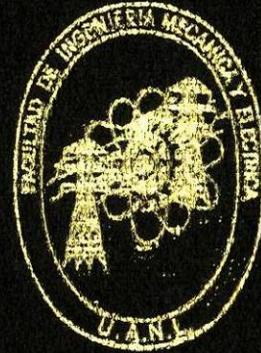


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
Y ELECTRICA



SATELITES DE COMUNICACION

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES

PRESENTA

JORGE ALBERTO MUÑOZ RODRIGUEZ

CD. UNIVESRITARIA

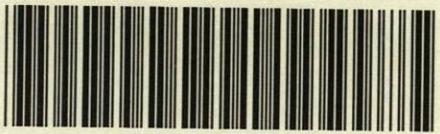
MARZO DE 1996

T

TK5104

M85

c.1



1080086918

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
Y ELECTRICA



SATELITES DE COMUNICACION

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES

PRESENTA

JORGE ALBERTO MUÑOZ RODRIGUEZ

CD. UNIVESRITARIA

MARZO DE 1996

T  
TKS104  
MS



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA**

**A Dios, por haberme dado la capacidad de terminar esta etapa de mi vida, el valor y la entereza para afrontar los retos y la serenidad para apreciar los triunfos.**

**A mis padres y a mi familia, por su gran paciencia, apoyo y amor, por haberme dado las bases para afrontar el difícil reto de ser alguien en la vida.**

**Y a todos aquellos que me han honrado con su amistad, que han estado conmigo en alegrías y tristezas y que me han apoyado en mis momentos difíciles**

**A todos ellos mil gracias**

# INDICE

<b>Introducción</b>	
<b>CAPITULO I</b>	
<b>Generalidades</b>	
<b>Definición</b>	<b>1</b>
<b>Clasificación de los Satélites</b>	<b>1</b>
<b>Ventajas de la Comunicación Via Satélite</b>	<b>2</b>
<b>CAPITULO 2</b>	
<b>Estructura y Funcionamiento del Satélite</b>	<b>4</b>
<b>Subsistema de Antenas</b>	<b>5</b>
<b>Subsistema de Comunicaciones</b>	<b>6</b>
<b>Subsistema de Energía Eléctrica</b>	<b>7</b>
<b>Subsistema de Control Térmico</b>	<b>7</b>
<b>Subsistema de Posición y Orientación</b>	<b>7</b>
<b>Subsistema de Propulsión</b>	<b>8</b>
<b>Subsistema de Rastreo, Telemetría y Comando</b>	<b>8</b>
<b>Subsistema Estructural</b>	<b>9</b>
<b>CAPITULO 3</b>	
<b>Diseño de un Sistema de Telecomunicaciones Via Satélite</b>	
<b>Especificaciones</b>	<b>10</b>
<b>Solución</b>	<b>12</b>
<b>Resumen de Tablas de Plan de Frecuencias</b>	<b>24</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>25</b>

## INTRODUCCION

A menudo caemos en el error de pensar que la idea de los satélites de comunicaciones es nueva. Hace tiempo, en 1945, el escritor científico inglés Artur C. Clarke sugirió que los “reles extraterrestres” eran una posibilidad. Los pronósticos de visionarios como el se hacen realidad con frecuencia y una vez mas, la tecnología evoluciona lo suficiente y fructifica las ideas originales. Todo gracias a los programas espaciales de los países interesados en el progreso.

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 a su alrededor desde tiempo inmemorial, la cual recibe la luz del Sol que refleja hacia nuestro planeta. A su vez, la Tierra es un satélite del Sol. En la actualidad existen satélites “artificiales”, complicados equipos que giran continuamente al rededor de la Tierra y que, incluso, lo hacen en torno a otros planetas. Por lo general, ya se omite el calificativo de “artificial”.

Los primeros satélites de comunicaciones (para telefonía, TV y datos) giraban muy por encima de la Tierra y las antenas terrestres se encargaban de “seguirlos”. Apuntar una gran antena direccionable hacia un objeto invisible y de movimiento raudo en el cielo no es tarea fácil y su uso domestico ciertamente no seria viable. Hoy en día, conforme se ha ido desarrollando la tecnología espacial y la electrónica, se ha superado esta dificultad. Los satélites que retransmiten los programas de televisión directamente hacia los hogares estan en órbita geoestacionaria. Este ultimo termino proviene del griego Geo, Que significa Tierra, que conduce al concepto de un satélite estacionario con respecto a la Tierra. En consecuencia, las antenas para tal satélite permanecen en una posición fija y no necesitan efectuar movimiento alguno.

En este estado inicial se puede considerar que el satélite adopta infinidad de variantes, pero fundamentalmente se le conoce como un receptor constituido de canales repetidores (traspondedores), sincronizados a señales que son lanzadas hacia él desde la Tierra. El programa experimenta una ganancia de potencia y es retransmitido a la Tierra para su capitación por múltiples antenas parabólicas.

# SATELITES DE COMUNICACIONES

## CAPITULO I

### GENERALIDADES

#### DEFINICION

El satélite, del latín *satelles, satellitis* (escolta), es en astronomía un cuerpo que gira al rededor de otro mas pesado.

El satélite artificial es un artefacto construido por el hombre, lanzado al espacio. Se mueve al rededor del planeta bajo el efecto de la fuerza de atracción de masas.

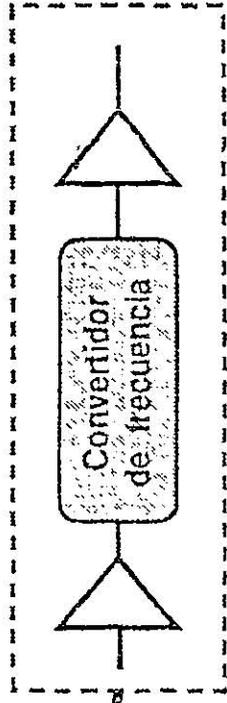
El satélite de comunicaciones es una repetidora de Microondas (Recibe, amplifica, cambia de frecuencia y transmite) puesta en el espacio.

#### CLASIFICACIÓN DE LOS SATÉLITES

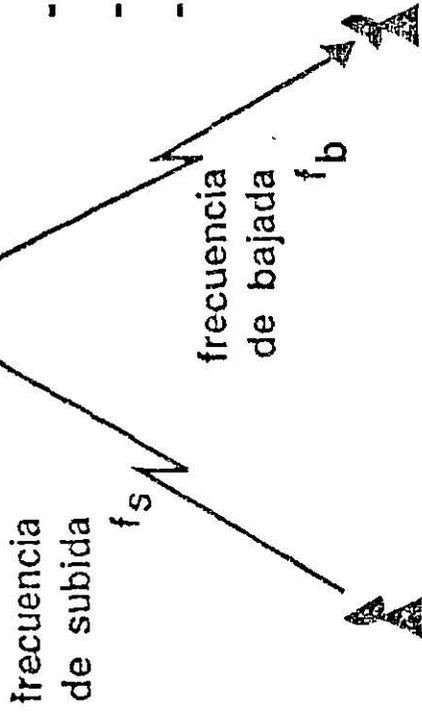
1. **De acuerdo a su operación.** Los satélites se clasifican en pasivos y activos, de acuerdo a su principio de operación. Se considera a un satélite si actúa solamente como superficie reflectora y activo si se involucra un proceso electrónico en el satélite; estos últimos se clasifican a su vez en “tontos” e “inteligentes”. Se considera un satélite activo “tonto” si funciona solo como un repetidor de microondas situado en el espacio el cual no conmuta ni regenera señales, y un satélite “inteligente” si ofrece la posibilidad de procesar las señales en el espacio antes de retransmitirlas a la Tierra.
2. **De acuerdo a su órbita.** Por su órbita los podemos clasificar en geoestacionarios y no geoestacionarios. Un satélite geoestacionario 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:

# EL SATELITE "TONTO" TRADICIONAL



- Recibe señales de microondas por su antena receptora
- Amplifica estas señales
- Cambia la frecuencia de  $f_s$  a  $f_b$
- Amplifica nuevamente y retransmite las señales de microondas hacia la Tierra



El satélite "tonto" funciona como un espejo o simple repetidor situado en el espacio. No conmuta ni regenera señales.

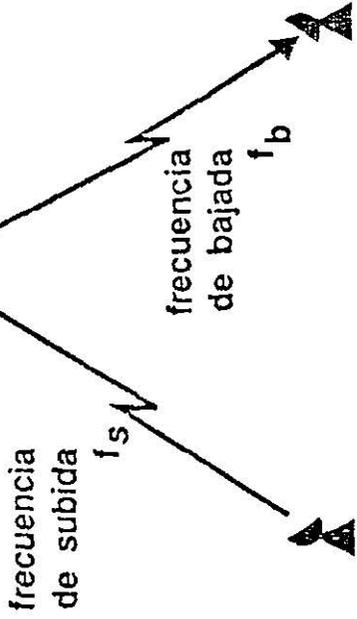
# EL SATELITE "INTELIGENTE" (REGENERATIVO)



- Recibe señales de microondas por su antena receptora
- Amplifica estas señales

- Demodula las señales
- Conmuta en banda base, de ser necesario
- Modula las señales

- Cambia la frecuencia de  $f_s$  a  $f_b$
- Amplifica nuevamente y retransmite las señales de microondas hacia la Tierra



- El satélite "inteligente" ofrece la posibilidad de procesar las señales en el espacio antes de retransmitirlas hacia la Tierra.

- 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.

3. **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 geostacionario. 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).

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. Ver anexo 2.

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

### 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

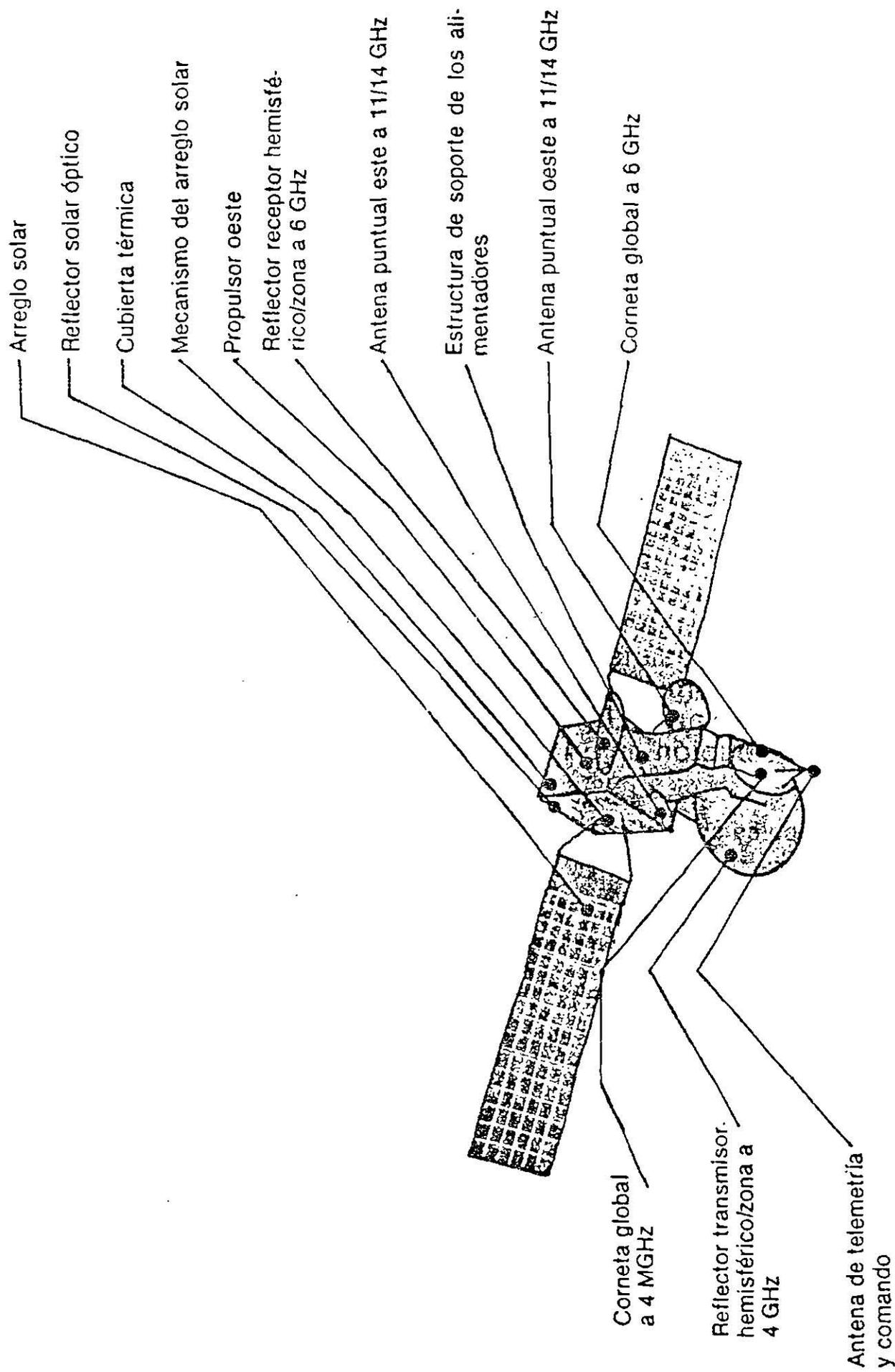
Las antenas reciben señales de radiofrecuencia provenientes de las estaciones terrenas transmisoras, y después de que son procesadas (amplificación y cambio de frecuencia) en el satélite, las transmiten de regreso hacia la Tierra, concentrada en un haz de potencia. En algunos casos, las antenas que reciben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

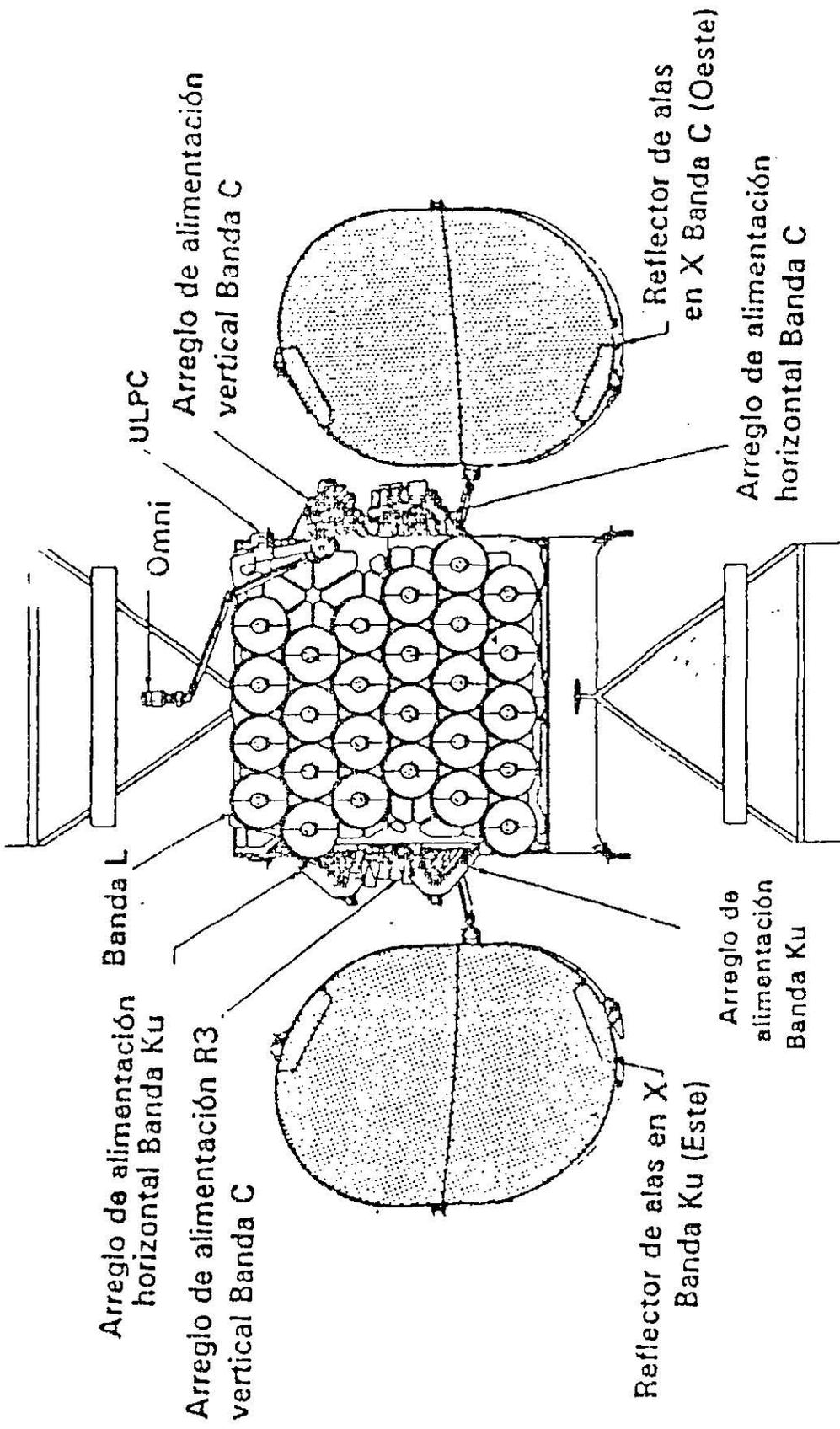
Paradójicamente, una antena parabólica chica puede recibir y transmitir dentro de una extensión territorial muy grande, mientras que una antena de mayor tamaño, que opere a la misma frecuencia, solamente puede hacerlo dentro de una zona geográfica más pequeña. Algo debe de obtenerse de una antena grande 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.

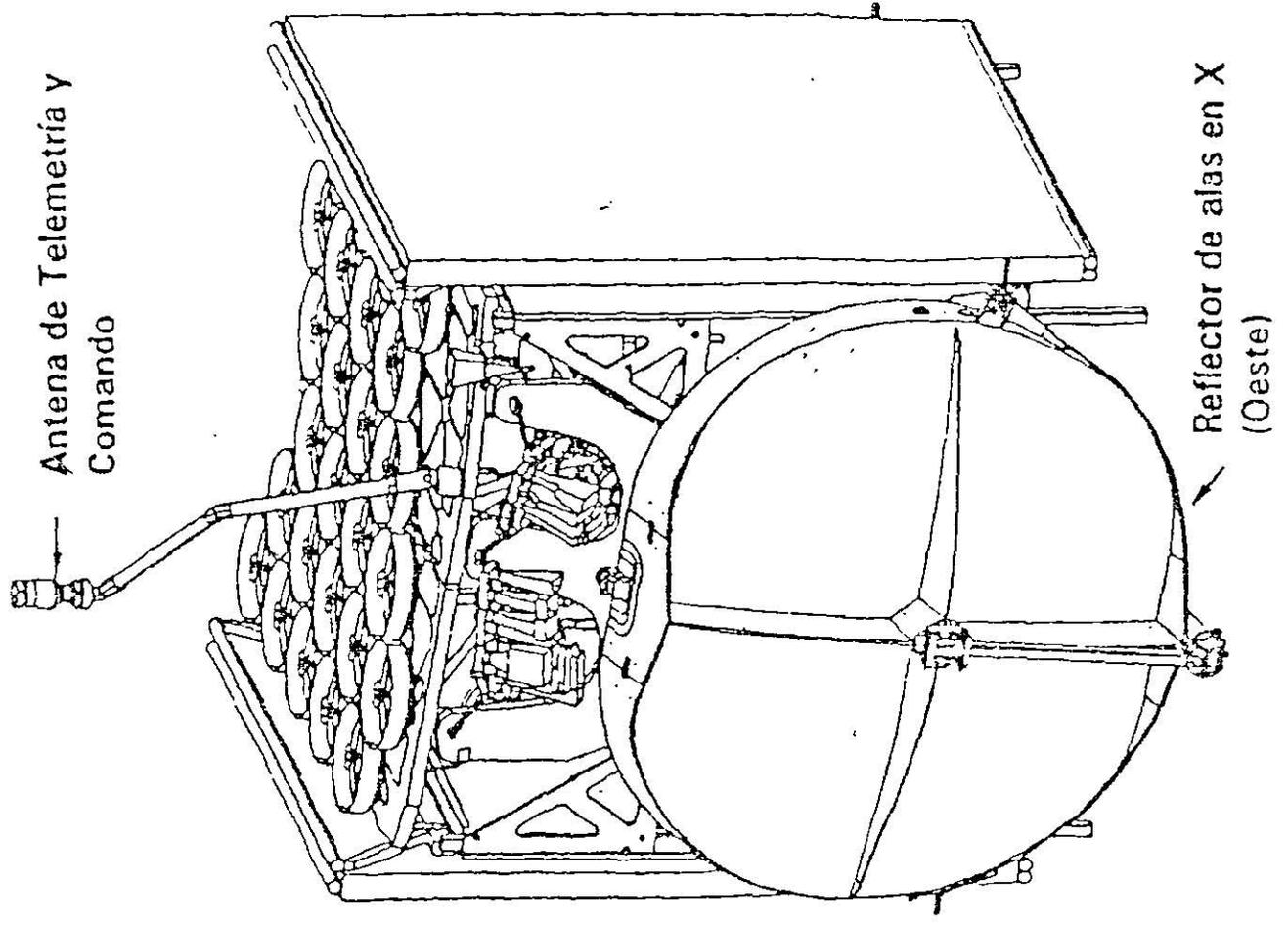
También existe otro tipo de antena muy importante, que no tiene nada que ver con la recepción y transmisión de las señales anteriores. Se trata de la antena de telemetría y comando, encargada de recibir las señales que contienen órdenes emitidas por el centro de control en la Tierra, para que se efectúe 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.



Posición de algunas componentes en un satélite Intelsat V. (Cortesía de Aeroespacia.)





Gerencia de Control de Satélites  
Coordinación de Soporte Técnico

## **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.

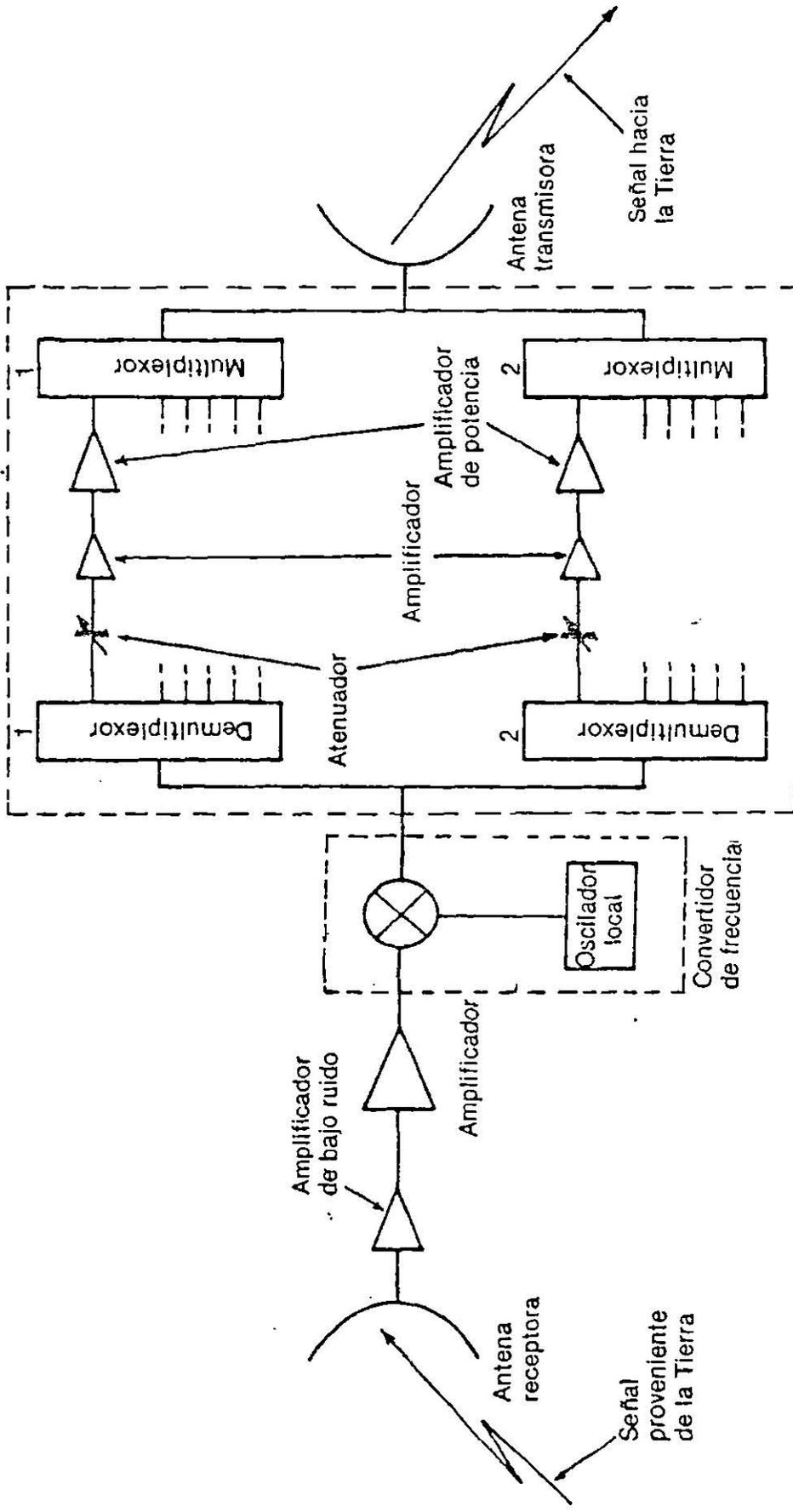
A la trayectoria completa de cada repetidor, comprendiendo todos sus equipos desde la salida de la antena receptora hasta la entrada de la antena transmisora se le da el nombre de transpondedor, o sea que el subsistema de comunicaciones consta de muchos transpondedores, y su número depende del diseño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

### **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.



Versión modificada del diagrama y equipos del subsistema de comunicaciones. A diferencia del indicado en la figura 3.7, se utilizan dos demultiplexores y dos multiplexores para procesar por separado los canales pares e impares y reducir la interferencia.

## **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.

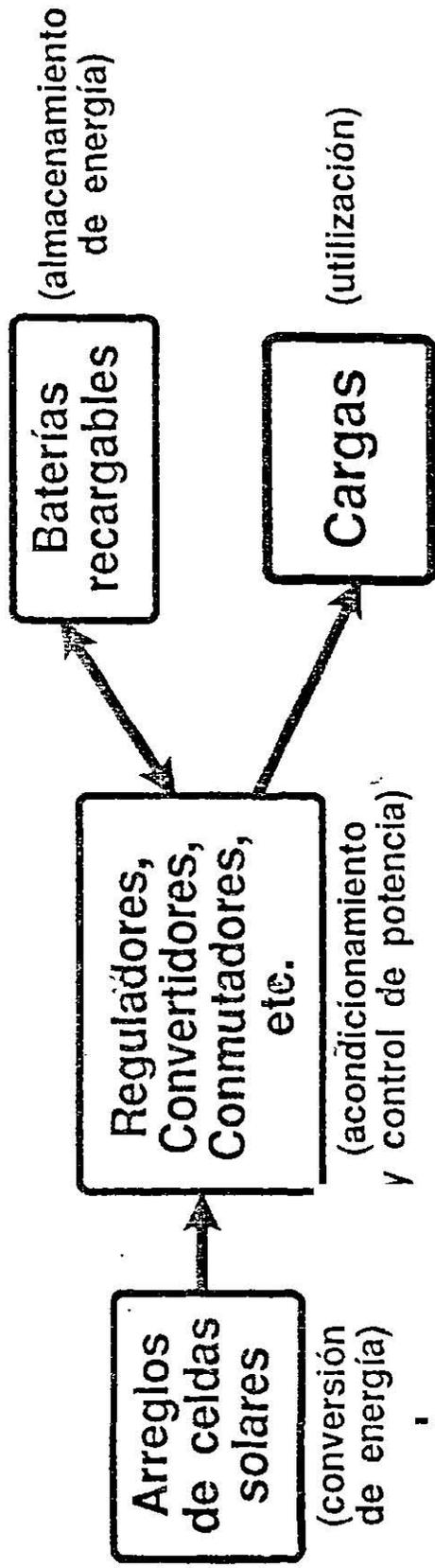
## **SUBSISTEMA DE POSICIÓN Y ORIENTACIÓN.**

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

# CONFIGURACION BASICA DEL SISTEMA DE ENERGIA ELECTRICA DE UN SATELITE



- requerimientos típicos:  
de 500 a 2,000 W

- Radiación solar  
aprox: 1,350 W/cm<sup>2</sup>
- Eficiencia de una  
celda solar: de 10 a 15%

# SISTEMA DE ENERGIA ELECTRICA

## - Celdas solares

- Silicio

└ convencional

└ eficiencia: aprox. 12%

- Arseniuro de Galio (Ga As)

└ estado del arte

└ mayor eficiencia (aprox. 16%)

└ mayor masa/quebradiza.

## - Baterías

- Níquel-Cadmio (Ni Cd)

└ convencionales

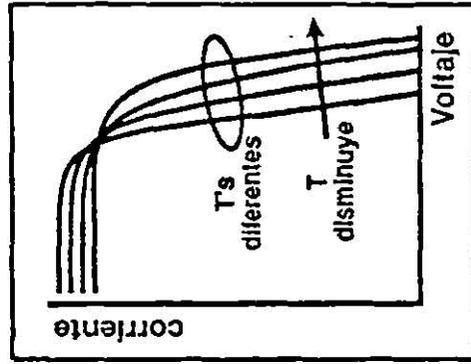
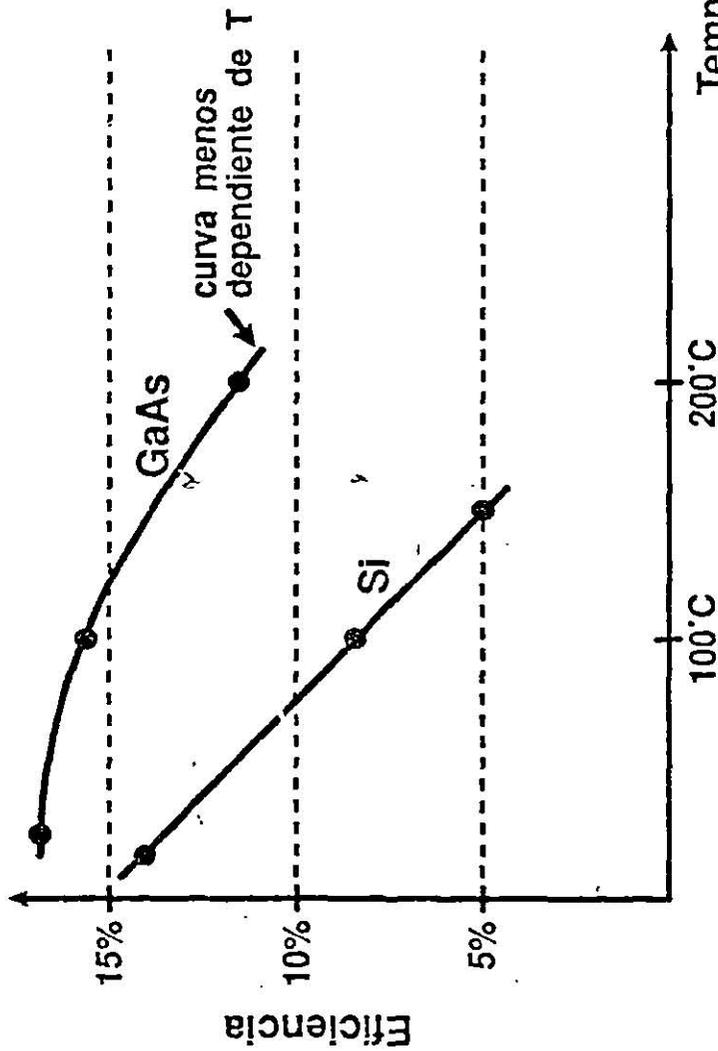
└ pesadas

- Níquel-Hidrógeno (NiH<sub>2</sub>)

└ estado del arte

└ doble eficiencia por kg.

# EFICIENCIA DE LAS CELDAS SOLARES



	Si	GaAs
voltaje de circuito abierto	≈ 0.6 V	≈ 1V
corriente de circuito cerrado	≈ 140 mA	≈ 100 mA

Para un determinado voltaje se requieren menos celdas de GaAs en serie



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 3

### 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 geostacionaria de tal forma que sea visto por las diferentes estaciones terrenas con una elevación superior a  $5^\circ$ , además no deberá haber otro satélite que utilice la misma frecuencia a  $2.5^\circ$  de separación.

#### NOTA

Uno de los motivos de cumplir esta condición superior a  $5^\circ$ , 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-Guyanas, 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 corneta de cobertura global. Esta misma corneta servirá de antena de recepción a 6 GHz.

SpotBeam = Domestica con un haz puntual; con una parábola.

Corneta = 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	$\Delta L_{\text{max}}$	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:

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

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

$$48^{\circ} 31' = 48.516^{\circ}$$

Aplicando la fórmula:

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

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

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

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

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

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

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°54'E y una  $\Delta L_{max}$  de 69°13'

$$\begin{aligned}3^{\circ} 54' + 69^{\circ} 13' &= 73^{\circ} 07' \text{ E} \\69^{\circ} 13' - 3^{\circ} 54' &= 65^{\circ} 19' \text{ W}\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}62^{\circ} 50' + 75^{\circ} 42' &= 138^{\circ} 32' \text{ W} \\62^{\circ} 50' - 75^{\circ} 42' &= 12^{\circ} 52' \text{ E}\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}61^{\circ} 35' + 75^{\circ} 49' &= 137^{\circ} 24' \text{ W} \\61^{\circ} 35' - 75^{\circ} 49' &= 14^{\circ} 14' \text{ E}\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}61^{\circ} 01' + 75^{\circ} 57' &= 136^{\circ} 58' \text{ W} \\61^{\circ} 01' - 75^{\circ} 57' &= 14^{\circ} 56' \text{ E}\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}52^{\circ} 18' + 76^{\circ} 21' &= 128^{\circ} 39' \text{ W} \\52^{\circ} 18' - 76^{\circ} 21' &= 24^{\circ} 03' \text{ E}\end{aligned}$$

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

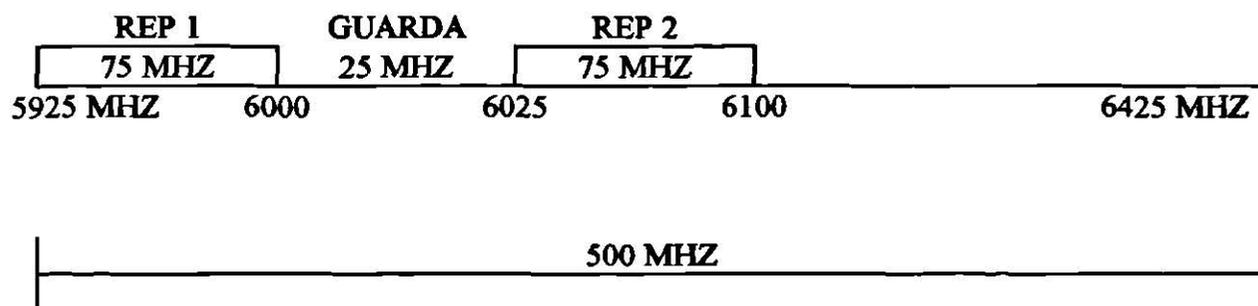
$$\begin{aligned}55^{\circ} 32' + 75^{\circ} 25' &= 130^{\circ} 57' \text{ E} \\55^{\circ} 32' - 75^{\circ} 25' &= 19^{\circ} 53' \text{ W}\end{aligned}$$

## SELECCIÓN DE FRECUENCIAS DE LOS REPETIDORES

La banda de frecuencias utilizada por los repetidores es de 5925 a 6425 MHz, es decir, trabajaran 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.



Ósea 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

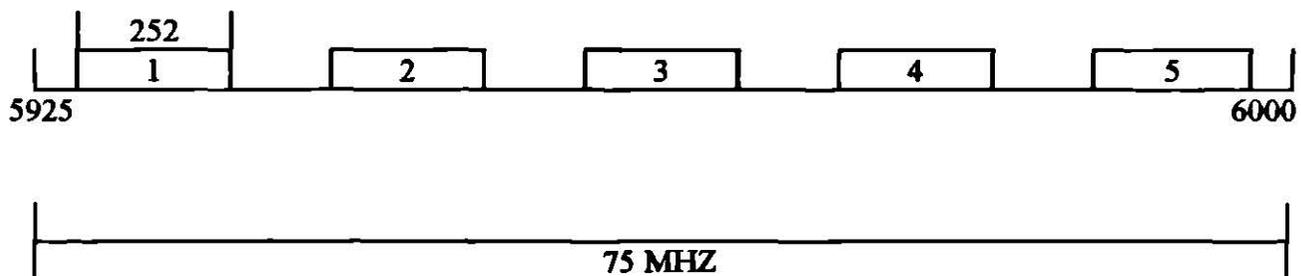
5 ranuras de 252 canales de voz cada una.

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 ).

$$\begin{aligned} 5\text{AB}252 + (2)(5)(0.1)\text{AB}252 &= 75\text{MHz} \\ \text{AB}252 + (10)(0.1)\text{AB}252 &= 75\text{MHz} \\ 5\text{AB}252 + 1\text{AB}252 &= 75\text{MHz} \\ 6\text{AB}252 &= 75\text{MHz} \\ \text{AB}252 &= (75/6) \text{ MHz} \\ \text{AB}252 &= 12.5\text{MHz} \end{aligned}$$

Guarda por canal =  $10\%AB = (0.1)(12.5) = 1.25$  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



$$AB96 = 30/4.8 = 6.25 \text{ MHz}$$

$$GUARDA = 10\% AB = (0.1) (6.25) = 0.625 \text{ MHz}$$

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**

$$6025 + 1.25 = 6026.25$$

$$6026.25 + 12.5 = 6038.75$$

$$6038.75 - 6.25 = 6032.5$$

**GUY - MAR**

$$6038.75 + 1.25 + 0.625 = 6040.62$$

$$6040.62 + 6.25 = 6046.87$$

$$6046.87 - 3.125 = 6043.75$$

**GUA - STB**

$$6046.87 + 0.625 + 0.625 = 6048.125$$

$$6048.12 + 6.25 = 6054.37$$

$$6054.37 - 3.125 = 6051.25$$

**FR - MAR**

$$6054.37 + 0.625 + 1.25 = 6056.25$$

$$6056.25 + 12.5 = 6068.75$$

$$6068.75 - 6.25 = 6062.5$$

**MAR - GUY**

$$6068.75 + 1.25 + 0.625 = 6070.62$$

$$6070.62 + 6.25 = 6076.87$$

$$6076.87 - 3.125 = 6073.75$$

**STB - GUA**

$$6076.87 + 0.625 + 0.625 = 6078.125$$

$$6078.12 + 6.25 = 6084.37$$

$$6084.37 - 3.125 = 6081.25$$

**FR - GUA**

$$6084.37 + 0.625 + 0.625 + 1.25 = 6086.25$$

$$6086.25 + 12.5 = 6098.75$$

$$6098.75 - 6.25 = 6092.5$$

$$6098.75 + 1.25 = 6100$$

**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

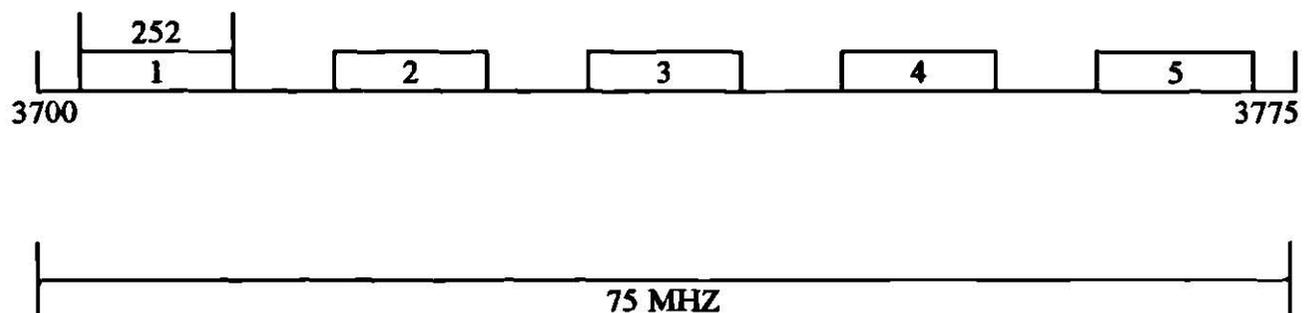
**ENLACE DOWN LINK PARA EL REP. 1**

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  
 REU - FR  
 FR - REU

**CARACTERISTICAS**  
 \* 5 enlaces de 252 canales de  
 \* Debemos considerar la última característica del enlace ascendente del REP. 1.  
 \* 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

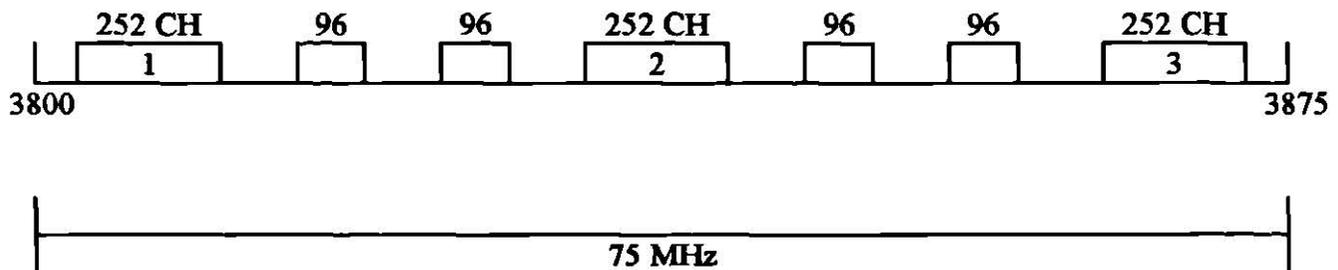
## ENLACE DOWN LINK PARA EL REP. 2

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

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

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**

$$3859.37 + 0.625 + 1.25 = 3861.25$$

$$3831.25 + 12.5 = 3873.75$$

$$3873.75 - 6.25 = 3867.5$$

$$3873.75 + 1.25 = 3875$$

**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

## BIBLIOGRAFIA

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

**Construya e Instale su propia Antena Parabólica**  
**3a. Edición Rodolfo Neri Vela / Bernardo Martínez Avalos**  
**Tuky S. A. de C. V.**  
**México 1992**

**Memorias de Curso : Comunicación Vía Satélite**  
**Ing. Fernando Estrada**  
**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**  
**U. A. N. L.**

**Telecomunicaciones de México**  
**Aretaga y Flores Magón**  
**Col. Fierro**  
**Monterrey, Nuevo León**

