

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

**PROPUESTA PARA EL CÁLCULO DE UN ENLACE
EN UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN SATELITAL
(SCPC – FDMA)
UTILIZANDO EL ESTÁNDAR ATSC PARA
APLICACIONES EN TELEMEDICINA**

**T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO
DE MAESTRO EN CIENCIAS EN
INGENIERÍA
DE TELECOMUNICACIONES**

PRESENTA:

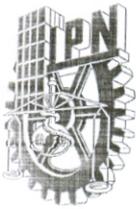
ING. RICARDO GONZÁLEZ JUÁREZ

DIRECTORES DE TESIS:

**DR. RAÚL CASTILLO PÉREZ
DR. HECTOR OVIEDO GALDEANO**



MÉXICO D.F. JUNIO 2009



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México, D. F. siendo las 11:00 horas del día 23 del mes de Octubre del 2008 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de E.S.I.M.E. para examinar la tesis de titulada:

“PROPUESTA PARA EL CÁLCULO DE UN ENLACE EN UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN SATELITAL (SCPC-FDMA) UTILIZANDO EL ESTÁNDAR ATSC PARA APLICACIONES DE TELEMEDICINA”

Presentada por el alumno:

GONZÁLEZ
Apellido paterno

JUÁREZ
Apellido materno

RICARDO
Nombre(s)

Con registro:

B	0	6	1	3	5	8
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Director de tesis

DR. RAÚL CASTILLO PÉREZ

Presidente

DR. SALVADOR ALVAREZ BALLESTEROS

Tercer Vocal

M. EN C. SERGIO VIDAL BELTRÁN

Segundo Vocal

DR. FRANCISCO JAVIER GALLEGOS FUNES

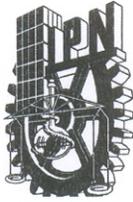
Secretario

DR. JORGE ROBERTO SOSA PEDRÓZA

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. JAIME ROBLES GARCÍA





**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO**

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de México, D. F., el día 16 del mes 12 del año 2008

el(la) que suscribe Ricardo González Juárez alumno (a) del Programa de
Maestría en Ciencias en Ingeniería de Telecomunicaciones

con número de registro B061358 adscrito a la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la
E.S.I.M.E. Unidad Zacatenco, manifiesta que es autor(a) intelectual del presente Trabajo de Tesis
bajo la dirección del Dr. Raúl Castillo Pérez y cede los derechos del

trabajo intitulado: Propuesta para el Cálculo de un Enlace en un Sistema de Comunicación
Satelital (SCPC – FDMA) Utilizando el Estándar ATSC para Aplicaciones
en Telemedicina. al

Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines Académicos y de Investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, graficas o datos del trabajo
sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la
siguiente dirección: ricardog75mx@yahoo.com.mx

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente
del mismo.

Nombre y Firma

Ricardo

Ricardo González Juárez.

RESUMEN

Se presenta una propuesta para aplicar el estándar ATSC en un sistema de comunicación satelital SCPC – FDMA con el propósito de poder transmitir imágenes y video en alta definición (1080i/720p) partiendo del sistema de comunicación satelital utilizado por el ISSSTE. Este sistema permite la comunicación interactiva mediante un sistema de video conferencia multimedia que incluye archivos clínicos) tanto médico–médico como médico–paciente, facilitando de esta manera la atención de médicos especialistas en las unidades remotas, sin tener que trasladar al paciente y que forma parte del programa nacional de telesalud. Se considera la utilización de una unidad móvil, la cual puede llegar a lugares de difícil acceso o a poblaciones ubicadas demasiado lejos de los centros urbanos. La aplicación planteada permitiría ayudar en campos que incluyen la endoscopía, radiología y la microscopía.

Inicialmente comenzamos con la descripción general de los sistemas de comunicación satelital. Posteriormente se trata el tema de las órbitas utilizadas por los satélites, de la localización satelital, de la asignación de bandas de frecuencias utilizadas por estos sistemas de comunicación y se incluye una breve introducción acerca de los elementos que intervienen en el cálculo de presupuesto de enlace. Para continuar, se describe el estándar ATSC, el cual se utiliza para trabajar con televisión digital y video en alta definición, retomando algunos conceptos básicos de la televisión y del video analógicos.

Se describe todo el proceso que se debe seguir para llevar a cabo el cálculo del presupuesto de enlace para el sistema de comunicación satelital que se utiliza en esta propuesta mediante un ejemplo. Se hace una introducción acerca de algunos tópicos referentes al sistema de comunicación satelital SCPC – FDMA. También se hace mención de los requerimientos propuestos por el estándar ATSC para aplicaciones en sistemas de comunicación satelital y de los diferentes fenómenos que provocan la pérdida de la señal en un sistema de comunicación satelital.

Finalmente se menciona el estado actual del sistema de comunicación satelital del ISSSTE, los campos de aplicación de la alta definición en telemedicina, y se realiza la evaluación de la viabilidad técnica para el sistema propuesto en este trabajo mediante la evaluación de los resultados obtenidos de los diferentes presupuestos de enlace realizados para diferentes regiones de la República Mexicana.

ABSTRACT

In the present work a proposal is developed to apply the ATSC standard in a SCPC - FDMA. Satellite communication system In order to be able to transmit images and video in high definition (1080i/720p) starting off a satellite communication system used by the ISSSTE. This system allows to the interactive communication by means of a video system conference multimedia that includes clinical archives) such as doctor-doctor or doctor-patient facilitating this way the attention of specialist doctors in the remote units, without having to transfer the patient is an important element of the telehealth national program. The use of a movable unit is considered, which can arrive to hardly accessible places or villages located far away from the urban centers.

Initially we begin with a general description of the satellite communication systems. Later on the subjects concerning the orbits used by the satellites, the satellite location, the allocation of frequency bands used by these systems of communication and a brief introduction about the elements that take part in the link budget were treated. Then we continue with the ATSC standard, which is used to work with digital television and high definition video, reviewing some basic concepts of the analog television and video.

In addition the procedure for the calculation of a link budget for the satellite communication system used in this proposal is carried out as an example. Also this work mentions an introduction about some topics of the SCPC – FDMA satellite communication system and the requirements proposed by ATSC standard for applications over satellite communication systems and the different phenomena that cause the reduction (attenuation, loss, fading, etc) of the transmitted signal in a satellite communication system.

Finally the current state of the satellite communication system used by the ISSSTE is mentioned as well as high definition application fields in telemedicine, and the evaluation of the technical viability for the proposed system is performed by the evaluation of the obtained results for the different link budgets performed for different regions of the Mexican Republic.

ÍNDICE

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	i
OBJETIVO	ii
JUSTIFICACIÓN	ii
INTRODUCCIÓN	iii
CAPÍTULO 1 EL SISTEMA DE COMUNICACIÓN SATELITAL	1
1.1 ÓRBITAS UTILIZADAS POR LOS SATÉLITES DE COMUNICACIONES	2
1.2 GEOMETRÍA DE LA ESTACIÓN TERRESTRE PARA LOCALIZAR UN SATÉLITE	4
1.2.1 Ángulos de azimut (A_R), elevación (E_L) y Nadir (θ)	5
1.3 ASIGNACIONES DE BANDAS DE FRECUENCIA	12
1.3.1 Designaciones de bandas	13
1.4 INTRODUCCIÓN A LOS PRESUPUESTOS DE ENLACE	15
1.4.1 Potencia del transmisor (P)	15
1.4.2 Ganancia de la antena (G)	16
1.4.3 Potencia isotrópica radiada efectiva ($PIRE_{ET}$)	17
1.4.4 Pérdidas por trayectoria en el espacio libre (L_S)	17
1.4.5 Temperatura de ruido (T_S)	17
1.4.6 Figura de mérito G/T_{ET} para un sistema receptor	18
1.4.7 Relación portadora a ruido térmico (C/T)	18
1.4.8 Relación de la densidad de portadora a ruido (C/N_0)	19
1.4.9 Relación portadora a ruido (C/N)	19

CAPÍTULO 2 EL ESTÁNDAR ATSC	20
2.1 FUNDAMENTOS	20
2.1.1 Escaneo de una imagen analógica	20
2.1.2 Entrelazado (Interlacing)	22
2.1.3 Pulsos de Sincronización	23
2.1.4 Forma de onda del video compuesto	23
2.1.5 Formato común de imagen	24
2.1.6 Líneas activas	25
2.1.7 Relación de aspecto	25
2.1.8 Píxeles	25
2.1.9 Ancho de banda del video	25
2.1.10 Espectro de frecuencia de un canal NTSC	26
2.1.11 Principios de la transmisión a color	27
2.1.12 Modulación en cuadratura de amplitud	27
2.1.13 Componentes de la señal de color en el sistema NTSC	29
2.1.14 Tasa de actualización en el sistema a color NTSC	29
2.1.15 La señal de color compuesta en el sistema NTSC	29
2.2 LA TELEVISIÓN DIGITAL	30
2.2.1 La televisión digital de definición estándar SDTV	31
2.2.2 La televisión digital de alta definición HDTV	31
2.2.3 Principios de la transmisión de video digital	32
2.2.4 El estándar ATSC	34
2.2.5 El estándar MPEG – 2	34
2.2.6 El formato AC – 3	38

CAPÍTULO 3 CÁLCULO DEL PRESUPUESTO DE ENLACE PARA EL SISTEMA DE COMUNICACIÓN SATÉLITAL (SCPC – FDMA))	42
3.1 ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA (FDMA, <i>Frequency division multiple access</i>)	42
3.2 CANAL ÚNICO POR PORTADORA (SCPC)	44
3.2.1 Métodos de control de enlace SCPC	45
3.2.2 El efecto de las características del amplificador no lineal	45
3.2.3 Producto de intermodulación	46
3.2.4 Contramedidas para intermodulación	46
3.3 Modulación y requerimientos de codificación propuestos por el estándar ATSC para aplicaciones sobre satélite	47
3.3.1 Definición del sistema	48
3.4 El sistema de transmisión	49
3.4.1 Definición del sistema de banda base y del modulador	49
3.5 Modos QPSK	51
3.6 Distorsión del alimentador de la antena	52
3.7 Pérdidas atmosféricas	53
3.8 Efectos ionosféricos	54
3.9 El problema general de la propagación arriba de 10 GHz	55
3.9.1 Atenuación por lluvia	56
3.10 Definición de los parámetros que intervienen en el cálculo del presupuesto de enlace	59
3.11 Ejemplo de un cálculo de presupuesto de enlace	70
3.11.1 Enlace de subida (<i>uplink</i>)	70
3.11.2 Enlace de bajada (<i>downlink</i>)	74

CAPÍTULO 4 APLICACIONES EN TELEMEDICINA	79
4.1 Antecedentes	79
4.2 Campos de aplicación de la alta definición en telemedicina	82
4.3 Evaluación de la viabilidad técnica	84
CONCLUSIONES	90
ANEXO	92
GLOSARIO	137
REFERENCIAS	140
ARTÍCULO	142

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Sistema de Comunicación Satelital Básico.	1
Figura 1.2 Parámetros básicos de una órbita elíptica (satelital).	2
Figura. 1.3 Órbitas LEO, MEO, GEO Y HEO.	4
Figura. 1.4 Representación de la longitud y de la latitud geográfica.	4
Figura. 1.5 Localización de los ángulos A_R , E_L y θ	5
Figura 1.6 Representación de las latitudes geométricas del punto P (L_P) y del punto T (L_T).	6
Figura 1.7 Triángulo esférico para obtener la ley de los cosenos en función de sus arcos.	6
Figura 1.8 Representación de R, S, y r.	7
Figura 1.9 Triángulo plano OPS y un triángulo auxiliar PSY.	8
Figura 1.10 Localización del ángulo β para calcular el ángulo de azimut A_R	9
Figura 1.11 Triángulo plano OPS para calcular el ángulo Nadir θ	11
Figura 2.1 Escaneo de una imagen.	21
Figura 2.2 Forma de onda generada por el escaneo de la imagen.	21
Figura 2.3 Líneas de flyback pares e impares.	22
Figura 2.4 Trayectoria del campo de Flyback.	23
Figura 2.5 Señal de video compuesta para el sistema NTSC.	24
Figura 2.6 Forma de onda para pixeles blancos y negros alternados.	26
Figura 2.7 Espectro de frecuencia para una señal de video analógico en el sistema NTSC.	26
Figura 2.8 Modulación en cuadratura de amplitud.	28
Figura 2.9 Diagrama del fasor de color I y Q.	28
Figura 2.10 Componentes de una señal a color en el sistema NTSC.	29
Figura 2.11 Forma de onda de una señal de color compuesta en el sistema NTSC	30

Figura 2.12 Diferencia entre la relación de aspectos entre NTSC y HDTV.	31
Figura 2.13 Radiodifusión de una señal de DTV.	32
Figura 2.14 Digitalización de una señal de video analógico.	33
Figura 2.15 Señales de datos de video y audio para SDTV.	35
Figura 2.16 Flujos elementales en MPEG – 2.	36
Figura 2.17 Multiplexación de paquetes de flujo de transporte MPEG – 2.	37
Figura 2.18 Formación de paquetes de flujo de transporte MPEG – 2.	37
Figura 2.19 Paquete de flujo de transporte MPEG – 2.	38
Figura 2.20 Ejemplo de aplicación del algoritmo de compresión AC – 3 para una transmisión satelital de audio.	39
Figura 2.21 Bloques de sincronización AC – 3.	39
Figura 3.1 Concepto de un sistema FDMA.	43
Figura 3.2 Señales de acceso múltiple a la entrada y a la salida del repetidor en un sistema real P es la potencia, f es la frecuencia de las señales e IM es la intermodulación.	44
Figura 3.3 Productos de intermodulación resultantes de las señales con igual separación de frecuencia	44
Figura 3.4 Principales efectos de la no linealidad de un repetidor que se encuentra en el satélite.	45
Figura 3.5 Diagrama a bloques del sistema.	48
Figura 3.6 Diagrama a bloques de la banda base y del modulador.	49
Figura 3.7 Principio del código interno para QPSK.	50
Figura 3.8 Mapeo de bit dentro de una constelación QPSK.	51
Figura 3.9 Principales trayectorias de la señal de eco. RL_{ANT} son las pérdidas de retorno en la antena y RL_{RFI} son las pérdidas de retorno de radio frecuencia intermedia.	52
Figura 3.10 Atenuación total del zenit al nivel de la Tierra: presión = 1 atm, temperatura = 20 °C y vapor de agua = 7.5 g/m ³	54
Figura 3.11 Longitud de la trayectoria a través de la lluvia.	58

Figura 3.12 Altura de la lluvia como una función de la latitud de una estación terrena para diferentes zonas climáticas	58
Figura 4.1. Enlace entre los centros de control maestro con los hospitales regionales.	79
Figura 4.2. Mejora en la nitidez de una imagen gracias al uso de HDTV.	82
Figura 4.3. Antena móvil Vertex con un plato de 1.8 m.	85
Figura 4.4. Antena Andrew con un plato de 3.7 m.	88
Anexo B Atenuación específica producida por los gases atmosféricos	94
Anexo C Margen de atenuación por lluvia en banda Ku	95
Anexo E Equipo médico de diagnóstico utilizado en la unidad móvil.	101
Fig. I.1 Unidad móvil del Instituto Politécnico Nacional.	131
Fig. I.2 Estudio de Televisión	132
Fig. I.3 Amplificador de potencia.	132
Fig. I.4 Analizador de espectro.	133
Fig. I.5 Modem satelital, codificador y localizador satelital.	133
Fig. I.6 Antena parabólica móvil.	133
Fig. I.7 Calibración del ancho de banda para transmisión.	134
Fig. I.8 Portadora de 2 MHz y portadoras adyacentes.	135

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Obtención del ángulo de azimut tomando la posición del punto T con respecto al punto P.	11
Tabla 2.1 Formato común de imagen para el sistema NTSC.	24
Tabla 3.1 Estructuras del flujo de datos de entrada.	50
Tabla 3.2 Desempeño del sistema (modos QPSK).	51
Tabla 3.3 Valores de roll-off propuestos por el estándar ATSC.	51
Tabla 3.4 Coeficientes de atenuación específicos.	57
Tabla 3.5. Factores de reducción.	57
Tabla 3.6 Localización geográfica de los puntos a enlazar e identificación del satélite.	70
Tabla 3.7 Información acerca de la aplicación que se va a transmitir y de su velocidad en Mbps.	71
Tabla 3.8 Localización geográfica de los puntos a enlazar e identificación del satélite.	74
Tabla 4.1 Municipios elegidos para realizar los cálculos de presupuesto de enlace.	84
Tabla 4.2 Valores propuestos de algunos parámetros que participan en el cálculo del presupuesto de enlace para un canal de HDTV.	85
Tabla 4.3 Cálculo del presupuesto de enlace para un canal de HDTV con una antena de 1.8 m de diámetro.	86
Tabla 4.4 Valores propuestos de los parámetros que participan en el cálculo del presupuesto de enlace para un canal de Videoconferencia.	87
Tabla 4.5 Cálculo del presupuesto de enlace para un canal con calidad de Videoconferencia con una antena de 3.7m de diámetro.	88
Anexo A	92
Anexo C Márgenes de atenuación	95
Resultados del cálculo de presupuesto de enlace para el canal de HDTV	112
Resultados del cálculo de presupuesto de enlace para el canal de Videoconferencia	119

Tabla I.1. Datos que se tienen que proporcionar a SATMEX en la prueba de aislamiento. 134

Tabla I.2. Datos proporcionados por SATMEX al operador del equipo. 135

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La salud es una de las principales preocupaciones del ser humano, por ello en la actualidad se busca que la atención médica sea de calidad. Sin embargo las comunidades que se encuentran alejadas de los principales centros urbanos no tienen este servicio, por lo que actualmente se utilizan sistemas de comunicación satelital para enlazar a un hospital con las diferentes unidades regionales de cada estado o también se recurre a la utilización de sistemas móviles.

En países como Estados Unidos de Norte América se utilizan sistemas de comunicación satelital que enlazan a un hospital con una unidad móvil, la cual puede llegar a diferentes poblaciones que se encuentran alejadas de las grandes ciudades ofreciendo una atención médica de calidad a la mayoría de la población.

En años recientes dentro del campo de la telemedicina, con la finalidad de ofrecer al personal médico herramientas para que brinden una atención de calidad, se utiliza el video digital en alta definición para llevar a cabo diagnósticos médicos con mayor precisión que la que se puede conseguir con el video analógico, permitiendo a dicho personal brindar una atención de calidad.

Actualmente en nuestro país se cuenta con un sistema de comunicación satelital destinado a ofrecer una atención médica a distancia (telemedicina) que forma parte del Programa Nacional de Telesalud estructurado por el ISSSTE, (Instituto de Seguridad y Servicios Sociales para los Trabajadores del Estado) y que enlaza a unidades médicas distantes del interior de la República Mexicana con hospitales regionales.

El sistema estructurado por el ISSSTE opera con video analógico en formato NTSC. Con calidad de videoconferencia y con equipo médico electrónico digital (cámara de video digital, ultrasonido, electrocardiógrafo, equipo de espirometría, etc.).

Es necesario actualizar el sistema de comunicación satelital utilizado actualmente por el ISSSTE. Se propone el uso de una unidad móvil que pueda ofrecer una atención médica de calidad en cualquier parte de la República Mexicana, y principalmente utilizar el video digital en alta definición para poder realizar diagnósticos médicos con mayor precisión. Lo anterior implica hacer uso del estándar ATSC para que se pueda brindar una atención de calidad acorde a los tiempos modernos.

OBJETIVO

Realizar el cálculo del presupuesto de enlace de un sistema de comunicación satelital digital entre un hospital y una unidad móvil con la finalidad de ofrecer en tiempo real, una atención médica de calidad mediante el diagnóstico médico preciso en cualquier parte de la República Mexicana. Dicho sistema utiliza una señal de video de alta definición para aplicaciones en telemedicina.

JUSTIFICACIÓN

En la actualidad el cuidado y el diagnóstico médico de pacientes que viven en lugares remotos son de suma importancia para garantizar que la mayor parte de la población cuente con los servicios de salud básicos.

Lo anterior se puede llevar a cabo mediante el uso de la telemedicina, que usualmente se emplea en la transmisión de información (video, audio y datos) que describe el estado de salud de un paciente, seguida por el cuidado médico en tiempo real.

Para esto se propone el uso de un sistema de comunicación satelital bidireccional, el cual utiliza una unidad móvil que prácticamente se puede desplazar por el interior de la República Mexicana para brindar una atención médica de calidad a las poblaciones que así lo requieran.

La propuesta de utilizar un sistema de comunicación satelital obedece a que tiene un gran nivel de cobertura, las barreras físicas no afectan la comunicación, misma que no se ve afectada por la localización de los puntos que se enlazan ni por la distancia que los separa además es posible llevar a cabo una radiodifusión digital o analógica, etc.

Se propone el uso del video digital en alta definición, el cual es de gran ayuda para realizar el diagnóstico médico preciso de pacientes debido a la cantidad de las imágenes, a la nitidez de sus colores, a que ofrece una área visible más amplia y al efecto tridimensional que produce al espectador. También se considera la utilización de audio digital que puede ser multicanal.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de comunicación satelital son de gran importancia debido a su habilidad para comunicar (enlazar) de manera simultánea a múltiples usuarios (estaciones terrenas) que se encuentran sobre la superficie terrestre, llevando a cabo comunicaciones intensivas punto a multipunto. Esta capacidad aplica para las terminales fijas que se encuentran sobre la tierra y para las terminales móviles que se encuentra en tierra, en el aire o en el mar. También con la ayuda de los satélites se pueden efectuar búsquedas y localización de lugares e incluso usuarios si se necesita. Estas características hacen a los sistemas de comunicación satelital únicos en cuanto a su diseño.

Es importante mencionar que los satélites de comunicaciones son solamente un medio para enviar información a distancia. Además la comunicación en la mayoría de los casos no se ve afectada por la localización de los puntos que son conectados o por la distancia que los separa.

La mayoría de los satélites de comunicaciones son repetidores activos. El equipo electrónico que se encuentra en el satélite recibe las señales enviadas desde la estación terrena y las amplifica para poderlas retransmitir a una o más estaciones terrenas que se encuentran sobre la superficie de la tierra. Esto incluye la señal que se envía hacia el satélite, llamada enlace de subida y la señal que se envía desde el satélite hacia la tierra, llamada enlace de bajada.

El equipo de comunicación del satélite incluye un número determinado de transpondedores los cuales amplifican las señales para ciertas bandas de frecuencia. El nivel de potencia de las señales recibidas en el satélite provenientes de la estación terrena es muy débil. Partiendo del hecho de que la mayoría de la potencia de transmisión total se pierde durante la trayectoria que va hacia el satélite, entonces el satélite debe amplificar las señales recibidas y retransmitirlas hacia la tierra pero esta vez con un nivel de potencia mayor al recibido.

De nuevo la mayoría de este nuevo nivel de potencia mayor se pierde durante la trayectoria que va desde el satélite hacia la estación terrena. La estación terrena receptora debe recibir una señal débil y deberá amplificarla para que de esta manera se obtenga una señal lo suficientemente clara y fuerte.

Los satélites también pueden demodular a la señal recibida en banda base y volverla a modular en otras formas para su retransmisión hacia la estación terrena receptora.

Algunas ventajas del uso de los sistemas de comunicación satelital son las siguientes:

- Comunicación simultánea entre varias estaciones terrenas o receptores.
- La comunicación no se ve afectada por la localización de los puntos ni por la distancia que los separa.
- Se tiene una gran cobertura territorial local e incluso continental mediante la huella del satélite.
- Comunicaciones a larga distancia económicas.
- Búsqueda y localización precisa sobre la superficie terrestre.
- Funcionamiento de algunos sistemas las 24 horas del día.
- Capacidad de radiodifusión analógica y digital.
- Buena cobertura de áreas rurales y alejadas de centros urbanos.

Las principales desventajas que presentan los sistemas de comunicación satelital, se deben principalmente a factores físicos entre los cuales se pueden citar los siguientes:

- Pérdidas atmosféricas: éstas son referidas a la atenuación atmosférica debida a los diferentes gases que componen la atmósfera y a la absorción atmosférica.
- Efectos de la ionosfera.
- La atenuación por lluvia.
- Entre otros tenemos también la nieve, el vapor de agua, la niebla, etc.

Otras desventajas, son la presencia de los productos de intermodulación presentes en el sistema de comunicación satelital, la interferencia entre estaciones terrenas y las pérdidas por apuntamiento de la antena transmisora de la estación terrena entre otras.

Las aplicaciones de los sistemas de comunicación satelital en la actualidad son varias, por ejemplo la transmisión directa de televisión hacia el hogar, sistema de monitoreo continuo de fenómenos naturales (principalmente huracanes), búsqueda y localización de personas o de objetos sobre la superficie terrestre, telefonía satelital, teleoperación, telefonía celular, internet, soporte para otros sistemas de comunicación (como por ejemplo los sistemas de comunicación a base de fibra óptica) y actualmente empieza a ser muy común la aplicación de sistemas de comunicación satelital en el campo de la telemedicina.

La telemedicina es el uso de enlaces de video, teléfono, correo electrónico y otros sistemas de telecomunicaciones en tiempo real para transmitir información médica entre un doctor y un paciente los cuales se encuentran en distintos lugares.

Actualmente la telemedicina se enfoca en el tratamiento de padecimientos comunes para la mayoría de la población. Algunas de sus aplicaciones son las siguientes:

- Colposcopia.
- Histeroscopia.
- Laparoscopia.
- Oftalmología.
- Odontología.
- Dermatología.
- Radiología.
- Cardiología.
- Ecocardiografía.
- Historiales médicos.
- Rehabilitación.
- Revisiones generales de pacientes.

Algunas ventajas de la telemedicina son:

- Evitar que pacientes que viven en lugares muy alejados de los centros urbanos, se desplacen desde sus lugares de origen hacia las grandes ciudades para ser atendidos por el médico.
- Diagnósticos médicos precisos en tiempo real.

- Atención médica de calidad para pacientes de escasos recursos económicos.
- Detección y tratamiento de padecimientos comunes para la población que vive en lugares de difícil acceso.
- Eliminación o disminución de la hospitalización.
- Una recuperación más rápida para el paciente y un retorno más rápido a sus actividades normales.
- Una atención mejor y más rápida para los pacientes junto con un diagnóstico y tratamiento médico más tempranos.
- En países con grandes extensiones territoriales y poblados pequeños muy dispersos, en donde no es tan sencillo poner clínicas especializadas, la telemedicina es una buena opción.

Algunas desventajas de la telemedicina son las siguientes:

- El equipo médico para realizar diagnósticos y análisis es costoso.
- Problemas en cuanto a la transmisión de datos desde lugares donde las condiciones climáticas son muy adversas.
- Falta de personal médico capacitado para operar el equipo.
- Imposibilidad de realizar intervenciones quirúrgicas demasiado complejas.
- Atención de pacientes que requieran hospitalización urgente.
- Carencia de infraestructura debido a un bajo presupuesto económico.

El sistema de comunicación satelital del cual trata este trabajo se encuentra en operación como parte del programa nacional de telesalud el cual fue propuesto por el ISSSTE. Se trata de un sistema de comunicación satelital del tipo SCPC – FDMA el cual trabaja con imágenes en formato NTSC y con datos en tiempo real. Este sistema tiene la capacidad de trabajar con imágenes a una velocidad de 256 kbps (máximo hasta 512 kbps), trabaja también con datos, escáner para rayos x, estetoscopio, electrocardiógrafo y proyector de opacos. El medio de transmisión por razones técnicas y económicas es el sistema de comunicación satelital mencionado anteriormente.

Por lo tanto, la intención de este trabajo es proponer una actualización del sistema de comunicación utilizado actualmente por el ISSSTE primeramente mediante el cálculo del presupuesto de enlace para optimizar al sistema para que de esta manera pueda trabajar con el estándar ATSC el cual dictamina el uso y la aplicación del video en alta definición sobre un sistema de comunicación satelital. El video en alta definición ofrece un efecto tridimensional e incrementa la sensación de realismo permitiendo ver pequeñas estructuras y detalles que no eran visibles antes (imágenes en formato NTSC), igualmente se propone el uso de una unidad móvil, para que se pueda desplazar hasta los lugares de difícil acceso o a poblaciones demasiado alejadas de los centros urbanos, a su vez evaluando la viabilidad de los enlaces para todo el país y diversos entornos de atenuación y parámetros del ancho de banda de la señal.

Finalmente, se dará una breve descripción de los capítulos que conforman a este trabajo de tesis. En el Capítulo 1, se describen de manera general las partes que conforman a un sistema de comunicación satelital. Se estudiará la parte de localización satelital en base al ángulo de elevación y al ángulo de azimut; se tratará el tema de las asignaciones de las bandas de frecuencia utilizadas en los sistemas de comunicación satelital y se abordan algunos elementos que intervienen en el cálculo del presupuesto de enlace de manera introductoria.

En el Capítulo 2, se aborda el tema del estándar ATSC. Primeramente se estudiarán los fundamentos del estándar de video analógico NTSC, puesto que dicho estándar tiene algunas cosas en común con la televisión digital que utiliza el video en alta definición; después se abordará el tema de la televisión digital incluyendo a la televisión digital en alta definición (HDTV) y a la televisión digital estándar (SDTV) y el capítulo concluye con el estudio del estándar MPEG – 2 y el algoritmo de compresión de audio digital Dolby AC – 3.

En el Capítulo 3, trataremos con el estudio de lo que es FDMA y SCPC. Se hablará de los productos de intermodulación, de los requerimientos impuestos por el estándar ATSC para los sistemas de comunicación satelital, de las causas de las pérdidas en un sistema de comunicación satelital y entraremos de lleno a definir y a conocer las expresiones matemáticas de los diferentes elementos que intervienen en un cálculo de presupuesto de enlace satelital. Finalmente se desarrolla un ejemplo práctico de un cálculo de un presupuesto de enlace satelital el cual cumple con el estándar ATSC.

Finalmente en el Capítulo 4 se dará una descripción completa del sistema de comunicación satelital que actualmente utiliza el ISSSTE, aplicaciones de la HDTV en telemedicina y conclusiones obtenidas de los diferentes cálculos de presupuestos de enlaces los cuales se llevaron a cabo para diferentes localidades de la República Mexicana para ver si el enlace satelital es factible de llevar a cabo sin ningún problema.

CAPÍTULO 1

EL SISTEMA DE COMUNICACIÓN SATELITAL

[1] El sistema de comunicación satelital se compone a grandes rasgos de un transmisor Tx (el cual envía la señal de información), el Canal (medio por el cual viaja la información) y el receptor Rx (que recibe la información proveniente del transmisor) tal y como se muestra en la Figura 1.1.

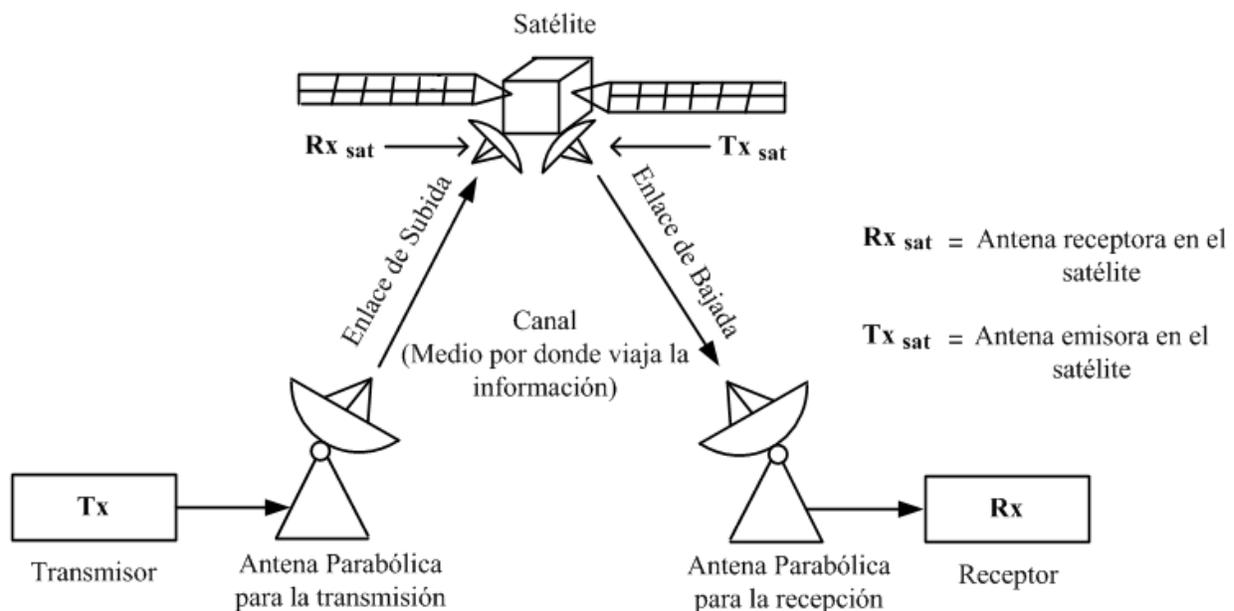


Figura. 1.1 Sistema de Comunicación Satelital Básico.

Como se puede observar, en la figura anterior existen otros elementos que son de suma importancia para llevar a cabo la comunicación entre el transmisor y el receptor. Estos elementos son los siguientes:

1.- Antena parabólica para la transmisión: su principal función es la de enviar la información proveniente del transmisor hacia el satélite, a través del canal. A este segmento se le conoce con el nombre de Enlace de Subida.

2.- Satélite: la función esencial del satélite dentro del sistema de comunicación satelital es la de un repetidor. En otras palabras, recibe la información proveniente de la antena parabólica para la transmisión utilizando una antena (Rx_{sat}); esta información recibida es procesada (amplificación de la señal de información proveniente del transmisor de la estación terrena, manejo de diferentes señales de información, etc.) por el satélite y finalmente es enviada hacia el receptor por medio del uso de otra antena (Tx_{sat}). Podemos considerar al satélite como un transceptor (Transmisor – Receptor) el cual obtiene parte de su energía del sol mediante el uso de paneles solares.

3.- Antena parabólica para la recepción: recibe la información proveniente del satélite, la cual viaja a través del canal (a este segmento se le conoce como Enlace de Bajada), y la envía hacia el receptor.

En la práctica varios sistemas de comunicación satelital son bidireccionales. Esto quiere decir que la información puede viajar del receptor hacia el transmisor y viceversa.

Más adelante se hará una descripción detallada y a profundidad de todos los elementos que constituyen al sistema de comunicación satelital.

1.1 ÓRBITAS UTILIZADAS POR LOS SATÉLITES DE COMUNICACIONES

[2] Un satélite normalmente vuela en altitudes de 300 km y mayores, en las cuales los efectos atmosféricos pueden ser ignorados. Las órbitas generalmente tienen forma elíptica o circular. En la siguiente figura se muestra una órbita elíptica.

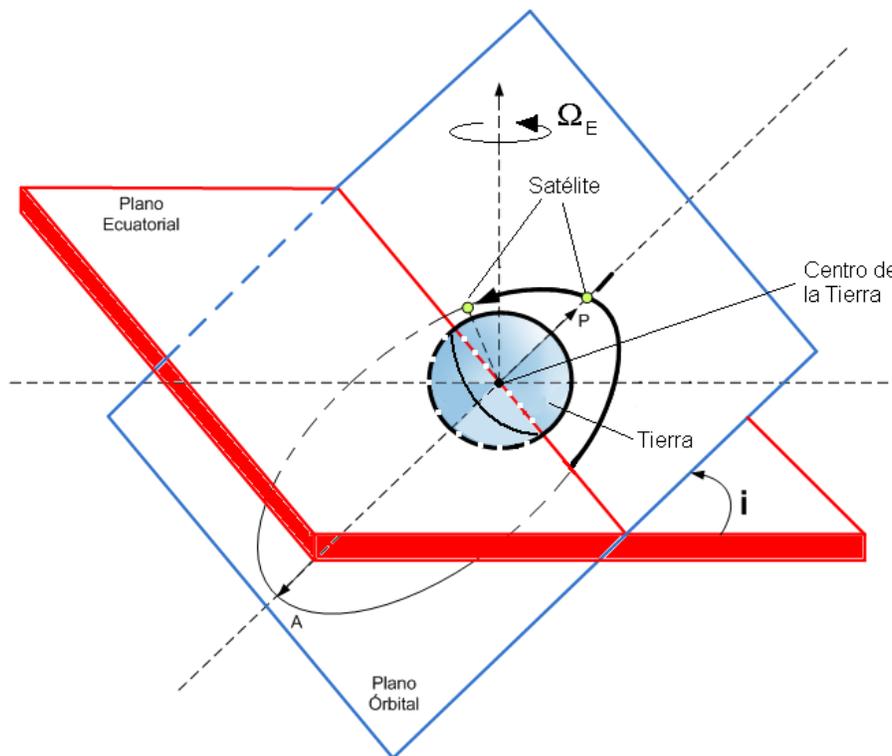


Figura. 1.2 Parámetros básicos de una órbita elíptica (satelital).

donde:

A es el apogeo de la órbita elíptica (es la distancia más alejada del satélite con respecto al centro de la Tierra, medida sobre el eje mayor de la elipse).

P es el perigeo de la órbita elíptica (es la distancia más corta del satélite con respecto al centro de la Tierra, medida sobre el eje mayor de la elipse).

i es el ángulo de inclinación del plano orbital

Ω_E es la velocidad angular de la Tierra ($15.045^\circ/h$).

A una altitud de 1000 km la velocidad requerida por un satélite para no caer hacia la Tierra es aproximadamente de 8 km/s. considerando, que la gravedad es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, un satélite puede permanecer sin caer a velocidades más bajas pero la altitud de la órbita debe ser más alta.

Las órbitas utilizadas por los sistemas de comunicación satelital, son las siguientes:

Órbita GEO

Geostationary earth orbit, órbita terrestre geoestacionaria, es una órbita circular que se encuentra sobre el plano ecuatorial de la Tierra, su altitud es de 36000 km la velocidad del satélite es de 3 km/s y el periodo de esta órbita es de 24 horas, por lo tanto la velocidad angular del satélite y de la Tierra es la misma. Desde una estación terrena, se puede observar que el satélite permanece fijo.

Órbita LEO

Low earth orbit, órbita terrestre baja, es una órbita circular y su plano orbital es perpendicular al plano ecuatorial. Tiene un rango de altitud de 500 km hasta 1000 km aproximadamente, un periodo de 1 hora con 45 minutos para una altitud de 1000 km y la visibilidad del satélite es aproximadamente de 12 minutos, su aplicación principal es la telefonía celular.

Órbita MEO

Medium earth orbit, órbita terrestre media, es una órbita circular inclinada y tiene un rango de altitud de 5000 km hasta 12000 km, un periodo de 5 a 6 horas para una altitud alrededor de 10000 km.

Órbita HEO

Highly elliptical orbit, órbita elíptica alta, la unión soviética utiliza este tipo de órbita conocida como Molniya. Tiene un apogeo 39400 km y un perigeo de 1000 km, un periodo de 11 horas 58 minutos, utiliza una órbita inclinada a 65° (después se efectuó un cambio a 62.9°). Su apogeo se encuentra en la latitud más al norte.

Esta órbita tiene la ventaja de tener una cobertura con un gran ángulo de elevación del hemisferio norte. La cobertura es buena en las áreas polares del norte, donde la cobertura geoestacionaria es pobre o inexistente.

Para una cobertura continua, el sistema Molniya requiere tres o cuatro satélites. Las órbitas y las fases se eligen para que al menos un satélite se encuentre disponible a cualquier hora. Con tres satélites, cada satélite se utiliza ocho horas diarias. Con cuatro satélites, cada uno se utilizará durante seis horas diarias. Las estaciones terrenas deben utilizar antenas que sigan al satélite. Una estación terrena con una sola antena tendrá un desfase cuando se lleve a cabo la conexión de un satélite a otro.

Combinaciones especiales de inclinación, perigeo y apogeo son también elegidas para que el periodo de la órbita sea la mitad de un día sideral, u 11 hr, 58 min. Esto significa que cada apogeo deberá estar siempre en la misma longitud.

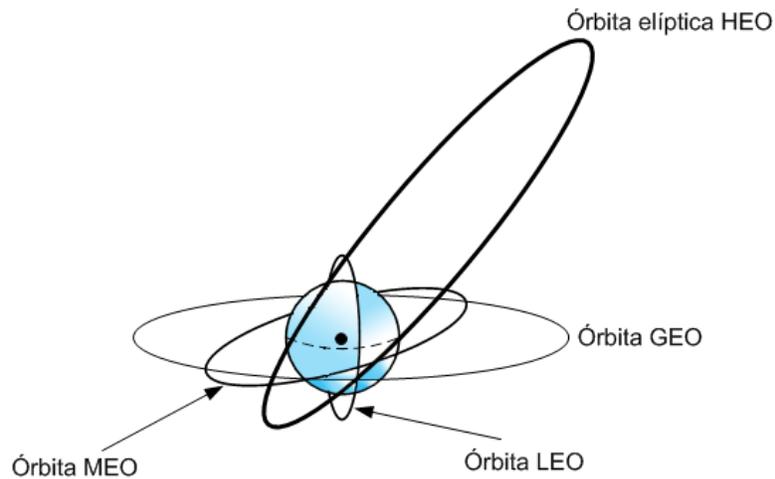


Figura. 1.3 Órbitas LEO, MEO, GEO Y HEO.

1.2 GEOMETRÍA DE LA ESTACIÓN TERRESTRE PARA LOCALIZAR UN SATÉLITE

[3] Las líneas de latitud y longitud se emplean para localizar un punto específico en el globo terrestre. El ecuador es una línea imaginaria desde la que se mide la latitud; equidista de los polos y divide al globo en hemisferio norte y hemisferio sur.

La longitud define la situación de un punto al este u oeste de otra línea imaginaria tomada como referencia, el meridiano de Greenwich. A diferencia de las líneas de latitud, que se van acortando a medida que se acercan a los polos, todas las líneas de longitud miden igual de norte a sur y convergen en los polos, como se muestra en la Figura 1.4.

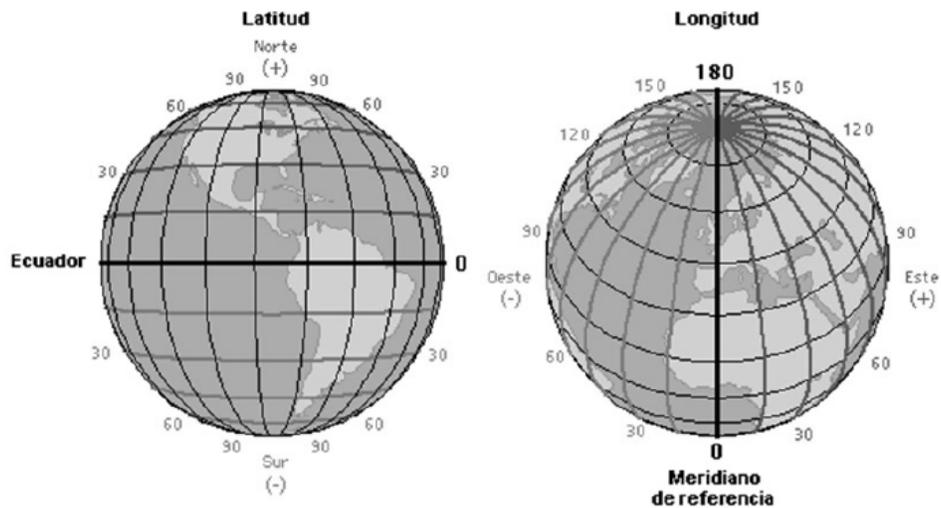


Figura. 1.4 Representación de la longitud y de la latitud geográfica.

Cualquier punto del globo se puede describir en términos de la distancia angular desde los puntos de referencia del ecuador (0° de latitud) y del meridiano de Greenwich (0° de longitud).

1.2.1 Ángulos de azimut (A_R), elevación (E_L) y Nadir (θ) [2]

Para poder orientar una antena hacia un satélite, se deben conocer los ángulos de azimut (A_R) y de elevación (E_L). Los ángulos anteriores se muestran en la Figura 1.5, donde: P, es el punto donde se localiza la estación terrena. T, es el punto subsatélital. Este punto se encuentra en la intersección del vector de posición \mathbf{r} y la superficie terrestre. \mathbf{r} , es el vector de posición del satélite, su magnitud se mide desde el centro de la Tierra hasta el punto S donde se localiza el satélite. R, es la distancia desde el punto P hasta el punto S. ϕ , es el ángulo principal, formado por las rectas OP y OS.

El ángulo de azimut (A_R) se mide entre el meridiano al norte del punto P y el plano OPS, se mide sobre un plano paralelo a la superficie terrestre.

El ángulo de elevación (E_L), es el ángulo de vértice en el punto P y formado entre la línea recta paralela a la superficie terrestre y la recta PS.

El ángulo Nadir (θ) es el ángulo de vértice en el punto S, entre las rectas PS y SO. Se utiliza para calcular la cobertura del satélite sobre una región.

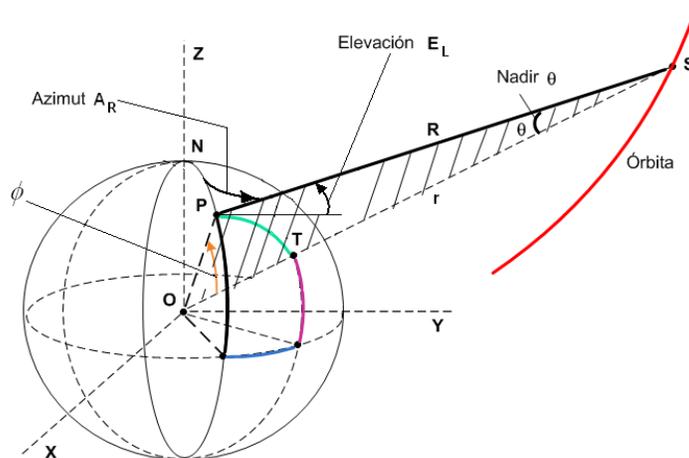


Figura. 1.5 Localización de los ángulos A_R , E_L y θ .

La secuencia para calcular los ángulos anteriores es la siguiente:

1^{er} Paso: calcular el ángulo principal ϕ , teniendo como datos: las latitudes geográficas del punto P (L_P), del punto T (L_T) y la diferencia de sus longitudes geográficas ($\Delta\lambda$), de acuerdo a la Figura 1.6.

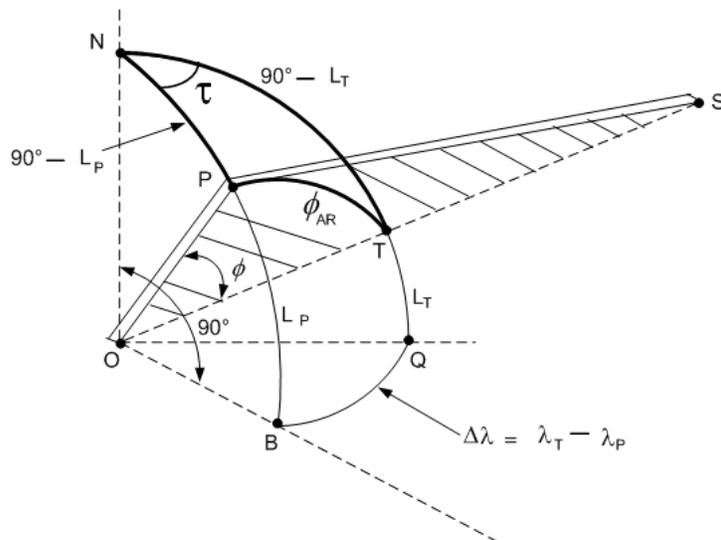


Figura 1.6 Representación de las latitudes geométricas del punto P (L_P) y del punto T (L_T).

En la figura anterior:

ϕ es el ángulo principal.

ϕ_{AR} es el arco PT formado por el ángulo principal ϕ .

$\Delta\lambda$ es la diferencia entre las longitudes geográficas del punto P y del punto T ($\Delta\lambda = \lambda_T - \lambda_P$).

λ_T es la longitud geográfica del punto subsatélital T.

λ_P es la longitud geográfica de la estación terrena en el punto P.

S es el punto donde está localizado el satélite.

Para el triángulo esférico mostrado en la Figura 1.7, la ley de cosenos (relacionado a sus lados) es la siguiente:

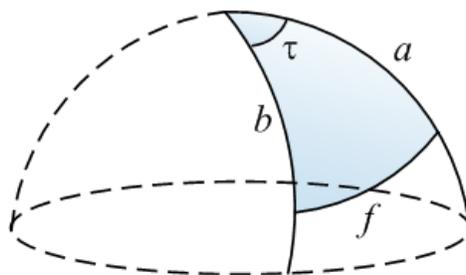


Figura 1.7 Triángulo esférico para obtener la ley de los cosenos en función de sus arcos.

$$\cos f = \cos a \cos b + \text{sen } a \text{ sen } b \cos \tau \tag{1.1}$$

Aplicando (1.1) al triángulo esférico NPT de la Figura 1.5 y considerando en la geometría esférica que el ángulo ϕ medido en radianes forma un arco ϕ_{AR} que tiene una longitud con el mismo número de radianes, cuando la esfera es unitaria. por lo tanto $\phi = \phi_{AR}$ y también $\tau = \Delta\lambda$, entonces:

$$\cos\phi = \cos(90^\circ - L_P) \cos(90^\circ - L_T) + \sin(90^\circ - L_P) \sin(90^\circ - L_T) \cos(\Delta\lambda). \quad (1.2)$$

Pero

$$\sin(90^\circ - L_P) = \cos(L_P) \quad (1.3)$$

$$\cos(90^\circ - L_P) = \sin(L_P). \quad (1.4)$$

Sustituyendo (1.3) y (1.4) en (1.2) se obtiene:

$$\cos\phi = \sin(L_P) \sin(L_T) + \cos(L_P) \cos(L_T) \cos(\Delta\lambda). \quad (1.5)$$

La ecuación (1.5) es para calcular el ángulo principal ϕ .

2^{do} Paso: calcular la distancia R desde la estación terrena P hasta el punto S del satélite, teniendo como dato el ángulo principal ϕ y la distancia del vector de posición r , de acuerdo a la Figura 1.8.

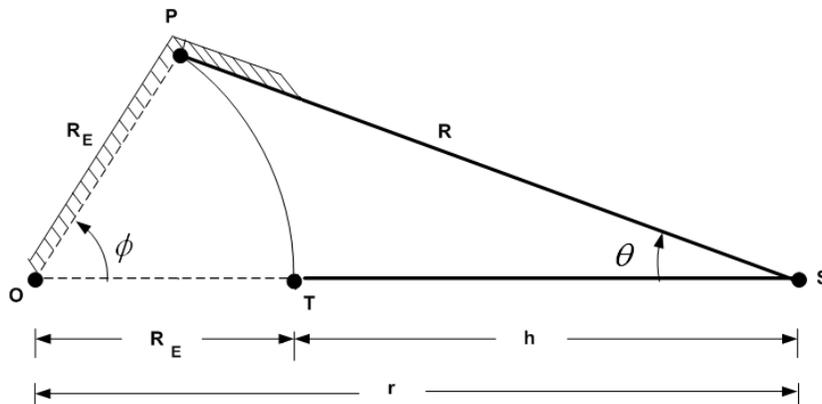


Figura 1.8 Representación de R, S, y r.

donde:

R, es la distancia desde la estación terrena P hasta el satélite S.

r, es la distancia desde el centro de la Tierra (punto O) hasta el satélite S.

R_E , es el radio de la tierra.

h, es la distancia desde el punto subsatelital T hasta el satélite S. Esta distancia es conocida como altitud del satélite.

Aplicando la ley de cosenos, para el triángulo OPS de la Figura 1.8, se obtiene lo siguiente:

$$R^2 = R_E^2 + r^2 - 2R_E r \cos \phi$$

$$R = \sqrt{R_E^2 + r^2 - 2R_E r \cos \phi}. \tag{1.6}$$

La ecuación (1.6) es para calcular la distancia R desde el punto P hasta el punto S.

3^{er} Paso: obtener la ecuación para el ángulo de elevación E_L , teniendo como datos r , R y ϕ , de acuerdo a la siguiente figura.

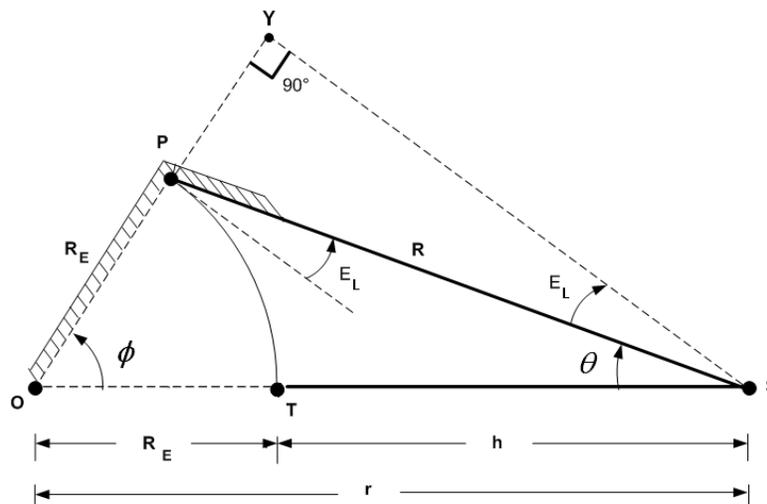


Figura 1.9 Triángulo plano OPS y un triángulo auxiliar PSY para calcular el ángulo de elevación E_L , una de las rectas punteadas es tangente al arco PT en el punto P y es paralela a la superficie terrestre en el punto P.

Se puede observar que en el triángulo auxiliar PSY.

$$\cos E_L = \frac{SY}{R} \tag{1.7}$$

Para el triángulo plano OSY, se tiene que:

$$\text{sen } \phi = \frac{SY}{r}$$

por lo tanto

$$SY = r \text{ sen } \phi \tag{1.8}$$

Substituyendo (1.8) en (1.7) se obtiene lo siguiente:

$$\cos E_L = \frac{r \operatorname{sen} \phi}{R} = \frac{r}{R} \operatorname{sen} \phi$$

por lo tanto:

$$E_L = \cos^{-1} \left(\frac{r}{R} \operatorname{sen} \phi \right). \quad (1.9)$$

4^{to} Paso: obtener la ecuación para calcular el ángulo β teniendo como dato $\Delta\lambda$, L_T y el ángulo ϕ .

El ángulo β está formado entre el meridiano al norte del punto P y el plano OPS. Se debe medir sobre un plano paralelo a la superficie terrestre, de acuerdo a la Figura 1.10.

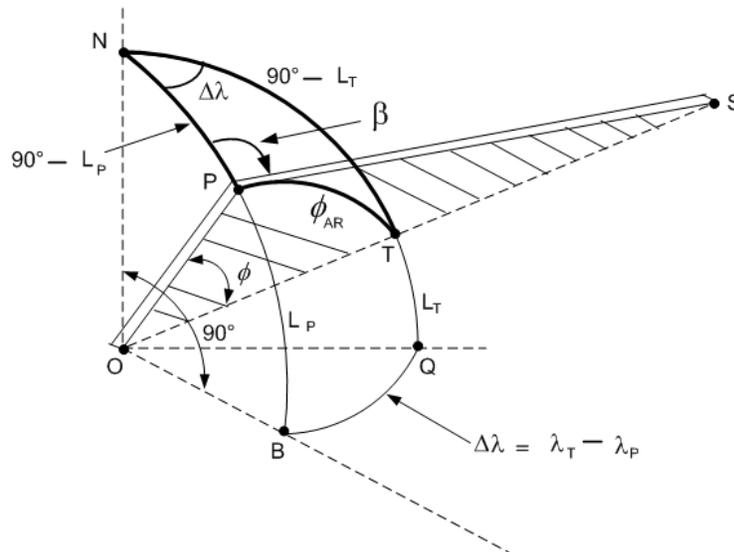


Figura 1.10 Localización del ángulo β para calcular el ángulo de azimut A_R .

De acuerdo a la ley de senos en la geometría esférica, el seno de un ángulo es proporcional al seno de su lado opuesto, se obtiene la siguiente ecuación:

$$\frac{\operatorname{sen} \alpha}{\operatorname{sen} a_{AR}} = \frac{\operatorname{sen} \gamma}{\operatorname{sen} b_{AR}}$$

donde:

a_{AR} , es el arco opuesto al ángulo α .

b_{AR} , es el arco opuesto al ángulo γ .

Aplicando la ley de senos al triángulo esférico NPT de la Figura 1.9

$$\frac{\text{sen } \beta}{\text{sen } NT_{AR}} = \frac{\text{sen } \Delta\lambda}{\text{sen } PT_{AR}} \quad (1.10)$$

donde:

$$NT_{AR} = (90^\circ - L_T),$$

$$PT_{AR} = \phi$$

porque el ángulo ϕ forma un arco PT de la misma magnitud en radianes, sobre la superficie de una esfera unitaria.

Sustituyendo los valores anteriores en (1.10) se obtendrá lo siguiente:

$$\frac{\text{sen } \beta}{\text{sen } (90^\circ - L_T)} = \frac{\text{sen } \Delta\lambda}{\text{sen } \phi} \quad (1.11)$$

donde

$$\text{sen } (90^\circ - L_T) = \cos L_T.$$

Sustituyendo la ecuación anterior en (1.11) se tiene:

$$\text{sen } \beta = \frac{\text{sen } \Delta\lambda}{\text{sen } \phi} \cos L_T. \quad (1.12)$$

Aplicando la ley de senos al triángulo esférico NBQ se tiene:

$$\frac{\text{sen } \Delta\lambda}{\text{sen } \Delta\lambda_{AR}} = \frac{\text{sen } BQN}{\text{sen } BN_{AR}} \quad (1.13)$$

donde

$$BQN = 90^\circ \quad \text{y} \quad BN_{AR} = \frac{\pi}{2} \text{ rad} = 90^\circ.$$

Sustituyendo los valores anteriores en (1.13), se tiene:

$$\frac{\text{sen } \Delta\lambda}{\text{sen } \Delta\lambda_{AR}} = \frac{\text{sen } 90^\circ}{\text{sen } 90^\circ} = 1$$

por lo tanto

$$\text{sen } \Delta\lambda = \text{sen } \Delta\lambda_{AR} = \text{sen } \Delta\lambda.$$

Sustituyendo la ecuación anterior en (1.12), se obtiene lo siguiente:

$$\text{sen } \beta = \frac{\text{sen } \Delta\lambda \cos L_T}{\text{sen } \phi}$$

por lo tanto

$$\beta = \text{sen}^{-1} \left(\frac{\text{sen} \Delta\lambda \cos L_T}{\text{sen } \phi} \right). \tag{1.14}$$

Para poder medir el ángulo de azimut A_R , siempre con respecto al meridiano al norte del punto P, se debe utilizar la siguiente tabla, tomando la posición del punto T con respecto al punto P.

Tabla 1.1 Obtención del ángulo de azimut tomando la posición del punto T con respecto al punto P.

Si P está al	del punto T	Y el punto T está al	del punto P	Relación entre A_R y β
Norte		Este		$A_R = \beta$
Norte		Oeste		$A_R = 360^\circ - \beta$
Sur		Este		$A_R = 180^\circ - \beta$
Sur		Oeste		$A_R = 180^\circ + \beta$

5^{to} Paso: Calcular el ángulo Nadir θ con ayuda de la Figura 1.10

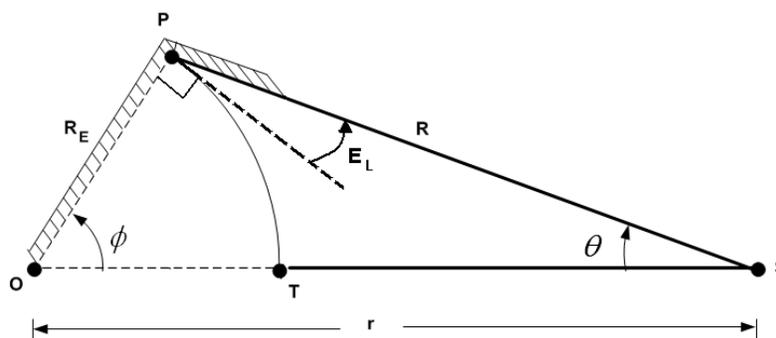


Figura 1.11 Triángulo plano OPS para calcular el ángulo Nadir θ .

Se puede observar en la Figura 1.11 que el ángulo en el vértice P es igual a $90^\circ + E_L$. Aplicando la ley de senos al triángulo plano OPS, se llega a

$$\frac{\text{sen } \theta}{R_E} = \frac{\text{sen}(90^\circ + E_L)}{r} \tag{1.15}$$

pero se puede demostrar que $\sin(90^\circ + E_L) = \cos E_L$. Sustituyendo en (1.15), se tiene:

$$\frac{\sin \theta}{R_E} = \frac{\cos E_L}{r}.$$

Despejando $\sin \theta$

$$\sin \theta = \frac{R_E}{r} \cos E_L$$

por lo tanto:

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{R_E}{r} \cos E_L \right). \quad (1.16)$$

La Ecuación (1.16) es para calcular el ángulo Nadir θ .

Para una órbita circular, la latitud geográfica del punto T es igual a cero.

1.3 ASIGNACIONES DE BANDAS DE FRECUENCIA

[1] Las frecuencias utilizadas para los satélites de comunicaciones están cada vez más concurridas y por lo tanto son más valiosas. Para cada banda el enlace de subida (de la Tierra al satélite) es de una frecuencia más alta y el enlace de bajada (del satélite a la Tierra) es de una frecuencia más baja. La frecuencia alta está sujeta a más atenuación de propagación, la cual puede ser superada al aumentar la potencia de transmisión en el transmisor terrestre.

Las asignaciones de frecuencia para el servicio de radiodifusión directa satelital (BSS) son de 12.2 a 12.7 GHz en el hemisferio occidental. En el resto del mundo, la banda asignada es de 11.7 a 12.45 GHz. Estos satélites de comunicaciones transmiten señales para la recepción directa para el público en general.

Un servicio satelital puede operar simultáneamente sobre muchas bandas de frecuencia. Los armónicos necesitan ser suprimidos de tal manera que el transmisor de un servicio no interfiera con el receptor de otro servicio con la misma asignación del satélite o dentro de la misma estación terrena.

En la mayoría de las situaciones los armónicos impares son generados de una manera más sencilla que los armónicos pares. Los transmisores utilizan filtros limitadores de banda, o una guía de onda mayor a la frecuencia de corte, para atenuar a los armónicos.

1.3.1 Designaciones de bandas [4]

El rango de frecuencias utilizadas en satélites de comunicaciones es amplio. Generalmente la frecuencia se mide en GHz aunque en algunas ocasiones es útil conocer la longitud de onda, la cual es una manera alterna de especificar una frecuencia. La relación entre la frecuencia f y la longitud de onda λ es:

$$\lambda = c/f \text{ [m]} \quad (1.17)$$

donde: λ = longitud de onda, f = frecuencia y c = velocidad de la luz.

También las bandas de frecuencias pueden ser especificadas por literales. Por ejemplo la banda C o la banda Ku. Estas literales fueron elegidas en la segunda guerra mundial para mantener en secreto las frecuencias de radar exactas y confundir al enemigo. Esto explica porqué las literales no siguen una secuencia lógica.

Banda L (de 1 a 2 GHz)

Los rangos de frecuencias para la banda L es entre 1 GHz y 2 GHz. Este rango de frecuencias no fue aplicado a la comunicación satelital comercial, sino hasta finales de los años setentas. Si se tiene 1 GHz del espectro total, solamente alrededor de 30 MHz se utilizan para los enlaces de subida y de bajada. La banda L fue inicialmente utilizada para aplicaciones de satélite móvil por la ITU (*International Telecommunications Union*, Unión Internacional de Telecomunicaciones).

Las antenas terrestres de mayor aplicación para la banda L son pequeñas y no requieren apuntar hacia el satélite.

La lluvia no produce atenuación en la banda L, pero la ionosfera produce una atenuación considerable en la forma de una rápida degradación de la señal, conocida como sintilación ionosférica, la cual es el resultado de la separación de la señal de RF en dos partes: una de trayectoria directa y la otra de trayectoria refractada (o doblada).

En la estación receptora, las dos señales se combinan con una fase aleatoria. Entonces las señales se pueden cancelar, produciendo una profunda atenuación. La sintilación ionosférica es más pronunciada en las regiones ecuatoriales y alrededor de los equinoccios (marzo y septiembre). También, la ionosfera

rotará una onda con polarización lineal, la cual es otra razón por la cual la polarización circular es preferida en la banda L.

Banda S (de 2 a 4 GHz)

Fue adoptada inicialmente para comunicaciones espaciales por la NASA. Tiene un inherente nivel de bajo ruido de fondo y sufre de menos efectos producidos por la ionosfera que la banda L.

Como la banda S es de más alta frecuencia que la banda L, sufrirá de algunas pérdidas atmosféricas mayores y de una menor habilidad para adaptarse a un terreno local. Los satélites LEO y MEO son probablemente un buen acoplamiento para la banda S partiendo de que las pérdidas por trayectoria son inherentemente menores que para los satélites GEO.

Banda C (de 4 a 8 GHz)

La banda C permanece como la pieza más fuertemente desarrollada y utilizada del espectro satelital. La ITU incrementó los anchos de banda disponibles para el enlace de subida y de bajada partiendo de la asignación original de 500 MHz a alrededor de 800 MHz.

Este espectro es multiplicado efectivamente por un factor de dos con polarización dual y otra vez por 180, asumiendo dos grados de espacio entre satélites.

El ancho de banda total utilizable es de 568 GHz a 1.44 THz, el cual se compara favorablemente con los sistemas terrestres de fibra óptica.

Existen situaciones en ciertas regiones donde satélites adicionales no se pueden acomodar tan fácilmente. En América del Norte existen más de 35 satélites de banda C en operación a través de un arco orbital de 70°.

La banda C ofrece un buen compromiso entre las características de propagación de las ondas de radio y el ancho de banda disponible. Las características del servicio son excelentes debido a la modesta cantidad de desvanecimiento por lluvia y por sintilación ionosférica. La única desventaja que presenta es el gran tamaño de las antenas que se utilizan para esta banda.

Banda X (de 8 a 12 GHz)

Los usuarios del gobierno y militares establecieron sus aplicaciones fijas en la banda X. Las asignaciones de frecuencia de la ITU sólo indican que la porción de 8 GHz del espectro es designada para el FSS (servicio de satélite fijo). Desde un punto de vista práctico, la banda X puede proveer la misma calidad de servicio a la par de la banda C; sin embargo, los usuarios comerciales encontrarán los equipos demasiado costosos (esto es debido principalmente al mercado restringido).

Banda Ku (de 12 a 18 GHz)

Tiene unas asignaciones del espectro algo más abundantes que para la banda C, contemplando 750 MHz para FSS y otros 800 MHz para BSS. De nuevo se puede utilizar polarización dual y satélites con una separación de 2°. Espacios cercanos entre satélites no son viables porque los usuarios prefieren instalar pequeñas antenas, las cuales tienen un ancho de haz más amplio que las antenas para el servicio de banda C. La separación geográfica es posible, de hecho podría producirse una multiplicación por un factor de hasta 10. El espectro máximo disponible podría estar sobre 4 THz.

Los receptores de banda Ku deben anticiparse más a la atenuación por lluvia. Un decremento en la capacidad puede ser contrario al incremento de la PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Efectiva) del satélite.

Banda Ka (de 27 a 40 GHz)

El espectro es relativamente abundante y atractivo para servicios que no pueden encontrar espacio en las bajas frecuencias. Existen 2 GHz de espectro disponible para enlaces de subida y de bajada.

El hecho de que los anchos de los haces de las antenas terrestres se encuentren entre 1/2 y 1/4 de los valores que corresponden a las bandas Ku y C significa que más satélites podrán ser acomodados con suficiente potencia en el enlace de bajada, las antenas pequeñas permanecerán compatibles con 2° de separación.

Otra faceta de la banda Ka es que haces bastante angostos pueden ser generados a bordo del satélite con la misma apertura de antena, entonces se mejora la división de espacio entre frecuencias. Un inconveniente es que la banda Ka presenta una gran atenuación para una cantidad dada de precipitación pluvial.

1.4 INTRODUCCIÓN A LOS PRESUPUESTOS DE ENLACE [1]

Un presupuesto de enlace exacto incluye muchos cálculos detallados. Es necesario conocer los principios básicos de un presupuesto de enlace para evitar la confusión por los detalles. Para hacer esto, un número específico de parámetros deben comprenderse.

1.4.1 Potencia del transmisor (P)

El inicio de la transmisión de RF a través del espacio, y el primer número en un presupuesto de enlace, es la potencia del transmisor. La potencia del transmisor es a menudo ajustada para obtener el desempeño apropiado.

Para los satélites la potencia del transmisor está limitada frecuentemente por la potencia de CD disponible, proporcionada por el arreglo solar. La mayoría de los transpondedores satelitales están en el rango de 10 a 200 W. Los transmisores de las estaciones terrenas en el rango de 1 a 10,000 W.

La potencia del transmisor (P) es usualmente especificada en W, y no en dBW. En ecuaciones en decibels el término para el transmisor es mostrado como:

$$P_{dBW} = 10 \log_{10} P \text{ [dBW]} \quad (1.18)$$

donde P = es el valor absoluto de la potencia [W] y P_{dBW} la potencia del transmisor en dBW.

Existen algunas pérdidas entre la salida del transmisor y la alimentación de la antena. Por ejemplo para una estación terrena utilizada para transmitir señales de televisión, las pérdidas en la guía de onda son aproximadamente de 4.5 dB. Si las pérdidas son significativas, la potencia del transmisor es medida sobre la pestaña de entrada hacia la antena. Esta es una práctica para realizar mediciones. Las pérdidas antes de este punto se pueden reducir partiendo de la potencia original del transmisor.

1.4.2 Ganancia de la antena (G)

El propósito de una antena transmisora es enfocar la potencia de la señal de RF sobre la antena receptora. Esta efectividad es medida como la ganancia de la antena, y está dada como:

$$G \equiv \frac{\text{potencia transmitida con una antena hacia el receptor}}{\text{potencia transmitida por un alimentador isotrópico}}. \quad [\text{dBi}] \quad (1.19)$$

La ganancia de la antena está expresada usualmente en dBi la i en dBi indica que la relación está referida a un elemento radiador isotrópico (una ganancia podría estar referida a una antena dipolo como dBd, pero esto no se hace en comunicación satelital). Cuando las unidades son combinadas en una ecuación, la unidad dBi es la misma que dB. La letra i en dBi no es una unidad física, y no se toma en cuenta en los cálculos. La letra i es utilizada solamente por la ganancia de la antena y la relación G/T_{ET} está en dBi/K (la cual se define más adelante).

La ganancia de la antena (G) para un reflector parabólico es:

$$G = \frac{4\pi\eta A}{\lambda^2} \quad (1.20)$$

donde A es el área física del reflector, η es la eficiencia de la antena (una fracción menor que 1) y λ es la longitud de onda. El rango típico de la eficiencia de una antena es de 0.4 a 0.8 y una aproximación común es 0.55.

Para antenas circulares con un diámetro D , el área A equivale a $\pi D^2/4$. Usando (1.17). la ganancia de la antena se puede escribir como:

$$G = \eta (\pi D f / c)^2. \quad (1.21)$$

Para los cálculos G es usualmente expresada en dB. Tomando el logaritmo en ambos lados de la ecuación, y multiplicando por diez, la ganancia de la antena se puede escribir como:

$$G = 20 \log_{10} D + 20 \log_{10} f + 10 \log_{10} \eta + 20.4 \quad [\text{dBi}] \quad (1.22)$$

donde D = Diámetro de la antena [m], f = Frecuencia [GHz] y η = Eficiencia de la antena.

La constante $20.4 \text{ dB/m}^2 \text{ GHz}^2$ es igual a $20 \log_{10} (\pi/c)$. La velocidad de la luz c es 0.299792458 m/ns . Las dimensiones de c son inusuales, pero apropiadas si f está en GHz y D está en m.

La ganancia de la antena está definida por el pico del haz de la antena. Las antenas del satélite pueden transmitir hacia muchos receptores, y la ganancia de la antena variará levemente, dependiendo de la localización del receptor.

1.4.3 Potencia isotrópica radiada efectiva ($PIRE_{ET}$)

La antena transmisora enfoca la potencia de la señal de RF hacia el receptor. Entonces:

$$PIRE_{ET} = DFS_{Port} + L_P \quad [\text{dBW}] \quad (1.23)$$

donde DFS_{Port} = Densidad de Flujo de saturación de portadora [dB] y L_P = Pérdida por propagación [dBm²]. El término $PIRE$ es ampliamente utilizado para designar a la potencia radiada isotrópica equivalente. La antena ha incrementado la potencia recibida por una cierta relación, y el receptor observa a esta potencia como un transmisor más poderoso.

1.4.4 Pérdidas por trayectoria en el espacio libre (L_S)

[1] Las pérdidas por trayectoria en el espacio libre no son las únicas pérdidas que afectan a la potencia recibida atribuibles a la distancia entre el transmisor y el receptor. Otras pérdidas por trayectoria se deben a las pérdidas atmosféricas, a las pérdidas por lluvia, etc.

Las pérdidas por trayectoria en el espacio libre se pueden calcular mediante la siguiente expresión:

$$L_S = 20 \log_{10} \left[\frac{(4\pi)(d)(F)}{c} \right] \quad [\text{dB}] \quad (1.24)$$

donde: d = Distancia de la estación terrena al satélite [Km], F = Frecuencia de Transmisión [Hz] y c = Velocidad de la luz (3×10^8 m/s).

1.4.5 Temperatura de ruido (T_S)

La potencia absoluta de portadora recibida C es importante solamente cuando la comparamos con el ruido presente en el sistema. Cada uno de los múltiples enlaces involucrados en un servicio satelital añade ruido. El conjunto extremo a extremo, o la relación portadora a ruido del sistema (C/N) es la composición de cada uno de esos enlaces.

El ruido puede ser expresado de varias maneras. En un satélite de comunicaciones es a menudo expresado como una temperatura de ruido equivalente T_S . La temperatura de ruido del sistema se compone de múltiples factores, tal y como lo es la temperatura de ruido de la antena y la temperatura de ruido del receptor. Existen otras fuentes de ruido, algunas no se pueden relacionar a una temperatura real, pero la potencia de ruido puede ser expresada como una temperatura de ruido.

El ruido de antena está relacionado a menudo a la temperatura de fondo a la cual la antena es dirigida. La temperatura de una antena de una estación terrena puede estar en el rango de 30 K.

La relación G/T_{ET} de la ganancia de la antena receptora para la temperatura de ruido es utilizada como una figura de mérito para el sistema receptor. La relación de la potencia de portadora recibida C a ruido es comúnmente expresada de tres formas: C/T , C/kT , C/kTB .

1.4.6 Figura de mérito G/T_{ET} para un sistema receptor

Dos parámetros importantes para el sistema receptor son la ganancia de la antena del receptor G_{Rx} y la temperatura de ruido del sistema receptor T_{ET} . Esta última es la suma del ruido de antena, el amplificador de bajo ruido (LNA) y el ruido de cualquiera de los elementos de pérdida entre la antena y el LNA. La relación de G_{Rx} a T_{ET} es llamada la figura de mérito, escrito como G/T_{ET} . Las estaciones receptoras pueden ser mejoradas con una ganancia de antena grande G_{Rx} (antena de gran diámetro), o con una baja temperatura de ruido T_S (un mejor amplificador de bajo ruido).

La ganancia de la antena está dada usualmente en dBi y la temperatura de ruido del sistema T_S en K. Así la figura de mérito G/T_{ET} está en dBi/K. Los valores numéricos de la ganancia en dBi y la temperatura en K no pueden ser divididos. Uno está en decibeles, y el otro no. La temperatura de ruido puede ser convertida a decibeles, y entonces combinando con la ganancia de la antena:

$$(G/T_{ET}) = G_{Rx} - 10 \log_{10}(T_S) \quad [\text{dB/K}] \quad (1.25)$$

donde: G_{Rx} = Ganancia de la antena receptora [dBi], T_S = Temperatura de ruido del sistema [K].

1.4.7 Relación portadora a ruido térmico (C/T)

Un criterio del desempeño de un enlace es la relación de la potencia de la portadora C a la temperatura de ruido T .

$$C/T_{dB} = PIRE_{ET} - L_S + G/T_S \quad [\text{dBW/K}] \quad (1.26)$$

La ecuación (1.26) es el corazón de un presupuesto de enlace. La relación C/T es igual a la $PIRE_{ET}$ en dBW, menos la pérdida por trayectoria L_S en [dB] más la figura de mérito del sistema G/T_S en dBi/K.

1.4.8 Relación de la densidad de portadora a ruido (C/N_0)

Todos los objetos a una temperatura física T generan radiación electromagnética. Parte de esta radiación se encuentra en el rango de frecuencias que corresponde a las microondas y estarán presentes en un sistema receptor. La potencia de ruido N de radiación dentro de un ancho de banda B es:

$$N = kTB \quad [\text{W}] \quad (1.27)$$

donde la constante de Boltzmann $k = 1.3806 \times 10^{-23} \text{ W s/K} = -228.60 \text{ dBW/Hz} \cdot \text{K}$, donde: Hz K es igual a Hertz por grado kelvin y no deberá confundirse con KHz.

La densidad de ruido N_0 es la potencia de ruido en un ancho de banda de 1 Hz, y es uniforme a frecuencias que se encuentran en el rango de las microondas, esto es:

$$N_0 = N/B = kT \quad [\text{W/Hz}]. \quad (1.28)$$

Si la señal no ha sido demodulada, o el ancho de banda es desconocido, una medida del desempeño del sistema es la relación de la potencia de portadora C a la densidad de ruido $N_0 = kT$. Entonces esta relación de portadora a densidad de ruido es:

$$C/N_0 = C/kT$$

o en decibeles

$$C/N_{0\text{dB}} = C/T_{\text{dB}} + 228.6 \quad [\text{dBHz}] \quad (1.29)$$

Es la relación portadora a ruido térmico referida a un ancho de banda estándar de 1Hz.

1.4.9 Relación portadora a ruido (C/N)

Un filtro en el receptor usualmente bloquea la mayoría del ruido y solamente permite el paso del ancho de banda para las frecuencias necesarias para las comunicaciones. La relación portadora a ruido es:

$$C/N = C/kTB$$

o en decibeles

$$C/N_{\text{dB}} = C/kT_{\text{dB}} - 10 \log_{10} B \quad [\text{dB}]. \quad (1.30)$$

CAPÍTULO 2

EL ESTÁNDAR ATSC

Este capítulo trata del estándar ATSC el cual se utiliza para trabajar con televisión digital y video en alta definición, pero antes de entrar de lleno a lo que es el estándar y los lineamientos que se deben seguir es necesario retomar algunos conceptos básicos de la televisión y del video analógicos. Debido a que en la televisión digital serán utilizados de manera distinta pero manteniendo su esencia. Por esta razón, comenzamos este capítulo con los fundamentos de la televisión analógica.

2.1 FUNDAMENTOS [5]

En el estudio de televisión, la escena que se desea transmitir es proyectada sobre una placa fotosensitiva la cual se encuentra localizada dentro de la cámara de televisión que la captura. Una vez capturada la escena es escaneada de una manera repetitiva mediante el uso de un haz de electrones el cual es de alta velocidad y que a su vez asegura que las imágenes que se forman de manera consecutiva difieran entre sí de una manera muy pequeña e imperceptible para el ojo humano.

En el aparato de televisión que funciona como receptor, por ejemplo un dispositivo como una pantalla de plasma, una pantalla de LCD o un tubo de rayos catódicos (TRC) se utiliza para recrear la imagen que fue transmitida desde el estudio de televisión por medio de un procedimiento idéntico de escaneo de la pantalla mediante el uso de un haz de electrones.

Debido al fenómeno de persistencia de la visión humana, nuestros ojos nos dan la impresión de que la imagen que estamos observando tiene movimiento de la misma manera como lo logra la exhibición de una película en una sala de cine.

En el sistema analógico de radiodifusión de televisión, actualmente en uso en la República Mexicana, conocido como NTSC, 30 cuadros de imágenes completas son escaneadas por un haz de electrones cada segundo.

2.1.1 Escaneo de una imagen analógica [5]

La placa fotosensitiva que se encuentra dentro de la cámara que captura la imagen tiene una superficie muy sensible a la luz. Se compone de un arreglo (matriz) de cientos de miles de fotodiodos de silicio montados sobre un chip, típicamente con una diagonal de 7 mm, acomodados en líneas y columnas.

Durante el periodo de campo activo, cada fotodiodo actúa como un capacitor, y adquiere una carga eléctrica proporcional a la cantidad de luz que incide sobre la placa fotosensitiva. La imagen es enfocada de manera puntual sobre la superficie del sensor utilizando un sistema óptico de lentes.

Cada diodo es activado en orden por medio del haz de electrones, el cual es guiado por el circuito que controla al sensor (placa fotosensitiva), así que las cargas sobre la primera línea de fotodiodos que se encuentran sobre el arreglo es leída primero, haciendo un barrido de izquierda a derecha. Cada línea se lee en orden recorriendo todo el arreglo de fotodiodos hacia abajo hasta alcanzar la última línea de la placa fotosensitiva.

El brillo que genera cada elemento es examinado línea por línea como se muestra en la Figura 2.1. Para formar lo que se conoce como una señal de video analógica se emplea una gran cantidad de líneas para dar una adecuada representación de los contenidos de la imagen.

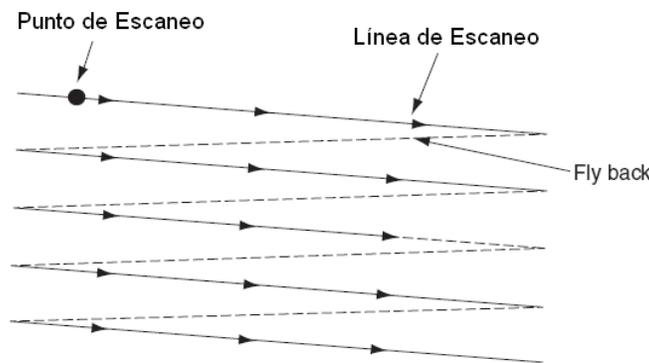


Figura 2.1 Escaneo de una imagen.

En el sistema analógico NTSC se utilizan 525 líneas. La forma de onda que genera el movimiento del haz de electrones durante el escaneo de una imagen es una forma de onda conocida con el nombre de diente de sierra la cual se muestra en la Figura 2.2. En la cual la etapa de barrido produce el escaneo de línea y la etapa de *flyback* se genera cuando el haz de electrones regresa rápidamente a su posición inicial.

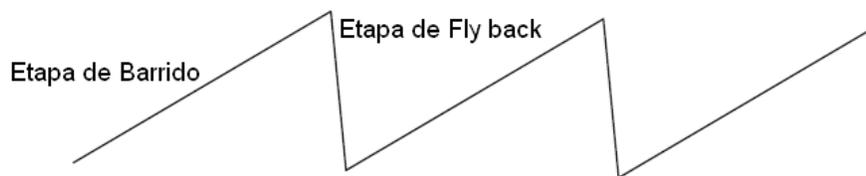


Figura 2.2 Forma de onda generada por el escaneo de la imagen.

Al final de cada escaneo completo de una imagen, el haz de electrones regresa a la parte superior de la imagen y la secuencia se repite de nuevo. En el sistema NTSC se utiliza una frecuencia de 29.97 Hz. Por lo tanto la frecuencia de línea es $29.97 \text{ Hz} \times 525 \text{ líneas} = 15,734 \text{ Hz}$ o 15.734 kHz.

Para alta definición (HD, *High Definition*), el número de líneas es aproximadamente el doble, resultando en frecuencias de línea más altas.

2.1.2 Entrelazado (Interlacing) [5]

El escaneo secuencial normal de una imagen, por ejemplo el escaneo completo de imágenes (525 líneas) una a la vez seguidas por el siguiente escaneo de una imagen completa, introduce un brillo irregular que no es aceptable cuando la imagen es reproducida por un TRC. Esto se debe a que una vez escaneada la imagen, el brillo de una línea se va desvaneciendo de manera gradual en espera de ser reactivada.

El brillo irregular puede ser enormemente reducido utilizando una técnica conocida como entrelazado. El escaneo entrelazado involucra primero el escaneo de las líneas impares 1, 3, 5, etc. de la pantalla, seguido por el escaneo de las líneas pares 2, 4, 6, etc. Sólo la mitad de la imagen, la cual se conoce con el nombre de campo, es escaneada en un cierto tiempo.

Entonces una imagen completa consiste de dos campos, un campo par y otro impar, resultando en una frecuencia de campo de $2 \times 30 \text{ Hz} = 60 \text{ Hz}$. Al final de cada campo, el haz de electrones es deflectado de regreso rápidamente para comenzar el siguiente escaneo de imagen.

El *flyback* impar termina en el lugar en donde se encuentra la última línea del campo impar (punto A en la Figura 2.3) y entonces el haz se toma en donde comienza la primera línea del campo par (punto B) recorriendo una distancia equivalente a la altura de la pantalla. Para evitar que la distancia vertical que recorre el *flyback* y el tiempo que dura el *flyback* en un campo sean los mismos para los campos par e impar, el *flyback* par (línea punteada) termina en el punto medio a lo largo de la última línea del campo par (punto C) para iniciar con el haz de electrones cuando éste comience al inicio del siguiente campo par (punto D) a la mitad a lo largo de la línea 1. Esta es la razón por la cual se elige al número total de líneas para que sea un número impar.

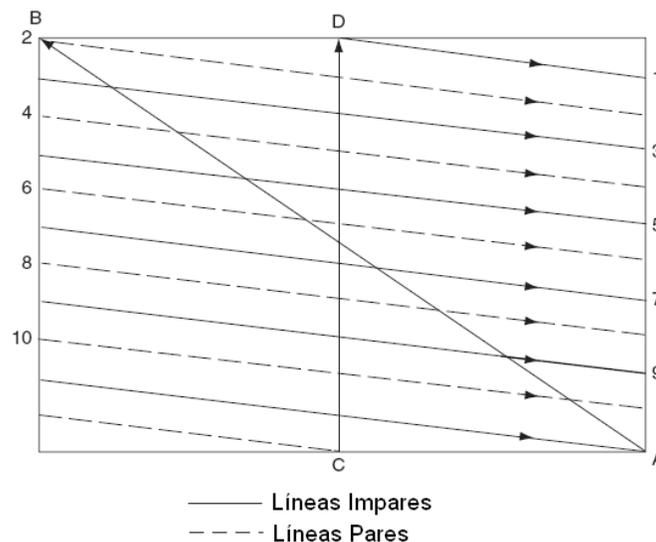


Figura 2.3 Líneas de flyback pares e impares.

Partiendo de la idea de que el escaneo de líneas es continuo para mover al haz de electrones a través de la pantalla durante un periodo de tiempo de duración de un campo de *flyback*, se obtiene la trayectoria trazada por el haz de electrones que se muestra en la Figura 2.4.

En ausencia de información de imagen, el escaneo de la imagen produce lo que se conoce como *raster* que es un patrón de líneas horizontales escaneadas generadas por el haz de electrones.

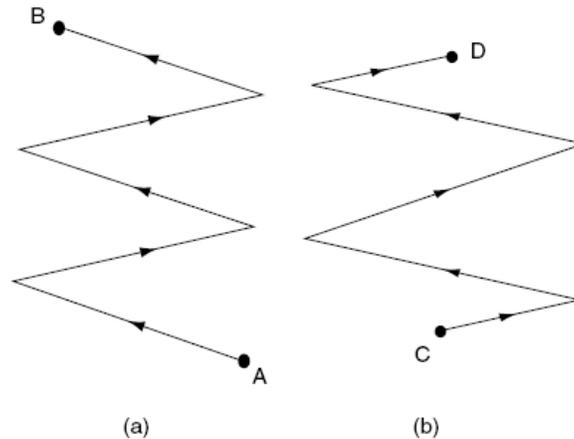


Figura 2.4 Trayectoria del campo de Flyback.

2.1.3 Pulsos de Sincronización [5]

El receptor o monitor el cual será utilizado para mostrar la imagen debe contar con generadores de forma de onda para el escaneo de imágenes, los cuales tienen que funcionar en perfecto sincronismo con la lectura de salida del sensor de imagen al final del transmisor.

Esto permite que la información de video recolectada por el sensor pueda ser reproducida en el lugar correcto sobre la pantalla. Si la cámara enfoca un punto de luz en la esquina superior derecha de la imagen y el punto de escaneo del monitor se encuentra a la mitad de la pantalla cuando éste reproduce la luz, la imagen se verá fuera de lugar.

Esto se puede prevenir mediante la inserción de pulsos de sincronización (pulsos sync para abreviar) dentro de la forma de onda del video a intervalos regulares y con algunas diferencias en cuanto a la presentación de los pulsos para habilitar al monitor de T.V. para recogerlos a la salida.

Los pulsos de sincronización son insertados al final de cada línea para inicializar el *flyback* de línea en el receptor; estos pulsos son llamados sync de línea. Otro conjunto de pulsos de sincronización es introducido al final de un campo para inicializar el inicio del campo de *flyback*; a esto se le conoce como sync de campo.

2.1.4 Forma de onda del video compuesto [5]

La palabra “Compuesto” indica que la señal de video está conformada por diferentes componentes. Estos componentes son la señal que genera la cámara que captura la imagen (esta señal corresponde a la información que contiene la imagen), los pulsos de sincronía (los cuales son importantes para mantener la sincronización del escaneo de la imagen entre el transmisor y el receptor) y finalmente los

pulsos de *blanking*, que permiten hacer a los espacios sin información entre cuadros de imagen imperceptibles al ojo humano.

La información de la imagen y los pulsos de sincronía (sync) de una línea constituyen lo que se conoce como la señal de video compuesta. Cada línea está constituida por la porción de video activo y por la porción de la señal de *blanking* horizontal. En el sistema NTSC de 525 líneas el tiempo de duración de línea es de 63.5 μ s y el tiempo de duración del video activo es de 52.6 μ s, como se muestra en la Figura 2.5.

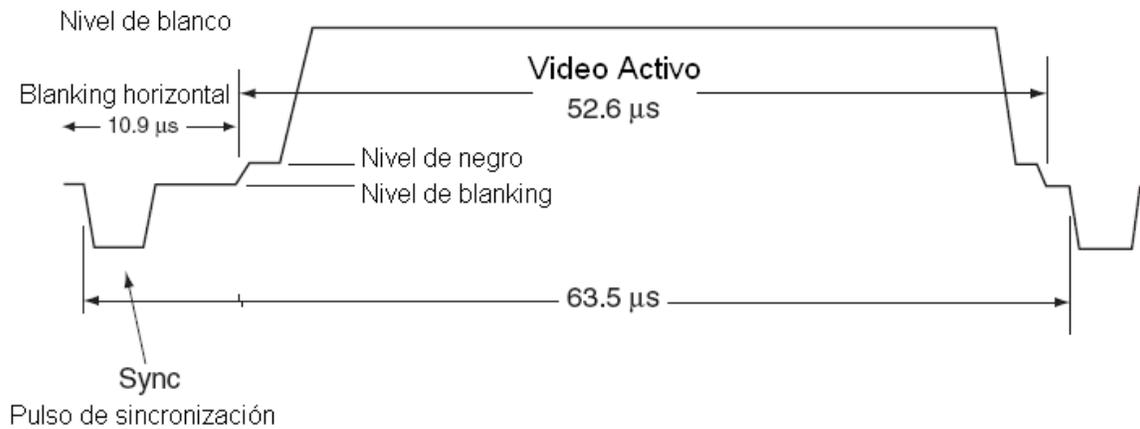


Figura 2.5 Señal de video compuesta para el sistema NTSC.

2.1.5 Formato común de imagen [5]

En la Tabla 2.1 se muestran las propiedades del sistema de líneas que conforman a una imagen en el sistema NTSC, conocidas como formato común de imagen (FCI).

Tabla 2.1 Formato común de imagen para el sistema NTSC.

Propiedades	NTSC
Líneas/Cuadro (Totales)	525
Líneas/Cuadro (Activas)	480
Píxeles/Líneas (Activos)	720
Frecuencia de línea (kHz)	15.75
Tasa de cuadros (Hz)	60
Duración de línea (Total en μ s)	63.49
Duración de línea (Activa en μ s)	52.6
Duración de campo (ms)	16.7
Relación de aspecto	4:3
Escaneo de imagen (Entrelazado/Progresivo)	Entrelazado (i)

2.1.6 Líneas activas

Las líneas activas que de hecho son mostradas en un tiempo dado en el receptor son pocas. Esto se debe a que un número importante de líneas se pierden durante un periodo de *blanking* que se presenta cuando se muestra el campo de *flyback*. A estas líneas se les llama líneas inactivas y carecen de información de video. Para el sistema NTSC el número de líneas inactivas es de 45 resultando en 480 líneas activas.

2.1.7 Relación de aspecto

Para la televisión de definición estándar (SDTV, *Standard Definition*), la imagen normalmente es transmitida con una relación de aspecto de 4:3, o en otras palabras, una imagen de dimensiones 4 de ancho por 3 de alto. Para televisión de alta definición (HDTV, *High Definition Television*) el formato *widescreen* (pantalla ancha) es el especificado, con una relación de aspecto en cuanto a la imagen de 16:9.

2.1.8 Píxeles

Un píxel es el elemento activo más pequeño o un punto que conforma una imagen. La resolución de una imagen queda definida por el número de píxeles que se tienen en las direcciones horizontal y vertical del cuadro de imagen. El número de líneas que componen al cuadro de imagen determinan el número de píxeles en la dirección vertical. Sin embargo, lo anterior no sucede para los píxeles por línea horizontal. En este caso se adoptó internacionalmente el valor de 720 píxeles por línea para el sistema NTSC. Esto produce una resolución para la televisión de definición estándar de 720×480 (NTSC).

Una vez determinado el número de píxeles por línea, el número total de píxeles en una imagen de televisión estándar puede ser calculado como (píxeles activos por línea) \times (líneas activas) entonces:

$$720 \times 480 = 345,600 \text{ píxeles.}$$

2.1.9 Ancho de banda del video

La frecuencia de la forma de onda de video está determinada por el cambio en el brillo del haz de electrones al escanear la pantalla línea por línea. La máxima frecuencia de video se obtiene cuando los píxeles adyacentes cambian alternadamente desde el nivel de negro hasta el pico del nivel de blanco; esto representa la máxima definición de una imagen de televisión. Cuando el haz de electrones escanea una línea que contiene píxeles alternados desde el nivel de negro hasta el nivel de blanco, la forma de onda del video es como se muestra en la Figura 2.6. Esta figura representa la variación del brillo a lo largo de la línea. Como se puede observar, para cualquier par adyacente de píxeles negros y blancos, se obtiene un ciclo completo.

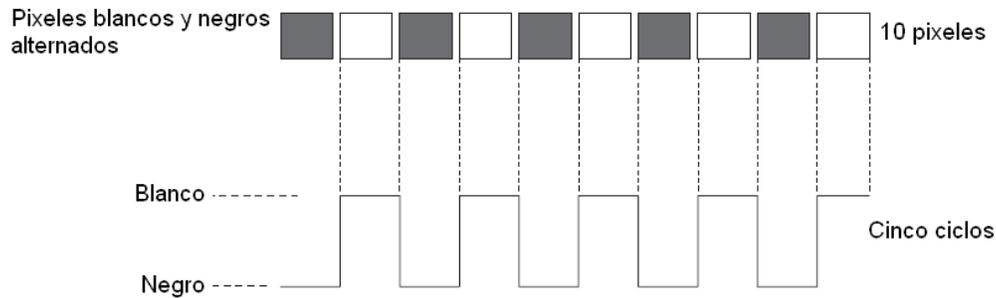


Figura 2.6 Forma de onda para pixeles blancos y negros alternados.

Entonces para los 10 pixeles mostrados, cinco ciclos son producidos para una imagen completa formada por pixeles blancos y negros. El número de ciclos producidos está dado por $(1/2) \times$ (número de pixeles). Entonces:

$$\frac{1}{2} \times 345,600 = 172,800 \text{ ciclos/imagen.}$$

La máxima frecuencia de video en el sistema NTSC es entonces:

$$\text{ciclos/imagen} \times 30 = 172,800 \times 30 = 5,184,000 \text{ Hz} = 5.184 \text{ MHz.}$$

La mínima frecuencia de video se obtiene cuando el haz de electrones escanea pixeles que no presentan un cambio de brillo esto corresponde a una amplitud sin cambios de una forma de onda de video, a una frecuencia de 0 Hz o DC. El ancho de banda de la señal de video es entonces de 0 a 5.184 MHz.

2.1.10 Espectro de frecuencia de un canal NTSC

El espectro de frecuencia para un canal NTSC se muestra en la Figura 2.7. El ancho de banda total del canal es de 6 MHz con una portadora de sonido situada a 4.5 MHz de la portadora de visión. La banda lateral vestigial es ± 0.75 MHz y con una frecuencia de video máxima de 4.5 MHz, la cual es adecuada para la televisión de definición estándar.

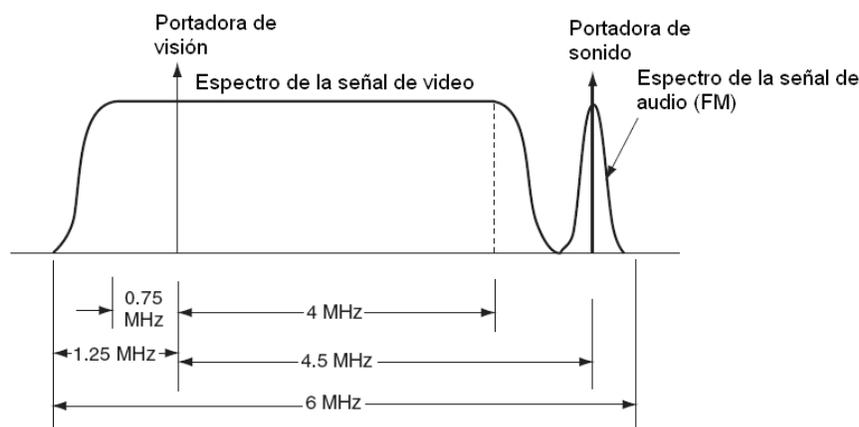


Figura 2.7 Espectro de frecuencia para una señal de video analógico en el sistema NTSC.

2.1.11 Principios de la transmisión a color [6]

El sistema para televisión a color es el mismo que se mencionó anteriormente con una diferencia principal, ahora se incorpora una señal que contiene la información del color en función de tres colores básicos: rojo, verde y azul.

Cuando la imagen es escaneada en la cámara, señales de video separadas son generadas para cada color básico (rojo, verde y azul) que forma parte de la imagen.

Para radiodifusión en un canal estándar de televisión de 6 MHz (NTSC) las señales de video correspondientes al rojo, verde y azul. Se combinan para formar dos señales equivalentes, una para el brillo de la imagen y la otra para el color. En otras palabras las dos señales transmitidas son las siguientes:

1.- Señal de luminancia (Y). Esta señal contiene solamente las variaciones de brillo de la imagen, incluyendo los detalles finos, la señal de luminancia es utilizada para reproducir la imagen en blanco y negro (señal monocromática).

2.- Señal de crominancia (C). Contiene la información de color. Es transmitida como la modulación sobre una subportadora. La frecuencia de la subportadora es de 3.58 MHz. Por lo tanto esta frecuencia es la frecuencia para la señal de color. La letra C que identifica a la señal de crominancia proviene de la palabra crominancia o croma.

En un aparato receptor a color, la señal de color se combina con la señal de luminancia con la finalidad de recuperar las señales originales transmitidas (rojo, verde y azul). Estas señales son utilizadas para reproducir la imagen en color sobre la pantalla. Esta pantalla a color contiene fósforo el cual genera los colores básicos rojo, verde y azul. Como se sabe, la combinación de estos colores produce una amplia gama de colores distintos entre sí.

2.1.12 Modulación en cuadratura de amplitud [5]

Para poder transmitir una señal a color en el sistema NTSC se emplea un tipo de modulación el cual se conoce con el nombre de modulación en cuadratura de amplitud (QAM, *Quadrature amplitude modulation*).

En este tipo de modulación, se tienen dos portadoras las cuales se intersectan en un punto (origen) formando un ángulo de 90° (señales ortogonales). A esto se le conoce como cuadratura y son moduladas por dos señales separadas como se muestra en la Figura 2.8.

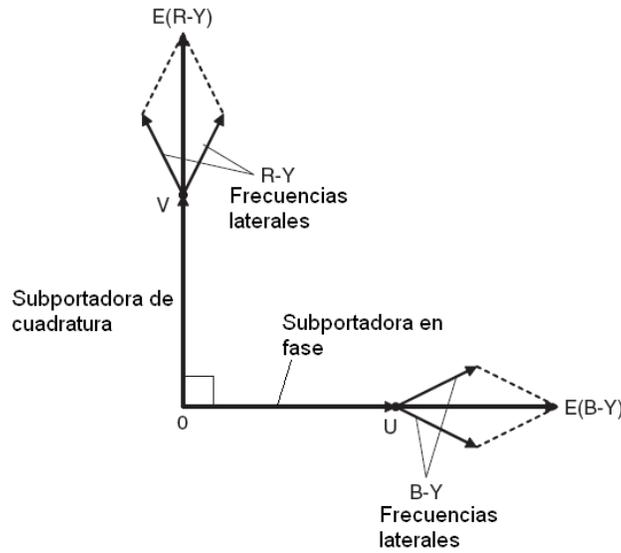


Figura 2.8 Modulación en cuadratura de amplitud.

Las frecuencias laterales B – Y modulan a la subportadora en fase OU y las frecuencias laterales R – Y modulan a la portadora que se encuentra en cuadratura OV. Como sucede en una modulación en amplitud ordinaria, cada portadora modulada produce dos bandas de frecuencias laterales sobre cada lado de las portadoras representadas por el par de fasores mostrados que producen un fador resultante sobre el horizontal E(B – Y) e indican la diferencia de color, conocida como I. El fador resultante sobre el eje vertical E(R – Y) es llamado Q.

La información que se encuentra en la portadora modulada está contenida solamente en las frecuencias laterales. Las portadoras de cuadratura pueden ser eliminadas para obtener las dos señales de la diferencia de color I y Q generando a su vez un fador resultante de crominancia como se muestra en la Figura 2.9.

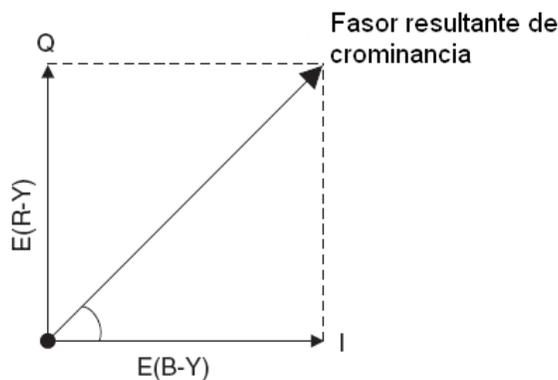


Figura 2.9 Diagrama del fador de color I y Q.

2.1.13 Componentes de la señal de color en el sistema NTSC

Las dos señales de diferencia de color I y Q, están dadas para diferentes anchos de banda. Para la señal Q se utilizan bandas laterales dobles con un ancho de banda de ± 400 kHz. Para la señal I se utilizan bandas laterales vestigiales con un ancho de banda de 400 kHz para la banda lateral superior y 1.3 MHz para la banda lateral inferior. La Figura 2.10 ilustra los componentes de la frecuencia para el sistema NTSC a color.

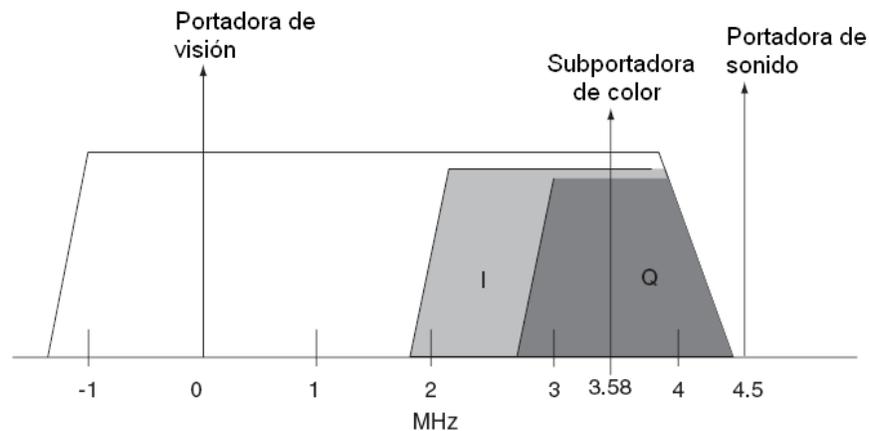


Figura 2.10 Componentes de una señal a color en el sistema NTSC.

2.1.14 Tasa de actualización en el sistema a color NTSC

La portadora de visión es modulada en amplitud por la señal de video a color descrita anteriormente, mientras que el sonido (señal de audio) es transmitido mediante el uso de una portadora modulada en frecuencia a un valor mayor de 4.5 MHz. Si la señal de video es afectada por una distorsión no lineal, la portadora de color puede interferir con la portadora de sonido para producir un patrón de puntos sobre la pantalla. Para minimizar esto y evitar cualquier interferencia entre la señal de crominancia y la portadora de audio, la tasa de campo original de 60 Hz se ajusta por debajo del campo original por un factor de $1000/1001$, a 59.94059 campos por segundo.

2.1.15 La señal de color compuesta en el sistema NTSC

Cuando la subportadora modulada es añadida a la señal de luminancia (señal monocromática) para formar la señal de color compuesta, la subportadora modulada aparece como una señal sinusoidal superimpuesta sobre la señal monocromática; haciendo que esta señal cambie en amplitud y en fase. La amplitud de la subportadora representa saturación. Por lo tanto un color totalmente saturado es representado por la amplitud máxima de la subportadora; el color blanco y el color negro son representados por la amplitud cero de la subportadora. El contraste es representado por el ángulo de fase de la subportadora. Una forma de onda típica de una señal de color compuesta se muestra en la Figura 2.11.

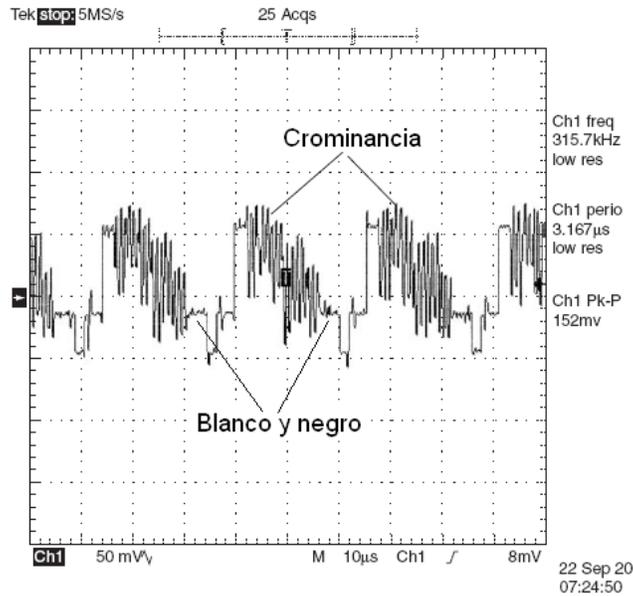


Figura 2.11 Forma de onda de una señal de color compuesta en el sistema NTSC.

2.2 LA TELEVISIÓN DIGITAL [5]

La transmisión de las señales de televisión involucra el uso de una forma de onda de portadora analógica la cual es modulada por la información de video (y de audio). Mientras que la señal portadora es analógica, la información de la señal de video puede ser analógica o digital.

Cuando la información de la señal de video es digital hablamos entonces de lo que se conoce como DTV (*Digital Television*, Televisión digital), en el caso de la televisión analógica la totalidad de la señal de video compuesto, el blanking y los pulsos de sincronía (sync) se transmiten en su forma analógica original. En DTV la señal de video compuesto junto con sus componentes antes mencionados y la información de audio se convierten a un formato digital (señal digital) conformado por una serie de ceros y unos (bits). Esta serie de bits es utilizada para modular a una señal portadora analógica antes de realizar la transmisión. Por el otro lado, en el lado del receptor, el video digitalizado y la información del audio son convertidos a su forma analógica original para que el usuario pueda ver y escuchar la información transmitida.

La transmisión de grandes cantidades de información requiere de un ancho de banda muy amplio, el cual para la televisión analógica (NTSC) se encuentra entre 5 y 6 MHz. Para la transmisión de video digital un ancho de banda diez veces más grande o mayor es necesario. Por esta razón se utilizan técnicas de compresión de datos para reducir el ancho de banda a proporciones manejables. Otras ventajas obtenidas de lo mencionado anteriormente son:

- Muy buena calidad de video.
- Potencia de transmisión más baja, la cual reduce la interferencia de canal adyacente.
- Baja relación señal a ruido.
- Evita la presencia de imágenes secundarias (*Ghosting*).

Por lo tanto, podemos decir que la televisión digital (DTV) es un término genérico el cual incluye a la televisión digital de definición estándar (SDTV, *Standard – definition television*) y a la televisión digital de alta definición (HDTV, *High – Definition television*).

2.2.1 La televisión digital de definición estándar SDTV

[7] Es un formato de televisión digital el cual incluye una resolución de 480 líneas en un formato de escaneo progresivo (480p) o entrelazado (480i); ofrece una mejora perceptible sobre la resolución de la imagen generada por el sistema analógico NTSC, con menor ruido; similar a la calidad de imagen del DVD.

[8] La relación de aspecto para este formato de televisión digital, es de 4:3. [9] De acuerdo al estándar ATSC el formato SDTV puede ser transmitido en 704 píxeles \times 480 líneas (con una relación de aspecto 4:3) o 640 píxeles \times 480 líneas (con una relación de aspecto 4:3). La tasa de actualización de la imagen (*refresh rate*) puede ser de 24, 30 ó 60 cuadros por segundo.

[9] El formato de televisión digital SDTV con una relación de aspecto 4:3 tiene la misma apariencia que el formato de televisión analógico NTSC. El formato de video utilizado para este formato de televisión digital es 720 píxeles \times 480 líneas con un escaneo de imagen entrelazado (480i) y 60 cuadros por segundo. Cuando el aparato receptor tiene la etiqueta “SDTV” indica que cuenta con un sintonizador ATSC para poder trabajar con señales de video digitales.

2.2.2 La televisión digital de alta definición HDTV

[10] Es el formato de televisión digital que ofrece la más alta calidad de imagen disponible comercialmente y sonido envolvente. Tiene una relación de aspecto de 16:9 (*widescreen*) lo que hace a la pantalla relativamente mucho más ancha comparada contra la relación de aspecto 4:3 de la televisión estándar (NTSC) como se muestra en la Figura 2.12.

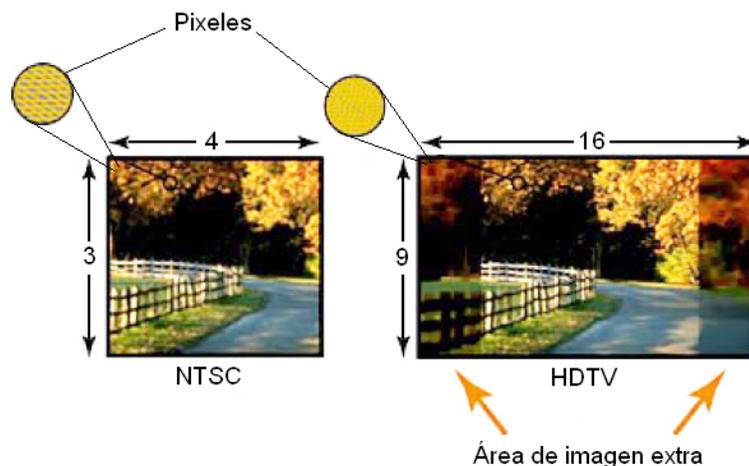


Figura 2.12 Diferencia entre la relación de aspectos entre NTSC y HDTV.

[10] No existe un estándar único para la HDTV, de hecho los sistemas de televisión digital contienen diferentes estándares, pero en la práctica, se encuentran tres formatos primarios los cuales son básicos para la resolución de la imagen en HDTV y son los siguientes:

- 720p: tiene una resolución de 1,280 pixeles horizontales por 720 pixeles verticales (relación 16:9 *widescreen*).
- 1080i: (la mayor resolución dentro del estándar ATSC) utiliza el escaneo entrelazado 1,920 pixeles horizontales por 1,080 pixeles verticales.
- 1080p: utiliza un escaneo progresivo, 1,920 por 1,080 pixeles. En la actualidad el estándar 1080p se encuentra solamente en los reproductores de video de láser azul (*Blue ray*) y de HD – DVD (*High definition DVD*, DVD de alta definición).

Si un programa de televisión, una película o cualquier contenido no cumple con el estándar 720p o 1080i no se considera un programa (contenido) en HDTV.

2.2.3 Principios de la transmisión de video digital

La transmisión de señales de DTV implica tres pasos como se ilustra en la Figura 2.13:

- Digitalización de las señales.
- Compresión de las señales.
- Codificación de canal.

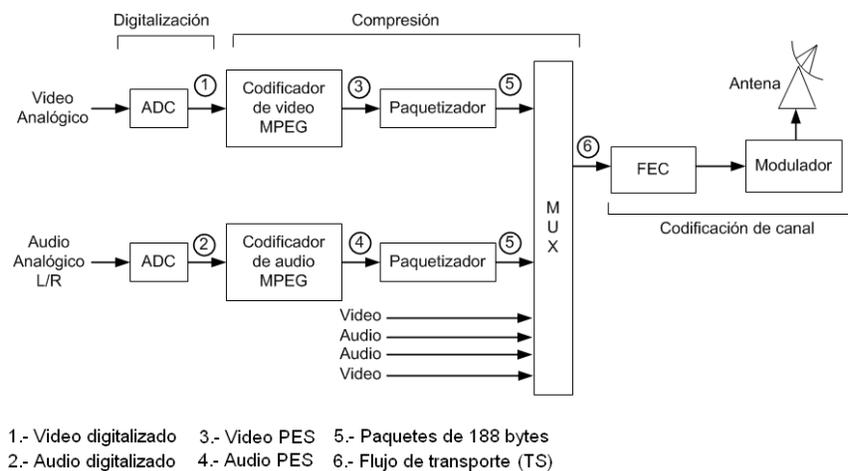


Figura 2.13 Radiodifusión de una señal de DTV.

La digitalización de la señal es el proceso mediante el cual se convierte a la señal de video y de audio analógica en una serie de bits utilizando un convertidor analógico a digital (ADC). Para reducir los requerimientos de ancho de banda, la compresión es utilizada para la información de audio y video. Enseguida la información de audio y video digital pasa al codificador de audio y video de MPEG el cual genera una serie de paquetes de audio y video conocida como flujo elemental empaquetado (PES, *packetised elementary stream*). Esta serie de paquetes es dividida en paquetes más pequeños con una longitud de 188 bytes.

Los paquetes que pertenecen a numerosas señales de video y audio digital se envían hacia un multiplexor para generar lo que se conoce como flujo de transporte de información (TS, *transport stream*). Después de la adición de datos para la corrección de errores por parte del procesador de corrección de errores (FEC, *forward error correction*), el flujo de transporte se utiliza para modular a una señal portadora (modulador) para que finalmente pueda ser transmitida.

Digitalizar una imagen de televisión significa realizar el muestreo de la imagen analógica cuadro por cuadro y explorar línea por línea del cuadro de imagen seleccionado (Figura 2.14). Para mantener la calidad de la imagen, debe haber por lo menos tantas muestras por línea así como píxeles por línea, con cada muestra representando un píxel.

El sistema NTSC utiliza 525 líneas con 480 líneas activas. En cuanto al número de píxeles por línea, SDTV especifica 720 píxeles por línea, dando un número total de píxeles por cuadro de:

$$480 \times 720 = 345,600 \text{ píxeles (NTSC).}$$

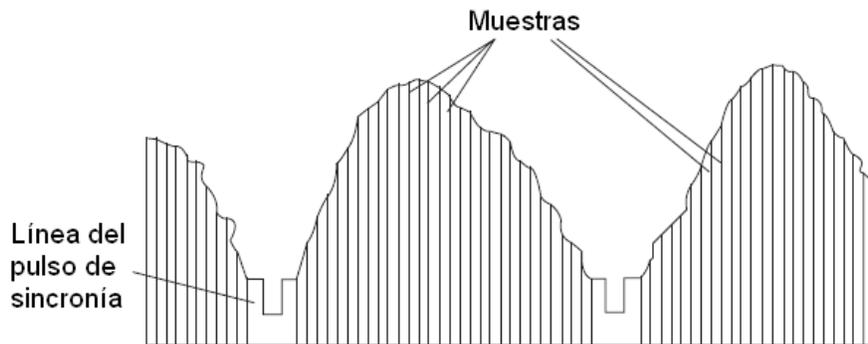


Figura 2.14 Digitalización de una señal de video analógico.

Cada línea de exploración será representada por 720 muestras y cada muestra representará un píxel. La muestra 1 representará el píxel 1, la muestra 2 representará al píxel 2, etc. El proceso se repite para la segunda línea, y así sucesivamente hasta llegar al final del cuadro de imagen y después se repite nuevamente para el cuadro de imagen siguiente. Para asegurarse de que las muestras se toman exactamente en el mismo punto del cuadro de imagen, la frecuencia de muestreo se debe fijar al valor de la frecuencia de línea la cual tiene un valor de 15.734 kHz. Por esta razón, la tasa de muestreo debe ser enteramente divisible para cualquier frecuencia de línea.

La transmisión de televisión a color implica la transmisión de tres componentes de la señal de video a color: luminancia Y y las diferencias del color $C_R = R - Y$ y $C_B = B - Y$. En el sistema analógico de televisión, la luminancia se transmite directo utilizando modulación en amplitud (radiodifusión terrestre) o modulación en frecuencia (radiodifusión satelital). Para los componentes de la señal de crominancia, la modulación de amplitud por cuadratura es utilizada con una subportadora de color de 4.43 MHz. En el sistema de DTV los tres componentes se muestrean independientemente, convirtiéndolos en tres flujos de datos digitales antes del proceso de compresión, modulación y su subsecuente transmisión.

Después de haber efectuado el proceso de muestreo seguimos con el proceso de cuantificación, en donde se redondean los valores obtenidos del muestreo de la señal de video analógica. A su vez estos valores son convertidos en un código binario. El número exacto de niveles altos y bajos (ceros y unos) es determinado por la profundidad de bit, en otras palabras, el número de bits que conforman al código. Una codificación de 8 bits es la adecuada dado que se tiene una profundidad de bit de 8 mientras que el número de niveles de la señal discreta es de $2^8 = 256$. Entonces la tasa de bit puede ser calculada como sigue:

- Tasa de bits = número de muestras por segundo \times número de bits por muestra.
- Pero el número de muestras por segundo = número de muestras por imagen \times número de imágenes por segundo.

Para el sistema NTSC, el número de muestras es:

$$720 \times 480 \times 30 = 1,036,800.$$

2.2.4 El estándar ATSC [11]

Las siglas ATSC (*Advanced Television Systems Committee*, Comité de Sistemas de Televisión Avanzada) son las que le dan nombre a una organización internacional encargada de desarrollar estándares para televisión digital. Los miembros de este organismo representan a las industrias radiodifusoras, entre ellas la industria de electrónica de consumo, de computadoras, de cable (CATV), de comunicación satelital, de semiconductores, etc.

Específicamente, ATSC trabaja para coordinar los estándares para televisión entre diferentes medios de comunicación enfocándose principalmente en la televisión digital, sistemas interactivos, y comunicaciones multimedia de banda ancha. También desarrolla estrategias de implementación para televisión digital y presenta seminarios acerca de los diferentes estándares que componen al estándar ATSC.

Los estándares que maneja ATSC para televisión digital incluyen a la televisión de alta definición (HDTV) y a la televisión de definición estándar (SDTV), la transmisión de datos, audio envolvente multicanal y transmisión satelital.

El estándar ATSC especifica que la transmisión de la señal de video debe realizarse utilizando el estándar MPEG – 2 y para la transmisión de audio el formato AC – 3. Estos temas serán analizados a continuación.

2.2.5 El estándar MPEG – 2

[12] La abreviación MPEG (*Moving pictures experts group*, grupo de expertos en imágenes en movimiento), designa a una organización internacional de expertos encargados de desarrollar estándares para la transmisión de imágenes digitales. Sin embargo la señal de MPEG – 2 puede transportar datos que no tienen nada que ver con el video y el audio.

El estándar MPEG-2 está diseñado para ser extremadamente flexible y poder aplicarlo en una gran variedad de usos posibles. Por ejemplo, el estándar permite trabajar con cuadros de imagen superiores a cuadros de imagen de 16.000×16.000 píxeles y además pueden ser transmitidos a tasas de bit superiores a 100 Gbit/s. Para que un codificador o un decodificador cumplan con una compatibilidad completa con el estándar, necesitan poder manejar los tamaños de cuadro y las tasas de bit antes mencionados.

Como ejemplo práctico analicemos el siguiente caso; una señal de SDTV sin reducción de datos tiene una tasa de 270 Mbit/s y una señal de audio estéreo digital con calidad de disco compacto tiene una tasa de 1.5 Mbit/s. Las señales de video deben ser comprimidas a aproximadamente de 2 a 6 Mbit/s. Las señales de audio tienen una tasa de datos de alrededor de 100 a 400 kbit/s después de la compresión. Lo anterior se muestra en la Figura 2.15.

Las señales comprimidas de video y de audio en MPEG – 2 son llamadas **flujos elementales** (ES, *elementary streams*). En la Figura 2.16 se muestra a los flujos elementales en MPEG – 2.

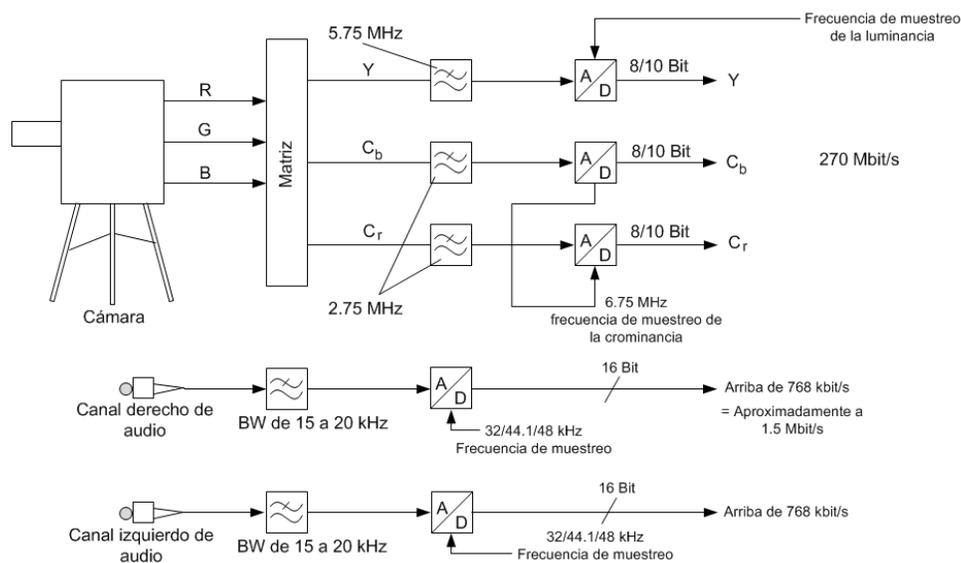


Figura 2.15 Señales de datos de video y audio para SDTV.

Por lo tanto los flujos elementales se componen de los flujos de video, audio y en general flujos de datos, estos últimos contienen cualquier tipo de datos comprimidos o descomprimidos. Después de que los datos son comprimidos (por ejemplo, codificados), todos los flujos elementales serán divididos en paquetes de longitud variable.

Estos flujos elementales a su vez se dividen en paquetes llamados **flujos elementales paquetizados**, o simplemente PES (*packetized elementary streams*). Como se ilustra en la Figura 2.16 cada paquete PES usualmente tiene un tamaño de más de 64 kbytes. Consisten de un encabezado relativamente corto y de una carga (*payload*). El encabezado contiene un indicador con una longitud de 16 bits el cual identifica a la carga (paquete de 64 kbytes).

La parte de la carga contiene los flujos de video o de audio comprimidos e inclusive puede tener un flujo de datos puro. Sin embargo los paquetes de video pueden ser mayores de 64 kbytes en algunos casos.

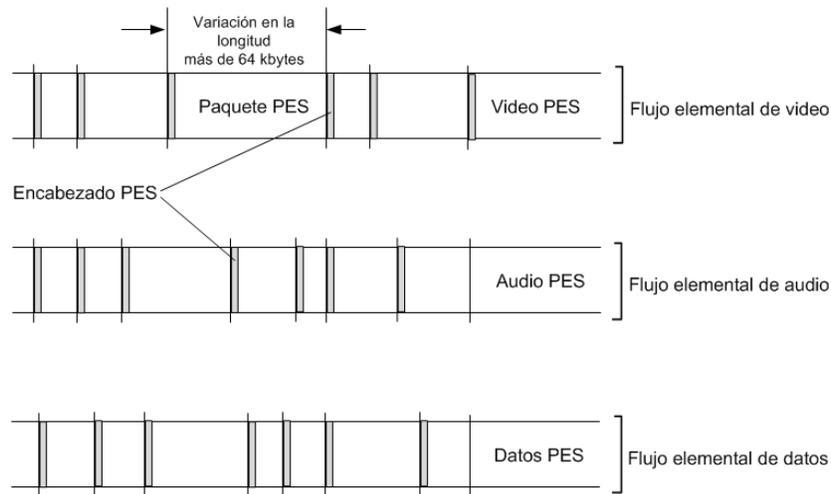


Figura 2.16 Flujos elementales en MPEG – 2.

Como hemos visto todos los flujos elementales en MPEG – 2 primero son empaquetados en forma de paquetes de longitud variable llamados paquetes PES que cuentan inicialmente con una longitud de 64 kbytes y comienzan con un encabezado de 6 bytes de longitud. Los primeros 3 bytes de este encabezado representan el **prefijo del código de inicio** y es utilizado para identificar el inicio de un paquete PES. El siguiente byte del código de inicio es el **identificador de flujo** el cual describe el tipo de flujo elemental siguiente en la carga.

Enseguida hay dos bytes de **longitud de paquete** que son utilizados para direccionar una carga que excede los 64 kbytes de carga usuales. Si ambos bytes son puestos a cero, un paquete PES puede tener una longitud que rebase los 64 kbytes establecidos.

Un **encabezado PES opcional** es transmitido como una extensión opcional del encabezado PES y es adaptado para los requerimientos del flujo elemental actual que comienza a ser transmitido. Éste es controlado por once banderas de un total de 12 bits correspondientes al encabezado PES opcional. Estas banderas muestran cuáles componentes son presentados actualmente en los **campos opcionales** del encabezado opcional PES y cuáles no.

La longitud total del encabezado PES está conformada por el campo conocido como **longitud de los datos del encabezado PES**. Los campos opcionales en el encabezado dentro del encabezado opcional contienen, entre otras cosas, la **señalización de tiempo de presentación** (PTS, *presentation time stamps*) y la **señalización de tiempo de decodificación** (DTS, *decoding time stamps*), los cuales son importantes para la sincronización del video y del audio.

En MPEG – 2, el objetivo es ensamblar arriba de 6, 10 o incluso 20 señales de video junto con su señal de audio respectiva para formar una señal conocida como señal MPEG – 2 multiplexada (Figura 2.17). Esta señal de datos es transmitida vía satélite, por cable o por enlaces de transmisión terrestre. Para este fin, los paquetes PES grandes son divididos adicionalmente en paquetes más pequeños de longitud constante. Partiendo de los paquetes PES pequeños se toman piezas grandes de 184 bytes y a éstas se les añade otro encabezado de 4 bytes de longitud, formando paquetes de 188 bytes llamados **paquetes de flujo de transporte** los cuales son multiplexados.

Un flujo de transporte MPEG – 2, el cual se muestra en la Figura 2.18, contiene paquetes de flujo de transporte con una longitud de 188 bytes (audio, video y señales de datos). Dependiendo de las tasas de datos, los paquetes de uno o de otros flujos elementales se presentarán con mayor o menor frecuencia en el flujo de transporte de MPEG – 2.

El flujo de transporte MPEG – 2 consiste de paquetes que mantienen una longitud constante (Figura 2.19). Esta longitud es siempre de 188 bytes, con 4 bytes de encabezado y 184 bytes de carga. El encabezado contiene numerosos elementos de importancia para la transmisión de los paquetes.

El primer byte del encabezado es el llamado **byte sync**. Siempre tiene un valor de 47_{hex} y está dentro del flujo de transporte. El byte sync se utiliza para sincronizar al paquete en el flujo de transporte.

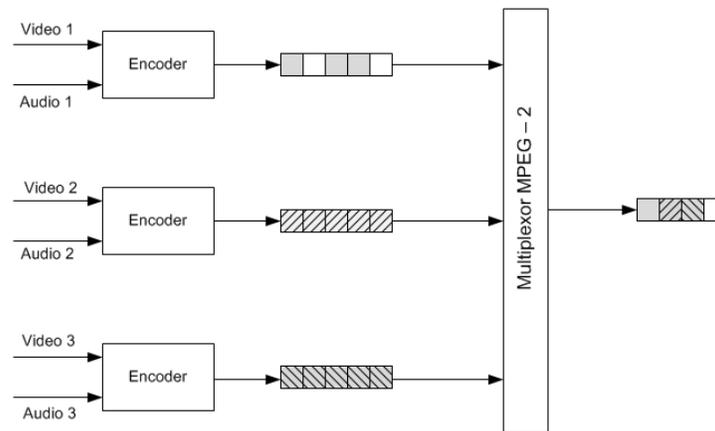


Figura 2.17 Multiplexación de paquetes de flujo de transporte MPEG – 2.

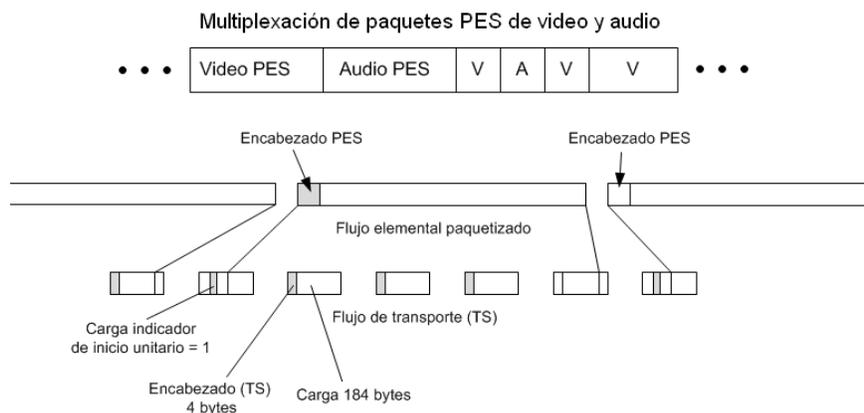


Figura 2.18 Formación de paquetes de flujo de transporte MPEG – 2.

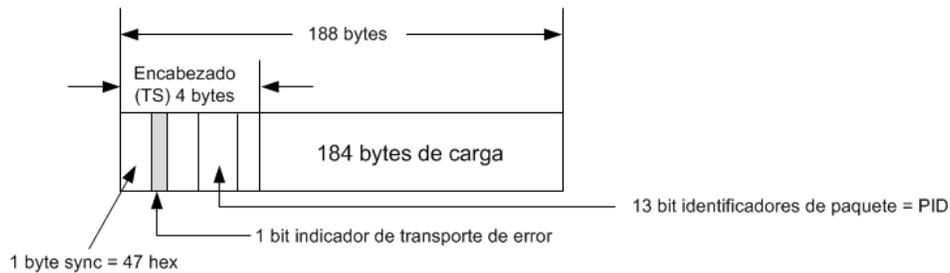


Figura 2.19 Paquete de flujo de transporte MPEG – 2.

Otro componente importante del flujo de transporte es el **identificador de paquete** o PID (*packet identifier*) que cuenta con una longitud de 13 bits. Su función es la de describir el contenido corriente de la carga. El bit que se encuentra entre el byte sync y el PID es el **bit indicador de error de transporte**. Con este bit, los paquetes de flujo de transporte son para corregir cualquier error que se haya efectuado durante el proceso de transmisión. Estos bits son agregados por el demodulador al final del enlace de transmisión.

2.2.6 El formato AC – 3 [13]

Para hacer más eficiente la transmisión de señales de audio la cantidad de información requerida para representar a estas señales de forma digital se puede reducir. En el caso de las señales de audio digital, la cantidad de información digital necesaria para poder reproducir con precisión las muestras de la modulación por codificación de pulsos (PCM, *pulse code modulation*) originales se puede reducir aplicando un algoritmo de compresión digital, dando como resultado una representación digital comprimida de la señal de audio original (el término *compresión* hace referencia a la reducción de la cantidad de información digital la cual se puede almacenar o grabar en algún dispositivo de almacenamiento, y no a la compresión del rango dinámico de la señal de audio). El objetivo del algoritmo de compresión digital es generar la representación digital de una señal de audio analógica, la cual cuando es decodificada y reproducida suena como la misma señal original analógica, utilizando un mínimo de información digital (tasa de bits) para la representación comprimida (codificada).

El algoritmo de compresión utilizado por el estándar ATSC se conoce como algoritmo de compresión digital AC – 3 y puede codificar una fuente de audio la cual tiene una representación PCM (desde 1 y hasta 5.1 canales) en un flujo de bits en serie para una tasa de datos que va desde 32 kbps y llega a los 640 kbps. El canal 0.1 indica que es un canal con un ancho de banda fraccional empleado para funcionar solamente con las señales de baja frecuencia (*subwoofer*).

Una aplicación práctica en un sistema de comunicación satelital de este algoritmo se muestra en la Figura 2.20. En este ejemplo, una señal de audio de 5.1 canales se convierte de una representación PCM que requiere más de 5 Mbps en un flujo de bits en serie de 384 kbps utilizando un codificador AC – 3. El transmisor de la estación terrena convierte este flujo de bits en una señal de RF la cual es dirigida hacia el transpondedor del satélite.

La cantidad de ancho de banda y potencia requerida por el transmisor se ha reducido al utilizar el algoritmo de compresión digital AC – 3. La señal proveniente del satélite es demodulada y nuevamente

se obtiene un flujo de bits en serie de 384 kbps y a su vez esta señal es decodificada mediante el decodificador de AC – 3 dando como resultado la señal original de 5.1 canales.

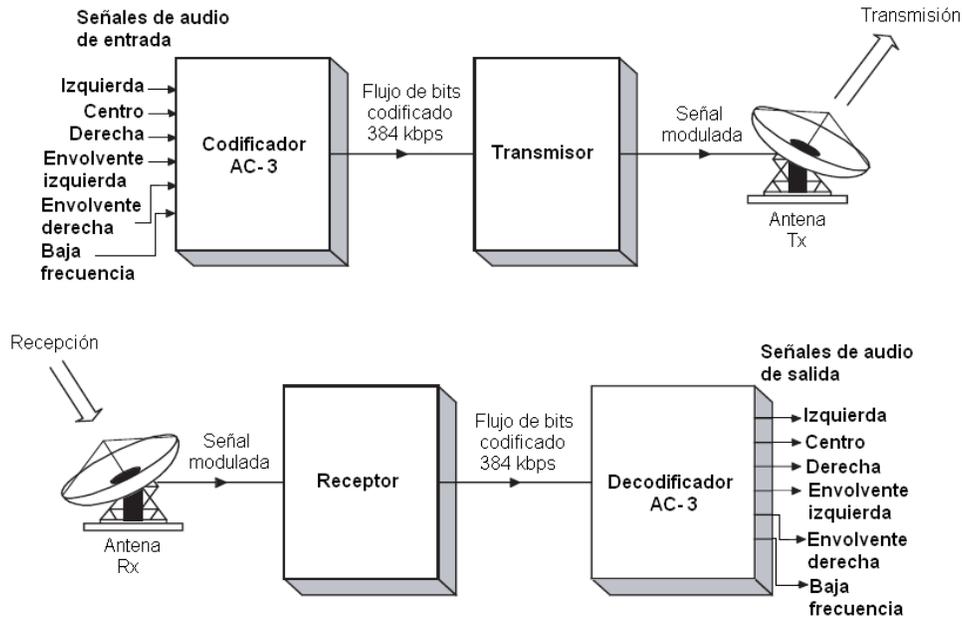


Figura 2.20 Ejemplo de aplicación del algoritmo de compresión AC – 3 para una transmisión satelital de audio.

En AC – 3 el flujo de bits en serie de audio codificado se compone por una secuencia de bloques de sincronización los cuales se muestran en la Figura 2.21. Cada bloque de sincronización contiene 6 bloques de audio codificado (*AB, Audio block*) cada uno de los cuales representa 256 nuevas muestras de audio por canal, un encabezado de sincronización de información (*SI, synchronization information*) al comienzo de cada bloque el cual contiene la información necesaria para mantener y hacer más precisa la sincronización. Enseguida del encabezado SI se encuentra el encabezado de información de flujo de bit (*BSI, Bit stream information*) que contiene los parámetros necesarios para describir al tipo de servicio de audio codificado, un campo auxiliar de datos (*Aux*) el cual se localiza después de los bloques de audio codificado.

Al final del flujo de bits en serie se encuentra un campo de corrección de error el cual incluye una palabra para detección de error (*CRC*). Una palabra CRC adicional se encuentra en el encabezado de sincronización de información *SI*.

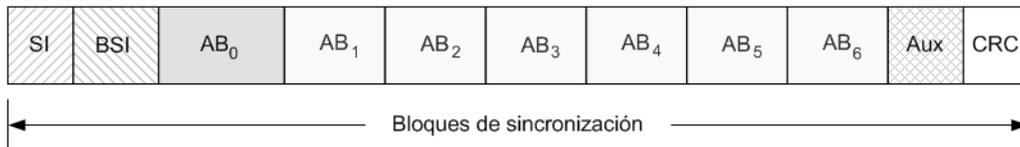


Figura 2.21 Bloques de sincronización AC – 3.

El codificador AC – 3 acepta audio PCM y genera un flujo de bits codificados. El algoritmo AC – 3 permite alcanzar una alta ganancia de codificación (relación de la tasa de bits de entrada con respecto a

la tasa de bits de salida) mediante una cuantización precisa en el dominio de la frecuencia de la señal de audio.

El primer paso en el proceso de codificación es transformar la representación PCM de la señal de audio en el dominio del tiempo en una secuencia de bloques con coeficientes en el dominio de la frecuencia. Esto se lleva a cabo en lo que se conoce como banco de análisis de filtro.

Los bloques que se traslapan pertenecientes a las 512 muestras en el dominio del tiempo son agrupados en una muestra de tiempo y pasan del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia.

Cada muestra de entrada PCM es representada en dos bloques secuenciales transformados. La representación en el dominio de la frecuencia entonces puede ser diezmada por un factor de dos. De esta manera cada bloque contiene 256 coeficientes de frecuencia. Los coeficientes de frecuencia individuales son representados en una notación binaria exponencial con un exponente binario y una mantisa.

El conjunto de exponentes es codificado en una representación precisa del espectro de la señal el cual es referido a la envolvente espectral. Esta envolvente espectral es utilizada por la rutina de localización de bit en el núcleo, la cual determina cuantos bits se pueden utilizar para codificar cada mantisa individual.

La envolvente espectral y las mantisas cuantificadas de manera precisa para los seis bloques de audio (1536 muestras de audio por canal) son transformadas en el cuadro de sincronización el cual tiene el formato AC – 3. El flujo de bits AC – 3 es una secuencia de bloques AC – 3.

Otras funciones que desempeña el codificador AC – 3 son las siguientes:

- 1.- Relaciona a los encabezados de bloque con la información que contiene.
- 2.- Introduce códigos de detección de errores para permitir que el decodificador verifique que el bloque o el dato recibido se encuentra libre de errores.
- 3.- Altera la resolución espectral del banco de filtros de análisis, en ocasiones para acoplar mucho mejor las características de tiempo/frecuencia de cada bloque de audio.
- 4.- Puede codificar la envolvente espectral con una resolución variable de tiempo/frecuencia.
- 5.- Desempeña una localización de bit más compleja.
- 6.- Acopla a los diferentes canales juntos a altas frecuencias para permitir altas ganancias de codificación para una operación a bajas tasas de bits.

El proceso de decodificación es básicamente el proceso inverso al de codificación. El decodificador debe sincronizar al flujo de bits codificado, revisar los errores y darle formato a los diferentes tipos de datos tales como la envolvente espectral codificada y las mantisas cuantizadas.

La rutina de localización de bit es aplicada y los resultados utilizados para descomprimir y descuantizar las mantisas. La envolvente espectral es decodificada para producir los exponentes. Los exponentes y mantisas son transformados de nuevo en el dominio del tiempo para generar muestras de tiempo decodificadas PCM.

Otras funciones que desempeña el decodificador AC – 3 son las siguientes:

- 1.- Oculta los errores en el caso de que sean detectados.
- 2.- Desacopla a los canales que tienen su contenido acoplado en alta frecuencia.

CAPÍTULO 3

CÁLCULO DEL PRESUPUESTO DE ENLACE PARA EL SISTEMA DE COMUNICACIÓN SATÉLITAL (SCPC – FDMA)

Antes de proceder con la realización del cálculo del presupuesto de enlace (*link budget*) para esta aplicación, se llevará a cabo una introducción acerca de algunos tópicos referentes al sistema de comunicación satelital SCPC – FDMA.

Dentro de las técnicas de acceso al satélite conocidas (TDMA, FDMA y CDMA), en esta aplicación se utilizará FDMA junto con una técnica perteneciente a FDMA conocida como SCPC a continuación se lleva a cabo el análisis estos temas.

3.1 ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA (FDMA, *Frequency division multiple access*)

[4] FDMA es una técnica simple y ampliamente utilizada por las comunicaciones satelitales para acceso múltiple, en donde cada estación terrena en una red satelital transmite una o más portadoras a diferentes valores de frecuencias centrales hacia un transpondedor el cual se encuentra en el satélite.

A cada portadora se le asigna una banda de frecuencia junto con una banda de separación para evitar el traslape (interferencia) entre portadoras adyacentes. El transpondedor que está en el satélite recibe a todas las portadoras provenientes de las estaciones terrenas en un solo ancho de banda, las amplifica y las retransmite de regreso hacia la estación terrena receptora.

La estación terrena que recibe el haz proveniente del transpondedor que se encuentra en el satélite puede seleccionar a la portadora que contiene el mensaje para la estación terrena. Lo anterior se muestra en la Figura 3.1.

En este tipo de sistema cada portadora puede tener una modulación analógica (modulación en frecuencia FM), o modulación digital (PSK). Un problema principal que se presenta en la operación de los sistemas satelitales FDMA es la presencia de los productos de intermodulación en el ancho de banda de la portadora producidos por el uso de un TWTA (*Traveling wave tube amplifier*, tubo amplificador de onda viajera) común, el cual se encuentra en el transpondedor del satélite.

Mientras que el número de portadoras aumenta, es necesario operar el TWTA cerca del nivel de saturación para suministrar la potencia necesaria para cada portadora. De esta manera se puede reducir el efecto del ruido térmico presente en el enlace descendente.

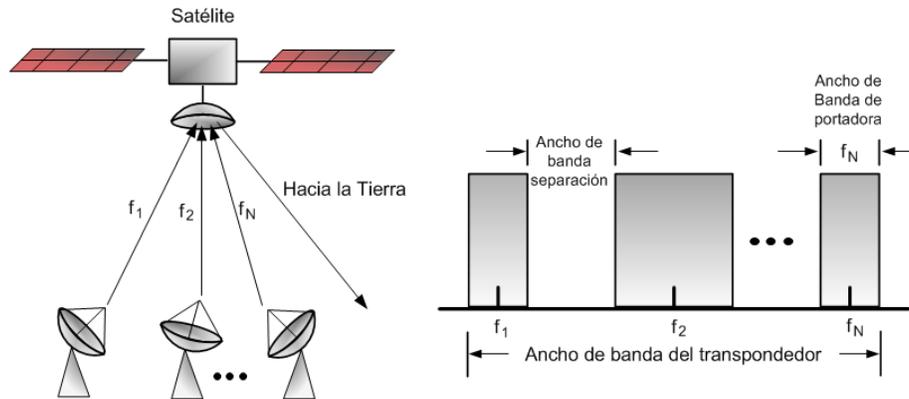


Figura 3.1 Concepto de un sistema FDMA.

Pero cerca del nivel de saturación el traslado de la amplitud de entrada/salida característico del TWTA es no lineal, y en consecuencia el nivel de los productos de intermodulación se incrementa y afecta al desempeño del sistema completo. Determinar la relación portadora a intermodulación es crucial en cualquier sistema FDMA porque determina directamente un límite sobre la relación portadora a ruido del enlace satelital completo.

Existen dos técnicas principales de FDMA en operación actualmente:

- MCPC (*Multichannel per carrier*, Multicanal por portadora): la frecuencia de una estación terrena transmisora se divide para multiplexar varios canales de portadora suprimida de banda lateral única en una señal en banda base ensamblada, la cual modula la frecuencia de una señal portadora de RF y es transmitida hacia un transpondedor FDMA que se encuentra en el satélite.
- SCPC (*Single channel per carrier*, Canal único por portadora): cada canal utilizado modula de manera independiente a una portadora de RF por separado, y es transmitido hacia el transpondedor FDMA que se encuentra en el satélite. La modulación puede ser analógica como FM o digital, por ejemplo PSK.

[2] En la Figura 3.2 se muestra la relación entre las señales de entrada y de salida hacia/desde el repetidor que se encuentra a bordo del satélite. En FDMA se deben utilizar bandas de separación para evitar la interferencia entre canales adyacentes para evitar los efectos de la intermodulación producida por la no linealidad del amplificador de potencia del repetidor. El punto de operación del amplificador de potencia debe estar lo más cerca que sea posible a la región de operación lineal mediante el incremento del back off, y los canales deben ser cuidadosamente designados para evitar la interferencia debida a la intermodulación. Estas medidas originan pérdidas de potencia y de ancho de banda.

En FDMA es necesario ajustar de manera sutil el nivel de back off en el amplificador de potencia para evitar el incremento de la interferencia debido a la intermodulación.

En resumen, FDMA puede ser configurado con uno o más canales por portadora. Los sistemas en los cuales cada portadora es configurada mediante un canal único se conocen como SCPC, y los sistemas en los cuales portadoras individuales son configuradas por dos o tres canales son llamados MCPC.



Figura 3.2 Señales de acceso múltiple a la entrada y a la salida del repetidor en un sistema real P es la potencia, f es la frecuencia de las señales e IM es la intermodulación.

A continuación, se hablará de la técnica SCPC con más detalle debido a que es una de las partes fundamentales de este trabajo de tesis. Ya que el sistema de comunicación satelital propuesto utiliza esta técnica junto con FDMA para poder tener acceso al satélite.

3.2 CANAL ÚNICO POR PORTADORA (SCPC)

[2] En un sistema SCPC, cada onda portadora es modulada con un canal de audio único o canal de datos único y es transmitida hacia el satélite. Los esquemas de modulación tales como FM y PSK son los de mayor uso en los sistemas SCPC hasta el día de hoy. La característica principal de este sistema es que las señales usualmente no provienen de una sola estación terrena. La ventaja de los esquemas SCPC es que la demanda de asignación de canal es fácil.

En términos de eficiencia del sistema y de flexibilidad, SCPC es muy útil en las redes donde existe un gran número de estaciones terrenas las cuales generan poco tráfico. Sin embargo, es más susceptible a la intermodulación porque un gran número de ondas portadoras son amplificadas juntas. En la Figura 3.3 se muestra el espectro de los productos de intermodulación generados cuando ondas sin modular de igual amplitud y separación de frecuencia son amplificadas por un repetidor no lineal. El espectro de intermodulación se extiende sobre un ancho de banda tres veces más ancho que la banda de frecuencias ocupadas por las señales. Se deben establecer contramedidas para reducir este problema, como por ejemplo métodos de asignación de frecuencia y el uso de linealizadores para mejorar las características de amplificación no lineal.

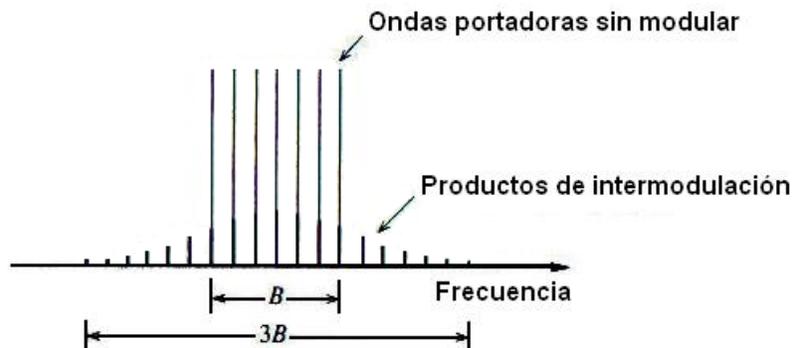


Figura 3.3 Productos de intermodulación resultantes de las señales con igual separación de frecuencia (si las señales ocupan un ancho de banda B , entonces los productos de intermodulación ocupan un ancho de banda de $3B$).

3.2.1 Métodos de control de enlace SCPC

[2] SCPC está relacionado con el desarrollo técnico del acceso múltiple asignado por demanda (DAMA). Los métodos de control de enlace utilizados por DAMA pueden ser divididos en métodos de control centralizados y dispersos. En los métodos de control centralizados, una estación central de control maneja todas las asignaciones de canal.

Cada estación terrena es conectada a esta estación de control central mediante un canal señalizado único y este canal es utilizado para controlar acciones tales como los requerimientos de comunicación, la asignación de canal y la finalización de las sesiones de comunicación. En el método de control disperso, cada estación terrena lleva a cabo su propio control de canal, como por ejemplo la asignación de canales listos para ser usados en una transmisión.

3.2.2 El efecto de las características del amplificador no lineal

En SCPC, un gran número de señales son amplificadas juntas por el repetidor (transpondedor) que se encuentra en el satélite. En un amplificador lineal perfecto, la amplitud y la fase de las señales de salida individuales no son afectadas por las otras señales que son amplificadas junto con estas. Pero aunque los tubos amplificadores de onda viajera (TWTA) y los amplificadores de potencia de estado sólido (SSPA, *Solid state power amplifiers*) utilizados en los satélites operan linealmente mientras la potencia de la señal de entrada es baja, su comportamiento llega a ser no lineal conforme la potencia de la señal aumenta.

Como se muestra en Figura 3.4, cuando un amplificador se encuentra operando en la región no lineal, las señales que son amplificadas juntas están sujetas a los siguientes efectos:

- Productos de intermodulación.
- Espectro disperso debido a la distorsión de la señal.
- Supresión de señales pequeñas.

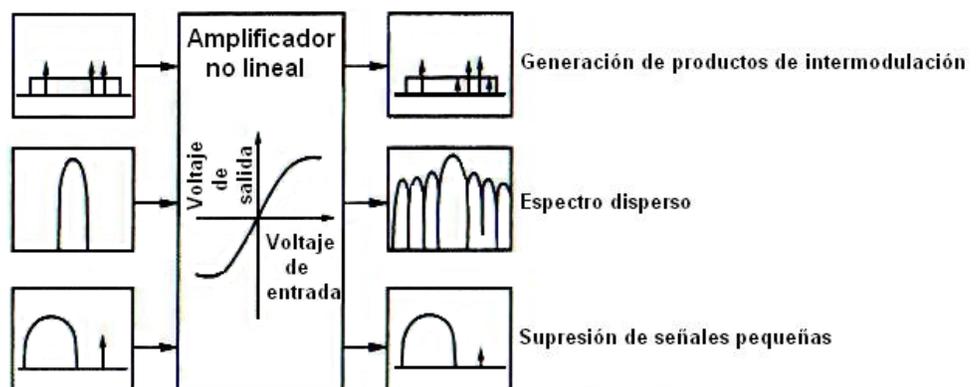


Figura 3.4 Principales efectos de la no linealidad de un repetidor que se encuentra en el satélite.

El producto de intermodulación tiene como efecto generar un producto de multiplicación entre las señales el cual interfiere con las señales de entrada. La distorsión de la señal origina el espectro de las señales de salida las cuales se dispersan e interfieren con los canales vecinos como se muestra en la Figura 3.4, y también resulta en la distorsión de las señales causada por ellas mismas. El efecto de la supresión de señales pequeñas origina que señales de entrada de baja potencia que son amplificadas junto con otras señales de alta potencia, se eliminen a la salida del amplificador.

3.2.3 Producto de intermodulación

Cuando múltiples señales se amplifican juntas, la potencia total de salida es más baja que en el caso donde una señal es amplificadas, porque la potencia de salida se dispersa y se pierde para diferentes bandas de frecuencia.

Para un conjunto de señales de entrada a frecuencias $\{f_1, f_2, f_3, \dots, f_n\}$, las frecuencias generadas por los productos de intermodulación se pueden expresar de la siguiente manera.

$$f_{IM} = m_1 f_1 + m_2 f_2 + \dots + m_n f_n$$

donde $\{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ son coeficientes enteros. Partiendo de que el ancho de banda de paso de un repetidor localizado en el satélite es mucho menor que la frecuencia de la señal portadora, la señal sólo se encuentra sujeta a la interferencia producida por los productos de intermodulación con componentes de frecuencia que caen dentro de la misma banda de frecuencia, del mismo modo que las señales de entrada. Los productos de intermodulación del tercer y quinto orden son en particular de suma importancia:

$$\begin{aligned} 3er\ IM: f_{IM3} &= f_i - f_j + f_k, 2f_i - f_j \\ 5to\ IM: f_{IM5} &= f_i - f_{ji} + f_k - f_l - f_m, \dots \\ &\text{para } i, j, k, l, m = 1, 2, 3, \dots, n \end{aligned}$$

En el punto de operación de un repetidor ordinario, la contribución de potencia de estas componentes decrece cuando el orden de los productos de intermodulación se incrementa. Cuando f_{IM} llega o se acerca a la frecuencia de la señal, la interferencia es producida y resulta en la degradación de la señal.

3.2.4 Contramedidas para intermodulación

Las siguientes medidas son normalmente adoptadas para reducir los efectos de los productos de intermodulación:

- Hacer el back off de entrada lo suficientemente grande para reducir los efectos de la no linealidad en el amplificador.
- Seleccionar la asignación de frecuencias para las señales, de esta manera se reducen los efectos de los productos de intermodulación.

c) Utilizar un linealizador o algo similar para mejorar las características del amplificador no lineal.

En el caso de (a), al hacer el back off lo suficientemente grande disminuirá la eficiencia de la utilización de la potencia del repetidor y se reduce el número de canales que pueden ser seleccionados por repetidor. Para (b) métodos de asignación de frecuencias óptimos han sido estudiados, y se ha demostrado que con una correcta asignación de frecuencias se pueden evitar los efectos de los productos de intermodulación de tercer y quinto orden. Sin embargo, esto requiere un ancho de banda demasiado grande. Normalmente un arreglo de frecuencias que produce este efecto tan pequeño como sea posible es adoptado y una combinación de los métodos (a) y (c) es utilizada.

El método (c) involucra el uso de un linealizador con complementos característicos para el repetidor no lineal para que de esta manera se reduzcan los efectos producidos por las características del amplificador no lineal.

3.3 Modulación y requerimientos de codificación propuestos por el estándar ATSC para aplicaciones sobre satélite

La modulación y la codificación de los datos para llevar a cabo una transmisión y una recepción satelital son los objetivos principales del estándar ATSC. Esto tiene como consecuencia la transformación de los datos mediante el uso de las técnicas de corrección de errores, el mapeo de la señal y la modulación para producir una portadora digital propicia para la transmisión satelital. En particular se proponen los siguientes esquemas de modulación:

- Modulación por cuadratura de cambio de fase (QPSK).
- Modulación por cambio de fase ocho (8PSK).
- Modulación por cuadratura de amplitud dieciséis (16QAM).

La principal diferencia entre QPSK, 8PSK y 16QAM es la cantidad del ancho de banda y de la potencia requerida para la transmisión. Generalmente, para la misma tasa de datos un ancho de banda progresivamente menor es utilizado por QPSK, 8PSK y 16QAM respectivamente, pero la mejoría en la eficiencia del ancho de banda es acompañada por un incremento en la potencia para entregar el mismo nivel de calidad de la señal transmitida.

Otro parámetro, la codificación, también influye en la cantidad de ancho de banda y de potencia requerida para la transmisión. La codificación, en particular la corrección de error hacia adelante (FEC), añade información al flujo de datos, lo que reduce la cantidad de potencia requerida para la transmisión y mejora la reconstrucción del flujo de datos recibido en el demodulador. Mientras que la adición de más bits de corrección mejora localidad de la señal recibida, esto también consume más ancho de banda en el proceso. Así, la selección de FEC sirve como otra herramienta para balancear el ancho de banda y la potencia en el enlace de transmisión satelital.

3.3.1 Definición del sistema

Un sistema de transmisión satelital digital es capaz de entregar datos desde una localidad hacia uno o más destinatarios. Un diagrama a bloques de un sistema sencillo se muestra en la Figura 3.5.

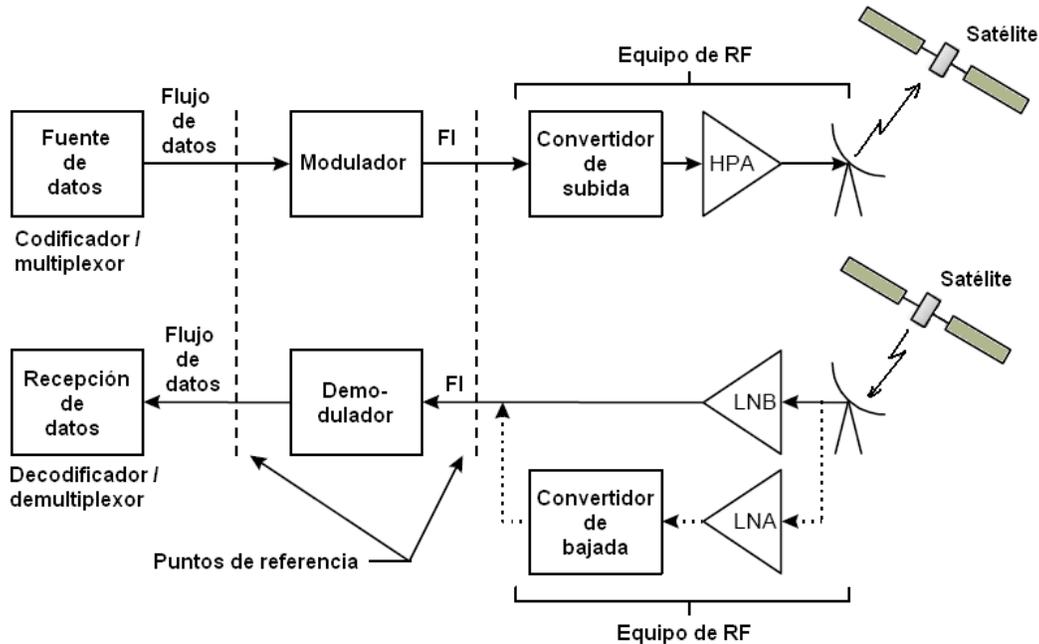


Figura 3.5 Diagrama a bloques del sistema.

En el diagrama el modulador acepta un flujo de datos y opera con estos datos para generar una señal portadora de frecuencia intermedia (FI) adecuada para la transmisión satelital. Los datos son llevados hacia la sección de FEC, se les añaden bits de información y se mapean para una modulación QPSK. Se realiza una conversión de frecuencia y otras operaciones para generar finalmente la portadora de frecuencia intermedia. La elección del tipo de modulación y de la FEC afecta al ancho de banda de la señal de FI producida por el modulador. Seleccionando QPSK se consume un menor ancho de banda.

Es por esta razón que en esta aplicación se utilizará el tipo de modulación QPSK. La codificación FEC tiene un impacto similar sobre el ancho de banda. La codificación más poderosa añade más información al flujo de datos e incrementa al ancho de banda utilizado por la señal de FI emitida por el modulador. Existen dos tipos de codificación aplicada en el modulador. Un código de salida Reed Solomon es concatenado con un código convolucional trellis interno para producir una corrección de error cuya capacidad excede la habilidad de cualquier método de codificación utilizado. La cantidad de codificación está referida a la tasa de código, cuantificada mediante una fracción adimensional (k/n) donde n indica el número de bits de salida del codificador dados k bits de entrada. La tasa de código de Reed Solomon está fijada a 188/204, pero la tasa de código del convolucional trellis interno se puede modificar ofreciendo la oportunidad de modificar el ancho de banda de la señal de FI transmitida. Por ejemplo eligiendo una tasa de código interno alta de 7/8 en vez de 1/2 se reduce el ancho de banda utilizado por una tasa de información dada.

Una consecuencia de seleccionar un tipo de modulación más eficiente del ancho de banda o una tasa de código interno más alta se refleja en el incremento de la potencia requerida para entregar el mismo nivel de desempeño. La principal medida de la potencia es el E_b/N_0 (energía por bit utilizable relativa a la potencia de ruido por Hz), y el principal parámetro del desempeño es la relación de error de bit (BER) entregada a una E_b/N_0 particular para video digital, una BER de alrededor de 10^{-10} es necesaria para producir alta calidad de video.

3.4 El sistema de transmisión

Los requerimientos para los procesos de modulación y codificación realizados sobre el flujo de datos de entrada se especifican a continuación.

3.4.1 Definición del sistema de banda base y del modulador

Para este estándar, los requerimientos para los procesos antes mencionados son definidos solamente para el modulador, lo cual es suficiente para permitir el diseño de un receptor para recuperar el flujo de datos transmitido. Los siguientes procesos deberán ser aplicados al flujo de datos (ver la Figura 3.6 en la cual se muestra al segmento del modulador desarrollado – lo que se encuentra entre las líneas punteadas en la Figura 3.5 –):

- Dispersión de energía y paquetización.
- Codificación externa Reed Solomon.
- Adición de paquetes de información (bits agregados al flujo de datos).
- Codificación interna convolucional.
- Forma de la banda base para modulación.
- Modulación.

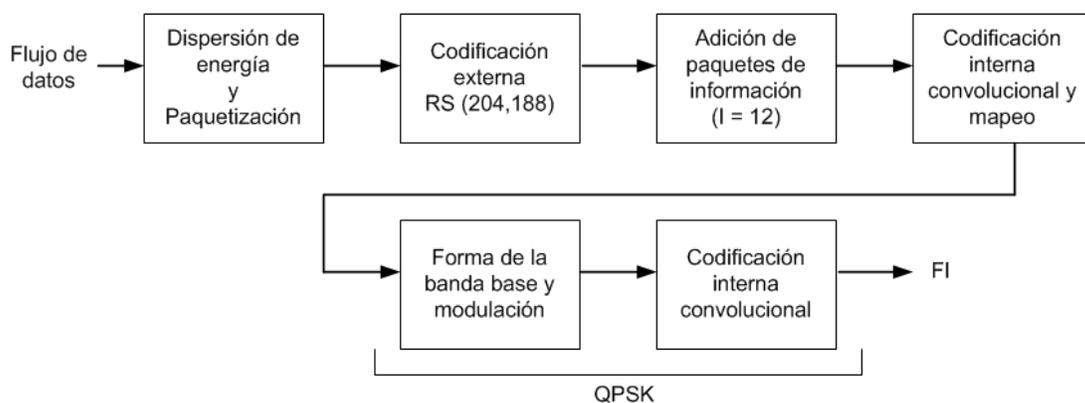


Figura 3.6 Diagrama a bloques de la banda base y del modulador.

Flujos de datos

El flujo de datos es la entrada digital aplicada al modulador. El estándar ATSC no especifica la interface, así el flujo de datos presentado para la paquetización y el bloque de energía dispersa se muestra de manera conceptual como un flujo de datos serie, aunque un flujo de bits paralelo es igualmente válido. Debe haber dos tipos de estructuras de paquetes soportadas por el estándar, como se muestra en la Tabla 3.1.

Mapeo de bits para una constelación QPSK

El flujo de bits serial (ver Figura 3.7) deberá ser alimentado directamente dentro del codificador convolucional.

Tabla 3.1 Estructuras del flujo de datos de entrada.

Tipo	Descripción
1	La estructura del paquete deberá tener una tasa constante de flujo transporte MPEG-2 (188 ó 204 bytes por paquete incluyendo al byte sinc 0x47, al primer BMS).
2	La salida deberá tener una tasa de flujo de datos constante que es arbitraria. En este caso, el modulador toma sucesivamente porciones de 187 bytes de este flujo y prepara un byte de sinc 0x47 para cada porción, para crear un paquete de 188 bytes MPEG-2 (el demodulador deberá quitar esta paquetización así como entregarla al flujo arbitrario original a la salida del demodulador).

Las salidas C1 y C2 del codificador convolucional de punto (*Puncturing*) deberán ser enviadas directamente al mapeador (*mapper*) QPSK.

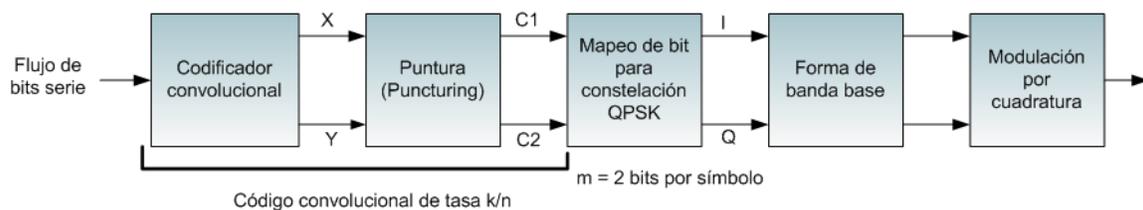


Figura 3.7 Principio del código interno para QPSK.

El sistema emplea modulación QPSK en código Gray con un mapeo absoluto (no es codificación diferencial). El mapeo de bits en la constelación QPSK es como el que se muestra en la Figura 3.8. Si el factor de normalización $1/\sqrt{2}$ es aplicado a los componentes I y Q, la energía por símbolo promedio correspondiente llega a ser igual a uno.

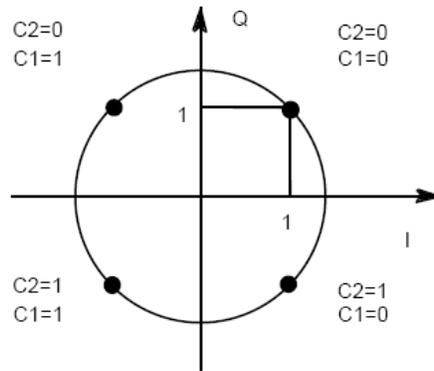


Figura 3.8 Mapeo de bit dentro de una constelación QPSK.

3.5 Modos QPSK

Los requerimientos de los modos para QPSK son presentados en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Desempeño del sistema (modos QPSK).

Tasa del Código Interno	Eficiencia espectral (bit/simbolo)	Margen de implementación (dB)	E_b/N_0 requerida (Nota 1) para BER = 2×10^{-4} antes de RS: QEF (Nota 2) despues de RS (dB)
1/2	0.92	0.8	4.5
2/3	1.23	0.8	5.0
3/4	1.38	0.8	5.5
5/6	1.53	0.8	6.0
7/8	1.61	0.8	6.4

Notas:

- (1) Las cifras de E_b/N_0 son referidas para la tasa de bits útil R_u (formato de 188 bytes, antes de la codificación RS), tomando en cuenta el incremento del ruido en el ancho de banda debido al código de salida RS, igual a $10 \log(188/204) \approx 0.36$ dB, incluyendo el margen de implementación;
- (2) Casi libre de error (QEF, *Quasi error free*) significa menos de un error sin corregir en un evento por hora, correspondiente a una BER de 1×10^{-10} hasta 1×10^{-11} a la salida del decodificador RS.

El estándar ATSC propone los siguientes valores de roll – off mostrados en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Valores de roll–off propuestos por el estándar ATSC.

Roll – Off	Valor
α_1	0.25
α_2	0.35

En el Anexo A se muestra la máxima tasa de bit utilizable para las estructuras de flujo de datos del tipo 1 y 2 para QPSK con un roll off de $\alpha = 0.35$.

3.6 Distorsión del alimentador de la antena

[14] La distorsión del alimentador de la antena o eco de distorsión es producido por los desacoplamientos en la línea de transmisión que unen al equipo de transmisión con la antena. Estos desacoplamientos generan ecos o reflexiones de la onda incidente. Una distorsión similar puede ser originada por el manejo de un nivel de frecuencia intermedia (FI) alto; sin embargo en la mayoría de los casos, esto no es tan significativo.

El eco de distorsión resulta de la recepción de una segunda señal en el receptor, pero esta señal lleva un retardo de tiempo. En una propagación de múltiples trayectorias se producirá el mismo efecto. En este caso, debemos pensar que el tiempo de retraso es aleatorio y varía continuamente.

El nivel de la señal de eco es una función inversa de las pérdidas por retorno en cada uno de los extremos de la línea de transmisión y de su dispositivo de terminación (por ejemplo una antena que se encuentra en un extremo y el equipo de comunicación que se encuentra en el otro extremo). Una señal de eco generada de esta manera deberá de ser constante, partiendo del hecho de que las variables que se han establecido son constantes. Por lo tanto la distorsión creada por el eco deberá ser constante pero puede aparecer o no en la modulación. En otras palabras, si la portadora no fuese modulada, no existiría distorsión debida al eco. Cuando la portadora se modula el eco aparece. La Figura 3.9 ilustra las trayectorias de eco sobre una línea de transmisión.

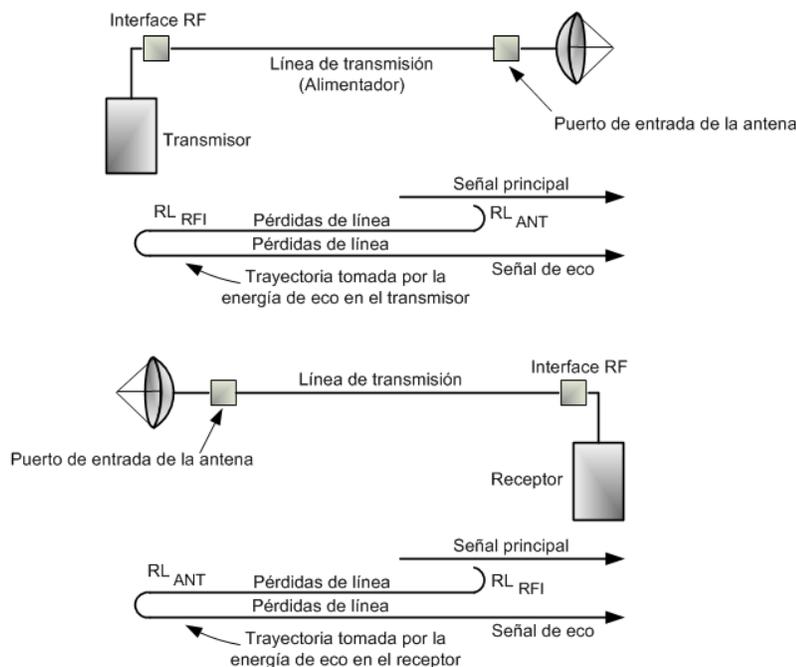


Figura 3.9 Principales trayectorias de la señal de eco. RL_{ANT} son las pérdidas de retorno en la antena y RL_{RFI} son las pérdidas de retorno de radio frecuencia intermedia.

La estimación de la distorsión de eco, expresada como la relación señal a distorsión es el mejor método de aproximación. Las variables de entrada requeridas para realizar el cálculo son el tipo y la longitud de la línea de transmisión o guía de onda utilizadas, las pérdidas por retorno (VSWR, *voltage standing-wave ratio*, voltaje de la relación de onda estacionaria) del equipo de comunicaciones y las pérdidas por retorno de la antena. Estos datos deben ser proporcionados por el fabricante del equipo para calcular las pérdidas de retorno en dB. Partiendo del VSWR, se procede como sigue:

$$R_{dB} = 20 \log(1/\rho)$$

donde ρ es el coeficiente de reflexión, y

$$\rho = \frac{\text{VSWR} - 1}{\text{VSWR} + 1}$$

Dispersión de frecuencia

La dispersión de frecuencia (dispersión Doppler) se presenta cuando existe la dispersión de tiempo. El cambio Doppler y la dispersión son producidos cuando se propagan las señales transmitidas por la ionosfera. Al encontrar superficies elementales cada una con diferente vector de velocidad, esto resulta en una dispersión Doppler que puede tener efectos desastrosos para la comunicación.

3.7 Pérdidas atmosféricas

[15] Las pérdidas ocurren en la atmósfera de la Tierra como resultado de la absorción de la energía por los gases que se encuentran presentes en ella. Estas pérdidas son estudiadas por separado de aquellas que resultan de las condiciones de climas adversos, las cuales también son pérdidas atmosféricas pero para poder distinguirlas, las pérdidas relacionadas con el clima son referidas como atenuación atmosférica y las pérdidas por absorción son conocidas como absorción atmosférica.

Las pérdidas por absorción atmosférica varían con la frecuencia como se muestra en la Figura 3.10. Dos picos de absorción serán observados, el primero a una frecuencia de 22.3 GHz, que resulta de una absorción resonante en vapor de agua (H₂O), y el segundo a 60 GHz resultado de una absorción resonante en oxígeno (O₂). Sin embargo, a frecuencias en donde estos picos se atenúan, la absorción es baja. La gráfica de la Figura 3.10 es para una incidencia vertical, esto es, para un ángulo de elevación de 90° en la antena de la estación terrena. Denotando este valor por pérdidas de absorción como [AA]₉₀ decibeles, entonces para ángulos de elevación debajo de 10°, una fórmula aproximada para calcular la pérdida por absorción en decibeles es:

$$[AA] = [AA]_{90} \operatorname{cosec} \theta$$

donde θ es el ángulo de elevación. Un efecto conocido como sintilación atmosférica puede ocurrir. Éste es un fenómeno de desvanecimiento cuyo periodo puede ocurrir durante muchas décimas de segundo y es causado por los diferentes índices de refracción presentes en la atmósfera, lo cual resulta en el enfoque y el no enfoque de las ondas de radio, las cuales siguen diferentes trayectorias a través de la atmósfera.

3.8 Efectos ionosféricos

Las ondas de radio que viajan entre las estaciones terrenas y los satélites deben atravesar la ionosfera. La ionosfera es la región superior de la atmósfera terrestre, la cual ha sido ionizada, principalmente por la radiación solar.

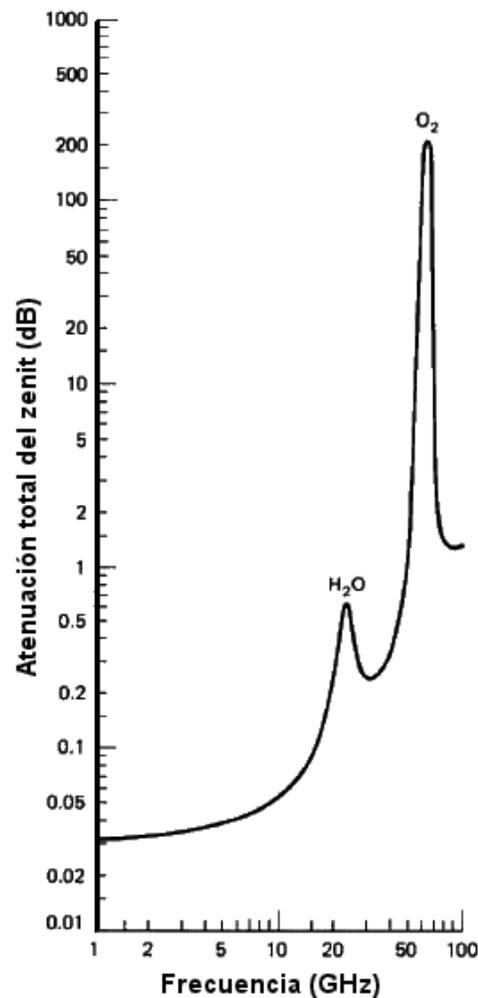


Figura 3.10 Atenuación total del zenit al nivel de la Tierra: presión = 1 atm, temperatura = 20 °C y vapor de agua = 7.5 g/m³.

Los electrones libres en la ionosfera no están distribuidos de manera uniforme pero se encuentran en forma de capas. En adición, nubes de electrones (conocidas como perturbaciones ionosféricas viajeras) pueden viajar a través de la ionosfera y aumentan las fluctuaciones en la señal que solamente pueden ser determinadas mediante una base estadística. Los efectos incluyen sintilación, absorción, variación en la dirección de arribo de la señal, retardo en la propagación, dispersión, cambio en la frecuencia y rotación en la polarización. Estos efectos decrecen al aumentar la frecuencia en proporción inversa al cuadrado de la frecuencia, y solamente la rotación de polarización y los efectos de sintilación son de mayor importancia para un satélite de comunicaciones.

Las sintilaciones ionosféricas son variaciones en la amplitud, fase, polarización o ángulo de llegada de las ondas de radio. Son originadas por irregularidades en la ionosfera la cual cambia con el tiempo.

El principal efecto de la sintilaciones es el desvanecimiento de la señal. Los desvanecimientos pueden ser muy severos.

3.9 El problema general de la propagación arriba de 10 GHz

[14] La propagación de las ondas de radio a través de la atmósfera arriba de 10 GHz involucra no solamente a las pérdidas en el espacio libre sino también a otros factores importantes los cuales son:

- 1.- La contribución de los gases presentes en la atmósfera, la cual es no homogénea debido a los mecanismos de polarización resonante y no resonante.
- 2.- La contribución de las no homogeneidades en la atmósfera.
- 3.- La contribución de las partículas originadas por la lluvia, la niebla y partículas en la atmósfera (incluido el polvo, el humo y las partículas de sal presentes en el aire).

En el caso (1) tratamos con la propagación de una onda a través de la atmósfera bajo la influencia de demasiadas moléculas resonantes, tales como el vapor de agua (H_2O) a 22 y 183 GHz, oxígeno (O_2) con líneas alrededor de 60 GHz y una sola línea de oxígeno a 119 GHz. Estos puntos y su atenuación relativa se muestran en el Anexo B.

Otros gases, como es conocido, despliegan líneas resonantes como: N_2O , SO_2 , O_3 , NO_2 y NH_3 , pero debido a su baja densidad no tienen ningún efecto sobre la propagación.

El mayor problema es la atenuación por precipitación [casos (2) y (3)]: puede exceder a todas las fuentes de atenuación por arriba de 180 GHz.

Podemos apreciar que cuando una onda electromagnética incidente pasa sobre un objeto que tiene propiedades dieléctricas diferentes del medio que lo rodea, una parte de la energía de la onda es absorbida y otra parte se dispersa. La parte de la onda absorbida calienta al material absorbente; la parte que se dispersa es casi isotrópica y se relaciona con la longitud de onda de la onda incidente.

La pequeña dispersión que es más isotrópica se encuentra en la dirección con respecto a la longitud de onda de la energía incidente.

Podemos entonces desarrollar una ecuación para calcular las pérdidas de transmisión totales para un enlace dado:

$$\text{Atenuación}_{dB} = 92.45 + 20 \log F_{GHz} + 20 \log D_{km} + a + b + c + d + e$$

donde: F es la frecuencia de operación [GHz], D es la longitud del enlace [km], a es exceso de atenuación debida al vapor de agua [dB], b es exceso de atenuación debido a la niebla, c es exceso de atenuación debido al oxígeno (O₂) [dB], d es la suma de las pérdidas por absorción debido a otros gases [dB] y e exceso de atenuación debido a la lluvia [dB].

Notas y comentarios acerca de la ecuación anterior:

- 1.- El parámetro a varía con la humedad relativa, con la temperatura, con la presión atmosférica y con la altitud. Se debe asumir que el vapor de agua es lineal con estos parámetros y que la atmósfera es homogénea. Existe una banda de absorción de vapor de agua alrededor de los 22 GHz producida por la resonancia molecular.
- 2.- Los parámetros c y d se asume que varían de manera lineal con la densidad atmosférica, directamente con la presión atmosférica y están en función de la altitud.
- 3.- Los parámetros b y e varían con la densidad de la celda de lluvia o nube y el tamaño de las gotas de lluvia o partículas de agua tales como la niebla.

En la ecuación anterior los términos b y d a menudo no se pueden tomar en cuenta. Los términos a y c son tomados en cuenta juntos y se les llama exceso de atenuación debido a los gases presentes en la atmósfera o simplemente atenuación atmosférica.

3.9.1 Atenuación por lluvia

[15] La atenuación por lluvia está en función de la tasa de lluvia. Mediante la tasa de lluvia podemos conocer la tasa a la cual el agua de lluvia se acumulará en un medidor de lluvia situado en el suelo de la región de interés (por ejemplo la estación terrena). En los cálculos relacionados a la atenuación de ondas de radio, la tasa de lluvia es medida en milímetros por hora. De interés es el porcentaje de tiempo el cual especifica valores que son excedidos. El porcentaje de tiempo es usualmente el que se relaciona a un año; por ejemplo, una tasa de lluvia del 0.001% significa que la tasa de lluvia deberá ser excedida para 0.001% de un año, o alrededor de 5.3 minutos durante cualquier año. En este caso la tasa de lluvia deberá ser denotada por $R_{0.001}$. En general, el porcentaje de tiempo es denotado por p y la tasa de lluvia por R_p , la atenuación específica μ es:

$$\mu = a R_p^b \text{ [dB/km]}$$

donde a y b dependen de la frecuencia y de la polarización. Los valores en la Tabla 3.4 han sido obtenidos de la Tabla 3.5. Los subíndices h y v se refieren a las polarizaciones horizontal y vertical respectivamente.

Una vez que la atenuación específica es encontrada, la atenuación total es determinada como:

$$A = \alpha L \text{ [dB]}$$

Tabla 3.4 Coeficientes de atenuación específicos.

Frecuencia, GHz	α_h	α_v	b_h	b_v
1	0.0000387	0.0000352	0.912	0.88
2	0.000154	0.000138	0.963	0.923
4	0.00065	0.000591	1.121	1.075
6	0.00175	0.00155	1.308	1.265
7	0.00301	0.00265	1.332	1.312
8	0.00454	0.00395	1.327	1.31
10	0.0101	0.00887	1.276	1.264
12	0.0188	0.0168	1.217	1.2
15	0.0367	0.0335	1.154	1.128
20	0.0751	0.0691	1.099	1.065
25	0.124	0.113	1.061	1.03
30	0.187	0.167	1.021	1

Tabla 3.5. Factores de reducción.

Para $p = 0.001\%$	$r_{0.001} = \frac{10}{10 + L_G}$
Para $p = 0.01\%$	$r_{0.01} = \frac{90}{90 + 4L_G}$
Para $p = 0.1\%$	$r_{0.1} = \frac{180}{180 + L_G}$
Para $p = 1\%$	$r_1 = 1$

donde L es la longitud de la trayectoria efectiva de la señal a través de la lluvia. Porque es improbable que la densidad de la lluvia sea uniforme sobre la longitud actual de la trayectoria, una longitud de la trayectoria efectiva debe ser utilizada en vez de la longitud actual (geométrica). La Figura 3.11 muestra la geometría de la situación (la geometría, el ángulo y la longitud de la trayectoria que se muestra como L_s). Esto depende del ángulo de elevación de la antena θ y de la altura de la lluvia h_R , la cual es la altura a la cual el congelamiento ocurre.

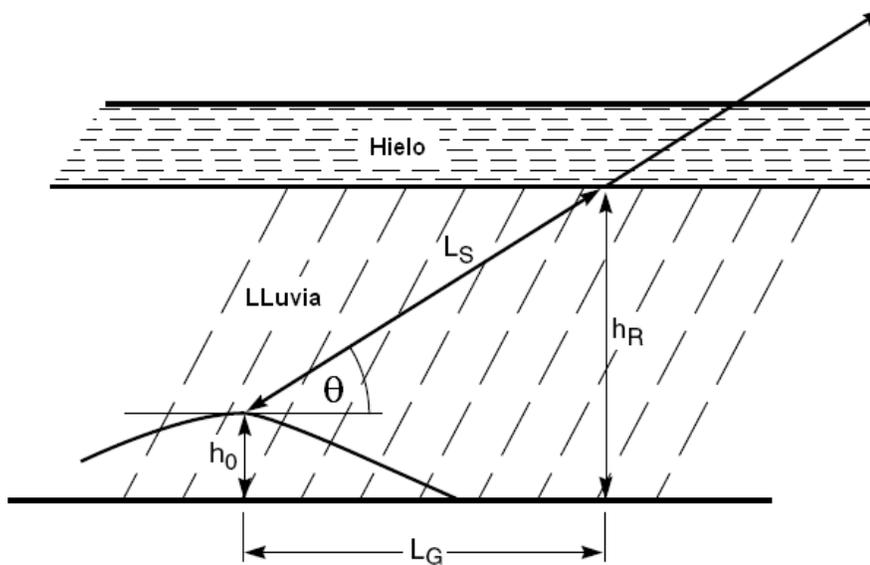


Figura 3.11 Longitud de la trayectoria a través de la lluvia.

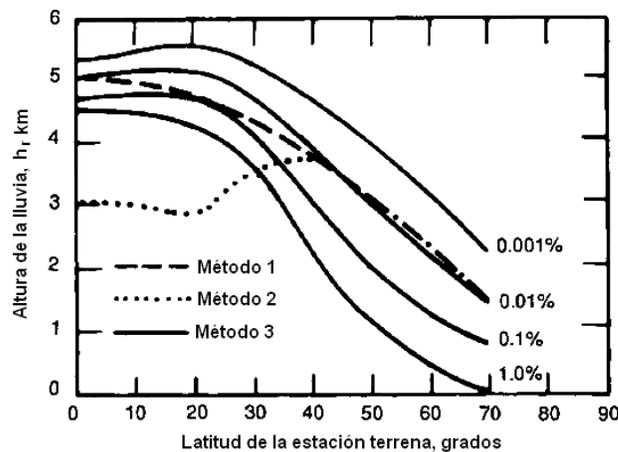


Figura 3.12 Altura de la lluvia como una función de la latitud de una estación terrena para diferentes zonas climáticas. En esta figura, tres métodos son marcados: Método 1 climas marítimos; Método 2 climas tropicales; Método 3 climas continentales. Para el último, las curvas son mostradas con valores de p de 0.001, 0.01, 0.1 y 1 por ciento.

La Figura 3.12 muestra las curvas para h_R para diferentes zonas climáticas.

Para pequeños ángulos de elevación ($El < 10^\circ$), la determinación de L_S es complicada debido a la curvatura de la Tierra. Sin embargo, para $El \geq 10^\circ$, una aproximación de Tierra plana puede ser utilizada y de la Figura 3.11 se puede ver que:

$$L_S = \frac{h_R - h_0}{\text{sen } El}.$$

La longitud de la trayectoria efectiva está dada en términos de la longitud del ángulo por:

$$L = L_S r_p$$

donde r_p es un factor de reducción el cual es una función del porcentaje de tiempo p y L_G , la proyección horizontal de L_S . De la Figura 3.11 la proyección horizontal es:

$$L_G = L_S \cos El.$$

Los factores de reducción son dados en la Tabla 3.5. Con todos estos factores juntos dentro de una ecuación, la atenuación por lluvia en decibeles puede calcularse con:

$$A_p = \alpha R_p^b L_S r_p \text{ [dB]}.$$

3.10 Definición de los parámetros que intervienen en el cálculo del presupuesto de enlace

En esta sección, serán definidos los parámetros que intervienen en las ecuaciones para el cálculo del presupuesto de enlace de nuestra propuesta.

Azimut

[16] Es el ángulo medido sobre el plano, tomando como referencia el norte geográfico y en sentido de las manecillas del reloj, desde 0° hasta 360° , este ángulo es utilizado para orientar las antenas con respecto al satélite sobre el eje del ecuador.

El Azimut se calcula como sigue:

$$Az = 180^\circ + \left[\tan^{-1} \left(\frac{\tan(Long_{Sat} - Long_{ET})}{\text{sen}(Lat_{ET})} \right) \right] \text{ [Grados]} \quad (3.1)$$

donde:

Lat_{ET} = Latitud geográfica de la estación terrena (transmisor).

$Long_{Sat}$ = Longitud geográfica del Satélite.

$Long_{ET}$ = Longitud geográfica de la estación terrena (transmisor).

Elevación

Es el ángulo formado entre el plano horizontal (horizonte) y la línea de vista formada por la estación terrena y el satélite, desde 0° hasta 90° y es utilizado para apuntar la antena de la estación terrena hacia el satélite seleccionado.

Se calcula mediante las siguientes ecuaciones:

$$\cos \delta = [\cos(Lat_{ET})] [\cos(Long_{Sat} - Long_{ET})]$$

y

$Long_{ET}$ = Longitud geográfica de la estación terrena (Transmisor).

$$\Lambda = \tan^{-1} \left[\frac{HCS - (R \cos(\delta))}{R \sin(\delta)} \right]$$

donde:

HCS = Distancia del centro de la Tierra al satélite 42,164.2 km.

R = Radio de la Tierra 6,378.155 km.

Por lo tanto la Elevación se calcula de la siguiente manera:

$$E = \Lambda - \delta \text{ [Grados]}. \quad (3.2)$$

Distancia al satélite

Es la distancia que existe entre la estación terrena y el satélite medida en kilómetros.

La distancia al satélite se calcula.

$$D = \sqrt{HCS^2 + R^2 - \left[2HCS \times R \left(\sin \left(E + \sin^{-1} \left(\frac{R}{HCS} \times \cos E \right) \right) \right) \right]} \text{ [km]} \quad (3.3)$$

donde: $E = \text{Ángulo de Elevación [Grados]}$

Velocidad de información del sistema de comunicación satelital

Es la velocidad con la cual viajan los datos por el sistema de comunicación satelital en su totalidad. Se calcula de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} Vel.Info_{Total} &= \text{Vel. de Información de la aplicación 1} \\ &+ \text{Vel. de Información de la aplicación 2...} \\ &+ \text{Vel. de Información de la aplicación } n \text{ [Mbps]} \end{aligned}$$

$$Bit_{Ad} = (Vel.Info_{Total})(0.15) \text{ [Mbps]}$$

donde los bits adicionales en la transmisión son Bit_{Ad} .

Por lo tanto la velocidad de información total del sistema de comunicación satelital es:

$$Vel.Info_{Sist} = Vel.Info_{Total} + Bit_{Ad} \text{ [Mbps].} \quad (3.4)$$

Velocidad de transmisión del sistema de comunicación satelital

Es la velocidad a la cual serán transmitidos los datos (información) en el sistema de comunicación satelital:

$$Vel_{Tx} = \frac{Vel.Info_{Sist}}{FEC} \text{ [Mbps].} \quad (3.5)$$

Ancho de Banda de Portadora

Es el rango de frecuencias que ocupa la señal portadora que va a ser transmitida hacia el satélite.

$$BW_{Port} = (Vel_{Tx})(I_{Mod})(Roll - Off) \text{ [MHz]} \quad (3.6)$$

donde:

Vel_{Tx} = Velocidad de Transmisión del sistema de comunicación satelital [Mbps].

I_{Mod} = Índice de Modulación (para QPSK = 0.5).

$Roll - Off = 0.35$ (valor propuesto por el estándar ATSC).

Ecuación de transmisión [25]

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

Si la antena transmisora radiara isotrópicamente una potencia P_r , estaríamos enviando señal por igual en todas direcciones del espacio. Si consideramos inicialmente que el medio donde se propaga la onda no posee pérdidas, no se producirá absorción de energía en él y la potencia que atraviesa cualquier superficie esférica centrada en la antena será constante. La densidad de potencia será inversamente proporcional al cuadrado de la distancia r a la antena y vendrá dada por

$$\mathcal{P} = P_r / 4\pi r^2$$

Como la densidad de potencia es proporcional al cuadrado de la intensidad de campo, tenemos también que los campos radiados por antenas decrecerán inversamente con la distancia.

Las antenas no son en realidad isótropas, concentran energía en ciertas direcciones. La densidad de potencia en este caso se obtendrá multiplicando la que habría producido una antena isótropa por la directividad, con lo que resultara

$$\mathcal{P} = P_r \mathcal{D} / 4\pi r^2 = P_e G / 4\pi r^2 \quad (3.7)$$

Al producto de la potencia radiada por una antena por la directividad, o de la potencia entregada por la ganancia, se le denomina potencia isotrópica radiada equivalente, PIRE, y suele expresarse en dBW

$$PIRE = P_r \mathcal{D} = P_e G.$$

Pérdida en el Espacio Libre [24]

Es la pérdida de potencia que sufre una onda de radio o una señal en el espacio, se calcula con la siguiente ecuación.

$$L_S = 20 \log_{10} \left[\frac{(4\pi)(D)(F)}{c} \right] \text{ [dB]} \quad (3.8)$$

donde:

F = Frecuencia de Transmisión [Hz].

c = Velocidad de la luz (3×10^8 m/s).

Densidad de flujo de saturación de portadora

[15] Es la densidad de flujo requerida en la antena del satélite para producir la saturación del TWTA que se encuentra en el satélite. Se determina mediante

$$DFS_{Port} = DFS_{Sat} - IBO + ATP + 10 \log_{10}(FR) \quad [\text{dBW/m}^2] \quad (3.9)$$

donde:

DFS_{Sat} = Densidad de flujo de saturación del satélite (dato de Satmex) $[\text{dBW/m}^2]$.

IBO = Back – Off de entrada al satélite (con valor de 9 dB).

ATP = Atenuador de Posición (con valor de 4 dB).

FR = Relación entre el ancho de banda de portadora (BW_{Port}) y el ancho de banda del transpondedor (BW_{Transp}).

$$FR = \frac{BW_{Port}}{BW_{Transp}}$$

Potencia isotrópica radiada efectiva de la estación terrena (Transmisor)

Es la potencia requerida para que la estación terrena pueda transmitir una señal portadora y de esta manera pueda ser recibida por el satélite y por el receptor. De (3.7), haciendo el cálculo en decibeles y usando los parámetros del caso bajo consideración tenemos

$$DFS_{Port} = PIRE_{ET} - L_P$$

donde $L_P = 10 \log_{10}(4\pi D^2)$ $[\text{dBm}^2]$. Despejando de la ecuación anterior se tiene

$$PIRE_{ET} = DFS_{Port} + L_P \quad [\text{dBW}] \quad (3.10)$$

Relación de portadora a densidad de ruido ascendente

Es la relación de potencia entre la portadora y la densidad de potencia de ruido en un ancho de banda de 1 Hz. Para el enlace de subida (*uplink*) se calcula como sigue:

$$(C/N_0)_{Asc} = PIRE_{ET} + (G/T)_{Sat} - K - L_S - L_\Delta - \mu_{Asc} \quad [\text{dB} \cdot \text{Hz}] \quad (3.11)$$

donde:

$PIRE_{ET}$ = Potencia isotrópica radiada efectiva de la estación terrena (Transmisor) $[\text{dBW}]$.

$(G/T)_{Sat}$ = Figura de Mérito de la antena receptora del satélite $[\text{dB/K}]$.

K = Constante de Boltzmann (-228.6 dB/K).

L_S = Pérdida en el Espacio Libre $[\text{dB}]$.

L_{Δ} = Pérdidas misceláneas, es la sumatoria de las pérdidas atmosféricas, apuntamiento y de polarización. Su valor aproximado es de 1 dB.

μ_{Asc} = Margen de atenuación por lluvia considerando un factor de confiabilidad del 99.80 %.

Relación portadora a ruido ascendente

Es la relación de la potencia de una portadora digital con respecto a la potencia de ruido en el ancho de banda que ocupa, se calcula con la siguiente expresión:

$$(C/N)_{Asc} = (C/N_0)_{Asc} - 10 \log_{10} (BW_{Port}) \quad [\text{dB}]. \quad (3.12)$$

Satélite adyacente ascendente

Se considera el valor de la interferencia producida dentro o desde un sistema de comunicación satelital adyacente al sistema de comunicación satelital en uso, se obtiene mediante

$$(C/X)_{Sat\ Ady} = G_{Tx} - (29 - 25 \log \phi) \quad [\text{dB}] \quad (3.13)$$

donde:

G_{Tx} = Ganancia de la antena transmisora [dBi].

ϕ = Distancia entre satélites (1.9°).

Relación portadora a ruido ascendente del sistema

Es la relación de la potencia total del sistema de comunicación satelital de una portadora digital con respecto a la potencia de ruido en el ancho de banda que ocupa en el enlace ascendente (*uplink*):

$$(C/N)_{Asc\ Sist} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{\frac{1}{10^{\frac{C/N_{Asc}}{10}}} + \frac{1}{10^{\frac{C/I}{10}}} + \frac{1}{10^{\frac{C/X_{Pol}}{10}}} + \frac{1}{10^{\frac{C/X_{Sat\ Ady}}{10}}}} \right] \quad [\text{dB}] \quad (3.14)$$

donde:

C/N_{Asc} = Relación portadora a ruido ascendente [dB].

C/I = Intermodulación ascendente (30 [dB] cuando existe reuso de frecuencia en voz y datos) [dB].

C/X_{Pol} = Polarización cruzada ascendente (27 [dB] de interferencia por polarización cruzada) [dB].

$C/X_{Sat\ Ady}$ = Satélite adyacente ascendente [dB].

Potencia nominal requerida por portadora

Es la cantidad de potencia requerida, para transmitir una señal portadora la cual se encuentra en función de su PIRE, de la ganancia de la antena transmisora y de las pérdidas que existen durante la trayectoria desde la estación terrena hasta el satélite, se calcula de la siguiente manera:

$$P_{nom} = PIRE_{ET} - G_{Tx} - L_{\Delta} \text{ [dBW]} \quad (3.15)$$

PIRE del satélite por portadora

Es la potencia requerida para que el satélite pueda recibir una señal de portadora. Su expresión es la siguiente

$$PIRE_{Sat} = PIRE_{Satu} - OBO + 10 \log_{10}(FR) \text{ [dBW]} \quad (3.16)$$

donde:

$PIRE_{Satu}$ = Valor de PIRE del satélite para el sitio receptor (con valor de 51.1 dBW propuesto por SATMEX).

OBO = Back – Off de salida (con valor de 6 dB).

FR = Relación entre BW_{Port} y BW_{Transp} .

Figura de mérito de la estación terrena receptora

Es la relación que existe entre la ganancia de la antena receptora y la temperatura de ruido del sistema receptor, y se calcula como

$$(G/T)_{ET} = G_{Rx} - 10 \log_{10}(T_S) \text{ [dB/K]} \quad (3.17)$$

donde:

G_{Rx} = Ganancia de la antena receptora [dBi].

T_S = Temperatura de ruido del sistema [K].

Relación portadora a densidad de ruido descendente

Es la relación de potencia entre la portadora y la densidad de potencia de ruido en un ancho de banda de 1 Hz para el enlace de bajada (*downlink*). Se calcula como sigue:

$$(C/N_0)_{Desc} = PIRE_{Sat} + (G/T)_{ET} - K - L_S - \mu_{Desc} - L_{\Delta} \text{ [dB} \cdot \text{Hz]} \quad (3.18)$$

donde:

K = Constante de Boltzmann (-228.6 dBJ/K).

μ_{Desc} = Margen de atenuación por lluvia descendente, considerando un factor de confiabilidad del 99.80%.

Relación portadora a ruido descendente

Es la relación de la potencia de una portadora digital con respecto a la potencia de ruido en el ancho de banda que ocupa en el enlace descendente:

$$(C/N)_{Desc} = (C/N_0)_{Desc} - 10 \log_{10}(BW_{Port}) \text{ [dB]} \quad (3.19)$$

donde:

$(C/N_0)_{Desc}$ = Relación portadora a densidad de ruido descendente [dB·Hz].

BW_{Port} = Ancho de banda de portadora [MHz].

Satélite adyacente descendente

Es el valor de la interferencia producida dentro o desde un sistema de comunicación satelital adyacente al sistema de comunicación satelital en uso sobre el enlace descendente:

$$(C/X)_{Sat\ Ady} = G_{Rx} - (29 - 25 \log_{10} \phi) \text{ [dB]} \quad (3.20)$$

donde:

G_{Rx} = Ganancia de la antena receptora [dBi].

ϕ = Distancia entre satélites (1.9°).

Relación portadora a ruido descendente del sistema

Es la relación de la potencia total del sistema de comunicación satelital de una portadora digital con respecto a la potencia de ruido en el ancho de banda que ocupa en el enlace descendente (*downlink*), se calcula con la siguiente expresión:

$$(C/N)_{Desc\ Sist} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{\frac{1}{10^{\frac{C/N_{Desc}}{10}}} + \frac{1}{10^{\frac{C/I}{10}}} + \frac{1}{10^{\frac{C/X_{Pol}}{10}}} + \frac{1}{10^{\frac{C/X_{Sat\ Ady}}{10}}}} \right] \text{ [dB]} \quad (3.21)$$

donde:

C/N_{Desc} = Relación portadora a ruido descendente [dB].

C/I = Intermodulación (18 dB).

C/X_{Pol} = Polarización cruzada ascendente (27 dB de interferencia por polarización cruzada) [dB].

$C/X_{Sat\ Ady}$ = satélite adyacente descendente [dB].

Relación portadora a densidad de ruido total del sistema

Es la relación de potencia entre la portadora y la densidad de potencia de ruido para el enlace de bajada (*downlink*) del sistema de comunicación satelital de manera total. Se calcula como sigue:

$$(C/N_0)_{Sist} = 10 \log \left[\frac{1}{\frac{1}{\log_{10}^{-1} \left(\frac{(C/N_0)_{Asc}}{10} \right)} + \frac{1}{\log_{10}^{-1} \left(\frac{(C/N_0)_{Desc}}{10} \right)}} \right] \text{ [dB]}. \quad (3.22)$$

Relación portadora a ruido total del sistema

Es la relación de la potencia de una portadora digital con respecto a la potencia de ruido en el ancho de banda que ocupa para todo el sistema de comunicación satelital, se calcula con la siguiente expresión:

$$(C/N)_{Sist} = (C/N_0)_{Sist} - 10 \log_{10} (BW_{Port}) \text{ [dBW]} \quad (3.23)$$

donde:

$(C/N_0)_{Sist}$ = Relación portadora a densidad de ruido total del sistema [dB].

(BW_{Port}) = Ancho de banda de portadora [MHz].

Cálculo de la potencia consumida en el HPA

Es el valor de la potencia que consume el amplificador de alta potencia en la parte de la transmisión satelital (enlace de subida), se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Pot_{HPA} = PIRE_{ET} - G_{Tx} + L_{HPA Y ANT} + OBO \text{ [dBW]} \quad (3.24)$$

donde:

$PIRE_{ET}$ = Potencia isotrópica radiada efectiva de la estación terrena (Transmisor) [dBW].

G_{Tx} = Ganancia de la antena transmisora [dBi].

$L_{HPA Y ANT}$ = Perdida entre el HPA y la Antena se considera como 1 dB.

OBO = Back – Off de salida (con valor de 6 dB).

Relación portadora a ruido total requerido

Es la relación de la potencia de una portadora digital con respecto a la potencia de ruido en el ancho de banda que ocupa para lo que requiere el sistema de comunicación satelital. Se calcula con la siguiente expresión:

$$(C/N_0)_{Req} = Eb/N_0 + 10 \log_{10} (Vel. de Inf._{Sist} + Overhead) \text{ [dB]} \quad (3.25)$$

donde:

Eb/N_0 = Energía de bit a ruido requerido (el valor es de 5.5 dB según estándar ATSC).

$Vel. de Inf.$ = Velocidad de información del sistema [Mbps].

$Overhead$ = Factor de inicialización: modulación QPSK = 2 kbps.

Relación portadora a ruido requerido

Es la relación de la potencia de una portadora digital con respecto a la potencia de ruido en el ancho de banda que ocupa, requerido para el sistema de comunicación satelital. Se calcula con la siguiente expresión:

$$(C/N)_{Req} = (C/N_0)_{Req} - 10 \log_{10} (BW_{Port}) \text{ [dB]}. \quad (3.26)$$

Cálculo del LNA

Es valor de la temperatura del sistema en el amplificador de bajo ruido (LNA), se calcula mediante la siguiente expresión:

$$T_{LNA} = T_{Sist} + (C/N)_{Req} \text{ [dB/K]} \quad (3.27)$$

donde:

T_{Sist} = Temperatura del sistema [K].

$(C/N)_{Req}$ = Relación portadora a ruido total requerido [dB].

Porcentaje de potencia consumida por la portadora en el satélite

Es el porcentaje de la potencia consumida por la señal de portadora en el satélite y se calcula con la siguiente ecuación:

$$\%Pot = \left(\log_{10}^{-1} \left(\frac{PIRE_{Sat} - PIRE_{Satu} + OBO}{10} \right) \right) (100) \text{ [%]} \quad (3.28)$$

donde:

$PIRE_{Sat}$ = PIRE de satélite por portadora [dBW].

$PIRE_{Satu}$ = Valor de PIRE del satélite para el sitio receptor (con valor de 51.1 dBW).

OBO = Back – Off de salida (con valor de 6 dB).

Margen de enlace

Nos indica cómo es el desempeño del sistema de comunicación satelital en función de la diferencia de la relación portadora a ruido total del sistema y de la relación portadora a ruido total requerido. Se calcula con la siguiente expresión.

$$ME = (C/N)_{Sist} - (C/N)_{Req} \text{ [dB]} \quad (3.29)$$

3.11 Ejemplo de un cálculo de presupuesto de enlace

A continuación, se muestra un ejemplo de un cálculo de presupuesto de enlace para el sistema de comunicación satelital SCPC – FDMA enlazando a dos puntos (Tempoal, Veracruz y el hospital 1° de Octubre que se encuentra en el D.F.) y trabajando con una señal en HDTV.

Primero comenzamos con la localización geográfica de los puntos a enlazar y la identificación del satélite tal y como se muestra en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6 Localización geográfica de los puntos a enlazar e identificación del satélite.

Elementos	Transmisor
Sitio	Tempoal (Veracruz.)
Latitud	21°31'27.55" N
Longitud	98°23'25.18" O
Satélite	Satmex 5 (Long. 116.8° O)

3.11.1 Enlace de subida (*uplink*)

1.- Cálculo del azimut

$$Az = 180^\circ + \left[\tan^{-1} \left[\frac{\tan(116.8^\circ - 98^\circ 23' 25.18'')}{\text{sen}(21^\circ 31' 27.55'')} \right] \right] = 222.2174^\circ = 222^\circ 13' 2.64''$$

$$A_z = 222^\circ 13' 2.64''.$$

2.- Cálculo de la elevación

$$\cos \delta = [\cos(21^\circ 31' 27.55'')] [\cos(116.8^\circ - 98^\circ 23' 25.18'')] = 0.8825$$

$$\delta = \cos^{-1}(0.8825) = 28.0545 = 28^\circ 3' 16.48''$$

$$\Lambda = \tan^{-1} \left[\frac{42164.2 \text{ km} - (6378.155 \text{ km}) \cos(28.0545)}{(6378.155 \text{ km}) \text{ sen}(28.0545)} \right] = 85.3064 = 85^\circ 18' 23.05''$$

$$E = 85.3064 - 28.0545 = 57.2519 = 57^\circ 15' 6.84''$$

$$E = 57^{\circ}15'6.84''.$$

3.- Distancia al satélite

$$D = \sqrt{1818500622.84 \text{ km}^2 - 474661102.4 \text{ km}^2}$$

$$D = 36658.4167 \text{ km}.$$

4.- Cálculo de la velocidad de información del sistema de comunicación satelital.

Para comenzar se debe conocer la información mostrada en la Tabla 3.7:

Tabla 3.7 Información acerca de la aplicación que se va a transmitir y de su velocidad en Mbps.

Aplicación	Velocidad de Información (Mbps)
1 canal de HDTV	8
Audio	0.128 (monoaural)
Datos adicionales	0.096
Control de servicio	0.1536

Conociendo la información anterior calculamos la velocidad de información total:

$$Vel.Info_{Total} = 8 + 0.128 + 0.096 + 0.1536 = 8.3776 \text{ Mbps}.$$

Enseguida calculamos los bits adicionales de la siguiente manera:

$$Bit_{Ad} = (8.3776 \text{ Mbps})(0.15) = 1.2566 \text{ Mbps}.$$

Por lo tanto, la velocidad de información que manejará el sistema de comunicación satelital es:

$$Vel.Info_{Sist} = 8.3776 + 1.2566 = 9.6342 \text{ Mbps}.$$

$$Vel.Info_{Sist} = 9.6342 \text{ Mbps}.$$

5.- Cálculo de la Velocidad de Transmisión del sistema de comunicación satelital.

$$Vel_{Tx} = \frac{9.6342 \text{ [Mbps]}}{3/4} = \frac{9.6342 \text{ [Mbps]}}{0.75}$$

$$Vel_{Tx} = 12.8456 \text{ Mbps.}$$

6.- Cálculo del Ancho de Banda de Portadora.

$$BW_{Port} = (12.8456 \text{ Mbps})(0.5)(1.35) = 8.6707 \text{ MHz} \approx 9 \text{ MHz.}$$

$$BW_{Port} = 9 \text{ MHz.}$$

7.- Pérdida por Propagación.

$$L_p = 10 \log_{10} \left[(12.5663) \left[(36658416.7 \text{ m})^2 \right] \right]$$

$$L_p = 162.2755 \text{ dBm}^2.$$

8.- Pérdida en el Espacio Libre.

$$L_s = 20 \log_{10} \left[\frac{(12.5663)(36658416.7 \text{ m})(14.457 \times 10^9 \text{ Hz})}{(3 \times 10^8 \text{ m/s})} \right]$$

$$L_s = 206.9266 \text{ dB}$$

9.- Densidad de Flujo de Saturación de portadora.

$$FR = \frac{BW_{Port}}{BW_{Transp}} = \frac{9 \times 10^6 \text{ MHz}}{36 \times 10^6 \text{ MHz}}$$

$$FR = 0.25$$

$$DFS_{Port} = -93 \text{ dBW/m}^2 - 9 \text{ dB} + 4 \text{ dB} + 10 \log_{10} (0.25)$$

$$DFS_{Port} = -104.02 \text{ dBW/m}^2.$$

10.- Potencia isotrópica radiada efectiva de la estación terrena (transmisor).

$$PIRE_{ET} = -104.02 \text{ dBW/m}^2 + 162.2755 \text{ dBm}^2$$

$$PIRE_{ET} = 58.2555 \text{ dBW.}$$

11.- Relación de portadora a densidad de ruido ascendente.

$$L_{\Delta} = \text{Pérd. por Apuntamiento} + \\ \text{Pérd. por Absorción Atmosférica} + \\ \text{Pérd. por Polarización} + \\ \text{Pérd. por Alimentador del Receptor.}$$

$$L_{\Delta} = 0.1 \text{ dB} + 0.5 \text{ dB} + 0.2 \text{ dB} + 0.504 \text{ dB}$$

$$L_{\Delta} = 1.304 \text{ dB.}$$

$$(C/N_0)_{Asc} = 58.2555 \text{ dBW} + 4.2 \text{ dB/K} - (-228.6 \text{ dBJ/K}) - 206.9266 \text{ dB} - 1.304 \text{ dB} - 6.80 \text{ dB}$$

$$(C/N_0)_{Asc} = 76.0249 \text{ dB} \cdot \text{Hz.}$$

12.- Relación portadora a ruido ascendente.

$$(C/N)_{Asc} = 76.0249 \text{ dB} \cdot \text{Hz} - 10 \log_{10}(9 \times 10^6 \text{ Hz})$$

$$(C/N)_{Asc} = 6.4825 \text{ dB.}$$

13.- Satélite adyacente ascendente.

$$(C/X)_{Sat Ady} = 46.60 \text{ dBi} - (29 - 25 \log(1.9^\circ))$$

$$(C/X)_{Sat Ady} = 24.5688 \text{ dB.}$$

14.- Relación portadora a ruido ascendente del sistema.

$$(C/N)_{Asc Sist} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{\frac{1}{10^{\frac{6.4825 \text{ dB}}{10}}} + \frac{1}{10^{\frac{30 \text{ dB}}{10}}} + \frac{1}{10^{\frac{27 \text{ dB}}{10}}} + \frac{1}{10^{\frac{24.5688 \text{ dB}}{10}}}} \right] \text{ [dB]}$$

$$(C/N)_{Asc Sist} = 6.3600 \text{ dB.}$$

15.- Potencia nominal requerida por portadora.

$$P_{nom} = 58.2555 \text{ dBW} - 46.60 \text{ dBi} - 1.304 \text{ dB}$$

$$P_{nom} = 10.3515 \text{ dBW} = 10.8430 \text{ W}.$$

3.11.2 Enlace de bajada (downlink)

Primero comenzamos con la localización geográfica de los puntos a enlazar y la identificación del satélite tal y como se muestra en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8 Localización geográfica de los puntos a enlazar e identificación del satélite.

Elementos	Receptor
Sitios	Hospital 1° de Octubre (D.F.)
Latitud	19°29'13.50" N
Longitud	99°08'02.06" O
Satélite	Satmex 5 (Long. 116.8° O)

1.- Cálculo del azimut.

$$Az = 180^\circ + \left[\tan^{-1} \left[\frac{\tan(116.8^\circ - 99^\circ 08' 02.06'')}{\text{sen}(19^\circ 29' 13.50'')} \right] \right] = 223.6724^\circ = 223^\circ 40' 20.64''$$

$$Az = 223^\circ 40' 20.64''.$$

2.- Cálculo de la Elevación.

$$\cos \delta = [\cos(19^\circ 29' 13.50'')] [\cos(116.8^\circ - 99^\circ 08' 02.06'')] = 0.8982$$

$$\delta = \cos^{-1}(0.8982) = 26.0775 = 26^\circ 4' 39.13''$$

$$\Lambda = \tan^{-1} \left[\frac{42164.2 \text{ km} - (6378.155 \text{ km}) \cos(0.8982)}{(6378.155 \text{ km}) \text{sen}(26.0775)} \right] = 85.6005 = 85^\circ 36' 1.87''$$

$$E = 85.6005 - 26.0775 = 59.523 = 59^{\circ}31'22.8''$$

$$\mathbf{E = 59^{\circ}31'22.8''.}$$

3.- Distancia al satélite.

$$D = \sqrt{1818500622.84 \text{ km}^2 - 483105498.2 \text{ km}^2}$$

$$\mathbf{D = 36543.0585 \text{ km.}}$$

4.- Pérdida por propagación.

$$L_p = 10 \log_{10} \left[(12.5663) \left[(36543058.5 \text{ m})^2 \right] \right] = 162.2479 \text{ dBm}^2$$

$$\mathbf{L_p = 162.2479 \text{ dBm}^2.}$$

5.- Pérdida en el espacio libre.

$$L_s = 20 \log_{10} \left[\frac{(12.5663)(36543058.5 \text{ m})(12.157 \times 10^9 \text{ Hz})}{(3 \times 10^8 \text{ m/s})} \right]$$

$$\mathbf{L_s = 205.3939 \text{ dB.}}$$

6.- PIRE del satélite por portadora.

$$PIRE_{Sat} = 51.5 \text{ dBW} - 6 \text{ dB} + 10 \log_{10} (0.25) = 39.48 \text{ dBW}$$

$$\mathbf{PIRE_{Sat} = 39.48 \text{ dBW.}}$$

7.- Figura de mérito de la estación terrena receptora.

$$(G/T)_{ET} = 52.1 \text{ dBi} - 10 \log_{10} (165 \text{ K}) = 29.9251 \text{ dB/K}$$

$$\mathbf{(G/T)_{ET} = 29.9251 \text{ dB/K.}}$$

8.- Relación portadora a densidad de ruido descendente.

$$(C/N_0)_{Desc} = 39.48 \text{ dBW} + 29.9251 \text{ dB/K} - (-228.6 \text{ dBJ/K}) - 205.3939 \text{ dB} - 2.20 \text{ dB} - 1.304 \text{ dB}$$

$$(C/N_0)_{Desc} = \mathbf{89.1072 \text{ dB} \cdot \text{Hz}}$$

9.- Relación portadora a ruido descendente.

$$(C/N)_{Desc} = 89.1072 \text{ dB} \cdot \text{Hz} - 10 \log_{10}(9 \times 10^6 \text{ Hz})$$

$$(C/N)_{Desc} = \mathbf{19.5647 \text{ dB}}$$

10.- Satélite adyacente descendente.

$$(C/X)_{Sat \text{ Ady}} = 52.1 \text{ dBi} - (29 - 25 \log_{10}(1.9^\circ))$$

$$(C/X)_{Sat \text{ Ady}} = \mathbf{30.0688 \text{ dB}}$$

11.- Relación portadora a ruido descendente del sistema.

$$(C/N)_{Desc \text{ Sist}} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{\frac{1}{10^{\frac{19.5647 \text{ dB}}{10}}} + \frac{1}{10^{\frac{18 \text{ dB}}{10}}} + \frac{1}{10^{\frac{27 \text{ dB}}{10}}} + \frac{1}{10^{\frac{30.0688 \text{ dB}}{10}}}} \right] \text{ [dB]}$$

$$(C/N)_{Desc \text{ Sist}} = \mathbf{15.2455 \text{ dB}}$$

12.- Relación portadora a densidad de ruido total del sistema.

$$(C/N_0)_{Sist} = 10 \log \left[\frac{1}{\frac{1}{\log_{10}^{-1}\left(\frac{76.0249 \text{ dB} \cdot \text{Hz}}{10}\right)} + \frac{1}{\log_{10}^{-1}\left(\frac{89.1072 \text{ dB} \cdot \text{Hz}}{10}\right)}} \right]$$

$$(C/N_0)_{Sist} = 75.8155 \text{ dB.}$$

13.- Relación portadora a ruido total del sistema.

$$(C/N)_{Sist} = 75.8155 \text{ dB} - 10 \log_{10}(9 \times 10^6 \text{ Hz})$$

$$(C/N)_{Sist} = 6.2730 \text{ dB.}$$

14.- Cálculo de la potencia consumida en el HPA.

$$Pot_{HPA} = 58.2555 \text{ dBW} - 46.60 \text{ dBi} + 1 \text{ dB} + 6 \text{ dB}$$

$$Pot_{HPA} = 18.6555 \text{ dBW} = 73.3753 \text{ W.}$$

15.- Relación portadora a ruido total requerido.

$$(C/N_0)_{Req} = 5.5 \text{ dB} + 10 \log_{10}(9.6342 \times 10^6 \text{ bps} + 2 \times 10^3 \text{ bps}) \text{ [dB]}$$

$$(C/N_0)_{Req} = 75.3390 \text{ dB.}$$

16.- Relación portadora a ruido requerido.

$$(C/N)_{Req} = 75.3390 \text{ dB} - 10 \log_{10}(9 \times 10^6 \text{ Hz})$$

$$(C/N)_{Req} = 5.7966 \text{ dB.}$$

17.- Cálculo del LNA.

$$T_{LNA} = 165 \text{ K} + 5.7966 \text{ dB}$$

$$T_{LNA} = 170.7966 \text{ dB/K.}$$

18.- Porcentaje de potencia consumida por la portadora en el satélite (% Pot).

$$\%Pot = \left(\log_{10}^{-1} \left(\frac{39.48 \text{ dBW} - 51.5 \text{ dBW} + 6 \text{ dB}}{10} \right) \right) (100)$$

$$\%Pot = 25.0034 = 25\%.$$

19.- Margen de enlace ME.

$$ME = 6.2730 \text{ dB} - 5.7966 \text{ dB}$$

$$**ME = 0.4764 dB.**$$

CAPÍTULO 4

APLICACIONES EN TELEMEDICINA

En este capítulo, se tratará con algunas aplicaciones de HDTV utilizadas en telemedicina las cuales son la propuesta principal de este trabajo. Para ello se analizarán los distintos requerimientos que impone el uso de las más importantes de ellas desde las perspectivas de las especificaciones del estándar ATSC, de las condiciones que impone el caso ideal y aquellas del caso que llamaremos “práctico”. Este análisis se hará con base en el cálculo del presupuesto de enlace que requerirían cada uno de los casos anteriores, para determinar la configuración óptima que debe ser usada.

Inicialmente se llevará a cabo una descripción del sistema en el cual se basa nuestra propuesta para tomarlo como punto de partida en el dimensionamiento de nuestra propuesta.

4.1 Antecedentes [17]

El sistema de comunicación satelital en el cual basamos nuestra propuesta, es el elemento principal del programa nacional de telesalud que forma parte del ISSSTE (Instituto de Seguridad y Servicios Sociales para los Trabajadores del Estado). Dicho programa enlaza unidades médicas distantes del interior de la república mexicana con hospitales regionales que funcionan como centros de control maestro entre los cuales podemos mencionar al de Mérida en el Sureste, el de Monterrey en el Noreste, el de Cúliacan en el Noroeste y para la zona centro el de Zapopan y el centro médico nacional 20 de Noviembre, como se muestra en la Figura 4.1.



Figura 4.1. Enlace entre los centros de control maestro con los hospitales regionales.

La red instalada permite la comunicación interactiva mediante un sistema de video conferencia multimedia (que incluye archivos clínicos) tanto médico–médico como médico–paciente, facilitando de esta manera la atención de médicos especialistas en las unidades remotas, sin tener que trasladar al paciente.

Algunas de las áreas donde puede tener aplicación la telemedicina incluyen:

- **Telecardiología:** consiste en la transmisión de los datos cardiacos desde el sitio en donde se encuentra el paciente hacia el hospital, se genera un diagnóstico. El diagnóstico de cada paciente es posible a través de la transmisión de radiografías, electrocardiogramas, arteriogramas coronarios y ultrasonidos. Las video consultas interactivas incluyen la examinación del paciente y su historial médico además del uso de la información enviada y almacenada para realizar una confirmación de los resultados. Su velocidad de transmisión puede ser de 128, 256 ó 384 kbps.
- **Ecocardiografía:** es una prueba llevada a cabo por un técnico para estudiar el movimiento de las paredes del corazón. Esto da como resultado la determinación de qué tan bien funciona el corazón del paciente. Esta prueba se realiza tanto en pacientes adultos como pediátricos.

Existen dos tipos de ecos que pueden ser transmitidos: los ecos almacenados en un dispositivo de almacenamiento óptico (CD, *compact disc*, DVD o BD, *blue ray disc*) y los ecos digitales transmitidos en tiempo real.

- **Teledermatología:** se enfoca en el cuidado y en el diagnóstico de las enfermedades relacionadas con la piel, el cabello y las uñas por dermatólogos.
- **Telerehabilitación:** es la aplicación clínica de la terapia consultativa, de prevención, de diagnóstico y de rehabilitación mediante el uso de un enlace audiovisual bidireccional en tiempo real.

La telerehabilitación incluye una variedad de disciplinas y se utiliza para diagnosticar una gran cantidad de padecimientos los cuales incluyen:

- Terapia auditiva y verbal.
- Terapia física.
- Terapia ocupacional.
- Rehabilitación vocal.
- Neurosicología.

La telerehabilitación se puede utilizar también para aplicaciones ortopédicas. Existen tres tipos básicos de telerehabilitación utilizando el video interactivo:

1. Intervención directa con el paciente: aquí el terapeuta trabaja con el paciente de manera directa o puede guiar a un terapeuta o a alguien que pueda ayudar al paciente para realizar la rehabilitación.
2. Entrenamiento (paciente presente): Primero se discuten las estrategias a seguir para la atención del paciente y después se le guía al terapeuta para comenzar a trabajar poco a poco con la rehabilitación del paciente para que el terapeuta adquiriera habilidad.
3. Consulta (el paciente no está presente): en esta aplicación se realizan preguntas, se analizan estrategias y se dan a conocer los resultados y la evolución del paciente. Todo esto se discute solamente entre los dos terapeutas, el que se encuentra en un sitio remoto y el que está en el hospital.

Es importante remarcar que si bien esta aplicación requiere de la transmisión de video, no requiere que éste sea de alta definición, por lo que bastará con la calidad de videoconferencia para su implementación.

Existen varias herramientas valiosas para el diagnóstico, que permiten transmitir en tiempo real información. Algunas de tales herramientas son:

1. Fotografías clínicas: la cámara de examen general permite la transmisión de fotografías clínicas de piel o de mucosas con muy buena resolución.
2. Signos vitales: un monitor que despliega en su pantalla la temperatura, presión sanguínea, pulso y cantidad de oxígeno en la sangre. Se puede conectar a una PC con un puerto RS-232.
3. Electrocardiograma: este instrumento convierte cualquier PC en un electrocardiógrafo con sólo conectarlo a su puerto serial. Permite la creación de un archivo con las gráficas obtenidas, interpretaciones de las mismas y notas del médico tratante, mismas que pueden ser transmitidas por medio de un correo electrónico.
4. Espirometría: todo un equipo de espirometría contenido en una tarjeta PCMCIA y que convierte a una PC en este aparato de diagnóstico especial que mide la capacidad respiratoria de un paciente. Permite generar gráficas que pueden verse en la pantalla de la PC y simultáneamente traduce los datos en reportes detallados para el diagnóstico. Cientos de pruebas pueden ser almacenadas para su futura impresión y/o envío a otra PC.
5. Sonidos cardiacos: este estetoscopio puede usarse a distancia enviando los sonidos cardiacos de un paciente al médico tratante.

El programa nacional de telesalud propone mantener el desarrollo y actualización de los sub-programas, Teleconsulta, Teleeducación y Teleadministración, cubriendo 19 estados de la República Mexicana. Además se planea implementarlo en nuevas localidades, así como ampliar el número de especialidades médicas a ofrecer.

Dado que el programa es de salud pública, la cobertura potencial es de más de 4.2 millones de pacientes y cubre a más del 52 por ciento de los derechohabientes. Hasta abril del 2002 se habían llevado a cabo 5800 teleconsultas, 54 consultas de subespecialidad, 83 cursos de educación, 720 trámites administrativos, 36 conferencias nacionales y 12 internacionales.

Es importante resaltar que el sistema de comunicación satelital original, del cual se dio una descripción anteriormente, trabaja con señales digitales pero apegadas al formato de televisión o de video analógico conocido como NTSC. Por lo tanto este sistema se trata de un sistema SDTV. La finalidad es proponer la actualización de dicho sistema de comunicación satelital mediante la propuesta de utilizar el estándar ATSC para transmisión de video digital en alta definición.

En el anexo E se muestra parte del equipo que se puede implementar en una unidad móvil para el diagnóstico de diferentes padecimientos.

4.2 Campos de aplicación de la alta definición en telemedicina [18]

La mayoría de las aplicaciones de telemedicina consisten de dos tipos diferentes de tecnología. La primera de ellas es la llamada “de almacenamiento y envío”, y permite a los doctores y pacientes simplemente transferir imágenes digitales. La segunda consiste en el video interactivo (IATV), o televisión bidireccional, donde los especialistas médicos y los pacientes pueden verse y hablarse uno al otro.

En ambos casos, rayos X y otra información del paciente (como signos vitales, historial médico, etc.) pueden ser enviados por un doctor local a un especialista médico instantáneamente, reduciendo tiempos de espera y dolorosos o caros viajes para ver al especialista.

La tecnología detrás de esto implica la transmisión bidireccional de voz, video y datos y un mínimo de 12-20 Mbps para una transmisión de video práctica, con calidad para atención médica, tasas de bits que dificultan su transporte en los sistemas satelitales. Igualmente los datos, como por ejemplo algunos archivos de imágenes médicas, tales como MRIs que con frecuencia tienen 5 gigabits cada uno, imponen una creciente presión sobre el ancho de banda a utilizar. Si se dispone de una conectividad verdaderamente de banda ancha de alta velocidad, la transmisión de voz y video llega de forma clara, sin retardos y sin interferencia.

HDTV en telemedicina [19]

Usos

El uso de HDTV proporciona imágenes de alta resolución para profesionistas en muchos campos, incluyendo endoscopía, radiología, neurología, microscopía y cirugía (incluso cirugía robotizada en 3D con HD).

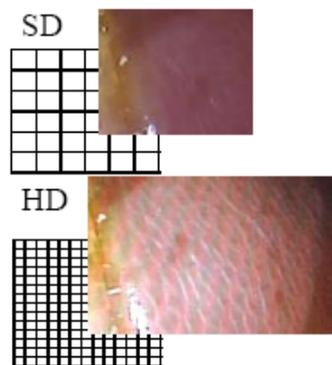


Figura 4.2. Mejora en la nitidez de una imagen gracias al uso de HDTV.

Los gastroenterólogos utilizan un nuevo endoscopio que usa tecnología de HDTV para realizar colonoscopías de alta resolución que ayudan a mejorar la detección de cáncer.

En 1998 la red ATM transatlántica de Teleglobe llevó a cabo una demostración de cirugía maxilo-facial en la cual un cirujano en la Clínica Universitaria de Cirugía Oral y Maxilo-Facial en Viena supervisó de forma remota una operación de remodelación de mandíbula de un paciente en Iowa, con la asistencia de la facultad de odontología en la Universidad de Iowa.

Pacientes de la tercera edad en un área remota son inspeccionados para detectar retinopatía diabética usando una cámara retinal y transmitiendo las imágenes a un especialista a cientos de kilómetros de ahí para que dé un diagnóstico inmediato y recomendaciones de tratamiento.

Ventajas

A pacientes

La cirugía mínimamente invasiva, que ahora es más fácil y precisa, da lugar a beneficios que incluyen menos dolor, menos pérdida y necesidad de transfusiones de sangre, además de costos menores debido a la eliminación o disminución de la necesidad de hospitalización, una recuperación más rápida y un más rápido retorno a sus actividades normales.

Los pacientes en áreas remotas pueden recibir atención médica especializada, interactiva, que incluye diagnóstico y tratamiento, en cualquier parte y en cualquier momento. El resultado es no sólo una atención mejor y más rápida, sino un diagnóstico y tratamiento médico más tempranos.

A médicos

En el año 2000 se realizó lo que se consideraba el primer procedimiento quirúrgico endoscópico utilizando HDTV, la cual al menos duplicaba (más de 1000 líneas) la nitidez de la imagen ofrecida por la tecnología usada en ese momento (menos de 500 líneas) para realizar laparoscopías y una histeroscopia.

El efecto tridimensional de HDTV incrementa la sensación de realismo para el espectador. Además permite ver pequeños detalles y estructuras que no eran visibles antes, gracias a su mayor resolución en píxeles y al mayor contraste de colores (sobre todo si se emplea una pantalla de plasma, que además ocupa poco espacio en quirófano). Además se obtiene un 20% más de área visible y mejor claridad y detalle de la piel y la anatomía, lo cual es crucial para disecciones complejas y procedimientos

reconstructivos. Las mejoras son notables en procedimientos delicados como la prostatectomía para el cáncer de próstata; especialmente en términos de la habilidad del médico de visualizar y evitar nervios que son vitales para la continencia y la potencia.

Desventajas

Sin embargo hay que tener cuidado, ya que por ejemplo en Dallas se reportó que durante la prueba de un transmisor de HDTV la señal interfirió con monitores cardiacos en el Centro Médico de la Universidad de Baylor.

Otro aspecto que hay que considerar es que las tasas de bits que generan las distintas aplicaciones de la HDTV pueden fácilmente alcanzar 40 Mbps e incluso superar los 200 Mbps. Un sistema de cámara especial de HDTV puede costar 25 mil dólares.

4.3 Evaluación de la viabilidad técnica

Para poder determinar si el sistema de comunicación puede operar en cualquier parte de la República Mexicana, se realizaron cálculos de presupuesto de enlace (los cuales se muestran en el Anexo G) para cada uno de los municipios mostrados en la Tabla 4.1 mediante el uso de un programa en MATLAB (Anexo F).

Tabla 4.1 Municipios elegidos para realizar los cálculos de presupuesto de enlace.

No.	Municipio	Zona Hidrometeorológica
1	San Felipe (Baja California)	Nor Occidente (NO)
2	Cuencamé (Durango)	Norte Centro (NC)
3	Talpa de Allende (Jalisco)	Pacífico Centro (PC)
4	Tempoal (Veracruz)	Golfo Norte (GN)
5	Venustiano Carranza (Chiapas)	Itsmo (IT)
6	Tekit (Yucatán)	Yucatán (YU)

Los municipios mencionados anteriormente se eligieron tomando en cuenta que se encuentran aislados de las principales capitales estatales, la clasificación por zonas hidrometeorológicas se tomo de la clasificación realizada por SATMEX la cual se muestra en el anexo C (Margen de atenuación por lluvia en banda Ku). Estos valores de atenuación por lluvia dependen de la zona hidrometeorológica, de la confiabilidad que en nuestro caso se maneja el 99.80% y del modo de operación del sistema de comunicación satelital si opera como transmisor o como receptor.

Para cada municipio se registraron variaciones principalmente en el margen de enlace, en la relación portadora a ruido, en la potencia del HPA y en la potencia de transmisión todas estas diferencias se pueden observar en los resultados mostrados en el anexo G.

Se puso especial atención en lo que consideramos como el peor de los casos, el cual fue el municipio de Tempoal en Veracruz debido a que el margen de enlace es de 0.4776 dB para el canal de HDTV y de 4.0901 dB para el canal de video conferencia. Lo que nos indica, que para el canal de HDTV se tiene un margen extra de potencia bajo esto es también atribuido, a las condiciones climáticas principalmente a la región hidrometeorológica en la que se encuentra este municipio.

Inicialmente, una vez analizados los resultados de los cálculos del presupuesto de enlace para cada región de la República Mexicana se tomó el peor de los casos: el enlace entre el hospital 1° de Octubre que se localiza en la Ciudad de México y el municipio conocido como Tempoal que se encuentra en Veracruz. Se eligió a este municipio debido a que se encuentra en una región aislada. Se evaluaron los dos tipos de canales de comunicación: un canal para HDTV y el otro canal para transmitir una señal con calidad de videoconferencia.

Para el canal de HDTV, se utilizaron los valores mostrados en la Tabla 4.2. Tales parámetros son solo algunos de los más importantes que se utilizan en los distintos cálculos.

Tabla 4.2 Valores propuestos de algunos parámetros que participan en el cálculo del presupuesto de enlace para un canal de HDTV.

Parámetro	Valor
FEC	3/4
Índice de Modulación para QPSK	0.5
Roll – Off	0.35
Velocidad de información	8 Mbps
Audio monoaural	0.128 Mbps
Datos adicionales	0.096 Mbps
Control de servicio	0.1536 Mbps

Con el valor de los parámetros mostrados en la Tabla 4.2, se llevó a cabo el cálculo del presupuesto de enlace. De esta manera se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 4.3. Estos resultados indican el valor que deben adoptar los parámetros involucrados en el enlace ascendente (enlace de la unidad móvil hacia el satélite) en donde se utiliza una antena móvil Vertex con un plato de 1.8 m de diámetro (ver Figura 4.3) la cual está montada en la unidad móvil. Esta antena fue diseñada para operar como antena transmisora y receptora en la banda Ku. En el anexo H se muestran sus características técnicas.



Figura 4.3. Antena móvil Vertex con un plato de 1.8 m.

Tabla 4.3 Cálculo del presupuesto de enlace para un canal de HDTV con una antena de 1.8 m de diámetro.

No.	Elementos	Transmisor (Tx)	Receptor (Rx)	Otros	Ecu.
1	Sitios	Tempoal (Veracruz)	Hospital 1° Octubre (D.F.)		
2	Satélite	SATMEX 5 116.8 O			
3	Velocidad de Inf.	9.6342 Mbps			(3.4)
4	FEC	3/4		ATSC	
5	Ind. Mod.	0.5 (QPSK)		ATSC	
6	Roll – Off	0.35		ATSC	
7	Ancho de Banda (BW_{Port})	9 MHz			(3.6)
8	BW_{Tp}	36 MHz		SATMEX	
9	Frec. Transmisión	14.457 GHz (Pol. Vert)		SATMEX	
10	$PIRE_{ET}$	58.2547 dBW			(3.10)
11	G Tx	46.60 dBi		VERTEX	
12	μ_{asc}	6.80 dB		SATMEX	
13	C/N asc sist	6.3592 dB			(3.14)
14	P_{nom}	10.3507 dBW (10.8410 W)			(3.15)
15	Frec. Recepción.	12.157 GHz (Pol. Horiz.)		SATMEX	
16	G Rx	52.1 dBi		ANDREW	
17	μ_{desc}	2.20 dB		SATMEX	
18	C/N desc sist	15.2458 dB			(3.21)
19	E_b/N_0	5.5 dB		ATSC	
20	HPA	18.6547 dBW (73.3619 W)			(3.24)
21	Margen	0.4776 dB			(3.29)

Para el enlace Tempoal – Distrito Federal (de la unidad móvil hacia el satélite), se propone el uso del canal en HDTV. Por lo tanto al observar los resultados mostrados en la Tabla 4.3 se debe considerar principalmente el valor de la relación E_b/N_0 . Para comunicaciones digitales esta nos indica el desempeño de error que tiene nuestro sistema, en otras palabras, es una medida de la relación señal a ruido (SNR) normalizada. En nuestro caso este valor es proporcionado por el estándar ATSC, basado en los resultados obtenidos del análisis de sistemas de transmisión en banda base analizados por el estándar. Por lo tanto el valor de 5.5 dB es un valor estándar para sistemas de transmisión en banda base.

El siguiente valor a considerar es el de la relación portadora a ruido (C/N), tanto para el enlace ascendente como para el enlace descendente debido a que es una medida del desempeño de nuestro sistema. Entonces se observa que entre la $C/N_{asc\ sist}$ y la $C/N_{desc\ sist}$ se tienen 8.8866 dB de diferencia lo cual indica que el desempeño de nuestro sistema receptor es un poco más susceptible a ruido pero esto se debe principalmente a las condiciones climáticas y geográficas del sitio en donde se encuentra el transmisor pero aun así el enlace satelital puede efectuarse.

También, se tiene que considerar el valor del HPA ya que es la potencia que se tiene que suministrar a la antena para poder transmitir nuestra señal portadora. En este caso dicha potencia es de 73.3619 W el cual es un valor aceptable, ya que en aplicaciones prácticas se utilizan HPAs de 150 W. Finalmente el parámetro más importante es el Margen de enlace (Margen), porque contiene todos los parámetros que contribuyen en el desempeño del enlace. En nuestros resultados el margen es de 0.4776 dB. Este valor representa la potencia extra presente en el enlace, que lo protege contra desvanecimientos y otros

factores; (como por ejemplo el ruido) que en algunas condiciones extremas podrían superar a los máximos ya considerados en nuestros cálculos. Este valor es un poco bajo debido a que se está considerando el peor de los casos. En cuanto al enlace descendente (del satélite al hospital 1° de Octubre) se utilizará una antena Andrew con un plato de 3.7 m de diámetro la cual se encuentra del lado del receptor que es el hospital 1° Octubre que se encuentra en el Distrito Federal.

En resumen, sí es posible llevar a cabo la transmisión de la información a pesar de contar con un margen de enlace un poco bajo. Como este enlace satelital es bidireccional ahora centraremos nuestra atención en el enlace ascendente Distrito Federal – Tempoal (del Hospital 1° de Octubre hacia el satélite). En la Tabla 4.4 se muestran algunos valores utilizados para el uso de una señal de video digital con calidad de videoconferencia que será utilizada en este enlace ascendente.

Tabla 4.4 Valores propuestos de los parámetros que participan en el cálculo del presupuesto de enlace para un canal de Videoconferencia.

Parámetro	Valor
FEC	3/4
Índice de Modulación para QPSK	0.5
Roll – Off	0.14
Velocidad de información	384 kbps
Audio Monoaural	0.128 Mbps
Datos adicionales	0.096 Mbps
Control de servicio	0.1536 Mbps

Utilizando los parámetros mostrados en la Tabla 4.4 se llevó a cabo el cálculo del presupuesto de enlace, de esta manera se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 4.5. Estos resultados indican el valor que deben adoptar los parámetros involucrados en el enlace ascendente cuando se transmite la información desde el hospital 1° de Octubre hacia Tempoal. Se utiliza una antena Andrew con un plato de 3.7 m de diámetro (ver Figura 4.4) la cual se encuentra en el hospital, que es el sitio en donde se transmitirá la señal de video con calidad de Videoconferencia.

Esta antena está diseñada para operar como antena transmisora y receptora en la banda Ku. En el anexo H se muestran sus características técnicas.

Para el enlace ascendente Distrito Federal – Tempoal (del hospital 1° Octubre hacia el satélite), se propone el uso de un canal de video con calidad de videoconferencia. Se tomó esta decisión porque se utiliza un ancho de banda menor (1 MHz) que si se utiliza una señal de video digital SDTV (2 o 3 MHz), y en cuanto a la calidad de imagen se obtiene una imagen de buena calidad. Al observar los resultados mostrados en la tabla 4.4 el valor de la relación E_b/N_0 cambia. Ahora se toma de 5.0 dB el cual es el que se utiliza en sistemas prácticos para trabajar con señales de video digital que no son de alta definición (SDTV, Videoconferencia, etc).

Tabla 4.5 Cálculo del presupuesto de enlace para un canal con calidad de Videoconferencia con una antena de 3.7m de diámetro.

No.	Elementos	Transmisor (Tx)	Receptor (Rx)	Otros	Ecu.
1	Sitios	Hospital 1° de Octubre (D.F)	Tempoal (Veracruz)		
2	Satélite	SATMEX 5 116.8 O			
3	Velocidad de Inf.	0.8758 Mbps			(3.4)
4	FEC	3/4		ATSC	
5	Ind. Mod.	0.5 (QPSK)		ATSC	
6	Roll – Off	0.14		MANUAL	
7	Ancho de Banda (BW_{Port})	1 MHz			(3.6)
8	BW_{Tp}	36 MHz		SATMEX	
9	Frec. Transmisión	14.457 GHz (Pol. Vert)		SATMEX	
10	$PIRE_{ET}$	48.6851 dBW			(3.10)
11	G Tx	46.60 dBi		VERTEX	
12	μ_{asc}	4.20 dB		SATMEX	
13	C/N asc sist	9.2472 dB			(3.14)
14	Pnom	-5.5149 dBW (0.2809 W)			(3.15)
15	Frec. Recepción.	12.157 GHz (Pol. Horiz.)		SATMEX	
16	G Rx	44.90 dBi		ANDREW	
17	μ_{desc}	4.80 dB		SATMEX	
18	C/N desc sist	12.5758 dB			(3.21)
19	E_b/N_0	5.0 dB		ATSC	
20	HPA	2.4851 dBW (1.7722 W)			(3.24)
21	Margen	4.0901 dB			(3.29)



Figura 4.4. Antena Andrew con un plato de 3.7 m.

La relación portadora a ruido (C/N), que es una medida del desempeño de nuestro sistema, para el enlace ascendente ($C/N_{asc\ sist}$) es de 9.2472 dB y para el enlace descendente ($C/N_{desc\ sist}$) es 12.5758 dB. Se observa que entre la $C/N_{asc\ sist}$ y la $C/N_{desc\ sist}$ se tienen 3.3286 dB de diferencia, lo cual indica que el desempeño de nuestro sistema de comunicación satelital es un poco más susceptible a ruido pero esto se debe principalmente a las condiciones climáticas y geográficas del sitio en donde se encuentra el transmisor pero aun así el enlace satelital puede efectuarse.

El valor del HPA, que se tiene que suministrar a la antena para poder transmitir nuestra señal portadora es de 1.7722 W el cual es un valor aceptable. Finalmente el Margen de enlace (Margen) es de 4.0901 dB que es la potencia extra presente en el enlace que lo protege contra desvanecimientos y otros factores. Este valor es aceptable ya que se está considerando el peor de los casos. Esto indica que la señal de video casi no sufrirá alteraciones y se podrá mantener una calidad de imagen buena para nuestra aplicación.

Como se puede observar en los resultados obtenidos en las tablas anteriores, el enlace se puede llevar a cabo para los dos canales, tanto para el canal de Videoconferencia como para el canal de HDTV. Pero para que esto ocurra se deben seguir las siguientes recomendaciones:

- Mantener el valor fijo de la FEC en 3/4.
- Respetar el nivel de confiabilidad que ofrece SATMEX el cual es del 98.80%.
- Tomar en cuenta la velocidad de información de 8 Mbps (calidad de estudio) para el canal de HDTV y la velocidad de información para el canal de Teleconferencia de 384 kbps recordando que la velocidad máxima que se puede alcanzar en este tipo de sistemas de comunicación satelital es de 8 Mbps.
- Para el caso de esta aplicación no es necesario utilizar los 5.1 canales que ofrece el audio Dolby AC – 3 digital, es suficiente tomar un canal de audio monoaural (0.128 Mbps). De esta manera se ahorran recursos en el uso del ancho de banda, en la velocidad de información y en el uso de los transpondedores.
- Tomar en cuenta los valores de margen de atenuación por lluvia propuestos por SATMEX (Anexo C) para realizar el cálculo del presupuesto de enlace.
- Tomar en cuenta la información acerca del satélite a emplear. Esta información se puede obtener en [21].
- Mantener el valor del Roll – Off fijo en 0.14 para el caso del canal de videoconferencia.
- Cumplir con los lineamientos del procedimiento de acceso al sistema satelital propuesto por SATMEX (Anexo D).

Es importante mencionar, que la decisión de utilizar la señal de video con calidad de videoconferencia se debe a que se comprobó la confiabilidad que ofrece el uso de este tipo de señal mediante la elaboración de una prueba de aislamiento (ver anexo I) realizada en la unidad móvil perteneciente al Instituto Politécnico Nacional, durante la transmisión de la sesión de consejo realizada desde la secretaría general.

Conclusiones

Como se puede observar, el enlace satelital propuesto es viable. Se puede tener la seguridad de que funcionará de manera práctica. Estos cálculos son una aproximación teórica la cual nos fue de gran utilidad para la optimización del enlace satelital práctico.

El estándar ATSC dictamina las condiciones de operación para aplicaciones sobre satélite, sin embargo en cuanto al aspecto de utilizar audio digital con sonido envolvente (5.1 canales), también se cuenta con la posibilidad de trabajar con audio monoaural. Esto nos ahorra espacio en cuanto se refiere al ancho de banda.

Para darle un buen uso al ancho de banda en esta aplicación, se cuenta con la posibilidad de transmitir datos, como por ejemplo algunos tipos de imágenes o algunos otros tipos de archivos generados por los equipos con que estaría dotada la unidad móvil.

Satmex, como un proveedor de servicio satelital, ofrece actualmente a los usuarios un factor promedio de confiabilidad del 99.80%, en base al estudio de la precipitación pluvial en la República Mexicana. Debido a lo anterior, los equipos electrónicos del subsistema de comunicaciones del satélite se construyeron bajo ese nivel de confiabilidad, de tal forma que estos parámetros no pueden ser alterados a conveniencia del usuario.

Un valor de confiabilidad mayor, más cercano al 100%, repercutiría por ejemplo en un mayor número de componentes electrónicos del equipo, incrementando el peso del satélite al ponerlo en órbita, o en el costo de la renta del segmento espacial.

Se recomienda, utilizar los criterios de eficiencia y seguridad de la comunicación vía satélite, sujetándose a las recomendaciones y a restricciones que el proveedor del servicio (SATMEX) otorga a sus usuarios para garantizar un servicio continuo con un costo adecuado.

El efecto tridimensional de HDTV incrementa la sensación de realismo para el espectador, gracias a su mayor resolución en pixeles, al mayor contraste de colores y área de imagen más grande. Esto es de suma importancia para el sistema propuesto ya que con la aplicación del video en alta definición se puede mejorar bastante la calidad de la atención médica, y de esta manera podemos contribuir para alcanzar un buen nivel de salud entre la población a nivel nacional.

Los pacientes que viven en municipios que se encuentran alejados de las capitales estatales como es, por ejemplo, el caso de Tempoal, Veracruz, recibirían atención médica especializada e interactiva, en tiempo real y en cualquier momento. Esto daría como resultado un diagnóstico y un tratamiento médico más tempranos.

Como una recomendación para trabajos futuros, se debe tomar en cuenta que si se obtuviera una mayor confiabilidad y se equipara a la unidad móvil con los dispositivos adecuados, podría considerarse la realización de intervenciones quirúrgicas asistidas a distancia.

Para obtener un margen de enlace óptimo (margen de enlace positivo), para que el sistema de comunicación satelital pueda funcionar de una manera adecuada, se tienen que tomar en cuenta los elementos que hacen más complicado obtener el margen de enlace adecuado. Algunos de estos elementos son: el tamaño de la antena utilizada tanto en la unidad móvil como en el hospital, las condiciones meteorológicas de los puntos a enlazar, la potencia de transmisión, las diferentes pérdidas presentes en el sistema de comunicación satelital, la confiabilidad ofrecida por el proveedor del servicio (Satmex) y el tipo de señal de video utilizada para nuestra aplicación.

También se deben desarrollar algoritmos de compresión de video un poco más eficientes para poder manejar imágenes de video más complejas, como por ejemplo imágenes de MRI en tres dimensiones.

Por otra parte, al participar en la transmisión de la sesión de consejo, que se lleva a cabo en la secretaría general utilizando la unidad móvil del Instituto Politécnico Nacional, se tuvo la oportunidad de efectuar una prueba de aislamiento la cual es esencial para poder iniciar con la transmisión de la sesión hacia las distintas unidades pertenecientes al IPN. Esto sirvió para comprobar de manera práctica el tipo de servicio que ofrece Satmex, la confiabilidad que ofrece el utilizar una señal de video con calidad de videoconferencia y cómo afectan los diferentes parámetros que intervienen en el sistema de comunicación satelital empleado. En el anexo I se da más información acerca de la prueba de aislamiento.

ANEXO A

Máxima tasa de bit utilizable para una estructura de flujo de datos del tipo 1 para QPSK ($\alpha = 0.35$)

Ancho de banda disponible (MHz)	Tasa de transmisión de símbolo máxima (Mps)	QPSK				
		Tasa de bits máxima utilizable, Mbps				
		Tasa 1/2	Tasa 2/3	Tasa 3/4	Tasa 5/6	Tasa 7/8
72	53.3333	49.1503	65.5338	73.7255	81.9172	86.0131
54	40.0000	36.8627	49.1503	55.2941	61.4379	64.5098
46	34.0741	31.4016	41.8688	47.1024	52.3360	54.9528
41	30.3704	27.9884	37.3178	41.9826	46.6473	48.9797
36	26.6667	24.5752	32.7669	36.8627	40.9586	43.0065
33	24.4444	22.5272	30.0363	33.7908	37.5454	39.4227
30	22.2222	20.4793	27.3057	30.7190	34.1322	35.8388
27	20.0000	18.4314	24.5752	27.6471	30.7190	32.2549
18	13.3333	12.2876	16.3834	18.4314	20.4793	21.5033
15	11.1111	10.2397	13.6529	15.3595	17.0661	17.9194
12	8.8889	8.1917	10.9223	12.2876	13.6529	14.3355
9	6.6667	6.1438	8.1917	9.2157	10.2397	10.7516
6	4.4444	4.0959	5.4611	6.1438	6.8264	7.1678
4.5	3.3333	3.0719	4.0959	4.6078	5.1198	5.3758
3	2.2222	2.0479	2.7306	3.0719	3.4132	3.5839
1.5	1.1111	1.0240	1.3653	1.5359	1.7066	1.7919

Notas:

- (1) La tasa de bit máxima utilizable corresponde a R_u para datos del tipo 1 (transporte MPEG – 2, formato de 188 bytes); la tasa de transmisión de símbolo máxima corresponde a R_s ; y el ancho de banda disponible al ancho de banda del transpondedor (BW_T) y a una ranura del ancho de banda que es menor al ancho de banda del transpondedor (BW_S).
- (2) Los valores de la tabla fueron calculados utilizando la siguiente ecuación:

$R_u = R_s \times (188/204) \times (FEC) \times m$; Donde m es el número de bits transmitidos por símbolo de constelación.

Máxima tasa de bit utilizable para una estructura de flujo de datos del tipo 2 para QPSK
($\alpha = 0.35$)

Ancho de banda disponible (MHz)	Tasa de transmisión de símbolo máxima (Mps)	QPSK				
		Tasa de bits máxima utilizable, Mbps				
		Tasa 1/2	Tasa 2/3	Tasa 3/4	Tasa 5/6	Tasa 7/8
72	53.3333	48.8889	65.1852	73.3333	81.4815	85.5556
54	40.0000	36.6667	48.8889	55.0000	61.1111	64.1667
46	34.0741	31.2346	41.6461	46.8519	52.0576	54.6605
41	30.3704	27.8395	37.1193	41.7593	46.3992	48.7191
36	26.6667	24.4444	32.5926	36.6667	40.7407	42.7778
33	24.4444	22.4074	29.8765	33.6111	37.3457	39.2130
30	22.2222	20.3704	27.1605	30.5556	33.9506	35.6481
27	20.0000	18.3333	24.4444	27.5000	30.5556	32.0833
18	13.3333	12.2222	16.2963	18.3333	20.3704	21.3889
15	11.1111	10.1852	13.5802	15.2778	16.9753	17.8241
12	8.8889	8.1481	10.8642	12.2222	13.5802	14.2593
9	6.6667	6.1111	8.1481	9.1667	10.1852	10.6944
6	4.4444	4.0741	5.4321	6.1111	6.7901	7.1296
4.5	3.3333	3.0556	4.0741	4.5833	5.0926	5.3472
3	2.2222	2.0370	2.7160	3.0556	3.3951	3.5648
1.5	1.1111	1.0185	1.3580	1.5278	1.6975	1.7824

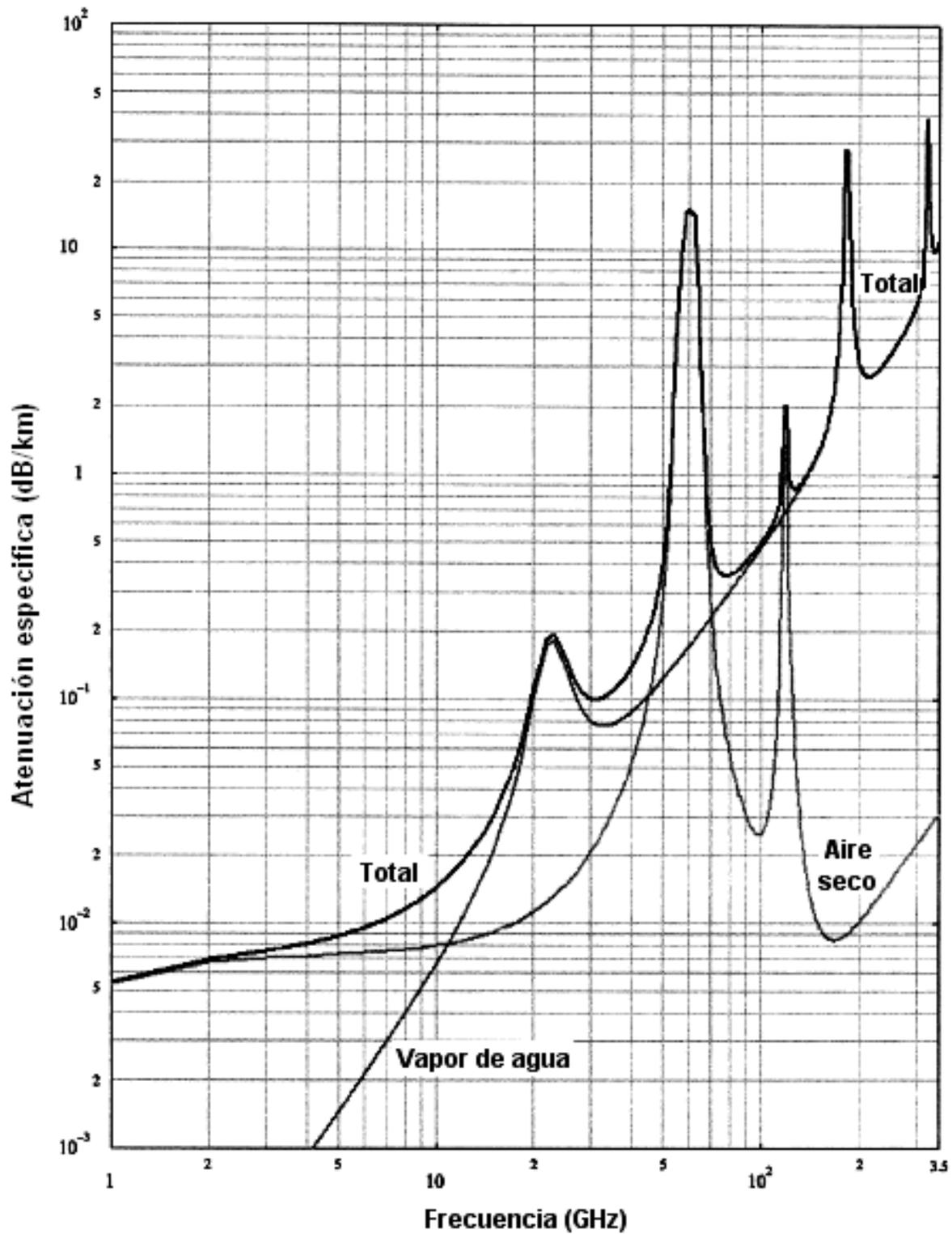
Notas:

- (3) La tasa de bit máxima utilizable corresponde a R_u para datos del tipo 1 (transporte MPEG – 2, formato de 188 bytes); la tasa de transmisión de símbolo máxima corresponde a R_s ; y el ancho de banda disponible al ancho de banda del transpondedor (BW_T) y a una ranura del ancho de banda que es menor al ancho de banda del transpondedor (BW_S).

- (4) Los valores de la tabla fueron calculados utilizando la siguiente ecuación:

$$R_u = R_s \times (188/204) \times (\text{FEC}) \times m; \text{ Donde } m \text{ es el número de bits transmitidos por símbolo de constelación.}$$

ANEXO B

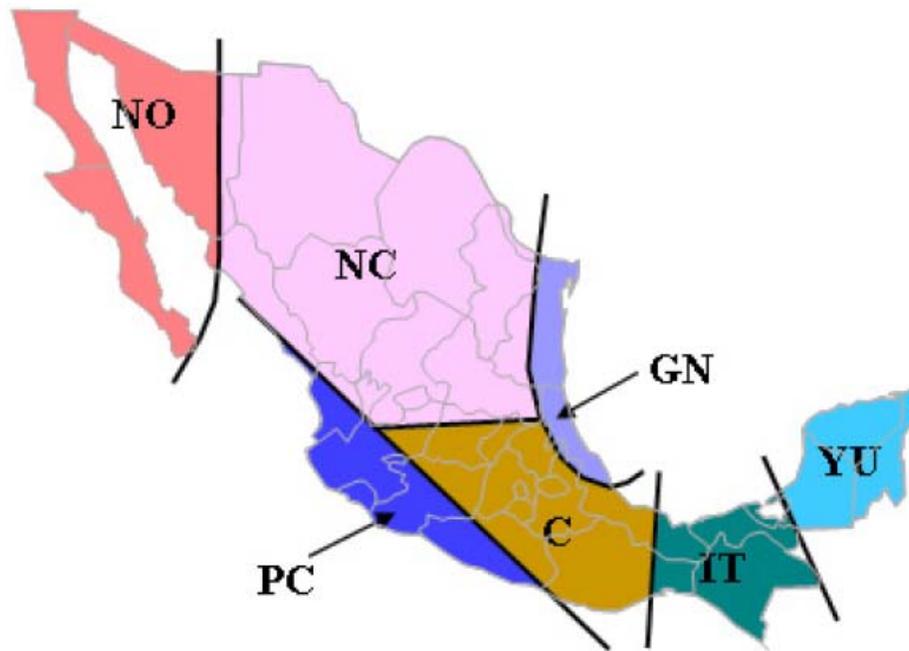


Atenuación específica producida por los gases atmosféricos: presión atmosférica, 1013 mb; temperatura 15°C; vapor de agua, 7.5 g/m³.

ANEXO C



Margen de atenuación por lluvia en banda Ku (México)



Márgenes de atenuación

Zona Hidrometeorológica		Disponibilidad		
		99.50% (dB)	99.80% (dB)	99.90% (dB)
Nor Occidente NO	Tx	1.50	3.00	3.50
	Rx	0.00	1.00	1.50
Norte Centro NC	Tx	0.00	1.00	1.30
	Rx	0.00	0.00	0.00
Golfo Norte GN	Tx	3.60	6.80	9.20
	Rx	1.60	4.80	7.20
Centro C	Tx	2.20	4.20	6.30
	Rx	0.20	2.20	4.30
Pacífico Centro PC	Tx	3.60	5.90	8.50
	Rx	1.60	3.90	6.50
Istmo IT	Tx	2.50	5.80	8.20
	Rx	0.50	3.80	6.20
Yucatán YU	Tx	2.90	6.00	8.90
	Rx	0.90	4.00	6.90

ANEXO D



PROCEDIMIENTO DE ACCESO AL SISTEMA SATELITAL DE SATMEX

PROCEDIMIENTO DE ACCESO

1 INTRODUCCIÓN.

Con el propósito de minimizar interferencias perjudiciales y asegurar la calidad de las transmisiones en los satélites de SATMEX, se cuenta con el **Centro de Control de Comunicaciones (CCC)**, el cual actúa como estación de control para verificar la operación de las redes satelitales de “El Cliente”, determinando su desempeño y posibles desviaciones respecto a los parámetros técnicos asignados por el Área de Tráfico Satelital de SATMEX.

Este documento tiene como propósito el definir los procedimientos para la activación de portadoras permanentes y/u ocasionales a través de los satélites de SATMEX, el manejo de los reportes de interferencias en el sistema satelital y definir los criterios de operación de las redes satelitales.

SATMEX cuenta con un **Centro de Atención a Clientes (CAC)**, cuyos teléfonos son **(52 55) 2629 5898** o el **01 800 800 SATM (01 800 800 7286)** (en México), donde “El Cliente” puede llamar para: programar pruebas técnicas de acceso, realizar pruebas de verificación del patrón de radiación de la antena, reportar problemas operativos, etc. Adicionalmente, se cuenta con el teléfono **(52 55) 5804 7351** para reportar exclusivamente la activación y/o desactivación de los **Servicios Ocasionales**.

Es indispensable que los usuarios y operadores de las Estaciones Terrenas (E/T) contacten con el CCC antes de iniciar transmisión alguna hacia los satélites de SATMEX.

2 ACCESO DE PORTADORAS.

La activación de portadoras a través de los satélites de SATMEX, ya sea de carácter permanente o temporal, deberá sujetarse a este procedimiento:

1.- Información Técnica.

Las portadoras que se pretendan transmitir, deberán cumplir con los parámetros asignados, de lo contrario el CCC no autorizará las pruebas de transmisión.

2.- Solicitud de Pruebas

“El Cliente” deberá contactar con el CAC, quien lo canalizará al CCC para efectuar las siguientes pruebas:

- Aislamiento de Polarización.
- Verificación del patrón de radiación (si se le requiere).
- Ajuste del nivel de potencia.
- Apuntamiento óptimo de antena.
- Coordinación para activación/desactivación de portadoras.
- Ausencia de señal.
- Interferencias
- Generación de portadora de referencia
- Verificación de parámetros técnicos.

Antes de contactar al CCC, "El Cliente" deberá contar con todos los datos técnicos de su red.

1. Razon social, Nombre y número telefónico del operador de la E/T.
2. Satélite a acceder.
3. Transpondedor y polarización.
4. Frecuencia de transmisión y recepción.
5. Velocidad de transmisión y/o velocidad de información.
6. Tipo de modulación.
7. Marca y diámetro de la antena.
8. Técnica de acceso.
9. Nombre de las localidades a enlazar a la transmisión y recepción.

Nota: *SATMEX agendará y proporcionará un número para control de acceso y referencia futura.*

3.- Ajustes preliminares a la recepción.

"El Cliente" deberá llevar a cabo en forma previa las siguientes acciones **sin transmitir portadora al satélite:**

- a) Orientar correctamente la antena en los ángulos de acimut y elevación hacia el satélite de interés.
- b) Ajustar a la recepción el aislamiento de polarización de la antena mediante la observación de señales provenientes del satélite. Se puede solicitar al CCC alguna señal de referencia específica. Para obtener su máximo nivel de recepción.
- c) Calcular y ajustar la potencia de transmisión, de tal forma que en el momento de transmitir, ésta no exceda la potencia asignada, a fin de ajustarla bajo la dirección del CCC.
- d) Verificar la configuración y estado operativo de los equipos de Banda base y Radiofrecuencia de la E/T, antes de la activación de la portadora.

4.- Pruebas de radiofrecuencia a la transmisión.

Bajo la dirección del CCC se transmitirá la portadora, en la frecuencia asignada y con baja potencia, a fin de efectuar las siguientes mediciones:

- 1) Aislamiento de polarización ortogonal.
- 2) Patrón de radiación (Su realización está en función del diámetro de antena).
- 3) Frecuencia de portadora.
- 4) Energía dispersa, subportadoras de audio (para portadoras analógicas de TV/FM/FDMA).
- 5) Velocidad de transmisión y FEC.
- 6) Modulación.
- 7) Ancho de banda.
- 8) Forma espectral.
- 9) PIRE del satélite.
- 10) Emisiones espurias.

Durante todo el proceso de la prueba, “El Cliente” deberá mantener comunicación telefónica con el CCC.

El personal del CCC informará al usuario a la mayor brevedad sobre el resultado de las mediciones.

Si durante el desarrollo de las pruebas se llegara a producir interferencia perjudicial a otras redes o a satélites adyacentes. El CCC ordenará al “El Cliente” desactivar su portadora.

3 LINEAMIENTOS GENERALES

- **Aislamiento de polarización ortogonal**

El aislamiento de polarización ortogonal de la antena de la E/T deberá ser > 30 dB y sin inducción sobre el canal opuesto. Si estas dos condiciones no se cumplen, será necesario terminar la transmisión hasta que “El Cliente” realice los ajustes necesarios en su sistema de antena para cumplir con este criterio.

- **Patrón de radiación de antena**

Todas las antenas que transmitan a los satélites de SATMEX, deberán cumplir con la envolvente **29 – 25 log (θ)** para lóbulos laterales. Antenas mayores de 3.6 m deberán realizar la prueba de Patrón de Radiación en coordinación con el CCC de Satmex.

4 REPORTES Y MANEJO DE INTERFERENCIAS

Todos los incidentes sobre interferencias de radiofrecuencia (IRF's) deberán ser reportadas al CCC a través del CAC de SATMEX.

1. Antes de iniciar un reporte de IRF, el operador de la E/T designado por “El Cliente” deberá verificar su equipo transmisor (Maestra y VSAT) para asegurarse que ellos mismos no estén causando el problema.

2. Si es posible, verificar la IRF con una segunda E/T para confirmar la IRF. En caso de que “El Cliente” no cuente con esta segunda estación, el CCC lo verificará a través de una estación de referencia.

3. Es necesario que el operador de la E/T proporcione la mayor información posible al personal del CCC. Se registrará el incidente y se proporcionará un número de control de anomalía e iniciará los procedimientos de eliminación de IRF.

4. Información inicial requerida:

1. Satélite, Transpondedor, polarización.
2. Fecha y hora en que inició la IRF.
3. Frecuencia(s) afectadas.
4. Red y tráfico afectado.
5. Ancho de banda afectado.

5. El CCC, llevará a cabo las siguientes pruebas conjuntamente con los operadores de las E/T y con “El Cliente”, que pudieran estar causando el problema de IRF. Estas pruebas ayudarán en la determinación de fuentes de interferencia. Es muy probable que “El Cliente” tenga que cesar sus transmisiones, a fin de poder caracterizar la señal interferente.

6. Tomando en cuenta el tipo y gravedad del problema. El CCC tratará dentro de lo posible la restauración del tráfico con las acciones que se mencionan a continuación.

**Incremento(s) de potencia de la(s) portadora(s).
Reubicación en frecuencia de la(s) portadora(s).**

7. Una vez realizado los análisis de interferencia, pruebas de radiofrecuencia y procesos de Interferometría y localizada la fuente generadora de IRF, “SATMEX” solicitará que tome las acciones necesarias para la corrección de las mismas y proceder a normalizar el tráfico satelital.

5 SERVICIO DEL TLS

El proceso de localización de interferencias usualmente inicia mediante la llamada de “El Cliente” al CCC informando anomalías en sus comunicaciones. En este momento el CCC lleva a cabo una revisión rápida para ver si existe alguna irregularidad en el transpondedor para atenderla. En el caso de que no se pueda resolver utilizando los procedimientos básicos, será necesario aplicar procesos de Interferometría y llevar a cabo geolocalizaciones a través del Sistema de Localización de Transmisiones (TLS). La técnica del TLS emplea señales que se propagan a través del satélite interferido y de un satélite adyacente para obtener el cruce de líneas de tiempo y frecuencias sobre un mapa, lo cual dará la posición geográfica de la E/T generadora de la IRF.

El CCC llevará a cabo investigaciones sobre la IRF y mantendrá informado al operador de la E/T sobre el desarrollo y avances en la erradicación de la interferencia.

6 ESCALAMIENTO

Para cualquier incidencia en el servicio, “ El Cliente “procederá a reportarla conforme a la lista de escalamiento que se muestra a continuación:

Centro de Control de Comunicaciones en servicio 24 h, 7 días de la semana Teléfono: 52 55 2629 5898 Sin costo del interior de la república 1 800 800 7286 Fax: 52 55 5804-7313 noc@satmex.com	
Fidel Romero Supervisor de Redes Satelitales Teléfono (52 55) 5804 7300 Ext. 296 Fax: (52 55) 5804 7313 Fidel.romero@satmex.com	Teodoro Rivera Supervisor de Redes Satelitales Teléfono (52 55) 5804 7300 Ext. 284 Fax: (52 55) 5804 7313 Teodoro.rivera@satmex.com
Julián Palomera Subdirector de Monitoreo y Control de Acceso Teléfono (52 55) 5804 7325 Fax: (52 55) 5804 7313 Julian.palomera@satmex.com	
Héctor M. Fortis Director Ejecutivo de Tráfico y Soporte al Cliente Teléfono (52 55) 5804 7330 Fax: (52 55) 5804 7317 Hector.fortis@satmex.com	

El cliente deberá proporcionar una lista de escalamiento similar para reportar posibles problemas que esté causando su red, en la cual se incluirán los teléfonos, número de fax, e –mails y radiolocalizadores de las personas que atenderán las 24 horas del día cualquier reporte de anomalía.

ANEXO E

Equipo médico de diagnóstico utilizado en la unidad móvil

Estetoscopio electrónico.



Estetoscopio electrónico digital.



Electrocardiograma electrónico digital.



Cámara retinal digital.



Oftalmoscopio.



Ultrasonido



Scanner de rayos X.



Video colposcopio.



ANEXO F

Código del programa en MATLAB para el cálculo del presupuesto de enlace

```

%Enlace Ascendente (UPLINK).
%Puntos Geográficos.

%Latitud del Tx.

display('Introduzca el valor de la Latitud del Transmisor. ');
Grad1 = input('\nGrados = ');
Min1 = input('Minutos = ');
Seg1 = input('Segundos = ');
LatdelTx1 = [Grad1 Min1 Seg1];

%Longitud del Tx.

display('Introduzca la Longitud del Transmisor. ');
Grad2 = input('\nGrados = ');
Min2 = input('Minutos = ');
Seg2 = input('Segundos = ');
LongdelTx2 = [Grad2 Min2 Seg2];

%Longitud del satélite.

display('Escriba la Longitud del Satélite. ');
Gradsat = input('\n Longitud del Satélite = ');

angDeg1 = dms2degrees(LatdelTx1);
angRad1 = deg2rad(angDeg1);

Rad1 = cos(angRad1);
Radsat = deg2rad(Gradsat);

angDeg2 = dms2degrees(LongdelTx2);
Rad2 = deg2rad(angDeg2);

Cosendelta = Rad1*cos(Radsat-Rad2);
Delta = acosd(Cosendelta);

Sendelta = sind(Delta);
Dctsat = 42164.2;

Rtierra = 6378.155;
a = (Dctsat-(Rtierra*Cosendelta))/(Rtierra*Sendelta);
A = atand(a);

```

```
%Cálculo del Azimut.
```

```
Az = 180 + atand(tan(Radsat-Rad2)/sin(angRad1));
AzimutTx = degrees2dms(Az);
display(AzimutTx)
```

```
%Elevación del Tx.
```

```
ElevTx = A - Delta;
ElevacionTx = degrees2dms(ElevTx);
display(ElevacionTx)
disp('Presione Enter para Continuar.')
```

```
pause;
```

```
Elevrad = deg2rad(ElevTx);
Elem = 2*Dcstsat*Rtierra*(sin(Elevrad + asin(Rtierra/Dcstsat*cos(Elevrad))));
```

```
%Distancia de la Tierra al satélite.
```

```
Dkm = sqrt(Dcstsat^2 + Rtierra^2 - Elem);
display(Dkm)
display('Presione Enter para Continuar.')
```

```
pause;
```

```
%Velocidad de Información.
```

```
display('Introduzca la Velocidad de Información para Cada Aplicación.');
```

```
Video = input('Velocidad de Información de La Señal de Video: ');
```

```
Audio = input('Velocidad de Información de La Señal de Audio: ');
```

```
Datos = input('Velocidad de Información de Los Datos Adicionales: ');
```

```
Servicio = input('Velocidad de Información de Ctrol. de Servicio: ');
```

```
%Cálculo de los Bits Adicionales.
```

```
Suma = Video + Audio + Datos + Servicio;
```

```
BitsAd = Suma * 0.15;
```

```
display('Los Bits Adicionales son: ')
```

```
display(BitsAd)
```

```
%Velocidad de la información total.
```

```
VelInfsist = Suma + BitsAd;
```

```
display('La Velocidad de la Información del Sistema es (Mbps): ');
```

```
display(VelInfsist)
```

```
display('Presione Enter para Continuar.')
```

```
pause;
```

```
%FEC
```

```
display('Introduzca el valor de FEC.');
```

```

FEC = input('FEC = ');

%Velocidad de Transmisión.

VTx = VelInfsist/FEC;
display('La velocidad de Transmisión es:');
display(VTx)
display('Presione Enter para Continuar.')
pause;

%Índice de Modulación y Roll-Off.

display('Introduzca el valor del Índice de Modulación.')
IndMod = input('Índice de Modulación = ');
display('Introduzca el valor de (Roll-Off).');
RollOff = input('Roll - Off = ');

%Ancho de Banda de Portadora (BWport).

BWport = (VTx)*(IndMod)*(1 + RollOff);
display('El Ancho de Banda de Portadora (BWport)es:');
display(BWport)
display('Presione Enter para Continuar.')
pause;

%Distancia en metros

Dmts = Dkm * 10^3;

%Pérdida por Propagación ascendente (Lpasc).

Lpasc = 10*log10(4*(pi)*(Dmts)^2);
display('La Pérdida de Propagación (Lpasc) en el Enlace Ascendente es: ');
display(Lpasc)
display('Presione Enter para Continuar.')
pause;

%Frecuencia de Transmisión (FTx).

display('Introduzca el Valor de la Frecuencia de Transmisión (FTx): ');
f = input('FTx = ');
c = (3)*(10^8);

%Pérdida en el espacio libre ascendente (Lsasc).

Lsasc = 20*log10((4*(pi)*(Dmts)*(f))/(c));
display('La Perdida por el Espacio Libre en el Enlace Ascendente (Lsasc)
es: ');
display(Lsasc)
display('Presione Enter para Continuar.')
pause;

```

```

%Densidad de Flujo de Saturación de Portadora (DFSport).

display('Introduzca la Densidad de Flujo de Saturación del Satélite
(DFSSat): ');
DFSSat = input('DFSSat = ');
display('Introduzca el Ancho de Banda de Portadora (BWport): ');
BWportad = input('BWportad = ');
display('Introduzca el Ancho de Banda de Transpondedor (BWtp): ');
BWtransp = input('BWtransp = ');
FR = (BWportad)/(BWtransp);
display(FR)
DFSport = DFSSat - 9 + 4 + 10*(log10(FR));
display('La Densidad de Flujo de Saturación de Portadora (DFSport) es: ');
display(DFSport)
display('Presione Enter para Continuar.')
pause;

%Potencia isotropica radiada efectiva de la estación terrena (PIREet).

PIREet = DFSport + Lpasc;
display('La PIRE para la Estación Terrena es: ');
display(PIREet)
display('Presione Enter para Continuar.')
pause;

%Relación de portadora a densidad de ruido ascendente (CNoasc).

display('Introduzca la Figura de Merito del Satélite G/Tsat: ');
GTsat = input('G/Tsat = ');
display('Introduzca el Margen de Atenuación por LLuvia en el Enlace
Ascendente (Muasc): ');
Muasc = input('Muasc = ');
CNoasc = PIREet + GTsat + 228.601 - Lsasc - 0.9 - Muasc;
display('La Relación de Portadora a Densidad de Ruido Ascendente
(CNoasc)es: ');
display(CNoasc)
display('Presione Enter para Continuar.')
pause;

%Relación portadora a ruido ascendente (CNasc).

CNasc = CNoasc - 10*log10(BWportad);
display('La Relación Portadora a Ruido Ascendente (C/Nasc)es: ');
display(CNasc)
display('Presione Enter para Continuar.')
pause;

```

```

%Satélite adyacente ascendente (CXsatady).

display('Introduzca la Ganancia de la Antena Transmisora (GTx): ');
GTx = input('GTx = ');
display('Introduzca la Separación entre Satélites (fi): ');
fi = input('fi = ');
CXsatady = GTx - (29 - 25*(log10(fi)));
display('La Relación Satelite adyacente Ascendente (CXsatady) es: ');
display(CXsatady)
display('Presione Enter para Continuar.')
pause;

%Relación portadora a ruido ascendente del sistema (CNascscist).

CNascscist = 10*log10(1/(1/(10^(CNasc/10)) + 1/(10^(30/10)) + 1/(10^(27/10))
+ 1/(10^(CXsatady/10))));
display('La Relación Portadora a Ruido Ascendente del Sistema (CNascscist)
es: ');
display(CNascscist)
display('Presione Enter para Continuar.')
pause;

%Potencia nominal requerida por portadora (Pnom).

Pnom = PIREet - GTx - 0.9;
display('La Potencia Nominal Requerida por Portadora en dBW es: ');
display(Pnom)
display('Presione Enter para Continuar.')
pause;

%Potencia nominal requerida por portadora en watts (Pnomwatts).

Pnomwatts = 10^((Pnom)/10);
display('La Potencia Nominal Requerida por Portadora en Watts es: ');
display(Pnomwatts)
display('Presione Enter para Continuar.')

%Enlace Descendente (DOWNLINK).
%Puntos Geográficos.

%Latitud del Rx.

display('Escriba la Latitud del Receptor. ');
GradP3 = input('\nGrados = ');
MinP3 = input('Minutos = ');
SegP3 = input('Segundos = ');
LatdelRx1 = [GradP3 MinP3 SegP3];

%Longitud del Rx.

display('Escriba la Longitud del Receptor. ');
GradP4 = input('\nGrados = ');

```

```

MinP4 = input('Minutos = ');
SegP4 = input('Segundos = ');
LongdelRx1 = [GradP4 MinP4 SegP4];

angDeg3 = dms2degrees(LatdelRx1);
angRad3 = deg2rad(angDeg3);
Rad3 = cos(angRad3);

angDeg4 = dms2degrees(LongdelRx1);
Rad4 = deg2rad(angDeg4);

Cosendelta1 = Rad3*cos(Radsat - Rad4);
Delta1 = acosd(Cosendelta1);
Sendelta1 = sind(Delta1);
a1 = (Dctsat-(Rtierra*Cosendelta1))/(Rtierra*Sendelta1);
A1 = atand(a1);

%Cálculo del Azimut.

AzRx = 180 + atand(tan(Radsat-Rad4)/sin(angRad3));
AzimutRx = degrees2dms(AzRx);
display(AzimutRx)

%Elevación del Rx.

ElevRx = A1 - Delta1;
ElevacionRx = degrees2dms(ElevRx);
display(Elevación)
disp('Presione Enter para Continuar.')
pause;

%Distancia de la Tierra al satélite.

Elevrad1 = deg2rad(ElevRx);
Elem1 = 2*Dctsat*Rtierra*(sin(Elevrad1 +
asin(Rtierra/Dctsat*cos(Elevrad1))));
Dkml = sqrt(Dctsat^2 + Rtierra^2 - Elem1);
display(Dkml)
display('Presione Enter para Continuar.')
pause;

%Distancia en metros

Dmts1 = Dkml * (10^3);

%Pérdida por Propagación descendente (Lpdesc).

Lpdesc = 10*(log10(4*(pi)*(Dmts1)^2));
display('La Pérdida de Propagación (Lpasc) en el Enlace descendente es: ');
display(Lpdesc)
display('Presione Enter para Continuar.')
pause;

```

```
%Frecuencia de Recepción (FRx).
```

```
display('Introduzca el Valor de la Frcuencia de Recepción (FRx): ');
f = input('FRx = ');
c = 3*(10^8);
```

```
%Pérdida en el espacio libre descendente (Lsdesc).
```

```
Lsdesc = 20*(log10((4*(pi)*(Dmts1)*(f))/(c)));
display('La Perdida por el Espacio Libre en el Enlace descendente (Lsdesc)
es: ');
display(Lsdesc)
display('Presione Enter para Continuar.')
pause;
```

```
%PIRE del satélite por portadora (PIREsat).
```

```
display('Introduzca el Valor de la PIRE del Satelite para el Sitio
Receptor: ');
PIREsatu = input('PIREsatu = ');
display('Introduzca el Valor del Back - Off de Salida (BOO): ');
BOO = input('BOO = ');
PIREsat = PIREsatu - BOO + 10*(log10(FR));
display('La PIRE de Satelite por Portadora es: ');
display(PIREsat)
display('Presione Enter para Continuar.')
pause;
```

```
%Relación portadora a densidad de ruido descendente (CNodesc).
```

```
display('Introduzca el Valor de la Figura de Merito (G/T) de la Antena del
Receptor:');
GTr = input('G/Tet = ');
display('Introduzca el Margen de Atenuación por LLuvia en el Enlace
Descendente (Mudesc): ');
Mudesc = input('Mudesc = ');
CNodesc = PIREsat + GTr + 228.601 - Lsdesc - Mudesc - 0.9;
display('La Relación Portadora a Densidad de Ruido Descendente (CNodesc)
es:');
display(CNodesc)
display('Presione Enter para Continuar.')
pause;
```

```
%Relación portadora a ruido descendente (CNdesc).
```

```
CNdesc = CNodesc - 10*(log10(BWportad));
display('La Relación Portadora a Ruido Descendente (CNdesc) es:');
display(CNdesc)
display('Presione Enter para Continuar.')
pause;
```

```
%Relación satélite adyacente (CXsatady).
```

```

display('Introduzca el Valor de la Ganancia de la Antena Receptora
(GRx):');
GRx = input('GRx = ');
display('Introduzca la Separación entre Satélites (fi): ');
fi = input('fi = ');
CXsatadyRx = GRx - (29 - (25)*(log10(fi)));
display('La Relación Satelite adyacente (CXsatady)es: ');
display(CXsatadyRx)
display('Presione Enter para Continuar.')
pause;

%Relación portadora a ruido descendente del sistema (CNdescsist).

display('Introduzca el Valor de Intermodulación (C/I):');
CI = input('C/I = ');
display('Introduzca el Valor del Transpondedor Adyacente (C/X):');
CXpol = input('C/Xpol = ');
CNdescsist =
10*(log10(1/((1/(10^(CNdesc/10)))+(1/(10^(CI/10)))+(1/(10^(CXpol/10)))+(1/(
10^(CXsatadyRx/10))))));
display('La Relación Portadora a Ruido Descendente del Sistema (C/N)sist
es:');
display(CNdescsist)
display('Presione Enter para Continuar.')
pause;

%Relación portadora a densidad de ruido total del sistema (CNototsist).

CNototsist = 10*(log10(1/((1/(10^(CNoasc/10)))+(1/(10^(CNodesc/10))))));
display('La Relación Portadora a Densidad de Ruido Total del Sistema
(C/No)sist es:');
display(CNototsist)
display('Presione Enter para Continuar.')
pause;

%Relación portadora a ruido total del sistema(CNtotsist).

CNtotsist = CNototsist - 10*(log10(BWportad));
display('La Relación Portadora a Ruido Total del Sistema (C/N)tsist es:');
display(CNtotsist)
display('Presione Enter para Continuar.')
pause;

%Cálculo de la potencia consumida en el HPA.

Pothpa = PIREet - GTx + 1 + BOO;
display('La Potencia Consumida en el HPA en dBW es:');
display(Pothpa)
POTHPA = 10^(Pothpa/10);
display('La Potencia Consumida en el HPA en Watts es:');
display(POTHPA)
display('Presione Enter para Continuar.')
pause;

```

```

%Relación portadora a densidad de ruido requerido (CNoreq).

display('Introduzca la Energia de Bit a Ruido');
EbNo = input('Eb/No = ');
display('Introduzca El Factor de Inicialización (Over Head)');
OvHed = input('Over Head = ');
CNoreq = EbNo + 10*(log10((VelInfsist*10^6) + (OvHed)));
display('La Relación Portadora a Ruido Requerido(C/Noreq) es:');
display(CNoreq)
display('Presione Enter para Continuar.')
pause;

%Relación Portadora a Ruido Requerido(C/Nreq).

CNreq = CNoreq - 10*(log10(BWportad));
display('La Relación Portadora a Ruido Requerido(C/Nreq) es:');
display(CNreq)
display('Presione Enter para Continuar.')
pause;

%Calculo de Tlna.

display('Introduzca el Valor de la Temperatura del Sistema: ');
Tsist = input('Tsist = ');
Tlna = (Tsist) + (CNreq);
display('La Temperatura del LNA(Tlna)es:');
display(Tlna)
display('Presione Enter para Continuar.')
pause;

%Porcentaje de potencia consumida por la portadora en el satélite (Pot).

Pot = (10^((PIREsat - PIREsatu + BOO)/10))*100;
display('El Porcentaje de Potencia Consumida por la Portadora en el
Satélite es:');
display(Pot)
display('Presione Enter para Continuar.')
pause;

%Margen de enlace (ME).

ME = (CNTotsist) - (CNreq);
display('El Margen de Enlace es:');
display(ME)

```

ANEXO G

Resultados del cálculo del presupuesto de enlace para diferentes regiones de la República Mexicana.

Resultados del cálculo de presupuesto de enlace para el canal de HDTV

Resultados del cálculo de Enlace entre San Felipe (Baja Cal.) y el Distrito Federal (Hospital 1° de Octubre) para una Señal de HDTV.

No.	Elementos	Transmisor (Tx)	Receptor (Rx)	OTROS	ECUA.
1	Sítios	San Felipe	Hospital 1° Octubre		
2	Latitud	31°01'52.28" N	19°29'13.50" N		
3	Longitud	114°50'10.94" O	99°08'02.06" O		
4	Satélite	SATMEX 5 116.8° O			
5	Azimut	183°48'18.09"	223°40'22.71"		(3.1)
6	Elevación	53°47'7.72"	59°31'51.75"		(3.2)
7	Distancia al Satélite	36850 km	36543 km		(3.3)
8	Velocidad de Inf.	9.6342 Mbps			(3.4)
9	FEC	3/4		ATSC	
10	Ind. Mod.	0.5(QPSK)		ATSC	
11	Roll – Off	0.35		ATSC	
12	Ancho de Banda (BW_{port})	9 MHz			(3.6)
13	BW_{Tp}	36 MHz		SATMEX	
14	Pérdida de Propagación L_p	162.3207 dBm ²			(3.7)
15	Frec. Transmisión	14.457 GHz (Pol. Vert)		SATMEX	
16	Perdida Espacio Libre L_s	206.9720 dB			(3.8)
17	DFS_{SAT}	-93 dBW/m ²		SATMEX	
18	$PIRE_{ET}$	58.3001 dBW			(3.10)
19	DFS_{port}	-104.0206 dBW/m ²			(3.9)
20	Fr	0.25			
21	G Tx	46.60 dBi		VERTEX	
22	μ_{asc}	3.00 dB		SATMEX	
23	G/T Sat	+4.2 dB/K		SATMEX	
24	C/N_0_{asc}	79.8252 dB·Hz			(3.11)
25	C/N_{asc}	10.2827 dB			(3.12)
26	$C/X_{sat ady}$	24.5688 dB			(3.13)
27	C/I	30 dB		MANUAL	
28	C/X_{pol}	27 dB		MANUAL	
29	$C/N_{asc sist}$	9.9920 dB			(3.14)
30	P_{nom}	10.3961 dBW (10.9550 W)			(3.15)
31	Frec. Recepción.		12.157 GHz (Pol. Horiz.)	SATMEX	
32	G Rx		52.1 dBi	ANDREW	
33	μ_{desc}		2.20 dB	SATMEX	
34	G/T et		29.9251 dB/K		(3.17)
35	$PIRE_{satu}$		51.5 dBW		
36	TEMP. SIST.		165 K		
37	L_p_{desc}		162.2481 dBm ²		
38	L_s_{desc}		205.3943 dB		
39	$PIRE_{SAT}$		39.4794 dBW	SATMEX	(3.16)
40	C/N_0_{desc}		89.1072 dB·Hz		(3.18)
41	C/N_{desc}		19.5648 dB		(3.19)
42	C/I		18 dB	MANUAL	
43	$C/X_{tp ady}$		27 dB	MANUAL	
44	$C/X_{sat ady}$		30.0688 dB		(3.20)
45	$C/N_{desc sist}$		15.2458 dB		(3.21)
46	C/N_0_{sist}		79.3408 dB		(3.22)
47	C/N_{sist}		9.7984 dB		(3.23)
48	E_b/N_0		5.5 dB	ATSC	
49	HPA	18.7001 dBW (74.1333 W)			(3.24)
50	C/N_0_{REQ}		75.3391 dB		(3.25)
51	C/N_{REQ}		5.7967 dB		(3.26)
52	T Ina		170.7967 dB/K		(3.27)
53	% Potencia		25 %		(3.28)
54	Margen		4.0018 dB		(3.29)

Resultados del cálculo de Enlace entre Cuencamé (Durango) y el Distrito Federal (Hospital 1° de Octubre) para una Señal de HDTV.

No.	Elementos	Transmisor (Tx)	Receptor (Rx)	OTROS	ECUA.
1	Sítios	Cuencamé	Hospital 1° Octubre (D.F.)		
2	Latitud	24°51'47.10" N	19°29'13.50" N		
3	Longitud	103°41'38.82" O	99°08'02.06" O		
4	Satélite	SATMEX 5 116.8° O			
5	Azimut	208°58'28.25"	223°40'22.71"		(3.1)
6	Elevación	57°25'1.8"	59°31'51.75"		(3.2)
7	Distancia al Satélite	36650 km	36543 km		(3.3)
8	Velocidad de Inf.	9.6342 Mbps			(3.4)
9	FEC	3/4		ATSC	
10	Ind. Mod.	0.5(QPSK)		ATSC	
11	Roll – Off	0.35		ATSC	
12	Ancho de Banda (BW_{port})	9 MHz			(3.6)
13	BW_{Tp}	36 MHz		SATMEX	
14	Pérdida de Propagación L_p	162.2735 dBm ²			(3.7)
15	Frec. Transmisión	14.457 GHz (Pol. Vert)		SATMEX	
16	Perdida Espacio Libre L_s	206.9248 dB			(3.8)
17	DFS_{SAT}	-93 dBW/m ²		SATMEX	
18	$PIRE_{ET}$	58.2529 dBW			(3.10)
19	DFS_{port}	-104.0206 dBW/m ²			(3.9)
20	Fr	0.25			
21	G Tx	46.60 dBi		VERTEX	
22	μ_{asc}	1.00 dB		SATMEX	
23	G/T Sat	+4.2 dB/K		SATMEX	
24	C/N_0_{asc}	81.8252 dB·Hz			(3.11)
25	C/N_{asc}	12.2827 dB			(3.12)
26	$C/X_{sat ady}$	24.5688 dB			(3.13)
27	C/I	30 dB		MANUAL	
28	C/X_{pol}	27 dB		MANUAL	
29	$C/N_{asc sist}$	11.8305 dB			(3.14)
30	P_{nom}	10.3489 dBW (10.8366 W)			(3.15)
31	Frec. Recepción.		12.157 GHz (Pol. Horiz.)	SATMEX	
32	G Rx		52.1 dBi	ANDREW	
33	μ_{desc}		2.20 dB	SATMEX	
34	G/T et		29.9251 dB/K		(3.17)
35	$PIRE_{satu}$		51.5 dBW		
36	TEMP. SIST.		165 K		
37	L_p_{desc}		162.2481 dBm ²		
38	L_s_{desc}		205.3943 dB		
39	$PIRE_{SAT}$		39.4794 dBW	SATMEX	(3.16)
40	C/N_0_{desc}		89.1072 dB·Hz		(3.18)
41	C/N_{desc}		19.5648 dB		(3.19)
42	C/I		18 dB	MANUAL	
43	$C/X_{tp ady}$		27 dB	MANUAL	
44	$C/X_{sat ady}$		30.0688 dB		(3.20)
45	$C/N_{desc sist}$		15.2458 dB		(3.21)
46	C/N_0_{sist}		81.0807 dB		(3.22)
47	C/N_{sist}		11.5383 dB		(3.23)
48	E_b/N_0		5.5 dB	ATSC	
49	HPA	18.6529 dBW (73.3317 W)			(3.24)
50	C/N_0_{REQ}		75.3391 dB		(3.25)
51	C/N_{REQ}		5.7967 dB		(3.26)
52	T Ina		170.7967 dB/K		(3.27)
53	% Potencia		25 %		(3.28)
54	Margen		5.7417 dB		(3.29)

Resultados del cálculo de Enlace entre Talpa de Allende (Jalisco) y el Distrito Federal (Hospital 1° de Octubre) para una Señal de HDTV.

No.	Elementos	Transmisor (Tx)	Receptor (Rx)	OTROS	ECUA.
1	Sítios	Talpa de Allende	Hospital 1° Octubre (D.F.)		
2	Latitud	20°23'01.20" N	19°29'13.50" N		
3	Longitud	104°49'41.67" O	99°08'02.06" O		
4	Satélite	SATMEX 5 116.8° O			
5	Azimut	211°19'56.16"	223°40'22.71"		(3.1)
6	Elevación	62°28'58.08"	59°31'51.75"		(3.2)
7	Distancia al Satélite	36404 km	36543 km		(3.3)
8	Velocidad de Inf.	9.6342 Mbps			(3.4)
9	FEC	3/4		ATSC	
10	Ind. Mod.	0.5(QPSK)		ATSC	
11	Roll – Off	0.35		ATSC	
12	Ancho de Banda (BW_{port})	9 MHz			(3.6)
13	BW_{Tp}	36 MHz		SATMEX	
14	Pérdida de Propagación L_p	162.2152 dBm ²			(3.7)
15	Frec. Transmisión	14.457 GHz (Pol. Vert)		SATMEX	
16	Perdida Espacio Libre L_s	206.8664 dB			(3.8)
17	DFS_{SAT}	-93 dBW/m ²		SATMEX	
18	$PIRE_{ET}$	58.1946 dBW			(3.10)
19	DFS_{port}	-104.0206 dBW/m ²			(3.9)
20	Fr	0.25			
21	G Tx	46.60 dBi		VERTEX	
22	μ_{asc}	6.80 dB		SATMEX	
23	G/T Sat	+4.2 dB/K		SATMEX	
24	C/N_0_{asc}	76.9252 dB·Hz			(3.11)
25	C/N_{asc}	7.3827 dB			(3.12)
26	$C/X_{sat ady}$	24.5688 dB			(3.13)
27	C/I	30 dB		MANUAL	
28	C/X_{pol}	27 dB		MANUAL	
29	$C/N_{asc sist}$	7.2312 dB			(3.14)
30	P_{nom}	10.2906 dBW (10.6920 W)			(3.15)
31	Frec. Recepción.		12.157 GHz (Pol. Horiz.)	SATMEX	
32	G Rx		52.1 dBi	ANDREW	
33	μ_{desc}		2.20 dB	SATMEX	
34	G/T et		29.9251 dB/K		(3.17)
35	$PIRE_{satu}$		51.5 dBW		
36	TEMP. SIST.		165 K		
37	L_p_{desc}		162.2481 dBm ²		
38	L_s_{desc}		205.3943 dB		
39	$PIRE_{SAT}$		39.4794 dBW	SATMEX	(3.16)
40	C/N_0_{desc}		89.1072 dB·Hz		(3.18)
41	C/N_{desc}		19.5648 dB		(3.19)
42	C/I		18 dB	MANUAL	
43	$C/X_{tp ady}$		27 dB	MANUAL	
44	$C/X_{sat ady}$		30.0688 dB		(3.20)
45	$C/N_{desc sist}$		15.2458 dB		(3.21)
46	C/N_0_{sist}		76.6700 dB		(3.22)
47	C/N_{sist}		7.1276 dB		(3.23)
48	E_b/N_0		5.5 dB	ATSC	
49	HPA	18.5946 dBW (72.3535 W)			(3.24)
50	C/N_0_{REQ}		75.3391 dB		(3.25)
51	C/N_{REQ}		5.7967 dB		(3.26)
52	T Ina		170.7967 dB/K		(3.27)
53	% Potencia		25 %		(3.28)
54	Margen		1.3310 dB		(3.29)

Resultados del cálculo de Enlace entre Tempoal (Veracruz) y el Distrito Federal (Hospital 1° de Octubre) para una Señal de HDTV.

No.	Elementos	Transmisor (Tx)	Receptor (Rx)	OTROS	ECUA.
1	Sitios	Tempoal (Veracruz)	Hospital 1° Octubre (D.F.)		
2	Latitud	21°31'27.55" N	19°29'13.50" N		
3	Longitud	98°23'25.18" O	99°08'02.06" O		
4	Satélite	SATMEX 5 116.8° O			
5	Azimut	222°12'50.01"	223°40'22.71"		(3.1)
6	Elevación	57°16'23.43"	59°31'51.75"		(3.2)
7	Distancia al Satélite	36657 km	36543 km		(3.3)
8	Velocidad de Inf.	9.6342 Mbps			(3.4)
9	FEC	3/4		ATSC	
10	Ind. Mod.	0.5 (QPSK)		ATSC	
11	Roll – Off	0.35		ATSC	
12	Ancho de Banda (BW_{port})	9 MHz			(3.6)
13	BW_{Tp}	36 MHz		SATMEX	
14	Pérdida de Propagación L_p	162.2753 dBm ²			(3.7)
15	Frec. Transmisión	14.457 GHz (Pol. Vert)		SATMEX	
16	Perdida Espacio Libre L_s	206.9265 dB			(3.8)
17	DFS_{SAT}	-93 dBW/m ²		SATMEX	
18	$PIRE_{ET}$	58.2547 dBW			(3.10)
19	DFS_{port}	-104.0206 dBW/m ²			(3.9)
20	Fr	0.25			
21	G Tx	46.60 dBi		VERTEX	
22	μ_{asc}	6.80 dB		SATMEX	
23	G/T Sat	+4.2 dB/K		SATMEX	
24	C/N_0_{asc}	76.0252 dB·Hz			(3.11)
25	C/N_{asc}	6.4827 dB			(3.12)
26	$C/X_{sat\ ady}$	24.5688 dB			(3.13)
27	C/I	30 dB		MANUAL	
28	C/X_{pol}	27 dB		MANUAL	
29	$C/N_{asc\ sist}$	6.3592 dB			(3.14)
30	P_{nom}	10.3507 dBW (10.8410 W)			(3.15)
31	Frec. Recepción.		12.157 GHz (Pol. Horiz.)	SATMEX	
32	G Rx		52.1 dBi	ANDREW	
33	μ_{desc}		2.20 dB	SATMEX	
34	G/T et		29.9251 dB/K		(3.17)
35	$PIRE_{satu}$		51.5 dBW		
36	TEMP. SIST.		165 K		
37	L_p_{desc}		162.2481 dBm ²		
38	L_s_{desc}		205.3943 dB		
39	$PIRE_{SAT}$		39.4794 dBW		(3.16)
40	C/N_0_{desc}		89.1072 dB·Hz		(3.18)
41	C/N_{desc}		19.5648 dB		(3.19)
42	C/I		18 dB	MANUAL	
43	$C/X_{tp\ ady}$		27 dB	MANUAL	
44	$C/X_{sat\ ady}$		30.0688 dB		(3.20)
45	$C/N_{desc\ sist}$		15.2458 dB		(3.21)
46	C/N_0_{sist}		75.8167 dB		(3.22)
47	C/N_{sist}		6.2742 dB		(3.23)
48	E_b/N_0		5.5 dB	ATSC	
49	HPA	18.6547 dBW (73.3619 W)			(3.24)
50	C/N_0_{REQ}		75.3391 dB		(3.25)
51	C/N_{REQ}		5.7967 dB		(3.26)
52	T Ina		170.7967 dB/K		(3.27)
53	% Potencia		25 %		(3.28)
54	Margen		0.4776 dB		(3.29)

Resultados del cálculo de Enlace entre Venustiano Carranza (Chiapas) y el Distrito Federal (Hospital 1° de Octubre) para una Señal de HDTV.

No.	Elementos	Transmisor (Tx)	Receptor (Rx)	OTROS	ECUA.
1	Sítios	Venustiano Carranza	Hospital 1° Octubre (D.F.)		
2	Latitud	16°19'46.57" N	19°29'13.50" N		
3	Longitud	92°33'44.82" O	99°08'02.06" O		
4	Satélite	SATMEX 5 116.8° O			
5	Azimut	238°0'51.81"	223°40'22.71"		(3.1)
6	Elevación	56°13'46.15"	59°31'51.75"		(3.2)
7	Distancia al Satélite	36713 km	36543 km		(3.3)
8	Velocidad de Inf.	9.6342 Mbps			(3.4)
9	FEC	3/4		ATSC	
10	Ind. Mod.	0.5(QPSK)		ATSC	
11	Roll – Off	0.35		ATSC	
12	Ancho de Banda (BW_{port})	9 MHz			(3.6)
13	BW_{Tp}	36 MHz		SATMEX	
14	Pérdida de Propagación L_p	162.2885 dBm ²			(3.7)
15	Frec. Transmisión	14.457 GHz (Pol. Vert)		SATMEX	
16	Perdida Espacio Libre L_s	206.9397 dB			(3.8)
17	DFS_{SAT}	-93 dBW/m ²		SATMEX	
18	$PIRE_{ET}$	58.2679 dBW			(3.10)
19	DFS_{port}	-104.0206 dBW/m ²			(3.9)
20	Fr	0.25			
21	G Tx	46.60 dBi		VERTEX	
22	μ_{asc}	5.80 dB		SATMEX	
23	G/T Sat	+4.2 dB/K		SATMEX	
24	C/N_0_{asc}	77.0252 dB·Hz			(3.11)
25	C/N_{asc}	7.4827 dB			(3.12)
26	$C/X_{sat ady}$	24.5688 dB			(3.13)
27	C/I	30 dB		MANUAL	
28	C/X_{pol}	27 dB		MANUAL	
29	$C/N_{asc sist}$	7.3277 dB			(3.14)
30	P_{nom}	10.3639 dBW (10.8739 W)			(3.15)
31	Frec. Recepción.		12.157 GHz (Pol. Horiz.)	SATMEX	
32	G Rx		52.1 dBi	ANDREW	
33	μ_{desc}		2.20 dB	SATMEX	
34	G/T et		29.9251 dB/K		(3.17)
35	$PIRE_{satu}$		51.5 dBW		
36	TEMP. SIST.		165 K		
37	L_p_{desc}		162.2481 dBm ²		
38	L_s_{desc}		205.3943 dB		
39	$PIRE_{SAT}$		39.4794 dBW	SATMEX	(3.16)
40	C/N_0_{desc}		89.1072 dB·Hz		(3.18)
41	C/N_{desc}		19.5648 dB		(3.19)
42	C/I		18 dB	MANUAL	
43	$C/X_{tp ady}$		27 dB	MANUAL	
44	$C/X_{sat ady}$		30.0688 dB		(3.20)
45	$C/N_{desc sist}$		15.2458 dB		(3.21)
46	C/N_0_{sist}		76.7643 dB		(3.22)
47	C/N_{sist}		7.2218 dB		(3.23)
48	E_b/N_0		5.5 dB	ATSC	
49	HPA	18.6679 dBW (73.5847 W)			(3.24)
50	C/N_0_{REQ}		75.3391 dB		(3.25)
51	C/N_{REQ}		5.7967 dB		(3.26)
52	T Ina		170.7967 dB/K		(3.27)
53	% Potencia		25 %		(3.28)
54	Margen		1.4252 dB		(3.29)

**Resultados del cálculo de Enlace entre Tekit (Yucatán) y el Distrito Federal (Hospital 1° de Octubre)
para una Señal de HDTV.**

No.	Elementos	Transmisor (Tx)	Receptor (Rx)	OTROS	ECUA.
1	Sitios	Tekit	Hospital 1° Octubre (D.F.)		
2	Latitud	20°31'55.81" N	19°29'13.50" N		
3	Longitud	89°19'47.08" O	99°08'02.06" O		
4	Satélite	SATMEX 5 116.8° O			
5	Azimut	235°59'46.02"	223°40'22.71"		(3.1)
6	Elevación	50°41'27.67"	59°31'51.75"		(3.2)
7	Distancia al Satélite	37035 km	36543 km		(3.3)
8	Velocidad de Inf.	9.6342 Mbps			(3.4)
9	FEC	3/4		ATSC	
10	Ind. Mod.	0.5(QPSK)		ATSC	
11	Roll – Off	0.35		ATSC	
12	Ancho de Banda (BW_{port})	9 MHz			(3.6)
13	BW_{Tp}	36 MHz		SATMEX	
14	Pérdida de Propagación L_p	162.3644 dBm ²			(3.7)
15	Frec. Transmisión	14.457 GHz (Pol. Vert)		SATMEX	
16	Perdida Espacio Libre L_s	207.0156 dB			(3.8)
17	DFS_{SAT}	-93 dBW/m ²		SATMEX	
18	$PIRE_{ET}$	58.3438 dBW			(3.10)
19	DFS_{port}	-104.0206 dBW/m ²			(3.9)
20	Fr	0.25			
21	G Tx	46.60 dBi		VERTEX	
22	μ_{asc}	6.00 dB		SATMEX	
23	G/T Sat	+4.2 dB/K		SATMEX	
24	C/N_0_{asc}	76.8252 dB·Hz			(3.11)
25	C/N_{asc}	7.2827 dB			(3.12)
26	$C/X_{sat ady}$	24.5688 dB			(3.13)
27	C/I	30 dB		MANUAL	
28	C/X_{pol}	27 dB		MANUAL	
29	$C/N_{asc sist}$	7.1346 dB			(3.14)
30	P_{nom}	10.4398 dBW (11.0657 W)			(3.15)
31	Frec. Recepción.		12.157 GHz (Pol. Horiz.)	SATMEX	
32	G Rx		52.1 dBi	ANDREW	
33	μ_{desc}		2.20 dB	SATMEX	
34	G/T et		29.9251 dB/K		(3.17)
35	$PIRE_{satu}$		51.5 dBW		
36	TEMP. SIST.		165 K		
37	L_p_{desc}		162.2481 dBm ²		
38	L_s_{desc}		205.3943 dB		
39	$PIRE_{SAT}$		39.4794 dBW	SATMEX	(3.16)
40	C/N_0_{desc}		89.1072 dB·Hz		(3.18)
41	C/N_{desc}		19.5648 dB		(3.19)
42	C/I		18 dB	MANUAL	
43	$C/X_{tp ady}$		27 dB	MANUAL	
44	$C/X_{sat ady}$		30.0688 dB		(3.20)
45	$C/N_{desc sist}$		15.2458 dB		(3.21)
46	C/N_0_{sist}		76.5757 dB		(3.22)
47	C/N_{sist}		7.0333 dB		(3.23)
48	E_b/N_0		5.5 dB	ATSC	
49	HPA	18.7438 dBW (74.8820 W)			(3.24)
50	C/N_0_{REQ}		75.3391 dB		(3.25)
51	C/N_{REQ}		5.7967 dB		(3.26)
52	T Ina		170.7967 dB/K		(3.27)
53	% Potencia		25 %		(3.28)
54	Margen		1.2366 dB		(3.29)

**Resultados del cálculo de presupuesto de enlace para el canal de
Videoconferencia**

Resultados del Presupuesto de Enlace entre San Felipe (Baja Cal.) y el Distrito Federal (Hospital 1° de Octubre) Para una señal con calidad de Videoconferencia

No.	Elementos	TRANSMISOR (Tx)	RECEPTOR (Rx)	OTROS	ECUA.
1	SITIOS	Hospital 1° de Octubre	San Felipe		
2	Latitud	19°29'13.50"N	31°01'52.28" N		
3	Longitud	99°08'02.06"O	114°50'10.94" O		
4	Satélite	SATMEX 5 116.8° O			
5	Azimut	223°40'22.71"	183°48'18.09"		(3.1)
6	Elevación	59°31'51.75"	53°47'7.72"		(3.2)
7	Distancia al Satélite	36543 km	36850 km		(3.3)
8	Velocidad de inf.	0.8758 Mbps			(3.4)
9	FEC	3/4		ATSC	
10	Ind. Mod.	0.5 (QPSK)		ATSC	
11	Roll Off	0.14		MANUAL	
12	Ancho de banda BW_{port}	1 MHz			(3.6)
13	BW_{Tp}	36 MHz		SATMEX	
14	Pérdida de propagación L_p	162.2481 dBm ²			(3.7)
15	Frec. Transmisión	14.457 GHz (Pol. Vert.)		SATMEX	
16	Pérdida espacio libre L_s	206.8993 dB			(3.8)
17	DFS_{SAT}	- 93 dBW/m ²		SATMEX	
18	$PIRE_{ET}$	48.6851 dBW			(3.10)
19	DFS_{port}	-113.5630 dBW/m ²			(3.9)
20	Fr	0.0278			
21	G Tx	53.2 dBi		ANDREW	
22	μ asc	4.20 dB		SATMEX	
23	G/T sat	+ 4.2 dB/K		SATMEX	
24	C/N_0 asc	69.3867 dB·Hz			(3.11)
25	C/N asc	9.3867 dB			(3.12)
26	C/X sat ady	31.1688 dB			(3.13)
27	C/I	30 dB		MANUAL	
28	C/X pol	27 dB		MANUAL	
29	C/N asc sist	9.2472 dB			(3.14)
30	P_{nom}	-5.5149 dBW (0.2809 W)			(3.15)
31	Frec. Recepción.		12.157 GHz (Pol. Horiz.)	SATMEX	
32	G Rx		44.90 dBi	VERTEX	
33	μ desc		1.00 dB	SATMEX	
34	G/T et		27.9980 dB/K		(3.17)
35	$PIRE$ satu		51.1 dBW	SATMEX	
36	TEMP. SIST.		49 K		
37	L_p desc		162.3207 dBm ²		
38	L_s desc		205.4669 dB		
39	$PIRE$ SAT		29.5370 dBW		(3.16)
40	C/N_0 desc		78.6690 dB·Hz		(3.18)
41	C/N desc		18.6690 dB		(3.19)
42	C/I		18 dB	MANUAL	
43	C/X tp ady		27 dB	MANUAL	
44	C/X sat ady		22.8688 dB		(3.20)
45	C/N desc sist		14.3657 dB		(3.21)
46	C/N_0 sist		68.9024 dB		(3.22)
47	C/N sist		8.9024 dB		(3.23)
48	E_b/N_0		5.0 dB	MANUAL	
49	HPA	2.4851 dBW (1.7722 W)			(3.24)
50	C/N_0 REQ		64.4342 dB		(3.25)
51	C/N REQ		4.4342 dB		(3.26)
52	T Ina		53.4342 dB/K		(3.27)
53	% Potencia		2.7778 %		(3.28)
54	Margen		4.4683 dB		(3.29)

Resultados del Presupuesto de Enlace entre Cuencamé (Durango) y el Distrito Federal (Hospital 1° de Octubre) Para una señal con calidad de Videoconferencia

No.	Elementos	TRANSMISOR (Tx)	RECEPTOR (Rx)	OTROS	ECUA.
1	SITIOS	Hospital 1° de Octubre	Cuencamé		
2	Latitud	19°29'13.50"N	24°51'47.10" N		
3	Longitud	99°08'02.06"O	103°41'38.82" O		
4	Satélite	SATMEX 5 116.8° O			
5	Azimut	223°40'22.71"	208°58'28.25"		(3.1)
6	Elevación	59°31'51.75"	57°25'1.8"		(3.2)
7	Distancia al Satélite	36543 km	36650 km		(3.3)
8	Velocidad de inf.	0.8758 Mbps			(3.4)
9	FEC	3/4		ATSC	
10	Ind. Mod.	0.5 (QPSK)		ATSC	
11	Roll Off	0.14		MANUAL	
12	Ancho de banda BW_{port}	1 MHz			(3.6)
13	BW_{Tp}	36 MHz		SATMEX	
14	Pérdida de propagación L_p	162.2481 dBm ²			(3.7)
15	Frec. Transmisión	14.457 GHz (Pol. Vert.)		SATMEX	
16	Pérdida espacio libre L_s	206.8993 dB			(3.8)
17	DFS_{SAT}	- 93 dBW/m ²		SATMEX	
18	$PIRE_{ET}$	48.6851 dBW			(3.10)
19	DFS_{port}	-113.5630 dBW/m ²			(3.9)
20	Fr	0.0278			
21	G Tx	53.2 dBi		ANDREW	
22	μasc	4.20 dB		SATMEX	
23	G/T sat	+ 4.2 dB/K		SATMEX	
24	$C/N_0 asc$	73.5867 dB·Hz			(3.11)
25	$C/N asc$	13.5867 dB			(3.12)
26	$C/X sat ady$	31.1688 dB			(3.13)
27	C/I	30 dB		MANUAL	
28	$C/X pol$	27 dB		MANUAL	
29	$C/N asc sist$	13.2290 dB			(3.14)
30	P_{nom}	-5.5149 dBW (0.2809 W)			(3.15)
31	Frec. Recepción.		12.157 GHz (Pol. Horiz.)	SATMEX	
32	G Rx		44.90 dBi	VERTEX	
33	$\mu desc$		0.00 dB	SATMEX	
34	G/T et		27.9980 dB/K		(3.17)
35	$PIRE_{satu}$		51.1 dBW	SATMEX	
36	TEMP. SIST.		49 K		
37	$L_p desc$		162.2735 dBm ²		
38	$L_s desc$		205.4197 dB		
39	$PIRE_{SAT}$		29.5370 dBW		(3.16)
40	$C/N_0 desc$		79.7163 dB·Hz		(3.18)
41	$C/N desc$		19.7163 dB		(3.19)
42	C/I		18 dB	MANUAL	
43	$C/X tp ady$		27 dB	MANUAL	
44	$C/X sat ady$		22.8688 dB		(3.20)
45	$C/N desc sist$		14.7256 dB		(3.21)
46	$C/N_0 sist$		72.6392 dB		(3.22)
47	$C/N sist$		12.6392 dB		(3.23)
48	E_b/N_0		5.0 dB	MANUAL	
49	HPA	2.4851 dBW (1.7722 W)			(3.24)
50	$C/N_0 REQ$		64.4342 dB		(3.25)
51	$C/N REQ$		4.4342 dB		(3.26)
52	T Ina		53.4342 dB/K		(3.27)
53	% Potencia		2.7778 %		(3.28)
54	Margen		8.2051 dB		(3.29)

Resultados del Presupuesto de Enlace entre Talpa de Allende (Jalisco) y el Distrito Federal (Hospital 1° de Octubre) Para una señal con calidad de Videoconferencia

No.	Elementos	TRANSMISOR (Tx)	RECEPTOR (Rx)	OTROS	ECUA.
1	SITIOS	Hospital 1° de Octubre (D.F)	Talpa de Allende		
2	Latitud	19°29'13.50"N	20°23'01.20" N		
3	Longitud	99°08'02.06"O	104°49'41.67" O		
4	Satélite	SATMEX 5 116.8° O			
5	Azimut	223°40'22.71"	211°19'56.16"		(3.1)
6	Elevación	59°31'51.75"	62°28'58"		(3.2)
7	Distancia al Satélite	36543 km	36404 km		(3.3)
8	Velocidad de inf.	0.8758 Mbps			(3.4)
9	FEC	3/4		ATSC	
10	Ind. Mod.	0.5 (QPSK)		ATSC	
11	Roll Off	0.14		MANUAL	
12	Ancho de banda BW_{port}	1 MHz			(3.6)
13	BW_{Tp}	36 MHz		SATMEX	
14	Pérdida de propagación L_p	162.2481 dBm ²			(3.7)
15	Frec. Transmisión	14.457 GHz (Pol. Vert.)		SATMEX	
16	Pérdida espacio libre L_s	206.8993 dB			(3.8)
17	DFS_{SAT}	- 93 dBW/m ²		SATMEX	
18	$PIRE_{ET}$	48.6851 dBW			(3.10)
19	DFS_{port}	-113.5630 dBW/m ²			(3.9)
20	Fr	0.0278			
21	G Tx	53.2 dBi		ANDREW	
22	μ asc	4.20 dB		SATMEX	
23	G/T sat	+ 4.2 dB/K		SATMEX	
24	C/N_0 asc	69.3867 dB·Hz			(3.11)
25	C/N asc	9.3867 dB			(3.12)
26	C/X sat ady	31.1688 dB			(3.13)
27	C/I	30 dB		MANUAL	
28	C/X pol	27 dB		MANUAL	
29	C/N asc sist	9.2472 dB			(3.14)
30	P_{nom}	-5.5149 dBW (0.2809 W)			(3.15)
31	Frec. Recepción.		12.157 GHz (Pol. Horiz.)	SATMEX	
32	G Rx		44.90 dBi	VERTEX	
33	μ desc		3.90 dB	SATMEX	
34	G/T et		27.9980 dB/K		(3.17)
35	$PIRE$ satu		51.1 dBW	SATMEX	
36	TEMP. SIST.		49 K		
37	L_p desc		162.2152 dBm ²		
38	L_s desc		205.3614 dB		
39	$PIRE$ SAT		29.9370 dBW		(3.16)
40	C/N_0 desc		76.2746 dB·Hz		(3.18)
41	C/N desc		16.2746 dB		(3.19)
42	C/I		18 dB	MANUAL	
43	C/X tp ady		27 dB	MANUAL	
44	C/X sat ady		22.8688 dB		(3.20)
45	C/N desc sist		13.3171 dB		(3.21)
46	C/N_0 sist		68.5778 dB		(3.22)
47	C/N sist		8.5778 dB		(3.23)
48	E_b/N_0		5.0 dB	MANUAL	
49	HPA	2.4851 dBW (1.7722 W)			(3.24)
50	C/N_0 REQ		64.4342 dB		(3.25)
51	C/N REQ		4.4342 dB		(3.26)
52	T Ina		53.4342 dB/K		(3.27)
53	% Potencia		2.7778 %		(3.28)
54	Margen		4.1436 dB		(3.29)

Resultados del Presupuesto de Enlace entre Tempoal (Veracruz) y el Distrito Federal (Hospital 1° de Octubre) Para una señal con calidad de Videoconferencia

No.	Elementos	TRANSMISOR (Tx)	RECEPTOR (Rx)	OTROS	ECUA.
1	SITIOS	Hospital 1° de Octubre (D.F)	Tempoal (Veracruz)		
2	Latitud	19°29'13.50"N	21°31'27.55"N		
3	Longitud	99°08'02.06"O	98°23'25.18"O		
4	Satélite	SATMEX 5 116.8° O			
5	Azimut	223°40'22.71"	222°12'50.01"		(3.1)
6	Elevación	59°31'51.75"	57°16'23.43"		(3.2)
7	Distancia al Satélite	36543 km	36657 km		(3.3)
8	Velocidad de inf.	0.8758 Mbps			(3.4)
9	FEC	3/4		ATSC	
10	Ind. Mod.	0.5 (QPSK)		ATSC	
11	Roll Off	0.14		MANUAL	
12	Ancho de banda BW_{port}	1 MHz			(3.6)
13	BW_{Tp}	36 MHz		SATMEX	
14	Pérdida de propagación L_p	162.2481 dBm ²			(3.7)
15	Frec. Transmisión	14.457 GHz (Pol. Vert.)		SATMEX	
16	Pérdida espacio libre L_s	206.8993 dB			(3.8)
17	DFS_{SAT}	- 93 dBW/m ²		SATMEX	
18	$PIRE_{ET}$	48.6851 dBW			(3.10)
19	DFS_{port}	-113.5630 dBW/m ²			(3.9)
20	Fr	0.0278			
21	G Tx	53.2 dBi		ANDREW	
22	μ asc	4.20 dB		SATMEX	
23	G/T sat	+ 4.2 dB/K		SATMEX	
24	C/N_0 asc	69.3867 dB·Hz			(3.11)
25	C/N asc	9.3867 dB			(3.12)
26	C/X sat ady	31.1688 dB			(3.13)
27	C/I	30 dB		MANUAL	
28	C/X pol	27 dB		MANUAL	
29	C/N asc sist	9.2472 dB			(3.14)
30	P_{nom}	-5.5149 dBW (0.2809 W)			(3.15)
31	Frec. Recepción.		12.157 GHz (Pol. Horiz.)	SATMEX	
32	G Rx		44.90 dBi	VERTEX	
33	μ desc		4.80 dB	SATMEX	
34	G/T et		27.9980 dB/K		(3.17)
35	$PIRE$ satu		51.1 dBW	SATMEX	
36	TEMP. SIST.		49 K		
37	L_p desc		162.2753 dBm ²		
38	L_s desc		205.4215 dB		
39	$PIRE$ SAT		29.5370 dBW		(3.16)
40	C/N_0 desc		74.9145 dB·Hz		(3.18)
41	C/N desc		14.9145 dB		(3.19)
42	C/I		18 dB	MANUAL	
43	C/X tp ady		27 dB	MANUAL	
44	C/X sat ady		22.8688 dB		(3.20)
45	C/N desc sist		12.5758 dB		(3.21)
46	C/N_0 sist		68.3145 dB		(3.22)
47	C/N sist		8.3145 dB		(3.23)
48	E_b/N_0		5.0 dB	MANUAL	
49	HPA	2.4851 dBW (1.7722 W)			(3.24)
50	C/N_0 REQ		64.2243 dB		(3.25)
51	C/N REQ		4.2243 dB		(3.26)
52	T Ina		53.2243 dB/K		(3.27)
53	% Potencia		2.7778 %		(3.28)
54	Margen		4.0901 dB		(3.29)

**Resultados del Presupuesto de Enlace entre Venustiano Carranza (Chiapas) y el Distrito Federal
(Hospital 1° de Octubre) Para una señal con calidad de Videoconferencia**

No.	Elementos	TRANSMISOR (Tx)	RECEPTOR (Rx)	OTROS	ECUA.
1	SITIOS	Hospital 1° de Octubre (D.F)	Venustiano Carranza		
2	Latitud	19°29'13.50"N	16°19'46.57" N		
3	Longitud	99°08'02.06"O	92°33'44.82" O		
4	Satélite	SATMEX 5 116.8° O			
5	Azimut	223°40'22.71"	238°0'51.81"		(3.1)
6	Elevación	59°31'51.75"	56°13'46.15"		(3.2)
7	Distancia al Satélite	36543 km	3.6713 km		(3.3)
8	Velocidad de inf.	0.8758 Mbps			(3.4)
9	FEC	3/4		ATSC	
10	Ind. Mod.	0.5 (QPSK)		ATSC	
11	Roll Off	0.14		MANUAL	
12	Ancho de banda BW_{port}	1 MHz			(3.6)
13	BW_{Tp}	36 MHz		SATMEX	
14	Pérdida de propagación L_p	162.2481 dBm ²			(3.7)
15	Frec. Transmisión	14.457 GHz (Pol. Vert.)		SATMEX	
16	Pérdida espacio libre L_s	206.8993 dB			(3.8)
17	DFS_{SAT}	- 93 dBW/m ²		SATMEX	
18	$PIRE_{ET}$	48.6851 dBW			(3.10)
19	DFS_{port}	-113.5630 dBW/m ²			(3.9)
20	Fr	0.0278			
21	G Tx	53.2 dBi		ANDREW	
22	μ asc	4.20 dB		SATMEX	
23	G/T sat	+ 4.2 dB/K		SATMEX	
24	C/N_0 asc	69.3867 dB·Hz			(3.11)
25	C/N asc	9.3867 dB			(3.12)
26	C/X sat ady	31.1688 dB			(3.13)
27	C/I	30 dB		MANUAL	
28	C/X pol	27 dB		MANUAL	
29	C/N asc sist	9.2472 dB			(3.14)
30	P_{nom}	-5.5149 dBW (0.2809 W)			(3.15)
31	Frec. Recepción.		12.157 GHz (Pol. Horiz.)	SATMEX	
32	G Rx		44.90 dBi	VERTEX	
33	μ desc		3.80 dB	SATMEX	
34	G/T et		27.9980 dB/K		(3.17)
35	$PIRE$ satu		51.1 dBW	SATMEX	
36	TEMP. SIST.		49 K		
37	L_p desc		162.2885 dBm ²		
38	L_s desc		205.4347 dB		
39	$PIRE$ SAT		29.5370 dBW		(3.16)
40	C/N_0 desc		75.9013 dB·Hz		(3.18)
41	C/N desc		15.9013 dB		(3.19)
42	C/I		18 dB	MANUAL	
43	C/X tp ady		27 dB	MANUAL	
44	C/X sat ady		22.8688 dB		(3.20)
45	C/N desc sist		13.1242 dB		(3.21)
46	C/N_0 sist		68.5120 dB		(3.22)
47	C/N sist		8.5120 dB		(3.23)
48	E_b/N_0		5.0 dB	MANUAL	
49	HPA	2.4851 dBW (1.7722 W)			(3.24)
50	C/N_0 REQ		64.4342 dB		(3.25)
51	C/N REQ		4.4342 dB		(3.26)
52	T Ina		53.4342 dB/K		(3.27)
53	% Potencia		2.7778 %		(3.28)
54	Margen		4.0779 dB		(3.29)

Resultados del Presupuesto de Enlace entre Tekit (Yucatán) y el Distrito Federal (Hospital 1° de Octubre) Para una señal con calidad de Videoconferencia

No.	Elementos	TRANSMISOR (Tx)	RECEPTOR (Rx)	OTROS	ECUA.
1	SITIOS	Hospital 1° de Octubre (D.F)	Tekit		
2	Latitud	19°29'13.50"N	20°31'55.81" N		
3	Longitud	99°08'02.06"O	89°19'47.08" O		
4	Satélite	SATMEX 5 116.8° O			
5	Azimut	223°40'22.71"	235°59'46.02"		(3.1)
6	Elevación	59°31'51.75"	50°41'27.67"		(3.2)
7	Distancia al Satélite	36543 km	37035 km		(3.3)
8	Velocidad de inf.	0.8758 Mbps			(3.4)
9	FEC	3/4		ATSC	
10	Ind. Mod.	0.5 (QPSK)		ATSC	
11	Roll Off	0.14		MANUAL	
12	Ancho de banda BW_{port}	1 MHz			(3.6)
13	BW_{Tp}	36 MHz		SATMEX	
14	Pérdida de propagación L_p	162.2481 dBm ²			(3.7)
15	Frec. Transmisión	14.457 GHz (Pol. Vert.)		SATMEX	
16	Pérdida espacio libre L_s	206.8993 dB			(3.8)
17	DFS_{SAT}	- 93 dBW/m ²		SATMEX	
18	$PIRE_{ET}$	48.6851 dBW			(3.10)
19	DFS_{port}	-113.5630 dBW/m ²			(3.9)
20	Fr	0.0278			
21	G Tx	53.2 dBi		ANDREW	
22	μ asc	4.20 dB		SATMEX	
23	G/T sat	+ 4.2 dB/K		SATMEX	
24	C/N_0 asc	69.3867 dB·Hz			(3.11)
25	C/N asc	9.3867 dB			(3.12)
26	C/X sat ady	31.1688 dB			(3.13)
27	C/I	30 dB		MANUAL	
28	C/X pol	27 dB		MANUAL	
29	C/N asc sist	9.2472 dB			(3.14)
30	P_{nom}	-5.5149 dBW (0.2809 W)			(3.15)
31	Frec. Recepción.		12.157 GHz (Pol. Horiz.)	SATMEX	
32	G Rx		44.90 dBi	VERTEX	
33	μ desc		4.00 dB	SATMEX	
34	G/T et		27.9980 dB/K		(3.17)
35	$PIRE$ satu		51.1 dBW	SATMEX	
36	TEMP. SIST.		49 K		
37	L_p desc		162.3644 dBm ²		
38	L_s desc		205.5106 dB		
39	$PIRE$ SAT		29.5370 dBW		(3.16)
40	C/N_0 desc		75.6254 dB·Hz		(3.18)
41	C/N desc		15.6254 dB		(3.19)
42	C/I		18 dB	MANUAL	
43	C/X tp ady		27 dB	MANUAL	
44	C/X sat ady		22.8688 dB		(3.20)
45	C/N desc sist		12.9764 dB		(3.21)
46	C/N_0 sist		68.4604 dB		(3.22)
47	C/N sist		8.4604 dB		(3.23)
48	E_b/N_0		5.0 dB	MANUAL	
49	HPA	2.4851 dBW (1.7722 W)			(3.24)
50	C/N_0 REQ		64.4342 dB		(3.25)
51	C/N REQ		4.4342 dB		(3.26)
52	T Ina		53.4342 dB/K		(3.27)
53	% Potencia		2.7778 %		(3.28)
54	Margen		4.0262 dB		(3.29)

ANEXO H

Características técnicas de las Antenas Parabólicas

Model 1.8m SMK-LT Mobile Antenna

Mobile Antennas



The Strength to Perform

Description

The VertexRSI lightweight 1.8-meter mobile antenna is designed for worldwide transmit and receive operation in Ku-band. This transportable antenna consists of a single-piece carbon fiber composite reflector mounted on a cable drive elevation-over-azimuth positioner. This results in a low-weight antenna with superior stiffness and high performance under wind loading conditions.

The state-of-the-art design provides exceptionally low sidelobe and cross-polarization performance, well within INTELSAT and EUTELSAT requirements.

The complete antenna system can be interfaced with most lightweight vehicle structures for the purpose of mobile SNG applications.

Features

- Aluminum/Carbon fiber construction
 - Lightweight
 - Precise surface
 - High stiffness
 - Robust design for vehicle mounting
- High performance
 - Low sidelobes, high E.I.R.P. capability
 - Compliant under operational wind conditions
- Stow/deployment
 - Low profile
 - Stow position on vehicle
 - Precision alignment
- INTELSAT and EUTELSAT compliant

Options

- GPS or jog controller
- Boom-mounted electronics integration kits
- Tx waveguide run(s)

Model 1.8m SMK-LT Mobile Antenna

Technical Specifications

Electrical	Ku-Band 2-Port Linear Polarized Feed (X-Pol Compensated)		Ku-Band 4-Port Linear Polarized Feed (X-Pol Compensated)	
	Receive	Transmit	Receive	Transmit
Frequency (GHz)	10.950 - 12.750	14.000 - 14.500	10.950 - 12.750	14.000 - 14.500
Antenna Gain at Midband, dBi	44.90	46.60	44.70	45.90
VSWR	1.35:1 (16.5 dB)	1.30:1 (17.7 dB)	1.35:1 (16.5 dB)	1.30:1 (17.7 dB)
Beamwidth (in degrees at midband)				
-3 dB	0.95	0.79	0.93	0.83
-15 dB	1.99	1.66	1.95	1.74
Sidelobe Performance	Meets Eutelsat, FCC 25.209 or	ITU-RS-580	Meets Eutelsat, FCC 25.209 or	ITU-RS-580
Antenna Noise Temperature				
5° Elevation	69 K		87 K	
10° Elevation	57 K		75 K	
20° Elevation	50 K		69 K	
40° Elevation	49 K		68 K	
Power Handling (total)		2 kW CW		2 kW CW
Cross Polarization Isolation (minimum)				
On Axis	35 dB	35 dB	35 dB	35 dB
Within 1.0 dB Beamwidth	27 dB	35 dB	27 dB	35 dB
Port to Port Isolation (minimum)				
Rx/Tx (Rx frequency)	0 dB	-30 dB	0 dB	-70 dB
Tx/Rx (Tx frequency)	-85 dB	0 dB	-85 dB	0 dB
Rx/Rx, Tx/Tx (same band)			30 dB	30 dB
RF Specification	975-2797		975-2789	

Mechanical	
Antenna Diameter	1.8 meters (5.9 ft)
Antenna Type	Single offset
Reflector Construction	Carbon fiber with white paint on surface
Mount Type	Elevation over azimuth
Antenna Travel	
Elevation	5° - 90° of reflector boresight
Azimuth	±130° continuous, ±180° option available
Stow Height	18 1/8 in (460 mm), 19 in (483 mm) with ±180° azimuth option
Antenna Weight	Ku-band = 260 lbs. (118 kg)

Environmental	
Wind Performance (depending on vehicle capabilities)	
Pointing Loss of 1.0 dB	30 mph (48 km/h) gusting to 45 mph (72 km/h)
Drive	45 mph (72 km/h) gusting to 60 mph (97 km/h)
Survival	80 mph (128 km/h) any position, 120 mph (192 km/h) at stow
Temperature Range	
Operational	+5° to +122° F (-15° to +50° C)
Survival	-22° to +140° F (-30° to +60° C)
Rain	Up to 4 in/h (10 cm/h)
Relative Humidity	0% to 100% with condensation
Solar Radiation	360 BTU/h/ft ² (1000 Kcal/h/m ²)
Radial Ice (survival)	1 in (2.5 cm)
Shock and vibration tolerant to conditions encountered during shipment by airplane, ship or truck. Atmospheric tolerant to conditions encountered in coastal regions and/or heavily industrialized areas.	

Note: Vehicle capabilities directly affect antenna performance during and following transportation.

GENERAL DYNAMICS

SATCOM Technologies

1104 Energy Drive • Kilgore, TX 75662 USA • Tel: (903) 984-7811 • Fax: (903) 984-7597 • Email: kilgore-sales@gdsatcom.com

Website: www.gdsatcom.com

655-0015B, 09/06

Earth Station Antennas
Search for ESAs
Systems Integration and Turnkey Capabilities
ESA Manuals
FAQ
Software
Catalog 38
Radiation Hazard Analysis
ESA Tech Support Request
High Wind Storm Warnings
Related Industry Solutions
Broadcast, DTV, CATV
Fixed Telecom/Terrestrial Microwave
Satellite & Broadband Communications
ESA Technical Articles
ESA Customer Applications

ES37K-124W 3.7 Meter ESA

The Andrew 3.7m dual reflector pedestal mount earth station antenna provides extremely accurate surface contour, high gain and superior efficiency.

The versatile pedestal mount allows for fixed or motorized applications and features 180 degree azimuth coverage in three continuous overlapping ranges.

The aluminum hub and hot-dipped galvanized steel mount maintains pointing accuracy and ensures durability and reliability.



Features:

- High gain, excellent pattern characteristics, Gregorian Optics
- Self-aligning main reflector - no optical field alignment
- 3-year warranty on all structural components
- 180 mph high wind option (manual antennas)

Electrical Performance Meets or Exceeds :

- EUTELSAT, 2-Port Ku-Band, EA-A002
- Asiasat, Type 2
- Apstar
- Intelsat[®] E-2 at Ku-Band: IA12A00, 2-Port; IA12B00, 4-Port
- U.S. FCC Regulation 25.209 at Ku-Band
- ITU-R S.580 and S.465
- Russian Homologation Certificate # OC/1-AO-136

Design Standards

Material/Finish Reflector: Aluminum, chromate converted per MIL-C-5541C and painted with highly diffusive white paint

Ground Mount: Hot-dipped galvanized steel, per ASTM-A123 for structural steel
 Sizes < 3/8 in (9.5 mm), stainless steel, passivated per MIL-F-14072-E300

Hardware: Sizes > 3/8 in (9.5 mm), hot-dipped galvanized steel per ASTM-A123

Mechanical Specifications

Optics Type: Dual-reflector, Gregorian

Reflector Material: Precision formed aluminum

Reflector Segments: 2

Diameter 48.00" (1.22)

Hub/Enclosure Dimensions: Depth 24.00" (0.61)

Mount Type: Pedestal mount

Antenna Pointing Range, Elevation 0 (90)

Course/(Continuous): Azimuth 180 (120)

Environmental Conditions

Operating Temperature: -50° to 125°F (-45.5° to 52°C)

Antenna, with or without motor drives will survive 125 mph (200 km/h)

Wind Loading, Survival: winds while in a stationary position

Antenna with motor drives or fixed antennas can be repositioned in

Wind Loading, Operational: winds of 45 mph (72 km/h), with gusts up to 65 mph (105 km/h)

1 G vertical and horizontal acceleration ; equivalent to a Richter

Seismic (Earthquakes): magnitude 8.3 and grade 11 on the modified Mercalli scale

Rain: 4 in (102 mm) per hour

Solar Radiation: 360 BTU/hr/ft² (1135 W/m²)

Relative Humidity: 100

Shock and Vibration: As encountered by commercial air, rail and truck shipment

Atmospheric Conditions: As encountered in a moderately corrosive coastal and industrial area

Earth Station Antenna and Feed System Specifications

3.7M Ku-Band 2-Port transmit/receive earth station antenna. Intelsat(_R), EUTELSAT, ASIASAT 2 Type Approved. Incl: feed horn, feed support and circular waveguide. Manual pedestal mount with Az/El manually adjustable struts

ES37K-124W

Nominal Ku Band G/T Antenna Performance

LNA/LNB Noise Temperature:	165 K	125 K	90 K
G/T @ 10 Degrees Elevation:	28.2 dB/K	29.1 dB/K	30.1 dB/K
Beamwidth, midband, degrees	Ku-Band Rx		Ku-Band Tx
3 dB	0.42°		0.36°
15 dB	0.85°		0.69°

Feed Part Numbers	2LPK-37-W
Operation	Transmit / Receive
Polarization	Linear
Frequency, GHz	10.950-12.750 Rx 14.000-14.500 Tx
Insertion Loss dB Rx (Tx)	0.15 (0.10)
Port-to-Port Isolation, dB	
Rx to Rx	40
Rx to Tx	40
Tx to Rx	40
Interface Flange	
Tx Port	Brass, WR75G
Rx Port	Brass, WR75G
Gain @ feed output flange (dBi ± 0.2 dB)	
Frequency	
10.9500 GHz	50.7
12.7500 GHz	52.1
14.0000 GHz	52.8
14.5000 GHz	53.2
Antenna Noise Temperature - clear sky conditions, at 68°F (20°C)	
10° elevation	52
30° elevation	39
50° elevation	37
Tx Power Capacity	2000 W per port
Maximum Pressurization	0.50 psi

ANEXO I

Prueba de aislamiento

Dado que en el presente trabajo se propone el uso de una unidad móvil, se realizó una visita al departamento de soporte técnico de transmisiones (que se encuentra en el edificio inteligente), donde tienen a su cargo la operación y mantenimiento de una unidad móvil.

Se tuvo la oportunidad de realizar una prueba de aislamiento, con la finalidad de transmitir una sesión del consejo la cual se llevó a cabo en la Secretaría General.

A continuación se muestran las características de la unidad móvil y cómo se realizó la prueba de aislamiento

USO DE LA UNIDAD MÓVIL

El Instituto Politécnico Nacional cuenta con una unidad móvil la cual se utiliza para transmitir las sesiones del Consejo General, prácticas médicas (no solamente las que se llevan a cabo en las escuelas pertenecientes al instituto sino también las que se efectúan en unidades médicas públicas) y eventos que se desarrollan dentro del Instituto Politécnico Nacional. Principalmente, todas las señales anteriores son transmitidas vía satélite hacia las diferentes unidades del IPN que se encuentran en otros estados del país. En la Figura I.1 se muestra la unidad móvil.



Fig. I.1 Unidad móvil del Instituto Politécnico Nacional.

EQUIPO DE TRANSMISION DE LA UNIDAD MÓVIL

La unidad móvil cuenta con el siguiente equipo de transmisión:

1. Estudio de televisión: se compone de tres cámaras de video (las cuales se montan en el recinto), consolas de audio y video, mezcladora y monitores. Todo lo anterior se muestra en la Figura I.2.
2. Un amplificador de potencia de estado sólido (SSPA) marca Advantech de 150 W el cual se muestra en la Figura I.3.
3. Analizador de espectro HP-E4407B con un rango de operación de 9 a 26.5 GHz. (ver Figura I.4).
4. Módem satelital Fairchild SM2800 (ver Figura I.5).
5. Codificador Scopus E-1700 (Figura I.5).
6. Localizador satelital Visat RC-8097 (Figura I.5).
7. Antena parabólica móvil Vertex C180M con un diámetro de plato de 1.8 m para banda C (ver Figura I.6).



Fig. I.2 Estudio de Televisión. a) Mezcladora de audio, control de cámaras y control de señal de video compuesto, b) Monitores de video.



Fig. I.3 Amplificador de potencia.



Fig. I.4 Analizador de espectro.



Fig. I.5 Modem satelital, codificador y localizador satelital.



Fig. I.6 Antena parabólica móvil.

PRUEBA DE AISLAMIENTO

Una prueba de aislamiento es fundamental para poder llevar a cabo la transmisión de la información. En este caso es una señal de video compuesto junto con una señal de audio. La prueba de aislamiento permite poder tener acceso al transpondedor del satélite sin interferir con otras señales portadoras adyacentes que utilizan el mismo satélite para ser retransmitidas.

Para dar inicio a la transmisión se tiene que contactar al proveedor del servicio (que en este caso es SATMEX) y se le tiene que proporcionar la información que se muestra en la Tabla I.1.

Tabla I.1. Datos que se tienen que proporcionar a SATMEX en la prueba de aislamiento.

DATOS PROPORCIONADOS A SATMEX
Banda de transmisión: Banda C
Tipo de Modulación: QPSK
FEC: 3/4
Tipo de polarización: Vertical para Transmitir Horizontal para Recibir
Ganancia de la Antena: 39 dBi
Velocidad de la información: 384 kbps
Ancho de banda de transmisión: 2 MHz
Tipo de servicio: ocasional
Satélite: SATMEX 5.

Entonces con la ayuda del analizador de espectro se comienza a calibrar la señal portadora que se va a enviar al satélite (en este caso debe ser una portadora de 2 MHz) como se muestra en la Figura I.7. Además se puede observar a las demás portadoras adyacentes y de esta manera se tiene cuidado de no interferir con ellas.



Fig. I.7 Calibración del ancho de banda para transmisión.

La comunicación con el centro de control de SATMEX se mantiene y, basándose en los datos proporcionados, realizan los cálculos de enlace y le proporcionan al operador los datos mostrados en la Tabla I.2.

Tabla I.2. Datos proporcionados por SATMEX al operador del equipo.

DATOS PROPORCIONADOS POR SATMEX AL OPERADOR	
PIRE máxima para la estación terrena: 45.54 dBW	
Tipo de Modulación: QPSK	
FEC: 3/4	
Tipo de polarización: Vertical para Transmitir Horizontal para Recibir	
PIRE máxima del satélite: 19.10 dBW	
Velocidad de la información de portadora: 384 kbps	
Ancho de banda máximo en el satélite: 3.3 MHz	
Tipo de servicio: ocasional	
Satélite: SATMEX 5	
PIRE del satélite para el D.F.: 19.50 dBW	
Orientación de la antena de la estación terrena: Elev. 59.8° N, Azim. -139.9° O	
Banda C	

Una vez recibidos los datos mostrados en la Tabla I.2, el operador del equipo de la unidad móvil lleva a cabo la orientación de la antena mediante el localizador satelital mostrado en la Figura I.5, calibra el módem satelital para manejar una velocidad de información de 384 kbps y también calibra el codificador para modular la portadora con un tipo de modulación QPSK y una FEC de 3/4.

A continuación SATMEX abre el canal, para poder transmitir habilita el transpondedor y otorga la autorización para comenzar a transmitir. Pero como es un servicio ocasional solamente se permite utilizar el transpondedor durante un tiempo de aproximadamente tres horas continuas (ese tiempo depende de lo que se negocie con ellos).

Finalmente se monitorea a la señal portadora, y a las portadoras adyacentes para que no se interfieran entre ellas. Como se muestra en la Figura I.8.



Fig. I.8 Portadora de 2 MHz y portadoras adyacentes.

En su momento, se tiene que informar a SATMEX que la transmisión ya finalizó para que cierre el canal y permita su uso por parte de otra portadora a ser transmitida.

GLOSARIO

Ángulo de elevación: Ángulo de apuntamiento de una antena con respecto al plano horizontal.

ATSC: Organización estadounidense, la cual estandariza y promueve la radio difusión digital (SDTV y HDTV) mediante el uso de la compresión de video (MPEG – 2) y la compresión de audio (Dolby Digital (AC – 3)).

Azimut: Ángulo medido con respecto al norte geográfico.

Back off: Nivel de reducción de potencia a la entrada de un amplificador para asegurar su operación en la región lineal, logrando con esto reducir al mínimo posible el ruido de intermodulación.

Banda Ku: Es una banda utilizada generalmente para la transmisión de señales de video y de audio digital pero tiene la desventaja de ser muy sensible a las atenuaciones por lluvia.

BMS: Bit menos significativo.

CRC: (*Cyclic Redundancy Checking*, Verificador de Redundancia Cíclica), Es un esquema de detección de errores y es generalmente utilizado con códigos de 8 bits.

Código Gray: Es un código binario normalizado el cual está compuesto por cuatro bits.

Desvanecimiento: Es la atenuación que sufre una señal de RF al propagarse a través de un medio de propagación como la lluvia, la niebla, la ionosfera, etc. Llegando al grado de desaparecer dicha señal.

DTV: (*Digital Television*, Televisión Digital), es un término genérico el cual incluye a la televisión de definición estándar digital (SDTV) y a la televisión de alta definición digital (HDTV).

Enlace de subida: (*Uplink*), Enlace de comunicación desde una estación terrena hacia el satélite, suministrando la información que va a ser retransmitida por uno o más transpondedores.

Enlace de bajada: (*Downlink*), Enlace de comunicación desde el satélite hacia la(s) estación(es) terrenas.

Entrelazado: Es cuando el patrón de líneas horizontales escaneadas que forman la imagen de manera alternada son desplazadas de manera vertical, hasta formar la mitad de la imagen a través del escaneo línea por línea y son desplazadas temporalmente por la mitad del tiempo que tarda en formarse un cuadro de imagen para que de esta manera se pueda formar un primer campo y un segundo campo de imagen.

Escaneo Progresivo: Es un escaneo estándar en el cual las líneas adyacentes que forman a la imagen están asociadas con instantes periódicos (o idénticos) consecutivos en relación a un tiempo determinado.

Espirometría: Especialidad médica encargada del estudio de la capacidad pulmonar.

FEC: (*Forward Error Correction*), es un método de corrección de errores que permite la detección y la corrección de un error de bit o de palabra sin la necesidad de retransmitir los datos.

Figura de merito: Es un indicador de la sensibilidad del sistema de recepción. Se define como la relación de la ganancia de la antena de recepción con respecto a la temperatura de ruido del sistema de recepción.

Guía de onda: Es un dispositivo que sirve para la conducción (propagación) de ondas electromagnéticas.

HD: (*High – Definition*, Alta Definición), término utilizado para indicar la presencia de alta definición en un sistema de video.

HDTV: (*High – Definition Television*, Televisión en Alta Definición), sistema de video que mantiene una relación de aspecto de 16:9 (formato *widescreen*, pantalla ancha) en donde las imágenes se encuentran comprimidas en 3/4 de millón de píxeles o más.

Líneas activas: Son elementos de una señal de video definidos mediante el escaneo estándar los cuales contienen parte de una imagen o están asociados con la transición del blanking.

Mapeo: Posición en la que se encuentran los bits que conforman a una constelación.

MPEG: Comité que desarrolla los estándares para la reducción en el nivel de compresión de las imágenes digitales en movimiento. Los algoritmos de compresión MPEG, toman ventaja de la coherencia temporal encontrada en las secuencias de imágenes en movimiento.

NTSC: (*National Television System Committe*, Comité del Sistema de Televisión Nacional), comité estadounidense que en 1941 estandarizo para la televisión de blanco y negro 525 líneas con una tasa de cuadro de imagen de 59.94 Hz (NTSC – I) y en 1953 estandarizo 525 líneas con una tasa de imagen de 59.94 Hz para la televisión a color introduciendo al mismo tiempo la técnica de la señal de video compuesto (NTSC – II).

PCM: (*Pulse Code Modulation*, Modulación por Código de Pulsos), Es una técnica de modulación a través de la cual una señal analógica puede ser transmitida de manera digital mediante un proceso de muestreo, cuantificación y codificación.

PIRE: Es la potencia de transmisión que requiere la estación terrena para transmitir una señal hacia el satélite, esta potencia se mide en dBW y depende de la potencia de transmisión y de la ganancia de la antena transmisora.

Presupuesto de enlace: (*Link Budget*), es la herramienta utilizada para el diseño de un sistema de comunicación satelital mediante el cálculo matemático y tomando en cuenta las necesidades que se requieren para que el enlace sea factible.

QAM: Es un sistema de modulación en el cual dos señales de información modulan de manera independiente a dos subportadoras que se encuentran en cuadratura, las cuales se suman para formar una subportadora total modulada.

Relación de aspecto: Es la relación que existe entre lo que tiene de ancho una imagen con respecto a su altura.

Relación portadora a ruido: Es la relación de la potencia de una señal portadora digital con respecto a la potencia de ruido en el ancho de banda que ocupa.

Resolución: Es la medida de la habilidad que tiene el sistema de video (generalmente el monitor) para crear el o los detalles de una imagen.

RF: (*Radio Frequency*, Radio Frecuencia), término genérico que designa a cualquiera de las frecuencias que se encuentran dentro del espectro electromagnético.

Ruido térmico: Ruido producido por el movimiento aleatorio de los electrones tanto en un medio de transmisión como en los equipos de comunicación.

SD: (*Standard – Definition*, Definición Estándar), término utilizado para indicar la presencia de la definición estándar en un sistema de video.

SDTV: (*Standard – Definition Television*, Televisión de Definición Estándar), sistema de video cuya imagen se encuentra comprimida a un poco más de 3/4 de millones de pixeles manteniendo una relación de aspecto de 4:3.

Telemedicina: Es el uso de la comunicación electrónica y de las tecnologías de la información para proporcionar o soportar un cuidado médico a distancia

Transpondedor: (*Transponder*), dispositivo electrónico que se encuentra dentro del satélite y que recibe la información desde la estación terrena y la envía después hacia el receptor después de haber realizado una conversión de frecuencia y una amplificación de la señal.

REFERENCIAS

- [1] Gordon Gary D, Morgan Walter L. Principles of Communications Satellites, 1a Edición, John Wiley & Sons, INC, Estados Unidos de América, 1993.
- [2] Lida, Takashi. Satellite Communications (System and Its Design Technology), 1a Edición, Ohmsha LTD, Japón, 2000.
- [3] Microsoft Encarta and Student Program Manager. Microsoft Student with Encarta Premium 2008, Corporacion Microsoft, Estados Unidos de América, 2007.
- [4] Ha, Tri T. Digital Satellite Communications, 2a Edición, McGraw – Hill Publishing Company, Estados Unidos de América, 1990.
- [5] Ibrahim, K. F. Newnes Guide to Television and Video Technology, 4a Edición, Newnes, Elsevier, Gran Bretaña, 2007.
- [6] Grob, Bernard. Basic Television and Video Systems, 5a Edición, McGraw – Hill Book Company, Estados Unidos de América, 1984.
- [7] http://reviews.cnet.com/4520-6029_7-6280482-1.html?tag=feat.1 (2 of 3) [01/07/2008 20:32:39]
- [8] <http://electronics.howstuffworks.com/hdtv2.htm> (3 of 5) [01/07/2008 20:25:47]
- [9] http://en.wikipedia.org/wiki/Standard_definition (1 of 8) [01/07/2008 20:27:06]
- [10] Briere Danny, Hurley Pat. HDTV For Dummies, 1a Edición, Wiley Publishing, INC, Estados Unidos de América, 2005.
- [11] Estándar ATSC. Modulation and Coding Requirements For Digital TV (DTV) Applications Over Satellite, Documento A/80, Estados Unidos de América, 1999.
- [12] Fischer, Walter. Digital Television A Practical Guide for Engineers, 1a Edición, Springer, Alemania, 2004.
- [13] Estándar ATSC. Digital Audio Compression Standard (AC – 3, E – AC – 3) Revision B, Documento A/52B, Estados Unidos de América, 2005.
- [14] Freeman, Roger L. Radio System Design for Telecommunications. 3a Edición, Wiley – Interscience, Estados Unidos de América, 2007.
- [15] Roddy, Dennis. Satellite Communications, 3a Edición, McGraw – Hill, Estados Unidos de América, 2001.
- [16] Vargas Alva, Alejandra Olivia. Cálculo de Enlace Satelital, 3a Edición, SEP – DGTVE – CETE, México, 2006.

[17] <http://ciberhabitat.gob.mx/hospital/telesalud/infraes.htm> (1 de 4) [01/07/2008 06:00:43 p.m.]

[18] Tracy, Joseph. Telemedicine Technical Assistance Documents (A guide to getting started in telemedicine), 1a Edición, Universidad de Missouri, Estados Unidos de América, 2004.

[19] González Juárez Ricardo, Castillo Pérez Raúl. Implementación del Estándar ATSC (Video en Alta Definición) en un Sistema de Comunicación Satelital para Aplicaciones en Telemedicina, Artículo para el congreso CISCE 2008, México, 2008.

[20] <http://www.telecomm.net.mx/corporativo/infraestructura.htm> (1 of 4) [18/09/2008 20:21:42]

[21] <http://www.satmex.com.mx> [01/08/2008 15:04:41]

[22] Estándar ATSC. Modulation and Coding Requirements For Digital TV (DTV) Applications Over Satellite, Documento A/80, Estados Unidos de América, 1999.

[23] Freeman, Roger L. Radio System Design for Telecommunications. 3a Edición, Wiley – Interscience, Estados Unidos de América, 2007.

[24] Sklar, Bernard. Digital Communications: Fundamentals and Applications. 2a Edición, Prentice – Hall, Estados Unidos de America, 2001.

[25] Cardama Aznar Ángel et al. Antenas. 2ª Edición, Alfaomega, México 2004.

ARTÍCULO

Implementación del Estándar ATSC (Video en Alta Definición) en un Sistema de Comunicación Satelital para Aplicaciones en Telemedicina

Ing. Ricardo González Juárez, Dr. Raúl Castillo Pérez

Depto. de Telecomunicaciones, SEPI ESIME Zacatenco, IPN,
Edificio 1, 2º piso, Av. IPN s/n, Col. Lindavista, C.P. 07738, D.F., México

ricardog75mx@yahoo.com.mx, raulcastillo@hotmail.com

Resumen. Se muestra la implementación del estándar ATSC sobre un sistema de comunicación satelital SCPC-FDMA con la finalidad de poder transmitir video en alta definición (1080i/720p). Esto es recientemente utilizado en aplicaciones de telemedicina para obtener mejores resultados en cuanto a diagnósticos médicos entre el hospital y una unidad móvil, la cual puede llegar a lugares de difícil acceso o a poblaciones ubicadas demasiado lejos de los centros urbanos y ayudar en campos que incluyen la endoscopia, radiología, neurología, microscopía y cirugía.

1 Introducción

Los sistemas de televisión digital modernos se basan en uno de dos estándares: el ATSC (desarrollado por el *Advanced Television Systems Committee*, Comité de Sistemas de Televisión Avanzada) que dio origen a la familia de estándares que se utilizan en Norteamérica, y el DVB (*Digital Video Broadcast*, Radiodifusión de Video Digital) que aplica para Europa, gran parte de Asia –excepto Japón– y Australia.

Las señales que componen a una señal de televisión digital están compuestas por los siguientes descriptores: del audio de AC-3, del servicio de subtítulo, de contenidos, del nombre del canal extendido, de la localización del servicio, del servicio de tiempo de cambio, del nombre de componente, de relleno y para los canales inactivos [1].

2 El estándar ATSC

El estándar ATSC utiliza para la compresión de video y para multiplexar los datos los estándares MPEG-2, pero no para la compresión de audio (como hace DVB), ya que utiliza su propio estándar: el sistema Dolby AC-3. Al igual que DVB, ATSC especifica

los estándares adicionales para los datos (incluyendo *closed captioning*) que serán transportados por el flujo de bits [1].

El estándar MPEG-2 está diseñado para ser extremadamente flexible y poder ser usado en una gran variedad de aplicaciones. Por ejemplo, el estándar permite trabajar con cuadros de imagen superiores a 16.000×16.000 píxeles y además pueden ser transmitidos a tasas de bit superiores a 100 Gbit/s. Para que un codificador o decodificador cumplan con una compatibilidad completa con el estándar, necesitan poder manejar tales tamaños de cuadro y tasas de bit. Para las aplicaciones en televisión digital, se sabe que los tamaños de cuadro de imagen y las tasas de bit se encuentran al menos dentro del máximo permitido por el estándar. La sintaxis de la codificación de la señal de video se muestra en la Figura 1. Comienza con la capa de la secuencia que se encuentra en la parte superior y finaliza con la capa de bloque localizada en la parte inferior [1].

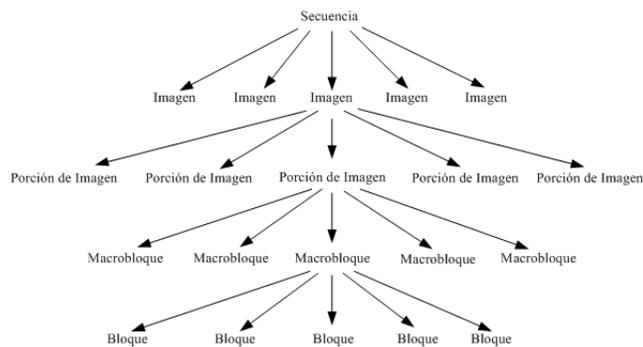


Fig. 1 Estructura del Flujo de Bits.

MPEG trata principalmente de la transmisión de imágenes en movimiento, sin embargo, la señal de datos definida en el estándar MPEG-2 incluso puede transportar información que no tiene nada que ver con el video y el audio, como por ejemplo la transmisión de datos.

Las señales de video se comprimen en el rango de 2 a 6 Mbits/s en MPEG-2. La señal de video comprimida en MPEG es llamada “Flujo Elemental” (ES, *Elemental Stream*) [1].

A su vez estos flujos elementales serán divididos en paquetes llamados “Flujos Elementales Empaquetados” o PES. Cada paquete consiste de un encabezado relativamente corto y de una carga (Figura 2). La parte de la carga contiene al video comprimido, los flujos de audio o un flujo de datos [1].

El término Codificación de Audio se refiere generalmente a la codificación de fuente de señales de audio digitales (incluyendo música de alta fidelidad), con anchos de banda

de hasta 24 KHz. Los primeros algoritmos para codificación de audio digital fueron desarrollados a principios de los años setenta y utilizaron técnicas tales como la modulación por código de pulso adaptivo diferencial (ADPCM, *Adaptive Differential Pulse Code Modulation*) y la cuantización logarítmica [1].

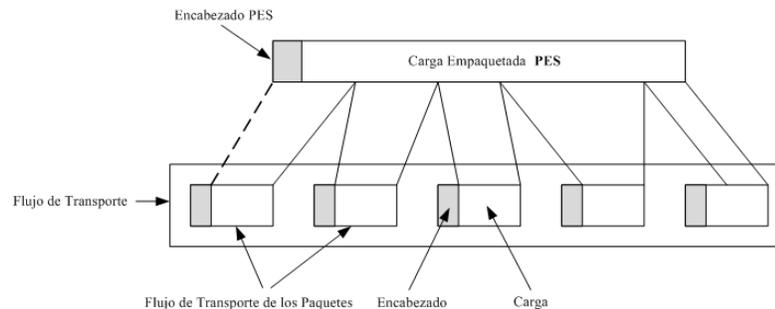


Fig. 2 Estructura de un Flujo de Transporte MPEG – 2.

El estándar Dolby AC-3 es un algoritmo conveniente para codificar una señal de audio con un formato que va desde el canal monoaural y llega hasta los 5.1 canales (sonido envolvente) como una cadena de bits que tiene un rango de 32 a 640 Kbits/s [1].

En febrero de 1992, el Comité de Sistemas de Televisión Avanzada recomendó formalmente el uso de una señal audio de 5.1 canales para el servicio de HDTV (*High Definition Televisión*, Televisión de Alta Definición) en Estados Unidos de Norteamérica.

Un flujo de bits AC-3 consiste en una secuencia de cuadros de sincronización. Cada cuadro de sincronización incluye seis bloques de audio, que contienen los datos codificados que representan 256 nuevas muestras de entrada [1]. Cada cuadro de sincronización comienza con un encabezado de información (SI) el cual contiene la información necesaria para adquirir y mantener una sincronización, y un flujo de bits de información (BSI) que contiene los parámetros que describen al servicio de audio codificado [1]. El extremo final del cuadro de sincronización termina con un campo reservado para una palabra de código (CRC) utilizada para la detección de errores, y un campo de datos auxiliar (Aux) puede incluirse después de los bloques codificados [1].

3 El sistema de comunicación satelital

Para llevar a cabo un enlace satelital debemos conocer primeramente los parámetros que se requieren para el cálculo del enlace. Estos parámetros incluyen los siguientes: los puntos a enlazar, antenas a usar, frecuencia, temperatura de ruido, los servicios a transmitir (cada país adopta una jerarquía en particular), si el servicio es permanente u

ocasional (es parte de la cotización de renta), ancho de banda, orientación de las antenas, distancia entre las estaciones terrenas y el satélite (para evitar la pérdida de señal por desvanecimientos en la transmisión/recepción), la relación C/N (como indicador de la calidad del enlace), el margen de enlace (valor para una buena operatividad del enlace), porcentaje de potencia consumida por la portadora en el satélite, potencia consumida en el HPA, entre otros [2].

Además deben considerarse las perturbaciones introducidas por el ruido térmico, el ruido proveniente de la atmósfera y del espacio exterior, por los cambios climáticos (principalmente la lluvia), las pérdidas por propagación, la pérdida de espacio libre, la intermodulación, la interferencia de satélites adyacentes, etcétera [2].

Particularmente es el tipo de aplicación (a telemedicina, usando el estándar ATSC) lo que establece el uso de parámetros fijos como la modulación, FEC, roll off, banda, E_b/N_0 , y que presiona al diseño por el ancho de banda a utilizar y la confiabilidad que debe ofrecerse para aplicaciones tales como operaciones asistidas.

En la Tabla 1 se aprecia una recopilación de los parámetros que participan en la definición del enlace, mismos que por razón de espacio sólo incluyen la transmisión de la señal de HDTV desde una población escogida al azar (San Damián, Guanajuato). El sistema completo es bidireccional, incluyendo una señal de televisión analógica con audio estéreo para el canal de regreso, lo que permitiría a los pacientes y doctores locales ver y hablar con el especialista. Todos los cálculos se integraron en un programa de Matlab que permite variar parámetros como la ubicación de la unidad móvil, efectos por lluvia, etcétera, aunque igualmente por razones de espacio no se incluyeron.

4. Aplicaciones de HDTV (Video en Alta Definición) en Telemedicina

El uso de HDTV proporciona imágenes de alta resolución para profesionistas en muchos campos, incluyendo endoscopia, radiología, neurología, microscopía y cirugía [3]. La HDTV duplicaba ya en 2000 la nitidez de las imágenes endoscópicas [4]. El efecto tridimensional de HDTV incrementa la sensación de realismo y permite ver pequeños detalles y estructuras que no eran visibles antes (lo cual es crucial para disecciones complejas y procedimientos reconstructivos [5]), gracias a su mayor resolución en píxeles y al mayor contraste de colores (Figura 3) [6]. Además se obtiene un 20% más de área visible.

La telemedicina (en su versión de “almacenamiento y envío” o de video interactivo, IATV) permite aplicaciones como laparoscopías e histeroscopías [4], colonoscopías [7], detección de cáncer [5] o retinopatía diabética [8], cirugía asistida [9] e incluso cirugía robotizada en 3D con HD [5].

Tabla 1. Resultados del cálculo del presupuesto de enlace entre Guanajuato y el D. F.

Elementos	Transmisor	Elementos	Receptor
Sitio	San Damián, Gto.	Sitio	Hospital 1° de Oct.
Latitud	20°57'55.23" N	Latitud	19°29'13.50" N
Longitud	100°56'25.09" O	Longitud	99°08'02.06" O
Satélite	Satmex 5 116.8° W	Satélite	Satmex 5 116.8° W
Azimut	218°26'57.34"	Azimut	232°57'22"
Elevación	59°31'41.48"	Elevación	59°31'46.74"
Dist. al Satélite	36,542.83773 km	Dist. al Satélite	36,542.76413 km
Vel. de la inf.	24.72224 Mbps	Frec. Recepción	11.913 GHz
FEC	3/4	G_{Rx}	53.4 dBi
Ind. Mod.	QPSK, 0.5	μ desc	4.30 dB
Roll Off	0.35	G/T_{Et}	29.9 dB°K
BW_{port}	22.2499 \approx 23 MHz	$PIRE_{satu}$	50 dBW
BW_{Tp}	36 MHz	Temp. Sist.	165 °K
Pérd. de Prop. Lp	162.2481 dBm ²	Lp_{desc}	162.2481 dBm
Frec. Transmisión	14.213 GHz (Vert.)	Ls_{desc}	205.2182 dB
Pérd. Esp. libre Ls	206.7515 dB	$PIRE_{sat}$	42.0543 dBW
DFS_{Sat}	- 93 dBW/m ²	C/No_{desc}	98.0818 dB
$PIRE_{Et}$	62.3024 dBW	C/N_{desc}	24.4645 dB
DFS_{port}	- 99.9457 dBW/m ²	C/I	18 dB
G_{Tx}	55 dBi	$C/X_{tp\ ady}$	27 dB
μ asc	6.30 dB	$C/X_{sat\ ady}$	31.3688 dB
G/T_{sat}	+ 4.2 dB°K	$C/N_{desc\ sist}$	16.5461 dB
C/No_{asc}	81.0509 dB/Hz	C/No_{sist}	81.0509 dB
C/N_{asc}	7.4336 dB	C/N_{sist}	7.4336 dBW
$C/X_{sat\ ady}$	32.9688 dB	Eb/No	5.5 dB
C/I	30 dB	C/No_{Req}	79.4312 dB
C/X_{pol}	27 dB	C/N_{Req}	5.8140 dB
$C/N_{asc\ sist}$	7.3502 dB	Temp. LNA	170.8140 dB°K
P_{nom}	6.4024 dBW	% Potencia	63.8889 %
HPA	26.9300 W	Margen del Enlace	1.6196 dB

Las ventajas para los pacientes incluyen cirugías mínimamente invasivas [10] con menos dolor, menos pérdidas y necesidad de transfusiones de sangre, costos menores debido a la eliminación o disminución de la necesidad de hospitalización [5]. Los pacientes en áreas remotas pueden recibir atención médica especializada, interactiva, que incluye diagnóstico y tratamiento, en cualquier parte y en cualquier momento, reduciendo tiempos de espera y dolorosos o caros viajes al especialista. Así se da una atención mejor y más rápida, con un diagnóstico y tratamiento médicos más tempranos [8].

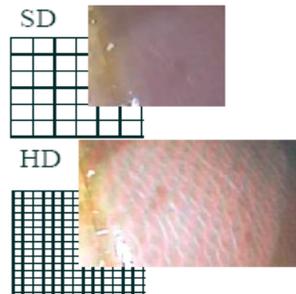


Fig.3. Mejora en la nitidez de una imagen gracias al uso de HDTV.

La tecnología detrás de esto implica la transmisión bidireccional de audio, video (un mínimo de 12-20 Mbit/s para una transmisión de video práctica, con calidad para atención médica) y datos (rayos X, signos vitales, historial médico, etc.). Algunos archivos de imágenes médicas, como los MRIs, con frecuencia tienen 5 gigabits cada uno [8].

5. Conclusiones

Esta propuesta establece los parámetros que hacen aplicable el video en alta definición (HDTV) en un enlace satelital para la República Mexicana para mejorar la calidad del diagnóstico y atención médicos para pacientes que no pueden ser atendidos personalmente por un médico especialista. Tales aplicaciones se basan en la alta resolución de las imágenes e incluyen cirugía asistida, diagnóstico a distancia y transferencia de datos.

Referencias

1. Arnold, John, Frater Michael, Pickering Mark.: Digital Television. Technology and Standards, 1st ed. John Wiley & Sons, U.S.A. (2007)
2. Alva Vargas, Olivia Alejandra: Cálculo de Enlace Satelital, 3era ed. S.E.P. – DGTVE – CETE, Mexico D.F. (2006)
3. <http://news.thomasnet.com/fullstory/464113>
4. <http://www.sciencedaily.com/releases/2000/11/001120074425.htm>.
5. <http://www.hdtvmagazine.com/news/story.php?id=2463604>
6. <http://www.vikingsystems.com/files/viking%20hdtv%20camera%20system.pdf>
7. http://www.sciencedaily.com/videos/2006/0806-hdtv_for_colonoscopies.htm
8. http://www.corning.com/docs/opticalfiber/guidelines_magazine/eguidelines/vol7/GuideLines_7e_Article2.pdf
9. <http://www.thefreelibrary.com/Teleglobe+Demonstrates+Global+ATM+Capabilities+for+Telemedicine,+...-a053079598>
10. <http://ducknetweb.blogspot.com/2007/11/hdtv-technology-improves-surgery.html>