

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA



CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE  
COMUNICACION VIA SATELITE

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES  
PRESENTA:

CARLOS HEBERTO BECERRA GARCIA

MONTERREY, N. L.

JULIO DE 1996



T

TK510

B4

C.1



1080072244

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA



CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE  
COMUNICACION VIA SATELITE

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES  
PRESENTA:

CARLOS HEBERTO BECERRA GARCIA

MONTERREY, N. L.

JULIO DE 1996



T  
TKS104  
B4



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA**

**CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE COMUNICACION VIA SATELITE**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES**

**PRESENTA:**

**CARLOS HEBERTO BECERRA GARCIA**

**MONTERREY, N. L.**

**JULIO DE 1996**



Con cariño y respeto:

A mi Madre:

Por su apoyo incondicional, por su orientación, sacrificios y desvelos que edificaron mi vida.

A mi Padre:

Por enseñarme a ser fuerte frente a la vida, por haberme regalado esta herencia invaluable y por ser un ejemplo para mi.

A mi Hermana:

Por todo su apoyo a lo largo de mi carrera.

A Paty:

Por recibir siempre apoyo, amor y comprensión de su parte

# ÍNDICE

## INTRODUCCIÓN

<b>CAPITULO 1</b>	COMUNICACIÓN VÍA SATÉLITE	1
<b>CAPITULO 2</b>	EL ENLACE DE COMUNICACIONES	4
<b>CAPITULO 3</b>	ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE UN SATÉLITE	6
<b>CAPITULO 4</b>	DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES VÍA SATÉLITE	13

## BIBLIOGRAFÍA



## INTRODUCCIÓN

En 1945 , el escritor científico Arthur C. Clarke sugirió en una de sus publicaciones en la revista WIRELESS WORLD la posibilidad de colocar satélites artificiales geoestacionarios. Los pronósticos de visionarios como él se hacen realidad con frecuencia y una vez más la tecnología evoluciona lo suficiente y fructifica las ideas originales.

En su origen , la palabra satélite se refería a un cuerpo que giraba en torno a un planeta, por ejemplo la Luna, satélite de la Tierra que gira alrededor desde tiempo inmemorial, la cual recibe la luz del Sol, que refleja en nuestro planeta. A su vez, la Tierra es un satélite del Sol. En la actualidad existen satélites " artificiales ", complicados equipos que giran continuamente alrededor de la Tierra y que, incluso, lo hacen en torno a otros planetas. Por lo general, ya se omite el calificativo " artificial ".

El primer satélite operacional utilizado fue la Luna. A principios de los años 50, se empezó a desarrollar la técnica de reflejar las ondas de radio como un espejo refleja la luz, aunque probablemente la Luna absorbía más de lo que reflejaba. Con la Luna no había problemas de lanzamiento y eso es lo suficientemente grande para no perderse, si se toma en cuenta su movimiento relativo respecto a la Tierra. La armada de USA y una sociedad de radioaficionados trabajaron arduamente, pero el rebote en la Luna, como se denominó, cedió inevitablemente el paso a la creciente pléyade de satélites artificiales.

En Octubre de 1957 la Unión Soviética puso en órbita el SPUTNIK 1, el primero de una serie. Le siguieron el SPUTNIK I, el EXPLORER I de USA, el SCORE de la NASA, segundo del pasivo ECHO I.

Pasivo significa, que no tiene impulsos activos como amplificadores para señales, pues solo se limita a reflejarlas. Los dispositivos activos necesitan energía eléctrica para cumplir su cometido; los pasivos, no. El ECHO no era más que un globo revestido de aluminio, que reflejaba ondas de radio hacia la Tierra con mucha más eficacia que la Luna.

Pronto aparecieron los primeros satélites de comunicaciones activos, empezando por el TELSTAR (1962), seguido del TELSTAR II, y a continuación los RELAY I y II.

Las señales enviadas se hacían de mayor potencia, (se amplificaban) y eran devueltas a la Tierra. Estos artefactos ofrecían grandes perspectivas, pero estaban limitados a bajas altitudes porque los cohetes de aquel tiempo no podían elevarlos más. Tan pronto como fue viable, se puso en órbita geoestacionaria el SYNCOM III de USA (1964), y a partir de entonces, los sistemas de comunicaciones por satélite se desarrollaron con mayor celeridad. Del INTELSAT I (Pájaro Madrugador) se pasó al INTELSAT VI, SATCOM (USA), WEBSTAR (USA), ANIK (Canadá), EUTELSAT (Europa), ARABSAT (Consortio Árabe), por mencionar algunos, y con el mismo objetivo siguen apareciendo más, congestionando cada vez más la órbita geoestacionaria o también llamada Cinturón de Clarke, en honor a su promotor. En la actualidad, ésta órbita es la más congestionada alrededor de la Tierra; muchos propietarios de satélites quieren estar ahí por razones de sencillez y bajo costo de operación. En ella se encuentran satélites de apariencia física y aplicaciones muy diversas: meteorológicos, militares, experimentales y de comunicaciones.



## CAPITULO 1

### COMUNICACIÓN VÍA SATÉLITE

#### SATÉLITE DE COMUNICACIONES

El satélite de comunicaciones es una repetidora de Microondas (Recibe, amplifica, cambia de frecuencia y transmite) puesta en el espacio. Los satélites de comunicaciones actuales son satélites activos, geoestacionarios con cobertura tanto global como doméstica.

#### CLASIFICACIÓN DE LOS SATÉLITES

**1. De acuerdo a su órbita.** Por su órbita los podemos clasificar en geoestacionarios y no geoestacionarios. Un satélite geoestacionario (ver anexo 1) es aquel que permanece fijo con respecto a la Tierra, es decir, visto desde la Tierra parecería como un punto fijo en el cielo. Un satélite no geoestacionario aparecería siempre en movimiento con respecto a la Tierra, un ejemplo de esto es la Luna.

En general podemos decir que los sistemas de comunicación vía satélite requieren de una órbita geoestacionaria por las ventajas que esto implica:

a) Al permanecer fijo el satélite con respecto a la Tierra no es necesario rastrear el movimiento para orientar la antena, es decir, una vez que se localiza el satélite y se orienta la antena ésta permanece fija, factor que gravita preponderantemente en el costo de la estación terrena.

b) Una vez orientada la antena se dispondrá del satélite todo el tiempo las 24 horas del día, condición necesaria en un buen sistema de comunicaciones.

**2. De acuerdo a su cobertura.** Clasificaremos a los satélites de acuerdo a su cobertura en globales y domésticos. Un sistema será global cuando su transmisión cubra todo el espacio sobre la superficie de la Tierra, de acuerdo a la línea de vista desde el satélite. En la práctica un 40 % de la superficie de la Tierra desde un satélite geoestacionario. Un satélite será de cobertura doméstica cuando su transmisión cubra solo un área específica que puede ser grande o pequeña según sean los requerimientos (por ejemplo un país).

Técnicamente la diferencia entre un satélite y otro es solamente la antena que es la que define el tipo de cobertura. En el caso de un satélite de cobertura global, por ejemplo: los INTELSAT de uso internacional, la antena comúnmente utilizada es del tipo corneta, mientras que en los de cobertura doméstica, por ejemplo: el MORELOS y los SOLIDARIDAD, la antena de tipo parábola. Los sistemas globales son para comunicaciones internacionales e intercontinentales, mientras que los domésticos son para comunicaciones locales, (dentro del mismo país).

3. **De acuerdo a su principio de operación.** Podemos clasificar a los satélites en pasivos y activos, de acuerdo a su principio de operación. Consideramos a un satélite como pasivo si actúa solamente como superficie reflectora y activo si se involucra un proceso electrónico en el satélite (amplificación, cambio de frecuencia, etc.).
4. **De acuerdo a su aplicación.** Podemos clasificar a los satélites en dos grupos: Civiles y Militares. Dentro de los civiles podemos incluir los de comunicaciones, los meteorológicos, los de investigación, etc.

## **VENTAJAS DE LA COMUNICACIÓN VÍA SATÉLITE**

1. **Simplificación del Sistema.** Debido a su gran altura (aproximadamente 36, 000 Km.) se tiene línea de vista entre el satélite y cualquier estación terrena que esté dentro de su área de cobertura la cual puede llegar a ser, tal que cubriría prácticamente el 40 % de la superficie de la Tierra con un solo satélite. Esto simplifica enormemente el sistema ya que el satélite sustituye a las redes de Microondas con las siguientes ventajas, tanto técnicas como económicas.
2. **Mayor Calidad.** Debido a que cualquier proceso electrónico degrada la señal al agregar algo de ruido (aunque sea en grado mínimo), debemos considerar la gran ventaja de manejar un enlace a través de una sola repetidora (el satélite), y por lo tanto una sola fuente de ruido, comparando contra un enlace utilizando una red de Microondas de 20 o más repetidoras, y por lo tanto 20 o más fuentes de ruido. Definitivamente la calidad de la señal en un enlace vía satélite es mucho más alta que en un enlace a través de una red de Microondas.
3. **Mayor Confiabilidad.** Otra consecuencia del hecho de utilizar una sola repetidora, en vez de una red de ellas, en los enlaces vía satélite es la reducción de la posibilidad de fallas a una sola (el satélite) , lo cual da una gran confiabilidad al sistema. Además hay que considerar las normas más estrictas que controlan la fabricación del satélite, lo que permite la seguridad de su funcionamiento durante su tiempo de vida útil.



- 4. Alta Capacidad ( ventaja propia de las Microondas ).** Aquí podríamos hacer énfasis en la ventaja de utilizar las microondas como frecuencias portadoras, lo que permite disponer de un ancho de banda amplio y por lo tanto el tener una gran capacidad de manejo de información. De hecho, los satélites actuales tienen capacidad para manejar hasta 24 canales de TV. simultáneamente, o su equivalente en telefonía (aproximadamente 960 canales telefónicos por cada canal de TV.)
  
- 5. Ventajas de Tipo Social.** Por medio de los satélites se tiene acceso a lugares que por medio de otros sistemas de comunicación no se podría, éste es el caso de regiones pantanosas, bosques, islas, etc.

## CAPITULO 2

### EL ENLACE DE COMUNICACIONES

Los satélites, en general, tienen como finalidad retransmitir las señales enviadas desde la Tierra (señal up - link), para retornarlas en otra banda de frecuencias (señal down - link). Las bandas más utilizadas son las siguientes:

	Banda C ( MHz )	Banda Ku ( MHz )	Banda Ka ( MHz )
ascendente ( up - link )	5,925 a 6,425	14,000 a 14,500	27,500 a 31,000
descendente ( down - link )	3,700 a 4,200	11,700 a 12,200	17,700 a 21,200

Para establecer un sistema de vía satélite, se requiere contar con una estación terrena transmisor, un satélite de radiocomunicaciones y una estación receptora, integrados según la recomendación CCIR (Rec - 352 - 1), del *circuito hipotético de referencia*, como a continuación se describe:

#### ESTACIÓN TERRENA TRANSMISORA.

*Acometida de la señal a transmitir ( Entrada de Banda Base ).*

*Modulador.*

*Convertidor de Subida ( U / C , Up Converter ).*

*Amplificador de Alta Potencia ( HPA, High Power Converter ).*

*Antena, lado de Transmisión.*

La señal de información (telefonía, televisión, información digital, Datos, Videoconferencia), es recibida por el equipo transmisor de satélite en Tierra, una vez que se ha agrupado adecuadamente mediante la multiplexación, en la forma de señal de Banda Base (BB) para ser alimentada al modulador. Este modulador opera a una frecuencia estándar de 70 MHz, llamada Frecuencia Intermedia (FI), la cual es modulada en frecuencia por la banda base. La señal de FI (modulada), es posteriormente elevada al rango de las microondas (Up - Link), en el convertidor de subida para luego ser amplificada en el HPA con la finalidad de conseguir el suficiente nivel de potencia para que la señal llegue al satélite.

La señal de microondas es alimentada a la antena, la que concentra la energía dirigiéndola hacia el satélite.

## **SATÉLITE DE RADIOCOMUNICACIÓN.**

*Antena, lado de Recepción.*

*Amplificadores de Bajo Nivel de Ruido ( LNA ).*

*Convertidor de Frecuencia ( Traslador de Banda ).*

*Amplificador de Potencia ( HPA ).*

*Antena, lado de Transmisión.*

Al llegar la señal al satélite, es captada por la antena de recepción la cual la alimenta a un amplificador de bajo nivel de ruido (LNA), el que amplifica la microonda para luego, en el convertidor, bajar su frecuencia al rango de la banda de Down - Link. Una vez trasladada la frecuencia, la señal será amplificada en el HPA y enviada de nuevo hacia la Tierra por la antena de Transmisión. Esta antena, en ocasiones, es la misma que la de recepción.

## **ESTACIÓN TERRENA RECEPTORA**

*Antena, lado de Recepción.*

*Amplificador de Bajo Nivel de Ruido ( LNA ).*

*Convertidor de Bajada ( D / C , Down Converter ).*

*Demodulador.*

*Entrega de la señal de Banda Base.*

En la estación terrena receptora, la señal es recogida por la antena, alimentada al LNA donde se amplifica con un bajo nivel de ruido, alimentada al convertidor de bajada donde la señal es convertida del rango de microondas a FI, para luego ser recuperada la información en el demodulador. La señal a la salida del demodulador es la información en la forma de la banda base.

## CAPITULO 3

### ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE UN SATÉLITE

Un satélite es un sistema muy complejo y delicado, integrado por varios subsistemas; todos ellos importantes ya que la falla de uno de ellos podría causar la inutilidad parcial o total del satélite. El satélite necesita energía eléctrica, disipar calor, corregir sus movimientos y mantenerse en equilibrio, ser capaz de regular su temperatura, ser resistente al medio ambiente en el que vive, y desde luego poder comunicarse con la Tierra. Los subsistemas más importante se ilustran en la siguiente tabla.

Principales subsistemas de un satélite y sus funciones.

Subsistema	Función
Antenas	Recibir y transmitir señales de radiofrecuencia.
Comunicaciones	Amplificar las señales y cambiar su frecuencia.
Energía eléctrica	Suministrar electricidad con los niveles adecuados de voltaje y corriente.
Control Térmico	Regular la temperatura del conjunto.
Posición y orientación	Determinar la posición y orientación del satélite.
Propulsión	Proporcionar incrementos de velocidad y pares para corregir la posición y orientación
Rastreo, telemetría y comando	Intercambiar información con el centro de control en Tierra para conservar el funcionamiento del satélite.
Estructural	Alojar todos los equipos y darle rigidez al conjunto.

#### SUBSISTEMA DE ANTENAS

Las antenas reciben señales de radiofrecuencia provenientes de las estaciones terrenas transmisoras, y después de que son procesadas (amplificación y cambio de frecuencia) en el satélite, las transmiten de regreso hacia la Tierra, concentrada en un haz de potencia. En algunos casos, las antenas que reciben son distintas de las que transmiten, pero también es



posible que una sola reciba y transmita al mismo tiempo, utilizando para ello frecuencias y elementos de alimentación diferentes.

Las antenas son, al mismo tiempo, el puerto de entrada y de salida de ese mundo electrónico que es el interior del satélite; son la interfase o etapa de transformación entre las señales electromagnéticas que viajan por el espacio y las señales que circulan dentro de varios de sus subsistemas.

Paradójicamente, una antena parabólica chica puede recibir y transmitir dentro de una extensión territorial muy grande, mientras que una antena de mayor tamaño, que opere a la misma frecuencia, solamente puede hacerlo dentro de una zona geográfica más pequeña. Algo debe de obtenerse de una antena grande a cambio de cubrir menos metros cuadrados sobre la superficie terrestre; ¿ para qué gastar en tanto material y tener que vencer complicaciones de volumen y peso en el sistema de lanzamiento que lleva el satélite al espacio ?. La razón es sencilla: cuanto más grande son las antenas, tienen la propiedad de una mayor capacidad para concentrar la energía en un haz electromagnético muy angosto, que ilumina pocas unidades cuadradas, pero que las irradia con niveles muy altos de densidad de potencia, esto facilita el diseño y reduce el costo de las estaciones terrenas receptoras. Por otra parte, cuanto más alta sea la frecuencia a la que una antena de dimensiones constantes trabaje, mayor es su capacidad de concentración de energía; ésta es una característica propia de las antenas parabólicas y , en general, de todas las antenas llamadas de apertura.

También existe otro tipo de antena muy importante, que no tiene nada que ver con la recepción y transmisión de las señales anteriores. Se trata de la antena de telemetría y comando, encargada de recibir las señales que contienen órdenes emitidas por el centro de control en la Tierra, para que se efectúe alguna corrección a bordo; también es responsable de enviarle al centro de control señales que contienen información vital sobre el estado de operación de todo el satélite, con el fin de que en la Tierra se pueda saber qué ocurre en su interior, dónde está y cómo está funcionando en general; de esta manera, sus operadores pueden realizar las modificaciones necesarias enviando las señales de comando que, como ya se dijo, son recibidas por la misma antena.

La antena de telemetría y comando no es parabólica ni de corneta, pues estas son muy direccionales, (concentran la mayor parte de su potencia radiada en un haz muy angosto), normalmente es una antena bicónica, cuya radiación es casi omnidireccional, es decir, que emite más o menos con la misma intensidad en todas direcciones; de esta forma, aún cuando el satélite cambie bruscamente de orientación, su comunicación con el centro de control no se interrumpe y se sigue teniendo control sobre el mismo.

## **SUBSISTEMA DE COMUNICACIONES**

### **CONCEPTOS GENERALES.**

Las señales de comunicaciones recibidas por el satélite entran a él a través de sus antenas, y ellas mismas se encargan de retransmitir toda esa información hacia la tierra, después de procesarla debidamente. Los principales pasos del proceso son amplificar las señales a un nivel de potencia adecuado, para que puedan ser recibidas a su regreso con buena calidad, así como cambiarlas de frecuencia, para que salgan por el conjunto de antenas sin interferir con las señales que estén llegando simultáneamente. El subsistema de comunicaciones realiza estas funciones mediante filtros, amplificadores, convertidores de frecuencia, conmutadores y multiplexores.

A la trayectoria completa de cada repetidor, comprendiendo todos sus equipos desde la salida de la antena receptora hasta la entrada de la antena transmisora se le da el nombre de transpondedor, o sea que el subsistema de comunicaciones consta de muchos transpondedores, y su número depende del diseño del satélite.

### **ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA.**

En este tipo de acceso, se asigna una frecuencia y un cierto ancho de banda a cada uno de los transmisores en tierra que tengan acceso al satélite. La asignación de la portadora se hace de acuerdo a la distribución particular que de sus transpondedores haga el administrador del sistema de satélite. El ejemplo siguiente tratara de aclarar esto.

Supongamos un satélite ocupado en su totalidad para retransmisión de televisión (ejemplo: Galaxy I). La señal de televisión ocupa un ancho de banda de 36 MHz una vez que ha modulado a la portadora en frecuencia; además es necesario dejar una guarda de 2 MHz a cada lado de la banda, es decir, se necesita una banda total de 40 MHz para transmitir una señal de televisión mediante un enlace de satélite. Recordemos también que el ancho de banda disponible en el satélite es de 500 MHz. De acuerdo a todo lo anterior, en el ancho de banda de que dispone el satélite, caben 12 canales de televisión ( $500/40 = 12$ ) sobrando un espacio de 20 MHz.

Para aprovechar la eficiencia al máximo del transpondedor, se requiere utilizar otra versión de acceso múltiple que brinde mayor flexibilidad, la alternativa se denomina acceso múltiple por división en frecuencia con asignación por demanda o DAMA. Pues las ranuras se asignan solamente durante el tiempo que quieran comunicarse; cuando dejan de transmitir, se libera esa ranura y queda disponible para cualquiera de las demás estaciones.

La frecuencia portadora transmitida por cada estación terrena cambia en el tiempo, moviéndose de lugar en el espectro radioeléctrico del amplificador, y por supuesto cada estación debe estar equipada para hacerlo.

### **ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO.**

Es una técnica totalmente digital en la cual cada estación terrena tiene acceso al satélite solo en un tiempo asignado para su transmisión, agotándose este, deja de transmitir hasta que le toque nuevamente su turno. En este sistema, el ruido de intermodulación es eliminado, representando una gran ventaja al comparar con el FDMA, aunque el TDMA es un sistema mucho más complejo que el FDMA, ya que necesita una buena sincronización entre todas las estaciones terrenas que lo usan y además se requiere de una estación de referencia o maestra.

### **ACCESO MÚLTIPLE POR DIFERENCIACIÓN DE CÓDIGO.**

Es también llamado acceso múltiple por espectro de dispersión, combina la transmisión desde cada estación terrena con un código al azar, es totalmente digital, y presenta la ventaja de que las antenas terrenas transmisoras y receptoras pueden ser muy pequeñas, sin importar que sus ganancias sean bajas. Por otra parte presentan el inconveniente de que ocupa el ancho total del transpondedor. De cualquier manera, en los sistemas militares, tienen ventajas considerables ya que las secuencias tomadas al azar son necesarias para proveer protección criptográfica.

### **FRECUENCIAS ASIGNADAS Y REUTILIZACIÓN DE FRECUENCIAS.**

Como el espacio radioeléctrico es finito, y con el fin de aumentar la capacidad de cada satélite se han desarrollado dos métodos para utilizar las frecuencias casi por duplicado: reutilización con aislamiento espacial y con discriminación de polarización.

La reutilización de frecuencias con aislamiento espacial se realiza con un subsistema de antenas que produzca muchos haces dirigidos hacia zonas geográficas diferentes; si algunos haces están lo suficientemente separados entre sí, entonces pueden utilizar las mismas frecuencias.

La reutilización de frecuencias con discriminación de polarización se efectúa mediante la transmisión simultánea en un mismo haz, a la misma frecuencia, con señales de polarizaciones ortogonales; éstas pueden ser lineales (horizontal y vertical) o circulares (derecha e izquierda). Muchos satélites comerciales operan con este tipo de reutilización de frecuencias.

## **SUBSISTEMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA.**

Podemos considerar dos tipos de fuentes de energía eléctrica en el satélite: la fuente primaria, que consiste en celdas solares y la fuente secundaria la cual consiste de un banco de baterías. Hay que hacer notar que mientras las celdas solares estén recibiendo energía de la luz solar ellas proporcionan toda la energía que necesiten los circuitos, y recargan al mismo tiempo las baterías; en el momento que ocurre un eclipse o región de sombra para el satélite, las baterías serán las encargadas de proporcionar la energía hasta que el eclipse concluya.

## **SUBSISTEMA DE CONTROL TÉRMICO.**

Uno de los factores que intervienen en el equilibrio es el calor generado constantemente por el satélite en su interior, cuya principal contribución proviene de los amplificadores de potencia; la energía que absorbe del Sol y de la Tierra son otros factores que también deben considerarse.

La energía proveniente de la Tierra la integran dos tipos de radiación: la propia de ella y la del Sol reflejada por su superficie (albedo). La suma del calor generado internamente por el satélite más el producido por la absorción de energía del Sol y de la Tierra, menos el radiado por el satélite hacia el exterior, se debe mantener lo más constante posible, con pocas variaciones, de tal modo que el satélite funcione íntegra y correctamente.

## **SUBSISTEMA DE POSICIÓN Y ORIENTACIÓN.**

El objetivo de un satélite de comunicaciones es retransmitir las señales recibidas de la Tierra a través de su subsistema de antenas direccionales, que deben estar permanentemente orientadas hacia la zona geográfica de servicio. Para ello, es necesario mantener la orientación de la estructura del satélite estable con respecto a la superficie de la Tierra, lo cual se obtiene mediante las técnicas de estabilización por giro o de estabilización triaxial.

Con la técnica, de estabilización por giro, una parte del satélite (o en algunos casos toda su estructura) gira para conservar el equilibrio del conjunto, al mismo tiempo que las antenas permanecen orientadas hacia la Tierra. Sin embargo, esta solución perdió practicabilidad al ir revolucionando las generaciones de satélites, y hoy sólo una parte de su cuerpo gira mientras que el resto de la estructura (que incluye a las antenas) se mantiene fijo; la unión entre la sección que gira y la que no gira es un mecanismo de rodamiento y transferencia de energía eléctrica con muy poca fricción.



Los satélites con estabilización triaxial no giran, y aparentemente permanecen estáticos con sus largos paneles solares extendidos en el vacío y sus antenas apuntando hacia la Tierra. En estos casos, la estabilización de la estructura del satélite se conserva mediante volantes giratorios que van colocados en su interior, sobre cada uno de los tres ejes utilizados como referencia para definir la orientación del satélite hacia la superficie terrestre.

Por lo que se refiere a la determinación de la orientación del cuerpo del satélite con relación a la superficie terrestre, se puede utilizar para ello una variedad de sensores, de los cuales los más comunes son los del Sol y los de Tierra, y la precisión que ofrecen es relativamente aceptable en la mayor parte de los casos, pero en las nuevas generaciones ya se está añadiendo otro tipo de control que permite mejorarla en un factor de 2 o hasta 3. El nuevo método utiliza sensores de radiofrecuencia, que detectan y miden las características de radiofaros o señales radioeléctricas transmitidas desde una estación terrena; los sensores determinan con gran precisión la diferencia angular que hay entre el eje principal de radiación de la antena del satélite y la línea o trayectoria de las ondas de radio del radiofaro o haz piloto.

## **SUBSISTEMA DE PROPULSIÓN.**

El principio básico mediante el cual operan los propulsores químicos es la generación de gases a muy alta temperatura en el interior de una cámara mediante la reacción química de propelentes, y los gases se aceleran al pasar por una tobera de escape cuya boquilla va disminuyendo poco a poco en su área transversal y después se ensancha. Los primeros sistemas de control a reacción utilizaban gases fríos como el nitrógeno y el peróxido de hidrógeno; sin embargo, su impulso específico era muy bajo y muy pronto fueron sustituidos por la hidrazina monopropelente, que en la actualidad goza de mucha popularidad.

En cuanto a los propulsores eléctricos se refiere, éstos funcionan según el principio de generar un empuje al acelerar una masa ionizada dentro de un campo electromagnético, pero aún se encuentran en su etapa de pruebas y desarrollo, siendo los más estudiados los de plasma y los de ionización de mercurio y de cesio.

## **SUBSISTEMA DE RASTREO, TELEMETRÍA Y COMANDO.**

Este subsistema permite conocer a control remoto la operación y posición del satélite, así como enviarle órdenes para que algún cambio deseable se ejecute. El equipo de telemetría cuenta con diversos tipos de sensores instalados en varios cientos de puntos de pruebas, que miden cantidades tales como voltajes, corrientes, presiones, posición de interruptores y temperaturas, etc. Las lecturas tomadas por los sensores son convertidas en una señal digital que el satélite transmite hacia la Tierra con una velocidad baja, entre 200 y 1000 bits por segundo, y esta información permite conocer el estado de operación del sistema satelital, apoyada por la información de rastreo.

El rastreo se efectúa mediante la transmisión de varias señales piloto, denominadas tonos, desde la estación terrena de control hacia el satélite. Normalmente se utilizan de 6 a 7 tonos distintos.

Las señales de comando son las que permiten efectuar las correcciones en la operación y funcionamiento del satélite a control remoto, como cambiar la ganancia de los amplificadores, cerrar algún interruptor, conmutar de transpondedor, modificar la orientación de la estructura. Todas estas señales van codificadas, por cuestiones de seguridad.

## **SUBSISTEMA ESTRUCTURAL**

La estructura del satélite es la armazón que sostiene a todos los equipos que lo forman y que le da rigidez necesaria para soportar las fuerzas y aceleraciones a las que se ve sujeto desde el momento en que abandona la superficie de la Tierra; este importante subsistema debe ser durable, resistente y lo más ligero posible.

Durante las diversas etapas de su lanzamiento y transferencia de órbita el satélite se enfrenta a vibraciones, aceleraciones, esfuerzos aerodinámicos (cada vez que se desprende alguna etapa del cohete que lo transporta, o de él mismo. Cuando llega a su posición orbital final el satélite se ve afectado por impacto de micrometeoritos, presiones de radiación de las antenas, fuerzas de atracción de la Tierra, la Luna y el Sol, y empujes generados por su propio subsistema de propulsión. En consecuencia, tanto la estructura del satélite como cada una de las demás partes que lo componen deben diseñarse para que soporten esas condiciones durante la colocación en órbita y el tiempo esperado de vida.

## CAPITULO 4

### DISEÑO DE UN SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES VÍA SATÉLITE

El objetivo fundamental es el diseño de un sistema de telecomunicaciones vía satélite, a partir de datos reales y cumpliendo con los requisitos de calidad de transmisión exigidos por los organismos internacionales.

#### ESPECIFICACIONES DEL DISEÑO

El gobierno francés planea establecer un servicio de telecomunicaciones vía satélite entre Francia y algunos territorios con el fin de proporcionar los siguientes servicios:

- Comunicar Francia con la Guyana ,La Martinica ,Guadalupe y la Reunión por medio de un enlace bilateral que permita la transmisión de 252 canales de voz.
- Comunicar la Guyana con la Martinica y Guadalupe con San Bartolomé por medio de un enlace bilateral que permita la transmisión de 96 canales de voz.

Las condiciones siguientes deberán ser respetadas :

1. El satélite será colocado en una órbita geoestacionaria de tal forma que sea visto por las diferentes estaciones terrenas con una elevación superior a 5°, además no deberá haber otro satélite que utilice la misma frecuencia a 2.5 ° de separación.

NOTA :

Uno de los motivos de cumplir esta condición superior a 5 °, es para evitar la interferencia con las estaciones o redes de microondas terrestres, ya que la antena presenta lóbulos laterales.

El otro es, porque mientras más baja esté la antena más ruido térmico va aparecer en el sistema.

La condición de una separación de  $2.5^\circ$  entre satélites es con el fin de evitar interferencia entre satélites. Pero hay excepciones cuando apunten a diferentes lugares.

2. Las bandas de frecuencias utilizadas son las primeras bandas asignadas al servicio fijo de telecomunicaciones por satélite ( 5925-6425 MHz up - link , 3700-4200 MHz down link).
3. Se utilizarán dos repetidores de 75 MHz de ancho de banda, una banda de 25 MHz será dejada entre las bandas de los repetidores. El repetidor No. 2 transmitirá los 7 enlaces destinados a la región Antillanas-Guayanas, por medio de un antena tipo "Spot-Beam". El repetidor No. 1 transmitirá los otros 5 enlaces destinados a Francia y la Reunión por medio de una antena de tipo cometa de cobertura global. Esta misma cometa servirá de antena de recepción a 6 GHz.

Spot-Beam = Domestica con un haz puntual; con una parábola.

Cometa = Global.

4. El sistema utilizado es el de acceso múltiple por división de frecuencias y las diferentes portadoras son modulados en frecuencias (FDMA/FM). se dejará una banda de guarda entre el canal "i" y el canal "j"; igual a:

$0.1$  (Banda de Carlson "i" + bandas de Carlson "j" ) dejar 10% del AB a cada lado por canal.

### COORDENADAS DE LOS LUGARES A ENLAZAR

	Estación	Latitud	longitud
FRANCIA	FR	48 ° 31' N	03° 54' E
SAN BARTOLOMÉ	STB	17 ° 55' N	62 ° 50' W
GUADALUPE	GUA	16 ° 15' N	61 ° 35' W
MARTINICA	MAR	14 ° 31' N	61 ° 01' W
GUAYANA	GUY	04 ° 56' N	52 ° 18' W
REUNIÓN	REU	20 ° 54' S	55 ° 32' E



**SOLUCIÓN**

Para satisfacer la condición referente a la elevación, debemos cumplir con:

$$\text{Elevación} = \text{Arc tg} \frac{\cos \mu - \frac{R}{R+h}}{\text{sen } \mu} \geq 0.0875$$

R = Radio de la Tierra (6367 Km.)

h = Altura

$\mu = 76.4055^\circ$

$$\cos \mu = \cos \text{lat} \cos \Delta L$$

lat = Latitud de la estación terrena

$\Delta L$  = Separación angular entre longitudes de la estación terrena y el satélite

$$\Delta L_{\text{max}} = \text{Arc cos} \frac{0.235}{\cos \text{lat}}$$


---

Sustituyendo en esta fórmula la latitud correspondiente para cada estación, obtenemos la siguiente tabla:

	Estación	Latitud	Longitud	$\Delta L_{max}$	Limite 1 (W)	Limite 2 (E)
FRANCIA	FR	48 ° 31' N	03° 54' E	65 ° 13'	65 ° 19' W	73° 07' E
SAN BARTOLOMÉ	STB	17 ° 55' N	62 ° 50' W	75 ° 42'	138 ° 32'W	12 ° 52' E
GUADALUPE	GUA	16 ° 15' N	61 ° 35' W	75 ° 49'	137 ° 24'W	14 ° 14' E
MARTINICA	MAR	14 ° 31' N	61 ° 01' W	75 ° 57'	136 ° 58'W	14 ° 56' E
GUAYANA	GUY	04 ° 56' N	52 ° 18' W	76 ° 21'	128 ° 39'W	24 ° 03' E
REUNIÓN	REU	20 ° 54' S	55 ° 32' E	75 ° 25'	19 ° 53' W	130 ° 57'E

## OPERACIONES

Para la conversión de grados y minutos a grados, se puede hacer directamente en la calculadora o dividir los minutos entre 60 y sumárselo a los grado directamente. Por ejemplo:

$$48 \text{ ° } 31' = 48^\circ + (31/60)$$

$$48 \text{ ° } 31' = 48^\circ + 0.516$$

$$48 \text{ ° } 31' = 48.516^\circ$$

Aplicando la fórmula:

$$\text{FR } \Delta L_{max} = \text{Arc cos } (0.235/\text{cos } 48.516^\circ) = 69.220^\circ = 69^\circ 13'$$

$$\text{STB } \Delta L_{max} = \text{Arc cos } (0.235/\text{cos } 17.916^\circ) = 75.701^\circ = 75^\circ 42'$$

$$\text{GUA } \Delta L_{max} = \text{Arc cos } (0.235/\text{cos } 16.25^\circ) = 75.831^\circ = 75^\circ 49'$$

$$\text{MAR } \Delta L_{max} = \text{Arc cos } (0.235/\text{cos } 14.516^\circ) = 75.951^\circ = 75^\circ 57'$$

$$\text{GUY } \Delta L_{max} = \text{Arc cos } (0.235/\text{cos } 0.4933^\circ) = 76.356^\circ = 76^\circ 21'$$

$$\text{REU } \Delta L_{\text{max}} = \text{Arc cos } (0.235/\text{cos } 20.9^\circ) = 75.430^\circ = 75^\circ 25'$$

Para la conversión de grados a grados y minuto, se puede hacer directamente en la calculadora o multiplicar las fracciones por 60 y añadirse los grado directamente siendo estos los minutos. Por ejemplo:

$$69.220^\circ =$$

$$(.22 \times 60) = 13.2$$

13.2 se agregan a los 69

$$= 69^\circ 13'$$

### CALCULO DE LOS LIMITES

Francia con una longitud de  $3^\circ 54'$  E y una  $\Delta L_{\text{max}}$  de  $69^\circ 13'$

$$3^\circ 4' + 69^\circ 13' = 73^\circ 07' \text{ E}$$

$$69^\circ 13' - 3^\circ 54' = 65^\circ 19' \text{ W}$$

San Bartolomé con una longitud de  $62^\circ 50'$  W y una  $\Delta L_{\text{max}}$  de  $75^\circ 42'$

$$62^\circ 50' + 75^\circ 42' = 138^\circ 32' \text{ W}$$

$$62^\circ 50' - 75^\circ 42' = 12^\circ 52' \text{ E}$$

Guadalupe con una longitud de  $61^\circ 35'$  W y una  $\Delta L_{\text{max}}$  de  $75^\circ 49'$

$$61^\circ 35' + 75^\circ 49' = 137^\circ 24' \text{ W}$$

$$61^\circ 35' - 75^\circ 49' = 14^\circ 14' \text{ E}$$

Martinica con una longitud de  $61^\circ 01'$  W y una  $\Delta L_{\text{max}}$  de  $75^\circ 57'$

$$61^\circ 01' + 75^\circ 57' = 136^\circ 58' \text{ W}$$

$$61^\circ 01' - 75^\circ 57' = 14^\circ 56' \text{ E}$$

Guyana con una longitud de  $52^\circ 18'$  W y una  $\Delta L_{\text{max}}$  de  $76^\circ 21'$

$$52^\circ 18' + 76^\circ 21' = 128^\circ 39' \text{ W}$$

$$52^\circ 18' - 76^\circ 21' = 24^\circ 03' \text{ E}$$

Reunión con una longitud de  $55^\circ 32'$  E y una  $\Delta L_{\text{max}}$  de  $75^\circ 25'$

$$55^\circ 32' + 75^\circ 25' = 130^\circ 57' \text{ E}$$

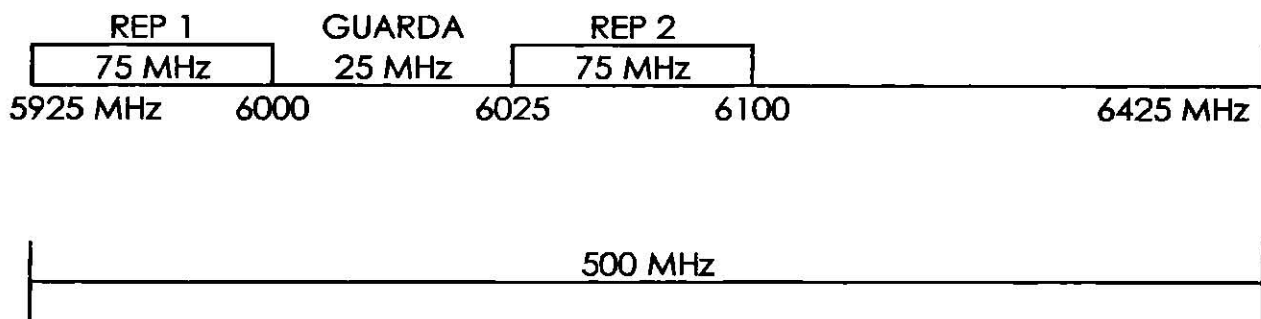
$$55^\circ 32' - 75^\circ 25' = 19^\circ 53' \text{ W}$$

## SELECCIÓN DE FRECUENCIAS DE LOS REPETIDORES

La banda de frecuencias utilizada por los repetidores es de 5925 a 6425 MHz, es decir, trabajarán en la banda C. Para este caso en particular se utilizarán 2 repetidores de 75 MHz de ancho de banda con guarda de 25 MHz entre sí para evitar la intermodulación.

Debido a que el satélite tiene un AB de 500 MHz proponemos poner nuestro AB de los repetidores al principio del AB de la banda C del satélite. Esto se hace para optimizar y dejar libre el mayor AB disponible para otros usuarios.

En la siguiente gráfica se observan como quedarán los repetidores con su guarda en los 500 MHz de AB.



O sea que:

REP. 1 DE 5925 A 6000 MHz

REP. 2 DE 6025 A 6100 MHz



## ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS PARA CADA REPETIDOR

Para el REP. 1 tenemos un AB de 75 MHz con las siguientes condiciones:

GUY-FR  
MAR-FR  
GUA-FR  
REU-FR  
FR-REU

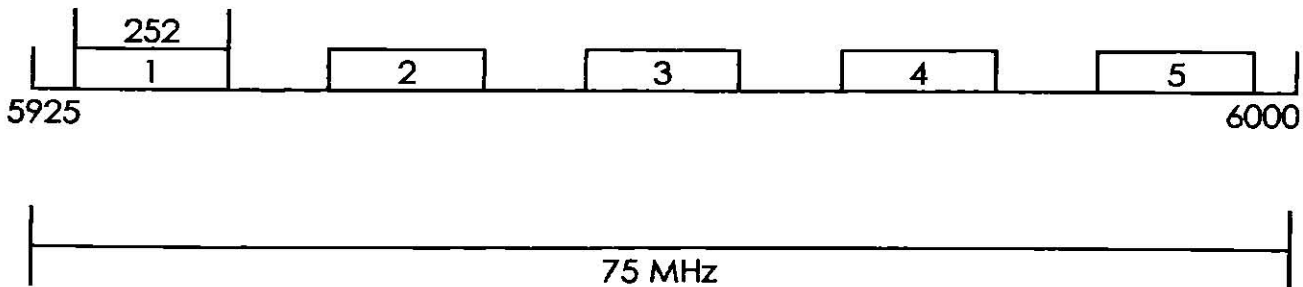
### CARACTERÍSTICAS

- 5 ranuras de 252 canales de voz cada una.
- Antena corneta.

Además debemos considerar una guarda entre canal y canal de un 10% así como también al inicio del repetidor y el primer canal y el fin del último canal y fin del repetidor, es decir:  $0.1(\text{AB del canal considerado})$  y consideramos una banda de guarda entre canales de un 10% por cada canal es decir:

$$0.1(\text{AB CANAL } i + \text{CANAL } j)$$

Gráficamente lo podemos mostrar de la siguiente forma en un enlace ascendente.



En seguida vamos a sacar analíticamente el AB de cada uno de los 5 enlaces utilizados en este repetidor ( REP. 1 ).

$$5\text{AB}252 + (2)(5)(0.1)\text{AB}252 = 75\text{MHz}$$

$$\text{AB}252 + (10)(.01)\text{AB}252 = 75\text{MHz}$$

$$5\text{AB}252 + 1\text{AB}252 = 75\text{MHz}$$

$$6\text{AB}252 = 75\text{MHz}$$

$$\text{AB}252 = (75/6) \text{ MHz}$$

$$\text{AB}252 = 12.5\text{MHz}$$

$$\text{Guarda por canal} = 10\%\text{AB} = (0.1)(12.5) = 1.25 \text{ MHz}$$

Basándonos en la gráfica anterior podemos sacar el plan de frecuencias por cada canal para el REP 1.

REP. 1 DE 5925 A 6000 MHz  
 AB = 12.5 MHz por canal ( 6.25 MHz la mitad )  
 Guarda = 1.25 MHz

GUY - FR  
 $5925 + 1.25 = 5926.25$   
 $5926.25 + 12.5 = 5938.75$   
 $5938.75 - 6.25 = 5932.5$

GUA - FR  
 $5938.75 + 2.5 = 5941.25$   
 $5941.25 + 12.5 = 5953.75$   
 $5953.75 - 6.25 = 5947.5$

MAR - FR  
 $5953.75 + 2.5 = 5956.25$   
 $5956.25 + 12.5 = 5968.75$   
 $5968.75 - 6.25 = 5962.5$

REU - FR  
 $5968.75 + 2.5 = 5971.25$   
 $5971.25 + 12.5 = 5983.75$   
 $5983.75 - 6.25 = 5977.5$

FR - REU  
 $5983.75 + 2.5 = 5986.25$   
 $5986.25 + 12.5 = 5998.75$   
 $5998.75 - 6.25 = 5992.5$   
 $5998.75 + 1.25 = 6000$

**TABLA DEL PLAN DE FRECUENCIAS DEL REP. 1 EN ENLACE ASCENDENTE**

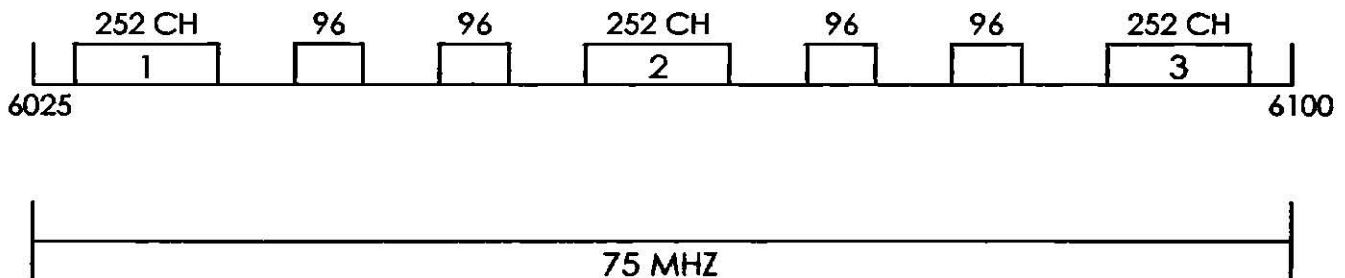
ENLACE	LIMITE INFERIOR.	LIMITE SUPERIOR.	FRECUENCIA PORTADORA.
GUY-FR	5926.25	5938.75	5932.5
GUA-FR	5941.25	5953.75	5947.5
MAR-FR	5956.25	5968.75	5962.5
REU-FR	5971.25	5983.75	5977.5
FR-REU	5986.25	5998.75	5992.5

Para el REP. 2 tenemos un AB de 75 MHz con las siguientes condiciones:

FR - GUY	3 enlaces de 252 canales de voz cada uno.
FR - MAR	
FR - GUA	
GUY - MAR	* 4 enlaces de 96 canales de voz.
GUA - STB	
MAR - GUY	* antena corneta.
STB - GUA	

La última característica del REP. 1 que habla sobre las guardas entre canales es válida para el REP. 2.

La gráfica donde podemos mostrar el REP. 2 en su enlace ascendente es la siguiente:



En seguida sacaremos analíticamente el AB para cada uno de los 4 enlaces de 96 canales del REP. 2. Respetando las condiciones para los enlaces de 252 canales.

Tenemos que:

$$3AB_{252} + 4AB_{96} + 6(0.1)AB_{252} + 8(0.1)AB_{96} = 75\text{MHz}$$

$$3AB_{252} + 0.6AB_{252} + 4AB_{96} + 0.8AB_{96} = 75\text{MHz}$$

$$3.6AB_{252} + 4.8AB_{96} = 75\text{MHz}$$

Y como sabemos que:

$$AB_{252} = 12.5\text{ MHz}$$

Por lo tanto :

$$\begin{aligned}(3.6)(12.5) + 4.8AB96 &= 75 \text{ MHz} \\ 4.8AB96 &= (75 - 45) \text{ MHz} \\ AB96 &= 30/4.8 = 6.25 \text{ MHz} \\ \text{GUARDA} &= 10\% AB = (0.1)(6.25) = 0.625 \text{ MHz}\end{aligned}$$

Por lo tanto, nos podemos basar en la gráfica anterior para sacar el plan de frecuencia por canal para el REP. 2.

REP. 2 DE 6025 A 6100 MHZ  
3 canales de 12.5 MHZ de AB y guarda de 1.25 MHZ  
4 canales de 6.25 MHZ de AB y guarda de 0.625 MHZ

FR - GUY

$$\begin{aligned}6025 + 1.25 &= 6026.25 \\ 6026.25 + 12.5 &= 6038.75 \\ 6038.75 - 6.25 &= 6032.5\end{aligned}$$

GUY - MAR

$$\begin{aligned}6038.75 + 1.25 + 0.625 &= 6040.62 \\ 6040.62 + 6.25 &= 6046.87 \\ 6046.87 - 3.125 &= 6043.75\end{aligned}$$

GUA - STB

$$\begin{aligned}6046.87 + 0.625 + 0.625 &= 6048.125 \\ 6048.12 + 6.25 &= 6054.37 \\ 6054.37 - 3.125 &= 6051.25\end{aligned}$$

FR - MAR

$$\begin{aligned}6054.37 + 0.625 + 1.25 &= 6056.25 \\ 6056.25 + 12.5 &= 6068.75 \\ 6068.75 - 6.25 &= 6062.5\end{aligned}$$

MAR - GUY

$$\begin{aligned}6068.75 + 1.25 + 0.625 &= 6070.62 \\ 6070.62 + 6.25 &= 6076.87 \\ 6076.87 - 3.125 &= 6073.75\end{aligned}$$

STB - GUA

$$\begin{aligned}6076.87 + 0.625 + 0.625 &= 6078.125 \\ 6078.12 + 6025 &= 6084.37 \\ 6084.37 - 3.125 &= 6081.25\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{FR - GUA} \\
 & 6084.37 + 0.625 + 0.625 + 1.25 = 6086.25 \\
 & 6086.25 + 12.5 = 6098.75 \\
 & 6098.75 - 6.25 = 6092.5 \\
 & 6098.75 + 1.25 = 6100
 \end{aligned}$$

### PLAN DE FRECUENCIAS PARA EL REP. 2 DE ENLACE ASCENDENTE

ENLACE	LIMITE INFERIOR.	LIMITE SUPERIOR.	FRECUENCIA PORTADORA.
FR-GUY	6026.25	6038.75	6032.50
GUY-MAR	6040.62	6046.87	6043.75
GUA-STB	6048.12	6054.37	6051.25
FR-MAR	6056.25	6068.75	6062.50
MAR-GUY	6070.62	6076.87	6073.75
STB-GUA	6078.12	6084.37	6081.25
FR-GUA	6086.25	6098.75	6092.50

### ENLACE DOWN LINK PARA EL REP. 1

Para el REP. 1 de 75 MHZ en el enlace descendente de 3700 a 4200 MHZ ( banda C ) se presenta lo siguiente:

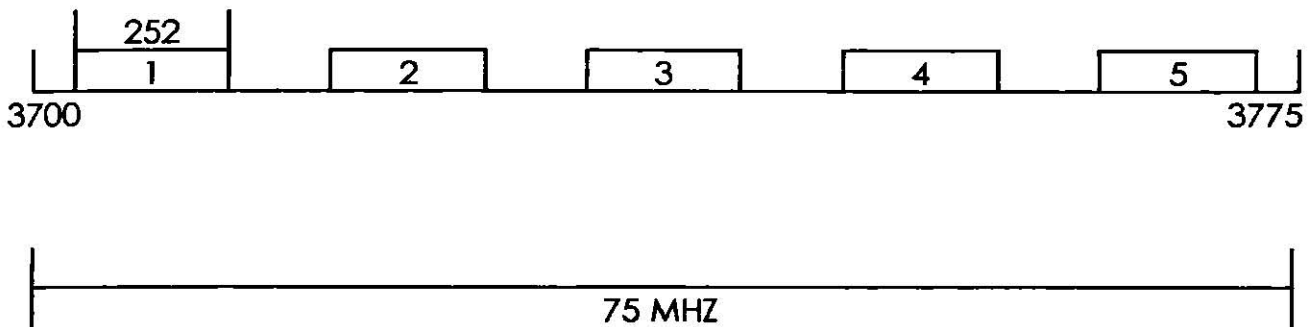
ENLACE  
 GUY - FR  
 GUA - FR  
 MAR - FR  
 1.  
 REU - FR  
 FR - REU

#### CARACTERÍSTICAS

- \* 5 enlaces de 252 canales de
- \* Debemos considerar la última característica del enlace ascendente del REP.
- \* Antena corneta.



Gráficamente se puede mostrar el enlace descendente con el mismo plan de distribución del REP. 1, ver la siguiente gráfica:



Siguiendo el plan de frecuencia en el enlace ascendente tenemos que cada enlace tiene un AB de 12.5 MHz y guardas 1.25 MHz por canal. Por lo tanto procederemos del mismo modo:

GUY - FR

$$3700 + 1.25 = 3701.25$$

$$3701.25 + 12.5 = 3713.75$$

$$3713.75 - 6.25 = 3707.5$$

GUA - FR

$$3713.75 + 2.5 = 3716.25$$

$$3716.25 + 12.5 = 3728.75$$

$$3728.75 - 6.25 = 3722.5$$

MAR - FR

$$3728.75 + 2.5 = 3731.25$$

$$3731.25 + 12.5 = 3743.75$$

$$3743.75 - 6.25 = 3737.5$$

REU - FR

$$3743.75 + 2.5 = 3746.25$$

$$3746.25 + 12.5 = 3758.75$$

$$3758.75 - 6.25 = 3752.5$$

FR - REU

$$3758.75 + 2.5 = 3761.25$$

$$3761.25 + 12.5 = 3773.75$$

$$3773.75 - 6.25 = 3767.5$$

$$3773.75 + 1.25 = 3775$$

**PLAN DE FRECUENCIAS DEL REP. 1 EN ENLACE DESCENDENTE**

ENLACE	LIMITE INFERIOR.	LIMITE SUPERIOR.	FRECUENCIA PORTADORA.
GUY-FR	3701.25	3713.75	3707.5
GUA-FR	3716.25	3728.75	3722.5
MAR-FR	3731.25	3743.75	3737.5
REU-FR	3746.25	3758.75	3752.5
FR-REU	3761.25	3773.75	3767.5

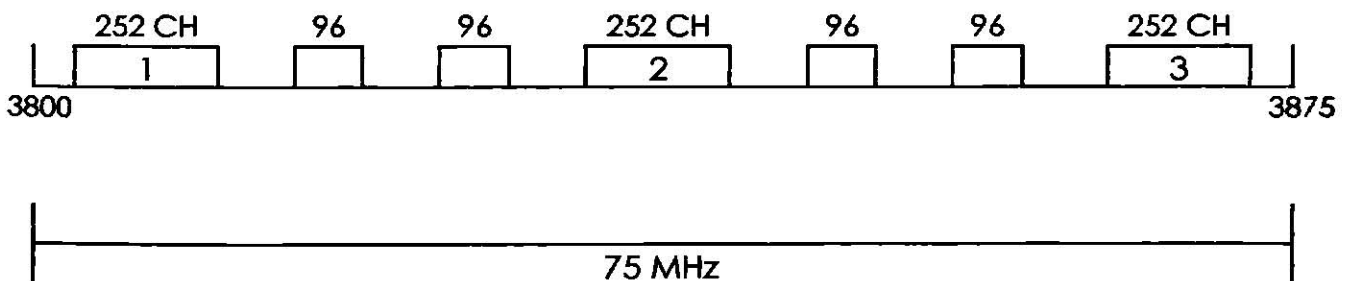
**ENLACE DOWN LINK PARA EL REP. 2**

Para el REP. 2 tenemos un AB de 75 MHZ en enlace descendente con lo siguiente:

ENLACE	CARACTERÍSTICAS
FR - GUY	* 3 enlaces de 252 canales de voz cada uno. * Antena Spot-Beam.
FR - MAR	
FR - GUA	
GUY - MAR	* 4 enlaces de 96 canales de voz cada uno. * Antena Spot-Beam.
GUA - STB	
MAR - GUY	
STB - GUA	

La última característica del REP. 1 que habla acerca de las guardas es válida para éste repetidor en enlace descendente.

En la siguiente gráfica podemos mostrar la distribución para el REP. 2 en un enlace descendente.



En seguida procederemos de igual manera.

FR - GUY

$$3800 + 1.25 = 3801.25$$

$$3801.25 + 12.5 = 3813.75$$

$$3813.75 - 6.25 = 3807.5$$

GUY - MAR

$$3813.75 + 1.25 + 0.625 = 3815.62$$

$$3815.62 + 6.25 = 3821.87$$

$$3821.87 - 3.125 = 3818.75$$

GUA - STB

$$3821.87 + 0.625 + 0.625 = 3823.125$$

$$3823.12 + 6.25 = 3829.37$$

$$3829.37 - 3.125 = 3826.25$$

FR - MAR

$$3829.37 + 0.625 + 0.625 + 1.25 = 3831.25$$

$$3831.25 + 12.5 = 3843.75$$

$$3843.75 - 6.25 = 3837.5$$

MAR - GUY

$$3843.75 + 1.25 + 0.625 = 3845.62$$

$$3845.62 + 6.25 = 3851.87$$

$$3851.87 - 3.125 = 3848.75$$

STB - GUA

$$3851.87 + 0.625 + 0.625 = 3853.125$$

$$3853.125 + 6.25 = 3859.37$$

$$3859.37 - 3.125 = 3856.25$$

FR - GUA

$$3859.37 + 0.625 + 1.25 = 3861.25$$

$$3861.25 + 12.5 = 3873.75$$

$$3873.75 - 6.25 = 3867.5$$

$$3867.5 + 1.25 = 3875$$

**TABLA DE FRECUENCIAS DEL REP. 2 EN ENLACE DESCENDENTE**

ENLACE	LIMITE INFERIOR.	LIMITE SUPERIOR.	FRECUENCIA PORTADORA.
FR-GUY	3801.25	3813.75	3807.50
GUY-MAR	3815.62	3821.87	3818.75
GUA-STB	3823.12	3829.37	3826.25
FR-MAR	3831.25	3843.75	3837.50
MAR-GUY	3845.62	3851.87	3848.75
STB-GUA	3853.12	3859.37	3856.25
FR-GUA	3861.25	3873.75	3867.75

**RESUMEN DE TABLAS DE PLAN DE FRECUENCIAS****TABLA DEL PLAN DE FRECUENCIAS DEL REP. 1 EN ENLACE ASCENDENTE**

ENLACE	LIMITE INFERIOR.	LIMITE SUPERIOR.	FRECUENCIA PORTADORA.
GUY-FR	5926.25	5938.75	5932.5
GUA-FR	5941.25	5953.75	5947.5
MAR-FR	5956.25	5968.75	5962.5
REU-FR	5971.25	5983.75	5977.5
FR-REU	5986.25	5998.75	5992.5

**PLAN DE FRECUENCIAS PARA EL REP. 2 DE ENLACE ASCENDENTE**

ENLACE	LIMITE INFERIOR.	LIMITE SUPERIOR.	FRECUENCIA PORTADORA.
FR-GUY	6026.25	6038.75	6032.50
GUY-MAR	6040.62	6046.87	6043.75
GUA-STB	6048.12	6054.37	6051.25
FR-MAR	6056.25	6068.75	6062.50
MAR-GUY	6070.62	6076.87	6073.75
STB-GUA	6078.12	6084.37	6081.25
FR-GUA	6086.25	6098.75	6092.50

**PLAN DE FRECUENCIAS DEL REP. 1 EN ENLACE DESCENDENTE**

ENLACE	LIMITE INFERIOR.	LIMITE SUPERIOR.	FRECUENCIA PORTADORA.
GUY-FR	3701.25	3713.75	3707.5
GUA-FR	3716.25	3728.75	3722.5
MAR-FR	3731.25	3743.75	3737.5
REU-FR	3746.25	3758.75	3752.5
FR-REU	3761.25	3773.75	3767.5

TABLA DE FRECUENCIAS DEL REP. 2 EN ENLACE DESCENDENTE

ENLACE	LIMITE INFERIOR.	LIMITE SUPERIOR.	FRECUENCIA PORTADORA.
FR-GUY	3801.25	3813.75	3807.50
GUY-MAR	3815.62	3821.87	3818.75
GUA-STB	3823.12	3829.37	3826.25
FR-MAR	3831.25	3843.75	3837.50
MAR-GUY	3845.62	3851.87	3848.75
STB-GUA	3853.12	3859.37	3856.25
FR-GUA	3861.25	3873.75	3867.75

## **BIBLIOGRAFÍA**

Satélites de Comunicaciones  
Rodolfo Neri Vela  
Mc Graw - Hill  
México, 1989.

Sistemas Móviles Vía Satélite  
Ing. Miguel Angel Gama Meneses  
Curso Internacional de Ingeniería de  
Transmisión Digital  
1991.

Memorias del curso:  
Comunicación Vía Satélite  
Ing. Fernando Estrada Salazar  
F. I. M. E. , U. A. N. L.



