera detectarse a tiempo podríamos actuar con prontitud y evitar sorderas precoces.

La teleauscultación pulmonar es ya una de las herramientas de la estación telemédica. Aplicada en diversas zonas de espalda y tórax se pueden grabar y descomponer electrónicamente los sonidos, murmullos y estertores que se producen de dentro a fuera y de fuera a dentro en los pulmones. Así se sabe, sin acudir al médico, si estamos ante un proceso bronquial y el nivel de afectación pulmonar. Para un bronquítico crónico o un paciente enfisematoso, conocer el estado de sus pulmones es esencial.

Saber si la dosis medicamentosa es suficiente para que la mecánica ventilatoria pulmonar funcione, puede ser vital. Y así han surgido los tele-

espirómetros⁸ y los tele-pulsioxímetros⁹. Se sopla con fuerza en un aparato dotado de una resistencia. La medición es transportada digitalmente vía línea telefónica al Centro de Control donde es analizada e informada por médicos especialistas que le recomendarán seguir con iguales dosis de medicación, aumentar o disminuir.



Figura II.14 Dispositivo para auscultaciones.

o Psiquiatría

Quizás la primera especialidad que se basa en teleconsultas, hoy en día la telepsiquiatría además de existir muy desarrollada como apoyo a la medicina penitenciaria, está evolucionando hacia los programas interactivos. La estimulación cognitiva basada en que el paciente con pérdida de memoria (enfermedad de Alzheimer), pueda realizar ejercicios para recordar, sobre todo la memoria cercana, es uno de ellos. También hay programas para seguimiento de la dislexia¹⁰. Basados en la presentación de láminas con dibujos que el niño primero debe ir diferenciando y luego pintando, con diversos niveles de complejidad para su aprendizaje y seguimiento.

Pero sin duda en un futuro muy próximo tendremos el ciber-diván o diván virtual, en el que sin salir de su casa la persona afectada de un problema mental que necesite terapia individual, podrá seguir las sesiones clínicas. La posibilidad de grabar expresiones, actitudes, muecas, gestos o estados de ánimo, permitirá mejores diagnósticos y seguimientos terapéuticos.

⁸ Espirometría. Técnica diagnóstica médica que, partiendo de la respiración a través de un aparato permite conocer los aspectos fundamentales de la mecánica respiratoria; los volúmenes (cantidades) de aire que entran, salen y quedan en los pulmones, y los flujos (velocidades) con que lo hacen.

⁹ Miden la concentración de oxígeno en la sangre.

¹⁰ Afectación, debida a varias causas, de la capacidad para aprender a pronunciar palabras, confundiendo diferentes sonidos. Es una enfermedad propia de la edad preescolar, en la que se adquieren las capacidades verbales, o de las secuelas de insultos cerebrales en las zonas relacionadas con el habla y su representación mental.

Terapias de control de la agresividad o de abandono del alcoholismo o el juego pueden tener un gran desarrollo con la Telemedicina en casa.

Si la grabación de una consulta con un paciente mental (con su conocimiento por supuesto) se hace en muchos Centros, la grabación desde la casa, permitirá que esta técnica ayude a controlar al paciente psiquiátrico y a vigilar su evolución como una garantía para paciente y familia.

o **Reumatología**

La especialidad de reumatología es una de las más complejas, dada la interrelación de las enfermedades autoinmunes con el sistema osteomuscular y con otros, por lo que no existen muchos especialistas en esta área. Las técnicas de transmisión de imágenes y pruebas de laboratorio ocupan un lugar preeminente en la solución a este problema, ya que permiten el seguimiento y tratamiento de los pacientes por su médico de cabecera, o internista, con el apoyo a distancia del reumatólogo.

o **Traumatología**

La imaginería moderna; T.C. y M.R.I. han revolucionado la práctica de la traumatología lo que, aunado al desarrollo de modernos materiales, ha facilitado la realización de intervenciones cada vez más complejas y precisas, como el reemplazo total de cadera o las prótesis de rodilla.

Sin embargo todavía queda mucho margen de mejora, sobre todo en lo concerniente a la precisión de las intervenciones, ya que una prótesis mal orientada favorece las complicaciones y reduce la utilidad y la vida media de las prótesis. En los EE.UU. se están investigando sistemas para mejorar dicha precisión, como el "Navegante de caderas", que mediante un estudio preoperatorio basado en una reconstrucción tridimensional de M.R.I., seguido de una simulación por computadora del movimiento que se puede alcanzar, y un sistema de guiado durante la intervención, permite mejorar la precisión de la orientación de las prótesis hasta grados difícilmente alcanzables sin estas ayudas, dada la limitada visibilidad durante la intervención. También permite el diseño de la intervención a distancia por un experto, para su posterior ejecución por un cirujano menos avanzado.

Otra herramienta en desarrollo permitirá la orientación perfecta de una prótesis de rodilla, lo que redundará en su durabilidad y fiabilidad. Empleando un sistema similar al del "Navegante de caderas", facilita el posicionamiento con gran precisión de las herramientas necesarias para preparar el espacio para la prótesis (sierras).



Figura II.15 Prótesis de rodilla.

La segunda opinión diagnóstica en esta especialidad es cada día más importante. Una técnica diagnóstica defectuosa puede llevar a un tratamiento incorrecto con secuelas. Nuevas intervenciones, gastos, tiempo, molestias. Y esto desgraciadamente no es infrecuente. Existe y seguirá existiendo una carencia de especialistas que hará que un buen diagnóstico quirúrgico evite muchos problemas.

Beneficios que aporta la Telemedicina

- Sobre los ciudadanos:
 - Mejor calidad asistencial, bien por tener acceso de forma sencilla y rápida a especialistas o bien por la posibilidad de que los facultativos dispongan de mayor cantidad de información acerca del paciente.
 - Los pacientes evitarán gastos, pérdida de tiempo y la inconveniencia de viajar, en ocasiones, largas distancias, para consultas adicionales cuando se requiere contar con la opinión de un especialista.
- Sobre los profesionales:
 - Posibilidad de recabar una segunda opinión para la realización de diagnósticos.
 - Mejora de la coordinación clínica y terapéutica.
 - Apoyo a los médicos que ejercen su labor en zonas aisladas.
- Sobre la organización:
 - Favorece la equidad y universalidad del servicio sanitario.
 - Mejora la continuidad asistencial.

- Permite el suministro de asistencia sanitaria de calidad en las zonas remotas del país.
- Facilita una menor duración de la estancia en el hospital, lo que se traduce en una mejor utilización de los recursos y una mayor rapidez en la incorporación del paciente a su medio habitual.
- Reduce las necesidades de desplazamientos y transporte que deben ser asumidos por el sistema sanitario.

Requisitos técnicos mínimos de la Telemedicina

Equipo

El equipo periférico general (es decir, conectado a un módem o a un teléfono) puede comprender lo siguiente:

- Computadora personal (Pentium III) y programas informáticos
- Equipo de videoconferencia
- Cámara digital
- Micrófono
- Escáner digital (19.2 Kbps) y programas de procesamiento de imágenes.

El equipo médico podrá abarcar los siguientes aparatos:

- Para radiología: los sistemas de ultrasonidos de alto rendimiento que emplean tecnología digital y enlaces de telecomunicaciones por satélite permiten examinar a pacientes de cualquier parte del mundo.
- Para dermatología: cámara de video (128-512 Kbps).

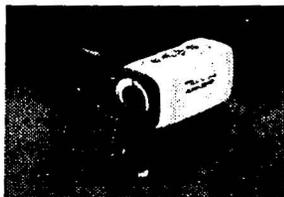


Figura II.16 Cámara para dermatología.

- Para cardiología: esfigmomanómetro digital (tensión arterial), ECG (electrocardiograma 64 Kbps), estetoscopio electrónico (19.2 Kbps),

adaptador de microscopio/endoscopio, EEG (electroencefalograma), unidad portátil de vigilancia.

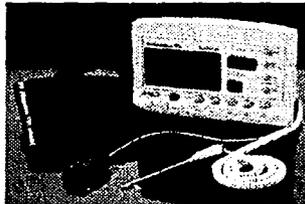


Figura II.17 Monitor de signos vitales.

En la página siguiente se presenta una tabla por especialidades médicas, con los equipos médicos que requiere cada una de ellas y que en un sistema de Telemedicina más completo y contando con mayores recursos económicos puede ser perfectamente viable su implementación. En el Anexo 1, se muestra una tabla de algunas aplicaciones de la telemedicina con sus requerimientos mínimos en cuanto a hardware, software y sistemas de comunicación.

Conclusiones

La telemedicina tiene el potencial de la transmisión de datos, audio e imágenes. Los requerimientos dependen del tipo de estudio y la enfermedad, etc. ya que de esto dependerá el diagnóstico que se le realice al paciente, y la determinación de su traslado. El presente análisis muestra que la tasa de bits necesaria típicamente no excede de 1.5 Mbps, por lo que se puede concluir que el uso de un enlace satelital es relevante en el presente caso.

Para escoger de una manera óptima las características del sistema satelital para la presente aplicación, en el capítulo siguiente se presenta el análisis del enlace y los parámetros necesarios.

| ESPECIALIDAD | PC | Impresora | Monitor Signos vitales | Cámara de video | Micrófono/ bocinas | Escáner | Video Otoscopio |
|---|----|-----------|---------------------------|--------------------|-----------------------|---------|--------------------|
| Alergia e inmunología | | | | | | | |
| Anatomía Patológica | | | | | | | |
| Anestesiología | | | | | | | |
| Angiología y cirugía vascular | | | | | | | |
| Cardiología | | | | | | | |
| Cirugía general | | | | | | | |
| Cirugía plástica y reconstructiva | | | | | | | |
| Coloproctología | | | | | | | |
| Comunicación Audiológica y foniatría | | | | | | | |
| Dermatología | | | | | | | |
| Endocrinología | | | | | | | |
| Epidemiología | | | | | | | |
| Gastroenterología | | | | | | | |
| Ginecología y obstetricia | | | | | | | |
| Hematología | | | | | | | |
| Infectología | | | | | | | |
| Hemodiálisis | | | | | | | |
| Medicina de rehabilitación | | | | | | | |
| Medicina de actividad física y deportiva | | | | | | | |
| Medicina del enfermo en estado crítico | | | | | | | |
| Medicina del enfermo pediátrico en estado crítico | | | | | | | |
| Medicina del trabajo | | | | | | | |
| Medicina familiar | | | | | | | |
| Medicina interna | | | | | | | |
| Medicina materno fetal | | | | | | | |
| Medicina Nuclear | | | | | | | |
| Nefrología | | | | | | | |
| Neumonología | | | | | | | |
| Neuropatología | | | | | | | |
| Neurología | | | | | | | |
| Neuro-radiología | | | | | | | |
| Oftalmología | | | | | | | |
| Oncología médica | | | | | | | |
| Ortopedia | | | | | | | |
| Otorrinolaringología | | | | | | | |
| Patología clínica | | | | | | | |
| Pediatría | | | | | | | |
| Psicoterapia médica | | | | | | | |
| Psiquiatría | | | | | | | |
| Radiología e Imagen. | | | | | | | |
| Reumatología | | | | | | | |
| Urología | | | | | | | |
| Urología ginecológica | | | | | | | |

Tabla II.1 Equipos para cada especialidad médica.

| ESPECIALIDAD | Estetoscopio Electrónico | Dermascopio | Otalmonoscopio | Interpretador de ECG para PC | Sistema de ayuda auditiva |
|---|-----------------------------|-------------|----------------|---------------------------------|------------------------------|
| Alergia e inmunología | | | | | |
| Anatomía Patológica | | | | | |
| Anestesiología | | | | | |
| Angiología y cirugía vascular | | | | | |
| Cardiología | | | | | |
| Cirugía general | | | | | |
| Cirugía plástica y reconstructiva | | | | | |
| Coloproctología | | | | | |
| Comunicación Audiológica y foniatría. | | | | | |
| Dermatología | | | | | |
| Endocrinología | | | | | |
| Epidemiología | | | | | |
| Gastroenterología | | | | | |
| Ginecología y obstetricia | | | | | |
| Hematología | | | | | |
| Infectología | | | | | |
| Hemodiálisis | | | | | |
| Medicina de rehabilitación | | | | | |
| Medicina de actividad física y deportiva | | | | | |
| Medicina del enfermo en estado crítico | | | | | |
| Medicina del enfermo pediátrico en estado crítico | | | | | |
| Medicina del trabajo | | | | | |
| Medicina familiar | | | | | |
| Medicina interna | | | | | |
| Medicina materno fetal | | | | | |
| Medicina Nuclear | | | | | |
| Nefrología | | | | | |
| Neumología | | | | | |
| Neurociencia | | | | | |
| Neurología | | | | | |
| Neuro-radiología | | | | | |
| Oftalmología | | | | | |
| Oncología médica | | | | | |
| Ortopedia | | | | | |
| Otorrinolaringología | | | | | |
| Pedología clínica | | | | | |
| Pediatría | | | | | |
| Psicoterapia médica | | | | | |
| Psiquiatría | | | | | |
| Radiología e Imagen | | | | | |
| Raumatología | | | | | |
| Urología | | | | | |
| Urología ginecológica | | | | | |

Tabla II.1 Equipos para cada especialidad médica, cont...

| ESPECIALIDAD | Medidor de presión y pulso | Medidor de glucosa | Oxímetro Digital | Rinolaringoscopio | Ultrasonido | Microscopio electrónico |
|---|----------------------------|--------------------|------------------|-------------------|-------------|-------------------------|
| Alergia e inmunología | | | | | | |
| Anatomía Patológica | | | | | | |
| Anestesiología | | | | | | |
| Angiología ; cirugía vascular | | | | | | |
| Cardiología | | | | | | |
| Cirugía general | | | | | | |
| Cirugía plástica ; reconstructiva | | | | | | |
| Coloproctología | | | | | | |
| Comunicación Audiológica ; foniatría | | | | | | |
| Dermatología | | | | | | |
| Endocrinología | | | | | | |
| Epidemiología | | | | | | |
| Gastroenterología | | | | | | |
| Ginecología ; obstetricia | | | | | | |
| Hematología | | | | | | |
| Infectología | | | | | | |
| Hemodiálisis | | | | | | |
| Medicina de rehabilitación | | | | | | |
| Medicina de actividad física y deportiva | | | | | | |
| Medicina del enfermo en estado crítico | | | | | | |
| Medicina del enfermo pediátrico en estado crítico | | | | | | |
| Medicina del trabajo | | | | | | |
| Medicina familiar | | | | | | |
| Medicina interna | | | | | | |
| Medicina materno fetal | | | | | | |
| Medicina Nuclear | | | | | | |
| Nefrología | | | | | | |
| Neumología | | | | | | |
| Neurocirugía | | | | | | |
| Neurología | | | | | | |
| Neuro-radiología | | | | | | |
| Oftalmología | | | | | | |
| Oncología médica | | | | | | |
| Ortopedia | | | | | | |
| Otorinolaringología | | | | | | |
| Patología clínica | | | | | | |
| Pediatría | | | | | | |
| Psicoterapia médica | | | | | | |
| Psiquiatría | | | | | | |
| Radiología e Imagen | | | | | | |
| Reumatología | | | | | | |
| Urología | | | | | | |
| Urología ginecológica | | | | | | |

Tabla II.1 Equipos para cada especialidad médica, cont...

| ESPECIALIDAD | Esfigmomanómetro Digital | Endoscopio | Electroencefalograma | Rayos x | Microscopio quirúrgico |
|---|--------------------------|------------|----------------------|---------|------------------------|
| Alergia e inmunología | | | | | |
| Anatomía Patológica | | | | | |
| Anestesiología | | | | | |
| Angiología y cirugía vascular | | | | | |
| Cardiología | | | | | |
| Cirugía general | | | | | |
| Cirugía plástica y reconstructiva | | | | | |
| Coloproctología | | | | | |
| Comunicación Audiológica y foniatría | | | | | |
| Dermatología | | | | | |
| Endocrinología | | | | | |
| Epidemiología | | | | | |
| Gastroenterología | | | | | |
| Ginecología y obstetricia | | | | | |
| Hematología | | | | | |
| Infectología | | | | | |
| Hemodiálisis | | | | | |
| Medicina de rehabilitación | | | | | |
| Medicina de actividad física y deportiva | | | | | |
| Medicina del enfermo en estado crítico | | | | | |
| Medicina del enfermo pediátrico en estado crítico | | | | | |
| Medicina del trabajo | | | | | |
| Medicina familiar | | | | | |
| Medicina interna | | | | | |
| Medicina materno fetal | | | | | |
| Medicina Nuclear | | | | | |
| Nefrología | | | | | |
| Neumonología | | | | | |
| Neurocirugía | | | | | |
| Neurología | | | | | |
| Neuro-radiología | | | | | |
| Oftalmología | | | | | |
| Oncología médica | | | | | |
| Ortopedia | | | | | |
| Otorrinolaringología | | | | | |
| Patología clínica | | | | | |
| Pediatría | | | | | |
| Psicoterapia médica | | | | | |
| Psiquiatría | | | | | |
| Radiología e Imagen | | | | | |
| Reumatología | | | | | |
| Urología | | | | | |
| Urología ginecológica | | | | | |

Tabla II.1 Equipos para cada especialidad médica, cont...

| ESPECIALIDAD | Tomógrafo | Densitometro | Central de monitoreo | Electrocardiógrafo |
|---|-----------|--------------|----------------------|--------------------|
| Alergia e inmunología | | | | |
| Anatomía Patológica | | | | |
| Anestesiología | | | | |
| Angiología y cirugía vascular | | | | |
| Cardiología | | | | |
| Cirugía general | | | | |
| Cirugía plástica y reconstructiva | | | | |
| Coloproctología | | | | |
| Comunicación Auditológica y foniatría. | | | | |
| Dermatología | | | | |
| Endocrinología | | | | |
| Epidemiología | | | | |
| Gastroenterología | | | | |
| Ginecología y obstetricia | | | | |
| Hematología | | | | |
| Infectología | | | | |
| Hemodiálisis | | | | |
| Medicina de rehabilitación | | | | |
| Medicina de actividad física y deportiva | | | | |
| Medicina del enfermo en estado crítico | | | | |
| Medicina del enfermo pediátrico en estado crítico | | | | |
| Medicina del trabajo | | | | |
| Medicina familiar | | | | |
| Medicina interna | | | | |
| Medicina materno fetal | | | | |
| Medicina Nuclear. | | | | |
| Nefrología. | | | | |
| Neumonología | | | | |
| Neurocirugía | | | | |
| Neurología | | | | |
| Neuro-radiología | | | | |
| Oftalmología | | | | |
| Oncología médica | | | | |
| Otología | | | | |
| Otomolaringología | | | | |
| Patología clínica | | | | |
| Pediatría | | | | |
| Psicoterapia médica | | | | |
| Psiquiatría | | | | |
| Radiología e Imagen. | | | | |
| Reumatología. | | | | |
| Urología | | | | |
| Urología ginecológica | | | | |

Tabla II.1 Equipos para cada especialidad médica, cont...

III. Parámetros de enlace en satélites LEO

El satélite realiza la función de un repetidor solamente o puede además llevar a cabo una concentración de tráfico y procesamiento de la señal. En el primer caso, se usa en los enlaces de subida entre la terminal o estación terrena y el satélite, también en los enlaces de bajada entre éste y la terminal o estación terrena. En el segundo caso, además de los anteriores, se requerirá de enlaces intersatelitales y entre órbitas.

Para un sistema de satélites LEO, la distancia S , entre la terminal y el satélite es obtenida con la ecuación:

$$S_{\max} = \frac{R_E * \text{sen}\phi}{H * \cos\gamma} = \left[\left(\frac{R_E}{H} \right)^2 - R_E^{-2} * \cos^2 \gamma - R_E * \text{sen}\gamma \right]^{1/2}$$

donde R_E es el radio de la tierra, H es la altura de la órbita y el ángulo de elevación es γ .

Las pérdidas en el espacio (L_r) y el retardo de la señal entre la terminal y el satélite (T_p) son dadas respectivamente por:

$$L_r = 20 * \log \left(\frac{4 * \pi * s * f_0}{c} \right)$$

$$T_p = \frac{s}{c}$$

f_0 = frecuencia central

c = velocidad de la luz 3×10^8 m/s

s = distancia entre la terminal y el satélite

Las pérdidas en el espacio, constan de las que se tienen en el espacio libre, que son el mayor componente y otras pérdidas de menor magnitud, como son:

- Pérdidas por propagación en la atmósfera.
- Pérdidas por refracción atmosférica.
- Pérdidas por lluvia.
- Pérdidas por rotación de la polarización (sólo en polarización lineal).

- Pérdidas debido a antenas mal apuntadas (incluyendo errores para mantener al satélite en su órbita).

El retardo total en la comunicación, incluye el de propagación más el retardo que se tiene en el procesamiento de la señal digital dentro del satélite o en los circuitos en el caso de una señal analógica. Cuando se hacen enlaces intersatelitales, se tendrá adicionalmente retardo de propagación y de procesamiento, incluyendo además el de conmutación de señales.

En sistemas de comunicaciones LEO, una característica muy importante es el tiempo en que un solo satélite permanece visible para un usuario, ya que determina la duración de la conexión mantenida entre dos usuarios a través de éste, antes de que sea conmutada a otro satélite que esté entrando en línea de vista con ellos y que se encargara de continuar dicha conexión entre los dos usuarios, éste tiempo de vista es directamente dependiente de la altura orbital.

Las bandas de frecuencias bajas son afectadas por la ionosfera, donde el fenómeno causado por ésta, se manifiesta como un centelleo de la señal y se presenta principalmente en las bandas VHF y UHF. Las bandas de frecuencias altas, son afectadas por la lluvia, particularmente las cercanas e incluyendo la banda X.

Para comunicaciones móviles, en la comunicación bidireccional desde la terminal al satélite, las bandas de frecuencias que ofrecen mayores ventajas son las VHF, UHF, L y S. Además, si las terminales tienen antenas omnidireccionales, a bajas frecuencias se tiene la ventaja de que se necesita menor potencia para transmisión que con frecuencias altas, esta es debido a que las pérdidas de propagación son menores con frecuencias bajas.

En comunicaciones de voz, la banda L, parece ser la que ofrece el mejor compromiso entre todos los parámetros de comunicaciones: tamaño de antena, disponibilidad, transmisores de bajo costo, etc.. La única desventaja es que existen muchos sistemas de radio en esta banda y por tanto no hay espacio disponible en ésta.

En los sistemas de comunicaciones móviles LEO, las terminales de usuario están limitadas en cuanto a la apertura de la antena (ganancia) y ruido de recepción, entonces necesitan la potencia máxima posible de transmisión del satélite. Los enlaces entre las terminales hacia el satélite son la parte más crítica ya que para el enlace de subida, las limitantes son la ganancia de la antena de la terminal, potencia de ésta (consumo de energía eléctrica y tamaño) y el ruido de recepción en la antena del satélite.

Además de lo anterior, los enlaces de subida y de bajada sufren de otra fuente de ruido como es la interferencia causada por el sol, la cual afecta en mayor cantidad al enlace de bajada, esto debido a que tienen un período corto de enlace con cada satélite.

Otra desventaja que se tiene en los enlaces de la terminal al satélite, es el efecto de dispersión de la señal, principalmente del satélite a la terminal, lo que prohíbe tener antenas con polarización lineal y se tienen que usar éstas con polarización circular. Esto trae como consecuencia, que no se pueda tener reutilización de frecuencias por medio de la polarización ortogonal. Sin embargo para enlaces intersatelitales y entre órbitas si es posible hacer esto.

Una medida universal de la calidad del enlace, conveniente para la comparación de enlaces digitales y analógicos, es la relación portadora a densidad de ruido C/N , la cual está dada por:

$$\frac{C}{N} = PIRE - L_f + 10 * \log\left(\frac{G}{T}\right) + 10 * \log(L_d) - 10 * \log(k)$$

donde k es la constante de Boltzmann que es igual a 1.38×10^{-23} [J/K].

Efecto Doppler

Los enlaces de comunicaciones por medio de sistemas satelitales tipo LEO y HEO, sufren de un corrimiento de frecuencia Doppler relativamente grande. El corrimiento Doppler es el que resulta del movimiento del satélite relativo a la terminal, estación base u otro satélite. Este efecto sobre la comunicación depende del tipo de modulación, técnica de multiplexaje y método de acceso al satélite. Afecta principalmente a los enlaces de comunicaciones digitales, ya que estos requieren de una demodulación coherente.

Los sistemas de satélites LEO se mueven a una velocidad aproximada de 7.5 km/s, relativa a la superficie de la tierra y la velocidad de las terminales móviles, incluyendo la mayoría de naves aéreas, pueden omitirse para una primera aproximación ya que por la rotación de la tierra, los puntos sobre la superficie se mueven a una velocidad aproximada de 0 km/s en los polos y 0.46 km/s en el ecuador.

Para usuarios en tierra, el corrimiento de frecuencia cambia cuando el satélite pasa arriba del punto donde están ubicados. El valor del grado de este incremento depende de la latitud de la terminal y posición dentro del

área de cobertura del satélite. Si el satélite está en la etapa de ascenso de la órbita (horizonte sur), el usuario en tierra experimenta un valor positivo máximo de corrimiento de frecuencia. El corrimiento de frecuencia Doppler entonces cae en un valor máximo negativo, en el momento que el ángulo de elevación es el más bajo antes de que desaparezca en el horizonte norte.

En una órbita circular, el corrimiento Doppler es dado por:

$$\Delta f_D = \frac{f_0 * v_D}{c}$$

$$v_D = \left[\frac{\mu * r_E^2}{(r_E + h)^3 * \cos \gamma * \sin \psi} - \frac{2 * \pi}{86164 * r_E * \cos I_t * \cos \gamma * \cos \psi} \right]^{1/2}$$

donde I_t es la latitud geográfica de la terminal y ψ es el ángulo entre la proyección de la línea del satélite a terminal sobre el plano tangencial en el punto subsatélital y la tangente latitudinal a este punto. Una expresión general para el corrimiento Doppler en órbitas elípticas, no puede ser derivada para hacer un cálculo exacto de este.

El efecto Doppler, no obstante que es un problema para los sistemas de satélites LEO, tiene que ser compensado para que no afecte a la señal de información en un grado alto. Esta compensación se puede lograr con la corrección de la posición de los sistemas de comunicaciones.

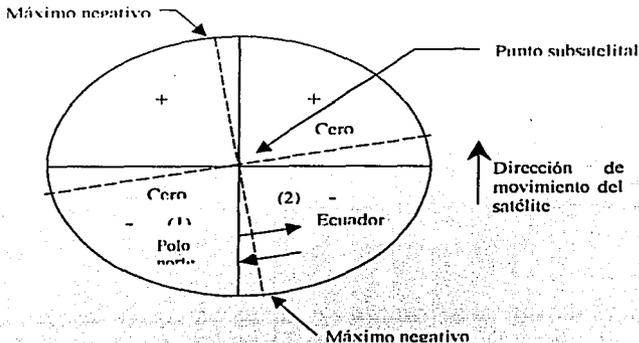


Figura III.1 Corrimiento Doppler dentro de una zona de cobertura.

Para un satélite que está situado sobre los polos norte o sur, las posiciones de máximo. Mínimo y cero de las curvas Doppler son las que están

marcadas con (1). En un satélite sobre el ecuador su posición es la que está marcada en el diagrama como (2). La máxima extensión ente el área (1) y (2) es aproximadamente de 4° . Los métodos básicos para la compensación Doppler son:

- Un control de frecuencia de la terminal al satélite más preciso.
- Corrección de este efecto por medio del procesamiento de la señal en el satélite.
- Corrección Doppler previa en el lado receptor del enlace.
- Precorrección en el lado transmisor.

El primer método ofrece un control muy preciso sobre el corrimiento de frecuencia, pero requiere equipo más sofisticado, ya sea en las terminales o sobre el satélite. El segundo es independiente de las terminales y requiere equipo más sencillo, pero está propenso a recibir frecuencias erróneas dentro de un área de cobertura.

En las órbitas tipo HEO, el efecto Doppler es menor por el hecho de que el satélite tiene una velocidad relativamente más baja en el momento que esta en el apogeo. Este se detecta con mayor magnitud cuando se hace un paso de control de llamada, en el momento que dos satélites están dejando la posición orbital del apogeo. Como aquí el corrimiento de frecuencia es pequeño, los métodos para compensarlos son diferentes. Frecuentemente, solo se usa una banda de guarda más grande entre canales.

Espectro de frecuencias

El espectro de frecuencias es un recurso muy limitado y costoso. Debido a esto, cualquier sistema de comunicaciones con un número grande de usuarios, debe obtener una eficiencia alta en el uso de su espectro de frecuencias y un máximo de reutilización.

Los sistemas LEO tienen la desventaja de un tener corrimiento Doppler grande, que puede llegar a ser de 80 kHz pico a pico. Entonces cada canal de comunicaciones requerirá de una banda de frecuencias ancha. Para lograr una eficiencia alta en cuanto a la reutilización de frecuencia, se usan los métodos: banda angosta y la operación SSB (Single Side Band), división de tiempo, división celular y por división de código en operaciones de espectro disperso.

En la actualidad, existen divisiones de frecuencias mundiales asignadas para servicios móviles por satélite (MSS, Mobile Satellite Services) en las bandas de frecuencia VHF, UHF, L y S.

Interferencia

El problema de interferencia con servicios terrestres operando en la misma banda de frecuencia, es de mayor grado cuando los satélites se encuentran a menor altura sobre el horizonte. En estos sistemas de satélites se necesita un modelo matemático estadístico para el cálculo de interferencia, que es distinto al utilizado en los sistemas GEO, el cual es del tipo determinístico. En satélites LEO, la potencia de interferencia que tendrá una terminal en tierra operando a una frecuencia continua, puede ser expresada en función del tiempo como:

$$I = 20 * \log \left(\frac{c}{4 * \pi * f_0 * s(t)} \right) + L_a(t) + L_p(t) + G_T(t) + P_t + G_R(t)$$

donde L_p es la discriminación de polarización, $G_T(t)$ es la ganancia del satélite en la dirección del receptor, $G_R(t)$ es la ganancia del receptor en tierra en dirección del satélite, $L_a(t)$ son las pérdidas atmosféricas y por desvanecimiento de la señal y P_t es la potencia de transmisión del satélite.

La distribución de probabilidad de la interferencia se obtiene al determinar todas las funciones de tiempo involucradas en la ecuación y tomando en cuenta que es una operación con varios satélites.

Análisis del enlace vía satélite

Considerando un análisis básico mostrado en la siguiente figura.

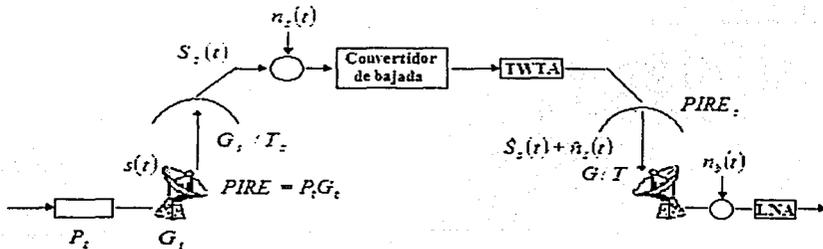


Figura III.2 Enlace básico.

La estación terrena transmite una portadora $s(t)$ cuya potencia es simplemente el PIRE de la portadora dado de la siguiente manera.

$$PIRE = P_r G_r$$

donde

P_r = Potencia de la portadora en el alimentador de la antena

G_r = Ganancia de la antena de transmisión.

La transmisión asume que se trata de cielo despejado y la atenuación de la portadora $s(t)$ es la pérdida en el espacio libre dado por:

$$L_s = \left(\frac{4\pi d_s}{\lambda_s} \right)^2 = \left(\frac{4\pi f_s d_s}{c} \right)^2$$

λ_s = longitud de onda del enlace hacia arriba [m].

d_s = rango de inclinación [m] del enlace hacia arriba y puede ser calculado por:

$$d^2 = (R_e + H)^2 + R_e^2 - 2R_e(R_e + H)\cos\theta$$

donde

$R_e = 6378$ [Km]

$H = 35,786$ [Km]

f_s = frecuencia portadora del enlace hacia arriba [Hz].

c = velocidad de la luz (2.997925×10^8 [m/s]).

Tenemos que $S_s(t)$ es la recepción de la portadora en el satélite y $n_s(t)$ es el ruido gaussiano blanco referido a cero, el cual contamina el enlace hacia arriba $S_s(t)$. Así la recepción de la portadora más el ruido en el satélite es $S_s(t) + n_s(t)$. Si la ganancia de la antena del satélite es G_s , la potencia portadora de subida del enlace es $S_s(t)$, siendo:

$$C_s = \frac{(PIRE)G_s}{L_s L} = \frac{(PIRE)}{L} \left(\frac{c}{4\pi f_s d_s} \right)^2 G_s$$

donde

L es la pérdida en la línea y pérdidas atmosféricas.

La potencia del ruido del enlace hacia arriba esta dada por:

$$N_s = kT_s B$$

En donde T_s es la temperatura de ruido del sistema del satélite (K) y puede ser calculado de la temperatura de ruido de la antena del satélite (la cual es alrededor de 290 K) y el ruido de temperatura equivalente del satélite de comunicaciones repetidor se muestra en la figura anterior.

B: Ruido de ancho de banda del canal del satélite

k: constante de Boltzman (1.38×10^{-23} [J/K])

Así la razón portadora a ruido del enlace hacia arriba es:

$$\left(\frac{C}{N}\right)_s = \frac{C_s}{N_s} = \frac{(PIRE)}{L} \left(\frac{c}{4\pi f_s d_s}\right)^2 \left(\frac{G_s}{T_s}\right) \left(\frac{1}{kB}\right)$$

en decibeles:

$$\left(\frac{C}{N}\right)_s = PIRE(dBW) - 20 \log\left(\frac{4\pi f_s d_s}{c}\right) + \frac{G_s}{T_s} (dB/k) - 10 \log k - 10 \log B - L(dB)$$

$S_s(t)$ es la portadora recibida por el satélite a la cual se le suma el ruido gaussiano blanco. Entonces el recibimiento de la portadora más el ruido del satélite es $S_s(t) + n_s(t)$. Esta suma es amplificada y convertida para la bajada por el receptor-convertidor de bajada del satélite de comunicaciones y después, amplificada la ganancia por el TWTA del satélite y retransmitido hacia (abajo) la tierra por la antena del satélite. Denotando a la retransmisión de la portadora más el ruido como $S_s(t) + n_s(t)$, la cual posee la misma razón portadora a ruido $(C/N)_s$, ya que la recepción de la portadora más el ruido es $S_s(t) + n_s(t)$.

Siendo $PIRE_s$ el PIRE del satélite (o potencia) de la retransmisión de la portadora $S_s(t)$ el cual es $C_s = PIRE_s$, entonces la potencia de ruido que acompañó al enlace hacia arriba $n_s(t)$ es:

$$\frac{C_s}{N_s} = \left(\frac{C}{N}\right)_s$$

$$N_s = \frac{PIRE}{\left(\frac{C}{N}\right)_s}$$

La recepción de la portadora mas el ruido en el receptor de la estación terrena es $S_s(t) + n_s(t) + n_b(t)$, donde $S(t)$ y $n(t)$ son la versión atenuada de $S_s(t)$ y $n_s(t)$ respectivamente, $+n_b(t)$ es la adición independiente del ruido gaussiano blanco referido a cero (AWGN) del enlace hacia abajo que también contamina a $S(t)$. Después, tomando dentro de este análisis las pérdidas en el espacio libre L_b , las pérdidas en la antena de recepción y la atenuación atmosférica sobre el enlace hacia abajo L' y la ganancia de la antena de recepción de la estación terrena, la potencia de la portadora $S(t)$ en la recepción de estación terrena es:

$$C = \frac{(PIRE)_s G}{L_b L'} = \frac{(PIRE)_s}{L'} \left(\frac{c}{4\pi f_b d_b} \right)^2 G$$

donde:

d_b = Rango de inclinación [m] del enlace hacia abajo.

f_b = Frecuencia portadora hacia abajo.

L' = Pérdidas en la trayectoria de la antena y atenuación atmosférica.

La potencia de ruido que acompañó al enlace hacia arriba $n(t)$ operando sobre el enlace hacia abajo es:

$$\tilde{N} = \frac{\tilde{N}_s G}{L_b L'} = \frac{(PIRE)_s G}{L_b L' (C/N)_s} = \frac{(PIRE)_s}{L'} \left(\frac{c}{4\pi f_b d_b} \right)^2 (C/N)_s^{-1} G$$

La potencia de ruido de enlace hacia abajo esta dada otra vez por:

$$N_b = kTB$$

T = temperatura de ruido del sistema de la estación terrena.

Así la composición de la potencia de ruido en el receptor de la estación terrena:

$$N = \tilde{N} + N_b = \frac{(PIRE)_s}{L'} \left(\frac{c}{4\pi f_b d_b} \right)^2 \left(\frac{C}{N} \right)_s^{-1} G + kTB$$

La razón portadora a ruido del satélite hacia abajo es:

$$\left(\frac{C}{N}\right)_b = PIRE_{SAT} - 20 \log \left(\frac{4\pi f_b d_b}{c} \right) + \frac{G}{T} - 10 \log k - 10 \log B - L'(dB)$$

y la razón portadora a ruido total (hacia arriba y hacia abajo) es:

$$\frac{C}{N} = \left\{ \left(\frac{C}{N}\right)_s + \left[\frac{(PIRE)_{SAT}}{L'} \left(\frac{c}{4\pi f_b d_b} \right)^2 \left(\frac{G}{T} \right) \left(\frac{1}{kB} \right) \right]^{-1} \right\}^{-1}$$

donde

$$\left(\frac{C}{N}\right)_b = \frac{(PIRE)_{SAT}}{L'} \left(\frac{c}{4\pi f_b d_b} \right)^2 \left(\frac{G}{T} \right) \left(\frac{1}{kB} \right)$$

y

$$\frac{C}{N} = \left[\left(\frac{C}{N}\right)_s + \left(\frac{C}{N}\right)_b \right]^{-1}$$

Otro término que hay que considerar es la cantidad de ruido de intermodulación con respecto a la portadora. Esto sucede debido a la no-linealidad en amplitud y fase del amplificador TWTA, así al amplificar múltiples portadoras se introduce el ruido de intermodulación, por lo cual:

$$\frac{C}{N} = \left[\left(\frac{C}{N}\right)_s + \left(\frac{C}{N}\right)_b + \left(\frac{C}{N}\right)_I \right]^{-1}$$

Conclusiones

El tiempo que un satélite permanece visible para el usuario (20 min.) determina la duración de la conexión entre dos usuarios.

Entre los fenómenos que dificultan el uso de enlaces satelitales de tipo LEO se encuentran los siguientes:

1. El efecto Doppler que resulta en un corrimiento de frecuencias y puede llegar a ser de 80 kHz pico a pico. Este corrimiento es posible que sea compensado con la corrección de la posición de los sistemas involucrados.
2. La interferencia con algunos sistemas terrestres así como con otros satélites puede ser combatido por la adecuada selección de canales y frecuencias portadoras.

Los parámetros más importantes de enlaces que se van a considerar en el análisis siguiente son:

- A. PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Efectiva) de la estación terrena, por enlace y por portadora.
- B. Relación $\frac{C}{N}$ en condición de lluvia y en condición de cielo despejado.
- C. Relación $\frac{I_{th}}{N_0}$ en condición de lluvia y en condición de cielo despejado.

DE LA REDUCCION

IV. Aplicaciones de Telemedicina en México via satélites LEO

En México los servicios de salud pública están divididos en tres niveles de atención o entornos asistenciales:

□ 1er. Nivel

Este primer nivel es la entrada al sistema de salud y su objetivo es resolver en un 85% la problemática del paciente, se trata de darle la mejor atención para así lograr su recuperación dentro de esta primera etapa, cuando esto no es posible se canaliza al segundo nivel de atención. Tiene un papel prioritario en la promoción y protección de la salud, con énfasis en servicios orientados a la prevención.

El primer nivel cuenta con todas las clínicas ó unidades de medicina familiar que se encuentran alrededor de la República Mexicana generalmente cercanas a núcleos poblacionales, y cada una de ellas brinda los servicios de consulta externa, atención estomatológica, medicina preventiva, urgencias y urgencias de la patología, patología de baja complejidad, salud en el trabajo, salud reproductiva y laboratorio clínico.

Este primer nivel será definido como el *Centro Consultante* el cual solicita el servicio de teleconsulta o telediagnóstico. El solicitante del servicio será el jefe de la actividad, que ha de ser especialista de 1er. grado con más de 5 años de experiencia.

□ 2do. Nivel

En el segundo nivel de atención se da servicio a pacientes que no lograron su recuperación dentro del primer nivel, a causa de que la enfermedad que padecen es de un estado más crítico necesitando de un especialista que los valore y les dé un mejor tratamiento. Los servicios que ofrece este nivel son requeridos en menor proporción que los de primer nivel, aproximadamente el 12%, forman parte de la estructura hospitalaria de las instituciones de seguridad social.

En este nivel se cuenta con los recursos de cama para la observación o manejo de un paciente, atención de partos cirugías o procedimientos especializados, urgencias reales, laboratorio para estudios específicos, gabinetes de imagenología, unidades de cuidados intensivos y recursos

necesarios para atender patologías que no pueden ser manejadas en forma ambulatoria.

Los recursos que definen al segundo nivel de atención y los cuales están identificados en la estructura de servicios como Hospitales Generales de Zona, en los que según su tamaño y capacidad de resolución pueden tener un número diverso de camas entre 32 y 216, se dividen en tres tipos:

Clinicas de Sub-zona. Dentro de las cuales hay cuatro especialidades:

- Cirugía.
- Ginecobstetricia.
- Medicina Interna.
- Pediatría.
- Más aquellas que el perfil epidemiológico de zona les demande.

Clinicas de Zona.

- Medicina Interna
- Medicina General

Clinicas Regionales. Las cuales pueden contar con más de 20 especialidades

A éste nivel pertenece el *Centro de Diagnóstico* que será un centro que cuenta con alto nivel de especialización en la temática nivel local y que brinda el servicio de teleconsulta para segunda opinión o telediagnóstico. El responsable será siempre un especialista de 2° grado en la especialidad en cuestión y el resto serán especialistas de 1er. grado con mas de 5 años de experiencia, con la debida preparación informática para el manejo eficiente de los sistemas, tanto para el diagnóstico como de comunicación.

□ 3er. Nivel

En el tercer nivel de atención, los pacientes que requieren de éste servicio son los que se encuentran en una etapa muy avanzada de su enfermedad, y para quienes es necesaria la consulta de un especialista o de estudios más avanzados para su tratamiento y quienes han rebasado la capacidad de resolución de los hospitales de segundo nivel.

Está constituido por la red de hospitales de alta tecnología y especialidad facultados para una máxima resolución diagnóstico terapéutica. La demanda de este nivel es aproximadamente el 3% ya que sus recursos son altamente especializados y de costo elevado.

Cuenta con los siguientes servicios de Especialidades Médicas:

- Cardiología
- Oncología
- Pediatría
- Medicina Interna
- Alergia e Inmunología
- Neurología
- Medicina Nuclear
- Hemodiálisis
- Hematología
- Dermatología
- Endocrinología
- Gastroenterología
- Oftalmología
- Otorrinolaringología
- Radiología
- Reumatología
- Urología

El *Centro de Referencia* estará dentro del tercer nivel y será el centro rector de la especialidad, avalado por el grupo de la especialidad que corresponda y brinda el servicio de teleconsulta o telediagnóstico de mayor nivel. Se responsabiliza con la acreditación de los centros que conforman la red de telediagnóstico del país. El responsable será siempre un especialista de 2do. Grado en la especialidad en cuestión y el resto serán especialistas de 1er. grado con más de 5 años de experiencia, con la debida preparación informática para el manejo eficiente de los sistemas, tanto para el diagnóstico como de comunicación.

Una Red de Telemedicina debe cumplir con los siguientes aspectos:

En cuanto a la asistencia médica se puede conseguir que cada entorno asistencial (Primero, Segundo y Tercer Nivel) disponga de la información suficiente y tenga capacidad para intercambiar la información. Se distinguen pues cuatro aspectos diferentes:

- Posibilidad de dar cita bidireccional entre niveles.
- Realización de peticiones de pruebas analíticas y radiológicas.
- Intercambio de información electrónica, como medio de comunicación entre los profesionales de dichos entornos:
 - Informes de interconsulta.
 - Informes de alta de hospitalización.
 - Resultados de pruebas analíticas, radiológicas, etc.

- Acceso a la Historia Clínica compartida del área de salud, de manera que cada facultativo pueda acceder a la información en el momento y de la forma en que la necesita (una visión horizontal por el médico de Primer Nivel que le permita conocer la evolución de los diferentes episodios sufridos por el paciente y una visión vertical por el especialista que le permita consultar toda la información de detalle de un episodio concreto).

También la Telemedicina incluye la prevención de enfermedades, utilizando para esto la información dirigida, la cual se define como aplicaciones que, haciendo uso de infraestructuras y comunicaciones y especialmente de Internet, ofrecen a los ciudadanos contenidos multimedia sobre la salud, el cuidado de las enfermedades y los aspectos sociales relacionados, con independencia de la ubicación de los contenidos, de sus autores y de los usuarios que lo solicitan.

Este tipo de servicios incluyen:

- Acceso a contenidos estructurados (documentos, videos, etc.) por tipo de colectivo (mujeres, niños, tercera edad, etc.) por tema (nutrición, prevención, cuidados, etc.) por enfermedad (Diabetes, Alzheimer, etc.)
- Búsqueda de contenidos por palabras ('meningitis', 'corazón',...).
- Selección de Webs recomendadas.
- Otros servicios de valor añadido: consultorios electrónicos, foros de debate, servicios de suscripción temática, personalización de los servicios,...

La disponibilidad de estos sistemas es clave para la sociedad en su conjunto y especialmente para el sector de la salud.

Estos servicios de información a ciudadanos han de cumplir determinados requisitos: deben ofrecer contenidos de calidad, que sean fácilmente comprensibles por los usuarios a los que van destinados, han de ofrecer servicios que faciliten la búsqueda y el acceso por personal sin formación médica, etc.,

Los servicios de Telemedicina de educación a distancia, la cual incluye la información y formación de los profesionales de la salud, y se refiere a las aplicaciones disponibles a través de redes de comunicaciones, que están dirigidas a profesionales del sector salud (médicos, enfermeros, técnicos de laboratorio, investigadores,...) y que facilitan el acceso a contenidos sobre salud, tanto de índole informativa como específicamente destinados a la formación, con los requisitos de independencia de la ubicación y el tiempo. Se incluyen en este grupo aplicaciones del tipo:

- Bases documentales de:
 - Protocolos asistenciales, terapéuticos, de uso de tecnología de ámbito sanitario.
 - Casos clínicos.
 - Guías farmacoterapéuticas.
 - Medicina basada en la evidencia.
 - Artículos de investigación, divulgación,...
 - Noticias sectoriales.
- Entornos de trabajo en grupo:
 - Videoconferencia
 - Aplicaciones para proyectos de investigación (gestión de documentación, coordinación de tareas, tableros de discusión,...).
 - Revisiones cruzadas entre autores y editores de documentación médica.
 - Sesiones clínicas virtuales.
 - Enseñanza Asistida por computadora

Para cumplir con los aspectos anteriores definimos una red de Telemedicina de la siguiente manera, haciendo distinciones entre cada entorno de asistencia médica.

En el Primer Nivel de Atención

- Tomando en cuenta un enlace por medio de línea telefónica con conexión a Internet, lo cual es viable para un enlace en el que no se requiere gran velocidad de transmisión ni gran ancho de banda.

| Descripción | Precio US | Precio M.N. |
|---|-------------|--------------|
| PC HP Pavilion 7941 ¹¹ | \$1,521.74 | \$14,000.00 |
| Televisión de 21 pulgadas Panasonic | \$358.16 | \$3,295.00 |
| Videocassettera Panasonic | \$158.70 | \$1,460.00 |
| General/multifuncional Telemonitoring American Telcare | \$2,950.00 | \$27,140.00 |
| Clinical Telemedicine Consultation SW Image Labs | \$15,500.00 | \$142,600.00 |
| Costo por línea telefónica | \$228.27 | \$2,100.00 |
| Costo por acceso a Internet anual | \$234.79 | \$2,160.00 |
| En el cual el costo total estimado será de | \$20,951.66 | \$192,755.00 |

Variante 1

¹¹ Incluye: Procesador Pentium III a 1GHz, 128 M en SRAM, Disco Duro de 40 Gb, CD- Writer, CD-Rom, Módem fax/datos V.90 alta velocidad, Bocinas Polk Audio, micrófono integrado, teclado para Internet, Intel Easy PC Camera, Puertos Serial y USB, Escáner HP 2200c 42 bits y 600 ptos. por pulgada, Impresora HP 640c.

- Ahora con un enlace satelital, el cual será posible utilizar en el caso de sistemas móviles o en lugares donde no se encuentre infraestructura telefónica.

| Descripción | Precio US | Precio M.N. |
|--|--------------------|---------------------|
| PC HP Pavilion 7941 | \$1,521.74 | \$14,000.00 |
| Televisión de 21 pulgadas Panasonic | \$358.16 | \$3,295.00 |
| Videocassetera Panasonic | \$158.70 | \$1,460.00 |
| General/multifuncional Telemonitoring American Telcare | \$2,950.00 | \$27,140.00 |
| Clinical Telemedicine Consultation SW Image Labs | \$15,500.00 | \$142,600.00 |
| Antena | \$5,000.00 | \$46,000.00 |
| Módem satelital | \$4,500.00 | \$41,400.00 |
| Transmisor / Receptor | \$27,000.00 | \$248,400.00 |
| Multiplexor | \$2,000.00 | \$18,400.00 |
| Espacio Satelital | <u>\$12,868.35</u> | <u>\$118,388.82</u> |
| En el cual el costo total estimado será de | \$71,856.95 | \$661,083.82 |

Variente 2

Para el segundo nivel de atención, sólo se considera con enlace satelital, ya que en éste entorno es necesario contar con más velocidad de transmisión y mayor capacidad en el enlace, los datos, imágenes y archivos que se envían requieren de mayor resolución y precisión así como de mayor ancho de banda:

| Descripción | Precio US | Precio M.N. |
|--|--------------------|---------------------|
| Unidad de Telemedicina Computing devices | \$38,000.00 | \$349,600.00 |
| Unidad de Videoconferencia Cifre Medical | \$15,000.00 | \$138,000.00 |
| TeleECGs Heart view | \$735.00 | \$6,762.00 |
| Ultrasonido Line Imaging | \$22,000.00 | \$202,400.00 |
| Oftal + sistema | \$31,034.00 | \$285,512.80 |
| Telemonitoro | \$2,950.00 | \$27,140.00 |
| Clinical Telemedicine Consultation SW Image Labs | \$15,500.00 | \$142,600.00 |
| Antena | \$5,000.00 | \$46,000.00 |
| Módem satelital | \$4,500.00 | \$41,400.00 |
| Transmisor/ Receptor | \$27,000.00 | \$248,400.00 |
| Multiplexor | \$2,000.00 | \$18,400.00 |
| Espacio Satelital | <u>\$12,868.35</u> | <u>\$118,388.82</u> |
| Total | \$176,587.35 | \$1,624,603.62 |

Variente 3

Y por último en el tercer nivel de atención, que será el Centro de Referencia, en el cual se darán las consultas a los entornos anteriores por ser el de mayor especialidad.

| Descripción | Precio US | Precio M.N. |
|---|---------------------|-----------------------|
| Incluyendo todo el equipo del segundo nivel | \$176,587.35 | \$1,624,603.62 |
| Microscopio Electrónico AMD | \$9,975.00 | \$91,770.00 |
| Dermoscopio AMD | \$1,300.00 | \$11,960.00 |
| Sistema de Telepatología Auto Cyte Link | \$43,500.00 | \$400,200.00 |
| Monitor de Funciones Pulmonares AMD | \$8,200.00 | \$75,440.00 |
| Laringoscopio AMD | \$6,200.00 | \$57,040.00 |
| Otoscopio AMD | \$2,800.00 | \$25,760.00 |
| Costo total estimado | \$248,562.35 | \$2,286,773.62 |

Variante 4

Tomando en cuenta el tipo de cambio de \$9.20 pesos por dólar.

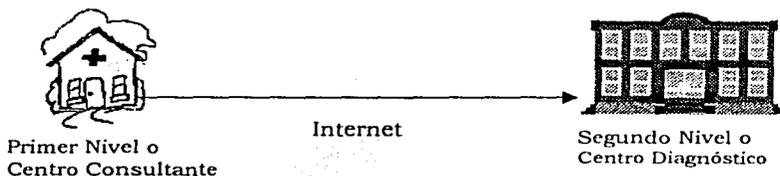
Conclusiones

Para cumplir con las expectativas de la telemedicina, se propusieron cuatro variantes de los equipos médicos necesarios para cada nivel de atención. Teniendo dos variantes en el primer nivel o centro consultante, ya que éste enlace se puede realizar vía satélite o Internet, por no demandar gran calidad en el servicio ni ocupar mucho ancho de banda. Las otras dos variantes pertenecen al segundo y tercer nivel de atención respectivamente, por tratarse de especialidades aquí si es necesario que el enlace se realice vía satélite ya que se demanda gran calidad en la transmisión.

A continuación se presentan los resultados de evaluación de costo y comparación de las variantes mencionadas de los sistemas de telemedicina.

V. Resultados

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, el costo total de cada enlace se muestra a continuación, con el cual realizaremos el análisis costo-beneficio para determinar en cuanto tiempo podremos recuperar nuestra inversión. Cabe mencionar que cada enlace, en sus distintos niveles, puede contar con más de un agregado.



Para un enlace por medio de Internet

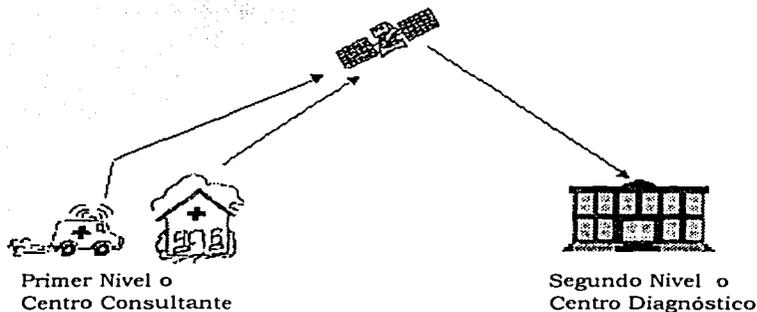
Total Primer Nivel
Total Segundo Nivel

US

\$20,951.66
\$176,587.35

M.N.

\$192,755.00
\$1,624,603.62



Para un enlace satelital

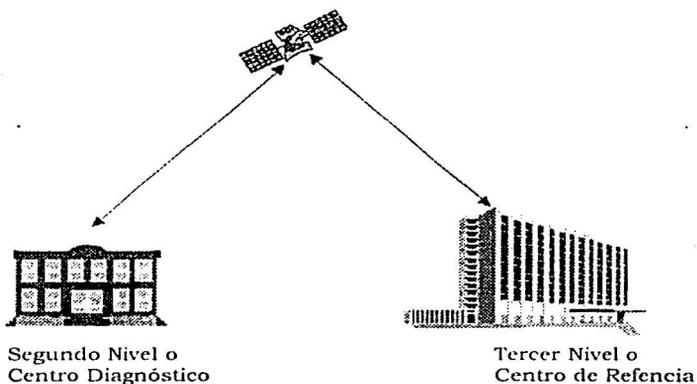
Total Primer Nivel
Total Segundo Nivel

US

\$71,856.95
\$176,587.35

M.N.

\$661,083.82
\$1,624,603.62



| Enlace satelital | US | M.N. |
|---------------------|--------------|----------------|
| Total Segundo Nivel | \$176,587.35 | \$1,624,603.62 |
| Total Tercer Nivel | \$248,562.35 | \$2,286,773.62 |

Ahora realizando el análisis costo-beneficio del segundo y tercer nivel respectivamente, para lo cual se tomó en cuenta que el 48% de los traslados son evitados por la red de Telemedicina establecida en el Hospital 20 de Noviembre podemos mostrar la siguiente tabla.

| Niveles | Segundo | Tercero |
|--|----------------|----------------|
| Costo Total | \$1,624,603.62 | \$2,286,773.62 |
| Costo por día | \$3,124.24 | \$4,397.64 |
| Precio por paciente | \$300.00 | \$3,000.00 |
| Número de pacientes a evitar | 10.41412577 | 1.465880526 |
| Redondeo | 11 | 2 |
| Pacientes diarios para cubrir el costo | 22.91666667 | 4.166666667 |
| Redondeo | 23 | 5 |
| Ganancia en 2 años | \$91,396.38 | \$833,226.38 |
| Recuperación de inversión en años | 1.9 | 1.5 |
| Recuperación de inversión A/M | 1/11 | 1/6 |

Como podemos observar en los presupuestos anteriores se ha considerado ya el espacio satelital, el transmisor y receptor, multiplexor, la antena y el módem, con lo que faltaría realizar el cálculo de enlace, éste se ha realizado entre dos ciudades de la República Mexicana, como la Cd. de México y la Cd. de Mexicali, para lo cual nos ayudamos de un programa que se muestra en el Anexo 3 y con el cual obtuvimos los siguientes resultados.

| <i>TOTAL DE:</i> | <i>Portadora 1</i> | <i>Portadora 2</i> | <i>UNIDADES</i> |
|---|--------------------|--------------------|-----------------|
| PIRE de la estación terrena transmisora | 41.35 | 42.93 | dBW |
| C/N Condición de lluvia | 17.44 | 14.16 | DB |
| Eb/no | 15.80 | 12.52 | DB |
| C/N Cielo despejado | 17.67 | 18.16 | DB |
| Eb/no | 16.03 | 16.52 | DB |
| PIRE por portadora | 75.83 | 67.54 | dBW |
| PIRE por enlace | 76.43 | | dBW |

Tomando en cuenta el tipo de cambio a \$9.20 pesos por dólar.

Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos, podemos decir que es viable implementar la red de telemedicina en cualquiera de las variantes antes mostradas, en el análisis costo-beneficio vemos que es posible lograr obtener la inversión inicial realizada en no más de dos años, y hasta obteniendo ganancias, aunque en el segundo nivel de atención ésta ganancia es muy poca, en el tercer nivel, debido a los traslados evitados que en total se ha demostrado son de aproximadamente el 48 % del total que se consulta por medio de la red de telemedicina existente en el ISSSTE, podemos decir que se requiere un mínimo de pacientes por día para que el sistema se pague por sí sólo.

Ahora considerando que cada enlace tiene más de un hospital o clínica a su cargo, esto es, por ejemplo si un hospital de segundo nivel está enlazado a 5 ó 10 clínicas y éste a su vez junto con otros hospitales del mismo nivel enlazados a un hospital del tercer nivel, se tendrán más número de pacientes en cada uno de ellos por día y cubrir el mínimo necesario de pacientes, que para el segundo nivel son 21 pacientes diarios con 10 evitados y para el tercer nivel son 5 con 2 pacientes no trasladados, entonces será posible, que si el número de pacientes no trasladados se incrementa, se logre pagar la red de telemedicina en menos tiempo del estimado.

VI. Discusión

Para la viabilidad de los Sistemas de Telemedicina se requiere considerar los siguientes aspectos:

- **Marco político e Institucional.** La implantación efectiva de Sistemas de Telemedicina requiere un compromiso institucional de estabilidad en las políticas de actuación sanitaria y de inversiones.
- **Infraestructura organizativa y factores humanos.** Desarrollo de protocolos de trabajo con asignación de roles profesionales, asociados con los diferentes sistemas, es decir, cuál es el papel de los médicos, personal de enfermería y personal administrativo, su grado de responsabilidad, la formación, la acreditación, etc. Para facilitar la implantación de los proyectos se hace necesario el desarrollo de guías y procedimientos.
- **Adecuación tecnológica.** Uno de los mayores problemas se refiere a la interfaz de usuario, la integración de herramientas de ayuda al diagnóstico y/o sistemas de información. Hay que hacer énfasis en el uso de sistemas abiertos y la adopción de normas internacionales evitando soluciones propietarias. Asimismo, hay que garantizar la fiabilidad, la seguridad y el acceso al servicio.
- **Financiación.** Debe existir una financiación suficiente, no sólo para la instalación inicial sino para el mantenimiento sostenido. En este sentido, conviene acotar el alcance y vida del proyecto para evitar expansiones sin control con demanda incesante de actualizaciones no previstas.

Para la red de telemedicina propuesta, el costo del segmento espacial puede ser evitado si se consigue que el gobierno se haga cargo de los gastos que implica, ya que proporciona servicios de salud pública y de acuerdo con el cálculo del enlace podemos observar que es posible realizar el enlace satelital. Además, como se aprecia en los resultados, la red puede autofinanciarse en 1 año y 5 meses como mínimo y con ello dar viabilidad al proyecto.

El desarrollo de tecnologías más eficientes en las áreas de comunicación y computación disipa las principales preocupaciones en cuanto a la seguridad, eficacia y confiabilidad de los sistemas de telemedicina, aunado a esto la rápida caída de los precios en los equipos de computación contribuye a que los proyectos de telemedicina sean más fáciles de iniciar.

Por otro lado existe la tendencia de crear redes médicas dedicadas, estando así el tráfico global de la red, libre de la influencia de otro tipo de información. Además la tecnología ATM está emergiendo como candidata

principal para la transmisión de imágenes en aplicaciones LAN y WAN.

En general, la telemedicina surgirá como una manera de combatir los problemas de escasez de recursos médicos y de acceso a los servicios médicos en localidades ubicadas geográficamente alejadas de los servicios de salud.

Son múltiples los beneficios que las distintas aplicaciones de la Telemedicina pueden aportar tanto a las instituciones médicas en general:

- **Mejorar la calidad asistencial:**
 - Fomentar la equidad llevando la atención a las áreas aisladas.
 - Favorecer la universalidad del acceso a la asistencia sanitaria.
 - Proveer apoyo científico y tecnológico a los profesionales.
 - Facilitar la concepción integral del paciente.
- **Apoyar al desarrollo de un nuevo modelo sanitario, centrado en el paciente.**
- **Aumento de la eficiencia del sistema mediante la optimización de los recursos asistenciales, la mejora de la gestión de la demanda, la reducción de las estancias hospitalarias y la disminución de las repeticiones de actos médicos y exploraciones, así como de los desplazamientos.**
- **Aumentar la accesibilidad de la información a todos los niveles asistenciales.**
- **Optimizar procesos administrativos, por simplificación de los circuitos de petición, reducción de errores administrativos, etc.**
- **Aumentar el conocimiento sanitario de la población y fomentar el autocuidado.**
- **Facilitar la formación continua de los profesionales y gestionar el conocimiento generado por los mismos.**

Por otra parte, el análisis aquí propuesto se centró en los sistemas de órbita baja (LEO) de banda ancha, los cuales, además de tener una cobertura global, ofrecen una gran variedad de servicios y poseen ciertas ventajas:

- **Tiempo de propagación** de ida y vuelta es mucho menor que el de un GEO y está dado por el rango de en altitud.
- **Potencia y presupuesto de enlace**, la potencia necesaria para el enlace de subida como de bajada es muy poca por lo que las terminales de usuario son más baratas así como la antena que no necesita mucha ganancia, con lo cual se reducen costos.
- **Reutilización del espectro de frecuencias.**
- **Cobertura amplia y global.** Una constelación LEO puede abarcar

una zona muy extensa de la superficie de la tierra y prestar servicios a usuarios en latitudes altas.

- **Ángulo de elevación.** Es posible configurar una constelación de satélites de modo que el ángulo de elevación con el que el abonado se comunica con el satélite pueda ser relativamente grande.
- **Transportación.** En un mismo vehículo espacial es posible enviar hasta una decena de satélites, lo que ayuda a reducir los costos de lanzamiento.
- **Peso promedio** de cada satélite es de entre 40.86-800 Kg.
- **Terminales de usuario** la cual es concebida como un handset móvil, similar en tamaño y función a la existente para redes celulares.
- **Telepuertos o estaciones gateway,** actúan como la interfaz entre la constelación satelital y la red fija terrestre. Una constelación puede ser completamente funcional con sólo un telepuerto, siempre y cuando el telepuerto y los enlaces intersatelitales tengan capacidad suficiente.

VII. Conclusiones generales

El objetivo que se planteó en éste proyecto de tesis, puede ser llevado a cabo bajo las siguientes condiciones:

1. La telemedicina tiene como prioridad la transmisión de datos, audio e imágenes, debido a ello es importante señalar que los equipos periféricos se determinan según la especialidad médica a tratar para así determinar el diagnóstico del paciente y su traslado.
2. Utilización de un enlace vía Internet o satélite para la variante 1 (cap. IV) por no demandar gran calidad en el servicio ni ocupar mucho ancho de banda.
3. Utilización de los satélites de órbita baja como medio de comunicación según las variantes 2, 3 y 4 (cap.IV), ya que pueden ser utilizados para enlazar regiones que son inaccesibles para otros medios de comunicación o en los que no existe infraestructura para ello. En éstas variantes es necesario contar con un ancho de banda de aproximadamente de 1.5 Mbps y gran calidad en el servicio
4. En el análisis costo/beneficio se observa que la red de telemedicina propuesta se puede autofinanciar en un periodo menor a 2 años, y después de lo cual será posible obtener ganancias evitando los traslados de pacientes que puedan ser atendidos de forma satisfactoria por éste medio, lo cual es de gran ayuda en el ámbito socio-económico.

Se deja a futuro la implementación de la red de telemedicina, ya sea con los equipos periféricos que se han tomado en cuenta para la realización de éste trabajo, o según las necesidades requeridas de la institución en la cual sea posible la implementación de un proyecto de telemedicina.

Anexo 1. La Telemedicina y las Telecomunicaciones

Las aplicaciones de la telemedicina se pueden clasificar según se requiera de bajo, medio o alto ancho de banda de transmisión. El rango de las redes posibles comprende desde telefonía básica, líneas digitales, comunicaciones celulares, satelitales y redes de banda ancha como ATM. En especial celular y satélites se deben considerar para proveer del cuidado de la salud en sitios remotos.

Tecnologías de Telecomunicaciones

Telefonía

La telefonía básica puede ser entregada vía hilo de cobre, fibra óptica, enlace de microondas punto a punto, enlace de microondas punto a multipunto, comunicación HF, comunicación VHF o UHF, o satélite. En la mayoría de los países, especialmente en zonas rurales remotas, las tecnologías simples están relativamente disponibles, como hilo de cobre o radio HF, y consecuentemente ello viene a determinar un factor importante dentro de la sofisticación de los servicios de telemedicina que en ellos se provee.

Los teléfonos satelitales y enlaces de microondas punto-a-punto pueden permitir la transmisión de servicios de ISDN y baja velocidad en video.

Un módem es usado como interfaz en la transmisión de datos entre una computadora y una línea telefónica. Una computadora con un módem puede funcionar como un fax capaz de recibir y transmitir reportes médicos, imágenes y otros materiales imprimibles como sea posible y recibir datos digitalizados.

Modems

Las unidades moduladoras-demoduladoras (módems) ofrecen rangos por encima de 19.2 kbit/s el cual es más rápido que el que muchas redes de telefonía pueden ofrecer. Los módems de rangos mucho mayores son usados para aplicaciones más sofisticadas como la videoconferencia.

Un gran problema es el nivel de la transmisión de audio para muchos módems (y máquinas de fax) que puede llegar a ser muy alto, causando distorsión. Para saber la cantidad de ruido y distorsión presentes en los enlaces de comunicaciones, es esencial contar con un corrector de errores, el cual será controlado por el software de comunicaciones o por el módem.

Comunicación celular

La comunicación celular cuenta con teléfonos móviles y transmisión de datos desde 2400 bit/s hasta 16 kbit/s. Algunas computadoras portátiles cuentan con una interfaz para teléfonos celulares, y pueden ser usadas para la transmisión de ECGs desde ambulancias a los hospitales.

Los teléfonos celulares permiten comunicación en los enlaces entre ellos y los sitios localizados en un área específica. Aunque esto sólo sería posible dentro de los países que poseen los mismos estándares ya que existen muchos diferentes alrededor del mundo.

| Estándares de comunicación celular | Análogo o digital | Banda de Frecuencia Aproximada (MHz) |
|------------------------------------|-------------------|--------------------------------------|
| AMPS | Análogo | 450 |
| NMT 450 | Análogo | 450 |
| NMT 900 | Análogo | 900 |
| TACS 900 | Análogo | 900 |
| C 450 | Análogo | 450 |
| GSM | Digital | 900 |
| D-AMPS | Digital | 900 |
| PHS | Digital | 1900 |
| DECT | Digital | 1800 |
| DCS-1800 | Digital | 1800 |

Estándares para telefonía móvil

Si se usa con una computadora personal, un módem y el software adecuado, la telefonía celular puede transmitir y recibir texto, y datos, Aunque vemos que la telefonía celular actual provee de servicios de mensajes instantáneos, los cuales pueden llegar a ser muy útiles, sin embargo, estos tienen un número limitado de palabras, lo cual puede ser inconveniente.

Comunicación por radiolocalización

Los radiolocalizadores reciben mensajes que envían se envían por medio de teléfonos. Los mensajes pueden ser de diferentes formas: la voz del que llama, un número telefónico o un texto corto. Algunos radiolocalizadores cuentan con ambos, voz y correo electrónico. El usuario que manda el mensaje lo puede hacer por voz o texto que manda el proveedor del servicio. Avances recientes en esta tecnología ha hecho posible que se envíen grandes cantidades de datos médicos directamente desde el radiolocalizador.

Comunicación VHF

Es usada para comunicaciones en dos vías en un rango de frecuencias específico. Una desventaja es la distancia sobre el cual la señal debe ser transmitida ya que las radiofrecuencias sufren de congestión interferencia y disturbios atmosféricos. Actualmente, gracias a la potencia y grandes antenas, es posible abarcar grandes distancias.

ISDN

ISDN es un estándar para telecomunicaciones digitales. Es un estándar modular que permite a los usuarios configurar su instalación de acuerdo al ancho de banda que requieran (en múltiplos de 64 o 16 kbit/s) y acceder a un gran rango de servicios adicionales.

Los sistemas de multimedia (simultáneamente se usa texto, sonido, imágenes, color y movimiento) puede ser soportada por una red ISDN. Aunque como inconveniente ISDN no está disponible en todos los países.

ATM

ATM (Modo de transferencia asíncrona- Achronous transfer mode) es una técnica de conmutación rápida designada a enrutar todo tipo de información digital (datos, gráficos, voz y multimedia) sobre una red común, la cual es usualmente de fibra óptica. Es más eficiente y rápida que los tradicionales métodos de conmutación. La corrección y detección de errores se dejan preferentemente al receptor y al transmisor desde la construcción de la red, gracias a los bajos rangos de error de la línea de transmisión y al equipo de conmutación.

Las redes de ATM de banda ancha se usan en sofisticadas aplicaciones las cuales demandan recursos considerables de la red. Estas redes de banda ancha tienen que ser evaluadas cuidadosamente para flexibilidad, accesibilidad y costo de eficiencia. El costo de instalación y uso de redes de ATM es elevado y en algunos países está prohibido.

Sistemas de videoconferencia

Los sistemas de videoconferencia permiten a los profesionales de la salud, como médicos, especialistas, enfermeras, etc., ver y hablar unos con otros, intercambiar notas, discutir casos, transmitir video e imágenes, y examinar a pacientes, lo cual puede eliminar la necesidad de que el paciente o el médico viajen grandes distancias para una consulta especializada.

Un sistema típico está comprendido de una PC, una cámara de video pequeña, un micrófono y bocinas, y con esto es posible entablar la comunicación. El codec (unidad de compresión/descompresión) el cual digitaliza, comprime y descomprime audio e imágenes de video, es usualmente manejado por una tarjeta en la PC. Estos sistemas son conectados generalmente por ISDN. También se puede contar con cámaras documentos y escaners para las imágenes, dibujos y diagramas que vayan a ser transmitidos.

La calidad de video en los sistemas de videoconferencia depende del ancho de banda usado. En un enlace ISDN con 64 kbps se trabaja razonablemente bien. En rangos altos de 128 kbps o 384 kbps es obviamente mejor y con alta resolución, incluso mayores anchos de banda son posibles usando, frame relay y ATM.

Los sistemas de videoconferencia usan un estándar para compresión de la ITU-T llamado H.261. Su resolución es menor que la imagen de video en la televisión. Para telepatología y dermatología generalmente se necesita de mejor calidad. Usando los sistemas de videoconferencia que son capaces de transmitir con mayor calidad en video incluyendo imágenes (10 s para transmisión) se puede obtener un mejor resultado. La calidad y velocidad de los sistemas de videoconferencia obviamente será mejor con el equivalente de dos o tres líneas ISDN que con una. En 1998, un estándar de la ITU-T llamado MPEG-4 hizo posible la videoconferencia usando un rango bajo de bits (conexiones móviles, satelitales y módem).

Los principales estándares internacionales son H.320, H.221, H.230, H.342, H.261 en lo que respecta a video y G.711, G.722 y G.728 para audio. T.120 es un estándar nuevo para la transferencia de datos en videoconferencia.

G.711 Transmisión de Audio a través de H.320 basada en sistemas de videoconferencia.

La señal de 3.1 kHz (audio) es codificada usando PCM (Ley μ o Ley A)

Necesita 64 Kbps de ancho de banda para transmitir.

- G.722 Transmisión en banda ancha de 50 Hz a 7 kHz de audio en H.320 basado en sistemas de videoconferencia. Maneja una mejor calidad de audio en videoconferencia. Necesita de 48 a 64 Kbps de ancho de banda para transmitir. Entrega un sonido más natural por lo cual se usa en sistemas de conferencias para grupos que se soportan en ISDN a 384 kbps. Se usa para codificar y decodificar datos en Ley A o Ley μ (8 y 16 bits) de PCM en 64, 56 o 48 Kbps. Este estándar define una subbanda adaptiva diferencial de PCM (SB-ADPCM), algoritmo que puede ser usado para comprimir 16 bits de audio de 5 a 1. Usa 16 kHz en muestreo para capturar audio frecuencias entre 50 y 7 kHz
- G.728 Transmisión de audio en videoconferencia basada en H.320. La señal de audio analógica de 3.4 kHz, después de ser codificada y comprimida usa 16 Kbps de ancho de banda. Necesita de más procesos computacionales, pero es posible tener mejor calidad de audio en menor ancho de banda. Codifica voz a 16 Kbps usando LD-CELP obteniendo gran calidad.
- H.221 Estructura de trama para 64 a 1920 Kbps en un canal de teleservicios audio-visual.
- H.230 Control de trama-síncrona e indicación de las señales para sistemas de audio-visual.
- H.261 Codec para video en servicios audiovisuales en p x 64 Kbps.
- H.320 Banda ancha para sistemas de telefonía visual y equipo terminal.
- H.342 Nueva recomendación no del todo aceptada.
- T.120 Protocolos de datos para conferencias en multimedia.

Un nuevo estándar para video es el H.263. El cual permite cerca del 30 % más de video en rangos de 64 a 128 kbps.

El mayor problema al que puede enfrentarse la telemedicina es la falta de infraestructura de comunicaciones. En estas situaciones las comunicaciones vía satélite pueden ayudar, ya que ofrecen rangos desde 56 a 384 kbps o mayores y con la compresión de video en 384 kbps gracias a los avances como H.263. estos rangos pueden ser suficientes para la mayoría de las aplicaciones de telemedicina.

Satélites

La tecnología satelital puede usada para proveer de los servicios de telemedicina en áreas en las que hacen falta las redes terrestres. Las comunicaciones móviles por satélite son un medio para los programas de la salud en donde otra forma de comunicación no es óptima, las aplicaciones que se pueden tener son:

- Entrega de información básica a clínicas remotas
- Tratamiento de emergencias médicas en tiempo real
- Video
- Teleconsultas
- Videoconferencias
- Acceso a bases de datos especializados para obtener información médica
- Entrenamiento remoto para paramédicos, médicos, enfermeras (os)
- Monitoreo de salud pública
- Administración en general

En otros programas sociales las pueden ser usadas en actividades tales como teleeducación, administración de iniciativas comunitarias, acceso a catálogos de librerías y adquisición de libros.

También tienen importancia en los desastres particularmente en aquellos que se necesite asistencia internacional. Actualmente las estaciones terrenas móviles son pequeñas y pueden operar con una variedad de fuentes de poder incluyendo la batería de un automóvil.

Compresión

La compresión de datos es una técnica para reducir el tamaño de un archivo y así disminuir su espacio ocupado o el tiempo de transferencia en una red. Éste proceso elimina la redundancia que se contenga en los archivos. Los algoritmos de compresión y descompresión como "loss-less" permiten la recuperación de datos exactamente. Estos métodos cuentan con factores de compresión de 2 ó 10 o mayores, lo cual depende del grado de redundancia en el archivo original. La compresión "Lossy" sólo permite una aproximación en la recuperación de los archivos, pero cuenta con factores de compresión de 10 a 100 o mayores.

La mayoría de las computadoras al generar datos, dibujos, imágenes o archivos de texto crean información redundante que puede ser comprimida en un pequeño número de bytes sin ninguna pérdida de información. Son dos formas de compresión de datos:

- **Software.** Se realiza usualmente antes de la transmisión utilizando un programa para este fin.
- **Hardware.** Es usualmente realizada en el módem y está activa durante la transmisión en tiempo real.

La habilidad de transmitir imágenes médicas puede incrementarse por la introducción de un software de compresión. Con algunos bits que se envíen complejas imágenes pueden ser transmitidas en pequeños periodos de tiempo, expandiendo así las aplicaciones de telemedicina a bajos costos.

Correo electrónico

Este servicio permite la comunicación entre diferentes usuarios de computadoras a través de la red. Puede ser entregado por varios sistemas como Internet y redes X-400. Permite el envío de texto, imágenes y archivos lo cual puede resultar muy útil en los sistemas de telemedicina. Aunque cuenta con restricciones en los tamaños de los archivos, con la compresión esto puede no ser un problema.

Constituye un medio de comunicación valioso para los profesionales de la salud, ya que facilita el acceso rápido y sencillo a otros colegas, centros médicos, organizaciones y asociaciones, y grupos de investigación de todo el mundo. No solo permite el intercambio de texto, sino también de imágenes médicas, historiales clínicos y archivos o documentos con registros de todo tipo.

El correo electrónico facilita el establecimiento de sesiones clínicas entre centros, donde los miembros disponen de cada historia clínica, de los resultados de las pruebas complementarias, imágenes radiológicas, e incluso secuencias de video de los pacientes.

En los trabajos de investigación donde participan varios centros, y en la enseñanza sus aplicaciones son obvias, pero no se debe caer en la trampa de restringir la utilidad de esta herramienta al entorno científico y académico. Por el contrario, su mayor potencial está asociado a las prácticas cotidianas y a nuevas facilidades relacionadas con las prestaciones sanitarias y las actividades profesionales relacionadas con ellas.

Esta forma de trabajo no corresponde al futuro, sino más bien al pasado, y es una de las herramientas de comunicación electrónica más sencillas y utilizadas en la actualidad. Sin embargo no es habitual su uso en la práctica médica cotidiana, donde se recurre a procedimientos más lentos y costosos. Hay estándares de fabricantes, como el MAPI de Microsoft, pero los estándares internacionales ITU son el X.400 (manipulación y direccionamiento de los mensajes y definición de agentes de usuario,

UA, y agentes de transferencia de mensajes, MTA, brinda seguridad y confiabilidad en los archivos que se envían, y el X.500 (que define el servicio de directorio universal de direcciones electrónicas basadas en el modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos, OSI).

Los mensajes MIME (Multipurpose Internet Mail Extensions), permiten el envío de objetos binarios contenidos en el mensaje de correo electrónico, con lo que podemos añadir archivos de sonido, imágenes, video, hojas de cálculo, etc..., ejecutables directamente en el ordenador del destinatario al abrirlos.

FTP (File Transfer Protocol)

Es una herramienta de Internet que permite el intercambio de archivos, con la que podemos importarlos desde cualquier computadora de la red, con independencia del tipo de computadora y de archivo. Hay numerosas bases de datos médicas con imágenes, bibliografía o información útil de varios tipos, que están disponibles para la comunidad internacional, no solo para la científica.

Internet

El Internet es públicamente accesible, una red global de computadoras que puede usarse para correo electrónico, envío de archivos y acceso en línea a servicios de información. Una aplicación popular del Internet es el WWW (World Wide Web), que es un sistema de información mucho más fácil de usar. Existen millones de sitios Web que se especializan en el campo médico así como en otro tipo de aplicaciones y por lo tanto hay muchísimas bases de datos médicas.

Junto al envío de mensajes, la red posibilita el intercambio de imágenes o pruebas de los pacientes, contribuyendo de esta forma a la solución de situaciones clínicas. El intercambio de información en Internet puede abarcar imágenes del paciente y su historial médico. Otras aplicaciones de Internet pueden ser la participación en foros y debates de discusión, la consulta de revistas médicas, la publicación de trabajos, la consulta de casos clínicos y bases de datos, sesiones clínicas a distancia, realización de protocolos multicentro, etc...

Tecnologías de telemedicina

Está claro que una red de telemedicina requiere más que la instalación del hardware- se requiere la un cambio en las organizaciones de salud. Ahora que la ingeniería se ha preocupado más por los sistemas de medicina, existen ya en el mercado, una gran gama de hardware, software y métodos de comunicación que son usados en los servicios de telemedicina.

Esencialmente cuando los profesionales de la salud necesitan de equipos para la captura de imágenes y para la manipulación de datos, con lo cual sea posible transmitirlos a través de una línea de comunicaciones. Para la mayoría de las aplicaciones de la telemedicina la comunicación digital es necesaria. El hardware, software y comunicaciones mínimamente necesarias para algunas aplicaciones típicas de telemedicina se muestran en la siguiente tabla.

| Aplicaciones de Telemedicina | Hardware | Software | Comunicaciones |
|---|---|---|--|
| Teleradiología | Rayos-X, digitalizador, escáner, PC, módem | digitalizador, compresión, procesador de imágenes, correo electrónico | ISDN, PSTN o satélite. Rangos de 14.4-384 kbit/s o más |
| Teledematología | cámara digital de imágenes, digitalizador, escáner, PC, módem | procesador de imágenes, compresión, correo electrónico | Redes satelitales o terrestres |
| Endoscopia | video endoscopio y adaptador, digitalizador, escáner, PC, módem | procesador de imágenes, compresión, correo electrónico | Redes satelitales o terrestres |
| Videoconferencia | bocinas, micrófono, cámara de video, PC, módem | videoconferencia | ISDN vía satélite o redes terrestres |
| Ultrasonido | escáner de ultrasonido, digitalizador, PC, módem | procesador de imágenes | ISDN vía satélite o redes terrestres |
| Telemetría (monitoreo de signos vitales) | equipo de monitoreo (presión sanguínea, temperatura, oxímetro, ECG) | telemetría | Redes satelitales o terrestres (bajo ancho de banda) |
| Acceso a Internet, entrenamiento y tele-educación | Para acceso a Internet: PC, módem, bocinas, micrófono. Para entrenamiento más sofisticado y tele-educación, se puede usar el equipo de videoconferencia | Navegador Web, correo electrónico | Redes satelitales o terrestres |
| Teleconsulta, telepsiquiatría | Teléfono | | Redes satelitales o terrestres |

Usuarios

Quienes harán uso del hardware, software y comunicaciones mencionadas anteriormente serán:

- Usuarios/transmisores- hospitales (urbanos, rurales, universitarios), médicos y profesionales de la salud en áreas rurales, trabajadores de asistencia, agencias auxiliares en desastres, ambulancias, departamentos de salud, entre otros.
- Usuarios/receptores- hospital de referencia, proveedores del servicio de telemedicina, institutos de telemedicina.

Anexo 2. Reglamentaciones

De acuerdo con la Ley Federal de Telecomunicaciones, la reglamentación para los sistemas satelitales es la siguiente:

Capítulo III. De las concesiones y permisos

Sección I. De las concesiones en general.

Artículo 11. Se requiere concesión de la Secretaría para:

- I. Usar, aprovechar o explotar una banda de frecuencias en el territorio nacional, salvo el espectro de uso libre y el de uso oficial;
- II. Instalar, operar o explotar redes públicas de telecomunicaciones;
- III. Ocupar posiciones orbitales geoestacionarias y órbitas satelitales asignadas al país, y explotar sus respectivas bandas de frecuencias, y
- IV. Explotar los derechos de emisión y recepción de señales de bandas de frecuencias asociadas a sistemas satelitales extranjeros que cubran y puedan prestar servicios en el territorio nacional.

Sección IV. De las concesiones para comunicación vía satélite

Artículo 29. Las concesiones para ocupar y explotar posiciones orbitales geoestacionarias y órbitas satelitales asignadas al país, con sus respectivas bandas de frecuencias y derechos de emisión y recepción de señales, se otorgarán mediante el procedimiento de licitación pública a que se refiere la Sección II del presente Capítulo, a cuyo efecto el Gobierno Federal podrá requerir una contraprestación económica por el otorgamiento de dichas concesiones.

Tratándose de dependencias y entidades de la administración pública federal, la Secretaría otorgará mediante asignación directa dichas posiciones orbitales geoestacionarias y órbitas satelitales.

Artículo 30. La Secretaría podrá otorgar concesiones sobre los derechos de emisión y recepción de señales y bandas de frecuencias asociadas a sistemas satelitales extranjeros que cubran y puedan prestar servicios en el territorio nacional, siempre y cuando se tengan firmados tratados en la materia con el país de origen de la señal y dichos tratados contemplen reciprocidad para los satélites mexicanos. Estas concesiones sólo se otorgarán a personas morales constituidas conforme a las leyes

mexicanas.

Asimismo, podrán operar en territorio mexicano los satélites internacionales establecidos al amparo de tratados internacionales multilaterales de los que el país sea parte.

Sección V. De los permisos

Artículo 31. Se requiere permiso de la Secretaría para:

- I. Establecer y operar o explotar una comercializadora de servicios de telecomunicaciones sin tener el carácter de red pública, e
- II. Instalar, operar o explotar estaciones terrenas transmisoras.

Capítulo IV. De la operación de servicios de telecomunicaciones

Sección IV. De la comunicación vía satélite

Artículo 55. La Secretaría asegurará, en coordinación con las dependencias involucradas, la disponibilidad de capacidad satelital suficiente y adecuada para redes de seguridad nacional y para prestar servicios de carácter social.

Artículo 56. Salvo lo previsto en sus respectivas concesiones, los concesionarios de posiciones orbitales geoestacionarias y órbitas satelitales asignadas al país tendrán la obligación de poner un satélite en órbita, a más tardar 5 años después de haber obtenido la concesión.

Artículo 57. Los concesionarios que ocupen posiciones orbitales geoestacionarias asignadas al país, deberán establecer los centros de control y operación de los satélites respectivos en territorio nacional. Los centros de control de satélites serán operados preferentemente por mexicanos.

Artículo 58. Los concesionarios de posiciones orbitales geoestacionarias y órbitas satelitales asignadas al país podrán explotar servicios de comunicación vía satélite en otros países, de acuerdo a la legislación que rija en ellos y a los tratados suscritos por el Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos.

Artículo 59. Los concesionarios que distribuyan señales en el país deberán respetar los derechos de propiedad intelectual de los programas cuya señal transmitan.

Los concesionarios de derechos de emisión y recepción de señales de satélites extranjeros deberán asegurarse de que las señales que se

distribuyan por medio de dichos satélites respeten los ordenamientos legales de propiedad intelectual e industrial.

En cuanto a SkyBridge, en la reunión (ITU JTG 4-9-11) de aspectos técnicos en la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones de 1997 (WRC-97) se tomó la decisión de permitir a los sistemas satelitales no geoestacionarios (NGSO), como Skybridge, compartir frecuencias con los satélites geoestacionarios (GSO) y sistemas terrestres en la banda Ku (10-18 GHz) y en la Ka (18-30 GHz). La WRC-97 estableció una reglamentación internacional para éste propósito, el cual incluye límites de potencia para los sistemas NGSO y así proteger a los sistemas GSO y a los sistemas terrestres.

Para la telemedicina en México aún no existe una reglamentación bien definida aunque debe tomarse en cuenta la Ley General de Salud, ni siquiera en la UIT, sin embargo se ha tratado de dar cierta reglamentación por medio de conferencias internacionales realizadas en varios países.

El concepto de la telemedicina (TM) se remonta en la BDT¹² a la primera CMDT¹³ que se celebró en Buenos Aires en 1994. Su aplicación práctica se decidió, sin embargo, en la segunda Conferencia de Desarrollo (La Valetta, 1998), que aprobó la Recomendación SG2/6-98 "Consecuencias de las telecomunicaciones en la asistencia sanitaria y en otros servicios sociales". Los diez puntos planteados en esa Recomendación son consecuencia de un estudio realizado anteriormente por la BDT, que tuvo como resultado el informe "Telemedicine and Developing Countries".

Desde 1996, la BDT ha iniciado varios proyectos piloto de telemedicina para asegurarse de que los países en desarrollo se beneficien de las ventajas de esa tecnología. La mayoría de esos proyectos se basan en los resultados de las misiones de identificación de la BDT llevadas a cabo por expertos en telemedicina en Bhután, Camerún, Georgia, Mongolia, Mozambique, Senegal, Tanzania, Tailandia, Uganda, Vietnam, Ucrania y Uzbekistán. Durante esas misiones, el experto en telemedicina, junto con representantes del Ministerio de Sanidad y de personal médico de cada país, identifica las necesidades y prioridades de introducción de los servicios de telemedicina teniendo debidamente en cuenta el estado de la red de telecomunicaciones y su posible evolución.

Varios países han lanzado proyectos piloto de telemedicina, en particular, Ucrania (octubre de 1997 y marzo de 1998), Mozambique (enero de 1998), Malta (marzo de 1998), Myanmar (abril de 1998), Georgia (1999), Senegal y Uganda (2000). Se han realizado las actividades necesarias para llevar a

¹² Telecommunication Development Bureau (BDT).

¹³ Conferencia Mundial de Desarrollo de Telecomunicaciones.

efecto esos proyectos. En Mozambique y Senegal se están expandiendo actualmente los respectivos proyectos. Para el año 2001 se ha previsto asistencia a la creación de proyectos piloto de telemedicina en Guinea, Etiopía y Uzbekistán. La experiencia ha demostrado que la creación de un grupo especial nacional de telemedicina acelera la instalación de esa tecnología.

La CMDT 98 aprobó asimismo una nueva cuestión de estudio de la telemedicina (No. 14) para la Comisión de Estudio 2 del UIT-D¹⁴, titulada "Fomentar la aplicación de las telecomunicaciones en la atención médica. Identificar y documentar los factores de éxito de la telemedicina". Se elaboró un Cuestionario al respecto y las respuestas al mismo son contribuciones importantes e interesantes al estudio. En el Documento 2/116(Rev.1)-E (30 de agosto de 2000) de la Comisión de Estudio 2 del UIT-D se encuentra información adicional sobre este tema.

¹⁴ ITU Development Sector.

Anexo 3. Programa para el cálculo de enlace

El siguiente programa nos ayudo a realizar los cálculos para un enlace entre la Cd. De México y Mexicali, con el cual se puede comprobar que utilizando satélites LEO, es posible lograr la implementación de estos sistemas para una red de comunicaciones.

| CALCULO DE ENLACE SATELITAL | | | | |
|---|-----------------|-----------------------|--------------------------|---------------|
| PLANILLA DE DATOS DE ENTRADA Y RESULTADOS | | | | |
| SATELITE / TRANSPONDEDOR | Sky Bridge | 17 | | |
| DATOS DE ENTRADA | | | | |
| Tipo de haz (transmisión) | | 1 | Hemi & Zona=1/ Global =2 | |
| Localización del satélite - Longitud Este | | 247 | Degrees | |
| Ancho de banda del transpondedor | | 36 | M-hz | |
| PIRE de saturación | | 45 | dBW | Referencia: 0 |
| Flujo de densidad de saturación | | -160 | dBW/m2 | Referencia: 0 |
| Atenuador de posición (ATP) | | 10 | dB | |
| GT del satélite | | 57 | dB/K | |
| Limites de densidad de PIRE del transpondedor TWTA IM | 1 | -37 | dBW/4K-hz | |
| Interferencia co-canal del transpondedor | 1 | 19 | dB | |
| Backoff de salida | | 5 | dB | |
| Backoff de entrada | | 7.5 | dB | |
| Ancho de banda contratado | | 36 | M-hz | |
| PIRE | | 40.00 | dB | |
| Densidad de flujo | | -157.50 | dBW/m2 | |
| SISTEMA: | | msac | | |
| ESTACION TRANSMISORA : | | Mexico | | |
| ESTACION RECEPTORA: | | Mexicali, B.C. | | |
| FRECUENCIAS DE OPERACION | | | | |
| Frecuencia de subida | | 12.75 | 10.7 | GHz |
| Frecuencia de bajada | | 10.5 | 8.45 | GHz |
| ESTACIONES TERRESTRES | | | | |
| Antenas Transmisión | (Garancia) | 41.69382662 | 40.37130047 | dB |
| Diámetro de la antena | | 1.2 | 1.2 | meters |
| Error de pointing | | 0.5 | 0.5 | dB |
| Atenuación en la guía de onda | | 3 | 3 | dB |
| Backoff de salida del HPA | | 3 | 0 | dB |
| Antenas Recepción | (GT con lluvia) | 15.12544601 | 17.74348062 | dB/K-1 |
| Figura de ruido del receptor | | 0.7 | 0.7 | dB |
| Temperatura de ruido del receptor | | 49 | 49 | K |
| Temperatura de ruido de la antena C.S | | 49 | 49 | K |
| Pérdida del atenuador de entrada | | 0.1 | 0.1 | dB |
| Diámetro de la antena | | 1.2 | 1.2 | meters |
| Eficiencia de la antena | | 0.625 | 0.625 | veces |
| Garancia de recepción de la antena | | 0 | 0 | dB |

| CONDICIONES DE LLUVIA Y CONFIABILIDAD DEL ENLACE | | | |
|---|---------------------|--------------------|----------------------------|
| Disponibilidad del enlace | 0.9997 | | Adimencional |
| | Subida 1 | Subida 2 | |
| Milímetros en Zona de lluvia | 22 | 95 | 8 / 23 / 28 / 42 / 49 / 63 |
| Tipo de polarización | 1 | 1 | V=1, H=2, C=3 |
| Altura nivel del mar est. terrena ho | 2.238 | 0.002 | Km |
| | Bajada 1 | Bajada 2 | |
| Milímetros en Zona de lluvia | 95 | 22 | 8 / 23 / 28 / 42 / 49 / 63 |
| Tipo de polarización | 2 | 2 | V=1, H=2, C=3 |
| Altura nivel del mar est. terrena ho | 0.002 | 2.238 | Km |
| UBICACIÓN GEOGRAFICA DE LAS ESTACIONES | | | |
| | Subida 1 | Subida 2 | |
| Longitud oeste del transmisor E/S | 99 | 115 | deg |
| | 8 | 28 | min |
| | 23 | 17 | sec |
| | 99.14 | 115.47 | Dec. deg |
| Latitud de transmisor E/S | 19 | 32 | deg |
| | 26 | 38 | min |
| | 0 | 18 | sec |
| | 19.43 | 32.64 | Dec. deg |
| Ventaja del haz de subida (PFD) | 0 | -0.73 | |
| | Bajada 1 | Bajada 2 | |
| Longitud del receptor E/S oeste | 115 | 99 | deg |
| | 28 | 8 | min |
| | 17 | 23 | sec |
| | 115.47 | 99.14 | Dec. deg |
| Latitud del receptor E/S | 32 | 19 | deg |
| | 38 | 26 | min |
| | 18 | 0 | sec |
| | 32.64 | 19.43 | Dec. deg |
| Ventaja del haz de bajada (PIRE) | 0.72 | 0 | |
| DATOS DE LA PORTADORA A TRANSMITIR | | | |
| | Portadora 1 | Portadora 2 | |
| Técnica de modulación | 2 | 2 | 1=BPSK, 2=QPSK, 3=8 |
| Ancho de banda destinado a la portadora | 0.07500 | 0.07500 | MHz |
| Ancho de banda destinado a la portadora | 0.07500 | 0.07500 | MHz |
| Ancho de banda de ruido de la frecuencia intermedia de la portadora | 0.00000 | 0.00000 | MHz |
| Ancho de banda de ruido de la frecuencia intermedia de la portadora | 0.04389 | 0.04389 | MHz |
| Tasa de información (digital) | 64.0 | 64.0 | kbits/s |
| Tasa de transmisión (digital) | 73.14285714 | 73.14285714 | kbits/s |
| FEC | 7/8 | 7/8 | |
| Numero de portadoras asignadas | 1 | 1 | --- |
| Factor de actividad | 1 | 1 | --- |
| Reed Solomon | 0 | 0 | 1= Si, 0=No |
| OBJETIVO DE Eb/No | | | |
| Eb/No deseado | 9.3 | 9.3 | dB |
| | 6.50 | 3.22 | |
| RESULTADOS | | | |
| | Portadora 1 | Portadora 2 | |
| Angulo de elevación | 62.25 | 51.93 | Grados |
| PIRE de la estación terrena transmisora | 41.35 | 42.93 | dBw |
| TOTAL C/N and Eb/No | | | |
| C/N | Condición de lluvia | 17.44 | 14.16 |
| Eb/No | | 15.80 | 12.52 |
| C/N | Cielo despejado | 17.67 | 18.16 |
| Eb/No | | 16.03 | 16.52 |
| Margen del enlace respecto de cielo despejado | | 0.23 | 4.00 |
| POTENCIA DEL HPA | | | |
| HPA potencia en watts para una portadora | 3.51 | 3.60 | W |
| HPA potencia en watts para todas las portadoras | 3.51 | 3.60 | W |
| TOTAL PIRE UTILIZADO | | | |
| PIRE por portadora | 75.83 | 67.54 | dBW |
| Pire por enlace | 76.43 | | dBW |

Bibliografía

Wright, David "Telemedicine and Developing Countries". Study Group 2 of the ITU Development Sector. Geneva. December 1997.

Orduña Jaramillo, Fabián. "Satélites de comunicaciones: servicio móvil." FES-Cuautitlán UNAM. 1999

Gómez Vázquez, Eric. "Criterios de enlace para una red de telemedicina" Fac. Ingeniería UNAM. 1994.

Chávez Gasca Artemio. "Sistemas satelitales de órbita baja aplicados a las Telecomunicaciones". Fac. de Ingeniería UNAM. 1998.

Revista de Telecomunicaciones de Alcatel."Las constelaciones de satélites". Segundo trimestre de 1997. pág. 85-90.

G. Maral/ M.Bousquet. "Satellite Communications Systems". Ed. John Wiley & Son. 3ra. Edición. 1998.

Isunza Díaz, Gerardo/ Jiménez Calvo, Korchaguin. "Satélites de órbita no geostacionaria, análisis comparativo entre los principales sistemas". Fac. de Ingeniería UNAM. 2000.

Recomendación ITU-R PN.837-1. "Characteristics of precipitation for propagation modeling". Question ITU-R 201/3. 1992-1994.

Draft Report of the CPM to WRC-2000. "Non-GSO FSS Issues". Chapter 3. SkyBridge.

Internet:

<http://www.telemedicinamundial.com/aplicaciones.htm>

<http://www.telecomsalud.com>

<http://www.cofetel.gob.mx>

<http://www.mrc.unm.edu/symposiums/prev-symp/symp99/s1/larue/laue.html>

<http://www.microcomsystems.co.uk/satonthenet/white/bband.html>

http://www.skybridgesatellite.com/l21_mark/cont_21.htm

<http://www.itu.int/newsarchive/press/WRC97/SkyBridge.html>

http://www.cofetel.gob.mx/frame_marc_juridico_reglamentos.html

http://www.cofetel.gob.mx/frame_marc_juridico_leyes.html

<http://www.telemetoday.com>.

<http://www.skybridge.com>

<http://www.andrew.com>

<http://www.americanmeddev.com>

<http://www.aethra.it>

<http://www.msc.es/insalud/docpub/internet/telemedicina/telemedicina.pdf>

<http://www.alcatel.com/telecom/space/systems/Skybride>

<http://www.globalstar.com>

<http://www.spacedaily.com>