



ESTUDIO DE FACTIBILIDAD Y DISEÑO DE UN
SISTEMA DE TELEFONIA RURAL VIA
SATELITE PARA GUATEMALA

Te
ILVY
GALVEZ
1990

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD Y DISEÑO DE UN
SISTEMA DE TELEFONIA RURAL VIA
SATELITE PARA GUATEMALA

MARIA REGINA GALVEZ DE ALONSO

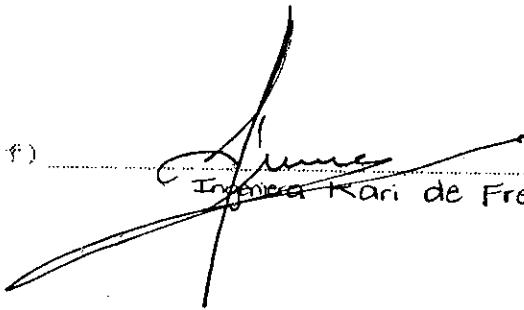
Trabajo de investigación presentado para
optar el grado académico de Ingeniero en
Electrónica en el grado de Licenciado


Guatemala
1990

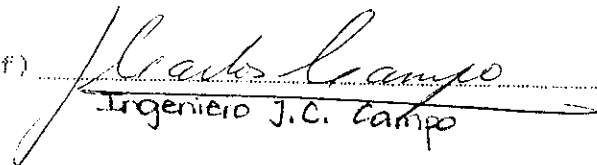
No. Bo.:

(f) 
Ingeniera Kari de Fremme
Asesor

Tribunal:

(f) 
Ingeniera Kari de Fremme

(f) 
Ingeniero Ricardo Cordon

(f) 
Ingeniero J.C. Campo

Fecha de aprobación: 7 de junio de 1990.

A Dios

a mis papás, por haberme dado la oportunidad de estudiar

a mi esposo, por el apoyo que me ha dado

a mi bebé y

a mis amigos

CONTENIDO

	Páginas
RESUMEN	xi
I. INTRODUCCION	1
II. PRINCIPIOS GENERALES DE LA TRANSMISION VIA SATELITE	3
A. Descripción general: satélites y estaciones terrenas	3
B. Estaciones terrenas para servicios rurales	17
C. SCPC: single carrier per channel	24
D. Modulaciones digitales utilizadas en telefonía rural	28
E. Diferentes arquitecturas de red	32
III. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD	35
A. Descripción de los proyectos que se realizan actualmente y compatibilidad	35
B. Arquitectura de red apropiada para el proyecto	36
C. Consideraciones para la transmisión vía satélite	40
1. Plan de numeración y enrutamiento	40
D. Criterios para la selección de poblaciones	48
1. Descripción de las poblaciones	49
2. Poblaciones que se podrían servir en el futuro	55

	Páginas
E. Satélites que podrían prestar el servicio	56
F. Equipo disponible en el mercado	65
G. Estudio económico	68
1. Estudio comparativo con otros medios de transmisión	68
2. Tasación	73
3. Estudio de factibilidad económico	74
H. Conclusiones del estudio de factibilidad	78
 IV. DISEÑO DE UN SISTEMA DE TELEFONIA RURAL VIA SATELITE PARA GUATEMALA	 81
A. Suposiciones utilizadas	81
B. Dimensionamiento	84
C. Consideraciones técnicas	88
1. Satélite a utilizar	88
2. Capacidad de satélite a utilizar	96
D. Equipamiento necesario	96
1. El sistema de antena	98
2. Equipo de telecomunicaciones	98
3. Fuente de poder	101
E. Forma de interconexión con la red existente y futura	102
F. Limitaciones del sistema	104

	Páginas
V. CONCLUSIONES	105
VI. BIBLIOGRAFIA	106
APENDICE	
A. Qué es un estudio de factibilidad?	107

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
2.1 Bandas de frecuencia para comunicaciones por satélite	6
2.2 Parámetros del sistema Intelsat SCPC	27
3.1 Costo de servicio por cable PCM en función de la distancia	70
3.2 Flujo de fondo, telefonía rural por satélite	76
4.1 Situación de abonados y canales de satélite en las poblaciones	87
4.2 Capacidades típicas de los satélites Intelsat utilizados para servicio Vista	94

RESUMEN

Debido al interés que existe de brindar servicios de comunicaciones a las poblaciones del interior del país por parte de empresas como GUATEL, surgió la inquietud de investigar técnicas nuevas como lo es la comunicación vía satélite. Esta técnica conlleva ventajas y desventajas que son analizadas en el presente trabajo determinándose su aplicación óptima.

En el segundo capítulo de este trabajo se analizan los fundamentos teóricos de la transmisión vía satélite, enfocándose, principalmente, a servicios rurales. En el capítulo número tres se determina la factibilidad de aplicar esta novedosa técnica en Guatemala. Después de llegar a una decisión sobre la factibilidad, se analizan los detalles técnicos de la implementación de este proyecto en el capítulo número cuatro. Finalmente, se concluye acerca de todo el trabajo en el capítulo número cinco.

I. INTRODUCCION

El presente trabajo tiene por objeto realizar un estudio en Guatemala de la factibilidad de dar servicio via satélite a poblaciones rurales. Si el estudio de factibilidad muestra resultados positivos, se realizará el diseño del proyecto.

Se hará también una breve descripción de los principios básicos de transmisión via satélite, aunque se tratará de enfocarlo al servicio rural.

El estudio de factibilidad incluye un estudio en el contexto guatemalteco de la compatibilidad con otros proyectos, los detalles técnicos a tomar en cuenta, la selección de las poblaciones idóneas para prestar dicho servicio y las compañías que podrían arrendar el segmento espacial. Finalmente, se realizará un estudio económico que en nuestro proyecto tiene un porque muy importante. Con todos estos datos se podrá llegar a una conclusión: Es factible, si o no?

Llegado a este punto si la respuesta es afirmativa comenzará la fase de diseño del proyecto. Esta incluye el dimensionamiento de la red seleccionada en el estudio de factibilidad, las consideraciones técnicas tales como seleccionar el satélite a utilizar y la capacidad a arrendar. Deberá también hacerse el diseño del equipamiento de cada

población y la forma en que éstas estarán interconectadas con la red actual y la proyectada.

En esta etapa se podrá implementar el proyecto si la compañía telefónica guatemalteca lo desea.

Finalmente, se hace la aclaración que la lectura de esta introducción invita al lector a adentrarse en el proyecto y comprobar si el resultado del estudio de factibilidad fue positivo o no.

II. PRINCIPIOS GENERALES DE LA TRANSMISION VIA SATELITE

A. Descripción general de satélites y estaciones terrenas

Comunicaciones por satélite

Un enlace de comunicaciones vía satélite es, simplemente, un doble enlace en cascada, en el cual el punto de repetición está localizado fuera de la atmósfera terrestre en una nave espacial que orbita alrededor de la tierra. Gracias a su geometría tiene una habilidad natural para transmitir simultáneamente de un punto a un número arbitrario de puntos que estén adentro de su área de cobertura.

Dentro de las ventajas de la comunicación vía satélite tenemos:

i. Los circuitos de satélite pueden ser instalados rápido. Con el satélite colocado en la órbita, las estaciones terrenas pueden ser instaladas y establecer la comunicación en días.

ii. Las comunicaciones vía satélite son aplicables a comunicaciones móviles, teniendo un alto grado de flexibilidad.

iii. La repetición del satélite cubre una gran área, siendo de punto a multipunto.

Una desventaja propia de las comunicaciones vía satélite es cuando éste se encuentra en la órbita geosincrónica, el trayecto entre transmisor y receptor es de, aproximadamente, 75,000 kilómetros. Como la velocidad de propagación electromagnética es de 300,000 Km/s, hay un retraso de 1/4 de segundo. En el caso de comunicaciones de voz, medio segundo transcurre en lo que la persona termina de hablar y comienza a escuchar una respuesta.

Otra desventaja de las comunicaciones vía satélite es el eco. La conexión usual entre un teléfono local y una red de larga distancia son dos alambres; esto es, el mismo par de alambres lleva la señal de recepción y transmisión. Todos los troncales de larga distancia son de cuatro alambres, con pares separados para las dos direcciones de transmisión. El acople de impedancias entre dos/cuatro alambres no es perfecto, esto provoca que una porción de la transmisión sea reflejada al mismo interlocutor. Esto puede ser molesto. En los primeros días de los satélites se usaron supresores de eco. Estos son conmutadores que actúan con la voz, cortando la señal de retorno cuando cualquiera de los interlocutores está hablando. Sin embargo, los canceladores de eco han probado ser más eficaces con el problema del eco. Un cancelador de eco suma la voz al extremo final el valor negativo de la señal reflejada; así el eco es cancelado.

Elementos de la comunicación por satélite

i. Orbitas de Satélite

La más utilizada es la llamada órbita geosincrónica, una órbita ecuatorial que está localizada a una distancia a la cual la velocidad a la que orbita el satélite es igual a la velocidad de un punto de la tierra en el ecuador. El satélite está, entonces, relativamente estacionario respecto de la tierra. Esta distancia está situada a 35,838 Kms. de la superficie de la tierra. Si el satélite está estacionario tiene la ventaja que no tiene que reenfozar su antena cada cierto tiempo. Desde esa altitud se puede cubrir, aproximadamente, un tercio de la superficie de la tierra. Esto quiere decir que con tres satélites tenemos una cobertura total del globo terráqueo.

ii. Bandas de Frecuencia

La tabla 2.1 muestra las bandas de frecuencia que han sido reservadas para el uso de comunicaciones vía satélite.

Tres son las bandas comerciales, la mas baja en frecuencia es la banda C y también la mas utilizada. Desde el punto de vista de propagación es la mejor, ya que presenta mínima atenuación con la lluvia. Sin embargo, pueden existir problemas de interferencia, ya que la misma banda de frecuencia es usada en enlaces terrestres de microonda.

Tabla 2.1

Bandas de frecuencia para comunicaciones por satélite

Banda	Banda de bajada(MHz)	Banda de subida(MHz)
UHF-militar	250 - 270 (aprox)	292 - 312 (aprox)
C-comercial	3700 - 4200	5925 - 6425
X-militar	7250 - 7750	7900 - 8400
Ku-comercial	11700 - 12200	14000 - 14500
Ka-comercial	17700 - 21200	27500 - 30000
Ka-militar	20200 - 21200	43500 - 45500

La banda Ku se está volviendo más común, ésta no es susceptible de interferencia por la red terrestre. Su principal desventaja estriba en la atenuación por lluvia. Debido a estas atenuaciones deben proveerse márgenes de 5-10 dB, dependiendo de la aplicación.

La siguiente banda a explotar será la Ka, pero probablemente hasta que las otras dos se llenen. Sufre mayor atenuación por la lluvia, pero esto puede ser parcialmente contrarrestado por el uso de haces angostos para concentrar la potencia del satélite.

iii. Reutilización de la frecuencia

Debido a que el ancho de banda disponible en un

sistema satelital es limitado, la mayoría de satélites transmiten y reciben en dos polarizaciones ortogonales. Ya sea polarización vertical u horizontal o polarización circular derecha o circular izquierda. Los elementos polarizantes en las antenas y sus alimentadores-guías de onda producen este efecto. En el caso ideal de ortogonalidad, las ondas pueden ocupar la misma banda de frecuencia y no interferir una con otra.

Hay otro tipo de ortogonalidad que consiste en que las huellas de un satélite a otro no se traslapen, dado este caso, ambos satélites podrían compartir la misma banda de frecuencia.

iv. Transpondedores

El transpondedor más utilizado es, básicamente, un repetidor trasladador de frecuencia. El proceso seguido en un satélite es el siguiente: la señal llega a la antena del satélite y pasa a su primera etapa de amplificación con el amplificador de bajo ruido. Luego es trasladada en frecuencia y amplificada otra vez con el amplificador de alta potencia. Finalmente es retransmitida hacia la tierra. Típicamente, la segunda generación de satélites contienen 24 transpondedores de 36 MHz cada uno separados por 4 MHz con dos polarizaciones. La cantidad de canales de voz, en cada transpondedor, depende de la técnica de modulación a

utilizar. Los amplificadores de potencia se encuentran en configuraciones redundantes, hay 24 en exceso.

La vida útil de un satélite de esta generación es de 7 años. Para esto debe proveerse al satélite de componentes redundantes, para prevenir cualquier falla. Actualmente se fabrican satélites con mas años de vida útil.

Funciones de servicio del satélite

i. Subsistema de potencia

La potencia del satélite es proporcionada por el sol. En la superficie del satélite se encuentran arreglos de celdas fotovoltaicas, estas convierten la radiación solar en electricidad, la que luego es convertida a un nivel de voltaje utilizable. La eficiencia de las celdas solares es de 12% a 15%. Esto significa que sólo este porcentaje de energía solar es captada y convertida a energía eléctrica útil para el satélite.

Debido a fenómenos astronómicos, el satélite se encuentra algunas veces cubierto a la radiación solar, por lo que es necesario proveerlo de otra fuente de energía para que no exista un corte de las comunicaciones via satélite. Esta fuente de energía la proporcionan las baterias de níquel-cadmio. Cuando la fuente de energía es el sol, una pequeña

fracción de la potencia solar se asigna para mantener las baterías cargadas.

ii. Estabilización

La estabilización del satélite es necesaria para mantener una orientación precisa en el espacio. Las antenas del satélite deben estar dirigidas a áreas específicas de cobertura y las celdas solares siempre deben estar dirigidas hacia el sol. La plataforma es orientada definiendo un eje en el espacio que es establecido por un movimiento rotacional alrededor del eje. Existen dos tipos de nave espacial:

a) Satélite estabilizado por spin: El satélite es cilíndrico y gira sobre su eje mayor, colocando al satélite de tal forma que el eje de giro se encuentra paralelo al eje polar geográfico de la tierra. Como el satélite se encuentra girando surge ahora el problema de mantener las antenas fijas y hacer que éstas apunten hacia la tierra. El remedio consiste en eliminar el spin del cuerpo de las antenas del satélite ya sea mecánica o electrónicamente. Para orientar las antenas hacia la tierra el satélite compara el calor relativo de ésta contra el frío del espacio circundante con el fin de encontrar la dirección correcta hacia la tierra.

b) Satélite estabilizado por tres ejes: Un satélite estabilizado en órbita estacionaria posee sus tres ejes en

reposo con el sistema tridimensional de un observador sobre la superficie de la tierra. El sistema que detecta la dirección vertical hacia la tierra es el mismo que el utilizado en la estabilización de spin. Las celdas solares están montadas en paneles externos del cuerpo de la nave espacial, permitiendo que estén orientados hacia el sol.

iii. Propulsión

Un satélite contiene un sistema de propulsión con un suministro de combustible para moverle a su órbita asignada, para mantenerlo en su posición y para que no varíe la dirección del eje de control de altitud de spin. El sistema de propulsión, usualmente consiste de una fuente de gas de hidracina. Un satélite típicamente contendrá entre 200-300 libras de combustible a bordo para poder realizar todas sus funciones durante su tiempo de vida.

iv. Telemetría, rastreo y comando

Algunas veces un cambio de situación requiere que el satélite sea movilizado de una órbita a otra diferente. Esto se realiza por medio del sistema de telemetría, rastreo y comando que se encuentran en la tierra y en el satélite.

El sistema de telemetría consiste en un grupo de sensores y transductores, el codificador, el transmisor y la antena de telemetría. Este provee datos a la tierra reportando cada

subsistema independiente de cualquier enlace de comunicaciones.

El sistema de comando consiste de un grupo de antenas receptoras, el receptor de control y una serie de amplificadores que distribuyen las señales para que puedan ser ejecutadas. Este permite a una determinada estación terrena asignada, especialmente, modificar la configuración del satélite.

En lo que se refiere al rastreo, el satélite proporciona señalización de rastreo ya sea por el sistema de telemetría o a través del sistema maestro de comunicación (por medio de la inserción de frecuencias piloto, o a través de antenas dedicadas al rastreo).

Estaciones terrenas

Aunque un satélite presta servicio a un número grande de estaciones terrenas, cada estación, generalmente, no requiere toda la capacidad de ancho de banda. Sin embargo, para propósitos de flexibilidad es deseable que cada estación pueda sintonizar todo el ancho de banda.

El diagrama de bloques de una estación terrena se muestra en la figura 2.1. Como puede verse, ésta consiste de cinco subsistemas mayores:

- a. Equipo de transmisión: transmite las señales al satélite
- b. Equipo de recepción: recibe señales del satélite
- c. Equipo de interface de banda base: convierte la señal de banda base a señales transmitidas y recibidas
- d. Equipo de control y monitoreo: monitorea el desempeño del equipo y la operación del equipo de control
- e. Equipo de suministro de potencia: provee de potencia eléctrica al equipo de la estación terrena, si se requiere provee protección contra cortes de potencia.

El subsistema de transmisión está formado de cinco elementos como muestra la figura 2.2. El modulador que genera la señal de portadora y modula la información de banda base en la portadora. El convertidor de subida que cambia la señal de FI producida por el modulador a señal modulada en radio frecuencia. El amplificador de alta potencia que amplifica la radio frecuencia modulada al nivel requerido de transmisión del satélite. La línea de transmisión de la antena que convierte la señal de radio frecuencia del amplificador de alta potencia a la entrada de la antena. Finalmente, la antena que transmite la señal de radio frecuencia en dirección al satélite.

El subsistema de recepción consta de cinco elementos, se

muestra en la figura 2.3. La antena que recibe la señal de radio frecuencia del satélite, luego la línea de transmisión de la antena que convierte la señal de radio frecuencia de la antena a el amplificador de bajo ruido . El amplificador de bajo ruido amplifica la señal de radio frecuencia recibida. El convertidor de bajada cambia la frecuencia de la señal recibida a frecuencia intermedia, la cual es aplicada al demodulador. El demodulador extrae la información de banda base de la señal recibida.

El equipo de control y monitoreo cumple con las siguientes funciones: monitorea el equipo de fallas, las detecta y conmuta al equipo de reserva, activa las alarmas de falla en el panel de alarma, muestra el estatus del equipo y, finalmente, permite equipo de control remoto.

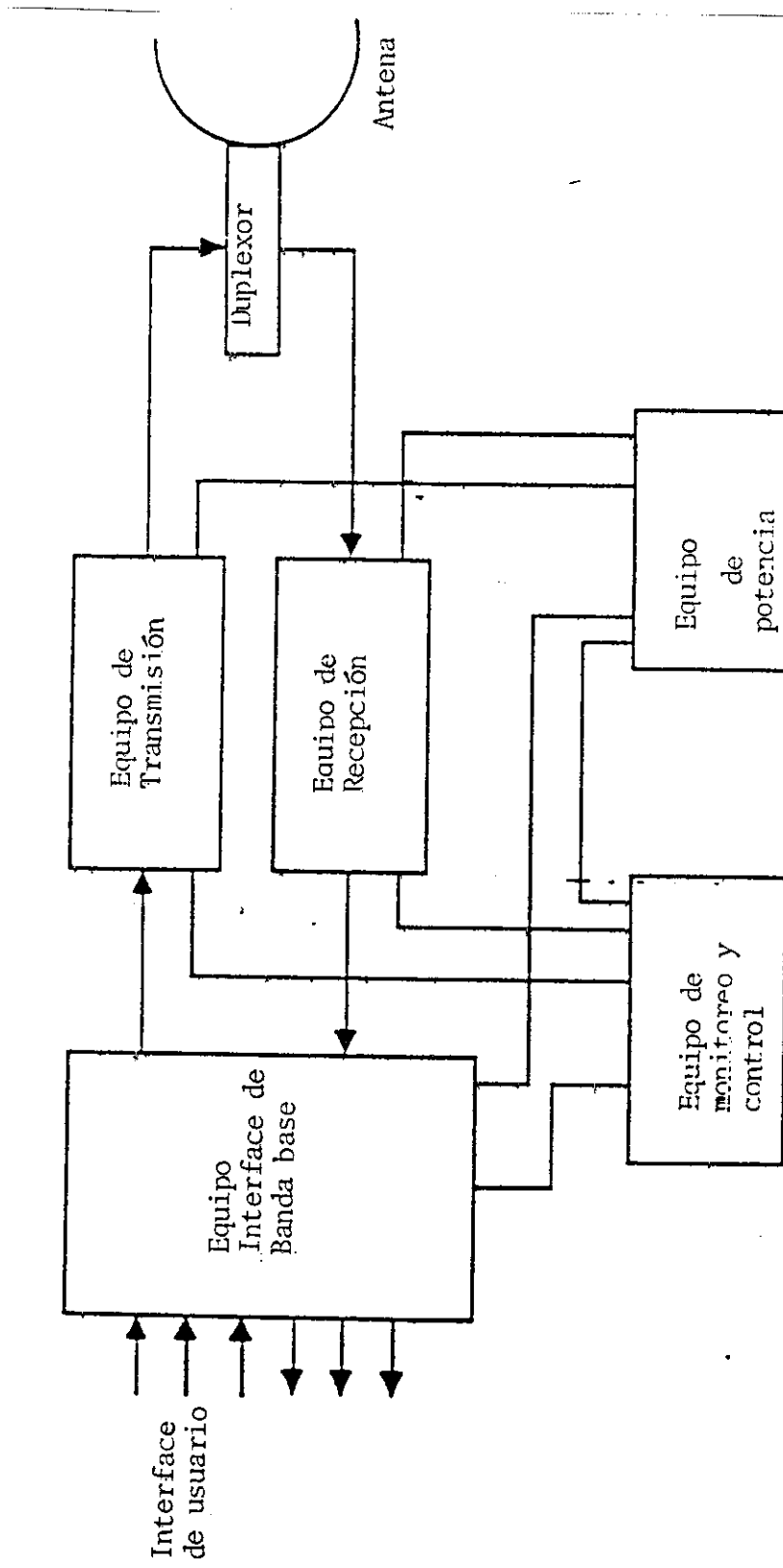


FIGURA 2.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UNA ESTACION TERRENA

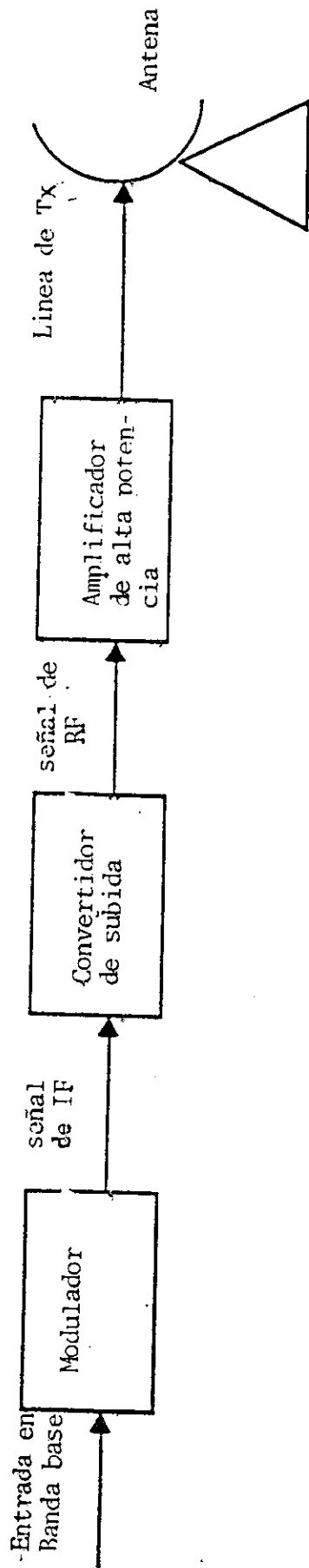


FIGURA 2.2 SUBSISTEMA DE TRANSMISION

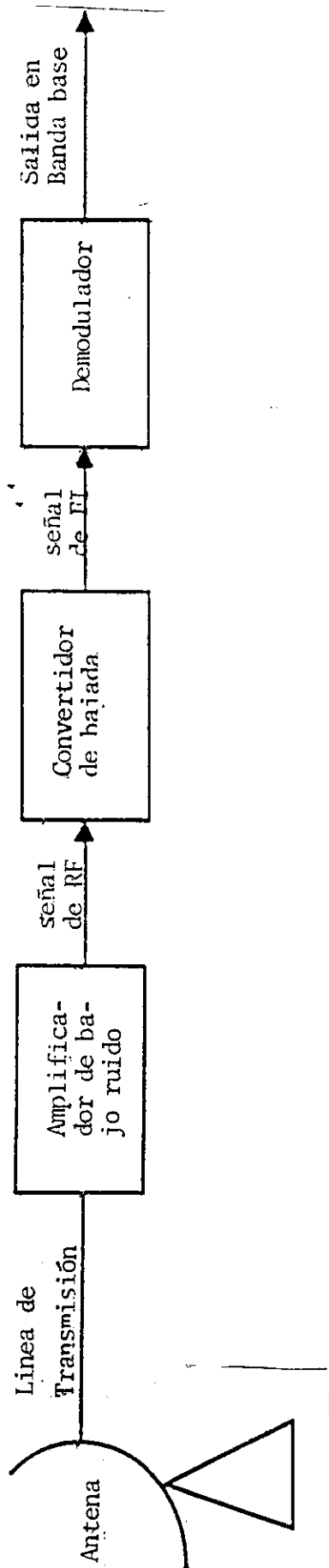


FIGURA 2.3 SUBSISTEMA DE RECEPCION

B. Estaciones terrenas para servicios rurales

Una de las compañías más grandes que arrenda capacidad de segmento espacial es Intelsat. Es la cooperativa comercial internacional, sin fines de lucro, que posee y explota el sistema mundial de satélites que proporciona servicios de telecomunicaciones en todo el mundo. Tiene, actualmente, 117 países miembros, y por medio de su red de satélites comunica a más de 170 países, territorios y dependencias, ofreciendo una gama completa de servicios internacionales de telefonía, video, datos y audio.

Nos referiremos a las estaciones de telefonía rural y a los servicios prestados por Intelsat, ya que éstos son un típico ejemplo de los parámetros que deben de cumplirse y han sido ampliamente estudiados. Si se trabajara con otra compañía arrendataria de segmento espacial, los parámetros serían similares.

Intelsat presta servicios para rutas de poco tránsito en zonas rurales y remotas, estos son llamados servicios Vista y Super Vista. El servicio Vista fue introducido en 1983 para satisfacer la necesidad de servicio de telefonía, télex, teletipo y datos a baja velocidad (4800 bits por segundo como máximo) en comunidades rurales o remotas con instalaciones de telecomunicaciones inadecuadas o carentes de

ellas. Durante la fase de desarrollo del servicio Vista, la principal preocupación era ofrecer un servicio eficaz en función del costo en las zonas rurales y remotas de escasos recursos, a fin de facilitar su desarrollo socioeconómico.

Para aumentar la eficacia del servicio Vista, en función al costo, se requirió el emplazamiento en esas comunidades rurales y remotas de estaciones terrenas pequeñas de bajo costo, sencillo diseño y reducido consumo de energía. Esas estaciones para servicios Vista (de 4.6 a 6 metros de diámetro) se denominan estaciones tipo D-1.

Un ejemplo de una aplicación típica de una red nacional Vista es aquella en la cual varias estaciones terrenas Vista tipo D-1 se comunican con una estación terrena central o maestra. La estación central podría estar ubicada, por ejemplo en la capital o cerca de ella, y también podría estar emplazada junto a la estación terrena de acceso internacional del país. Ese tipo de configuración se conoce por lo general como red en estrella. En el servicio Vista, la estación central o maestra para servicios nacionales es, generalmente, una estación tipo D-2.

La técnica de transmisión mediante la cual las estaciones terrenas remotas tipo D-1 se comunican a través de los satélites Intelsat con la estación central o estación tipo

D-2 se conoce como portadora monocanal/modulación de frecuencia con expansión (SCFC/CFM). A fin de establecer un circuito bidireccional entre cualquier estación tipo D-1 y la estación central se necesitan dos portadoras SCFC/CFM para tener acceso al satélite, una en cada sentido de la comunicación (es decir, de la estación remota a la central y de la estación central a la remota). Cada portadora SCFC/CFM tiene acceso a un canal preasignado con una anchura de banda RF de 30 KHz en el transpondedor de satélite asignado al servicio Vista. Con objeto de aprovechar al máximo la potencia limitada de los transpondedores de satélite, cada portadora SCFC/CFM se activa, únicamente, cuando una persona habla. Sin embargo, cuando se transmiten mensajes de télex, teletipo o datos, normalmente no se exige el cumplimiento de este requisito.

A fin de reducir al mínimo el número de canales de satélite preasignados de 30 KHz que normalmente se necesitan para el servicio Vista y disminuir así los cargos en concepto de utilización del segmento espacial, en 1986 se introdujo un servicio perfeccionado conocido como Super Vista. El servicio Super Vista es similar al Vista, excepto que en el Super Vista se ha agregado la técnica de acceso múltiple con asignación por demanda (DAMA) al servicio Vista corriente. Al asignar canales de satélite (dos por circuito) únicamente

cuando se solicita una conexión de circuitos, se necesita un número menor de canales de satélite para atender a un grupo o red de estaciones terrenas remotas que cursan un servicio de determinada calidad. Dada la eficiencia inherente al uso de la técnica DAMA, la tarifa correspondiente al servicio Super Vista es inferior a la del servicio Vista, y se aplica al número de unidades de canal SCPC/CFM en la red capaces de utilizar la técnica DAMA, incluidas las de la estación central Vista.

Los servicios Vista y Super Vista se ofrecen para comunicaciones nacionales o internacionales, a tiempo completo, interrumpibles o no interrumpibles y con protección total. El plazo mínimo de alquiler para esos servicios es de tres meses.

Una estación terrena normalizada tipo D que se utiliza en el Vista normalmente incluirá:

- una antena con el correspondiente alimentador
- líneas de transmisión de RF
- uno o más transmisores de RF
- uno o más amplificadores de recepción de RF de bajo ruido
- equipo de banda base a RF
- equipo de RF a banda base, y

- equipo para la orientación de la antena o la posición del haz

Se podrá obtener la aprobación de una estación terrena en la categoría de normalizada tipo D sólo si se cumplen las condiciones mínimas que se indican a continuación.

$$G/T > 22.7 + 20 \log f/4 \quad \text{dB/K para estaciones D-1}$$

$$G/T > 31.7 + 20 \log f/4 \quad \text{dB/K para estaciones D-2}$$

Donde G es la ganancia de la antena medida a la entrada de un amplificador de bajo ruido relativa a un radiador isótropo, T es la temperatura de ruido del sistema de recepción a la entrada de un amplificador de bajo ruido respecto de un grado Kelvin; y f es la frecuencia expresada en GHz.

En las estaciones terrenas normalizadas tipo D-1, la ganancia de transmisión de la antena, medida en el alimentador, no deberá ser menor de $46.6 - 0.06(a - 30)$ dBi en 6 GHz, donde a es el ángulo de operación de la estación terrena en grados. La aprobación se limitará a ángulos de operación desde los cuales se satisfaga esta condición. Este requisito tiene por objeto fijar un límite a la potencia transmitida.

Los lóbulos laterales de transmisión a ángulos mayores de un grado medidos desde el eje del haz principal, requieren

que no más del 10% de las crestas de los lóbulos laterales exceda la envolvente descrita por las dos expresiones siguientes:

$$G = 32 - 25 \log \theta, \quad \text{dBi}; 1^\circ \leq \theta \leq 48^\circ$$

$$G = -10, \quad \text{dBi}; \theta > 48^\circ$$

A fin de proteger las señales recibidas contra la interferencia procedente de otras fuentes, también habrá que imponer restricciones a las características de los lóbulos laterales de recepción.

El servicio Vista se presta por medio de transpondedores de haz global, hemisférico y de zona. Por tanto, las estaciones podrán trabajar en cualquier sentido de polarización.

- Polarización A: El enlace ascendente es LHCP y el descendente, RHCP .

- Polarización B: El enlace ascendente es RHCP y el descendente, LHCP.

La relación axial de tensión, para transmisión en dirección al satélite, no excederá de 1.3 en las antenas normalizadas tipo D-1 y de 1.06 en las antenas tipo D-2.

RHCP: polarización circular dextrorsa

LHCF: polarización circular sinistrorsa

Esto se hace para facilitar la planificación de frecuencias en los transpondedores con polarización cruzada y reutilización de frecuencias.

El equipo RF de la estación terrena deberá poder funcionar en cualquier parte de las anchuras de banda siguientes:

- Sistema de transmisión: 5.925 a 6.425 GHz
- Sistema de recepción: 3.7 a 4.2 GHz

con el objeto de ofrecer flexibilidad operativa durante los cambios de planes de frecuencias y en casos de contingencia. La anchura de banda del equipo de conversión de frecuencias será de 36 MHz como mínimo, y abarcará el transpondedor pertinente.

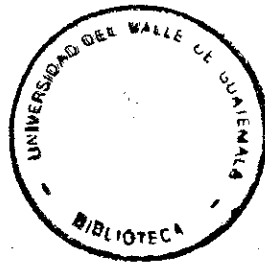
En vista del gran número de estaciones terrenas que tienen acceso múltiple (simultáneo) al segmento espacial, cualquier variación en la frecuencia RF de transmisión, la p.i.r.e de transmisión y el seguimiento de la antena podría causar interferencia en otros servicios o bien dar lugar a condiciones peligrosas para la explotación del segmento espacial. Por consiguiente, es obligatorio controlar, permanentemente, las estaciones terrenas a fin de evitar dicha interferencia.

Se considerará que se cumple este requisito cuando las estaciones terrenas estén atendidas las 24 horas del día por personal técnico capacitado para ajustar la frecuencia, la p.i.r.e y el seguimiento. En el caso de las estaciones que no estén atendidas las 24 horas del día, se considerará que se cumple este requisito cuando se disponga de un medio efectivo (por control remoto u otra índole) para desactivar de inmediato las portadoras RF que interfieran en los servicios o creen condiciones peligrosas para la explotación del segmento espacial.

Se establecerá un enlace de comunicaciones entre Intelsat y puntos seleccionados de contacto en las entidades encargadas del control de las redes, con el propósito de transmitir información y datos en operaciones de rutina y casos de emergencia. Las entidades explotadoras harán los arreglos necesarios para comunicar la información pertinente a todas las estaciones terrenas de la red en cuestión. Para esto es recomendable que las estaciones normalizadas tipo D-2 se ubiquen junto a estaciones terrenas normalizadas tipo A o B de Intelsat.

C. SCPC: Portadora por canal sencillo

El sistema de FDMA en el cual una portadora separada es asignada para cada canal de voz es llamado en inglés SCPC



(single carrier per channel). La técnica de modulación a usar puede ser tanto analógica como digital para sistemas SCPC.

Esta técnica es ideal para sistemas de telecomunicaciones por satélite que poseen un número pequeño de estaciones terrenas de baja densidad de tráfico. Ha sido utilizada para rutas de poco tráfico internacionales en el sistema Intelsat y también en sistemas de comunicaciones domésticas vía satélite.

Portadora prendida- apagada

Este método es, llamado usualmente activación por voz, en el cual las portadoras de radio frecuencia son transmitidas sólo cuando las señales de voz están presentes en los circuitos telefónicos. El tiempo en que las señales de voz están presentes en cada circuito en un sentido es, aproximadamente, el 40% de la duración promedio de la llamada. El número de portadoras que deben ser amplificadas, simultáneamente, por el amplificador no lineal del satélite es menor que el número total de canales asignados. Debido a este efecto, los productos de intermodulación se ven reducidos, resultando en un incremento de la eficiencia de utilización de la potencia de salida del satélite.

Asignación por demanda

En esta técnica, todos los canales se encuentran disponibles para que cada par de estaciones pueda obtener sus dos circuitos de satélite necesarios para establecer la comunicación. La eficiencia en utilización de los canales del satélite puede ser mejorada, porque sólo las llamadas requeridas son asignadas. El ancho de banda de transmisión de la señal de radiofrecuencia de SCPC es apenas varias decenas de KHz lo que hace que el desempeño de cada canal se vea fuertemente afectado por la desviación de la frecuencia de la portadora.

Intelsat SCPC

El sistema SCPC de Intelsat utiliza preasignación, en el cual los canales son asignados en forma fija a cada estación terrena y la asignación por demanda llamada SPADE (Single channel per carrier PCM multiple access demand assignment equipment).

Sistema SCPC con preasignación

En este sistema, no solamente las señales de voz, sino también las señales de datos digitales pueden ser transmitidas. Los parámetros del sistema, están mostrados en la tabla 2.2.

Tabla 2.2
Parámetros del sistema Intelsat SCPC

	TRANSMISION DE VOZ	TRANSMISION DE DATOS
Encodificación de la voz	Ley de compansion A	-
Scrambler/Descrambler	-	CCITT Rec.V.35
Tasa de bit	64 Kbit/s	64 o 66.6 Kbit/s
Método de modulación	QCPFSK	QCPFSK
Portadora on-off	Activación por voz	continua/rafaga
Corrección de error adelantada	-	R=3/4 o 7/8 código convolucional

Una de las características del sistema es la adopción de la técnica de activación por voz. Para este propósito, es necesario un detector de voz en el lado del transmisor para identificar la presencia de una señal entrante. El detector de voz debe, ser preferentemente capaz de detectar señales de voz sin identificar algún ruido.

Sistemas Spade

La característica de operación de la asignación por demanda en SPADE es tal que el control es ejercido no por el método de control central sino por el método de control distribuido, en el cual cada estación terrena puede asignar canales independientemente. Por esto tiene la ventaja que el

corte de una estación terrena no afecta el desempeño de todo el sistema. Para el control distribuido, es utilizada señalización por canal común con TDMA (CSC). Este canal tiene un ancho de banda de transmisión de 160 KHz y la frecuencia central se encuentra localizada en la parte inferior del transpondedor.

D. Modulaciones digitales utilizadas en telefonía rural vía satélite

En esta sección se hará una descripción superficial de las modulaciones utilizadas en telefonía rural vía satélite, se recomienda, para mayor detalle, consultar un libro de texto de comunicaciones.

BPSK: PSK binario

Es una modulación digital en la que la señal transmitida es una sinusoidal de amplitud fija. Cuando la señal fuente esté a un nivel, la fase es fija; cuando está en el otro nivel, la fase difiere a la anterior en 180° . Si la sinusoidal es de amplitud A tiene un potencia $P_s = 1/2 A^2$, lo que quiere decir que $A = (2P_s)^{1/2}$. La señal transmitida es, entonces, una de estas dos:

$$v(t) = (2P_s)^{1/2} \cos(\omega_c t) \quad (\text{Ec. 2.D-1})$$

$$v(t) = (2P_s)^{1/2} \cos(\omega_c t + \pi) = -(2P_s)^{1/2} \cos(\omega_c t) \quad (\text{Ec. 2.D-2})$$

En BPSK la señal fuente $b(t)$ es un tren de dígitos binarios con voltajes de $+1$ V o -1 V, escogimos estos valores por conveniencia. Entonces podemos reunir las dos expresiones en una sola:

$$v(t) = b(t) (2Ps)^{1/2} \cos(\omega_0 t) \quad (\text{Ec. 2.D-3})$$

QPSK : PSK cuaternarias

En esta modulación digital se combinan dos pulsos binarios sucesivos y el resultado es el conjunto de cuatro pares binarios 00, 01, 10, y 11 que se usa para disparar una onda sinusoidal de alta frecuencia con cuatro posibles fases, una para cada uno de los pares binarios. La señal i -ésima, de las cuatro posibles puede escribirse en forma rectangular:

$$v(t) = \cos(\omega t + \theta_i) \quad \begin{array}{l} i=1,2,3,4 \\ -T/2 \leq t \leq T/2 \end{array} \quad (\text{Ec. 2.D-4})$$

Hay diferentes elecciones para las fases angulares, dos de ellas podrían ser:

$$\theta_i = 0, \pm \pi/2, \pi \quad (\text{Ec. 2.D-5})$$

$$\theta_i = \pm \pi/4, \pm 3\pi/4 \quad (\text{Ec. 2.D-6})$$

En ambos casos las fases están espaciadas $\pi/2$ radianes. La ecuación 2.D-4 puede ser expresada también de la siguiente manera:

$$v(t) = a_1 \cos(\omega_0 t) + b_1 \sin(\omega_0 t) \quad \begin{array}{l} (\text{Ec. 2.D-7}) \\ -T/2 \leq t \leq T/2 \end{array}$$

La transmisión de este tipo se denomina transmisión en

cuadratura, con dos portadoras en cuadratura de fase entre si ($\cos \omega_c t$ y $\sin \omega_c t$), que se transmiten simultáneamente por el mismo canal. Según la elección de fases angulares a_1 y b_1 pueden tomar diferentes valores. Si se elige la Ec. 2.D-5 el diagrama de constelación toma la forma de la figura 2-4, si se elige la Ec. 2.D-6 la figura correspondiente sería 2-5.

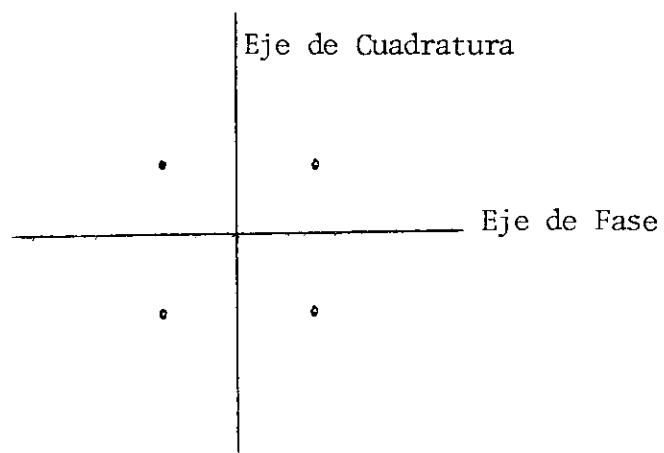
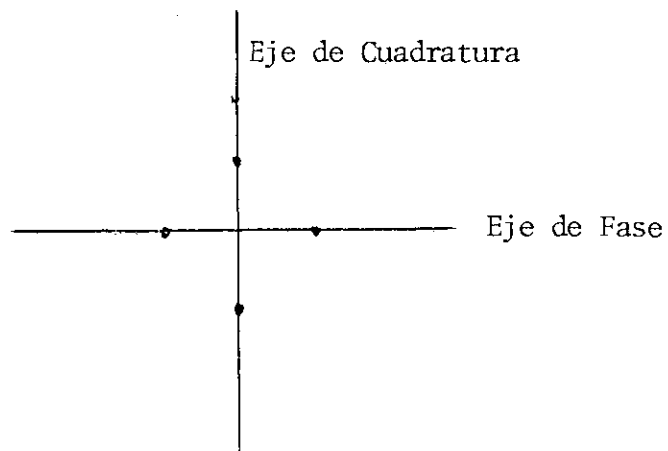


FIGURA 2.4 DIAGRAMA DE CONSTELACION DE QPSK CON $\phi_1 = 0, \pm \pi/2, \pi$
 FIGURA 2.5 DIAGRAMA DE CONSTELACION DE QPSK CON $\phi_1 = \pm \pi/4, \pm 3\pi/4$

E. Diferentes arquitecturas de red

Las estructuras de las redes se diseñan para cumplir lo más económicamente posible ciertos requisitos de encaminamiento y de transmisión para algunos tipos específicos de tecnología, cada una de las cuales tiene sus propias características de costo.

* Tipos de redes

Las redes pueden clasificarse según la estructura del servicio telefónico. Existen dos modelos básicos de interconexión de redes vía satélite: el modelo en estrella y el modelo en malla. Las redes reales son el resultado de una combinación de esos dos tipos básicos. La configuración depende del número de abonados y de la situación geográfica.

** Red en malla

Una red básica en malla tiene una estructura en la que cada estación terrena está directamente conectada con todas las demás. Por lo tanto, no tiene centros de tránsito, puesto que las llamadas se encaminan a través de un solo enlace, como máximo. Debe señalarse aquí que una red de n nodos requiere $n(n-1)$ haces de circuitos unidireccionales. Esta configuración sería exitosa para una red grande. En confiabilidad es la mejor. La figura 2.6 muestra una red en malla.

**** Red en estrella**

En este tipo de red, una estación conocida como estación maestra recibe todo el tránsito de sus estaciones periféricas. La comunicación entre estaciones periféricas es rara y necesitaría de un doble enlace de transmisión. Consecuentemente, la estación maestra para este tipo de red absorbe el tráfico total de la red y debe ser equipada acordeamente. Si la estación terrena maestra se descompusiera, la red dejaría de funcionar. La desventaja principal radica en las limitaciones en cuanto a rendimiento y confiabilidad generales. Las redes estrella pueden representar una importante topología para las comunicaciones vía satélite. Se muestra una red en estrella en la figura 2.7.

**** Redes mixtas en malla y estrella**

Las formaciones en malla y en estrella coexisten en la práctica en las redes de telecomunicaciones. La estructura en estrella es adecuada en aquellos casos en los que el volumen de tráfico entre los centros del mismo nivel jerárquico es poco elevado, mientras que cuando el tráfico entre estos centros es muy intenso se suele optar por una formación en malla. Las rutas directas se justifican cuando

el tráfico entre dos centros excede de un determinado valor.
En este caso, la red es una configuración combinada
estrella/malla.

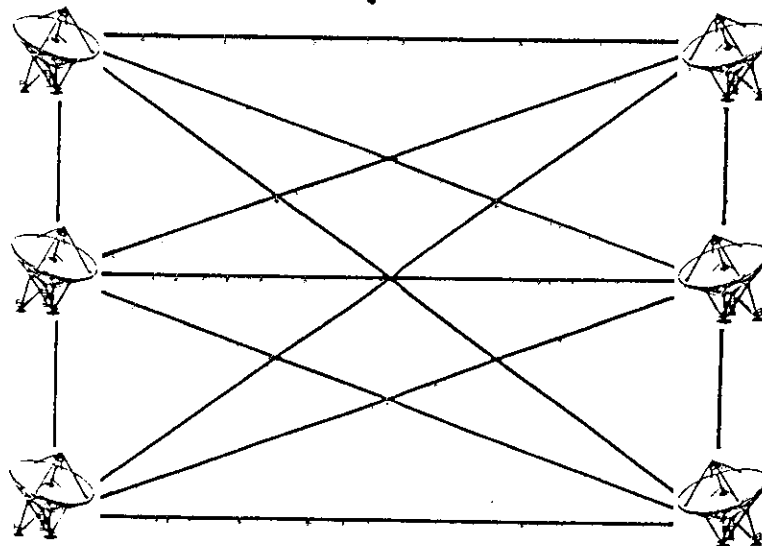
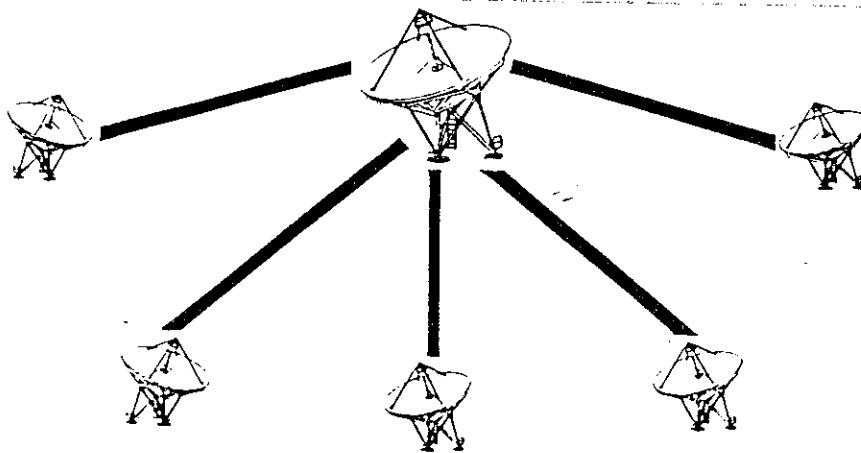


FIGURA 2.6 RED EN MALLA
FIGURA 2.7 RED EN ESTRELLA

III. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

A. Descripción de los proyectos que se realizan actualmente y compatibilidad con éstos.

GUATEL realiza, actualmente, tres proyectos que tienen relación con telefonía rural: III fase de telefonía rural, etapas II y III del Plan Maestro y IV fase de telefonía rural. La III fase de telefonía rural se encuentra en su fase final de ejecución y se piensa se concluya a finales de 1,990. Este proyecto permitirá dar servicio a 500 comunidades a través de centrales de baja capacidad, concentradores, unidades remotas, sistemas PCM de 2 Mb/s, enlaces de radio de 1, 6, y 24 canales y sistemas de multiacceso.

El proyecto de expansión telefónica en la República de Guatemala, etapas II y III del Plan Maestro, subproyecto área departamental tiene por objeto satisfacer la demanda del interior del país hasta 1995 con la instalación de centrales de tecnología digital, ubicadas en las cabeceras departamentales y en algunas cabeceras municipales, así como obtener un alto grado de calidad de servicio y de confiabilidad de la red.

La IV fase de telefonía rural tiene como objetivos generales extender la infraestructura de las

telecomunicaciones en todo el país y promover el desarrollo en las zonas rurales. Como objetivos específicos: dar servicios telefónico a todas las cabeceras municipales del país, prestar servicio telefónico básico (2 abonados comunitarios y 3 particulares) a todas las poblaciones con más de 1,000 habitantes, y cubrir poblaciones fronterizas y lugares turísticos.

Los dos primeros proyectos crearían la infraestructura para la IV fase de telefonía rural. Comprendido dentro de ésto, se encuentra el subproyecto de satélite. Este terminaría de cumplir con los objetivos del proyecto en las poblaciones que se encuentran geográficamente aisladas y que cumplen con ser cabeceras municipales o poblaciones con más de 1,000 habitantes que no pudieron ser servidas vía cable, multiacceso o radio. Esto quiere decir que el subproyecto de telefonía rural vía satélite tiene una compatibilidad total con los otros proyectos, formando una parte complementaria de la IV fase de telefonía rural.

B. Arquitectura de red apropiada para el proyecto

En Guatemala, las poblaciones que se piensan servir vía satélite son rurales, sus pobladores son indígenas que hablan, en su gran mayoría, lenguas mayas-quichés. Cada una de ellas habla diferente lengua. Geográficamente entre

ellas se encuentran aisladas, por lo que la probabilidad de que dos personas de diferentes poblaciones servidas por satélite quieran comunicarse entre sí es muy baja.

Todas las poblaciones por sus características socioeconómicas generarán baja densidad de tráfico. Esto es así, ya que se han realizado estudios de medición de tráfico en poblaciones cuyo contexto es similar. Estos estudios demuestran que ellas generarán tráfico hacia la cabecera departamental, poblaciones relativamente cercanas a la capital que hablan la misma lengua.

Estas condiciones nos hacen pensar en dos tipos de red:

(i) Una red en estrella, donde la estación maestra se encontraría localizada en la capital de la república. Cada vez que una localidad desee generar una llamada a la capital, cabecera departamental o cualquier población servida por GUATEL, deberá de enrutarse a través del enlace satelital hacia Guatemala capital en donde se discriminará a que lugar está dirigida la llamada. Si es a la capital se enrutará a la central pertinente, si es al interior de la república lo hará vía la red terrestre. Si se da la remota posibilidad de que se quieran comunicar dos de las poblaciones de la red satelital será necesario un doble salto, y la calidad de la señal se vería degradada por el retraso introducido. Sin

embargo, esto no será frecuente. Doble salto se dará también cuando las poblaciones de la red satelital quieran hacer llamadas internacionales, habrá retraso pero no será imposible la comunicación.

La inversión en este tipo de red representa costos mínimos (respecto a los otros tipos de redes), ya que se necesitaría adquirir las estaciones terrenas con capacidad de 5 canales (a 12 canales máximo para preveer un crecimiento) en un número igual al de poblaciones que se desee servir , y una estación maestra que maneje la totalidad del tráfico de las estaciones periféricas (que tenga un margen de crecimiento para poder manejar el tráfico cuando se equipen al máximo las estaciones periféricas).

(ii) Una red mixta en malla y estrella

La estructura en malla estaría localizada entre los centros interurbanos: Quetzaltenango, Cobán, Chiquimula y Guatemala. Y la estrella se daría en los centros interurbanos que tuvieran las poblaciones a conectar vía satélite bajo su jurisdicción. Esta se puede visualizar en la figura 3.1.

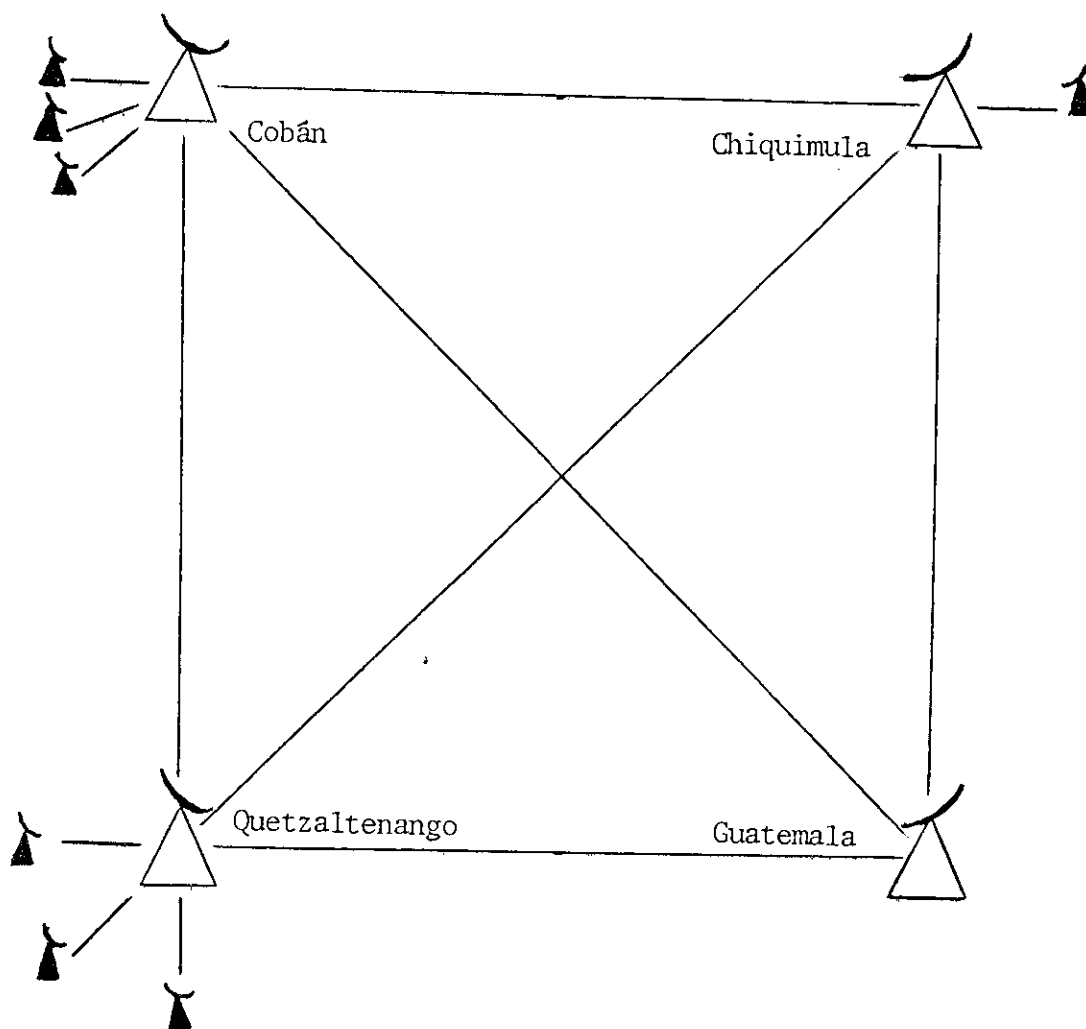


FIGURA 3.1 ESTRUCTURA MIXTA MALLA Y ESTRELLA PROPUESTA PARA GUATEMALA

Este tipo de estructura de red tendría la ventaja de que si se llamara a la cabecera departamental no sería necesario que la llamada se fuese a Guatemala; además habría seguridad entre los principales centros de tránsito. Sin embargo las posibilidades de que se dieran dobles saltos satelitales aumentarían considerablemente, degradando la calidad de la señal. La inversión sería mayor, ya que se necesitaría de cuatro estaciones maestras.

Implementar redes satelitales es oneroso para un país en desarrollo como Guatemala, se considera que siempre que sea posible (condiciones geográficas favorables) es preferible la comunicación por medios terrestres. Y en un futuro cuando Guatemala tenga una situación económica más holgada, si se recomendará un tipo de red como la presente, ya que proporcionaría un alto grado de seguridad a las comunicaciones entre los grandes centros de tránsito. No existiendo ningún problema técnico en modificar la estructura de la red, más que notificar a la compañía arrendataria de satélite y hacer las modificaciones pertinentes.

Por lo citado anteriormente, se recomienda para este proyecto una red en estrella, citada en el numeral (i).

C. Consideraciones para la transmisión vía satélite

1. Plan de numeración y enrutamiento

(algunas consideraciones sobre tasación)

Para el tipo de estructura de la red (estrella) se ha decidido que las poblaciones sean abonadas de la ciudad de Guatemala. Es decir se considerará en lo que se refiere a la numeración que son abonados de la central Guarda Viejo III. Entonces será conveniente reservar 100 números consecutivos que pertenezcan a la central de Guarda Viejo. Reservamos cien números ya que como veremos posteriormente, el servicio vía satélite es bastante caro y este medio sólo se utilizará cuando no sea posible brindar el servicio por otros medios (cable, radio, multiacceso, etc.). ¿Por qué Guarda Viejo? Porque esta central se encuentra en el mismo edificio que una de las centrales interurbanas y existe enlace directo entre Guarda Viejo y la Estación Terrena. Además, como se conectarán PABX a algunas poblaciones en las que se desea servir un mayor número de abonados, Guarda Viejo III posee ciertas facilidades como Direct In Dialing.

No existirá ninguna diferencia entre el tipo de numeración de la central de Guarda Viejo y los de las poblaciones rurales que no tengan una PABX. A las que se les conecte una PABX usarán dos dígitos más (es decir 8 dígitos), aunque el tipo de numeración será el mismo. Esto es para utilizar la facilidad de Direct In Dialing que tiene Guarda Viejo III, ésta permite identificar la extensión deseada de la PABX.

En la figura No. 3.2 se muestra la estructura de la red satelital y su forma de interconexión con la red de Guatel. Analicemos las diferentes rutas que se pueden dar.

i) El abonado satelital trata de comunicarse con abonado de la ciudad capital o periferias (cuyo código es 2): El enrutamiento es a través del satélite hacia la estación maestra de la red rural, y de ésta hacia Guarda Viejo III, ésta es la central encargada de la tasación. Luego se identifica a qué central capitalina pertenece el número marcado y se enruta. Guarda Viejo registra este tipo de llamada como local y la tasa de esta manera, es decir la llamada tendrá el mismo valor que una llamada de un abonado capitalino de Guarda Viejo a cualquier otra central capitalina de la misma duración.

ii) El abonado de la ciudad capital o periferias (cuyo código es 2) trata de comunicarse con abonado satelital: Es el caso contrario del anterior, por lo cual el enrutamiento es el mismo. La única diferencia que existe es que la central encargada de tasar es la de la zona de la persona que originó la llamada. La tarifa será la correspondiente a una llamada capitalina.

iii) El abonado satelital trata de comunicarse con abonado de otra zona (cuyo código no es 2): El enrutamiento es a través

del satélite a la estación maestra de la red rural, y de ésta hacia Guarda Viejo. Como se trata de una llamada interurbana, Guarda Viejo la enruta hacia la central interurbana, la cual, en este caso, es la encargada de la tasación. Esta enruta la llamada hacia la central interurbana de la zona a la cual la llamada pertenece, la que a su vez la enruta a la central adecuada y población a la que se desea llamar. La llamada será tomada por la central interurbana de la ciudad capital como una llamada interurbana, y que será tasada de forma más alta que los casos i) y ii). Esto será así, aunque por ejemplo Xoxlac (aldea de Huehuetenango) llame a Huehuetenango cabecera, las cuales pertenecen a la zona de numeración 6.

iv) El abonado de otra zona de numeración (cuyo código no es 2) trata de comunicarse con abonado satelital: Es el caso contrario del anterior, por lo cual el enrutamiento es el mismo, sólo que en sentido contrario. La diferencia que existe es que la central encargada de la tasación es la interurbana de la zona en donde se originó la llamada.

v) El abonado satelital trata de comunicarse con abonado fuera del país: En este caso será necesario un doble salto, ya que Guarda Viejo enrutará a la central internacional y ésta a la estación estándar A. La calidad no

será la óptima, sin embargo si será posible la comunicación. El mismo caso se dará cuando un abonado fuera del país trate de comunicarse con cualquier población perteneciente a la red rural vía satélite.

Algunos se preguntarán por qué no se le da una serie de numeración propia a los abonados satelitales, el motivo por el que no se hizo es que la numeración es un recurso finito no renovable que ha sido planificado para cubrir diferentes servicios, y no vale la pena sacrificar una serie por digamos 100 abonados máximo que pueda llegar a tener la red satelital.

Como se vio en la discusión de enrutamiento, Guatel estará perdiendo dinero, en algunos casos (i y ii) y cobrando más de lo normal en otros casos (iii y iv) claro que para Guatel prestar servicio, siempre que implique el uso del satélite, le saldrá bastante más oneroso que prestarlo por la red terrestre. Esto no lo podrá recuperar totalmente, ya que las tarifas de servicio deben guardar cierta homogeneidad en toda la república. Para evitar este problema de tasación se podrían programar todas las centrales de la república para la tasación adecuada, pero obviamente este proyecto sería oneroso y difícil para justificarlo por sólo digamos, en un futuro, 100 poblaciones. Por lo cual queda absolutamente desechado. Otra posible solución a este

problema sería poner la estación maestra de la red rural en la zona de numeración en donde haya más poblaciones. La cual es disputada entre la zona de Quetzaltenango y la de Cobán (observar figura 3.3). Esta solución solo sería para unas cuantas poblaciones ya que otras seguirían tasadas en forma irregular, como en la discusión preliminar. Pero la mayor desventaja sería no poder contar con el canal requerido de servicio a la compañía que presta la función de arrendatario de satélite, por no contar en la cercanía con una estación estándar A ó B. También no contaría con personal técnico capacitado para el mantenimiento y manejo de la estación terrena maestra.

Otra solución parcial a la tasación la constituirán los teléfonos comunitarios, ya que en éstos se podría realizar el cobro de acuerdo a una tabla de diferentes destinos y tiempo de llamadas. El problema sería que Guatel no puede comprobar lo que según el encargado del teléfono comunitario sería la factura del mes. Estaríamos sujetos a la honradex de los encargados de los teléfonos comunitarios.

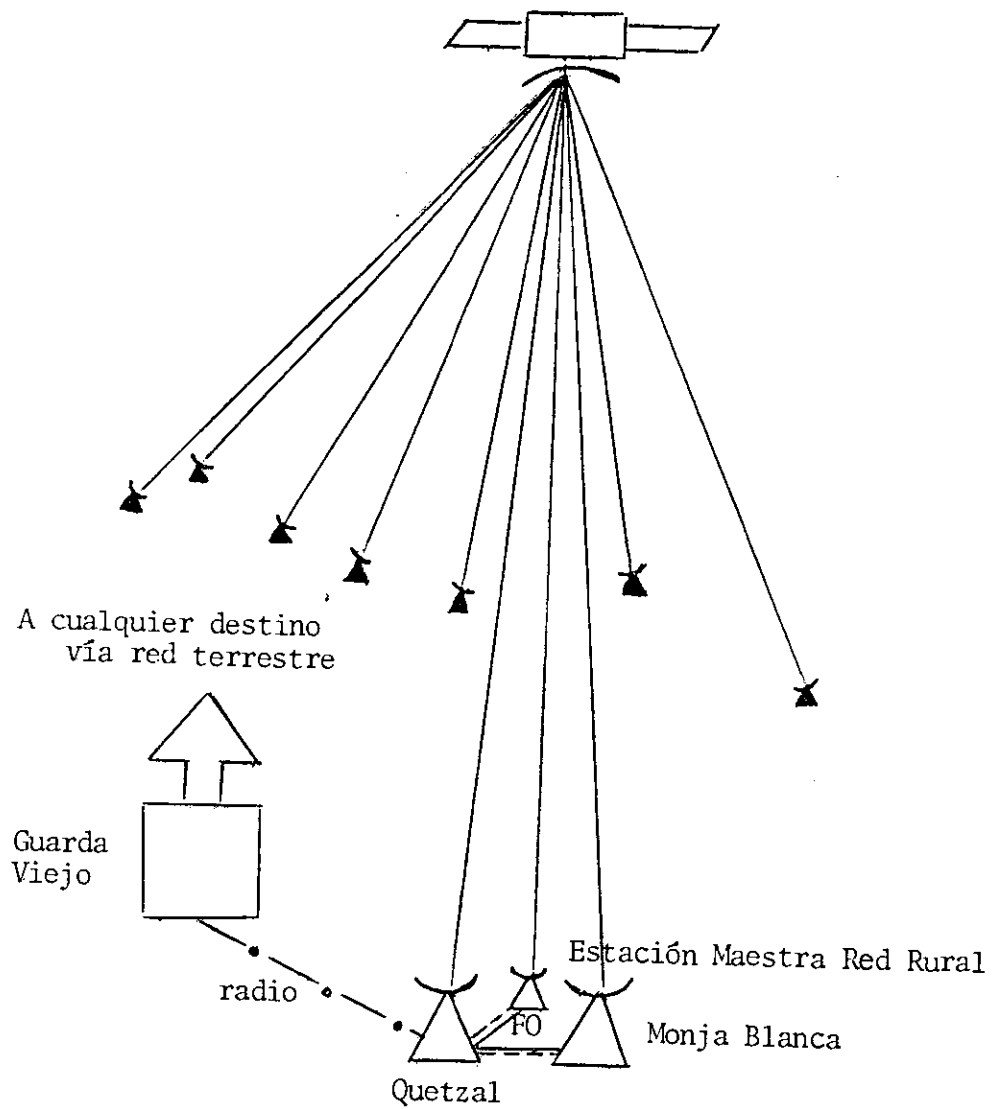


FIGURA 3.2 DIAGRAMA DE LA ESTRUCTURA DE LA RED SATELITAL Y SU FORMA DE INTERCONEXION CON LA RED DE GUATEL



FIGURA 3.3 ZONAS DE NUMERACION PARA GUATEMALA

D. Criterios para la selección de poblaciones

El fin de la empresa GUATEL es proporcionar servicio telefónico a todas las poblaciones guatemaltecas, esto es importante de resaltar, ya que el servicio de telefonía rural vía satélite no es económico (como se verá en la sección 3.6), debemos utilizarlo en las siguientes circunstancias:

- i. Si la población es rural o de baja densidad de tráfico.
- ii. Si la población se encuentra geográficamente aislada y no se le puede dar servicio desde alguna repetidora existente.
- iii. Si no justifica la construcción de alguna nueva repetidora por estar en una zona muy despoblada, ya que no contaría con otras poblaciones a las que se daría servicio.
- iv. Si el servicio por cable fuera imposible, ya que el costo del cable PCM (que es el único, exceptuando la fibra óptica que se puede utilizar en distancias largas) y el posteo es demasiado grande. En el mismo caso se encuentra la fibra óptica.
- v. Si fuera posible dar servicio por cable multipar, pero a través de lugares inaccesibles, es decir que no hubiera camino y la línea tuviera que pasar a través de selvas o lugares escarpados. Esto dificultaría el mantenimiento de la línea y su instalación.

La condición número i, es necesaria pero no suficiente y debe darse en conjunto con alguna de las otras.

1. Descripción de las poblaciones

Como Mapa se indica el nombre del mismo en escala 1:50,000 en el que se encuentra localizada la población.

Estos mapas son proporcionados por el Instituto Geográfico Militar.

BULEJ

Municipio: San Mateo Ixtatán	Altura: 2,180 m (snm)
Departamento: Huehuetenango	Mapa: Ocanté
Latitud: 15°55'57"	Lengua: Chuj
Longitud: 91°34'12"	

Aldea del Municipio de San Mateo Ixtatán, Huehuetenango. Se encuentra en la sierra de los Cúchumatanes, al norte de las montañas Culumté y Bulquén. Posee poco más o menos 1,000 habitantes y 3 caseríos en su jurisdicción.

Se encuentra geográficamente aislada y poco poblado sus alrededores, en una depresión que hace imposible darle servicio desde alguna repetidora existente.

No posee servicio de energía eléctrica, el cual se encuentra, actualmente, a 17.5 Kms en San Mateo Ixtatán.

Tampoco hay camino de vehículo, el acceso más cercano se encuentra actualmente en Nentón. Se dedican a la agricultura y comercian con otras poblaciones.

CARRIZAL GRANDE

Municipio:	San Pedro Pinula	Altura:	1,590 m (snm)
Departamento:	Jalapa	Mapa:	San Diego
Latitud:	14°46'16"	Idioma:	Español
Longitud:	89°53'40"		

Aldea del Municipio de San Pedro, Jalapa: Se encuentra entre las quebradas del Xambre y del Mixco, a 5 Km, por vereda al noroeste de la aldea San José. De allí por vereda rumbo Sur este son 5 km. a la aldea El Sunzo y de ese poblado por rodiera en dirección sur, 10 km. a la aldea Fie de la Cuesta, en el entronque con la ruta nacional 18, por esta ruta, rumbo suroeste hay 3 km. a la Cuesta, en el entronque con la ruta nacional 19. Por esta ruta, rumbo suroeste hay 3 km. a la cabecera municipal. Posee 1,851 habitantes y 365 viviendas. Tiene los caseríos El Coulotte, El Cipresal y Los Gómez.

CHAMIL

Municipio:	San Juan Chamelco	Altura:	1560 m (snm)
Departamento:	Alta Verapaz	Mapa:	Caquipec
Longitud:	90°13'28"		
Latitud:	15°24'38"		

Aldea del Municipio de San Juan Chamelco. Se encuentra en la montaña Caquipec y en los márgenes del río Santo Tomás,

a 13.5 kms. de San Juan Chamelco, por vereda.

Se probó darle servicio desde Chikut y Yalijux, pero por encontrarse en márgenes de río y rodeado de montañas no fue posible.

CHILASCO

Municipio:	Salamá	Altura:	1838 m (snm)
Departamento:	Baja Verapaz	Mapa:	San Jerónimo y Salamá
Latitud:	15°07'20"		
Longitud:	90°06'56"		

Aldea del Municipio de Salamá, localizada en la Sierra de las Minas y en el margen Oeste del río Chilascó. Se encuentra a 30 kms. de la cabecera departamental, y a 25 Kms. de San Jerónimo.

Es un pueblo maderero, preparan los cueros del ganado vacuno.

EL FLORIDO

Municipio:	Camotán	Altura:	625 m (snm)
Departamento:	Chiquimula	Mapa:	El Tesoro
Latitud:	14°51'28"	Idioma:	Español
Longitud:	89°13'50"		

Caserío de la Aldea Capariá, se encuentra a 1/2 km al Oeste de la frontera con Honduras sobre la ruta nacional 21 y a 25 Kms. de Camotán. Cuenta con menos de 1000 habitantes.

Se le intentó dar servicio desde Pelillo Negro, Quetzaltepeque, Yupiltepeque y Volcán de Ipala.

QUIXAL GRANDE

Municipio:	San Pedro Carchá	Altura:	1000 m (snm)
Departamento:	Alta Verapaz	Mapa:	Rubeltem
Latitud:	15°33'25"		
Longitud:	90°19'03"		

Caserío de la Aldea Tanchí. Se encuentra dentro de la finca Quixal, montaña Chicoil, sierra de Chamá. El café y la caña de azúcar son sus principales cultivos. La fabricación de canastos, redes, escobas y lazos son sus principales productos.

Se encuentra en lugar plano pero no cubierto por las repetidoras existentes, no tiene ninguna población cercana más que San Pedro Carchá.

RAXRUJA

Municipio:	Chisec	Altura:	150 m (snm)
Departamento:	Alta Verapaz	Mapa:	Raxrujá
Latitud:	15°51'50"		
Longitud:	90°02'13"		

Es una Aldea del Municipio de Chisec. Se encuentra al Norte del río Chajmaic, en la margen Este del río San Simón, a 10 1/2 kms. por la vereda al Oeste del río Sebol. Posee más de 1,000 habitantes. Fray Bartolomé de las Casas se

encuentra a 25 kms. pasando por Sebol y Rubelquiché, es zona petrolera.

Se le intentó dar servicio desde Chinaja y Yalijux, pero se encuentra cubierto por montañas, aunque la población se encuentra en terreno plano.

SACPUY

Municipio:	San Andrés Petén	Altura:	145 m (snm)
Departamento:	El Petén	Mapa:	La Esperanza, Flores
Latitud:	16°59'14"		
Longitud:	90°03'00"		

Caserío de la cabecera municipal de San Andrés Petén, se encuentra en la margen Sur de la laguna de Sacpuy, a 20 kms., aproximadamente de la cabecera departamental.

Se le trató de dar servicio desde Purucilá y San Andrés, pero no fue posible.

SAN FRANCISCO

Municipio:	Chiché	Altura:	1076 m (snm)
Departamento:	El Quiché	Mapa:	Uspantán
Latitud:	15°27'35"	Lengua:	Ixil
Longitud:	90°54'50"		

Se trata de una finca que produce granos, dedicándose también a la crianza de ganado vacuno y caballar. Lo habitan más o menos 250 familias que vendrían a ser beneficiadas con

el servicio telefónico, San Juan Cotzal se encuentra a 16 kms. y el camino es bueno. Posee planta de energía eléctrica propia y servicio de radio para telecomunicaciones. Se encuentra geográficamente aislado, ya que está a las márgenes del río Chipol y cubierto por montañas relativamente altas.

SAN LUIS IXCAN

Municipios:	Chajul	Alturas:	300 m (snm)
Departamento:	Quiché	Mapa:	San Luis
Latitud:	15°47'10"		Ixcán
Longitud:	91°05'45"		

Finca del Municipio de Chajul, Quiché que posee más de 1,000 habitantes que serían beneficiados con el servicio telefónico. El casco de la finca está en la margen Este del río Xaclbal (río Chajul). Está a 40 Kms. de Barillas aproximadamente, se encuentra geográficamente aislada y en una zona despoblada. No existe servicio de energía eléctrica.

SAN RAMON

Municipios:	Barillas	Altura:	650 m (snm)
Departamento:	Huehuetenango	Mapa:	Ojo de Agua
Latitud:	15°51'52"		
Longitud:	91°12'40"		

Caserío de la Aldea Jolontaj, municipio de Barillas, Huehuetenango. Se encuentra al Sur del río San Ramón. Está aislado ya que se encuentra en el valle norte del Quiché, a

la orilla de las montañas de Huehuetenango y a 17 kms. de Barillas. No tiene servicio de energía eléctrica. Es una zona finquera. Posee más de 1,000 habitantes.

XOXLAC:

Municipio:	Barillas	Altura:	1240 m (snm)
Departamento:	Huehuetenango	Mapa:	Xoxlac
Latitud:	15°59'15"	Lengua:	Kanjoyal
Longitud:	91°21'05"		

Aldea del Municipio de Barrillas, Huehuetenango. Se encuentra al Noroeste de la cabecera y al Norte de la montaña Los Angeles. Tiene aproximadamente 2,000 habitantes y varios caseríos están bajo su jurisdicción. Es una zona poco poblada, se encuentra a 30 kms. de Barillas y cerca de la frontera con México. Está situada en una depresión que hace imposible darle servicio por medios convencionales. No posee servicio de energía eléctrica. Se dedican a la agricultura.

2. Poblaciones que se podrían servir en el futuro

El servicio vía satélite hemos visto es aplicable en ciertas condiciones como se mencionó en los criterios utilizados para la selección de poblaciones. Guatemala, después de la Cuarta Fase de Telefonía Rural, tendrá aún muchas poblaciones que no contarán con servicio telefónico. Entre éstas algunas se encuentran sumamente distantes y aisladas, otras están situadas en depresiones rodeadas de

montañas. Es en el servicio a estas poblaciones que debemos tomar en cuenta el servicio vía satélite. Claro que cada caso debe ser analizado particularmente. Entre estas podemos mencionar el Injerto (Quiché), Finca Ixquisis, Julchén, Finca Sacchén (estas tres últimas en Huehuetenango). Un caso muy particular lo constituyen los sitios arqueológicos, encabezando la lista Piedras Negras, Río Azul, Uaxactún, etc., en las cuales no se pueden hacer excavaciones, ni poner estructuras de torres altas y llamativas. Tomando en cuenta lo plano que es el territorio de El Petén y lo distante que se encuentran las poblaciones, esto hace difícil el proporcionarles servicio telefónico. Es en estos casos donde el satélite viene a ser una solución viable.

E. Satélites que podrían prestar el servicio

Existen dos entidades internacionales dedicadas al alquiler de segmento espacial para la comunicación entre los diferentes países y América Latina. Estas son Intelsat y Panamsat.

De INTELSAT hemos hablado brevemente en la sección 2.E y ampliaremos los detalles en la presente.

INTELSAT

Los servicios internacionales y nacionales se cursan

mediante más de una docena de satélites emplazados en una órbita elevada sobre el Ecuador. Por medio de sus satélites, el sistema Intelsat comunica a más de 170 usuarios, empleando alrededor de 1800 trayectos a tiempo completo de estación terrena entre más de 760 antenas.

Intelsat es propietaria de la red mundial de satélites y de las instalaciones de control. Cada país miembro de Intelsat posee una participación de inversión basada en su uso actual del sistema (la participación mínima es del 0.05%). Cada país miembro aporta los fondos necesarios para la construcción y el lanzamiento de los satélites en proporción a su participación de inversión. El sistema obtiene ingresos de los cargos por utilización de capacidad en forma de canales (es decir, canales de telefonía, datos y televisión), alquileres (para servicios nacionales o internacionales) y venta de transpondedores. Los miembros y usuarios son los propietarios de las instalaciones de estaciones terrenas internacionales y se encargan de su explotación.

Las reducciones considerables de los cargos de Intelsat con el correr de los años ha hecho que tanto los países miembros como los que no lo son, gocen de tarifas de utilización de satélites que han disminuido en un factor

superior a 100 desde 1,964.

Intelsat tiene cuatro órganos: la Asamblea de Partes, la Reunión de Signatarios, la Junta de Gobernadores y el Organó Ejecutivo. La Asamblea de partes se compone de representantes de los gobiernos de todos los países miembros de Intelsat. Examina cuestiones de interés para los miembros en su calidad de estados soberanos. La Reunión de Signatarios está formada por las entidades de telecomunicaciones asignadas por cada país, en ella se examinan asuntos generales que atañen al sistema. La Junta de Gobernadores la componen representantes de los Signatarios de Intelsat y es responsable de todas las decisiones relacionadas con la concepción, el desarrollo, la construcción, el establecimiento, la explotación y el mantenimiento del segmento espacial. El Organó Ejecutivo está formado por los 600 empleados que tienen sede en Washington D.C., el director general es responsable directamente ante la Junta de Gobernadores por el desempeño de todas las funciones vinculadas a la gestión y explotación del sistema Intelsat.

Ya que se trata de baja capacidad a alquilar para el servicio que se piensa prestar en Guatemala, Intelsat cuenta con un servicio diseñado para proporcionar servicio básicos de comunicaciones por satélite a las poblaciones rurales y

remotas, cuyos medios de telecomunicaciones son inadecuados o inexistentes. Este servicio es llamado Vista, existe también el Super Vista, de los cuales se habla más en la sección 1.2. El servicio se ofrece sin estar sujeto a interrupción o sujeto a interrupción. El primer servicio posee protección contra eventualidades y el segundo es susceptible a cortes en caso de falla del transpondedor o del satélite. Los cargos aplicables por canal telefónico son los siguientes:

Servicio Sujeto a Interrupción: - US\$ 265 mensuales
(periodo mínimo de tres meses)

Servicio no Sujeto a Interrupción: - US\$ 525 mensuales
(periodo mínimo de tres meses)

Normalmente, los usuarios del Servicio Vista serán las localidades con poca demanda de comunicaciones (en algunos casos de un sólo circuito telefónico) pero aún los servicios limitados de comunicaciones pueden contribuir en gran medida a mejorar el nivel socioeconómico de un país en vías de desarrollo. Las comunicaciones no sólo proporcionan beneficios económicos sino también ventajas en caso de una emergencia médica o un desastre natural.

Hagamos entonces un resumen de los servicios de telefonía rural vía satélite que proporciona Intelsat. El servicio

Vista es una solución para las necesidades de comunicación proveída por medio de una red de terminales remotas con un nodo central de mayor capacidad.

- El tipo de red puede ser estrella, malla o una combinación de éstas.
- Utiliza transpondedores con irradiación de potencia en forma de haz global, hemisférico o de zona.
- Tiene aplicaciones de voz y datos a baja velocidad.
- Trabaja con transmisión analógica o digital con SCPC.
- Disponible en incrementos de un canal.
- Utilizado en forma doméstica o internacional.

El servicio Super Vista es el servicio Vista con acceso múltiple con asignación por demanda (DAMA) para utilizar el segmento espacial más eficientemente.

- Reduce los cargos por segmento espacial
- Provee los mismos servicios que el Vista: doble dirección de comunicación de voz, telex, teletipo, y transmisión de datos a baja velocidad.
- Utilización internacional o doméstica.

Las características técnicas del servicio Vista utilizado con tecnología analógica son las siguientes:

- Utiliza SCPC/CFM
- Necesita un ancho de banda de Satélite de 30 KHz
- Las portadoras son activadas por voz
- Trabaja con voz o datos a baja velocidad (Hasta 4.8 Kb/s)
- Puede utilizar DAMA (si se contrata el servicio Super Vista)

Se menciona que Intelsat puede prestar servicio de alquiler satelital interrumpible y no interrumpible. Para el fin que Guatemala alquilará esta capacidad y por el costo que para ella representará en dólares mensualmente se recomienda alquilar el servicio sujeto a interrupción, ya que se trata de poblaciones de bajo tráfico, y de pocos recursos económicos. La inversión será difícil que se recupere en un plazo que haga rentable el proyecto. Por el contrario si se decidiera alquilar capacidad satelital a PANAMSAT este ofrece sólo el servicio no sujeto a interrupción y puede brindar servicio con protección.

PANAMSAT: Corporación Panamericana de Satélites

La Pan American Satellite Corporation ha sido organizada para proporcionar y vender capacidad de satélite con base en condominio, para servicio nacional y regional en los países de América Latina y entre América Latina, los Estados Unidos y Europa. El lanzamiento en 1988 de PAS I -el primero del

sistema- marca la entrada de Alpha Lyracon como la primera empresa privada en poseer y operar un satélite de comunicaciones internacionales fuera del consorcio Intelsat.

Con PAS I, el usuario puede diseñar de acuerdo a sus necesidades sus propias redes de comunicación internacional o pedir la asistencia de Alpha Lyracon para este fin. Los beneficios que ofrece son: acceso directo, estaciones terrenas económicas y flexibilidad de diseño.

El Satélite PAS I es de la serie 3000 de RCA Astro, con 24 transpondedores que operan en las bandas C y Ku, puede prestar múltiples servicios en las comunicaciones internacionales, regionales y nacionales. Para hacer el sistema más accesible y reducir sustancialmente los costos al usuario. Los transpondedores de PAS I se han diseñado específicamente para su utilización a través de antenas pequeñas y económicas. El acceso del satélite PAS I se hace a través de la Estación Central Internacional de Miami de Alpha Lyracon. Entre otras cosas, esta Central proporciona el "doble salto" necesario para aquellos usuarios cuyas necesidades de comunicaciones internacionales combinan la cobertura europea y latinoamericana. PAS I mantendrá una posición geostacionaria de 45° Longitud Oeste. Los servicios de monitoreo y control del satélite (seguimiento, telemetría y telemando) utilizarán la central internacional

de Miami y la moderna instalación de Contel ASC en Atlanta.

Los transpondedores internacionales y nacionales de FAS I están disponibles, para venta o alquiler a largo plazo sobre una base de condominio y pueden ser adquiridos por redes de televisión, gobiernos, etc. Panamsat no vende transpondedores fraccionados, pero los usuarios están en libertad de rentarlos o revenderlos sujetándose a los reglamentos de la empresa de telecomunicaciones de cada país y a la limitación impuesta por la FCC, en el sentido de que el tráfico que se origina o termina en Estados Unidos no sea conectado con la red pública de teléfonos o télex.

La configuración de los transpondedores es la siguiente:

-Banda C: 12 transpondedores de banda estrecha (36 MHz) utilizando amplificadores de potencia de estado sólido de 8.5 vatios, y 6 transpondedores de banda ancha (72 MHz) utilizando amplificadores de tubos de ondas progresivas de 16 vatios.

-Banda Ku: 6 transpondedores de banda ancha (72 MHz) utilizando amplificadores de tubos de ondas progresivas de 16 vatios.

La capacidad de Panamsat se divide en 4 haces definidos: Haces América Latina, Norte, Centro y Sur. Los haces pincel

son tres: Norte, Centro y Sur en conjunto proporcionan cobertura a los países de América Central, Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Argentina, Chile, Uruguay y Paraguay. El haz América Latina abarca, como su nombre lo dice, toda América Latina con excepción de una reducida porción de Brasil.

En telefonía, PAS I puede ser utilizado para ampliar los grupos troncales existentes o proporcionar servicio telefónico a zonas rurales, que con anterioridad no podían servirse económicamente. En radiodifusión, se puede transmitir programas de radio y televisión a todas las zonas pobladas del país, por pequeñas o remotas que éstas sean.

Fanamsat ofrece un costo más bajo en la utilización del segmento espacial y altos niveles de potencia del satélite PAS I, que permite la utilización de un segmento terrestre pequeño.

MORELOS

Una huella de satélite que parecería podríamos utilizar es la del satélite MORELOS de México. Sin embargo, todos los países que son miembros de Intelsat respetan los servicios que esta entidad internacional brinda, por lo que no está permitido que subarrenden capacidad satelital.

F. Equipo disponible en el mercado

Existen diversas compañías en el mercado mundial que fabrican equipo para telefonía rural vía satélite, problemas referentes a la no disponibilidad de equipo no se dan en este campo. Entre las compañías fabricantes tenemos:

- * AEL Microtel Limited
- * NEC
- * Equatorial communications
- * COMTEL INCORPORATED
- * Harris Communications Systems
- * Raytheon
- * M A - COM DCC, Inc.
- * Scientific Atlanta
- * Spar Aerospace Limited
- * California Microwave Incorporated
- * Philips Telecommunicatie Industrie BV
- * Alcatel
- * Alpha Lyracom Space Communications

Para ejemplificar tomaremos al azar una compañía y realizaremos una breve descripción de los equipos que ella suministra.

ALCATEL Fabrica pequeñas estaciones terrenas, diseñadas específicamente para comunicaciones rurales llamadas FASTCOM.

Estas están diseñadas para pocos circuitos telefónicos, típicamente de 1 a 12. Están equipadas con antenas de 5m. de diámetro y amplificadores de transmisión de baja potencia (en muchos casos un transistor amplificador es suficiente). Son específicamente diseñadas para operar en condiciones climáticas adversas y desoladas. Generalmente son suplidas con energía solar.

Como el sistema trabaja con enlaces de bajo tráfico, debe de ser posible equipar cada estación con un número pequeño de canales o bien con un solo circuito, teniendo en cuenta la posibilidad de aumentar la capacidad de tráfico en el futuro. Ya que estos circuitos pueden ser asignados a varios destinos, la transmisión es hecha canal por canal. Utiliza modulación FDMA/SCPC (Frequency Division Multiple Access, Single Channel per Carrier). El ancho de banda que es, usualmente, estandarizado para estos canales es 45 KHz, 30 KHz, o hasta 22.5 KHz.

Puede utilizar DAMA (Demand Assignment Multiple Access), este es del tipo centralizado con un procesador central localizado en la estación maestra. Este maneja toda la red y asigna canales de frecuencia a la estación que llama y a la estación llamada.

La estación FASTCOM responde a las necesidades de las

telecomunicaciones rurales de la siguiente manera. La UIT define las telecomunicaciones rurales como comunicaciones de pequeñas pueblos en áreas que tienen una o más de las siguientes características:

- * Dificultad en obtención de electricidad
- * Falta de personal técnicamente capacitado
- * Area despoblada
- * Condiciones ambientales adversas
- * Restricciones de costo (retorno de la inversión y costos operativos)

La estación FASTCOM posee las siguientes características

- * Bajo consumo de potencia
- * Operación muy sencilla, sin personal local. Tiene posibilidad de ser monitoreada por equipo remoto.
- * Fácil de transportar y de instalar
- * Equipo de alta confiabilidad
- * Reducción del costo del segmento espacial (utilizando asignación por demanda)

Las estaciones FASTCOM pueden utilizar segmento espacial de: El servicio Vista de Intelsat, transpondedores de Intelsat comprados o alquilados, ó satélites domésticos dedicados. Proporcionan servicios como telefonía, voz, telegrafía multiplexada, datos (hasta 9,600 baudios),

programas de radio de alta fidelidad y recepción de televisión (opcional).

6. Estudio económico

1. Estudio comparativo con otros medios de transmisión:

A continuación presentaremos los costos de los diferentes medios de transmisión, como: cable, radio y satélite. Estos nos servirán para poder tener un criterio económico de selección que, junto con el dato técnico, podrán ayudarnos a tomar una decisión del medio conveniente.

Debe mencionarse que los precios están sujetos a cambios conforme a la fluctuación del Quetzal respecto del dólar, y que los datos que aquí se proporcionan son un parámetro de comparación.

CABLE

Para cubrir con cable distancias mayores de 10 Kms. nos vemos en problemas, ya que el cable de 20 pares, calibre AWG 19 (diámetro = 0.9 mm) puede ser utilizado sólo para distancias menores de 10 Kms. En todos nuestros casos las poblaciones se encuentran geográficamente aisladas, por lo que no podemos utilizar el cable AWG 19. Tendremos que utilizar el cable PCM (especial para modulación por impulsos

codificados). La distancia máxima para un FCM es de 96 Kms., la cual es crítica para poder alimentar con energía eléctrica desde un extremo del FCM.

Para implementar un enlace con cable FCM se necesita lo siguiente:

- Equipo FCM lado de central (digital)	\$ 4,800.00
- Equipo FCM lado de abonado	\$ 14,600.00
- Unidades repetidoras LBT para 30 ch. con caja y accesorios (deben ser colocadas cada 3 Kms.)	\$ 2,000.00
- Kilómetro de cable FCM de 10 pares	\$ 3,720.00
- Costo de postes por kilómetros incluyendo retenidas	\$ 48.00

Para ejemplificar hemos calculado el costo de servir por cable FCM las poblaciones:

POBLACION DESDE LA QUE SE DARA EL SERVICIO	POBLACION A SER SERVIDA	DISTANCIA (Kms.)	COSTO (\$)
SAN MATEO IXTATAN	BULEJ	17.5	128,740.00
SAN JUAN CHAMELCO	CHAMIL	13.5	104,248.00
SAN JUAN CHAMELCO	CHILASCO	25	181,600.00
CAMOTAN	EL FLORIDO	25	181,600.00
FRAY BARTOLOME DE LAS CASAS	RAXRUJA	25	181,600.00
SAN ANDRES PETEN	SACPUY	20	144,560.00
SAN JUAN COTZAL	SAN FRANCISCO	16	113,000.00
BARILLAS	SAN LUIS IXCAN	40	289,120.00
BARILLAS	SAN RAMON	17	125,856.00
BARILLAS	XOXLAC	30	206,440.00
SAN DIEGO	CARRIZAL GRANDE	18	133,260.00

TABLA 3.1
COSTO DE SERVICIO POR CABLE PCM EN FUNCION DE LA DISTANCIA

Debe llamarse la atención sobre el hecho de que, económicamente, salga más conveniente utilizar cable FCM que transmisión vía satélite. A veces no es suficiente analizar sólo el aspecto económico, ya que algunas de las poblaciones en estudio no poseen caminos y la instalación de planta externa debería pasar a través de selvas o lugares sumamente escarpados, lo cual imposibilita esta solución.

RADIO

Aquí consideramos la construcción de una repetidora nueva para brindar el servicio. Algunos de los costos serían los siguientes:

- \$ 74,000.00 Por kilómetro de camino de acceso
- \$ 32,000.00 Por caseta para repetidora
- \$ 11,000.00 Por kilómetro de energía eléctrica solicitado en nuevo servicio.

Con estos costos y ya que no se justifica la construcción de una repetidora sólo para una población, vemos que esta alternativa no es viable.

SATELITE

El valor de las estaciones terrenas requeridas en este proyecto oscilan entre \$ 40,000.00 a \$ 100,000.00, estas serían las que se colocarían en las poblaciones. La estación

terrena maestra tiene un costo aproximado de \$ 330,000.00

El alquiler de la capacidad satelital oscila entre \$ 530.00 por mes por circuito telefónico (equivalente a \$ 6,360.00 por año) y \$ 1,386,000.00 por 5 años un transpondedor de 36 MHz (no alquilan menor capacidad, debe de subarrendarse la capacidad sobrante).

Si tratáramos de obtener un precio aproximado del proyecto (sólo de la infraestructura) tomando un costo de \$ 75,000.00 por estación, como son 12 poblaciones serían \$ 900,000 y la estación maestra \$ 330,000.00. Sumando esto da \$ 1,230,000.00. El costo repartido por población sería \$ 102,500.00 (Dividiendo entre 12 el costo total). Además tenemos que tomar en cuenta el alquiler del segmento espacial que es de \$ 6,360.00 de un canal por un año.

COMPARACION

Si la vida útil de una estación terrena es de 10 años, alquilar capacidad satelital (1 canal) por 10 años, más el equipo, saldría en \$ 166,100. Este podría ser un criterio económico para elegir qué poblaciones justifican realmente la inversión de satélite, digamos que todas las poblaciones cuyo costo (de darle servicio por cable PCM) esté por debajo de \$ 166,100 no justifican la inversión. Entonces estaríamos hablando de Bulej, Chamil, Sacpuy, San Francisco, San Ramón

y Carrizal Grande. Ahora analicemos caso por caso: Para Bulej el camino de acceso está en construcción desde Nentón no desde San Mateo Ixtatán. La distancia desde Nentón a Bulej es considerablemente mayor que desde San Mateo Ixtatán lo que hace que el costo del FCM se vuelva muy alto. Realizar el posteo de San Mateo Ixtatán a Bulej queda desechado, ya que el terreno es selvático y escarpado, lo que elevaría el costo y haría imposible el mantenimiento. A partir de todo esto concluimos que Bulej debe quedar vía satélite.

El caso de Chamil, Sacpuy, San Ramón, San Francisco y Carrizal Grande es diferente ya que los accesos desde los lugares mencionados en la tabla si son posibles, cuando no exista ninguna circunstancia especial que nos impida utilizar cable FCM recomendaremos su uso en lugar de satélite.

2. Tasación

Debido a que las poblaciones de la red de telefonía rural, vía satélite, serán abonados de la central Guarda Viejo de la ciudad capital, como se mencionó en la sección 3.C.1, tendremos problemas en la tasación. Las llamadas que impliquen una mayor distancia serán tasadas como las más económicas y las que impliquen menor distancia serán tasadas como las más caras. Esto será consecuencia de

El Florido	\$ 19,080 /año
San Luis Ixcán	\$ 19,080 /año
Raxruja	\$ 19,080 /año

	\$ 76,320 /año

Tres poblaciones tienen 1 canal:	
Quixal Grande	\$ 6,360 /año
Bulej	\$ 6,360 /año
Xoxlac	\$ 6,360 /año

	\$ 19,080 /año

COSTO DE CAPACIDAD SATELITAL TOTAL: \$ 95,400 /año

La inversión de equipo satelital es tomado en cuenta en el numeral 1. Este será pagado de la siguiente forma: 15 % en 1992 y el resto del costo es repartido en 1993, 1994 y 1995 de forma equitativa. El costo de alquiler de capacidad satelital es tomado en cuenta en el numeral 3, éste se paga a partir de que el equipo ya está en funcionamiento es decir desde el año 1993.

Ahora analicemos los ingresos, estos son generados por los abonados comunitarios y los abonados domiciliarios. Como se muestra en la parte baja del cuadro hemos regionalizado a nuestros abonados. Esto se hace porque su comportamiento de tráfico telefónico es distinto. Se han hecho estudios estadísticos de los abonados comunitarios y domiciliarios de las cuatro zonas en que se divide el país (Occidente, Oriente, Norte y Centro-Sur), y se ha observado que se comportan en forma diferente. Es decir los de algunas zonas llaman más que otras, o hacen más uso de los servicios internacionales, etc.

FLUJO DE FONDOS, TELEFONIA RURAL POR SATELITE
(MILLONES DE QUETZALES)

CONCEPTOS	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
1. INVERSION										
1.1 INFRAESTRUCTURA †	0.47	0.89	0.89	0.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL DE LA INVERSION	0.47	0.89	0.89	0.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2. INGRESOS										
2.1 ABONADOS COMUNITARIOS	0.00	0.05098	0.06219	0.07587	0.09257	0.11293	0.13778	0.16889	0.20507	0.25018
REGION OCCIDENTE	0.00	0.02177	0.02656	0.03241	0.03953	0.04823	0.05884	0.07179	0.08758	0.10685
REGION ORIENTE	0.00	0.01423	0.01736	0.02118	0.02583	0.03152	0.03845	0.04691	0.05723	0.06982
REGION NORTE	0.00	0.01498	0.01827	0.02229	0.02720	0.03318	0.04048	0.04939	0.06025	0.07351
2.2 ABONADOS DOMICILIARES	0.00	0.00199	0.00420	0.00238	0.00264	0.00294	0.00326	0.00362	0.00401	0.00446
REGION OCCIDENTE	0.00	0.00087	0.00096	0.00107	0.00118	0.00131	0.00146	0.00162	0.00180	0.00199
REGION ORIENTE	0.00	0.00055	0.00061	0.00068	0.00075	0.00084	0.00093	0.00103	0.00114	0.00127
REGION NORTE	0.00	0.00057	0.00064	0.00064	0.00071	0.00079	0.00087	0.00097	0.00107	0.00119
TOTAL DE LOS INGRESOS	0.00	0.05297	0.06639	0.07826	0.09521	0.06639	0.07826	0.09521	0.11507	0.14103
3. COSTOS	0.00	0.37206	0.37206	0.37206	0.37206	0.37206	0.37206	0.37206	0.37206	0.37206
TOTAL DE LOS COSTOS	0.00	0.37206	0.37206	0.37206	0.37206	0.37206	0.37206	0.37206	0.37206	0.37206
UTILIDAD EN OPERACION	0.00	-0.32	-0.31	-0.29	-0.32	-0.31	-0.29	-0.28	-0.26	-0.23
(-) IMPUESTOS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
UTILIDAD NETA	0.00	-0.32	-0.31	-0.29	-0.32	-0.31	-0.29	-0.28	-0.26	-0.23
FLUJO NETO	-0.47	-1.20	-1.19	-1.18	-1.20	-0.31	-0.29	-0.28	-0.26	-0.23
VALDRES ACTUALIZADOS	-0.47	-0.97	-0.77	-0.62	-0.51	-0.10	-0.08	-0.06	-0.05	-0.03
VALDR PRESENTE NETO	-3.67									
TASA DE DESCUENTO	0.24									

PLAN DE INSTALACIONES AÑO 1996

NUMERO DE ABONADOS	OCCIDENTE	ORIENTE	NORTE
COMUNITARIOS	4	3	7
DOMICILIARES	3	2	4
TOTAL DE ABONADOS	7	5	11

† Infraestructura: Incluye todo el equipo necesario para que las estaciones funcionen. (Ver sección 3.4)

Tabla 3.2

También se ha observado que después de uno, dos años, etc. de poseer el servicio telefónico, el incremento del tráfico es diferente, según la zona. Por esto observamos en el numeral 2 de la tabla distintos datos.

La utilidad en operación es el total de los ingresos, menos el total de los costos y, como podemos observar, es negativa denotando que los ingresos no alcanzan para pagar los costos del proyecto. Conforme pasan los años, la cantidad negativa se vuelve mas pequeña ya que los ingresos son más significativos cuando el abonado ha tenido disponible el uso del servicio por unos años.

Los impuestos en este caso, son nulos porque no se tributa cuando sólo hay pérdida.

La utilidad neta es la utilidad en operación, menos los impuestos, en este caso la utilidad neta es igual a la utilidad en operación.

El flujo neto es la utilidad neta menos el total de la inversión. Como podemos ver es siempre negativa denotando pérdidas.

Los valores actualizados representan el valor que el flujo neto tendrá en ese año, tomando en cuenta los diferentes factores económicos que afectan el valor de la moneda, y está

dado por la siguiente expresión:

$$\text{Valor actual} = \frac{\text{Flujo neto}}{(1 + i)^n}$$

En donde:

i : tasa de descuento = 24 %

n : número de año, n = 0, 1, ...

El valor presente neto es la sumatoria de los valores actualizados y para que el proyecto sea económicamente rentable debería ser mayor a la unidad. Como vemos, ésto no sucedió. El proyecto de telefonía rural vía satélite no es rentable económicamente ya que reporta pérdidas desde el inicio de su gestión.

No se incluye el cálculo de la tasa interna de retorno ni del periodo de recuperación de la inversión, debido a que un valor presente neto negativo no permite, teóricamente, recuperar o retornar la inversión en el tiempo de evaluación del proyecto.

H. Conclusiones del estudio de factibilidad

Hemos analizado los diferentes aspectos del estudio y con base en ellos podemos concluir:

i. Existe equipo disponible en el mercado del tipo y especificaciones que el proyecto necesita. Además existen gran variedad de fabricantes.

ii. Existen dos compañías que pueden arrendar la capacidad satelital: Intelsat y Panamsat.

iii. Existe una red adecuada para las circunstancias guatemaltecas y un plan de numeración técnicamente factible.

iv. El subproyecto de telefonía rural vía satélite es compatible con los demás proyectos existentes y futuros de GUATEL.

v. Desde el punto de vista financiero, hablando el proyecto no es rentable, pero debe recordarse el fin social de la telefonía rural y de la empresa, éste puede ser subsidiado por otros servicios que si presentan a GUATEL ingresos proporcionando así un medio de comunicación esencial a poblaciones aisladas.

Además, debe de mencionarse la ventaja de tener una red de configuración flexible que en caso de una emergencia en la que el sistema de comunciación terrestre quedara cortado, pueda desmontarse la red rural y localizarse las estaciones en puntos estratégicos de comunicación en un corto plazo de tiempo, estableciendo así la comunicación básica.

IV. DISEÑO DE UN SISTEMA DE TELEFONIA RURAL VIA SATELITE PARA GUATEMALA

El fin social no debe menospreciarse ya que son poblaciones tan lejanas que el teléfono vendría a ser el único medio de contacto. Este es básico para solicitar ayuda médica, militar, etc., además, como medio de desarrollo económico.

A. Suposiciones utilizadas

- Hemos dicho que la estación maestra de la red rural debe tener capacidad de salida internacional, esto lo podremos lograr situando la estación maestra cercana a las estaciones Estándard A de Guatemala (Quetzal y Monja Blanca). Entonces, una de estas dos estaciones deben tener capacidad de un canal de servicio que comunique la estación maestra de la red rural con la compañía arrendataria de satélite.

- Ya, que las estaciones de pequeña capacidad se encontraran en poblaciones rurales donde no existe personal capacitado, es indispensable que éstas estén conectadas por control remoto a la estación maestra de la red rural. Esto se hace para poder controlar las estaciones de baja capacidad en caso de un desperfecto o ajuste.

- En la figura 4.1 se muestra cómo se encontrará la interconexión entre Guarda Viejo, Torre Guatel, estaciones

Estándar A (Monja Blanca y Quetzal) y estación maestra de la red rural. Ya que las poblaciones rurales interconectadas vía satélite serán abonadas de la central Guarda Viejo el enlace entre las centrales Guarda Viejo, Torre Guatel y estaciones terrenas debe tener la capacidad de manejar el tráfico del subproyecto de satélite y el internacional.

-El crecimiento futuro de tráfico en las poblaciones ha sido tomado en cuenta ya que algunas de las estaciones rurales serán equipadas con tres canales para manejar cinco abonados con una PABX. Sin embargo, su capacidad puede ser ampliada a 12 canales que podrían manejar 50 abonados, aproximadamente. Igualmente, la estación maestra de la red rural que ahora manejará 15 canales, puede ser ampliada a aproximadamente 60 canales. Esto prevería un crecimiento en el tráfico de las estaciones que se adquirieran o la conexión de nuevas poblaciones a la red.

-La red que se estará montando, tendrá como finalidad proporcionar servicio de telefonía a las poblaciones conectadas a ella. Sin embargo podrá prestar servicio de télex, teletipo y transmisión de datos a baja velocidad cuando se requiera a nivel nacional. Internacional es más conflictivo debido al retraso introducido en el doble salto.

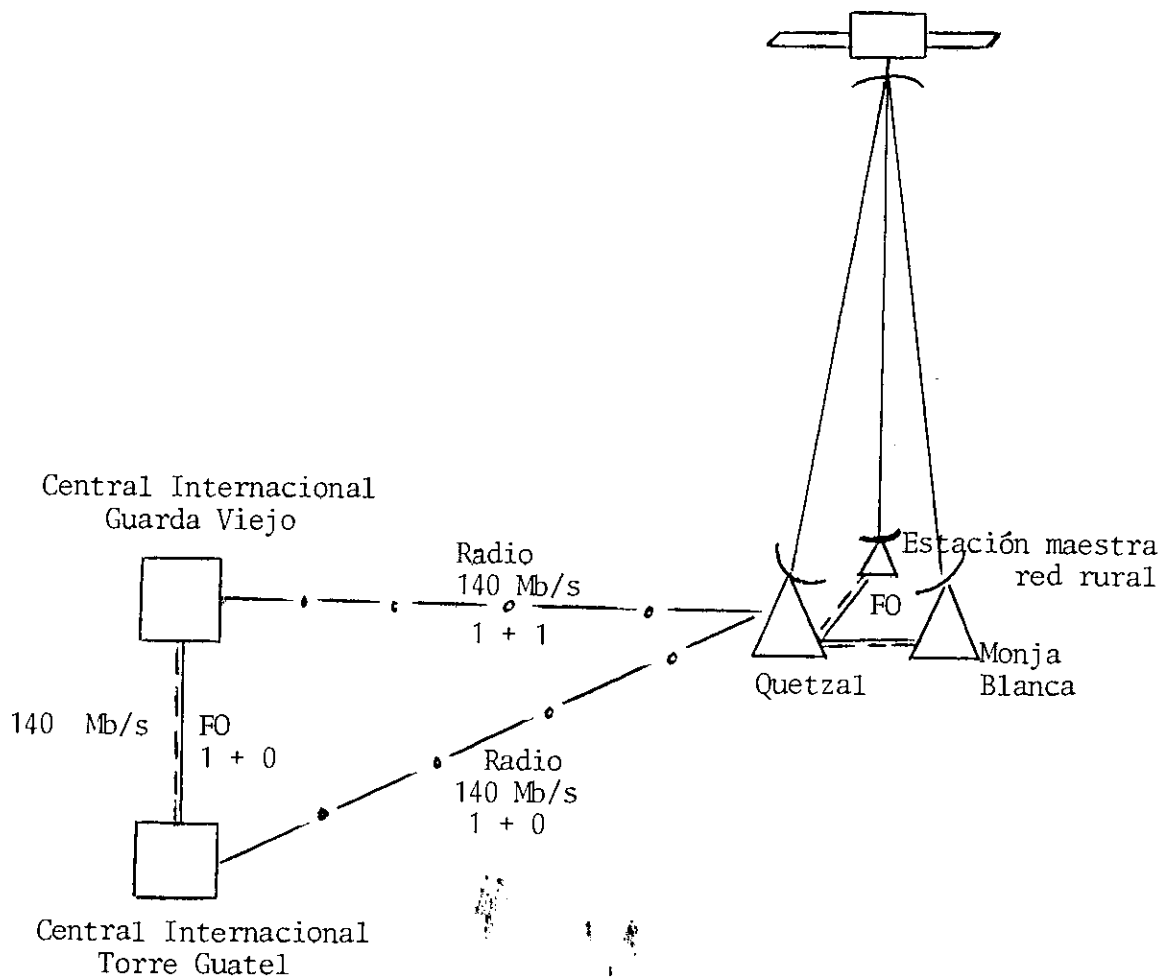


FIGURA 4.1 FORMA DE INTERCONEXION ENTRE GUARDA VIEJO, TORRE GUATEL, ESTACIONES ESTANDAR A Y ESTACION MAESTRA DE LA RED RURAL

B. Dimensionamiento

Ya se ha mencionado que el proyecto de telefonía rural, vía satélite, pertenece a la IV fase de telefonía rural. En esta última se tiene contemplado prestarle servicio telefónico a todos los municipios de la república y a todas las poblaciones de más de 1000 habitantes. El servicio a las poblaciones se dará de la siguiente manera: se proporcionarán dos teléfonos para el uso de abonados comunitarios. Los abonados comunitarios son aquellos en los que el teléfono es accesible a toda la comunidad, se establece en un lugar estratégico en el que todos pueden alquilar el servicio telefónico (esto implica que el tipo de abonados genera alto tráfico). Los otros tres teléfonos serán para uso de las autoridades y de las personas que lo requieran.

Entonces tenemos cinco teléfonos, dos de los cuales generarán alto tráfico y tres que generan el tráfico de un abonado normal. Debemos determinar, entonces, cuántos canales son necesarios para manejar el tráfico que generarán los cinco teléfonos.

Como se trata de poblaciones nuevas, no podemos determinar con mediciones directas los parámetros importantes para el dimensionamiento. Debemos entonces recurrir a una

estimación. Para ello se analizan parámetros relacionados con el comportamiento social, geográfico y económico de otras áreas similares a la estudiada que ya posean servicio telefónico y se hallan realizando mediciones. Los parámetros se asumen iguales o similares.

Dentro de estos debemos de mencionar:

- Tráfico por abonado comunitario = A_{ac}
- Tráfico por abonado residencial = A_{an}
- Tiempo medio de llamada interurbana = t

Otros parámetros propios de diseño son:

- Probabilidad de pérdida = B
- Eficiencia del circuito = e
- Numero de troncales = N

La estimación es, entonces, la siguiente:

$$A_{ac} = 0.2 \text{ Erlang}$$

$$A_{an} = 0.1 \text{ Erlangs /1/}$$

El tráfico a cursar por cada estación terrena sería:

$$A_t = 2 (0.2 \text{ Erlang}) + 3(0.1 \text{ erlang}) = 0.7 \text{ Erlang}$$

Consultamos, entonces, las tablas de dimensionamiento para sistemas de pérdidas cuando hay accesibilidad completa .

/1/ Estos datos son amplios para prevenir un congestionamiento de la red. A_{ac} tiene asignado el máximo que puede manejar una central. Se trata de un tráfico entrante y saliente.

El tráfico más cercano al 0.7 Erlang es de 0.715 Erlang, ésta se encuentra con $B = 3\%$ y $N = 3$. La eficiencia del circuito sería:

$$\frac{3 \text{ ERLANGS}}{100\%} = \frac{0.715 \text{ ERLANGS}}{e}$$

$$\Rightarrow e = 23.83\%$$

Qué implica todo esto? Que podemos manejar un tráfico de 0.715 Erlang con tres troncales perdiendo tres llamadas de cada cien. La eficiencia del circuito significa que nosotros, en lugar de cursar los tres Erlangs que podría cursar el circuito, cursamos sólo el 23.83% de éste. Esto es debido a que la eficiencia del haz disminuye considerablemente cuando el número de troncales disminuye para una probabilidad de pérdida dada.

Utilizar tres canales de transmisión para darle servicio a cinco abonados implica que tenemos que usar una PABX en cada población que realice las funciones de conmutación. Esta PABX debe tener capacidad para un máximo de 12 troncales, para preveer el crecimiento futuro o en caso que se desmonte la red haya capacidad en caso de una catástrofe.

Entonces, de las 7 poblaciones que les daremos servicio por satélite a 4 les pondremos una PABX y a las otras tres

sólo 1 canal de transmisión. La situación se resume en la siguiente tabla.

Tabla 4.1

Situación de abonados y canales de satélite en las poblaciones a servir.

POBLACION	No. CANALES DE SATELITE	No. DE ABONADO	FABX
CHILASCO	3	5	SI
EL FLORIDO	3	5	SI
SAN LUIS IXCAN	3	5	SI
RAXRUJA	3	5	SI
BULEJ	1	1	NO
QUIXAL GRANDE	1	1	NO
XOXLAC	1	1	NO

Las poblaciones a las cuales se les colocará una FABX gozarán del servicio Direct In Dialing que Guarda Viejo III puede proporcionar.

Si se decidiera a utilizar el servicio Supervista de Intelsat se podría hacer uso de DAMA lo que nos haría ahorrar capacidad satelital.

C. Consideraciones técnicas

1. Satélite a utilizar

Antes de hacer alguna recomendación determinemos cuáles son los parámetros para decidir que satélites es conveniente utilizar.

i. Consideraciones de potencia y análisis de enlace

La antena irradia una onda esférica, sin embargo su intensidad no será la misma en todas las direcciones. Cuando hablamos de EIRP (Potencia isotrópica efectiva radiada) la potencia irradiada es constante, independiente del radio y la dirección. En la figura 4.2 se muestra la forma en que una antena irradia la potencia, ahora tenemos que la potencia es función de la dirección (es decir del azimuth y de la elevación).

Una porción de la potencia es interceptada por la antena receptora, la expresión 4.C.1 representa este concepto:

$$P_r = \frac{\text{EIRP (en dirección del receptor)} \times A_r}{\text{Área de la esfera de radio } Z}$$

$$P_r = \frac{\text{EIRP} \cdot A_r}{4 Z^2}$$

En donde:

Z : distancia entre antena emisora y receptora

A_r : Área de recepción en metros cuadrados

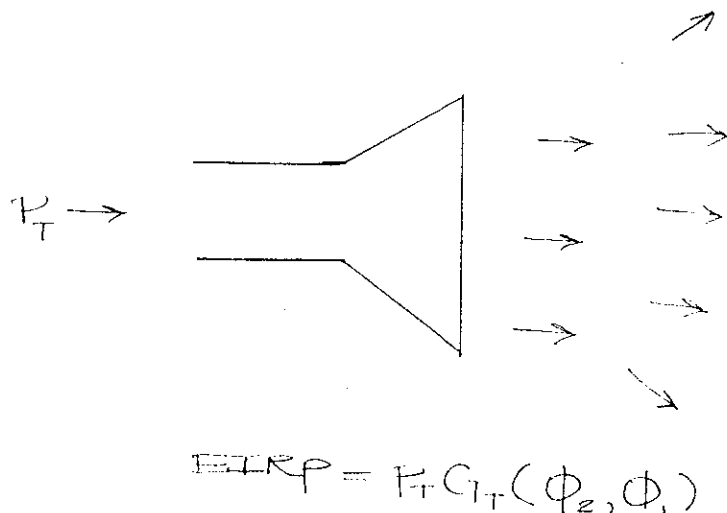


FIGURA 4.2 RADIADOR DE POTENCIA

Otras pérdidas adicionales se dan por la absorción atmosférica, la absorción por la lluvia, efectos de sintilación, etc. Estas son consideradas en la ecuación 4.C.2

$$\frac{EIRP_{gr}}{L_a L_p} \quad (Ec \ 4.C.2)$$

Donde:

L_a : pérdidas adicionales

L_p : pérdidas de espacio libre

Otros conceptos importantes son: la figura de ruido (F) que está dada por la potencia de ruido total del sistema dividido el ruido de salida debido solamente a la entrada de ruido al sistema a 290°K; la temperatura de ruido y la constante de Boltzmann. La relación de señal a ruido (SNR) está, generalmente, definida por la razón de la potencia de señal deseada y la potencia de señal no deseada. La expresión matemática está descrita por la ecuación 4.C.3:

$$SNR = \frac{EIRP \cdot L_a \cdot L_p \cdot g_r}{K \cdot T_{eq} \cdot BW} \quad (Ec \ 4.C.3)$$

Donde:

EIRP: potencia isotrópica efectiva radiada

L_a : pérdidas adicionales

L_p : pérdidas de espacio libre

g_r : ganancia de la antena receptora

K : Constante de Boltzmann

T_{eq} : Temperatura equivalente

BW : Ancho de banda

Démosnos cuenta que la ecuación 4.C.3 puede ser escrita como la ecuación 4.C.4:

$$BW \cdot SNR = \frac{\text{Potencia Señal Deseada}}{N_0} \quad (Ec \ 4.C.4)$$

$$BW \cdot SNR = \frac{EIRP}{K} \frac{L_a \cdot L_p}{\left(\frac{g_r}{T_{eq}} \right)} = \frac{C}{N_0}$$

La relación de señal a ruido total puede ser determinada en función de las relaciones de señal a ruido de subida y de bajada, así:

$$SNR = \left[SNR_{subida}^{-1} + SNR_{bajada}^{-1} \right] \quad (EC 4.C.5)$$

Es sabido que, en general, un sistema de comunicaciones por satélite comprime el segmento espacial. El segmento espacial puede estar constituido por transpondedores de satélites nacionales que pertenecen directamente a la administración del país interesado; este es el caso de Brasil, Canada e Indonesia, etc. Cuando no existe segmento espacial autónomo los países que desean establecer una red de comunicaciones vía satélite para cualquier aplicación se ven en la necesidad de alquilar transpondedores o comprarlos siempre y cuando éstos tengan cobertura sobre su territorio. La mayoría de los transpondedores en uso, actualmente, de redes nacionales irradian en banda C (6/4 GHz) y a, relativamente, bajas potencias. Este caso es notable con los transpondedores de INTELSAT que operan en haz global irradiando solamente 22 dBW a 23.5 dBW de EIRP. Para

asegurar la eficiencia del segmento espacial, estos transpondedores son, usualmente, operados con ancho de banda limitado. Esto significa que la capacidad de transmisión de los transpondedores de satélite medida en número de canales telefónicos transmitidos está limitada por el ancho de banda (en general 36 MHz) y por el ancho de banda de canal SCPC. Entonces la capacidad de transpondedor es de 800, 1200, 1600 SCPC (mitad de circuitos) de acuerdo al ancho de banda tomado por canal 45 KHz, 30 KHz ó 22.5 KHz, respectivamente.

El resultado de estos factores es que la mayoría de redes nacionales requieren estaciones provistas de grandes antenas. Si quisieramos instalar redes rurales con pequeñas antenas, lo cual nos ahorraría dinero, estaríamos necesitados de que los transpondedores irradiarán con mayor cantidad de potencia cada uno de los canales telefónicos. Esto puede ser posible usando transpondedores con mayor EIRP, los cuales están, usualmente, disponibles para usos domésticos o en satélites dedicados para una región; o incrementando la densidad de EIRP por canal telefónico, esto reduce, proporcionalmente, el número de canales SCPC que pueden ser, efectivamente, transmitidos por el transpondedor. Se sacrifica eficiencia del segmento espacial para reducir el costo del segmento terrestre. Esto se ejemplifica en la tabla 4.2

Ejemplo típico de una aplicación doméstica o regional de

satélite

* Características típicas del transpondedor:

- EIRP = 32 dBW
- G/T = - 7.5 dB/K
- Densidad de flujo = -85 dBW/m²

* Tipo de red entre estaciones: malla

* Características de la estación terrena:

- antena: 5 m (G/T = 24.1 dB/K)

* Capacidad de carga de tráfico

- <= 1200 scpc/transpondedor (actividad: 40%)

* Datos típicos de enlace:

- (C/N) bajada = 15.9 dB
- (C/N)_i = 20 dB (intermodulación de transpondedor)
- (C/N) subida = 23.5 dB
- (C/N) = 14 dB
- Margen = 1 dB arriba del nivel de operación
= 7 dB arriba del umbral

El satélite de PANAMSAT posee una irradiación de potencia (EIRP) de 33 dBW para un transpondedor de 36 MHz que cubre Centro América.

NUMERO DE CANALES SCPC-O MEIDA CIRCUITOS- QUE PUEDEN SER TRANSMITIDOS*				
TIPO DE ESTACION TERRENA UTILIZADA	TIPO DE TRANSPONEDOR Y SATELITE			
	TIPO DE TRANSPONEDOR DE COBERTURA GLOBAL		TIPO DE TRANSPONEDOR DE COBERTURA HEMISFERICA O DE ZONA	
"STANDARD D2" (ANTENA DE 11m) G/T = 31.7 dB/K	SATELITE V ó V - A DE INTELSAT	SATELITE VI DE INTELSAT	SATELITE V (F1 a F4) DE INTELSAT	SATELITE VI DE INTELSAT
ó				
"STANDARD D1" (ANTENA DE 5m) G/T = 22.7 dB/K	EIRP = 23.5 dBW Ancho de Banda= 36 MHz	EIRP = 26.5 dBW Ancho de Banda= 36 MHz	EIRP = 29 dBW Ancho de Banda= 72 MHz	EIRP = 31 dBW Ancho de Banda= 72 MHz
EJEMPLO A SOLAMENTE ESTACIONES D2 CON CANALES SCPC	1200 (2)	1200 (2)	1368	1368
EJEMPLO B SOLAMENTE ESTACIONES D1 CON CANALES SCPC	355	776	897	1368
EJEMPLO C CONFIGURACION TIPICA MIXTA ESTACIONES D1 Y D2 CON CANALES SCPC	631	1200 (2)	1368	1368

* Por un transpondedor dado

NOTA: (1) La transmisión de portadoras de telefonía está estandarizada con el ancho de banda (especialmente de portadoras) a 30 KHz/canal

(2) Este transpondedor opera en limitación de banda.

TABLA 4.2 CAPACIDADES TIPICAS DE LOS SATELITES INTELSAT UTILIZADO PARA EL SERVICIO VISTA

El nuevo satélite a ser lanzado por INTELSAT es el INTELSAT VI, el cual va a poseer las siguientes novedades técnicas: Haces pínzel orientables en forma independiente en las bandas C y Ku. Utiliza cuatro veces las frecuencias de la banda C y dos veces la de la banda Ku. La calidad de la transmisión es mejor gracias, a que emplea amplificadores de estado sólido en la banda C y amplificadores linealizados en tubo de ondas progresivas.

Entonces qué satélite podemos utilizar?

Como vimos en esta discusión, el satélite de PANAMSAT irradia con mayor potencia, si lo comparamos con el haz global de Intelsat. Pero si lo comparamos con el haz hemisférico, los valores son similares. Además, INTELSAT arrenda capacidad de los canales que se le soliciten y PANAMSAT sólo arrenda el transpondedor completo. Sin embargo, las cuotas de arrendamiento son superiores en INTELSAT que en PANAMSAT. Cómo balanceamos todo esto? El gran problema es que PANAMSAT arrende el transpondedor entero y que Guatemala deba hacerse cargo del subarrendamiento. Sería conveniente, a mi parecer, el uso de INTELSAT con DAMA lo que reduciría el costo del arrendamiento considerablemente, aunque la inversión en equipo sea superior.

2. Capacidad de satélite a utilizar

Hemos mencionado en la sección 4.B, la cantidad de capacidad satelital a arrendar por población. Chilasco, El Florido, San Luis Ixcán y Raxruja tienen 3 circuitos telefónicos, Bulej, Quixal Grande y Xoxlac tienen 1 solamente, totalizando 15 circuitos telefónicos. Entonces, la capacidad de satélite a utilizar, ya que son circuitos bidireccionales, son (sin DAMA).

$$2 (15) (30 \text{ KHz}) = 900 \text{ KHz} = 0.9 \text{ MHz}$$

El equipo de tierra puede ser sintonizado a cualquier ancho de banda que se utilice para SCPC. Estos anchos de banda corresponden al espaciamento de 22.5 KHz (esto es, 1600 frecuencias en un transponder de 36 MHz), 30 KHz (1200 frecuencias) o 45 KHz (800 frecuencias). Es también posible utilizar espaciamentos de 60 KHz y de 360 KHz (para alta calidad). El espaciamento de 30 KHz es el estandarizado por el servicio vista de Intelsat.

D. Equipamiento necesario

A continuación presentaremos un ejemplo representativo de una estación terrena rural con todos sus accesorios y especificaciones.

El sistema está compuesto de transmisión y recepción por

una línea de microonda:

-El sistema de la antena, generalmente con el punto fijo, incluye un amplificador de bajo ruido, empacado en una caja.

-El equipo de telecomunicaciones está empacado, completamente, en una caja que puede operar en ambientes externos. Este incluye:

- *Un amplificador de potencia de tubo o de estado sólido (de acuerdo al número de circuitos telefónicos y a las características del satélite)

- *Un convertidor de subida (U/C) y un convertidor de bajada (D/C) (con un oscilador local común controlado en frecuencia por un piloto de SCPC)

- *Equipo SCPC

- *Unidad de uno a tres canales (que puede ser extendida a 12)

- *Unidades de interfase terrestres (y supresores de eco)

- *Equipo DAMA (opcional)

- *Equipo terminal de recepción de televisión

Este tipo de estación no requiere operadores y puede ser, directamente, conectada al centro de telecomunicaciones local.

1. El sistema de antena

* La antena (reflector principal, reflector secundario del tipo cassegrain, alimentador primario y duplexor).

* El equipo automático de traqueo que es requerido solo cuando la directividad de la antena es más grande que la estabilidad angular del satélite.

2. Equipo de telecomunicaciones

Este equipo se encuentra enteramente contenido en una caja de dimensiones (1.3 m x 0.60 m x 0.65 m) diseñada para operar en el exterior. La caja esta conectada al sistema de la antena por una guía de onda de 6 GHz para transmisión y un cable coaxial para recepción.

Operación General

En la transmisión para cada unidad de canal SCPC, un canal telefónico (300 a 3400 Hz) de la unidad de la interface terrestre modula una onda portadora. La frecuencia es determinada por el sintetizador de transmisión entre 121 a 158 MHz que es el rango de la frecuencia intermedia. Las portadoras moduladas de los diferentes equipos de canal son sumadas en un combinador de FI, y luego convertidas de FI a

RF. El segundo cambio de frecuencia utiliza un oscilador local con un sintetizador de microonda, este es compartido con el canal de recepción. La frecuencia es sintonizable en pasos de 0.5 MHz y permite la transmisión de portadoras SCPC en el rango de 36 MHz del transpondedor.

Las portadoras de RF son amplificadas para la transmisión en un amplificador de potencia común que debe ser un amplificador de estado sólido (con transistores de efecto de campo) de 5 vatios, 10 vatios ó 20 vatios, ó un TWT cuando la potencia es mayor.

En la recepción, las portadoras SCPC recibidas del transpondedor de satélite en la banda C son amplificadas en el amplificador de bajo ruido situado en el sistema de antena.

Las ondas portadoras recibidas en el convertidor de frecuencia son convertidas, primero en el sintetizador-oscilador local que es compartido con el sistema de transmisión y luego por un oscilador local de 1,470 MHz.

La portadora de RF recibida que se encuentra en el rango de 121-158 MHz, es distribuida por un divisor de FI a las diferentes unidades de canal SCPC. De esta manera, cada unidad de canal recibe todas las portadoras SCPC en la banda

del transpondedor pero selecciona sólo la portadora propia. Esta portadora es demodulada y la banda base (300 a 3400 HZ) es conectada a la red terrestre externa vía la unidad de interface terrestre.

Equipo de canal scpc

Cada unidad de canal incluye tres módulos: un modulador, un demodulador y una unidad de interface terrestre o una unidad interface de DAMA.

Equipo DAMA

Utiliza un código interno de señalización especialmente diseñado para comunicaciones vía satélite, éste puede ser conectado a cualquier tipo de señalización utilizado en la red terrestre.

El equipo de DAMA incluye:

- * Manejo de las frecuencias de la "pila"
- * Monitoreo de las frecuencias en operación
- * Manejo de establecimiento o fin de comunicación
- * Monitoreo de las estaciones remotas no atendidas

El equipo periférico de DAMA de las estaciones locales realiza las siguientes funciones:

- * Adapta el código interno de señalización al código de la red local y viceversa.
- * Monitorea y transmite los parámetros de control remoto

para estaciones desatendidas.

Todas las frecuencias asignadas a la red son usadas para comunicaciones y para señalización. La señalización se realiza por "semáforos de canal", los cuales usan el mismo tipo de transmisión que los SCPC.

Cuando el equipo central de DAMA ha transmitido el tono de llamada y el par de frecuencias a las dos estaciones que desean comunicarse, ella se desconecta y se establece la comunicación directa. Esta comunicación comienza por la señalización, la cual transmite el número a que se llama, el estatus de la línea, etc. Un procedimiento similar se da cuando se desconecta la llamada.

3. Fuente de poder

En áreas aisladas donde no es posible encontrar servicio de energía eléctrica, el uso de paneles de energía solar para la generación de la energía es la mejor solución. Por lo menos cuando las dos siguientes condiciones se dan:

- Suficiente luz solar anualmente
- Bajo consumo (estaciones de bajo tráfico compatibles con un amplificador de potencia de estado sólido).

Esta solución implica que la operación puede ser sin

personal presente en la estación. En el nivel práctico los paneles solares (cerca de 10 vatios por metro cuadrado permanentes) y el costo de la instalación limitan la solución de 400 a 600 vatios, que es, en casi cualquier caso, suficiente para la mayoría de aplicaciones de redes como las nuestras. Para mencionar un ejemplo una versión básica de estación terrena rural equipada con uno a tres canales consume, aproximadamente, 250 vatios.

Cuando los requerimientos de potencia son más importantes, esto es cuando la carga de tráfico de la estación es relativamente alta y el enlace requiere un amplificador de potencia TWT o cuando la estación está asociada a otras instalaciones, es necesario el uso periódico de fuentes recargables: entre 600 vatios y 1500 vatios.

Los turbogeneradores constituyen una solución interesante en estos casos. Cuando existe red de energía eléctrica son una fuente de respaldo para proveer una operación continua.

E. Forma de interconexión con la red existente y futura

Como se mencionó en la sección 3.B y 3.C.1, la arquitectura de la red será una estrella, cuya estación maestra se localizará cerca de las estaciones Estándar A de la ciudad capital. La forma de interconexión de las poblaciones integrantes de la red en estrella con las demás

poblaciones servidas por Guatel en toda la república y al exterior será vía la estación maestra de la red rural. Es decir que la vía de transmisión será a través del satélite y luego de éste hacia la estación terrena maestra de la red rural. Para comunicar la estación maestra con la central Guarda Viejo se utilizará el enlace de radio de la licitación 3-87. Este, como se muestra en la figura 4.1, posee 1920 canales (flujo de 140 Mb/s) en configuración 1 + 1 y además 1920 canales (flujo de 140 Mb/s) en configuración 1 + 0 entre las estaciones estándar A y Torre de Guatel. Este triángulo se cierra con un enlace de fibra óptica de 1920 canales (flujo de 140 Mb/s) en configuración 1 + 0 entre Torre de Guatel y Guarda Viejo.

A partir de Guarda Viejo, todas las poblaciones se comportan como abonadas de Guarda Viejo, y el enrutamiento será el mismo que cualquier abonado, vía la red terrestre.

Si la red de poblaciones rurales creciera en el futuro la forma de interconexión sería exactamente la misma, ya que la estación maestra de la red tiene una capacidad para expansión en el número de poblaciones o en el número de canales, o de ambas, siempre que se encuentre en el rango de canales máximo (60 aproximadamente).

F. Limitaciones del sistema

Como hemos mencionado en el transcurso de este trabajo, las limitaciones de la red son las siguientes:

- En el caso de comunicaciones de voz el retraso que sufre la señal al tener que recorrer 75,000 kms. En el caso de un solo salto tendremos un retraso de medio segundo, pero en un doble salto (este se da cuando se comunica un abonado satelital con otro abonado satelital o con una llamada internacional) éste ya será pronunciado.
- Uso exclusivo en bajas densidades de tráfico por población.
- Limitación en la expansión de la red por el alto costo de la capacidad satelital y del equipo.
- Tasación no óptima como consecuencia de no ser viable una programación de todas las centrales del país, ni el uso de cifras de numeración exclusivas.
- Como consecuencia de la tasación no óptima y el plan de numeración, debemos instruir a los abonados en el uso del servicio, ya que constituye una excepción a las reglas (en lo que se refiere a cobros y a tener numeración comprendida dentro de la central Guarda Viejo de la ciudad capital, perteneciendo a diferentes zonas de la república).

V. CONCLUSIONES

A. El proyecto de telefonía rural vía satélite tiene un fin eminentemente social, ya que vendrá a contribuir al desarrollo social y económico de poblaciones que se encuentran totalmente aisladas proporcionándoles un medio básico de comunicación.

B. Desde el punto de vista financiero el proyecto no es rentable y debe para esto ser subsidiado por proyectos que tenga la empresa que si presenten sustanciales ingresos. Debe de tomarse en cuenta que el fin de la empresa es proporcionar servicio telefónico. Aunque este proyecto vaya a ser subsidiado por otros, a mi criterio, debe proporcionarseles el servicio a estas poblaciones rurales siempre y cuando GUATEL tenga la solvencia económica para hacerlo. Actualmente GUATEL es capaz de subsidiar este proyecto. Existe, también, la gran ventaja de poseer una red de estaciones terrenas de configuración flexible que en caso de una emergencia en la que el sistema de comunicaciones terrestres quedara cortado, pueda desmontarse el equipo y localizarse en puntos estratégicos de comunicación en un corto plazo de tiempo, estableciendo así la comunicación básica.

VI. BIBLIOGRAFIA

- Barter, T. Digital communications. USA, Howard W. Sams
1986 & Co. 325 pp.
- Diccionario geográfico de Guatemala. Instituto
1976 Geográfico Nacional. Guatemala. Tipografía
Nacional. 1820 pp.
- Miya, K. Satellite communications technology. Japan,
1981 Engineering and Consulting, Inc. 430 pp.
- Planificación general de la red. Comité Consultivo
1983 Internacional Telegráfico y Telefónico.
Ginebra. 1100 pp.
- Salomon, J. "Small rural communication satellite earth
1986 station". Communication & transmission.
2(4):25-31.
- Schwartz, M. Transmisión de información, modulación y
1983 ruido. Jera, ed. México, D.F., Mc Graw Hill.
685 pp.
- Taub, J.; M. Schilling. Principles of communication
1986 system. 2a. ed. Singapore, Mc Graw Hill.
752 pp.
- Teoría del tráfico telefónico. Siemens. Berlin. 1645
1980 pp.
- USA. USTTI. Comsat course. 526pp.
1989

APENDICE A

¿Qué es un Estudio de Factibilidad?

La palabra factible significa: posible. Al realizar un estudio de factibilidad de telefonía rural vía satélite estamos analizando si es posible o no realizar este proyecto. Esta posibilidad dependerá de varios factores: consideraciones técnicas, económicas, sociales, etc. Cada una de estas debe ser analizada exhaustivamente. Después debe poderse llegar a concluir si el proyecto será beneficioso para el país, y en caso afirmativo se realizará el diseño del proyecto.

Analicemos más detenidamente el estudio de factibilidad de este proyecto en particular. Se deberá realizar la comparación de costos con otros medios de transmisión, y analizar si los otros medios de transmisión son posibles en cada caso. Las características técnicas deben ser analizadas para determinar si la calidad de la señal recibida será aceptable. Debemos de determinar la arquitectura de red óptima a las necesidades planteadas, y si el tipo de equipo existente en el mercado se ajusta a las necesidades de la red. Aspectos sociales en este caso juegan un rol importante ya que las comunidades a ser servidas son en su mayoría indígenas sumamente aisladas. Debe de tomarse en cuenta si

habrá necesidad de comunicación telefónica debido a las barreras lingüísticas, y que aspectos jugaría el teléfono en estos casos.

Analizados todos estos aspectos debemos de estar en la capacidad de determinar si este proyecto es beneficioso para Guatemala, y en su caso entrar a la fase de diseño.