

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



**COMUNICACION VIA SATELITE**

**TESINA**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**  
**ING. EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES**

**PRESENTA:**

**RAMON PABLO DENEGRI NIELSEN**

**ASESOR: ING. FERNANDO ESTRADA SALAZAR**

**CD. UNIVERSITARIA**

**NOVIEMBRE DE 1997.**

T  
TK51  
D46  
1997  
C.1

COMMERCIAL VISA SAFFELLE  
CORPORATION D.N.



1080096925

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
Y ELECTRICA



COMUNICACION VIA SATELITE

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
ING. EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES

PRESENTA:

RAMON PABLO DENEGRI NIELSEN

ÁSESOR: ING. FERNANDO ESTRADA SALAZAR

CD. UNIVERSITARIA

NOVIEMBRE DE 1997



T  
TK5104  
DLC  
1997



ASC-3	64 <sup>0</sup>	W	EE. UU./American Sat
ASC-4	64 <sup>0</sup>	W	EE. UU./American Sat
Brasilsat-1	65 <sup>0</sup>	W	Brasil
Spacenet-II	69 <sup>0</sup>	W	EE. UU./GTE-Spacenet
Brasilsat-2	70 <sup>0</sup>	W	Brasil
Satcom 2R	72 <sup>0</sup>	W	EE. UU./RCA Americom
Galaxy 2	74 <sup>0</sup>	W	EE. UU./Hughes Com
Satcol 1	75 <sup>0</sup>	W	Colombia
Comstar D4	76 <sup>0</sup>	W	EE. UU./Comsat General
TDRS C	79 <sup>0</sup>	W	EE. UU./NASA
Nahuel A	80 <sup>0</sup>	W	Argentina
Satcom 4	83 <sup>0</sup>	W	EE. UU./RCA Americom
STSC1	83 <sup>0</sup>	W	Cuba
ASC 2	83 <sup>0</sup>	W	EE. UU./American Sat
Nahuel B	85 <sup>0</sup>	W	Argentina
Telstar 302	85 <sup>0</sup>	W	EE. UU./AT&T
Spacenet III	87 <sup>0</sup>	W	EE. UU./GTE-Spacenet
Cóndor	89 <sup>0</sup>	W	Pacto Andino
Westar VI S	91 <sup>0</sup>	W	EE. UU./Western Union
Galaxy 3	93.5 <sup>0</sup>	W	EE. UU./Hughes Com
Telstar 301	96 <sup>0</sup>	W	EE. UU./AT&T
STSC 2	97 <sup>0</sup>	W	Cuba
Westar IV	99 <sup>0</sup>	W	EE. UU./Western Union
Anik D1	104.5 <sup>0</sup>	W	Canadá
Anik D2	111.5 <sup>0</sup>	W	Canadá
Morelos 1	113.5 <sup>0</sup>	W	México
AVSAT 3	114 <sup>0</sup>	W	EE. UU./Aeron, Radio
Morelos 2	116.5 <sup>0</sup>	W	México
Spacenet I	120 <sup>0</sup>	W	EE. UU./GTE-Spacenet
Galaxy 4	122 <sup>0</sup>	W	EE. UU./Hughes Com
Westar V	122.5 <sup>0</sup>	W	EE. UU./Western Union
Telstar 303	125 <sup>0</sup>	W	EE. UU./AT&T
ASC-1	128 <sup>0</sup>	W	EE. UU./American Sat
Satcom 3	131 <sup>0</sup>	W	EE. UU./RCA Americom
Galaxy 1	134 <sup>0</sup>	W	EE. UU./Hughes Com
Satcom 1R	139 <sup>0</sup>	W	EE. UU./RCA Americom
Aurora 1	143 <sup>0</sup>	W	EE. UU./Alascom
Westar VII	144 <sup>0</sup>	W	EE. UU./Western Union
Potok-3	168 <sup>0</sup>	W	URSS
TDRS B	171 <sup>0</sup>	W	EE. UU./NASA
Pacstar-2	175 <sup>0</sup>	W	Papúa Nueva Guinea
Finansat 1	178 <sup>0</sup>	W	EE. UU./Financial Sat.

# INDICE

## SECCION I

### TEORIA

#### CAPITULO 1

##### INTRODUCCION

- RESEÑA HISTORICA SOBRE LAS COMUNICACIONES 1-1
- CONSIDERACIONES SOBRE LOS MEDIOS DE COMUNICACION (PREVIOS A LOS SATELITES) 1-2
- RESUMEN 1-3

#### CAPITULO 2

##### HISTORIA DE LAS COMUNICACIONES POR SATELITE

- EL ORIGEN DE LOS SATELITES DE COMUNICACION 1-5
- BREVE HISTORIA DE LOS SATELITES DE COMUNICACION 1-5
- PRIMEROS SATELITES DE COMUNICACION 1-8
- SATELITES GEOESTACIONARIOS QUE OPERAN EN BANDA "C" 1-9
- SATELITES GEOESTACIONARIOS QUE OPERAN EN BANDA "Ku" 1-12

#### CAPITULO 3

##### CARACTERISTICAS DE LA SEÑAL DE SATELITE

- LA COMUNICACION VIA SATELITE UNA NECESIDAD 1-16
- VENTAJAS DE LA COMUNICACION VIA SATELITE 1-17
- CLASIFICACION DE LOS SATELITES 1-18

#### CAPITULO 4

##### CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE UN SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES POR SATELITES DE GRAN ALTURA GEOESTACIONARIOS (SINCRONICOS)

- PERIODO DE ORBITA 1-21
- ORBITA GEOESTACIONARIA 1-22
- AREA DE COBERTURA 1-22
- PERDIDAS DE TRASMISION Y ASIGNACION DE FRECUENCIAS 1-23
- CONCEPTOS GENERALES DEL SISTEMA 1-24

#### CAPITULO 5

##### DESCRIPCION A CUADROS DE UN SATELITE TIPICO

- EL INTELSAT III 1-26

#### CAPITULO 6

##### EL ENLACE: TIERRA - SATELITE - TIERRA

- CIRCUITO HIPOTETICO DE REFERENCIA 1-30

#### CAPITULO 7

##### ACCESO MULTIPLE

- DEFINICION Y CLASIFICACION 1-32
- VENTAJAS Y DESVENTAJAS RELATIVAS 1-33
- RUIDO DE INTERMODULACION 1-33

## SECCION II

### DISEÑO DE ENLACES DE COMUNICACION VIA SATELITE

## SECCION III

### APENDICE I: SATELITES SOLIDARIDAD

## SECCION IV

### APENDICE II: TABLAS Y GRAFICAS

**SECCION**



**teoría**

# CAPITULO I

## INTRODUCCION

### RESEÑA HISTORICA SOBRE LAS COMUNICACIONES.

Tal vez las comunicaciones a larga distancia tuvieron su origen hace muchísimo tiempo, cuando algún grupo de cazadores salió en persecución de una fiera de gran tamaño, la acorraló y, por fin, logró matarla a pedradas. Alguien encendió entonces una hoguera para avisar a las mujeres y los niños del campamento que la caza había concluido. O quizás golpeó con un garrote un tronco de árbol ahuecado, para llamarlos al festín.

La historia no registra el día en que el hombre aprendió a comunicarse, por la vista y el oído, a través de grandes distancias. Sin embargo, es indudable que ello era tan natural para el hombre primitivo como reconocer que el trueno o el relámpago anunciaban tormenta ...y también, la comunicación, era igualmente necesaria para que pudiera sobrevivir.

La capacidad de comunicarse con el vecino amplió el horizonte y los conocimientos del hombre. Por medio de las señales se podía advertir acerca de algún peligro que se aproximara, indicar dónde podía encontrar alimento, pedir auxilio y suministrar un faro a los perdidos. Mientras mayor fuese la distancia a que se pudieran ver o escuchar las señales, más útiles resultaban.

Así, en el transcurso de las eras, sucedieron a los troncos de árbol los tambores, los bongós y, más tarde, el cañón. Al fuego sucedieron las señales de humo, al brillo de espejos, el semáforo de lámpara y el cohete de señales.

Hasta el Siglo XIX el correo era lo que imperaba. A pie, a caballo o en barco, era quien llevaba los mensajes a larga distancia. Porque los sistemas de señales tal como se conocían entonces, se limitaban al alcance del oído o de la vista.

Pero todo cambió en forma un tanto rápida. La tecnología se adelantó al correo. Samuel Morse, norteamericano, inventó *el telégrafo* en 1837. Alejandro Graham Bell, fué el iniciador de la era de la transmisión de la voz, en 1876, con *el teléfono*. Guillermo Marconi siguió en 1895 con *la radio* y en 1901 logró que las primeras señales de *radiotelegrafía* atravesaran el Atlántico.

La primera voz cruzó los mares en 1915. Con la ayuda de la Marina de Guerra de los Estados Unidos, el Sistema Telefónico Bell hizo ese año ensayos venturosos con una conexión de radio y teléfono entre Honolulu, Washington, D.C. y París.

*El servicio comercial de radioteléfono* se estableció en 1927 entre Europa y América y no tardó en extenderse a la América Latina y al Lejano Oriente.

El radioteléfono podía viajar en torno del mundo, pero tenía defectos, principalmente en la recepción a causa de las condiciones atmosféricas. La respuesta parecía hallarse en un cable submarino. Sin embargo, fué necesario un adelanto tecnológico para instalar en el cable pequeños repetidores suficientemente dignos de confianza para que duraran 20 años sin requerir atención. Repetidores que retransmitieran las señales sonoras por cables submarinos a través de varios miles de kilómetros. Tal cosa se logró por fin en 1956 al tender los Estados Unidos un cable telefónico entre Terranova y Escocia, en colaboración con Canadá y Gran Bretaña. Al poco tiempo se tendieron cables a Alaska, a Hawai y el Japón, a las Antillas y a Europa Continental.

En 1927, primer año de servicio comercial entre los Estados Unidos y Europa, hubo 11,000 llamadas transoceánicas. En 1961, el volúmen había aumentando a más de 4 millones de llamadas, y el aumento prosigue a razón de cerca del 20 porciento al año.

Surgen nuevas naciones, la población va en aumento, las barreras comerciales caen y el comercio internacional se encuentra en ascenso. Se hace inevitable la transmisión de televisión intercontinental y de datos de computadoras de alta velocidad. En todo el horizonte se observa la imperiosa necesidad de mas canales de comunicación.

Ello ha provocado la expansión de los sistemas clásicos de comunicaciones el ámbito espacial.

### CONSIDERACIONES SOBRE LOS MEDIOS DE COMUNICACION (PREVIOS A LOS SATELITES).

El extraordinario incremento de las necesidades de canales en las telecomunicaciones mundiales, urgió al hombre durante las últimas décadas, a crear nuevos métodos y sistemas de comunicación, capaces de incrementar la cantidad de información transmitida en forma segura, eficiente, y en lo posible, con una rentabilidad superior.

Podemos dividir los sistemas de operatividad intercontinental en dos grupos:

- a).- Enlaces radioeléctricos: ONDA CORTA Y MICROONDAS
- b).- Enlaces por LINEA FISICA

Consideremos primero la radiocomunicación por onda corta, que solo puede proporcionar un número limitado de canales, debido a la estrechez del espectro utilizable y que en la actualidad ya está saturado, decreciendo rápidamente su capacidad de absorción. Además, estos enlaces están afectados por factores aleatorios.

ya que dependen de la ionósfera, la cual esencialmente es irregular y cambiante introduciendo en consecuencia un importante porcentaje de incertidumbre. También debemos considerar que admiten interferencias y bloqueo como asimismo la presencia de un importante nivel de ruido.

Dentro de los medios radioeléctricos debemos considerar los enlaces por microondas que si bien es cierto constituyen un medio de gran confiabilidad y capaz de manejar muchos canales, no es factible su empleo en enlaces intercontinentales por la imposibilidad de instalar repetidores con las características que ellos exigen, en medio de los océanos. Eliminada esta dificultad, económicamente son convenientes.

Los enlaces nombrados en segundo término (línea física), son los cables submarinos de banda ancha, muy seguros, que resultan un sistema eficaz, pero una solución parcial entre Estados Unidos y Europa, con derivaciones en Alaska, Hawai y otros lugares. La extensión de este medio es solo una función del costo y del tiempo, resultando casi imposible prolongarlos al Africa, Asia y otros puntos.

Del análisis efectuado surge una tercer alternativa como solución del problema planteado y consiste en establecer las comunicaciones mediante el uso de objetos situados fuera de la tierra y más allá aún de la misma atmósfera. Dichos objetos, conocidos con el nombre de *satélites*, permiten la accesibilidad de las comunicaciones a cualquier parte de globo terrestre.

La utilización de satélites, ya sea reflectores o relevadores radioeléctricos, hace factible el uso de las microondas con las ventajas inherentes a las mismas, en cuanto a capacidad y confiabilidad, entre dos puntos situados sobre la superficie terrestre, agregándose a esto la ventaja que significa la necesidad de poseer sólo una estación terrena en una determinada zona, para enlazar ésta, a través del satélite, con cualquier otro centro productor de tráfico que posea igual facilidad, aún cuando el mismo esté situado a distancias considerablemente grandes. El costo de explotación de un canal resulta independiente de la distancia existente entre dos estaciones terrenas que estén dentro de la zona "iluminada", o sea la zona de acción de un mismo satélite.

**NOTA:** Debemos considerar que dentro del concepto de "línea física" queda incluida la *fibra óptica* la cual representa una alternativa más para la comunicación intercontinental presentando ciertas ventajas, (aunque también algunas limitaciones). El tema de fibras ópticas queda fuera del objetivo del presente trabajo por lo que recomendamos recurrir a otras fuentes para su estudio y comparación con otros medios.

## **RESUMEN.**

La historia de las telecomunicaciones es el reflejo de una gran aventura humana. Presentamos un resumen de las fechas particularmente más importantes:

**1837.** Samuel Morse inventa un sistema de transmisión codificada para las letras del alfabeto, lo que luego repercute en la invención del *telégrafo*.

**1858.** A costa de un considerable esfuerzo técnico y financiero, un cable (un alambre sencillo aislado) fué colocado a través del Atlántico y permitió la transmisión intercontinental de telegrafía (muy lenta!). Después de un mes, un defecto en el aislamiento interrumpió el sistema. Otro cable fué instalado en 1886.

**1870.** Un enlace telegráfico alámbrico (por cable aéreo y sub-marino) fué instalado entre Londres y Calcutta (11,000 Km).

**1876.** Alejandro Graham Bell solicita una patente (unas cuantas horas antes que Elisha Gray) concerniente a un método eléctrico de transmisión de sonidos por medio de una resistencia variable marcando el inicio del invento del *teléfono*.

**1901.** Guillermo Marconi transmite un *telegrama* mediante *ondas de radio* a través del Atlántico.

**1907.** Lee de Forest inventa la *válvula triodo*.

**1927.** Primer enlace *telefónico transatlántico* mediante onda corta.

**1938.** La *modulación PCM*, inventada por Alec Reeves, permite la representación digital de información analógica. Sin embargo, la tecnología es aún muy pobre para desarrollar su aplicación práctica.

**1948.** Se inventa el *transistor*.

**1956.** Casi un siglo después que su precursor telegráfico, el primer *cable telefónico transatlántico* (con 51 repetidores submarinos) es puesto en servicio.

**1962.** Un tercer tipo de enlace transatlántico es agregado a los de cable y onda corta: el *satélite activo* "Telstar I" de órbita baja, permitiendo la primer transmisión de *televisión transatlántica*.

**1965.** Primer *satélite geoestacionario*: el Intelsat I ("Early Bird").

**1969.** *Transmisión directa* de los primeros pasos del hombre en la *Luna*.

**1980.** Una "*sonda*" *espacial* transmite fotografías de Júpiter y Saturno.

fuelle: TELECOMMUNICATION SYSTEMS  
Pierre-Girard Fontolliet  
Artech House, Inc.

## **CAPITULO 2**

### **HISTORIA DE LAS COMUNICACIONES POR SATELITE**

#### **EL ORIGEN DE LOS SATELITES DE COMUNICACIONES**

La mayoría de los expertos dan crédito a Artur C. Clarke, famoso escritor británico de ciencia ficción y autor de "2001: Space Odyssey", por su original idea de los satélites de comunicaciones geoestacionarios. En 1945 Clarke concluyó que un satélite con órbita circular, ecuatorial y con un radio aproximado de 42242 Km. debería tener una velocidad angular igual a la de la tierra. Esto haría "ver" al satélite como un punto fijo en el espacio con respecto a un observador en la tierra y el satélite podría recibir y retransmitir señales desde casi cualquier punto del hemisferio. Con tres satélites espaciados entre sí 120 grados se podría cubrir prácticamente todo el globo, ya que Clarke consideró la posibilidad de que las señales pudieran ser retransmitidas entre satélites.

Como generalmente sucede con los autores de ciencia ficción, Clarke tuvo su idea fuera de tiempo, y no fué sino hasta 1957, cuando la tecnología de los choetes estuvo disponible, que Rusia lanzó el Sputnik I, (Oct 4 de 1957).

#### **BREVE HISTORIA DE LOS SATELITES DE COMUNICACIONES**

Las reflexiones en la luna aplicando las técnicas de radar fueron repetidamente demostradas en los finales de los 40's e inicios de los 50's. En Julio de 1954, el primer mensaje de voz fue transmitido por la Marina de Estados Unidos, mediante el trayecto tierra-luna. En 1956 un servicio relevador lunar de la Marina de E. U., fué establecido entre Washington D.C. y Hawai. El circuito operó hasta 1962, ofreciendo una comunicación de larga distancia digna de confianza limitada solamente por la "disponibilidad" de la Luna en los sitios de transmisión y recepción. La potencia usada fué de 100 Kw, con antenas de 26 mts. de diámetro a 430 MHz.

Un globo metalizado puesto en órbita por un cohete, puede ser usado como un reflector de ondas electromagnéticas generadas por un transmisor terrestre. Parte de energía puede ser recogida por estaciones receptoras en algún punto sobre la tierra, desde el cual el globo es visible, obteniendo de este modo un sistema pasivo de comunicación por satélite.

A través de la acción conjunta de los laboratorios Bell, la NASA y la JET Propulsion, el proyecto "ECHO" fue realizado.

El satélite cuya forma era un globo, tenía un diámetro de 30 mts. y estaba cubierto de nylon con lámina de aluminio. Su órbita era circular inclinada y de altitud de cerca de 1500 Km. En 1960 se logró la transmisión de telefonía., gracias al sistema de FM en la banda de radiofrecuencias de 960 MHz y 2290 MHz; mediante la cual se investigaron sus propiedades.

Aunque los satélites pasivos tienen capacidad infinita para comunicaciones de acceso múltiple, son gravemente obstaculizados por el uso ineficiente de la potencia transmitida. En el experimento "ECHO", por ejemplo, solamente una parte en  $10^{18}$  de la potencia transmitida (10 Kw) es retornada a la antena receptora. Puesto que la señal se ve afectada por el ruido que llega desde varias fuentes, para compensar esto, se debe utilizar en el receptor un amplificador de bajo ruido.

La ventaja de los satélites pasivos, es que no requieren equipo electrónico sofisticado a bordo. Se usa para rastreo, un radio-faro, pero en general no es necesaria electrónica complicada. Tal simplicidad, más la carencia de electrónica espacial en los fines de los 50's, hizo interesante el sistema pasivo en los primeros años de la comunicación por satélite. Una vez que en corto tiempo la electrónica espacial llega a estar disponible los sistemas pasivos fueron reemplazados por los sistemas activos.

El lanzamiento del Sputnik I en 1957 fue seguido por la "carrera espacial" y esto fue reflejado con el lanzamiento del SCORE (Signal Communicating by Orbiting Relay Equipment) por la Fuerza Aérea de los Estados Unidos en Diciembre 18 de 1958. El SCORE fue colocado en una órbita elíptica baja con un perigeo de 182 Km y un apogeo de 1048 Km. y un período de 101 minutos. Su modo normal de operación consistía en grabar el mensaje enviado desde la tierra mientras pasaba sobre una estación terrena (transmisora) y retransmitirlo cuando lo requería otra estación terrena (la receptora). La "longitud" máxima del mensaje era de 4 minutos y su capacidad era de un canal de voz ó 70 canales de teletipo de 60 palabras por minuto recibiendo señales desde las estaciones terrenas a 150 MHz y retransmitiéndolas a 132 MHz.

El equipo de comunicaciones estuvo energizado con baterías. Después de 12 días de operación estaban completamente descargadas y se detuvo la transmisión.

Después de indagar por primera vez en el espacio con los satélites "SPUTNIK", "EXPLORER" y "VANGUARDIA", incluyendo los proyectos "SCORE" y "COURIER" el mayor paso experimental en tecnología de satélites de comunicación activos, se realiza con los proyectos "TELSTAR", "RELAY", y el "SYNCOM".

El proyecto "TELSTAR" es el más conocido de los anteriores probablemente porque fué el único capaz de retransmitir programas de T.V. a través del Atlántico. El primer "TELSTAR", se lanzó desde Cabo Cañaveral el 10 de Julio de 1962. Era una esfera de aproximadamente 87 cm. de diámetro pesando 80 Kg. El vehículo utilizado de lanzamiento fue un cohete Thor-Delta el cual situó al satélite en una órbita elíptica con un apogeo de 5,600 Km con un período de 2.5 horas.

El "TELSTAR II" se construyó con una mayor resistencia a la radiación, pero por lo demás fué idéntico a su predecesor. Se lanzó el 7 de Mayo 1963.

La potencia de transmisión de los "TELSTAR" I y II era de 2.25 watts proporcionada por un tubo de ondas progresivas (TWT) con un ancho de banda de 50 MHz. a 6 y 4 GHz. Ambos fueron de estabilidad por giro. La capacidad de comunicación era de 600 canales telefónicos ó un canal de T. V.

El "TELSTAR" se diseñó como un experimento y no fué destinado para operación comercial. Entre otras cosas, la órbita usada hizo al satélite "visible" solamente por períodos breves. Un proyecto con objetivos similares, el proyecto "RELAY" fué desarrollado por Radio-Corporation of America, bajo contrato con la NASA, siendo igualmente exitoso.

Los E. U. han desempeñado un papel muy importante desde el principio en cuanto se refiere al campo de la comunicación por satélite, pero la URSS también lanzó en Mayo de 1965 su primer satélite de comunicación: "MOLNIYA" de órbita elíptica con un apogeo de 39152 Km. y un período de 11 Hrs. con 38 minutos.

El primer satélite comercial geoestacionario fué el "INTELSAT" I desarrollado por Comsat para Intelsat. Lanzado en Abril 6 de 1965 permaneció activo hasta 1969. Su rutina de operación entre Estados Unidos y Europa empezó en Junio 28 de 1965. Operó con dos transponders de 25 MHz de ancho de banda con su portadora ascendente centrada en 6301 MHz para Europa y 6390 MHz para Estados Unidos. Las frecuencias descendentes eran 4081 MHz para Estados Unidos y 4161 MHz para Europa.

TABLA 1.1

PRIMEROS SATELITES EXPERIMENTALES Y COMERCIALES DE  
COMINICACIONES

NOMBRE	Fecha de lanzamiento	Altitud de la órbita inicial (Kilómetros)	Servicios
Score	Diciembre 18, 1958	182 a 1048	Voz y telegrafía, repetición de señales con demora y transmisión de mensajes grabados
Courier I-A	Agosto 18, 1960	No entró en órbita explotó el vehículo	
Courier I-B	Octubre 4, 1960	943 a 1234	Voz, telégrafo y telefoto, inclusive la transmisión de voz a Puerto Rico
Telstar I	Julio 10, 1962	954 a 5638	Televisión, voz, telégrafo, datos y telefoto, inclusive transmisiones entre los Estados Unidos y Europa Occidental y Sud América y entre los Estados Unidos y Japón
Relay I	Diciembre 3, 1962	1318 a 7422	
Syncom I	Febrero 13, 1963	34227 a 36973	
Telstar II	Mayo 7, 1963	972 a 10803	Similar al Telstar I
Syncom II	Julio 26, 1963	35792 a 35804	Voz, telégrafo, datos, y telefoto inclusive transmisiones entre los Estados Unidos, Europa Occidental y Africa
Relay II	Enero 21, 1964	2132 a 7403	Similar a Relay I
Syncom III	Agosto 19, 1964	35781 a 35798	Voz, televisión
Early Bird	Abril 6, 1965	35787 a 35796	Similar a Sycom III (Comercial entre E. U. y Europa)
Molniya I	Abril 23, 1965	497 a 39380	Televisión, voz, telegrafía

El número de sistemas de comunicaciones operando y proyectados a futuro crece tan rápidamente que es difícil resumirlos en un listado, de hecho en la actualidad hay gran diversidad de satélites orbitando la tierra prestando diferentes servicios, por ejemplo, comunicaciones, observaciones meteorológicas, experimentación, vigilancia, etc.

En las tablas 1.2 "A" y 1.2 "B" se proporciona una relación de los satélites GEOESTACIONARIOS de COMUNICACIONES en las llamadas Banda C y Banda Ku en 1989. (Tomada de la obra del ING. RODOLFO NERI VELA: "Satélites de Comunicaciones").

TABLA 1.2 A

## SATELITES GEOESTACIONARIOS QUE OPERAN EN BANDA "C"

NOMBRE	POSICION (LONGITUD GEOGRAFICA)		PROPIETARIO
F-Sat I	7 <sup>0</sup>	E	Francia
Statsionar-18	8 <sup>0</sup>	E	URSS
Nat-Sat 3	14 <sup>0</sup>	E	Nigeria
AMS-1	15 <sup>0</sup>	E	Israel
Nat-Sat 2	16 <sup>0</sup>	E	Nigeria
Arabsat-1A	19 <sup>0</sup>	E	Liga de Países Arabes
Nat-Sar 1	20 <sup>0</sup>	E	Nigeria
Arasat-1B	26 <sup>0</sup>	E	Liga de Países Arabes
Raduga-17	35 <sup>0</sup>	E	URSS
Raduga-19	45 <sup>0</sup>	E	URSS
More 53	53 <sup>0</sup>	E	URSS
Intelsat VI	57 <sup>0</sup>	E	Intelsat
Intelsat VA-F2	60 <sup>0</sup>	E	Intelsat
Intelsat V-F5	63 <sup>0</sup>	E	Intelsat
Intelsat VI-2	63 <sup>0</sup>	E	Intelsat
Inmarsat-2 F3	64.5 <sup>0</sup>	E	Inmarsat
Intelsat V-F3	66 <sup>0</sup>	E	Intelsat
STW-2	70 <sup>0</sup>	E	China
Marisat-F2	72.5 <sup>0</sup>	E	Inmarsat
Insat-1B	74 <sup>0</sup>	E	India
Gorizont-9	75.7 <sup>0</sup>	E	URSS
Statsionar-13	80 <sup>0</sup>	E	URSS
Potok-2	80 <sup>0</sup>	E	URSS
Insat-IIA	83 <sup>0</sup>	E	India
Raduga 20	85 <sup>0</sup>	E	URSS
Chinasat-1	87.5 <sup>0</sup>	E	China
More-90	90 <sup>0</sup>	E	URSS
Gorizont-13	90 <sup>0</sup>	E	URSS
Insat-IC	93.5 <sup>0</sup>	E	India
Insat-IIB	93.5 <sup>0</sup>	E	India
Statsionar-14	95 <sup>0</sup>	E	URSS
Chinasat-3	98 <sup>0</sup>	E	China
Ekrán 16 y 17	99 <sup>0</sup>	E	URSS
Palapa B1	108 <sup>0</sup>	E	Indonesia

Chinasat-2	110.5 <sup>0</sup>	E	China
Palapa B2P	113 <sup>0</sup>	E	Indonesia
Palapa B3	118 <sup>0</sup>	E	Indonesia
STW-1	125 <sup>0</sup>	E	China
Statsionar-15	128 <sup>0</sup>	E	URSS
Raduga-21	128 <sup>0</sup>	E	URSS
CS-2A	132 <sup>0</sup>	E	Japón
CS-2B	136 <sup>0</sup>	E	Japón
More-140	140 <sup>0</sup>	E	URSS
Gorizont-14	140 <sup>0</sup>	E	URSS
Statsionar-16	145 <sup>0</sup>	E	URSS
Pacstar-1	167.5 <sup>0</sup>	E	Papúa-Nueva Guinea
Intelsat V-F1	174 <sup>0</sup>	E	Intelsat
Marisat-F3	176.5 <sup>0</sup>	E	Inmarsat
Intelsat IVA-F3	177 <sup>0</sup>	E	Intelsat
Marecs A	178 <sup>0</sup>	E	Inmarsat
Intelsat V-F8	180 <sup>0</sup>	E	Intelsat
Intelsat V-F2	1 <sup>0</sup>	W	Intelsat
Telecom IC	3 <sup>0</sup>	W	Francia
Telecom IB	5 <sup>0</sup>	W	Francia
Telecom IIA	8 <sup>0</sup>	W	Francia
Telecom IA	8 <sup>0</sup>	W	Francia
Statsionar-11	11 <sup>0</sup>	W	URSS
Potok-1	13.5 <sup>0</sup>	W	URSS
Gorizont-12	14 <sup>0</sup>	W	URSS
More-14	14 <sup>0</sup>	W	URSS
Marisat F1	15 <sup>0</sup>	W	Inmarsat
Inmarsat-2 F1	15 <sup>0</sup>	W	Inmarsat
Intelsat V-F6	18 <sup>0</sup>	W	Intelsat
Intelsat IVA-F4	21.5 <sup>0</sup>	W	Intelsat
Avsat 1	22 <sup>0</sup>	W	EE.UU./Aeron. Radio
Intelsat VA-F10	24.5 <sup>0</sup>	W	Intelsat
Raduga-18	25 <sup>0</sup>	W	URSS
Inmarsat-2 F2	26 <sup>0</sup>	W	Inmarsat
Marecs B2	26 <sup>0</sup>	W	Inmarsat
Statsionar-17	26.5 <sup>0</sup>	W	URSS
Intelsat VA-F11	27.5 <sup>0</sup>	W	Intelsat
Intelsat V-F4	34.5 <sup>0</sup>	W	Intelsat
TDRS A	41 <sup>0</sup>	W	EE.UU./NASA
PAS 1	45 <sup>0</sup>	W	EE.UU./PamAmSat
Finansat 2	48 <sup>0</sup>	W	EE. UU./Financial Sat
Intensal V-F3	53 <sup>0</sup>	W	Intelsat
PAS	57 <sup>0</sup>	W	EE. UU./PamAmSat
Avsat 2	58 <sup>0</sup>	W	EE. UU./Aeron Radio
Satcom 6	62 <sup>0</sup>	W	EE. UU./GE Americom

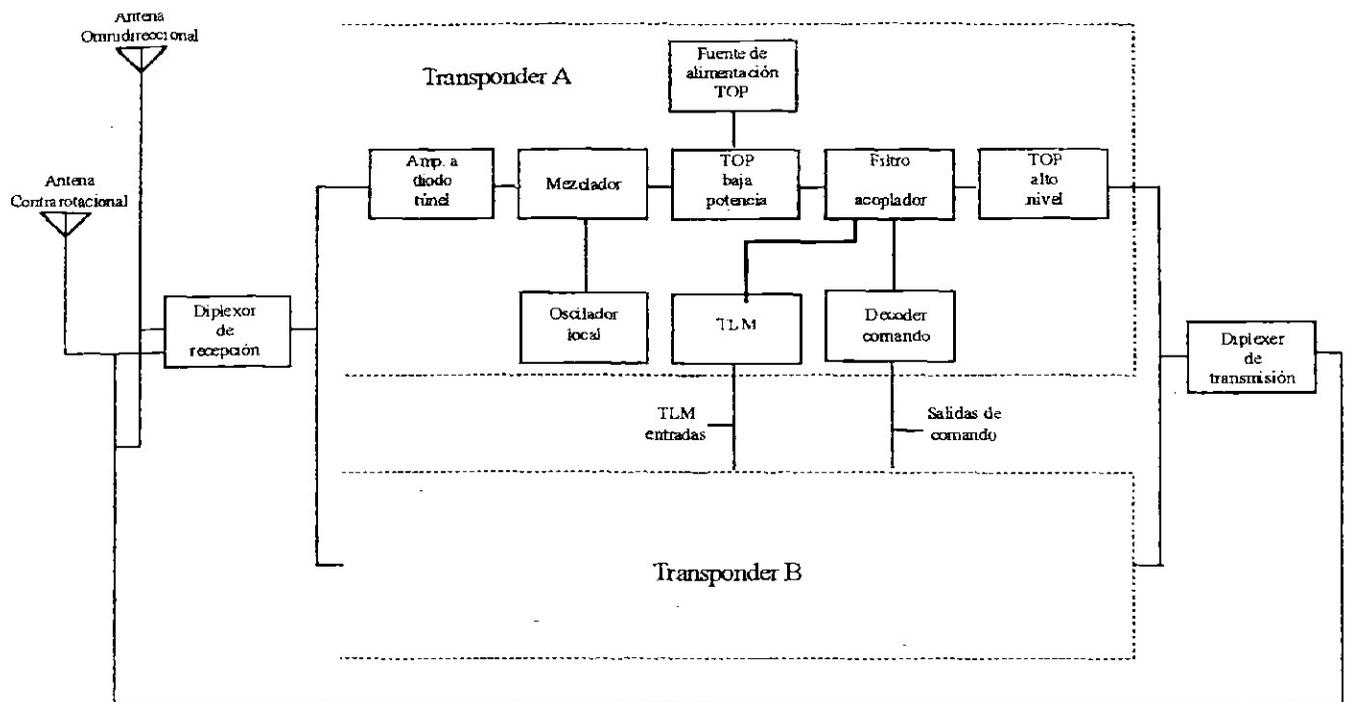


Figura No. 5.1

### a) ANTENA

Las señales de comunicaciones enviadas desde la estación terrena en frecuencia del orden de los 6 GHz. son recibidas por la antena contrarrotacional (este sistema de antena permite mayor estabilidad al satélite) y pasadas al diplexor de recepción.

Debemos aclarar aquí, que el satélite Intelsat III fué un satélite de cuerpo cilíndrico estabilizado por giro (semejante a los Morelos mexicanos) lo que consecuentemente obliga a utilizar una antena contrarrotacional, con giro contrario al del satélite para poderla orientar. Aunque estamos describiendo al Intelsat III, el diagrama es válido, como se mencionó anteriormente, para un satélite cualquiera de los actuales solo con la consideración, en este punto, de que la antena no sería contrarrotacional para un modelo de cuerpo cúbico con aletas donde solo nos referiríamos a la antena como la "antena de comunicaciones" para diferenciarla de la de monitoreo (la omnidireccional).

### b) DIPLEXER DE RECEPCION

En el diplexor de recepción son separadas las diferentes bandas (o portadoras) de comunicación para ser alimentadas a su respectivo transponder o canal., (ver mas adelante "acceso múltiple").

TABLA 1.2 B

SATELITES GEOESTACIONARIOS QUE OPERAN EN LA BANDA  
"Ku"

NOMBRE	POSICION (LONGITUD GEOGRAFICA)		PROPIETARIO
Eutelsat II-2	3 <sup>0</sup>	E	Eutelsat
Telecom 1C	3 <sup>0</sup>	E	Francia
Tele-X	5 <sup>0</sup>	E	Naciones Nórdicas
Eutelsat I-4	7 <sup>0</sup>	E	Eutelsat
Telecom IB	8.5 <sup>0</sup>	E	Francia
Eutelsat I-4	10 <sup>0</sup>	E	Eutelsat
Eutelsat I-1	13 <sup>0</sup>	E	Eutelsat
Zenon-B	15 <sup>0</sup>	E	Francia
AMS-1	15 <sup>0</sup>	E	Israel
Sicral 1A	16 <sup>0</sup>	E	Italia
Eutelsat I-5	16 <sup>0</sup>	E	Eutelsat
SABS	17 <sup>0</sup>	E	Arabia Saudita
Zenon-C	19 <sup>0</sup>	E	Francia
SES-Astra 1	19 <sup>0</sup>	E	Luxemburgo
Eutelsat II-3	19 <sup>0</sup>	E	Eutelsat
DFS-1	23.5 <sup>0</sup>	E	Alemania Occidental
DFS-2	28.5 <sup>0</sup>	E	Alemania Occidental
Videosat	32 <sup>0</sup>	E	Francia
Eutelsat II-1	36 <sup>0</sup>	E	Eutelsat
Paksat 1	38 <sup>0</sup>	E	Pakistán
Paksat 2	41 <sup>0</sup>	E	Pakistán
Loutch 2	53 <sup>0</sup>	E	URSS
Intelsat VI	57 <sup>0</sup>	E	Intelsat
Intelsat VI-1	60 <sup>0</sup>	E	Intelsat
Intelsat VA-F12	60 <sup>0</sup>	E	Intelsat
Intelsat V-F5	63 <sup>0</sup>	E	Intelsat
Intelsat VI-2	63 <sup>0</sup>	E	Intelsat
CBSS-1	65 <sup>0</sup>	E	China
Intelsat V-F7	66 <sup>0</sup>	E	Intelsat
Celestar-2	70 <sup>0</sup>	E	EE. UU./McCaw
Gorizont-9	75.7 <sup>0</sup>	E	URSS
CBSS-2	80 <sup>0</sup>	E	China
Loutch 3	90 <sup>0</sup>	E	URSS
Gorizont-13	90 <sup>0</sup>	E	URSS
CBSS-3	92 <sup>0</sup>	E	China

BS-3	110 <sup>0</sup>	E	Japón
SCC 1.	124 <sup>0</sup>	E	Japón
SCC 2	128 <sup>0</sup>	E	Japón
Gorizont-14	140 <sup>0</sup>	E	URSS
JCS-1	150 <sup>0</sup>	E	Japón
JCS-2	154 <sup>0</sup>	E	Japón
Aussat-1	156 <sup>0</sup>	E	Australia
Aussat-2	160 <sup>0</sup>	E	Australia
Aussat-3	164 <sup>0</sup>	E	Australia
Pacstar-1	167.5 <sup>0</sup>	E	Papúa-Nueva Guinea
Celestar-1	170 <sup>0</sup>	E	EE. UU./McCaw
Intesat V-F1	174 <sup>0</sup>	E	Intelsat
Intelsat V-F8	180 <sup>0</sup>	E	Intelsat
Intelsat V-F2	1 <sup>0</sup>	W	Intelsat
Telecom 1C	3 <sup>0</sup>	W	Francia
Telecom 1B	5 <sup>0</sup>	W	Francia
Zenon-A	8 <sup>0</sup>	W	Francia
Telecom 1A	8 <sup>0</sup>	W	Francia
Telecom 2-A	8 <sup>0</sup>	W	Francia
F-Sat-2	11 <sup>0</sup>	W	Francia
Loutch 1	14 <sup>0</sup>	W	URSS
Gorizont-12	14 <sup>0</sup>	W	URSS
Intelsat V-F6	18 <sup>0</sup>	W	Intelsat
TV-Sat 1	19 <sup>0</sup>	W	Alemania Occidental
Helvesat	19 <sup>0</sup>	W	Suiza
TDF-1	19 <sup>0</sup>	W	Francia
Olympus 1	19 <sup>0</sup>	W	Agencia Europea Espacial
Sarit	19 <sup>0</sup>	W	Italia
Intelsat VA-F10	24.5 <sup>0</sup>	W	Intelsat
Intelsat VA-F11	27.5 <sup>0</sup>	W	Intelsat
Eiresat-1 (Atlantic Satellite)	31 <sup>0</sup>	W	Irlanda
BSB	31 <sup>0</sup>	W	Reino Unido
Hispasat	31 <sup>0</sup>	W	España
Intelsat V-F4	34.5 <sup>0</sup>	W	Intelsat
Orion-1	37.5 <sup>0</sup>	W	EE. UU./Orion Sat Corp.
PAS 1	45 <sup>0</sup>	W	EE. UU./PanAmSat
Brasil-Sat C	45 <sup>0</sup>	W	Brasil
Intelsat V-F3	53 <sup>0</sup>	W	Intelsat
ISI-1	56 <sup>0</sup>	W	EE. UU./Int. Sat. Inc.
SBS-6	62 <sup>0</sup>	W	EE. UU./IBM
Brasil-Sat B	64 <sup>0</sup>	W	Brasil
ASC-3	64 <sup>0</sup>	W	EE. UU./American Sat
Spacenet II	69 <sup>0</sup>	W	EE. UU./GTE-Spacenet
Canadá BSS1	70.5 <sup>0</sup>	W	Canadá
Galaxy K1	71 <sup>0</sup>	W	EE. UU./Hughes Comm Inc.

Uruguay-Sat	71.5 <sup>0</sup>	W	Uruguay
Westar A	73 <sup>0</sup>	W	EE. UU./Western Union
Sat Mobile 2	75 <sup>0</sup>	W	EE. UU./Sat Mobile Co.
Expresstar B	77 <sup>0</sup>	W	EE. UU./Federal Express
Nahuel A	80 <sup>0</sup>	W	Argentina
Satcom K2	81 <sup>0</sup>	W	EE. UU./GE Americom
Brasil-Sat A	81 <sup>0</sup>	W	Brasil
ASC-2	8 <sup>0</sup>	W	EE. UU./Am. Sat. Corp.
Satcom K1	85 <sup>0</sup>	W	EE. UU./GE Americom
Nahuel B	85 <sup>0</sup>	W	Argentina
Perú-Sat	86 <sup>0</sup>	W	Perú
Spacenet III	87 <sup>0</sup>	W	EE. UU./GTE-Spacenet
Cuba-Sat	89 <sup>0</sup>	W	Cuba
SBS-4	91 <sup>0</sup>	W	EE. UU./IBM
Canadá-BSS2	91 <sup>0</sup>	W	Canadá
Caribe-Sat	92.5 <sup>0</sup>	W	Países del Caribe
Ecuador-Sat	95 <sup>0</sup>	W	Ecuador
SBS-3	95 <sup>0</sup>	W	EE. UU/MCI
Bermudas-Sat	96 <sup>0</sup>	W	Bermudas
SBS-2	97 <sup>0</sup>	W	EE. UU./Comsat General
SBS-1	99 <sup>0</sup>	W	EE. UU./Comsat General
Gstar IV	99 <sup>0</sup>	W	EE. UU./GTE-Spacenet
Paraguay-Sat	99 <sup>0</sup>	W	Paraguay
Galaxy BSS1	101 <sup>0</sup>	W	EE. UU./Hughes Com.
Gstar I	103 <sup>0</sup>	W	EE. UU./GTE Spacenet
Colombia-Sat	103 <sup>0</sup>	W	Colombia
Venezuela-Sat	104 <sup>0</sup>	W	Venezuela
Gstar II	105 <sup>0</sup>	W	EE. UU./GTE-Spacenet
Chile-Sat	106 <sup>0</sup>	W	Chile
M-Sat	106.5 <sup>0</sup>	W	Canadá
Anik E1	107.5 <sup>0</sup>	W	Canadá
Anik C1	107.5 <sup>0</sup>	W	Canadá
Anik C2	110 <sup>0</sup>	W	Canadá
Anik E2	110.5 <sup>0</sup>	W	Canadá
Morelos 1	113.5 <sup>0</sup>	W	México
Andes-Sat	115 <sup>0</sup>	W	Venezuela/Colombia/Bolivia/ Ecuador
Morelos 2	116.5 <sup>0</sup>	W	México
Anik C3	117.5 <sup>0</sup>	W	Canadá
Sat-Mobile 1	120 <sup>0</sup>	W	EE. UU./Sat Mobile Co.
Spacenet I	120 <sup>0</sup>	W	EE. UU./GTE-Spacenet
SBS-5	122 <sup>0</sup>	W	EE. UU./IBM
Expresstar A	124 <sup>0</sup>	W	EE. UU./Federal Express
Gstar III	124 <sup>0</sup>	W	EE. UU./GTE-Spacenet.
Mex-Sat	127 <sup>0</sup>	W	México

---

ASC 1	128 <sup>0</sup>	W	EE. UU./American Sat C.
Galaxy K2	130 <sup>0</sup>	W	EE. UU./Hughes Comm Ir.
Westar B	132 <sup>0</sup>	W	EE. UU./Western Union
Hughes MSS 1	135 <sup>0</sup>	W	EE. UU./Hughes Comm.
Mex-Sat	136 <sup>0</sup>	W	México
Canadá-BSS3	138 <sup>0</sup>	W	Canadá
USA-BSS 1	148 <sup>0</sup>	W	EE. UU./Western
USA-BSS 2	166 <sup>0</sup>	W	EE. UU./Western
Pacstar-2	175 <sup>0</sup>	W	Papa-Nueva Guinea

NOTA: En lo que respecta a México debemos agregar los satélites Solidaridad I y II en 109.2 y 113 grados oeste respectivamente operando en banda "C", "Ku".

## **CAPITULO 3**

### **CARACTERISTICAS DE LA SEÑAL DE SATELITE**

#### **SATELITE: Definición.**

Un satélite no es más que una repetidora (en el rango de las microondas) puesta en el espacio. Un satélite no crea transmisiones por sí mismo, solo retransmite ó releva lo que recibe de la Tierra. El satélite recibe la señal proveniente de la Tierra en la banda llamada *up-link* y la regrasa en la banda *down-link* produciendose un retardo de aproximadamente 0.26 segundos.

#### **LA COMUNICACION VIA SATELITE, UNA NECESIDAD.**

Como se mencionó en el capítulo 1 algunas formas de comunicación previas a la comunicación vía satélite lo fueron las ondas de radio en la banda HF, el cable y las redes terrenas de microondas.

En lo que respecta a las radiocomunicaciones por onda corta (banda HF) estas solo pueden proporcionar un número limitado de canales debido a la estrechez del ancho de banda utilizable. Hay que recordar, que *a mayor frecuencia portadora se dispone de un mayor ancho de banda* y por lo tanto de mayor capacidad; en la actualidad la banda ya está saturada. Además la propagación en esta banda está afectada por factores aleatorios ya que depende de la ionósfera, la cual es esencialmente irregular y cambiante introduciendo en consecuencia un importante porcentaje de incertidumbre.

Al considerar los enlaces de microondas en redes por tierra los problemas de ancho de banda (capacidad) y de la incertidumbre por la ionósfera son ampliamente superados constituyendo un medio de *gran confiabilidad* y capaz de manejar una gran capacidad de información (tanto en telefonía como en TV). Sin embargo no es factible su empleo en enlaces intercontinentales por la imposibilidad de instalar repetidoras con las características que ellas exigen, en medio de los océanos (No olvidemos que las microondas solo se propagan a línea de vista, es decir, en línea recta). Fuera de esta dificultad, económicamente son convenientes.

En lo que respecta a los cables (sobre todo cables submarinos) tienen un ancho de banda, que aunque es amplio, es limitado y su costo aumenta lógicamente con la extensión.

Del análisis efectuado anteriormente surgió una alternativa como solución de los problemas planteados y consiste en establecer la comunicación mediante el uso de una repetidora colocada en el espacio: el satélite.

La utilización del satélite hace factible el uso de las microondas con las ventajas inherentes a las mismas en cuanto a capacidad, agregándose a esto la ventaja que significa el poder utilizar una sola repetidora para enlazar dos puntos situados a distancias considerablemente grandes en vez de una red de 30 o más repetidoras. Por otra parte el satélite permite el "salto" de los océanos para lograr la comunicación intercontinental de alta capacidad.

Aunque la comunicación vía satélite nació como una necesidad para comunicar lugares muy distantes, como por ejemplo: un continente con otro continente, hoy en día se utiliza para comunicar lugares situados en el mismo continente y aún dentro del mismo país.

### **VENTAJAS DE LA COMUNICACION VIA SATELITE.**

1.-SIMPLIFICACION 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 area de cobertura la cual puede llegar a ser tal, que se cubrirá 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 consiguientes 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, 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 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. Pero aún debemos agregar a esto, el hecho de que los fabricantes de los satélites proveen a éste de equipo redundante para las partes más susceptibles de daño lo que definitivamente garantiza su funcionamiento.

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 la capacidad para manejar hasta 24 canales de TV. simultáneamente o su equivalente en telefonía (aproximadamente 960 canales telefónicos por cada canal de T. V.) por cada banda que disponga (C y/o Ku).

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.

### **CLASIFICACION DE LOS SATELITES.**

1.- **DE ACUERDO A SU PRINCIPIO DE OPERACION.** Podemos clasificar a los satélites en pasivos y activos, de acuerdo a su principio de operación. Consideremos a un satélite como pasivo si actúa solamente como superficie reflectora y activo si se involucra un proceso electrónico en el satélite (grabación, reproducción, amplificación, cambio de frecuencia, etc.)

2.- **DE ACUERDO A SU APLICACION.** 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. Nuestro interés en este curso se centrará en los de comunicaciones.

3.- **DE ACUERDO A SU ORBITA.** 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 aparecerá como un punto fijo en el cielo. Un satélite no geoestacionario aparecerá 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, ya que éste permanece fijo, lo que permite la continuidad del sistema las 24 horas del día, condición necesaria en un buen sistema de comunicaciones.

4.- **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 tierra, de acuerdo a la línea de vista desde el satélite. En la práctica un 40% de la superficie de la tierra es "vista" 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). Aquí debemos incluir un tipo de satélite con cobertura intermedia entre la global y la

doméstica es decir los "regionales" cuyo objetivo es cubrir varias zonas específicas, por ejemplo varios países o alguna región de ellos pero sin intentar cubrir toda el area que cubre un global, un ejemplo de éstos son los Solidaridad I y II de México con cobertura en América Central y del Sur, así como Estados Unidos parcialmente.

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 comunmente utilizada es del tipo de corneta, mientras que en los de cobertura doméstica, los MORELOS por ejemplo, la antena es de tipo parábola. Los sistemas globales son para comunicaciones internacionales e intercontinentales, mientras que los domésticos son para comunicaciones locales, (dentro del mismo país).

## **CAPITULO 4**

# **CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE UN SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES POR SATELITES DE GRAN ALTURA GEOESTACIONARIOS (SINCRONICOS)**

### **SATELITES DE GRAN ALTURA, EL SATELITE DE COMUNICACIONES.**

Conviene resaltar, del capítulo anterior, que los satélites de comunicaciones actuales son satélite activos, geoestacionarios con cobertura tanto global como doméstica ó regional. En base a ésto, ubiquemos primero la posición que debe guardar el satélite en el espacio para luego pasar a la explicación de la forma en que se establece la comunicación por satélite, el proceso que sufre la señal, las bandas de frecuencia utilizadas, etc.

De acuerdo con las definiciones, *sistemas de gran altura* son aquellos en que los satélites están colocados en órbitas cuyas distancias desde la superficie de la tierra superan los 20,000 Km.

Como un caso particular tomaremos el proyecto "Syncom" (ver tabla 1.1) por ser este sistema un caso típico, además de pertenecer a los llamados satélites de gran altura (36,000 Km. aproximadamente). Se le llamó "Syncom" porque tiene una velocidad angular igual a la de rotación de la tierra, en consecuencia se mantiene casi estacionario en un determinado punto del espacio elegido convenientemente a fin de satisfacer los objetivos planteados. Las dos ventajas fundamentales que ofrece este sistema, son:

- a) Permite el uso de antenas terrestres estacionarias.
- b) El satélite es visible desde casi la mitad de la superficie terrestre.

Así como por ejemplo, el "Syncom II" que estuvo colocado a 22 grados de longitud Oeste, pudo "verse" desde un gran número de países correspondientes a los continentes de América del Norte, América Central, Europa y Africa.

El experimento Syncom colocó un satélite aproximadamente a 36,000 Km. arriba del ecuador de la tierra y apuntó la dirección de avance del satélite a lo largo de una línea idéntica a la de rotación de la tierra sobre su eje. Controlando cuidadosamente (desde la tierra a través de sistemas de mando por radio) la velocidad de avance del satélite y sincronizándola a la velocidad de rotación de la tierra sobre su eje, el satélite alcanzó lo que se conoce como órbita geoestacionaria. Esto es, el satélite se mueve al frente con la misma velocidad que la tierra sobre su eje, y esto significa que para una estación transmitiendo o recibiendo localizada en la tierra, el satélite siempre estará situado en el mismo punto relativo en el cielo. Se requiere de un sistema muy cuidadosamente diseñado para el lanzamiento y puesta en órbita del satélite..

### PERIODO ORBITAL.

En este sistema el satélite conserva una órbita ecuatorial de aproximadamente 24 horas, de período orbital. Este período orbital, para el caso de una órbita circular, se encuentra definido por la ley de Kepller, que enuncia lo siguiente:

$$P_o^2 = \frac{4(\pi)^2 (R + h)^3}{\mu}$$

donde:

Po= período orbital (seg)

R= radio de la tierra (m)

h= altura del satélite (m)

$\mu$ = constante de Kepller

El valor de la constante de Kepller es:  $(3.99 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{seg}^2)$

Ecuación derivada de los criterios de equilibrio entre las fuerzas centrífugas y de atracción gravitacional. Para un período orbital aproximadamente de 24 horas, el satélite se encuentra en una altura aproximada de 35,890 Km., tomando automáticamente la condición estacionaria, para un observador desde la tierra. El período relativo se determina por la relación siguiente:

$$P = \frac{24P_o}{24 - P_o}$$

Donde  $P$  esta definido como período relativo. Se observa en esta ecuación que el período relativo de un satélite de período orbital de 24 horas es infinito.

**AGRADECIMIENTOS:**

**A MI MADRE:**

**POR SU APOYO, CONFIANZA Y PACIENCIA.**

**A MI ESPOSA LIZ:**

**POR SU COMPLICIDAD EN ESTE PROYECTO.**

**A MIS HIJOS:**

**CARLOS, RAMON Y RICARDO; QUE SIN SABER DE QUE SE TRATA, COMPLICARON Y ALIGERARON LA CARGA.**

**A MI ASESOR ING. FERNANDO ESTRADA SALAZAR:**

**POR SU VITAL APOYO Y DESPRENDIDA AYUDA.**

### PERDIDAS DE TRANSMISION Y ASIGNACION DE FRECUENCIAS.

Los satélites en general, como parte de un sistema de comunicaciones, tienen como finalidad retransmitir las señales enviadas desde la tierra. Para el caso de los satélites geoestacionarios, por la distancia que conservan respecto a la tierra (35,890 Km.), requieren de dispositivos adicionales que permitan compensar las pérdidas ocasionadas en el espacio libre.

Se puede observar en la ecuación siguiente que la potencia recibida desde una estación espacial (satélite), es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia o inversamente proporcional a las pérdidas en el espacio libre.

$$P_r = P_t G_t G_r \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

donde:

$P_t$  = Potencia de Transmisión

$G_t$  = Ganancia de antena de Transmisión

$G_r$  = Ganancia de antena de Recepción

$\lambda$  = Longitud de onda

$d$  = distancia entre satélite y estación terrena

y

$$\left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2$$

determina las pérdidas en el espacio libre.

Dispositivos activos, como amplificadores a diodo túnel, GaAsFET, y tubos de onda progresiva de alto y bajo nivel, permiten compensar las pérdidas en el espacio libre mencionadas. Se incluyen, además de este tipo de dispositivos, osciladores y mezcladores para transponder o abatir las frecuencias recibidas de las transmitidas, con objeto de evitar interferencias sufridas en el satélite por el uso de una misma frecuencia para transmisión y recepción. De esta forma un satélite geoestacionario, como parte integral de un sistema de comunicaciones, tiene la siguiente característica:

$$F_t \neq F_r$$

donde:

$F_t$  = Frecuencia de transmisión

$F_r$  = Frecuencia de recepción

La designación de *las primeras bandas* de frecuencias, dadas a conocer en la Conferencia Extraordinaria Radioadministrativa, celebrada en Génova, en 1963, después de considerar que en frecuencias menores de 1 GHz. el ruido estático y cósmico aumenta y que a frecuencias mayores de 10 GHz. las ondas son absorbidas por el oxígeno o el vapor existente en el aire cuando pasan a través de la zona atmosférica y considerando que el ruido es un coeficiente que depende de la elevación sobre un plano horizontal, acordó finalmente apta la gama de frecuencias comprendidas entre 1 y 10 GHz. (referidas como radioventana); para ser utilizadas en comunicaciones vía satélite, quedando designadas para usarse en el sistema de comunicación por satélite las frecuencias de 5,925 - 6,425 MHz. para la transmisión de tierra a satélite y de 3,700-4,200 MHz. para la transmisión de satélite a tierra (Hoy conocida como banda "C") Posteriormente con el desarrollo de nueva tecnología algunos de los problemas existentes fuera del rango de 1 a 10 GHz han sido debidamente compensados (sobre todo con el desarrollo de dispositivos de bajo nivel de ruido) de modo que actualmente se manejan adicionalmente otras bandas.

En conclusión, 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:

	<b>BANDA "C"</b> MHz.	<b>BANDA "Ku"</b> MHz.	<b>BANDA "Ka"</b> MHz.
ascendente <b>(up-link)</b>	5,925 a 6,425	14,000 a 14,500	27,500 a 31,000
descendente <b>(up-link)</b>	3,700 a 4,200	11,700 a 12,200	17,700 a 21,200

### CONCEPTOS GENERALES DEL SISTEMA.

El sistema en sí mismo es un sistema complejo que debe crear su propia potencia y fijarse o ajustarse por sí mismo cuando las fuerzas gravitacionales de la luna, la tierra y el sol cambian. Los satélites modernos pesan entre 1800 y 4000 libras. Contienen una serie de receptores de radio/televisión los cuales recogen las transmisiones enviadas desde la tierra (señales ascendentes o uplink) una serie de convertidores de frecuencia que cambian las señales uplink a una nueva banda de frecuencias para su viaje de regreso a la tierra (señales descendentes o downlink), una serie de transmisores los que amplifican la potencia de las señales Downlink y una serie de complejas antenas transmisoras y receptoras. Todo esto va colocado en una forma

rectangular de aproximadamente 2 metros por lado. A bordo hay también paneles de celdas solares las que deben estar dirigidas hacia el sol para recibir los rayos solares los que serán convertidos a potencia eléctrica para operar el equipo electrónico que se encuentra a bordo, además, baterías para almacenar dicha potencia para los períodos ocasionales cuando la tierra se "atraviesa" entre el sol y el satélite. Cuando el satélite tiende a salirse de su punto en la órbita asignada, una serie de cohetes miniatura de empuje (normalmente 12) que son construídos en la superficie del satélite, mediante controles de mando son encendidos y suavemente desvían al satélite a su posición correcta en la órbita.

El satélite continuamente envía una serie de mensajes hacia la tierra a un controlador de vuelo y una serie de computadoras constantemente analizan todo lo que está sucediendo a bordo desde las condiciones de los cohetes de empuje hasta la temperatura en la superficie del satélite y las condiciones de operación de los transmisores y receptores del satélite. Cuando algo se sale de los límites establecidos, el controlador transmite órdenes desde la tierra al satélite para hacer los ajustes correspondientes en la operación del satélite.

## CAPITULO 5

### DESCRIPCION A CUADROS DE UN SATELITE TIPICO

#### EL INTELSAT III.

Si bien, hemos escogido el satélite Intelsat III como modelo típico de un satélite de comunicaciones, su diagrama y su descripción son válidos para otros satélites, incluyendo los de modelos diferentes y de más capacidad como los actuales. A lo largo de la explicación se harán los comentarios correspondientes para hacer posible esto.

La figura 5.1 muestra el diagrama a cuadros de un satélite de la serie Intelsat III. donde la ruta de transmisión-recepción se conoce con el nombre de transponder el cual recibe las portadoras de radiofrecuencia (RF) en el orden de los 6 GHz y las convierte a 4 GHz (suponiendo banda "C") amplificadas antes de ser retransmitidas, con objeto de aumentar la potencia de transmisión en el satélite por asignación a cada transponder de una fracción de la banda total.

La evaluación general de funcionamiento del equipo montado en el satélite, así como el control del mismo, son factores importantes para predecir su tiempo de vida útil. Estos datos son conocidos en la tierra a través de una estación monitora denominada de telecomando y control cuya función es interpretar las señales de telecomando y control recibidas desde el satélite y transferir condicadas las instrucciones necesarias para corregir un desarrollo anormal imprevisto.

Haciendo referencia a la figura 5.1, estas señales son recibidas por la antena omnidireccional del satélite (antena de monitoreo), pasan por el amplificador a diodo túnel, el convertidor de frecuencias (formado por el mezclador y el oscilador local) y el tubo de ondas progresivas de baja potencia, e insertadas al decodificador de telecomando, a través de un filtro acoplador. Ahí son procesadas antes de aplicarse al circuito de control que puede ser el encendido del motor de apogeo para corregir la órbita, encender un amplificador a tubo de ondas progresivas, etc.

Haciendo referencia a la misma figura a continuación se delinea el funcionamiento básico de los componentes utilizados en la trayectoria de la señal de comunicaciones.

a).-La preacentuación "P<sub>1</sub>"

$$P_1 = 5 - 10 \log \left[ 1 + \frac{6.9}{1 + \frac{5.25}{\left( \frac{1.25F_{\max}}{F} - \frac{F}{1.25F_{\max}} \right)^2}} \right]$$

Donde:

$F_{\max}$  es la frecuencia máxima del multiplex en banda base.

$F_{\max} = 408$  KHz. (96 canales de voz)

$F_{\max} = 1052$  KHz. (252 canales de voz)

b).- La ponderación psfométrica "P<sub>2</sub>" que toma en cuenta la curva de respuesta del oído será:

$$P_2 = 3.6 \text{ dB para una banda de 4 KHz.}$$

c).-Para el cálculo de la desviación de frecuencia eficaz por canal, se considerará un factor de cresta de 10 dB y un factor de carga del multiplex normalizado como se indica a continuación:

$$\begin{array}{ll} (-15 + 10 \log N) \text{dBmo} & \text{Si } N \geq 240 \\ (-1 + 4 \log N) \text{dBmo} & \text{Si } N \leq 240 \end{array}$$

N es el número de canales de voz del multiplex.

d).- Se tomará un margen suplementario de 2 dB para tomar en cuenta la atenuación suplementaria debida a los hidrometeoros.

7.- Se evitará utilizar demoduladores de frecuencia especiales (a umbral mejorado) garantizando una relación portadora a ruido (C/N) superior a 11 dB.

8.- Las estaciones terrenas utilizadas son:

### c) AMPLIFICADOR A DIODO TUNEL

Siguiendo la trayectoria de la señal a través de un transponder, observamos que esta es amplificada en el amplificador a diodo túnel que tiene aproximadamente 31 dB de ganancia y una figura de ruido de 4.3 dB.

Nuevamente debemos mencionar aquí, que si queremos generalizar el diagrama, es conveniente referirnos a éste amplificador como un LNA (amplificador de bajo ruido) y considerar que en la mayoría de los satélites modernos se utilizan como dispositivos activos los transistores de efecto de campo de arseniuro de galio o GaAsFET.

### d) MEZCLADOR

En esta parte son mezcladas la señales de 6 GHz, para convertirlas en señales de orden de los 4 GHz. (abatidas o transpuestas 2225 MHz en bande "C" ), en esta misma parte se cuentan con filtros que eliminan las señales espurias indeseables, producto de la mezcla, permitiendo el acceso al amplificador de tubo de ondas progresivas (TWT) a las señales útiles de comunicaciones.

En el caso de que la banda utilizada fuera la banda "Ku" el cambio de frecuencia en el mezclador es de 2300 MHz. En cualquiera de los casos observe que la frecuencia de bajada siempre será menor que la de subida. Esto es así por el hecho de que la señal de bajada está limitada en cuanto a su potencia por la capacidad de las celdas solares que son la única fuente de energía eléctrica disponible en el satélite y considerando que a mayor frecuencia existen más pérdidas de propagación es preferible seleccionar la que tenga menos pérdidas (la de menor frecuencia) para la bajada y lograr que llegue a tierra con un mayor nivel de potencia que si se escogiera la de mayor frecuencia. En el caso de la señal de subida, el problema no es tan crítico ya que en tierra se dispone de otras fuentes de energía para, previamente, compensar las posibles pérdidas.

### e) TUBO DE ONDAS PROGRESIVAS DE BAJA POTENCIA

Las señales de comunicaciones son amplificadas en esta parte del equipo.

### f) TUBO DE ONDAS PROGRESIVAS DE ALTA POTENCIA

Aquí las señales de comunicación son finalmente amplificadas al nivel adecuado de transmisión.

NOTA: Ambos tubos de ondas progresivas pueden ser agrupados en un solo cuadro designado como HPA (amplificador de alta potencia). En algunos sistemas modernos este amplificador está constituido de dispositivos de estado sólido.

## g) DIPLEXER DE TRANSMISION

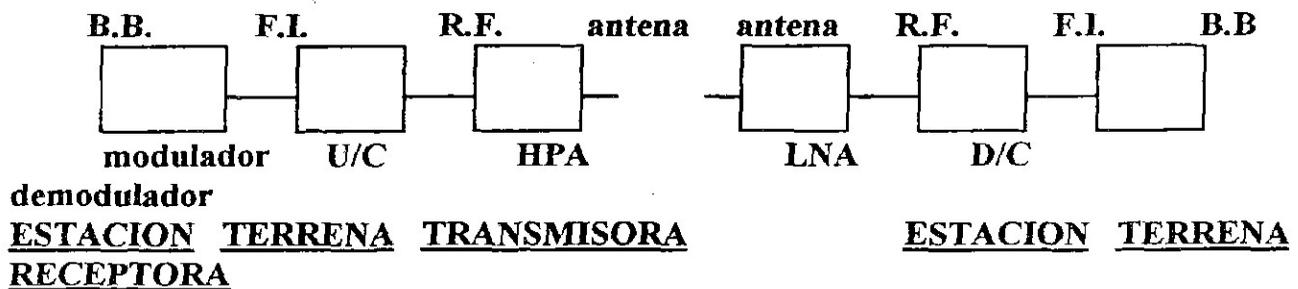
Las señales de todos los transponder son combinadas para ser alimentadas a la antena de comunicaciones que se encargará de transmitir la información hacia la tierra.

# CAPITULO 6

## EL ENLACE: TIERRA-SATELITE-TIERRA

### CIRCUITO HIPOTETICO DE REFERENCIA.

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



### ESTACION TERRENA TRANSMISORA

- Acometida de la señal a transmitir.  
(Entrada de banda base)
- Modulador
- Convertidor de Subida (U/C, up converter)
- Amplificador de potencia (HPA, high power amp.)
- Antena, lado de transmisión.

La señal de información (telefonía, televisión, información digital, etc), es recibida por el equipo transmisor de satélite en tierra una vez que, previamente es agrupada adecuadamente mediante la multiplexión 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 (F.I.) la cual es modulada en frecuencia por la banda base. La señal de FI (modulada), es posteriormente elevada al rango de microondas (Ejemplo: 6 GHz en banda C), en el convertidor de subida para luego ser amplificada en el HPA con la

finalidad de conseguir el suficiente nivel para que la señal llegue el satélite con la potencia suficiente.

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

### **SATELITE DE RADIOCOMUNICACIONES**

- **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 cual amplifica la microonda para luego, en el convertidor, bajar su frecuencia al rango de la banda "Down-Link" (Ejemplo al rango de 4 GHz. en banda C). 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.

### **ESTACION TERRENA RECEPTORA**

- **Antena lado de recepción**
- **Amplificador de Bajo Nivel de Ruido.**
- **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 frecuencia intermedia (70 MHz.), para luego ser recuperada la información en el demodulador. La señal a la salida del demodulador es la información en la forma de Banda Base.

# **CAPITULO V**

## **ACCESO MULTIPLE**

### **DEFINICION Y CLASIFICACION.**

El acceso múltiple se define como la capacidad para que un gran número de estaciones terrenas transmisoras "conecten" sus enlaces de comunicación correspondientes a través de un satélite común.

Los tres tipos más comunes de acceso múltiple son:

- Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) donde todos los usuarios (Transmisores en tierra) tienen acceso al satélite al mismo tiempo pero cada uno transmite en su propia y única banda de frecuencias. Esta es la forma de acceso múltiple más utilizada con la modulación analógica, donde las señales están presentes todo el tiempo.
- Acceso múltiple por división de tiempo ( TDMA ) donde los usuarios transmiten por "turno" en su propia y única "ranura" de tiempo. Mientras está transmitiendo, cada ocupante tiene el uso exclusivo de uno o más transponders. La naturaleza intermitente del TDMA lo hace particularmente atractivo para modulación digital.
- Acceso múltiple por división de código (CDMA) muchas estaciones terrenas transmiten simultáneamente señales codificadas distribuidas en todo el ancho de banda asignado. Los sistemas decodificadores reciben las transmisiones combinadas provenientes de diferentes estaciones y recuperan cada uno de ellos.

En cualquiera de las tres clásicas formas de acceso múltiple cabe otra subdivisión :

Si el acceso al satélite es permanente de parte de una estación terrena transmisora el acceso se conoce como fijo o por pre-asignación. Si el acceso es temporal y compartido se le conoce como acceso de asignación por demanda.

**VENTAJAS Y DESVENTAJAS RELATIVAS.****VENTAJAS DE FDMA**

- No se requiere de sincronización (cada estación transmite independientemente de las otras).
- La asignación de cada canal es simple y directa.

**DESVENTAJAS DE FDMA**

- Los niveles de potencia de los enlaces ascendentes deben de ser estrechamente coordinados para hacer un uso eficaz de la potencia de salida de microondas de los Transponders.
- El sistema está propenso a intermodulación por lo que es necesario reducir la potencia (total del transponder) conforme aumenta el número de portadoras con la consecuente pérdida de eficiencia.

**VENTAJAS DE TDMA**

- No se comparte la potencia y no se presentan problema de intermodulación.
- El sistema es flexible en cuanto a la PIRE que cada usuario transmite en cada enlace ascendente.

**DESVENTAJAS DE TDMA**

- Se requiere una sincronía perfecta en la red.
- Se requiere de una gran capacidad de almacenamiento si la "trama" es larga.

**RUIDO DE INTERMODULACION.**

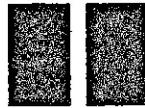
Debido a la característica no lineal del TWT del transponder del satélite, cuando se presentan varias portadoras (como en el caso FDMA) se producen productos de intermodulación entre las portadoras afectando la calidad de la transmisión. A estos productos de intermodulación se les da el nombre de "Ruido de intermodulación".

Cuando dos o más portadoras están presentes en el mismo transponder, estos productos de intermodulación pueden aparecer como "Traslapes" en el espectro original de frecuencias asignado a cada portadora.

La única manera de reducir el ruido de intermodulación para un TWT dado es disminuir el nivel de señal de entrada de modo que este pueda operar en la región lineal.

En la siguiente sección se desarrolla el diseño de un enlace de comunicaciones vía satélite donde a partir de los conceptos teóricos ya vistos y otros prácticos que se agregarán estaremos en posibilidad de evaluar el funcionamiento del enlace completo: tierra - satélite - tierra.

**SECCION**



**Diseño**

# **DISEÑO DE ENLACES DE COMUNICACION VIA SATELITE**

## **INTRODUCCION**

El objetivo fundamental de este curso 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.

El curso permite por lo tanto familiarizarse con temas que conciernen a las telecomunicaciones espaciales, además que puede considerarse como una guía útil para el diseño en general de cualquier sistema de telecomunicaciones, ya que muchos de los conceptos desarrollados en él son aplicables a cualquiera de dichos sistemas.

## EJEMPLO DE 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:

a).- 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.

b).- Comunicar la Guyana con Martinica y Guadalupe con Saint-Barthélémy 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  $5^{\circ}$ , además no deberá haber otro satélite que utilice la misma frecuencia a  $3^{\circ}$  de separación.

2.- Las bandas de frecuencia 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 Antillas-Guyana, por medio de una antena tipo "Spot-Beam". El repetidor No.1 transmitirá los otros 5 enlaces destinados a Francia y la Reunión por medio de una antena tipo corneta de cobertura global. Esta misma corneta servirá de antena de recepción a 6 GHz.

4.- El sistema utilizado es el de acceso múltiple por división de frecuencia y las diferentes portadoras son moduladas en frecuencia (FDMA/FM). Se dejará una banda de guardia entre el canal "i" y el canal "j"; igual a:

$$0.1 \text{ (Banda de Carlson "i" + Banda de Carlson "j")}$$

5.- Se respetará la cláusula de calidad de transmisión recomendada por el CCIR en sus avisos 353-2 y 356-2 de 9000 pWpo. Un margen suplementario de 0.9 dB será considerado para tomar en cuenta las imperfecciones de las estaciones terrenas, lo que permite definir la relación señal a ruido mínima igual a 51.4 dB.

6.- Para el cálculo de la relación portadora a temperatura de ruido se tendrá en cuenta:

$D$  = es el diámetro de la antena en metros.

$\lambda$  = es la longitud de onda de la señal transmitida ó recibida por la antena en metros.

$n$  = es el factor del rendimiento de la antena.

Ancho de haz ( $\Delta\theta_{3dB}$ )

$$\Delta\theta_{3dB} = \frac{70\lambda}{D}$$

### b) Cornetas.

Para el cálculo de la directividad de las cornetas se usarán las gráficas que son dadas en el anexo.

$$\Delta\theta_{3dB} = \frac{60\lambda}{D}$$

## V.- ECUACIONES FUNDAMENTALES DE TRANSMISION VIA SATELITE.

$$\left(\frac{C}{T}\right)_T = \frac{1}{\left(\frac{T}{C}\right)_a + \left(\frac{T}{C}\right)_d}$$

$\left(\frac{C}{T}\right)_T$  = es la relación portadora a temperatura de ruido del enlace completo.

$\left(\frac{C}{T}\right)_a$  = es la relación portadora a temperatura de ruido del enlace estación terrena - satélite.

$\left(\frac{C}{T}\right)_d$  = es la relación portadora a temperatura de ruido del enlace satélite - estación terrena.

-De tipo INTELSAT Standard A en Francia y en la Reunión..

-De tipo INTELSAT Standard B en las Antillas y en la Guyana.

-Standard A:

diámetro	= 32.5 m
PIRE <sub>max</sub>	= 95 dBW
G/T	= 40.7 dB/°K

-Standard B

diámetro	= 11.5 m
PIRE <sub>max</sub>	= 86 dBW
G/T	= 31.7 dB/°K

9.- Los amplificadores de potencia del satélite (uno por repetidor), serán tubos de ondas progresivas de una potencia máxima de 10 watt. La atenuación entre la salida del tubo y la interfase de la antena de emisión será de 1.5 dB.

10.- Las características de las antenas del satélite serán las siguientes:

- La antena "Spot-Beam" Antillas-Guyana tendrá un diámetro máximo de 2 metros y un rendimiento de 55%, su ancho de haz a 3 dB, será igual a  $70 \frac{\lambda}{D}$ .

- La corneta será utilizada si es posible a la vez a 4 GHz y 6 GHz. Su directividad está dada por la gráfica que se anexa al presente enunciado. Su ancho de haz a 3 dB será igual a  $60 \frac{\lambda}{D}$  aproximadamente y las pérdidas de inserción del orden de 0.5 dB.

11.- La carga útil será equipada de un receptor a un solo cambio de frecuencia.

**SECUENCIA A SEGUIR**

- 1.- Optimizar la posición del satélite sobre una órbita geoestacionaria cumpliendo con la condición (1).
- 2.- Seleccionar las frecuencias de los dos repetidores.
- 3.- Diseñar el plan de frecuencias de cada repetidor. Calcular la excursión ó desviación de frecuencia eficaz por canal, tanto para los enlaces de 96 canales de voz como para los de 252.
- 4.- Calcular la relación portadora a ruido y portadora a temperatura de ruido para los dos tipos de portadora.
- 5.- Calcular las pérdidas de propagación para las trayectorias ascendente y descendente.
- 6.- Optimizar los parámetros  $PIRE_{ET}$ ,  $PIRE_{SAT}$  y  $G/T_{SAT}$ .
- 7.- Realizar el diagrama de la carga útil con sus antenas, el receptor de un solo cambio de frecuencia, los demultiplexores, amplificadores, etc.

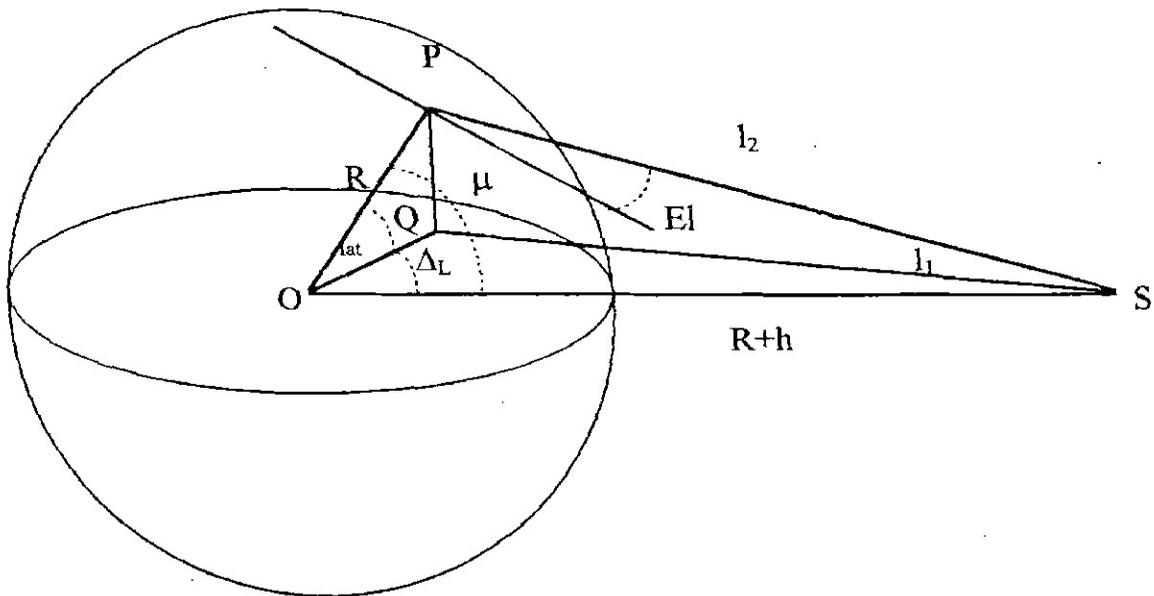
**COORDENADAS DE LOS LUGARES A ENLAZAR.**

	Estación	Latitud	Longitud
FRANCE	FR	48° 31' N	3° 54' E
ST. BARTHELEMY	STB	17° 55' N	62° 50' W
GUADALUPE	GUA	16° 15' N	61° 35' W
MARTINIQUE	MAR	14° 31' N	61° 01' W
GUYANA	GUY	04° 56' N	52° 18' W
REUNION	REU	20° 54' S	55° 32' E

## FORMULARIO

### I.- SATELITES GEOESTACIONARIOS

La órbita de estos satélites está situada sobre el plano ecuatorial a una altura aproximada de 35890 Km, la única variable es la longitud geográfica del punto sobre el que está situado el satélite.



Donde:

P = Posición de la estación terrena

R = Radio de la tierra

R = 6378 Km.

h = altura del satélite

h = 35890 Km.

lat = Latitud de la estación terrena

$\Delta_L$  = Es la diferencia de la longitud entre el satélite y la estación terrena

El = Angulo de elevación con el que la estación terrena "ve" al satélite

S = Posición del satélite

Distancia entre el satélite y la estación terrena:

$$\overline{SP}^2 = h^2 + 2R(R+h)(1 - \cos lat \cos \Delta L)$$

Angulo de elevación:

$$\cos \mu = \cos lat \cos \Delta L$$

$$El = \arctg \frac{\cos \mu - \frac{R}{R+h}}{|\text{sen } \mu|}$$

## FM II.- RELACION SEÑAL A RUIDO EN SISTEMAS DE TRANSMISION DE (S/R)

$$\frac{S}{R} = \frac{C}{KTb} \left( \frac{\Delta_{fef}}{f_{max}} \right) P_1 P_2$$

$\frac{S}{R}$  es la relación señal a ruido a la salida del demodulador.

$C$  = es la potencia de la portadora.

$b$  = es la banda de un canal telefónico  $b = 4$  KHz.

$K$  = es la constante de Boltzman.  $1.38 \times 10^{-23} \frac{\text{Joul}}{^\circ K}$

$T$  = es la temperatura equivalente de ruido en grados Kelvin.

$\Delta_{fef}$  = es la desviación de la frecuencia eficaz por canal.

$P_1$  = es el coeficiente de ponderación debido a la preacentuación.

$P_2$  = es el coeficiente de ponderación psfométrica.

Cálculo de  $\frac{C}{N}$  y  $\Delta_{fef}$

$$B_c = 2(\Delta_{fc} + f_{max})$$

$\frac{C}{N}$  = es la relación portadora a ruido a la entrada del demodulador.

$B_c$  = es la banda de Carlson del multiplex.

$\Delta_{fc}$  = es la desviación pico del sistema.

$f_{max}$  = es la frecuencia máxima del multiplex en banda base.

$$f_{max} = 408 \text{ KHz (multiplex 96 canales)}$$

$$f_{max} = 1052 \text{ KHz (multiplex 252 canales)}$$

$$\Delta_{fef} = \frac{\Delta_{fc}}{(f_{cresta})(f_{c \text{ arg } a})}$$

### EL III.- ATENUACION DEBIDA A LA PROPAGACION DE LA SEÑAL EN ESPACIO LIBRE.

$$A_T = 20 \log \frac{4\pi L}{\lambda}$$

$A_T$  = es la atenuación de propagación en dB.

$\lambda$  = es la longitud de onda de la señal en metros.

$L$  = es la distancia en metros.

### IV.- ANTENAS

#### a) Parabólicas.

$$Dir = 20 \log \frac{\pi D}{\lambda}$$

$$G = nDir$$

$Dir$  = es la directividad de la antena en dB.

$G$  = es la ganancia de la antena en dB.

$$G(\theta) - G_{\max} = -K(\theta)^2$$

$$\text{Para } \theta = \frac{\Delta\theta_{3\text{dB}}}{2} \rightarrow G - G_{\max} = -3\text{ dB}$$

$$-3 = -K\left(\frac{\Delta\theta_{3\text{dB}}}{2}\right)^2$$

DE DONDE:

$$K = 3\left(\frac{2}{\Delta\theta_{3\text{dB}}}\right)^2$$

a) Si  $\Delta\theta_{3\text{dB}} = 17.2^\circ$

$$\Delta\theta_{3\text{dB}} = \frac{60\lambda}{D} \rightarrow \frac{D}{\lambda} = \frac{60}{\Delta\theta_{3\text{dB}}} = \frac{60}{17.2}$$

$$\frac{D}{\lambda} = 3.5$$

DE LA GRAFICA:  $\frac{L}{\lambda} = 4$

Con lo que se obtiene una directividad (*Dir*) de:

$$Dir = 18.5\text{ dB}$$

$$G_{\max} = nDir$$

$$G_{\max\text{ dB}} = n_{\text{dB}} + Dir_{\text{dB}}$$

Como:

$$n_{\text{dB}} = -0.5\text{ dB}$$

Entonces:

$$G_{\max} = -0.5 + 18.5$$

$$G_{\max} = 18\text{ dB}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_a = PIRE_{ET} - ATA + \left(\frac{G}{T}\right)_{sat}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_d = PIRE_{sat} - ATD + \left(\frac{G}{T}\right)_{ET}$$

$PIRE$  = potencia isotrópica radiada equivalente.

$PIRE_{sat}$  =  $PIRE$  del satélite.

$PIRE_{ET}$  =  $PIRE$  de la estación terrena.

$ATA$  = atenuación trayecto ascendente.

$ATD$  = atenuación trayecto descendente.

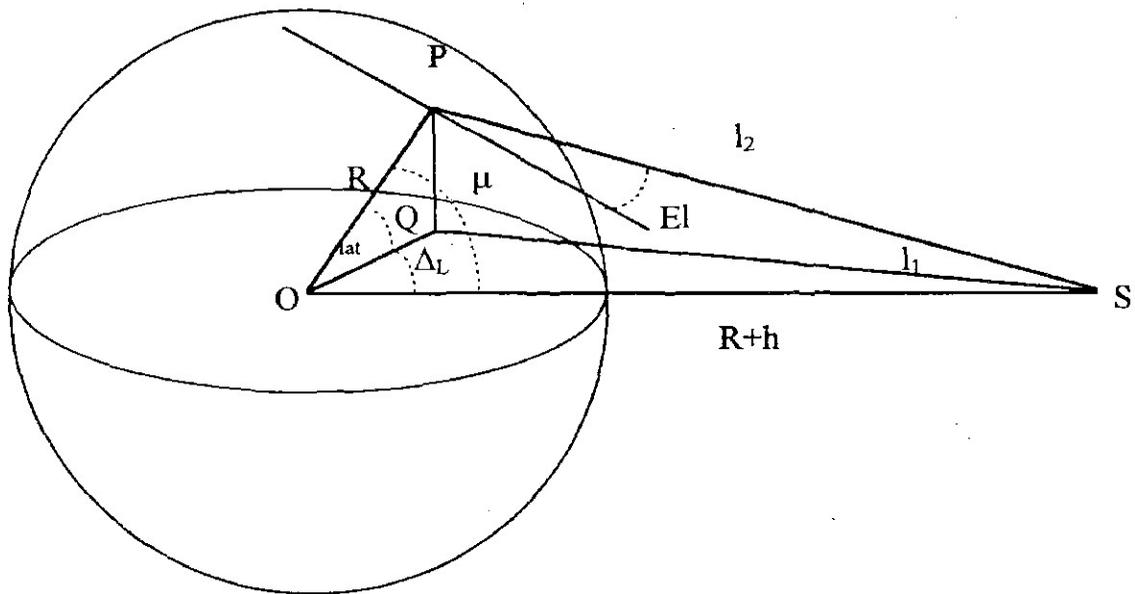
$\left(\frac{G}{T}\right)_{sat}$  = relación ganancia a temperatura de ruido del satélite.

$\left(\frac{G}{T}\right)_{ET}$  = relación ganancia a temperatura de ruido de la estación terrena.

Solución:

I) Optimizar la posición del satélite sobre una órbita geoestacionaria respetando la condición (1) del enunciado; es decir, conseguir una elevación mayor de  $5^\circ$  para cualquier estación y que no se encuentre otro satélite utilizando la misma frecuencia a una separación menor de  $3^\circ$ .

Demostración:



Donde:

P = Posición de la estación terrena

S = Posición del satélite

lat = Latitud de la estación terrena

$\Delta_L$  = Es la diferencia de la longitud entre el satélite y la estación terrena

El = Angulo de elevación

R = 6378 Km.

h = 35890 Km.

**TRIANGULO OQS**

$$l_1^2 = (R \cos lat)^2 + (R+h)^2 - 2(R \cos lat)(R+h) \cos \Delta L$$

**TRIANGULO PQS**

$$l_2^2 = l_1^2 + (R \operatorname{sen} lat)^2$$

**COMBINANDO LAS DOS FORMULAS**

$$l_2^2 = (R \cos lat)^2 + (R+h)^2 - 2(R \cos lat)(R+h) \cos \Delta L + (R \operatorname{sen} lat)^2$$

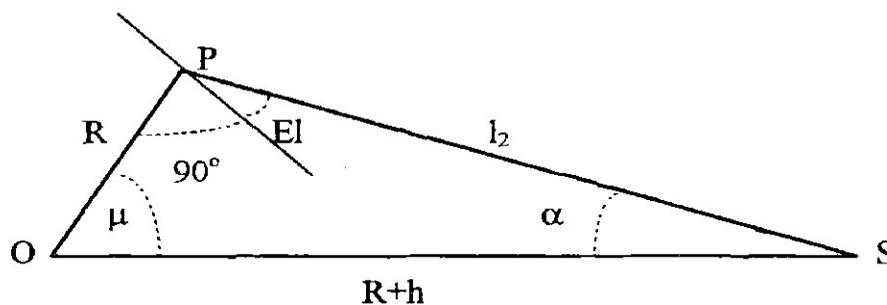
$$l_2^2 = R^2 + (R+h)^2 - 2R(R+h) \cos lat \cos \Delta L$$

$$l_2^2 = R^2 + (R+h)^2 - 2R(R+h) \cos \mu$$

**DONDE:**

$$\cos \mu = \cos lat \cos \Delta L$$

$$l_2^2 = \overline{SP}^2 = h^2 + 2R(R+h)(1 - \cos \mu)$$

**TRIANGULO OPS**

$$\frac{l_2}{\text{sen } \mu} = \frac{R}{\text{sen } \alpha} = \frac{R+h}{\text{sen}(90^\circ + El)}$$

$$\alpha = 180^\circ - \mu - (90^\circ + El)$$

$$\alpha = 90^\circ - \mu + El$$

$$\frac{R}{\text{sen } \alpha} = \frac{R+h}{\text{sen}(90^\circ + El)}$$

$$\text{sen } \alpha = \text{sen}[90^\circ - (\mu + El)] = \cos(\mu + El)$$

$$\text{sen}(90^\circ + El) = \cos El$$

$$\frac{R}{\cos(\mu + El)} = \frac{R+h}{\cos El}$$

$$\frac{R}{R+h} \cos El = \cos(\mu + El) = \cos \mu \cos El - \text{sen } \mu \text{sen } El$$

$$\cos \mu \cos El - \frac{R}{R+h} \cos El = \text{sen } \mu \text{sen } El$$

$$\cos El \left( \cos \mu - \frac{R}{R+h} \right) = \text{sen } \mu \text{sen } El$$

$$\frac{\text{sen } El}{\cos El} = \text{tg } El = \frac{\cos \mu - \frac{R}{R+h}}{|\text{sen } \mu|}$$

$$El = \text{arctg} \frac{\cos \mu - \frac{R}{R+h}}{|\text{sen } \mu|}$$

**Solución:**

Para satisfacer la condición (1) referente a la elevación debemos cumplir con:

$$\text{tg } El \geq \text{tg } 5^\circ = 0.0875$$

$$\frac{\cos \mu - \frac{R}{R+h}}{|\text{sen } \mu|} \geq 0.0875$$

Por lo tanto:

$$0 < \mu \leq 76.4055^\circ$$

Obtengamos ahora la  $\Delta L_{max}$  para conseguir  $\mu = 76.4055^\circ$  :

$$\cos \mu = \cos lat \cos \Delta L$$

$$\Delta L = \arccos\left(\frac{\cos \mu}{\cos lat}\right)$$

$$\Delta L_{max} = \arccos\left(\frac{\cos 76.4055^\circ}{\cos lat}\right)$$

$$\Delta L_{max} = \arccos\left(\frac{0.235}{\cos lat}\right)$$

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

	Estación	Latitud	Longitud	$\Delta L_{max}$	Límite 1 (W)	límite 2 (E)	
	Francia	FR	48° 31'N	3° 54'E	69° 13'	65°19'W	73° 07'E
	Saint Barthélemy	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
	Martinique	MAR	14° 31'N	61° 01'W	75° 57'	136° 58'W	14° 56'E
	Guyana	GUY	4° 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

Solución propuesta: entre 12° 52'E y 19° 53'W

Checando en las tablas adjuntas en la presentación del problema, proponemos como nuestra solución particular una posición del satélite en:

2° E

## II) Selección de las frecuencias de lo repetidores.

La banda de frecuencia utilizada por los repetidores es de 5925 a 6425 MHz.

Se utilizarán dos repetidores de 75 MHz de ancho de banda espaciados a 25 MHz.

Por lo tanto proponemos la siguiente solución:

6200 - 6275 MHz Rep. #1  
 6300- 6375 MHz Rep. #2

**III) Plan de frecuencia de los repetidores.**

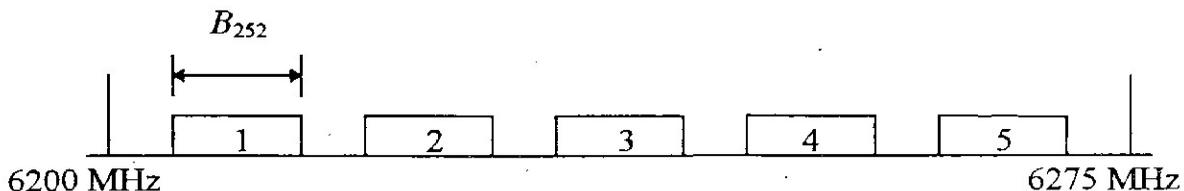
**REPETIDOR # 1**

GUY	→	FR	
MAR	→	FR	5 canales de 252
GUA	→	FR	(5 enlaces de 252 canales de voz)
REU	→	FR	
FR	→	REU	

**REPETIDOR # 2**

FR	→	GUY	
FR	→	MAR	3 enlaces de 252
FR	→	GUA	
GUY	→	MAR	
GUA	→	STB	4 enlaces de 96
MAR	→	GUY	
STB	→	GUA	

**REPETIDOR # 1**



Debemos considerar una banda de guarda entre el canal "i" y el canal "j" igual a:

$$=0.1(\text{BANDA DE CARLSON } i + \text{BANDA DE CARLSON } j)$$

Y entre el inicio del repetidor y el primer canal, y entre el fin del último canal y el fin del repetidor se dejara una guarda de:

$$=0.1(\text{BANDA DE CARLSON DEL CANAL CONSIDERADO})$$

**Solución:**

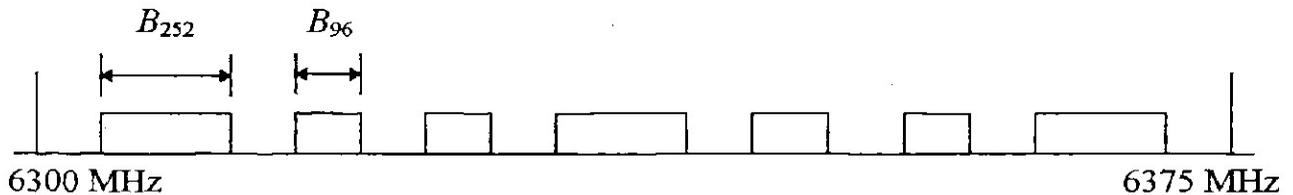
Como se tienen 5 enlaces de 252 canales de voz:

$$5B_{252} + 4(0.2B_{252}) + 2(0.1B_{252}) = 75 \text{ MHz}$$

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

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

**REPETIDOR # 2**



**Solución propuesta:**

$$3B_{252} + 4B_{96} + 4(0.1)(B_{252} + B_{96}) + 2(0.2)B_{96} + 2(0.1)B_{252} = 75 \text{ MHz}$$

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

**como:**

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

**entonces:**

$$B_{96} = \frac{75 - 3.6(12.5)}{4.8}$$

$$B_{96} = 6.25 \text{ MHz}$$

Para calcular la desviación eficaz por cada canal (Múltiplex) debemos considerar un factor de cresta de 10 dB (3.16) y un factor de normalización ó carga dado por la condición (6c).

La desviación de frecuencia eficaz está dada por:

$$\Delta f_{ef} = \frac{\Delta f_c}{(f_{cresta})(f_{carga})}$$

Al dividir  $\Delta f_c$  entre dichos factores se obtiene un promedio estadístico por canal múltiplex, tomando en cuenta tanto el valor eficaz de la señal de voz como el hecho de que no todos los canales son utilizados al mismo tiempo:

### Solución propuesta:

Para 96 canales  $f_{max} = 408$  KHz

Factor de cresta = 10 dB = 3.16

Factor de carga

$$(-1 + 4 \log N) \text{dBmo si } N \leq 240$$

$$-1 + 4 \log 96 = 6.93 \text{dBmo} = 2.22$$

$$B_{carlson} = 2(\Delta f_c + f_{max}) = 6.25 \text{ MHz}$$

### Despejando:

$$\Delta f_c = \frac{6.25}{2} - 0.408 = 2.717 \text{ MHz}$$

$$\Delta f_{ef} = \frac{\Delta f_c}{(f_{carga})(f_{cresta})}$$

$$\Delta f_{ef} = \frac{2.717}{(3.16)(2.22)} = 387.3 \text{ MHz}$$

$$\Delta f_{ef96} = 387.3 \text{ KHz}$$

Para 256 canales  $f_{max} = 1052$  KHz

Factor de cresta = 10 dB = 3.16

Factor de carga:

$$(-15 + 10 \log N) \text{dBmo si } N \geq 240$$

$$-15 + 10 \log 252 = 9.014 \text{dBmo} = 2.82$$

$$B_{carlson} = 2(\Delta f_c + f_{max}) = 12.5 \text{ MHz}$$

$$\Delta f_c = \frac{12.5}{2} - 1.052 = 5.198 \text{ MHz}$$

$$\Delta f_{ef} = \frac{5.198}{(3.16)(2.82)} = 583.3 \text{ KHz}$$

$$\Delta f_{ef252} = 583.3 \text{ KHz}$$

#### IV) Cálculo de la relación portadora ruido y la relación portadora a temperatura de ruido.

La relación portadora a ruido por canal de voz después del demodulador esta dada por:

$$\frac{S}{R} = \frac{C}{KTb} \left( \frac{\Delta f_{ef}}{f_{max}} \right)^2 P_1 P_2$$

donde  $b = 4$  KHz

y  $P_2 =$  ponderación psfométrica = 3.6 dB

para una banda de 4 KHz

$$P_1 = 5 - 10 \log \left[ 1 + \frac{6.9}{1 + \frac{5.25}{\left( \frac{1.25 f_{max}}{f} - \frac{f}{1.25 f_{max}} \right)^2}} \right]$$

$$f_{max} = 408 \text{ KHz (96 canales)}$$

$$f_{max} = 1052 \text{ KHz (252 canales)}$$

$f$  es la frecuencia del canal considerado.

En nuestro caso consideraremos  $f = f_{max}$  por ser la más afectada por el ruido.

$$P_1 = 5 - 10 \log \left[ 1 + \frac{6.9}{1 + \frac{5.25}{\left(1.25 - \frac{1}{1.25}\right)^2}} \right]$$

$$P_1 = 4 \text{ dB}$$

$$\left(\frac{C}{KTb}\right)_{dB} = \left(\frac{S}{R}\right)_{dB} - 20 \log \left(\frac{\Delta f_{ef}}{f_{max}}\right) - P_1 - P_2$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{dB} = \left(\frac{C}{KTb}\right)_{dB} + K_{dB} + b_{dB}$$

$$\left(\frac{S}{R}\right)_{dB} = 10 \log \left(\frac{1mW}{9000pW}\right) + 0.9$$

$$\left(\frac{S}{R}\right)_{dB} = 51.4 \text{ dB}$$

Para 96 canales

$$\frac{C}{KTb} = 51.4 - 20 \log \left(\frac{387.3}{408}\right) - 3.6 - 4$$

$$\left(\frac{C}{KTb}\right)_{96} = 44.25 \text{ dB}$$

La  $\frac{C}{T}$  que garantiza la  $\frac{S}{R}$  deseada será:

$$\frac{C}{T} = 44.25 - 228.6 + 36 + 2$$

condición (6d)  $\uparrow$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{96} = -146.3 \text{ dB}/^{\circ}\text{K}$$

**Para 252 canales**

$$\frac{C}{KTb} = 51.4 - 20 \log\left(\frac{583.3}{1052}\right) - 3.6 - 4$$

$$\left(\frac{C}{KTb}\right)_{252} = 48.92 \text{ dB}$$

$$\frac{C}{T} = 48.92 - 228.6 + 36 + 2$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{252} = -141.7 \text{ dB}/^{\circ}\text{K}$$

$$\frac{C}{N} = \frac{C}{KTb}$$

**Donde:**

$B$  = Banda de Carlson

$B = 12.5 \text{ MHz} = 70.97 \text{ dB}$  (252 canales)

$B = 6.25 \text{ MHz} = 67.96 \text{ dB}$  (96 canales)

$$\frac{C}{N} = \frac{C}{T} \frac{1}{KB} = \left(\frac{C}{T}\right)_{\text{dB}} - K_{\text{dB}} - B_{\text{dB}}$$

**Para 96 canales:**

$$-146.3 - (-228.6) - 67.96 = 14.34 \text{ dB}$$

**Para 252 canales**

$$-141.7 - (-228.6) - 70.97 = 15.93 \text{ dB}$$

$$\frac{C}{N} = 14.34 \text{ dB (96 canales)}$$

$$\frac{C}{N} = 15.93 \text{ dB (252 canales)}$$

En ambos casos  $\frac{C}{N} > 11 \text{ dB}$

Por lo tanto no se necesitan demoduladores especiales.

### **BALANCE ENERGETICO DEL ENLACE**

**V) Cálculo de las pérdidas por propagación.**

**Solución:**

Primero calculemos la distancia desde el satélite a cada estación terrena mediante la ecuación deducida en la solución de la pregunta No. 1.

$$l_2^2 = \overline{SP}^2 = h^2 + 2R(R+h)(1 - \cos lat \cos \Delta L)$$

Las pérdidas son obtenidas luego mediante:

$$20 \log \frac{4\pi L}{\lambda}$$

Para la trayectoria ascendente tenemos:

$$f = 6 \text{ GHz} \quad \lambda = \frac{C}{f} = 5 \times 10^{-2} \text{ m}$$

Para la trayectoria descendente tenemos:

$$f = 4 \text{ GHz} \quad \lambda = 7.5 \times 10^{-2} \text{ m}$$

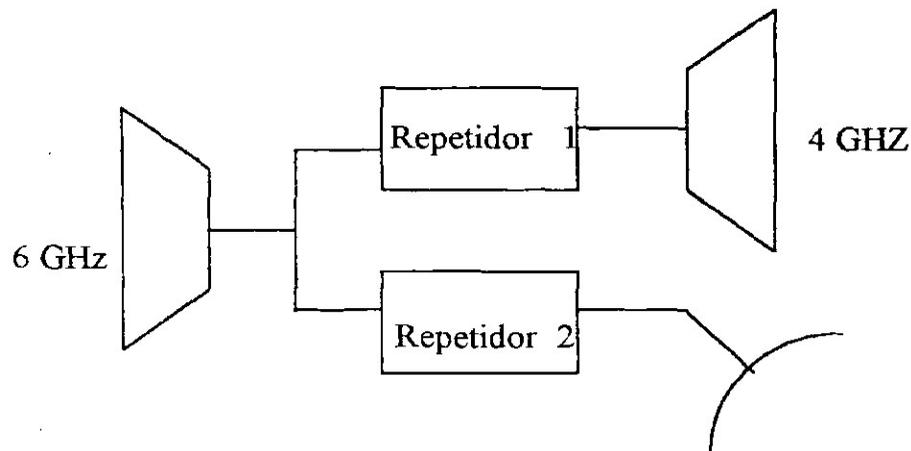
Resolviendo estas ecuaciones para cada estación, obtenemos la tabla siguiente:

Estación	lat	$\Delta L$	Distancia (Km.)	ATA <sub>dB</sub>	ATD <sub>dB</sub>
FR	48° 31' N	1° 54'	38345	199.68	196.16
STB	17° 55' N	64° 50'	40114	200.07	196.55
GUA	16° 15' N	63° 35'	39963	200.04	196.52
MAR	14° 31' N	63° 01'	39880	200.02	196.5
GUY	4° 56' N	54° 18'	38908	199.8	196.28
REU	20° 54' S	53° 32'	39088	199.85	196.32

$$\text{ATA} \approx 200 \text{ dB}$$

$$\text{ATD} \approx 196 \text{ dB}$$

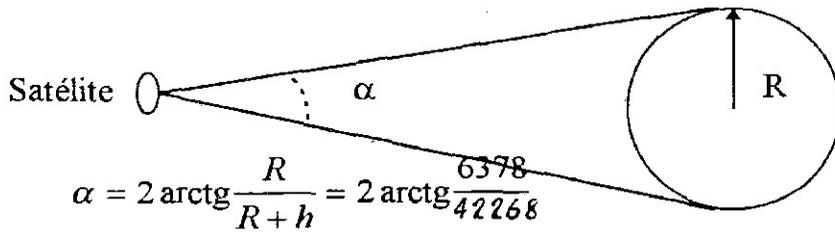
### VI) Optimización de los parámetros $\text{PIRE}_{\text{sat}}$ , $\text{G}/\text{T}_{\text{sat}}$ , $\text{PIRE}_{\text{ets}}$ , etc.



**ANTENAS:**

**Repetidor No. 1:**

Para simplificar consideraremos que la corneta debe tener una cobertura global para servir a todas las estaciones.



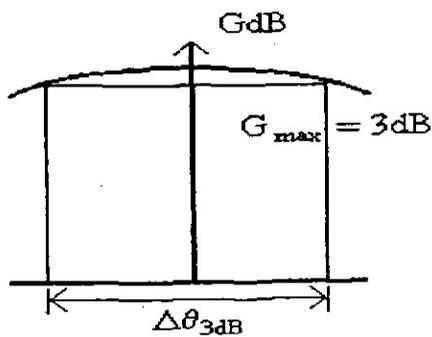
$\alpha = 17.2^\circ$

Consideremos para la corneta un ancho de haz igual a:

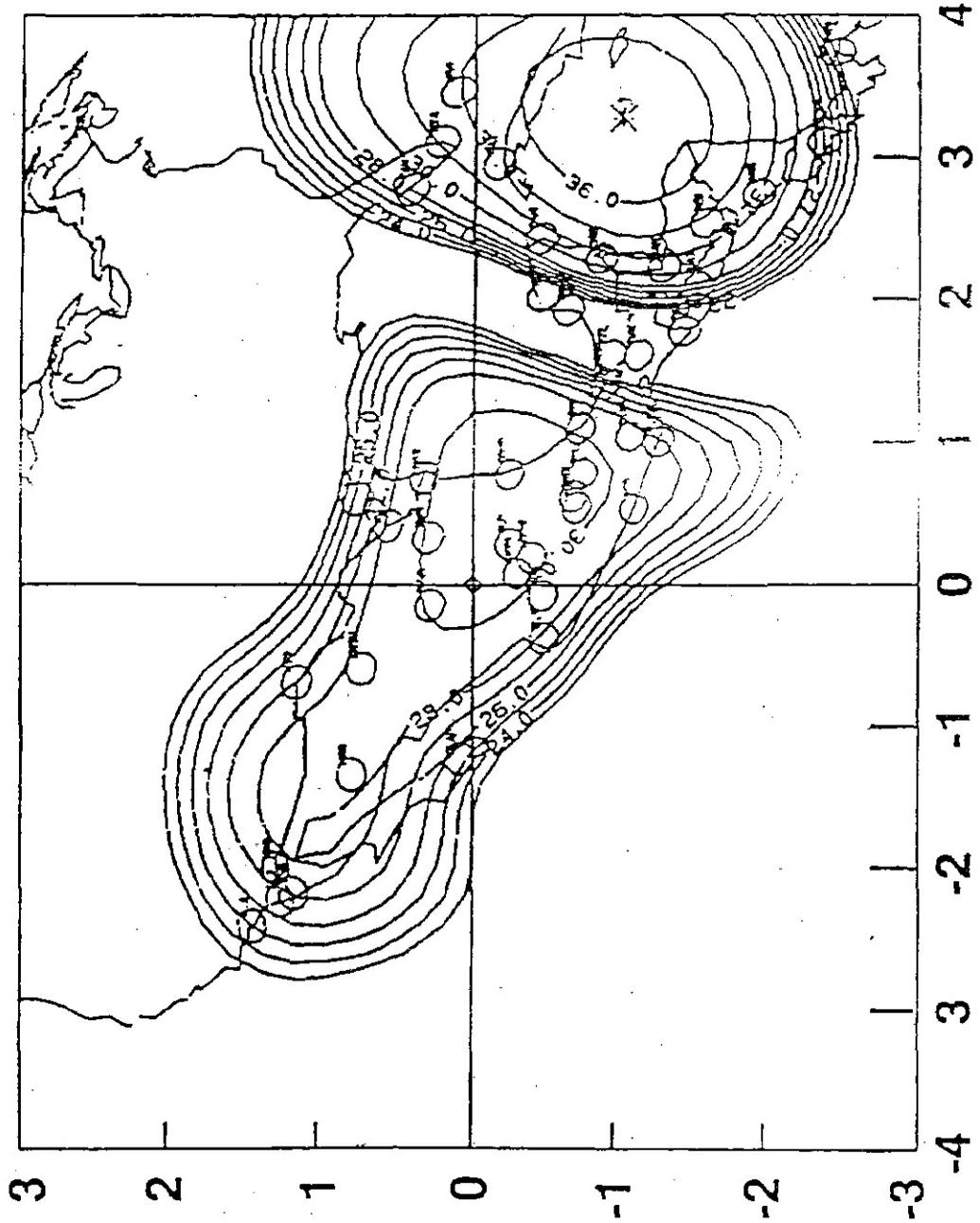
$$\Delta\theta_{3dB} = \frac{60\lambda}{D}$$

Además supongamos que el haz tiene forma parabólica:

$$G(\theta) = f(G_{max}, \Delta\theta_{3dB}, \theta)$$



**PATRON DE COBERTURA PARA COMANDO  
EN ESTACION 113°W**



Amboos ejes en grados

Y como:

$$G_{\min} = G_{\max} - 3\text{dB}$$

$$G_{\min} = 15\text{dB}$$

b) Si  $\Delta\theta_{4\text{dB}} = 17.2$

$$G(\theta) = G_{\max} - 3\left(\frac{2\theta}{\Delta\theta_{3\text{dB}}}\right)^2$$

$$\Delta\theta_{3\text{dB}} = \sqrt{\frac{3}{G_{\max} - G(\theta)}}(2\theta)$$

$$\Delta\theta_{3\text{dB}} = \left(\sqrt{\frac{3}{4}}\right)(17.2) = 14.9^\circ$$

$$\frac{D}{\lambda} = \frac{60}{14.9} = 4$$

$$\frac{D}{\lambda} = 4$$

DE GRAFICAS:  $\frac{L}{\lambda} = 5$

$$Dir = 19.5\text{dB}$$

$$G_{\max} = 19\text{dB}$$

$$G_{\min} = G_{\max} - 4\text{dB} = 15\text{dB}$$

c) Si  $\Delta\theta_{5\text{dB}} = 17.2^\circ$

$$\Delta\theta_{3\text{dB}} = \left(\sqrt{\frac{3}{5}}\right)(17.2) = 13.3^\circ$$

$$\frac{D}{\lambda} = \frac{60}{13.3} = 4.5$$

$$\frac{D}{\lambda} = 4.5$$

$$\frac{L}{\lambda} = 7$$

$$Dir = 20.5\text{dB}$$

$$G_{\max} = 20\text{dB}$$

$$G_{\min} = G_{\max} - 5\text{dB} = 15\text{dB}$$

Se van a utilizar las dimensiones de corneta para  $f = 6$  GHz y de este modo el funcionamiento a 4 GHz será mejor porque el ancho de haz se ensancha al disminuir la frecuencia.

a) Si  $\Delta\theta_{3dB} = 17.2^\circ$  (a 6 GHz)

$$\frac{D}{\lambda_2} = 3.5 \left( \frac{4}{6} \right) = 2.33$$

$$\frac{L}{\lambda_2} = 4 \left( \frac{4}{6} \right) = 2.66$$

De la gráfica  $Dir = 16$ dB

$$G_{max} = 15.5$$
dB

$$G_{min} = G_{max} - 3 \left( \frac{2\theta}{\Delta\theta_{3dB}} \right)^2$$

$$\text{a 4 GHz: } \Delta\theta_{3dB} = \frac{60\lambda}{D} = \frac{60}{\frac{D}{\lambda}} = \frac{60}{2.33} = 25.7^\circ$$

$$G_{min} = 15.5 - 3 \left( \frac{17.2}{25.7} \right)^2$$

$$G_{min} = 14.2$$
dB

b) Si  $\Delta\theta_{4dB} = 17.2^\circ$  (a 6 GHz)

$\Delta\theta_{3dB} = 14.9^\circ$  (a 6 GHz)

$$\frac{D}{\lambda_2} = 4 \left( \frac{4}{6} \right) = 2.6$$

$$\frac{L}{\lambda_2} = 5 \left( \frac{4}{6} \right) = 3.3$$

De la gráfica:  $Dir = 16.5$ dB

$$G_{max} = 16$$
dB

$$\text{a 4 GHz: } \Delta\theta_{3dB} = \frac{60}{\frac{D}{\lambda}} = \frac{60}{2.6} = 22.6^\circ$$

$$G_{\min} = 16 - 3 \left( \frac{17.2}{22.6} \right)^2$$

$$G_{\min} = 14.3 \text{ dB}$$

c) Si  $\Delta\theta_{3\text{dB}} = 17.2^\circ$  (a 6 GHz)

$$\frac{D}{\lambda_2} = 4.5 \left( \frac{4}{6} \right) = 3$$

$$\frac{L}{\lambda_2} = 7 \left( \frac{4}{6} \right) 4.66$$

De la gráfica  $Dir = 18.5 \text{ dB}$

$$G_{\max} = 18 \text{ dB}$$

$$\text{a } 4 \text{ GHz: } \Delta\theta_{3\text{dB}} = \frac{60}{3} = 20^\circ$$

$$G_{\min} = 18 - 3 \left( \frac{17.2}{20} \right)^2$$

$$G_{\min} = 15.8 \text{ dB}$$

Nivel relativo a $\Delta\theta = 17.2^\circ$ para 6 GHz	4 GHz $\frac{G_{\min}}{G_{\max}}$	6 GHz $\frac{G_{\min}}{G_{\max}}$	D cm	L cm
-3 dB	$\frac{14.2}{15.5}$	$\frac{15}{18}$	17.5	20
-4 dB	$\frac{14.3}{16}$	$\frac{15}{19}$	20	25
-5 dB	$\frac{15.8}{18}$	$\frac{15}{20}$	22.5	35

Nos detendremos en este último cálculo porque si seguimos adelante las dimensiones de la corneta se harán demasiado grandes.

**Repetidor No. 2:**

La parábola puede tener un diámetro máximo de 2 mts. y debe estar dirigida a la región Antillas - Guyana con:

$$n = 55 \% = -2.6 \text{ dB}$$

$$\Delta\theta_{3\text{dB}} = \frac{70\lambda}{D}$$

$$Dir = 20 \log \frac{\pi D}{\lambda}$$

Si se toma el diámetro máximo de dos metros para conseguir la máxima ganancia entonces:

$$D = 2\text{m} \rightarrow Dir = 38.5\text{dB}$$

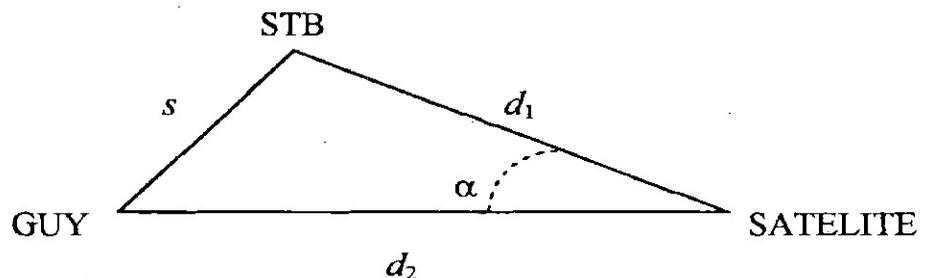
$$G_{\text{max}} = -2.6 + 38.5 = 35.9\text{dB}$$

$$\Delta\theta_{3\text{dB}} = \frac{70(7.5 \times 10^{-2})}{2}$$

$$\Delta\theta_{3\text{dB}} = 2.6^\circ$$

Ahora nos falta verificar el haz para ver si es lo bastante amplio como para cubrir la zona deseada.

Debemos calcular por lo tanto la máxima separación angular entre las estaciones consideradas. Ya que todas las estaciones están prácticamente alineadas sobre un mismo eje Norte - Sur; solo nos resta encontrar la separación entre la estación que esté más al norte y la que esté más al sur, es decir, entre Saint Barthélémy y la Guyana.



$d_1$  y  $d_2$  ya están calculadas.

Para conocer "s" vamos a trasladar a coordenadas cartesianas la posición de las estaciones y luego aplicamos la fórmula de la distancia.

$$x = R \cos lat \sin long$$

$$y = R \cos lat \cos long$$

$$z = R \sin lat$$

STB	GUY
$x_1 = 5400 \text{ Km.}$	$x_2 = 5028 \text{ Km.}$
$y_1 = 2771 \text{ Km.}$	$y_2 = 3886 \text{ Km.}$
$z_1 = 1962 \text{ Km.}$	$z_2 = 548 \text{ Km.}$

$$s = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

$$s = \sqrt{(5028 - 5400)^2 + (3886 - 2771)^2 + (548 - 1962)^2}$$

$$s = 1838.75 \text{ Km}$$

Volviendo al triángulo de la hoja anterior:

$$s^2 = d_1^2 + d_2^2 - 2d_1d_2 \cos \alpha$$

$$\alpha = \arccos \frac{d_1^2 + d_2^2 - s^2}{2d_1d_2}$$

$$\alpha = \arccos \frac{(40114)^2 + (38908)^2 - (1839)^2}{2(40114)(38908)}$$

$$\alpha = 2^\circ$$

Con lo que la antena cubre bien la zona deseada con una  $G_{max}$  de 35.9 dB.

$$G_{min} = G_{max} - 3 \left( \frac{\Delta \theta}{\Delta \theta_{3dB}} \right)^2$$

$$G_{min} = 35.9 - 3 \left( \frac{2}{2.6} \right)^2$$

$$G_{min} = 34.1 \text{ dB}$$

$$\frac{G}{T} \text{ sat} = ?$$

$$\text{Factor de ruido} = F = ?$$

Vamos a suponer un factor de ruido  $F = 3\text{dB}$  ya que este es un valor típico para un satélite.

$$F = 1 + \frac{T_e}{300}$$

$$F = 3\text{dB} = 2$$

$$T_e = 300^\circ\text{K}$$

$$T_{\text{Total}} = 300^\circ\text{K} + 300^\circ\text{K} = 600^\circ\text{K}$$

↑  
— Temperatura debido a la tierra

Utilizaremos una temperatura de  $1000^\circ\text{K}$  para tener un margen de seguridad.

La  $G_{\text{SAT}}$  en la recepción es de  $15\text{dB}$

$$\frac{G}{T} = 15\text{dB} - (1000^\circ\text{K})\text{dB}$$

$$\frac{G}{T} = -15\text{dB}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_d = \text{PIRE}_{\text{sat}} - ATD + \left(\frac{G}{T}\right)_{\text{E.T.}}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_d = \text{PIRE}_{\text{sat}} - 196 + 40.7$$

↑  
— Estación estandar "A"

$$\left(\frac{C}{T}\right)_d = \text{PIRE}_{\text{sat}} - 155.3$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_a = \text{PIRE}_{\text{E.T.}} - ATA + \left(\frac{G}{T}\right)_{\text{sat}}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_a = \text{PIRE}_{\text{E.T.}} - 200 - 15$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_a = \text{PIRE}_{\text{E.T.}} - 215$$

Por otra parte tenemos:

Para las portadoras de 252 canales:

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{Total}} = -141.7 \frac{\text{dB}_w}{^\circ\text{K}}$$

Y también:

$$\left(\frac{C}{T}\right)_a^{-1} + \left(\frac{C}{T}\right)_d^{-1} = \left(\frac{C}{T}\right)_T^{-1}$$

Si se dispone de un tubo de ondas progresivas de 10 Watts le corresponderán 2 Watts a cada canal (Múltiplex).

$$P = 2 \text{ Watts} = 3 \text{ dB}_W$$

Supongamos que las pérdidas son de 1.5 dB:

$$PIRE_{sat} = 3\text{dB}_W - 1.5\text{dB} + 15.8\text{dB}$$

$$PIRE_{sat} = 17.3\text{dB}_W$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_d = PIRE_{sat} - 155.3 = 17.3 - 155.3$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_d = -138 \frac{\text{dB}_W}{^\circ\text{K}}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_a^{-1} = \left(\frac{C}{T}\right)_T^{-1} - \left(\frac{C}{T}\right)_d^{-1}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_T = -141.7\text{dB} = 6.76 \times 10^{-15}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_d = -138\text{dB} = 1.58 \times 10^{-14}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_a^{-1} = (6.76 \times 10^{-15})^{-1} - (1.58 \times 10^{-14})^{-1}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_a = -139.3 \frac{\text{dB}_W}{^\circ\text{K}}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_a = PIRE_{E.T.} - 215$$

$$PIRE_{E.T.} = 215 - 139.3$$

$$PIRE_{E.T.} = 75.7\text{dB}_W$$

**Repetidor No. 2.**

$$\left(\frac{G}{T}\right)_{E.T.} = 31.7 \text{ (Estandar "B")}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_d = PIRE_{sat} - ATD + 31.7$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_d = PIRE_{sat} - 164.3$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{T252} = -141.7 \frac{\text{dB}_w}{^\circ\text{K}}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{T96} = -146.3 \frac{\text{dB}_w}{^\circ\text{K}}$$

Podemos observar que la diferencia entre las portadoras de 252 y 96 es de 4.6 dB y como la potencia del TWT es de 10 Watts entonces

$$3x + 4y = 10$$

$x$  = Potencia de portadoras de 252 canales

$y$  = Potencia de portadoras de 96 canales

$$\frac{x}{y} = 10^{\frac{4.6}{10}} = 2.88$$

$$x = 2.88y$$

$$3(2.88y) + 4y = 10$$

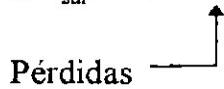
$$y = 0.79 = -1\text{dB}_w$$

$$x = (2.88)(0.79)$$

$$x = 2.228 = 3.6\text{dB}_w$$

$$PIRE_{sat} = 3.6 - 1.5 + 34.1$$

Pérdidas



Ganancia de la antena



$$\left(\frac{C}{T}\right)_{d252} = PIRE_{sat} - ATD + \left(\frac{G}{T}\right)_{E.T.}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{d252} = 36.2 - 164.3$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{d252} = -128.1 \frac{\text{dB}_w}{^\circ\text{K}}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{a252}^{-1} = \left(\frac{C}{T}\right)_{T252}^{-1} = \left(\frac{C}{T}\right)_{d252}^{-1}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{T252} = -141.7\text{dB} = 6.76 \times 10^{-15}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{d252} = -128.1\text{dB} = 1.55 \times 10^{-13}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{a252}^{-1} = \left(6.76 \times 10^{-15}\right)^{-1} - \left(1.55 \times 10^{-13}\right)^{-1}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{a252} = -141.5 \frac{\text{dB}_w}{^\circ\text{K}}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{a252} = PIRE_{E.T.} - ATA + \left(\frac{G}{T}\right)_{sat}$$

$$\left(\frac{G}{T}\right)_{sat} = -15 \frac{\text{dB}_w}{^\circ\text{K}}$$

$$PIRE_{E.T.} = \left(\frac{C}{T}\right)_a + ATA - \left(\frac{G}{T}\right)_{sat} = \left(\frac{C}{T}\right)_a + 215$$

$$PIRE_{E.T.} = -141.5 - 215$$

$$PIRE_{E.T.} = 73.5\text{dB}_w$$

**Resumiendo:**

**Para 252 canales:**

$$PIRE_{E.T.} = 73.5 \text{ dB}_w$$

$$PIRE_{sat} = 36.2 \text{ dB}_w$$

**Para 96 Canales:**

Restando 4.6 dB con respecto  
a las de 252 canales

$$PIRE_{E.T.} = 68.9 \text{ dB}_w$$

$$PIRE_{sat} = 31.6 \text{ dB}_w$$

## VII) Diagrama de la carga útil.

### Repetidor No. 1

Ganancia de la antena de recepción = 15dB

$$\text{Ganancia de la antena de transmisión} = \frac{15.8\text{dB}}{30.8\text{dB}}$$

$$\text{Señal llegando al satélite} = PIRE_{E.T.} - ATA = 75.7 - 200 = -124.3\text{dB}_w$$

$$PIRE_{sat} = 17.3$$

$$\text{Ganancia del satélite} = 17.3 - (-124.3) = 141.6\text{dB}$$

### Repetidor No. 2

Ganancia de la antena de recepción = 15dB

$$\text{Ganancia de la antena de transmisión} = \frac{34.1\text{dB}}{49.1\text{dB}}$$

$$\text{Señal llegando al satélite} = PIRE_{E.T.} - ATA = 73.5 - 200 = -126.5\text{dB}_w$$

$$PIRE_{sat} = 36.2$$

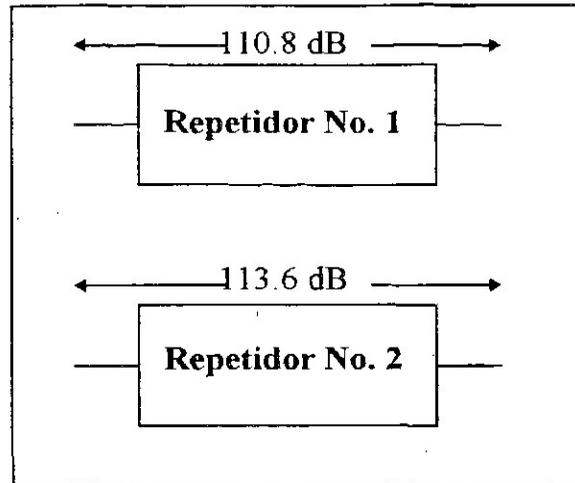
$$\text{Ganancia del satélite} = 36.2 - (-126.5) = 162.7\text{dB}$$

### Ganancia del repetidor No. 1

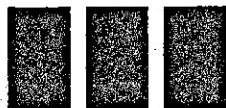
$$141.6 - 30.8 = 110.8\text{dB}$$

**Ganancia del Repetidor No. 2**

$$162.7 - 49.1 = 113.6 \text{ dB}$$



# SECCION



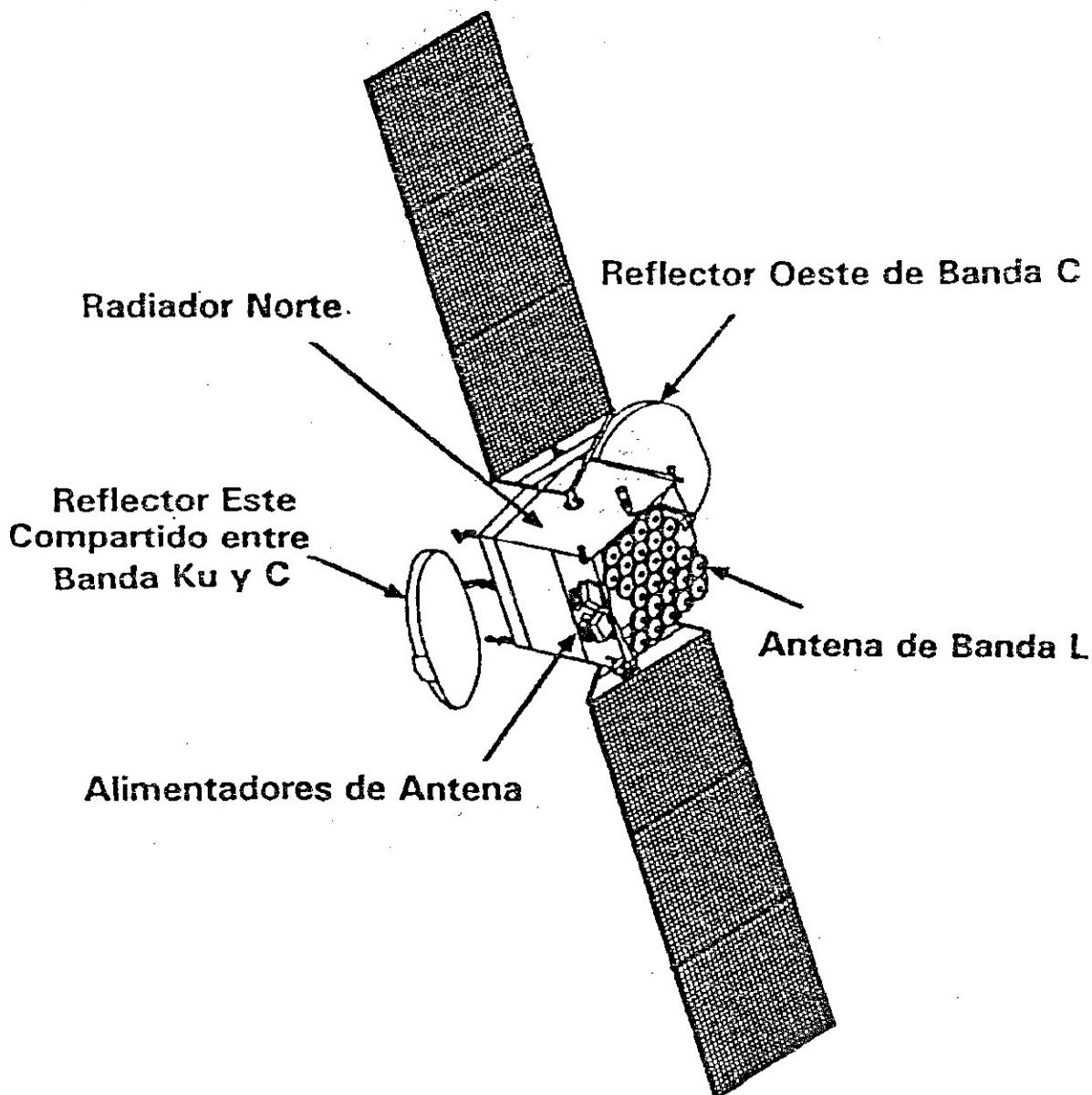
(apéndice D)  
satélites Solidaridad

## GENERALIDADES

Con la puesta en órbita del satélite mexicano Solidaridad II, se obtuvo una mayor cobertura geográfica y se incrementó la capacidad para vídeo, telefonía y transmisión de datos en general.

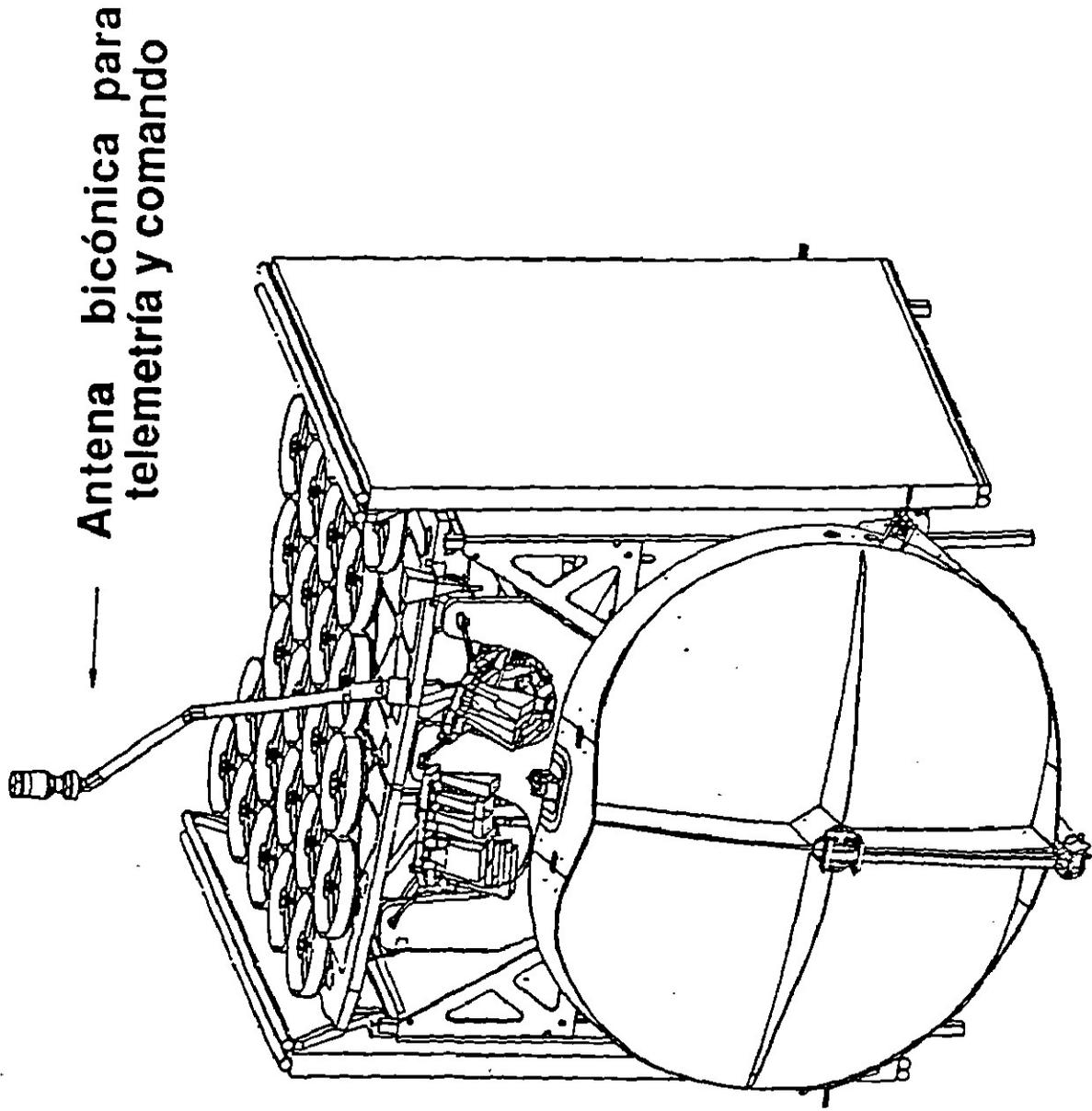
La vida útil de los Satélites Solidaridad es de 14 años, y tienen como fin prestar servicios públicos y privados de telecomunicaciones, televisión y transmisión de señales digitales, por medio de 24 repetidoras en banda Ku y 36 en la banda C. Además de incorporar la banda L, la cual permite la conexión con vehículos móviles para el transporte terrestre, aéreo o marítimo en México.

Con el nuevo sistema satelital, alrededor de 10,000 comunidades rurales del país tendrán acceso a los servicios telefónicos y educativos, ya que la SEP ha estado instalando equipo de televisión interactiva. (Videoconferencia).

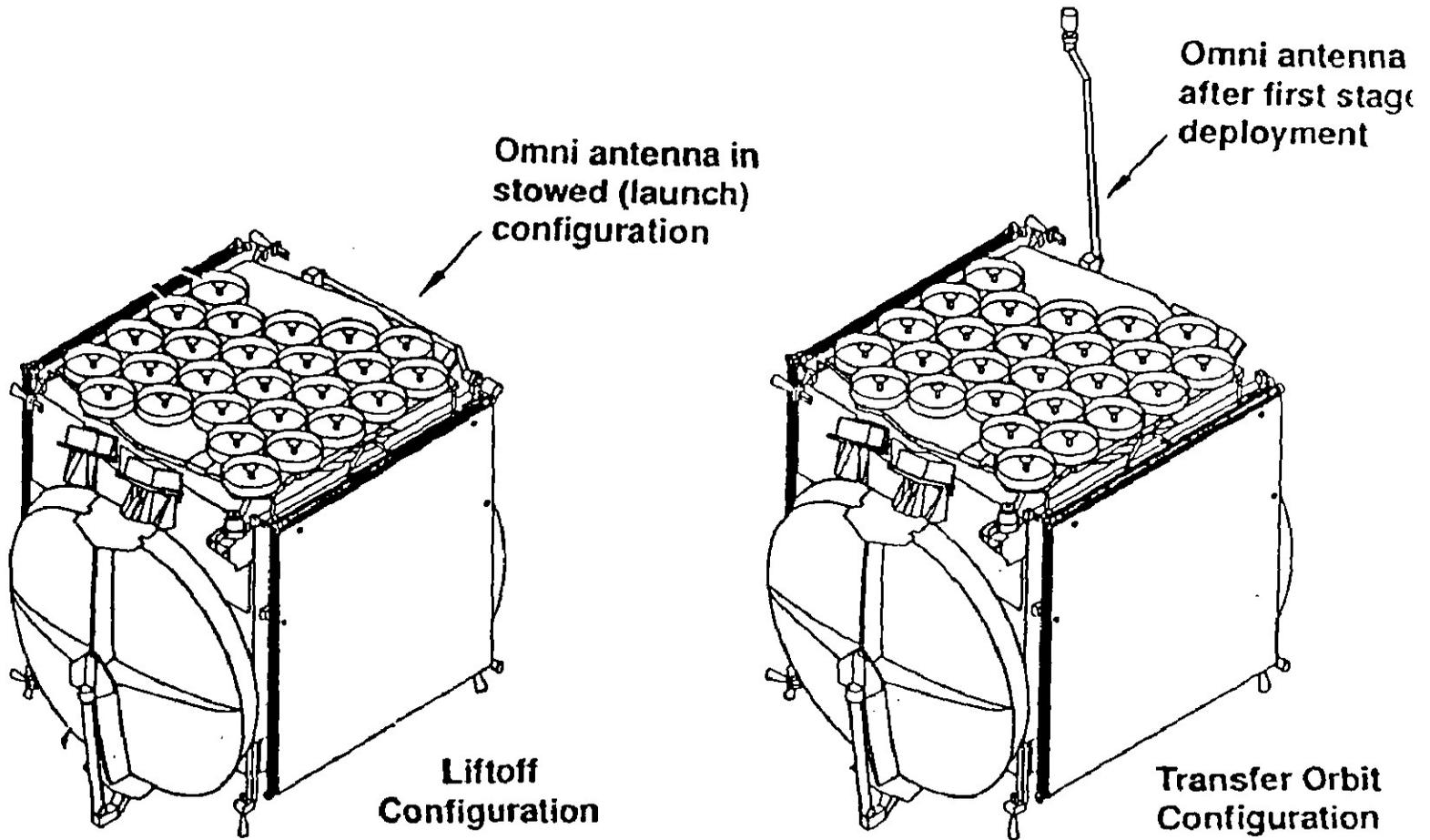


# CONFIGURACION EN ORBITA DE TRANSFERENCIA

## ANTENA OMNI DESPLEGADA

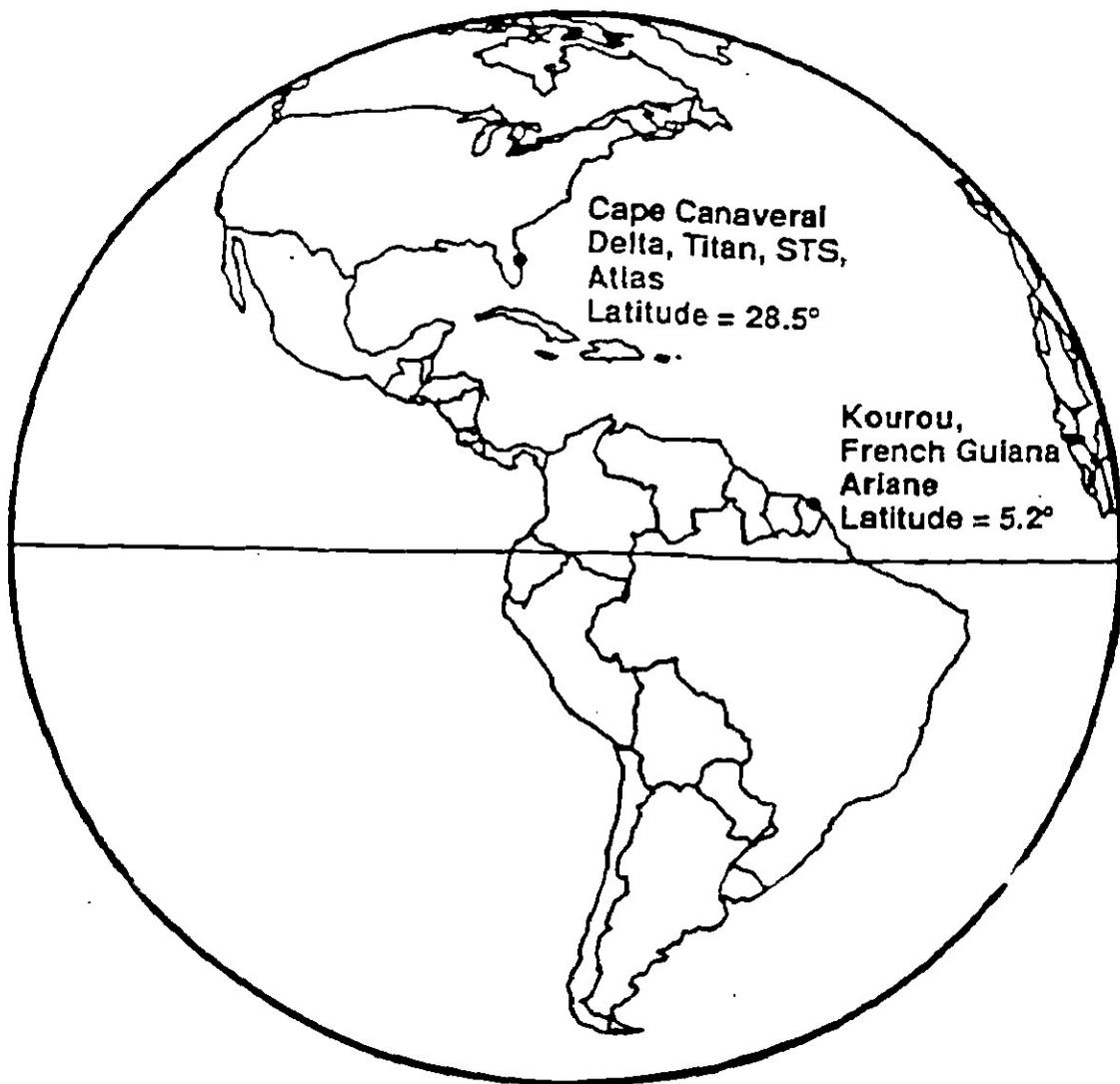


# PRIMER DESPLIEGE DE LA OMNI



PRIMER DESPLIEGE DE LA OMNI

# SITIOS DE LANZAMIENTO



**El lanzamiento tuvo una duración de:**

- ◆ Cuatro semanas para embarque, transportación y preparación para lanzamiento
- ◆ Veinte minutos de lanzamiento
- ◆ Una semana de maniobras para alcanzar la órbita geoestacionaria
- ◆ Tres semanas de pruebas en órbita

## **CONTROL DE LA ÓRBITA DEL SATÉLITE**

Se analizan dos tipos de maniobras al Solidaridad de inclinación (Norte-Sur) de Derivación / Excentricidad (Este-Oeste).

Cada tipo de maniobra se realiza cada dos semanas.

Para poder planear estas maniobras se colectan datos de rastreo de las antenas y se mide la distancia que hay desde la estación de rastreo de las antenas y se mide la distancia.

## **LOCALIZACIÓN DEL MÁXIMO APUNTAMIENTO DE LA NAVE ESPACIAL (CON REFERENCIA AL PLANO ECUATORIAL)**

RANURA	Az	EI	LATITUD	LONGITUD
109.2° W	1.08°	4.0°	25.62° N	102.52° W
113.0° W	1.65°	4.0°	21.71° N	102.67° W

## SUBSISTEMA DE COMANDO

**Comando:** Mensaje codificado digitalmente, modulado sobre una portadora de Rf y transmitido al satélite, o internamente generado y transmitido al subsistema de comando, contiene una instrucción específica.

### Funciones:

1. Recibir comandos enviados de tierra o generados internamente.
2. Demodular, decodificar y distribuir mensajes a los usuarios adecuados.

### Funciones de la antena de comando

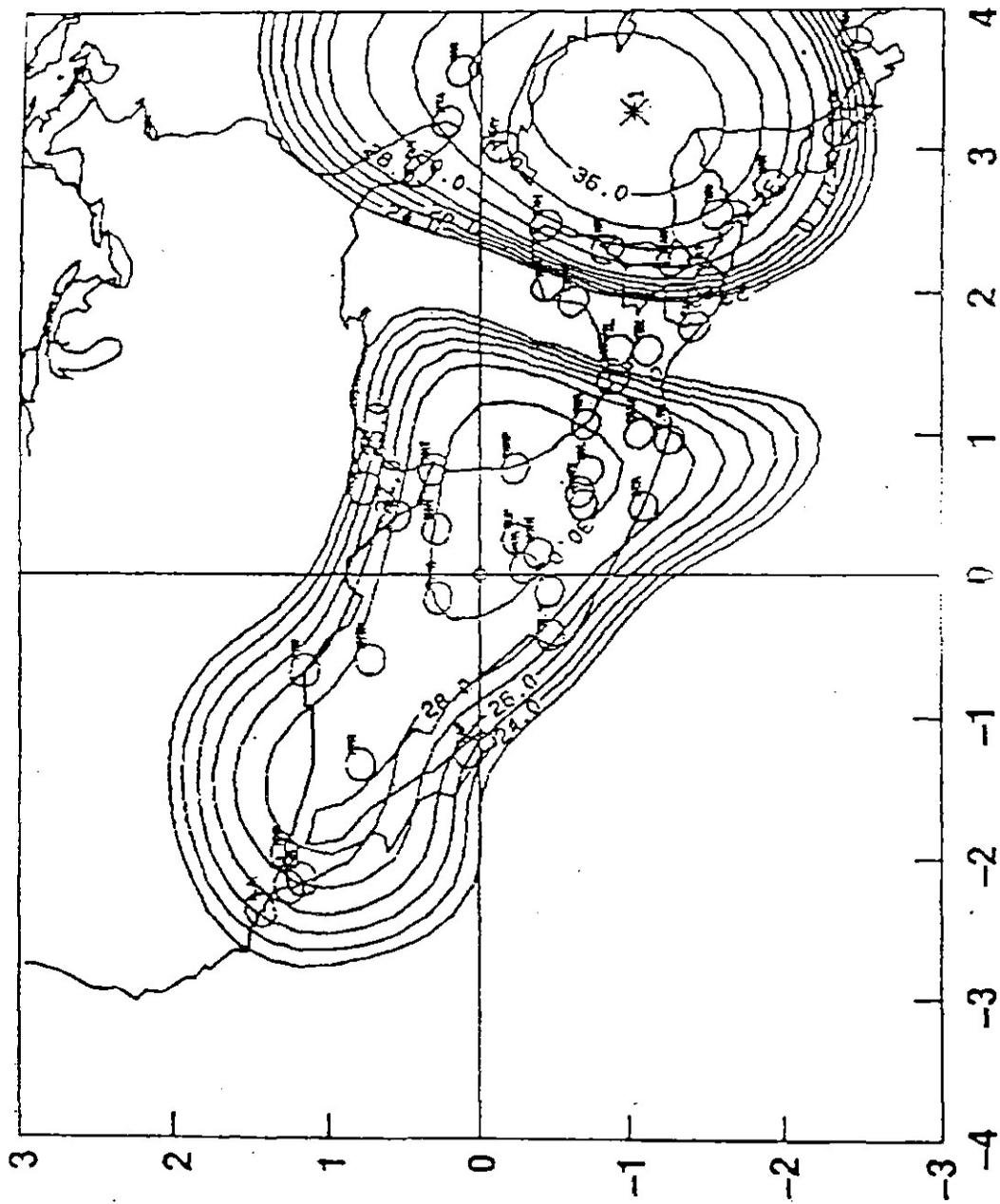
Se tiene cobertura de la antena omnidireccional durante el lanzamiento y la órbita de transferencia y sirve como respaldo en estación en caso de presentarse alguna anomalía.

En estación se tiene una cobertura de comando de alta ganancia con el reflector oeste y el arreglo de alimentadores.

## ESPECIFICACIONES MÍNIMAS DE LA GANANCIA DE LA ANTENA

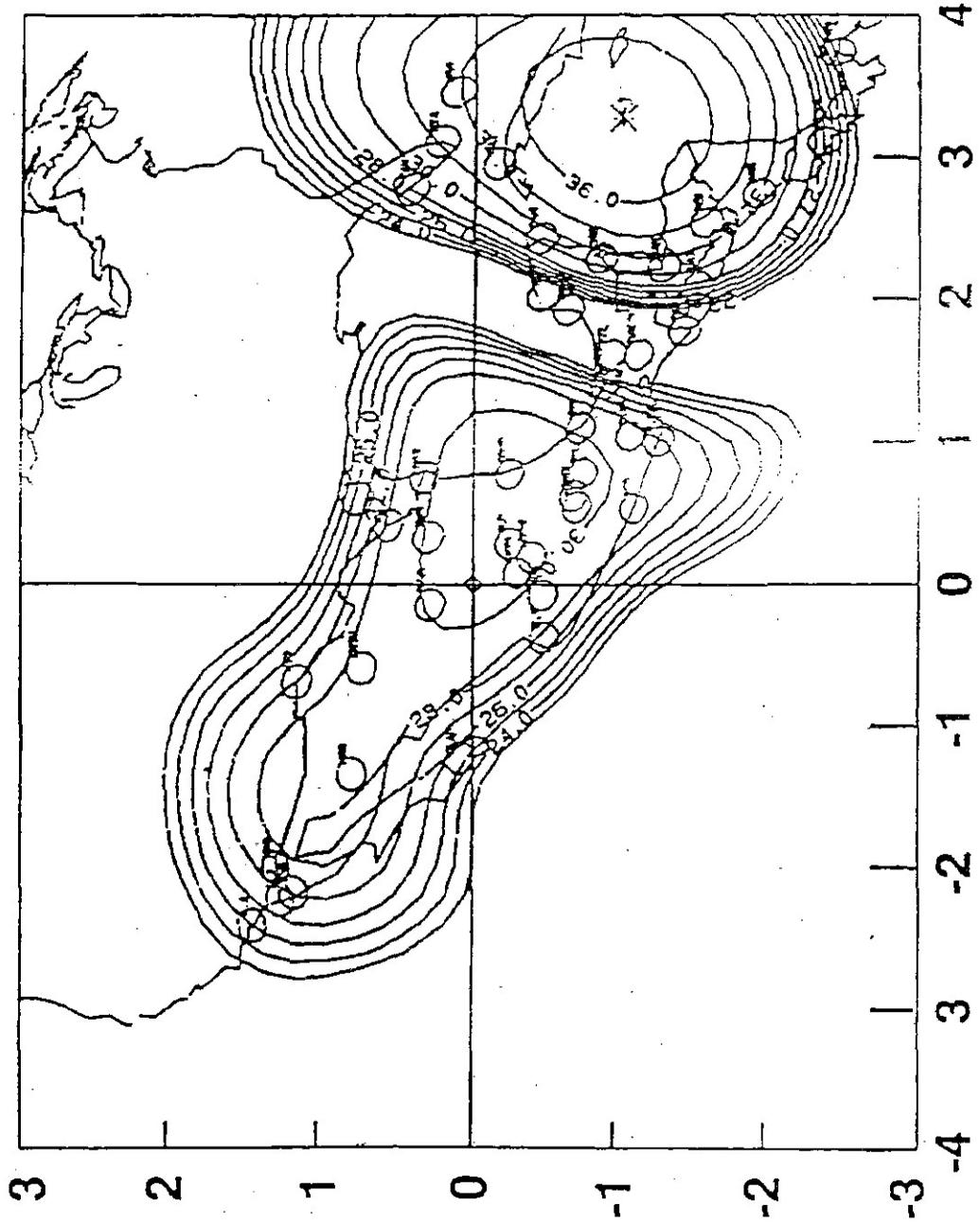
OMNI		EN ESTACION	
0° elevación	0.6 dB	Iztapalapa	29.6 dB
+/- 35	-1.4 dB	Hermosillo	27.5 dB

**PATRON DE COBERTURA PARA COMANDO  
EN ESTACION 109.2°W**



Ampos ejes en grados

**PATRON DE COBERTURA PARA COMANDO  
EN ESTACION 113°W**



Ambos ejes en grados

## SUBSISTEMA DE TELEMETRÍA

### FUNCIONES:

Colecta, formatea y codifica información relativa a la configuración y estado del satélite.

Trasmite información codificada a la estación en tierra, por un enlace de RF en banda C modulado, y al procesador del control del satélite del subsistema de control de orientación por un enlace digital serie.

Proporciona dos enlaces de RF simultánea y continuamente por la antena omnidireccional en el lanzamiento y en órbita de transferencia y en estación por el reflector de ganancia.

Sirve como enlace de bajada para la señal de rango.

### FUNCIONES DEL TRANSMISOR DE TELEMETRÍA

Proporciona una portadora de enlace de bajada a dos diferentes líneas de transmisión.

Permite seleccionar comandable desde tierra para escoger telemetría o tonos de rango.

### FUNCIONES DE LA ANTENA DE TELEMETRÍA

Se tiene cobertura de la antena omnidireccional durante el lanzamiento y la órbita de transferencia y sirve como un respaldo en estación en caso de presentarse alguna anomalía.

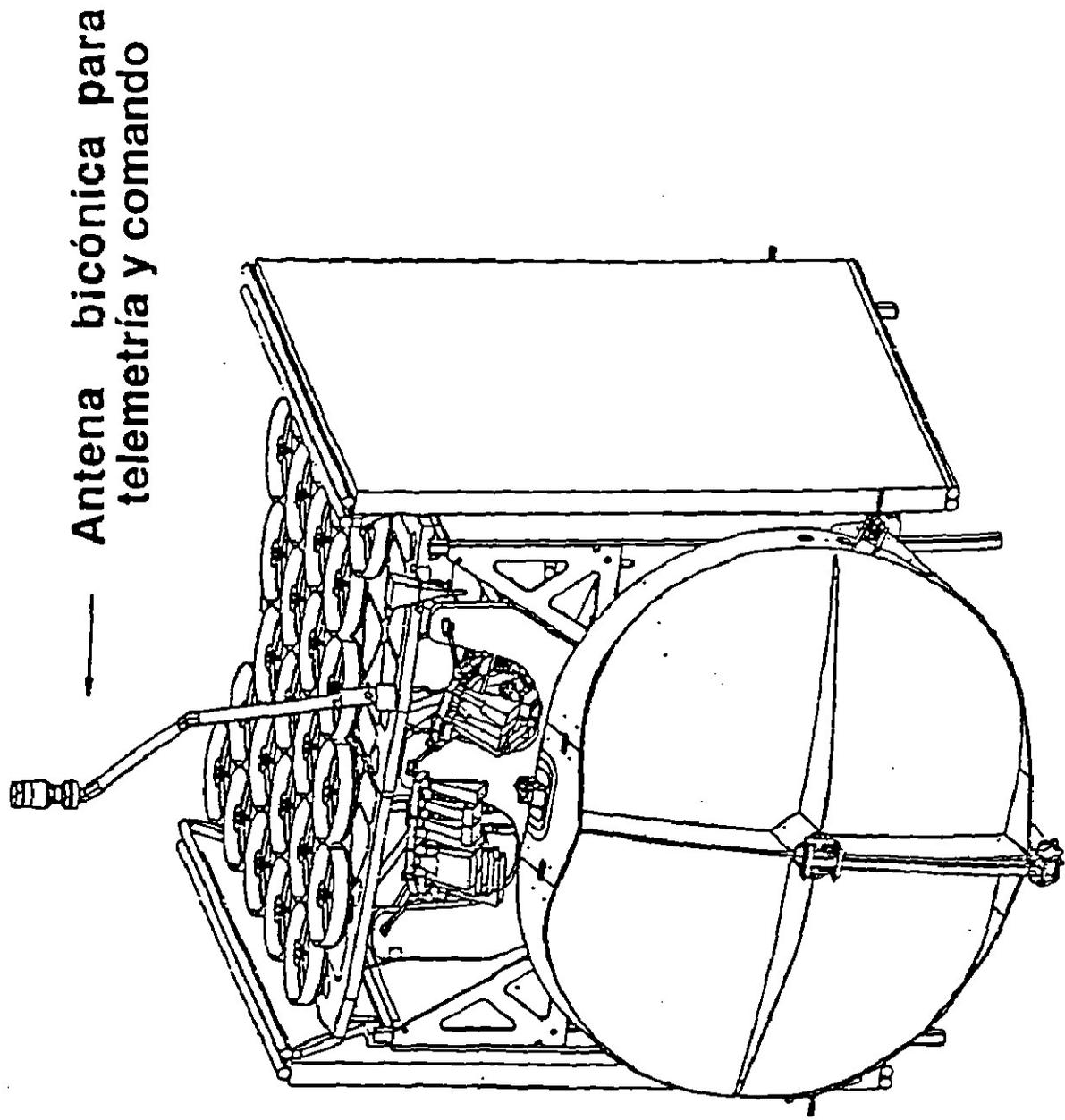
En estación: Cobertura de telemetría de alta ganancia multiplexando señales en los haces de comunicaciones en R1 horizontal y R3 vertical.

### ESPECIFICACIONES MÍNIMAS DE LA GANANCIA DE LA ANTENA

OMNI		EN ESTACIÓN	
0° Elevación	2.2 dB	Iztapalapa	32.6 dB
+/- 20°	0.2 dB	Hermosillo	32.2 dB

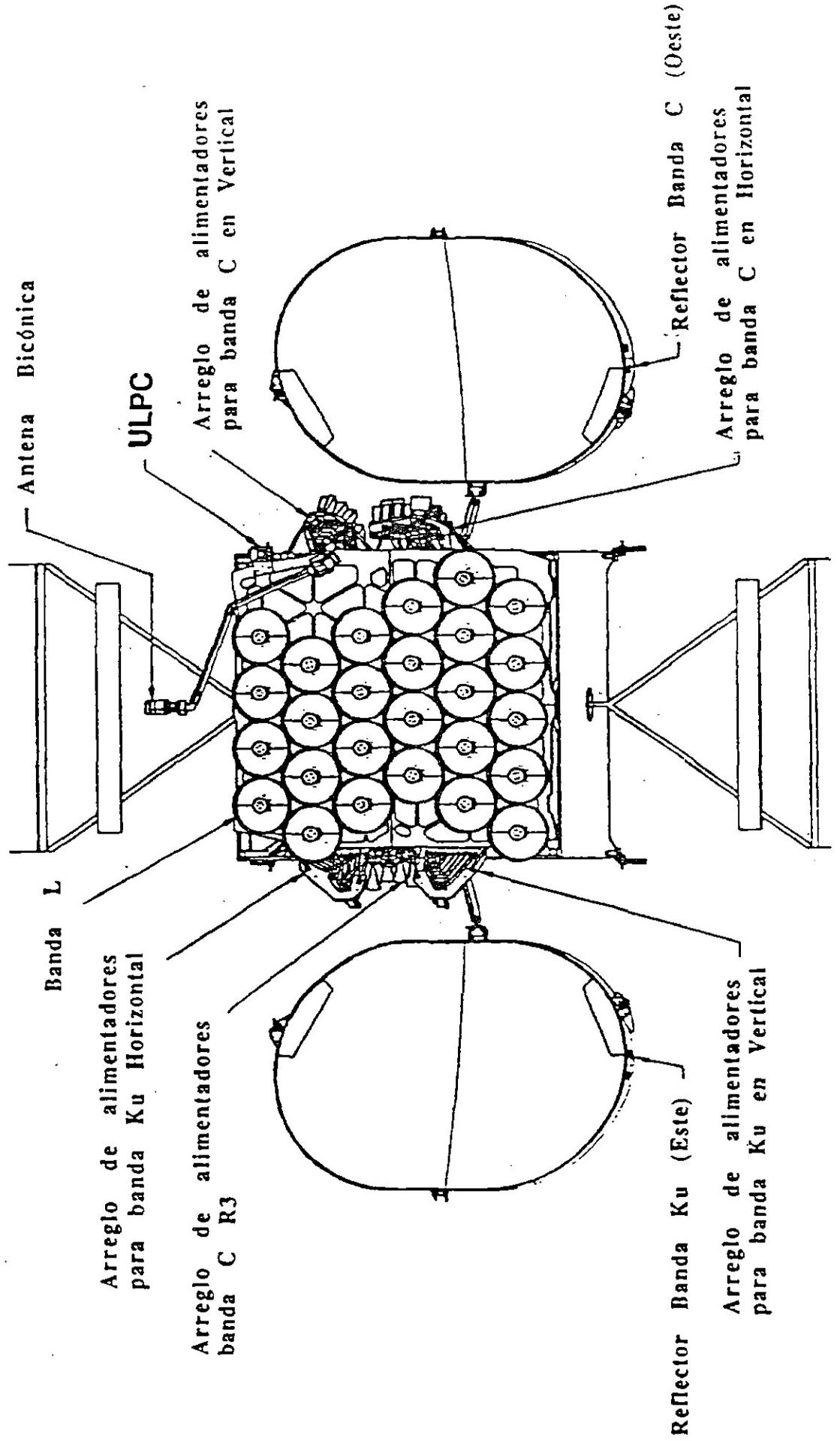
# CONFIGURACION EN ORBITA DE TRANSFERENCIA

## ANTENA OMNI DESPLEGADA



# CONFIGURACION EN ESTACION

## ANTENAS DESPLEGADAS



## **SUBSISTEMA DE RANGO**

En el subsistema de rango consiste modular en fase sobre la portadora de bajada, los tonos de rango enviados desde la estación desde la estación terrena en la señal de comando FM, para que el satélite los regrese a la estación. Por lo que el rango es el procedimiento para medir y determinar con suficiente exactitud la distancia entre la estación terrena y el satélite.

### **Función:**

Proporcionar retransmisión para realizar rango

La señal de rango pasa por ambos receptores de comando y por ambos transmisores de telemetría. El rango puede ser enrutado a través de la antena de comunicaciones de banda C. El rango por TV utiliza una señal de televisión modulada en FM a través del repetidor de banda C.

## SUBSISTEMA DE PROPULSIÓN

El subsistema de propulsión es un diseño integral, capaz de almacenar bipropelante, el cual sirve para su mantenimiento en estación y control de orientación proporcionando el impulso y momento necesario en los tres ejes.

El satélite HS 601 utiliza:

Sistema bipropelante Hipergólico (MON3 y MMH)

El sistema integrado funciona tanto en órbita de transferencia como estación

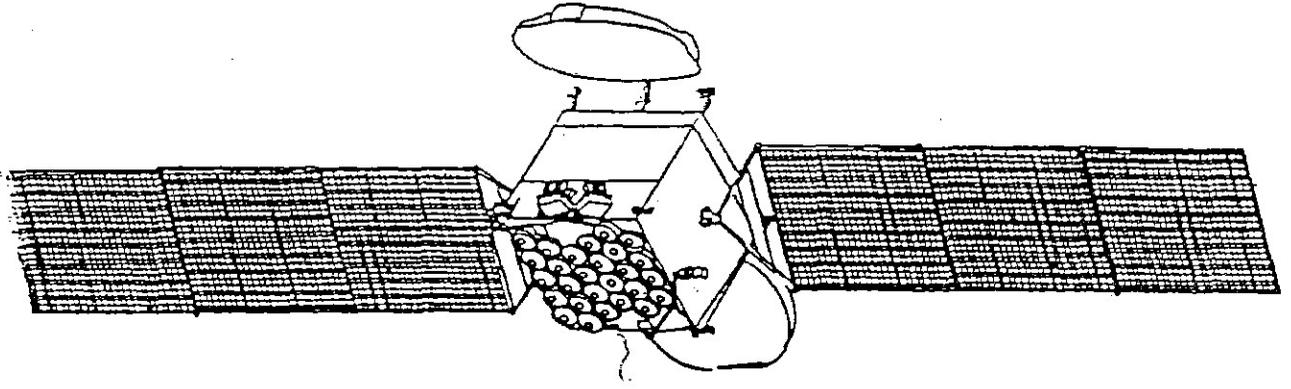
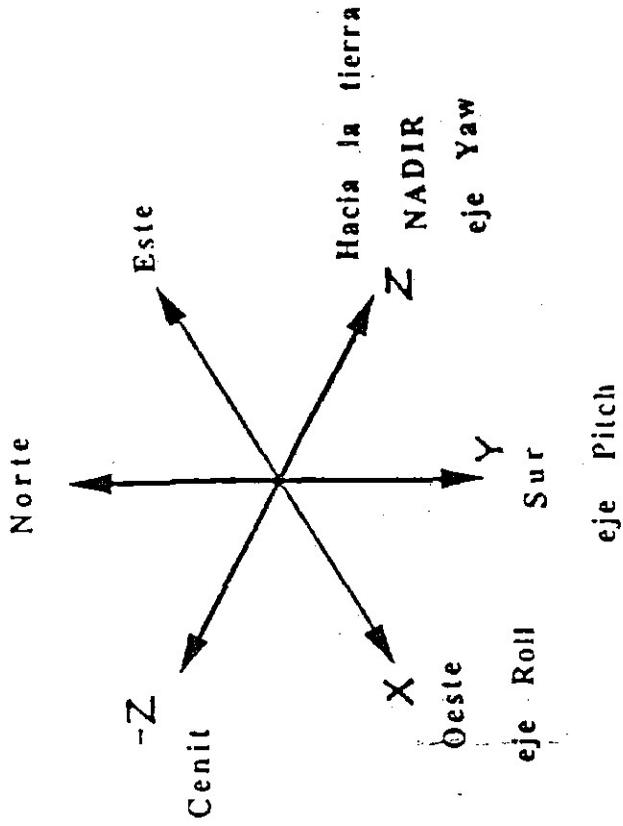
Inserción a la órbita  
Aumento de perigeo  
Circularizar desde apogeo  
Control de orientación

Combustible	MMH Monometil hidracina
Oxidante	MON3 (N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> - MON3; Tetróxido de Nitrógeno con 3% de mezcla de óxidos de Nitrógeno)

La distribución entre oxidante y combustible para una carga de 1660 Kg es:

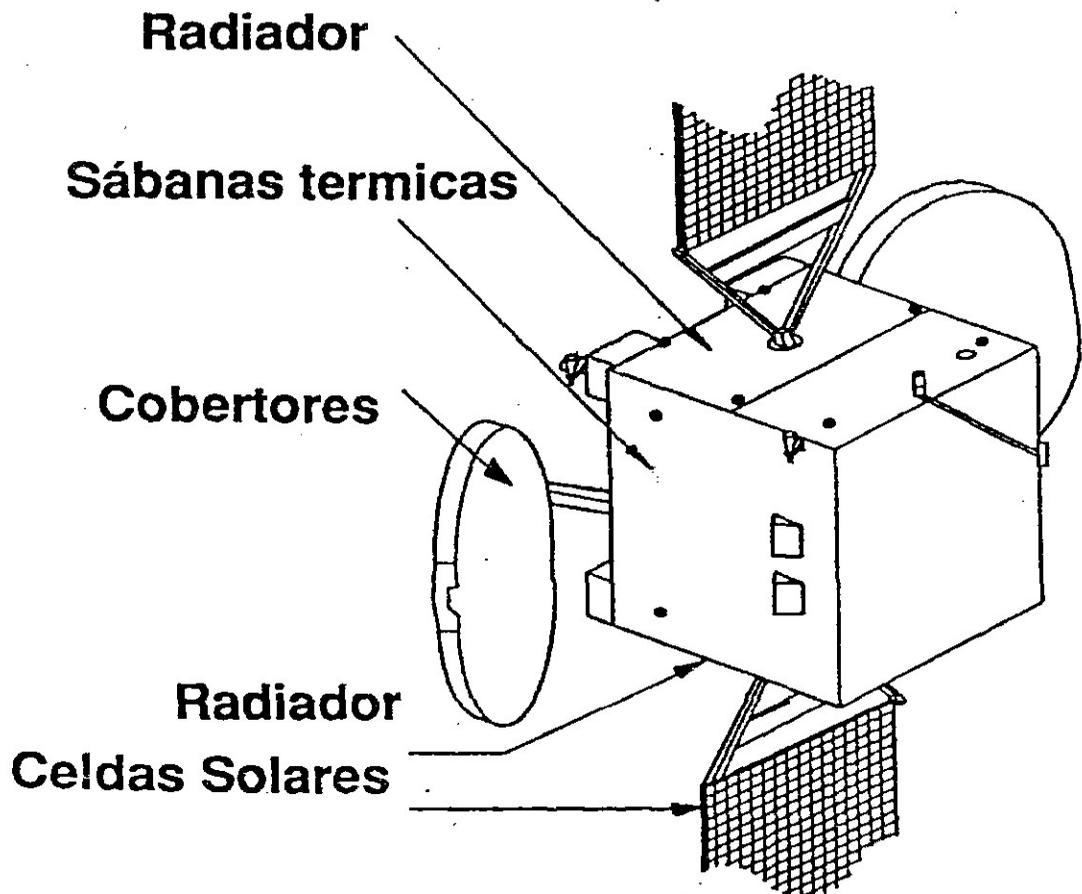
1030 Kg de Oxidante  
630 Kg de Combustible

# SATELITE SOLIDARIDAD



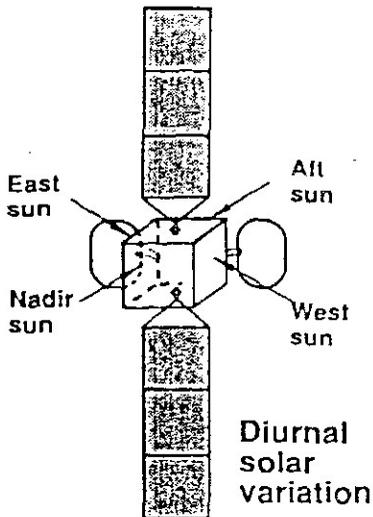
## SUBSISTEMA TÉRMICO

SISTEMA/ SUBSISTEMA	DISEÑO	ELEMENTOS DE CONTROL TÉRMICO
Cuerpo principal	Minimizar el calor solar debido a la radiación solar diaria	Sábanas E-O Sábanas en el nadir y zenit Radiadores de cristal N-S (baja absorción solar) Localización de unidades de alta disipación en los radiadores
Electrónica de disipación	Reducir temperaturas (remover el calor del satélite)	Radiadores de cristal Pozos de calor/duplicados Tubería de calor Alta emisividad de pintura negra



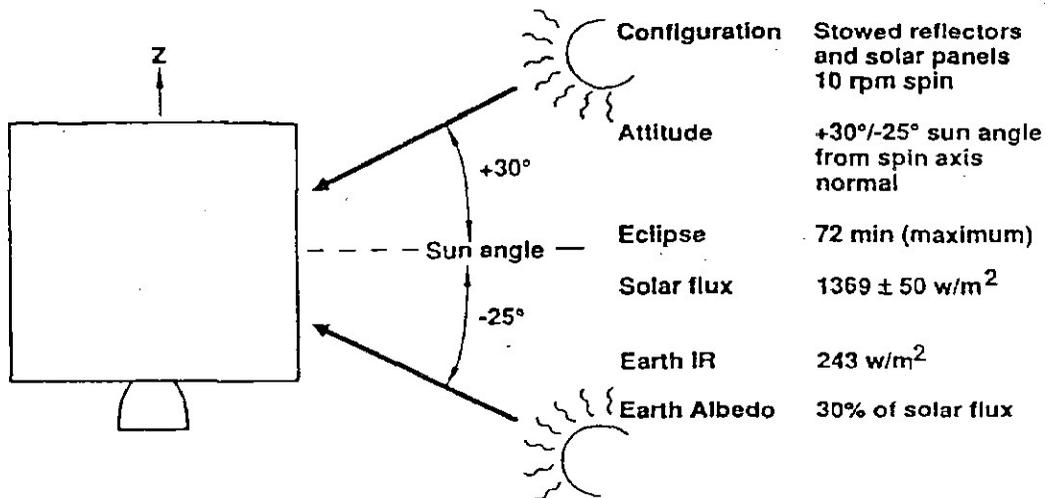
# AMBIENTE TERMICO

## ORBITA GEOSINCRONA



Configuration	Deployed
Attitude	3-axis stabilized
Sun angle	$\pm 23.5^\circ$ out of orbit plane
Eclipse	72 min (maximum)
Solar flux	$1369 \pm 50 \text{ w/m}^2$

## ORBITA DE TRANSFERENCIA



Configuration	Stowed reflectors and solar panels 10 rpm spin
Attitude	$+30^\circ/-25^\circ$ sun angle from spin axis normal
Eclipse	72 min (maximum)
Solar flux	$1369 \pm 50 \text{ w/m}^2$
Earth IR	$243 \text{ w/m}^2$
Earth Albedo	30% of solar flux

# **SUBSISTEMA DE POTENCIA ELÉCTRICA**

## **MODO DE OPERACIÓN EN ÓRBITA OPERACIONAL**

La órbita operacional es la órbita geosíncrona:

35,786 Km

24 Hrs. de período de rotación

inclinación de cero

órbita circular

Potencia completa a carga útil

Operación de comunicaciones de la carga útil

Calentadores

Despliegue de las alas solares

Percepción completa del sol

Exposición del radiador térmico

### **Modo luz solar**

El arreglo solar genera la potencia eléctrica del satélite

La batería debe ser cuidada para mantener su capacidad en los eclipses

Dos modos de razón rápida de carga en el cuidado de la batería:

#### **Recarga de batería en razón rápida**

1.- Después de cada eclipse

2.- Razón rápida = 8 amps

3.- Incremento de la temperatura de batería al final de la recarga

#### **Recarga en razón lenta**

1.- Durante el período de eclipses, después de que la batería esta cargada completamente

2.- Razón lenta = 0.8 amps

### **Modo eclipse**

La batería suministra la energía para operar el satélite

Dos períodos por año de 46 días, en cada período el eclipse más largo es de 70 minutos

Suministra también energía, por si alguna razón pierde al sol (Falla el ASC, falla la circuitería, eclipse de luna)

## PERIODOS

Todos los satélites geosíncronos tienen el mismo período de equinoccios y solsticios.

Solsticio	Primer día de verano o invierno (21 de junio y 21 de diciembre)
Equinoccio	Primer día de primavera u otoño (21 de marzo y 21 de septiembre)
Período de eclipses	Equinoccio +/- 23 días
Período de solsticio	Los otros días

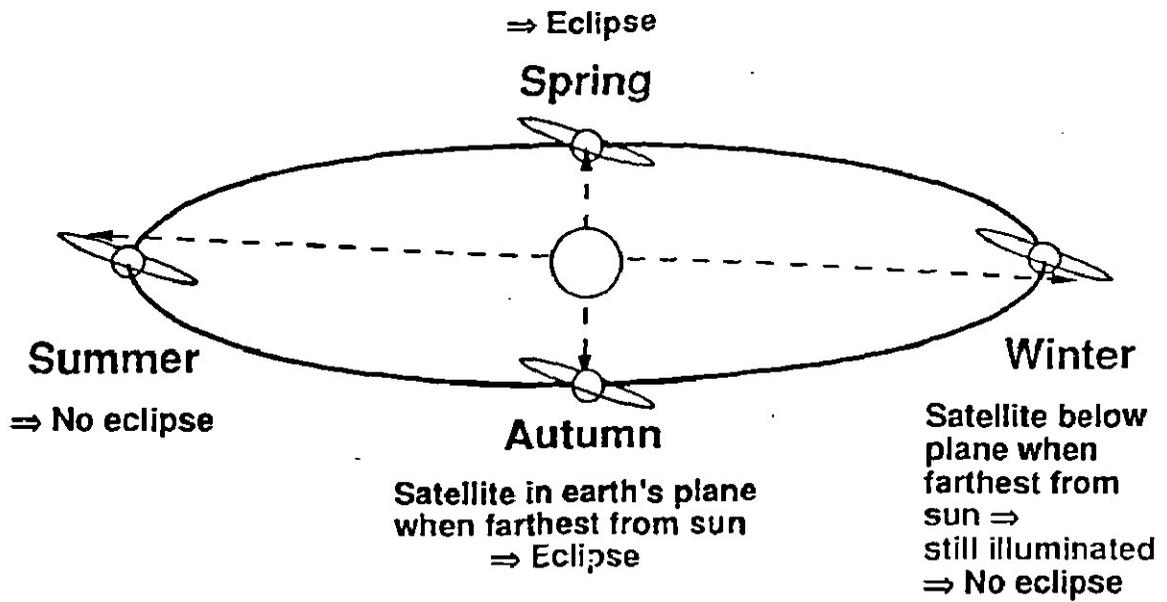
### MODO DE OPERACIÓN EN ÓRBITA DE TRANSFERENCIA

Las alas solares se encuentran plegadas sobre los radiadores, cuando el satélite se encuentra girando, los paneles solares reciben energía solar solamente una parte de cada giro. En la órbita de transferencia, la batería está siendo cargada y descargada periódicamente. Al inicio de vida de la batería tiene un porcentaje menor al 70 % de carga, debido a las temperaturas de la tierra.

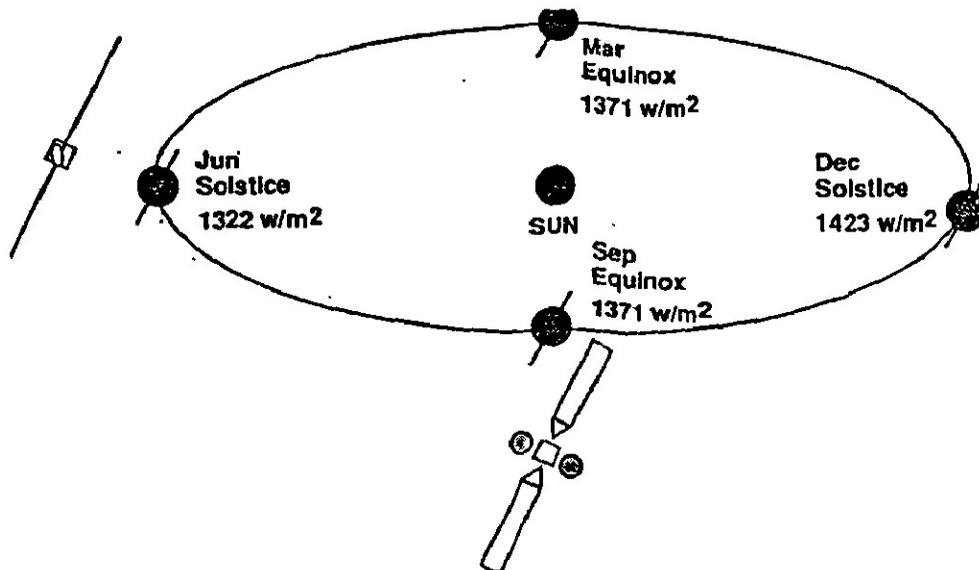
### ACRÓNIMOS DEL SUBSISTEMA DE POTENCIA

A	Amperios	PDU	Unidad de distribución de potencia de propulsión
AM	Motor de apogeo	RDA	Actuador de despliegue del reflector
BCC	Controlador de carga de batería	ODA	Actuador de despliegue de la antena omnidireccional
BDC	Controlador de carga de batería	SCP	Procesador de control de satélite
BLO	Inicio de vida	SOC	Estado de carga
BPDU	Unidad de distribución de alimentación	SWD	Manejador del ala solar
C	Capacidad de batería	T&C	Telemetría y comando
EOL	Fin de vida	HR	Razón de carga rápida
LAM	Motor de apogeo líquido	TO	Órbita de transferencia
OT	Sobre - temperatura	UV	Bajo - Voltaje
O/V	Sobre - voltaje	PDU	Unidad de distribución de potencia
VDU	Unidad del manejador de la válvula		

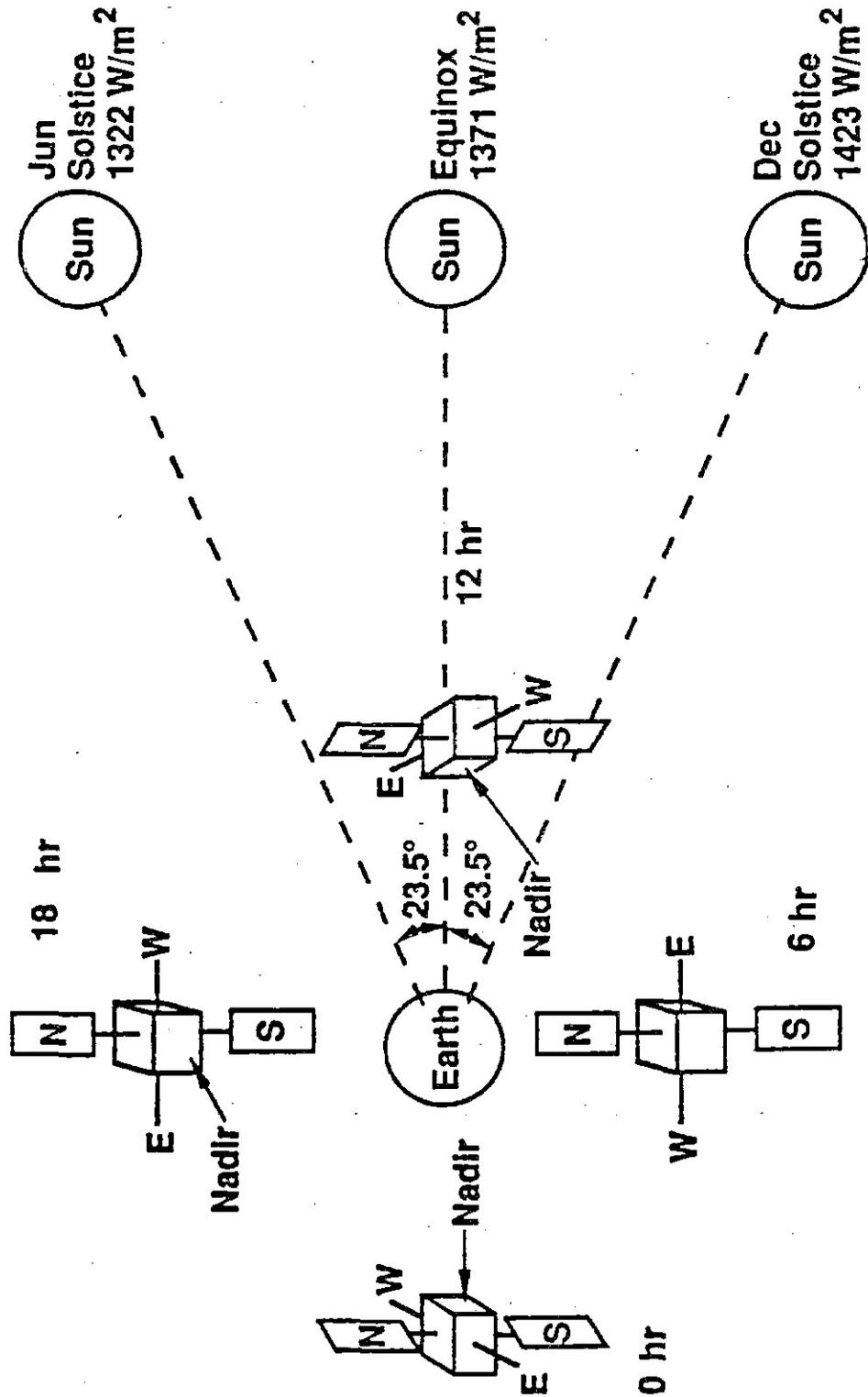
# PERIODO DE ECLIPSES



# INTENSIDAD SOLAR



# CARGA SOLAR DEL SATELITE



## SUBSISTEMA DE ANTENAS

Los sistemas satelitales solidaridad cuenta con un sistema híbrido con tres sistemas, cada uno dedicado para separar diferentes bandas de frecuencias.

Banda	Transmisión	Recepción
C	3700 a 4200 MHz	5925 a 6425 MHz
Ku	11.70 a 12.20 GHz	14.0 a 14.5 GHz
L	1528 a 1559 MHz	1629.5 a 1660.5 MHz

Para la bandas C y Ku se usa a través de polarización ortogonal, para la banda L la transmisión y recepción es realizada mediante la técnica de polarización circular derecha.

## AREAS DE COBERTURA

### BANDA C

Región 1.- México, parte sur de los Estados Unidos y parte norte de Centro América

Región 2.- Región 1 además de Centro América, parte norte de centro América, Islas del Caribe

Región 3.- Gran Parte de Sudamérica

### BANDA KU

Región 4.- México, Guatemala, Belice, Los Ángeles, San Antonio, parte norte de Centro América.

Región 5.- Grandes ciudades de los Estados Unidos, como Chicago, Washington, D.C. , San Francisco, Miami, Tampa, Dallas, Houston, San Antonio parte de Canadá y Cuba

### BANDA L

Todo México y la región del mar patrimonial extendiéndose alrededor de 200 millas náuticas en ambas costas

Las antenas han sido diseñadas para ser utilizadas en los espacios orbitales de 109.2° Oeste y 113° Oeste. Además de proporcionan un enlace RF para los subsistemas de Telemetría y comando y enlace de bajada para los radiofaros del ULPC.

## **CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DE LA ANTENA BANDA C**

En el lado Oeste se tienen dos arreglos de alimentación fuera del foco central de la antena, uno para cada polarización, con redes de formación de haz (BFN) separados.

En el lado Este se tienen un arreglo de alimentadores fuera del foco para la Tx de R3V.

Las BFN proporcionan buena sintonía, bajas pérdidas, buena caracterización del desempeño eléctrico. Permite flexibilidad en el diseño, estructuralmente rígido.

Las rejillas en las antenas y el diseño de las cornetas proporcionan >33 dB de aislamiento en polarización. Proporciona puntos separados de monitoreo para R3 Tx.

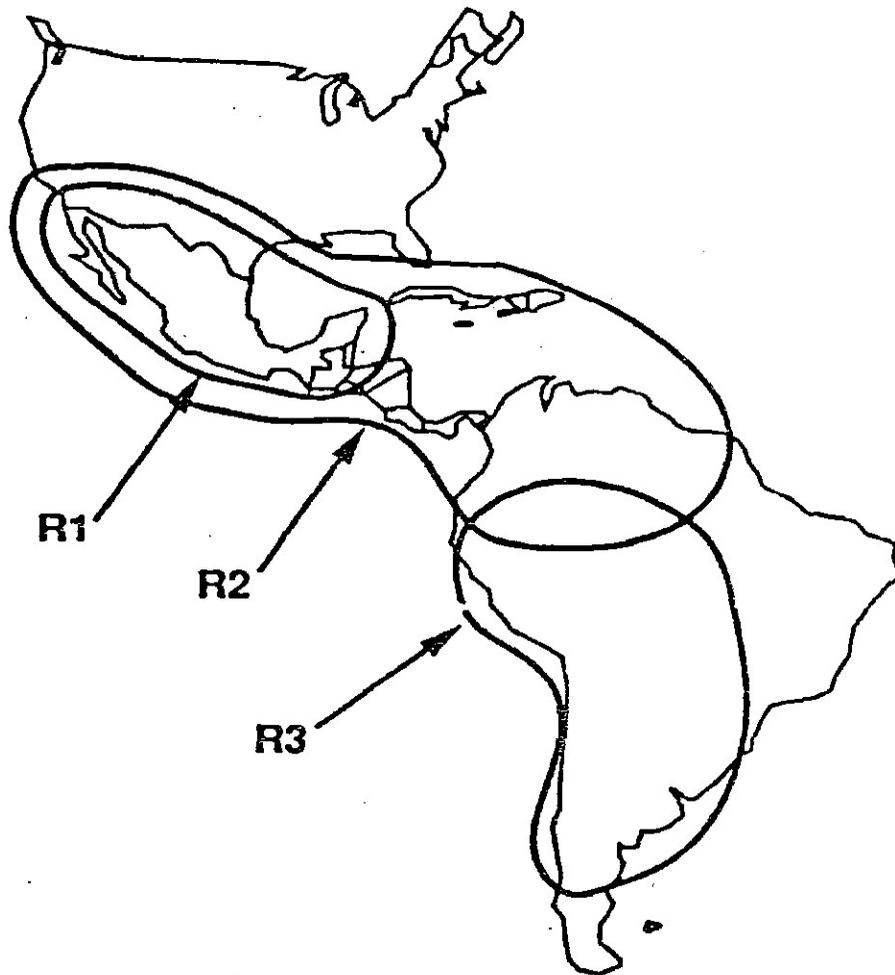
## **CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONES DEL REPETIDOR DE BANDA C**

Tiene 12 canales de 36 Mhz cada uno y 6 canales de 72 Mhz cada uno. Tiene 3 haces de cobertura R1, R2 y R3. Cuatro puertos de recepción y 4 puertos de transmisión . Extensión al haz de R2 utilizando el haz de R1 (subida y bajada).

Selección del haz de R2 utilizando una matriz de switches de entrada. Los canales 11 y 12 tienen la opción para subir utilizando los haces de cobertura de la región R2 y R3.

Los canales 6, 8, 10 y 12 proporcionan cobertura en la bajada para R1 o R2. Los canales 5, 7, 9,11 proporcionan cobertura switchable en la bajada entre las regiones R1 y R3.

## REGIONES DE COBERTURA DE BANDA C

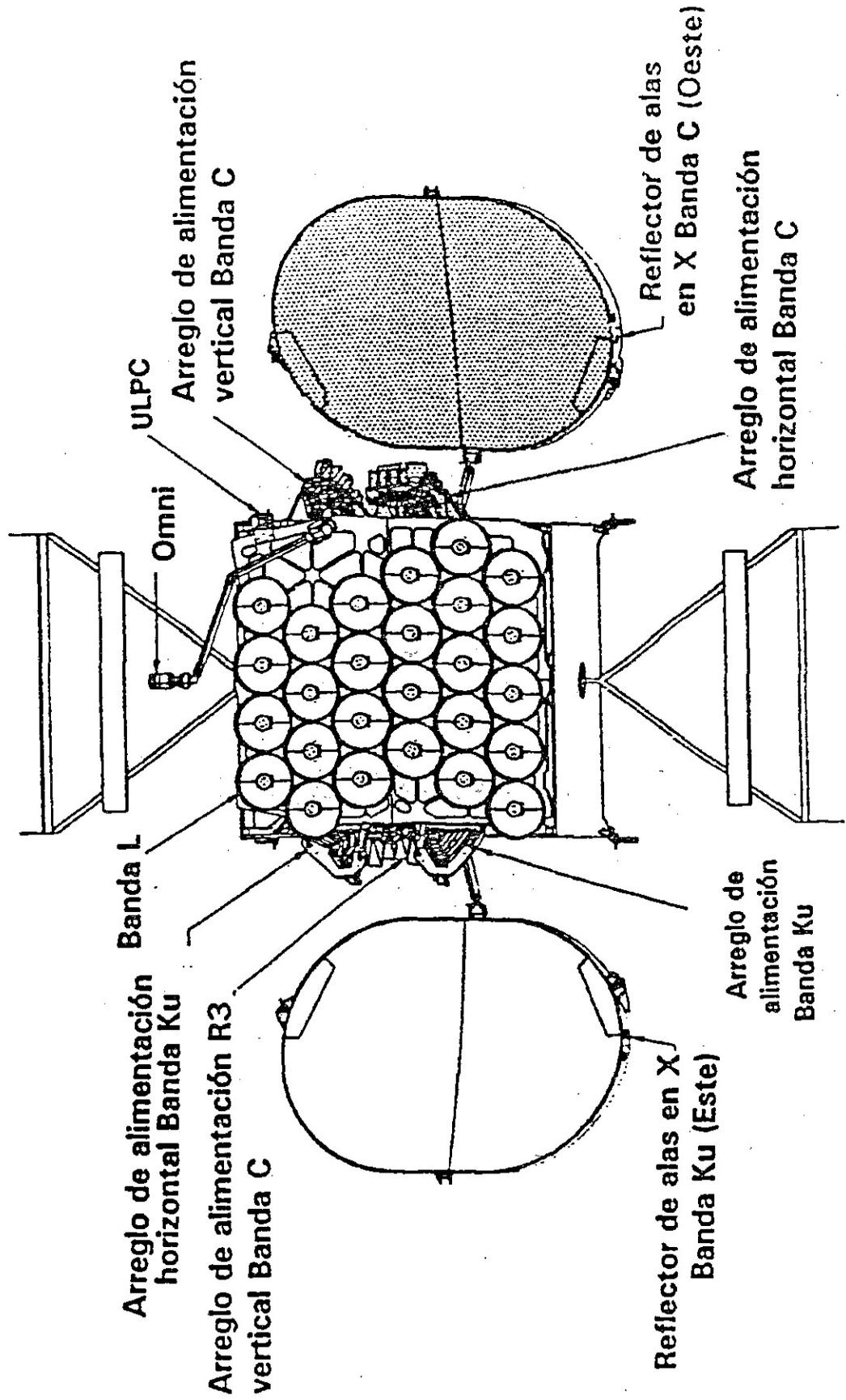


R1: México  
Guatemala  
Belice  
Parte sur de E.E.U.U.  
Parte norte de Centro América

R2: Incluye R1  
Caribe  
Parte norte de Sudamérica  
Centro América

R3: Gran parte de Sudamérica

# SUBSISTEMA DE ANTENA DE BANDA C



## CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DE LA ANTENA DE BANDA KU

Dos arreglos de alimentadores fuera de foco, 1 para cada polarización, con redes formadoras de haz (BFN) separadas.

El desempeño relacionado al aislamiento es de más de 33 dB. Proporciona puntos separados de monitoreo para R5 Tx.

## CARACTERÍSTICAS DEL REPETIDOR DE BANDA KU

Cuenta con 16 Transpondedores de 54 Mhz, También cuenta con tres puertos de recepción con polarización lineal ortogonal R4 horizontal, R4 vertical, R5 vertical.

También cuenta con una matriz de conmutadores para selección del haz de subida (R4 o R5). Es un sistema digital, con acceso múltiple TDMA; denominado *acceso múltiple por división en el tiempo con conmutación al satélite o SS/TDMA*.

Tiene 20 TWT a 42.5 W mínimo. Tiene una configuración de receptores redundantes de 3:5. Cuenta con tres puertos de recepción con polarización lineal ortogonal R4 horizontal, R4 vertical, R5 vertical.

## FUNCIONES DEL REPETIDOR DE BANDA KU

Todos los canales reciben y transmiten en la región R4, los canales 6 y 8 proporcionan cobertura de recepción desde R4 o R5.

Un filtro de salida por separado para el canal 6 proporciona cobertura conmutable ya sea para R4 o R5. Proporciona la interface con el repetidor de banda L utilizando el canal 5.

Es proporcionado un enlace de bajada de radio faro para controlar los enlaces de subida. Existe capacidad de monitoreo del tráfico de R5 en Iztapalapa como parte de bajada en R4.

## FUNCIONES DE LAS SECCIONES DE BANDA KU

SECCIÓN 1	Recepción y Traducción
SECCIÓN 2	Canalización
SECCIÓN 3	Amplificación
SECCIÓN 4	Conectividad y multiplexaje

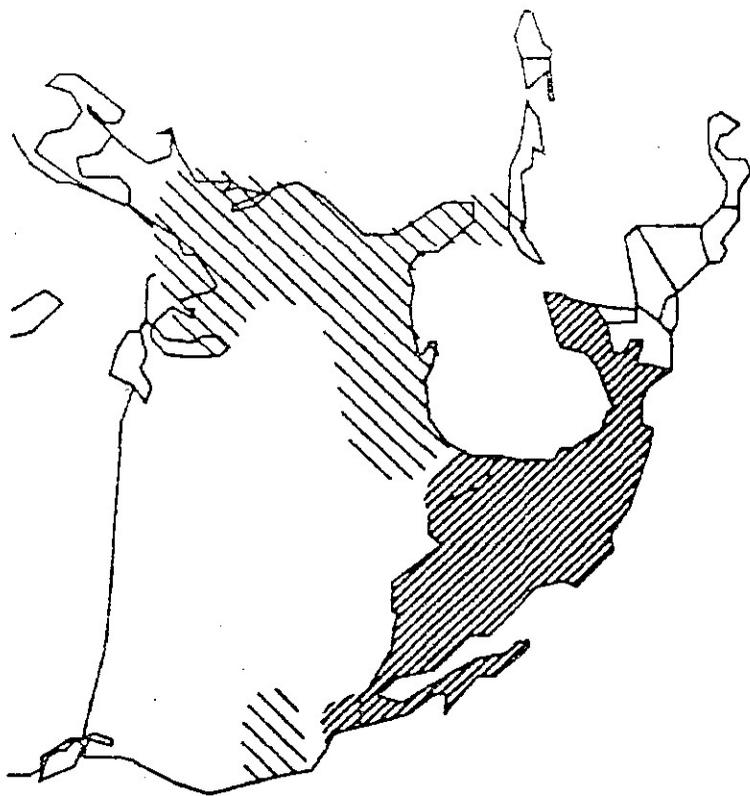
# REGION DE COBERTURA DE LA BANDA KU

## FRECUENCIAS

- SUBIDA 14.0 A 14.5 GHZ
- BAJADA 11.7 A 12.2 GHZ

## CANALES

- 8 X 54 MHZ
- VERTICAL A HORIZONTAL
- HORIZONTAL A VERTICAL

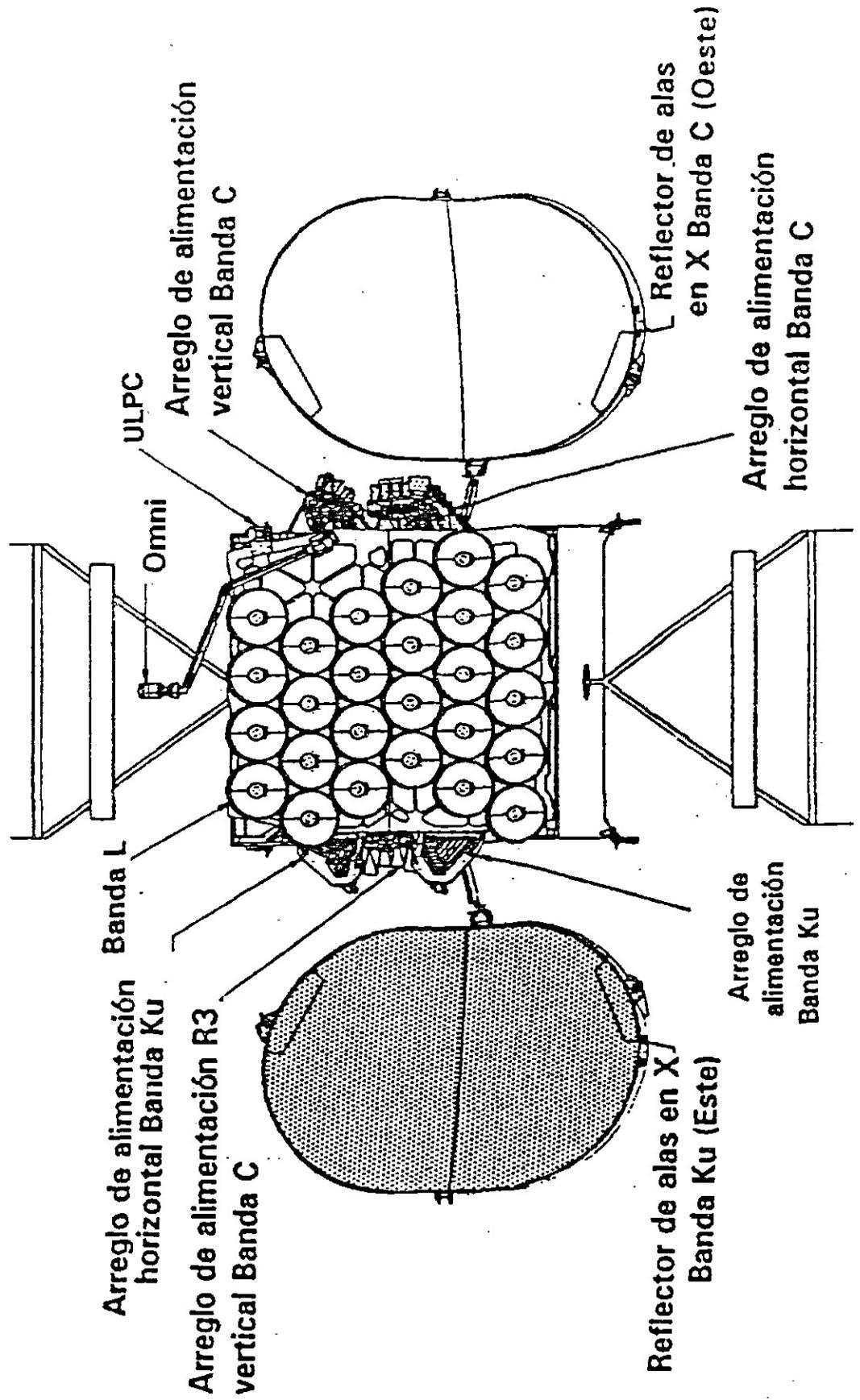


R5

R4

REGION R4 Y R5 BANDA KU

# SUBSISTEMA DE ANTENA DE BANDA KU



## **CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DE LA BANDA L**

Esta compuesto de un arreglo de 26 elementos radiantes, copas parabólicas de corto disparado de retroceso que utiliza dipolos como elementos radiadores.

Tiene una distribución de potencia en el arreglo implementado 4 redes de distribución de squareax, 1 por cuadrante.

Los cuadrantes están diagonalmente opuestos están balanceados en potencias, minimizando el impacto en caso de una falla de SSPA's. Están montados en un plano de material llamado panel de abeja de aluminio. También cuentan con 9 puntos de soporte y sujeción al módulo de la carga.

## **REPETIDOR DE LA BANDA L**

Los enlaces de ida y de regreso comparten el mismo arreglo de antena para banda L.

El repetidor de ida:

- 1.- Recibe en banda Ku y transmite en banda L
- 2.- Utiliza el amplificador de bajo ruido de banda KU
- 3.- Utiliza sub-bandas para su transmisión y recepción
- 4.- Existen convertidores Ku/IF de frecuencia para trasladar las frecuencias de Ku a IF
- 5.- Cada uno de los dos convertidores IF/L trasladan de frecuencia de IF

El repetidor de regreso:

- 1.- Recibe en banda L y transmite en banda Ku
- 2.- Utiliza el amplificador de bajo ruido de banda L
- 3.- Existen convertidores L/IF de frecuencia para trasladar las frecuencias de IF en sub-bandas
- 4.- Utiliza sub-bandas para su transmisión y recepción
- 5.- Cada uno de los convertidores L/IF trasladan de IF a Ku en sub-bandas

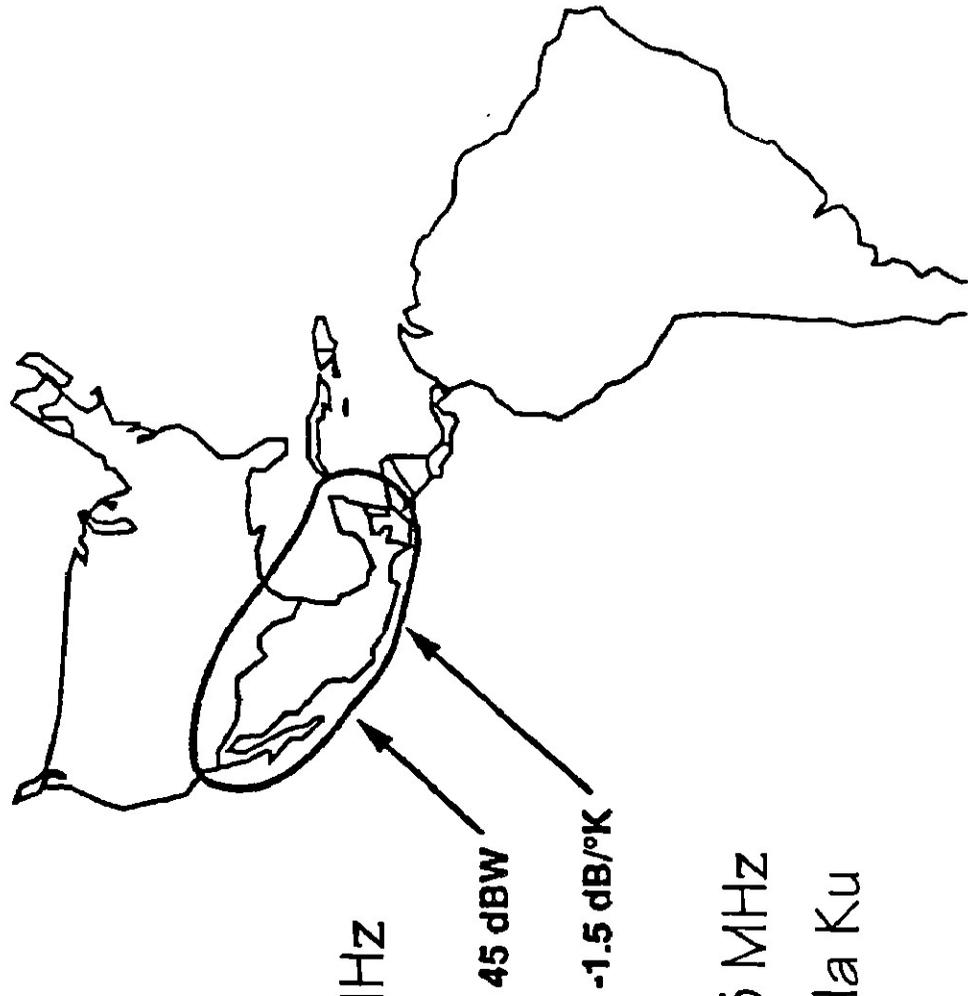
## REGION DE COBERTURA DE LA BANDA I

### IDA

- Uso de los LNA's de banda KU
- Utilización de sub-bandas en las frecuencias entre los 1528 - 1559 MHz

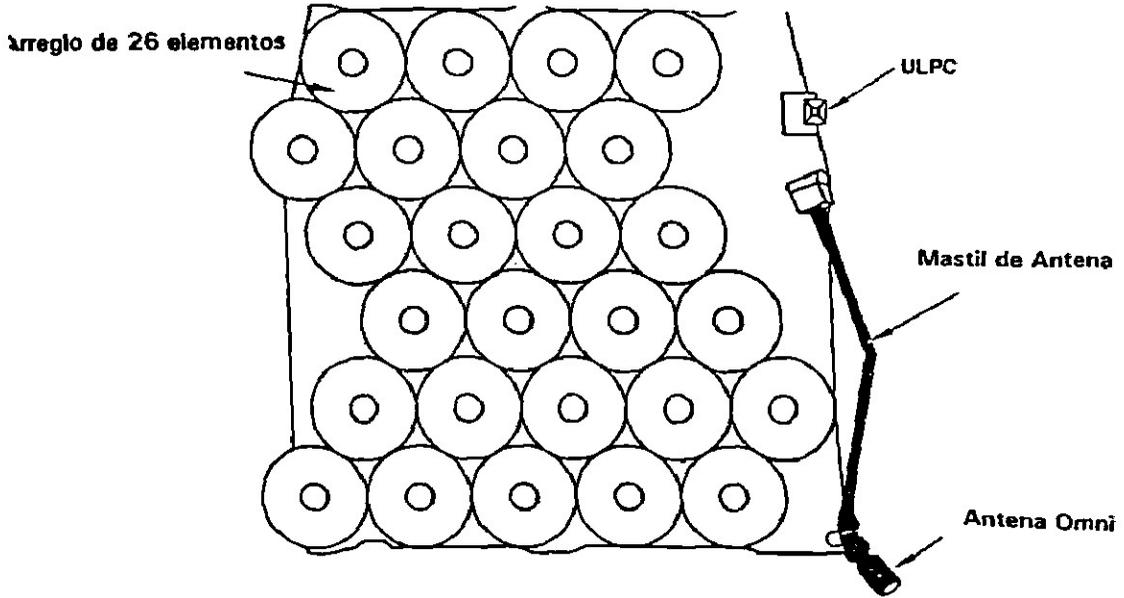
### REGRESO

- Utilización de sub-bandas en las frecuencias entre los 1,629 - 1660.5 MHz
- Utilización parte del canal 5 de banda Ku

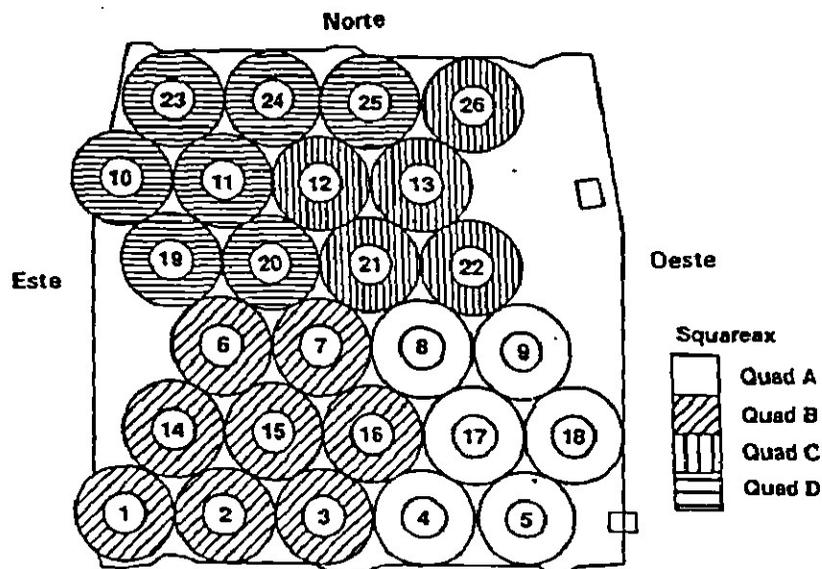


# ANTENA BANDA L

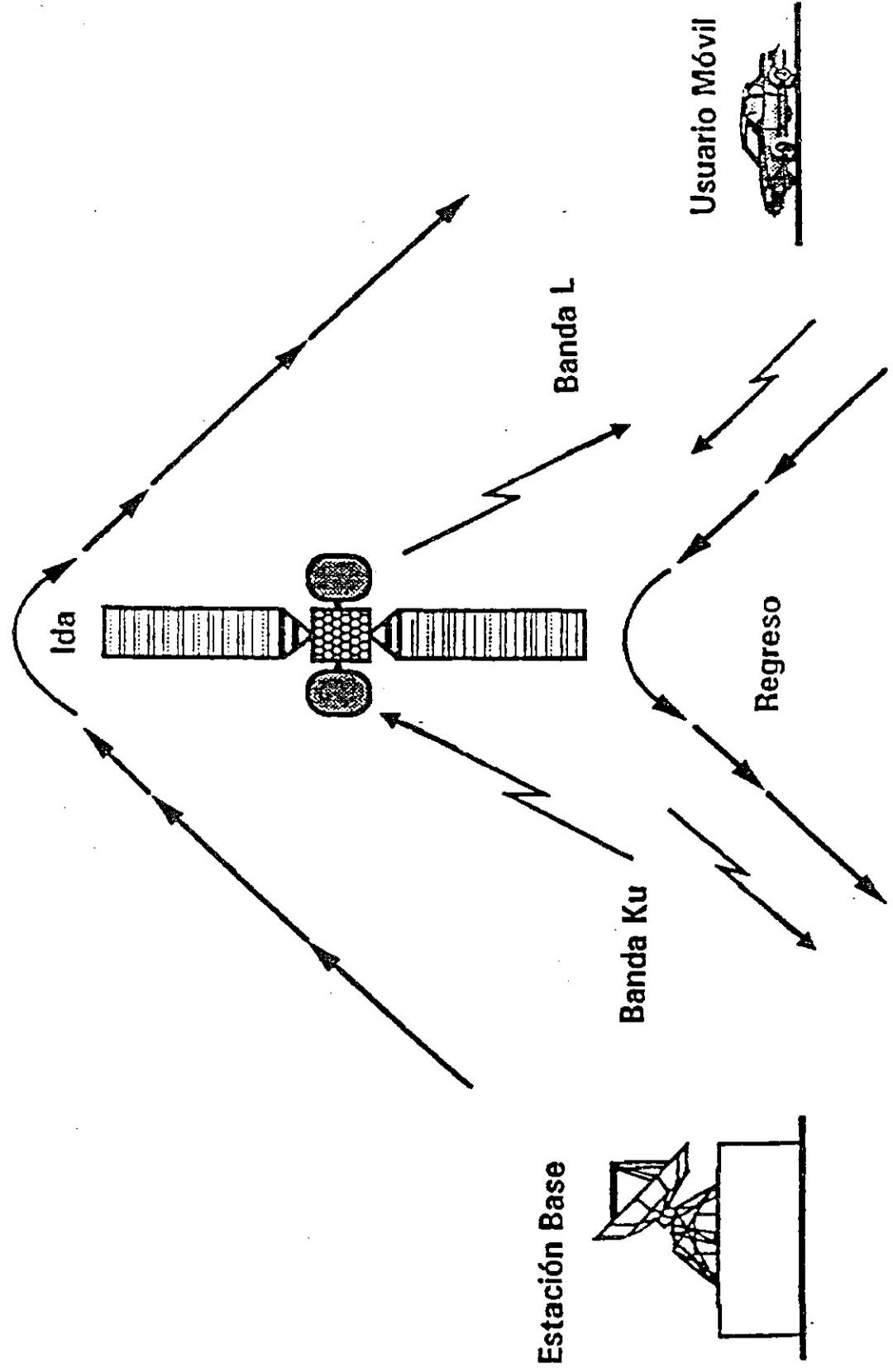
## ELEMENTOS BASICOS



## AGRUPAMIENTO DE LOS ELEMENTOS RADIANTES



# ENLACES IDA Y REGRESO EN BANDA L

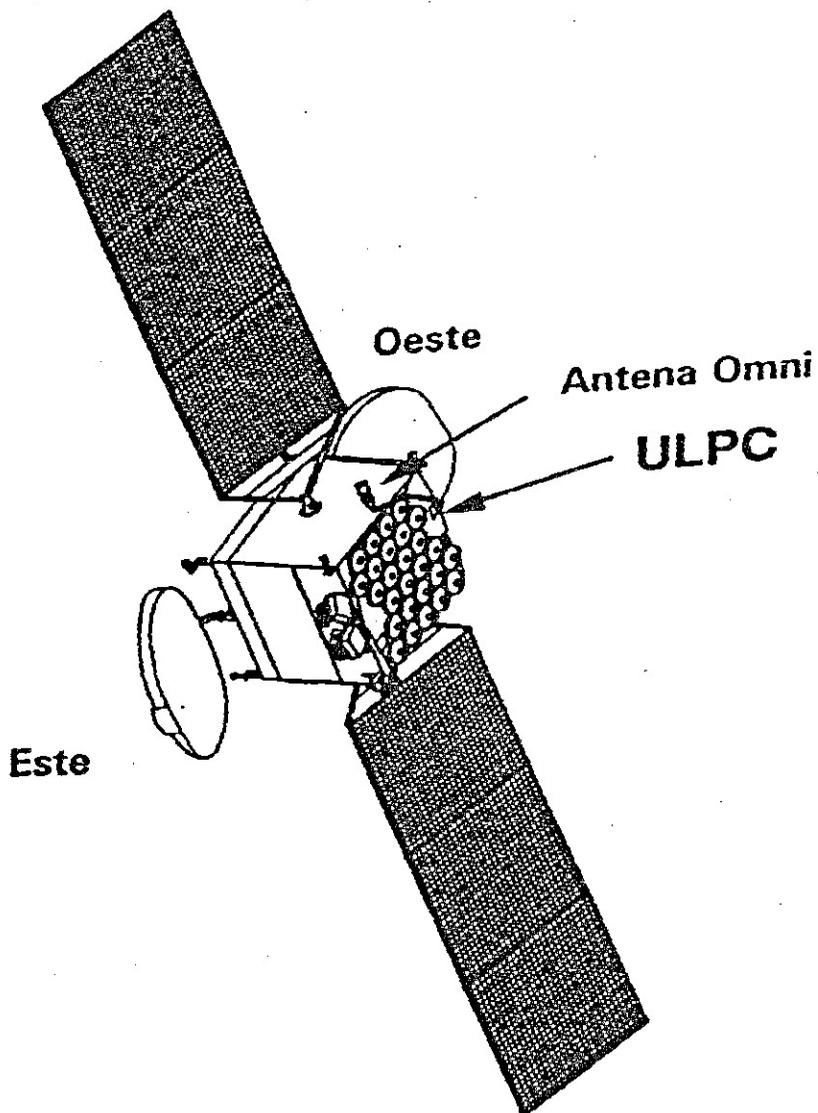


## ULPC ANTENA DE RADIO FARO

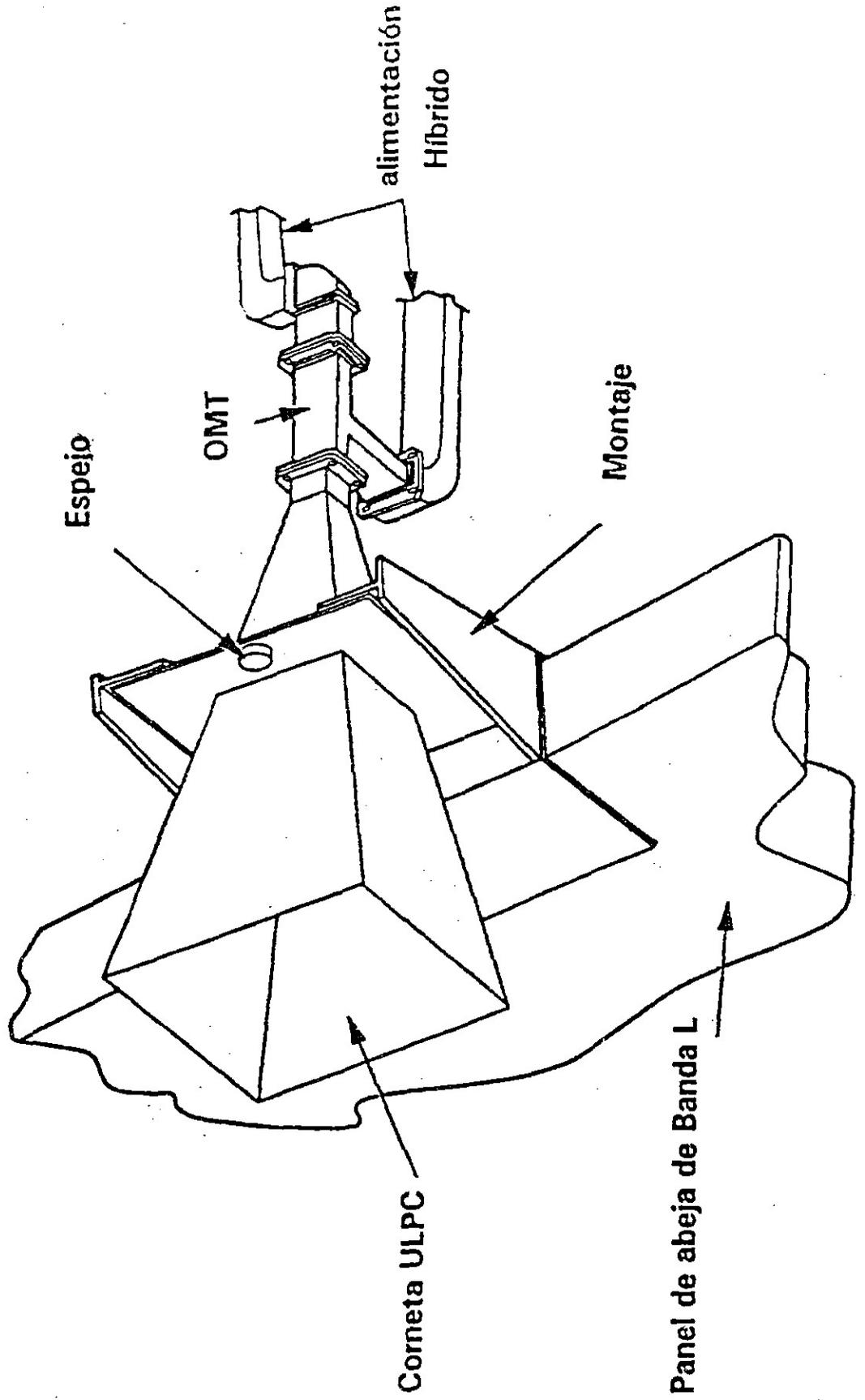
### **Función:**

Proporcionar un nivel de referencia de potencia para permitir que las estaciones terrenas puedan ajustar sus niveles de potencia en subida, compensando los desvanecimientos de señales causados por las condiciones atmosféricas y meteorológicas.

### LOCALIZACIÓN DE RADIO FARO



# ANTENA ULPC



# SECCION

## IV

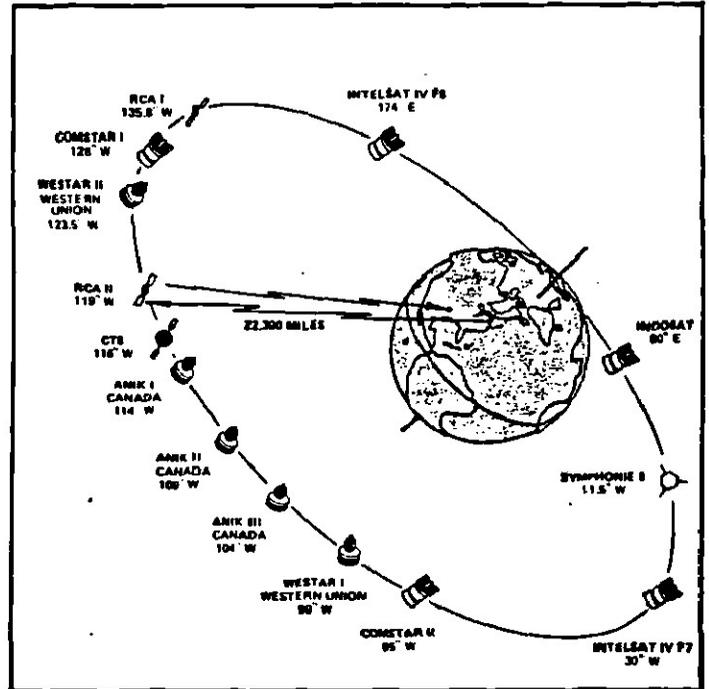
(apéndice II)  
tablas y gráficas

# CALCULATING EARTH STATION PERFORMANCE

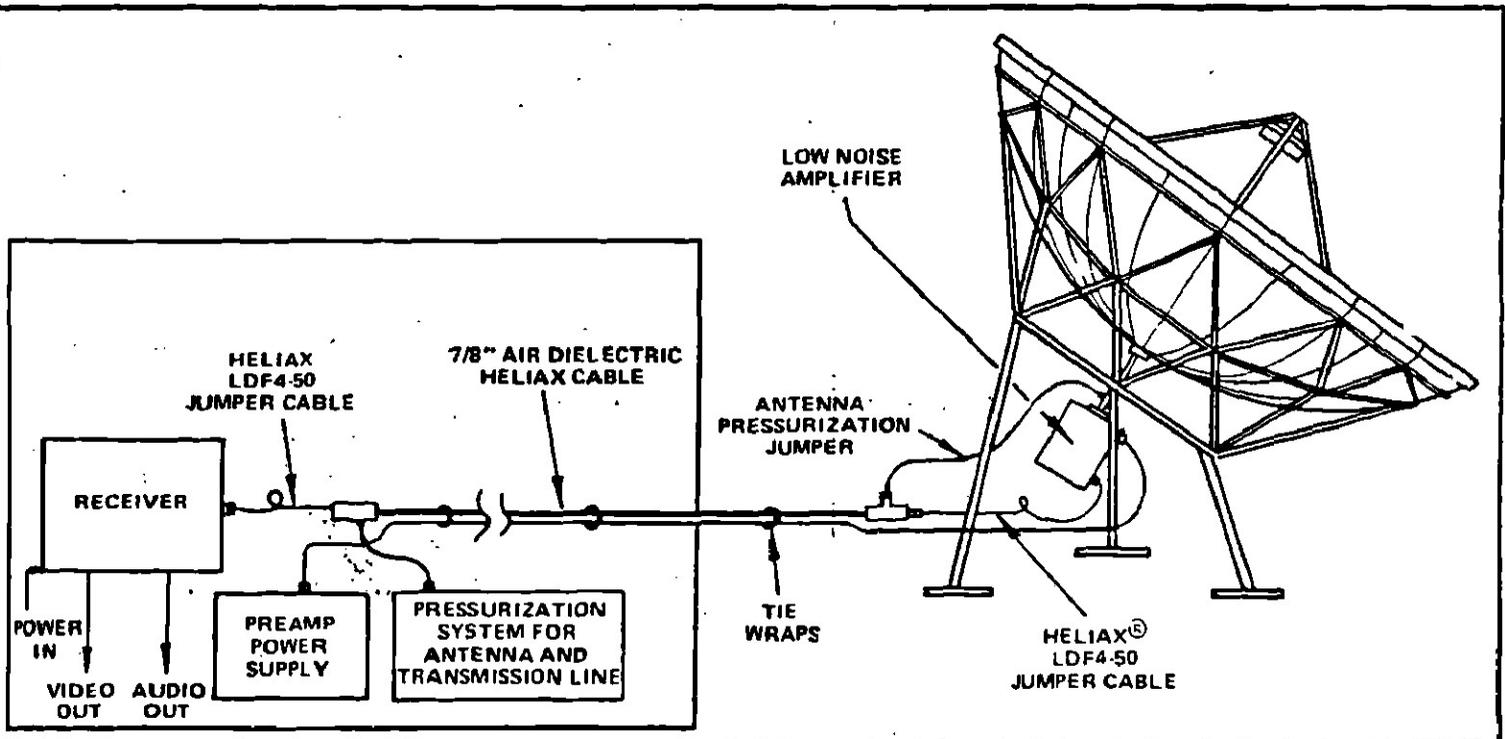
# ANDREW

BULLETIN 1172A

The performance of a TV receiving earth station requires proper selection of antenna and low noise amplifier (LNA) to deliver the proper carrier-to-noise level to the receiver. This bulletin outlines the steps required to calculate the anticipated performance of the earth station at a given location. Antenna gain and noise temperature and LNA noise temperature determine system carrier-to-noise level. Step-by-step procedures for calculating carrier-to-noise level are provided on pages 2 and 3. Perform the calculations yourself or provide your Andrew Sales Engineer with the information required at the top of page 2 and he will perform the calculations for you.



SATELLITE LOCATIONS



TYPICAL 10-METRE EARTH STATION

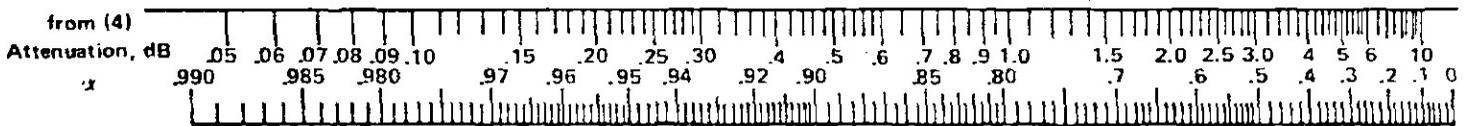
# EARTH STATION PERFORMANCE CALCULATIONS (4GHz RECEIVE)

## GENERAL INFORMATION

Customer \_\_\_\_\_ Site Location \_\_\_\_\_  
 Address \_\_\_\_\_ Site Latitude \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ Site Longitude \_\_\_\_\_  
 Antenna Type (see 2 below) \_\_\_\_\_  
 Satellite of Interest \_\_\_\_\_  
 Satellite Longitude \_\_\_\_\_  
 Satellite Transponder(s) to be used \_\_\_\_\_

## CALCULATIONS

1. Effective Isotropic Radiated Power (EIRP) \_\_\_\_\_ dBw + 30 = + \_\_\_\_\_ dBm (1)  
 Obtain from satellite owner for site location and transponder to be used
2. Antenna Gain (receive midband) \_\_\_\_\_ + \_\_\_\_\_ dB (2)  
 Select from: Andrew ESA10-46 10M 51.0 dB  
 ESA10-46HP 10M high performance 50.5 dB  
 ESA5-46 4.5M 43.7 dB  
 ESA5-4HP 4.5M receive only 44.0 dB
3. Free Space Attenuation \_\_\_\_\_ -197 dB (3)
4. Attenuation of any Transmission Line or Switches Between Antenna and LNA \_\_\_\_\_ dB (4)  
 Usually 0 dB if LNA is attached at feed output flange. If waveguide switch is used for redundant LNA's use 0.05 dB
5. Carrier Level at LNA \_\_\_\_\_ dBm (5)  
 Total Items (1), (2), (3), (4) - note signs
6. Attenuation Factor  $\alpha$  of any Transmission Line or Switches between Antenna and LNA  $\alpha =$  \_\_\_\_\_ (6)

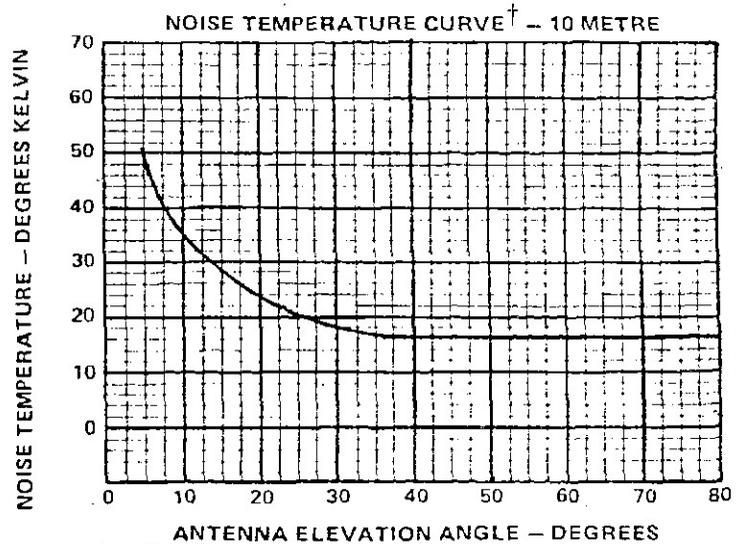
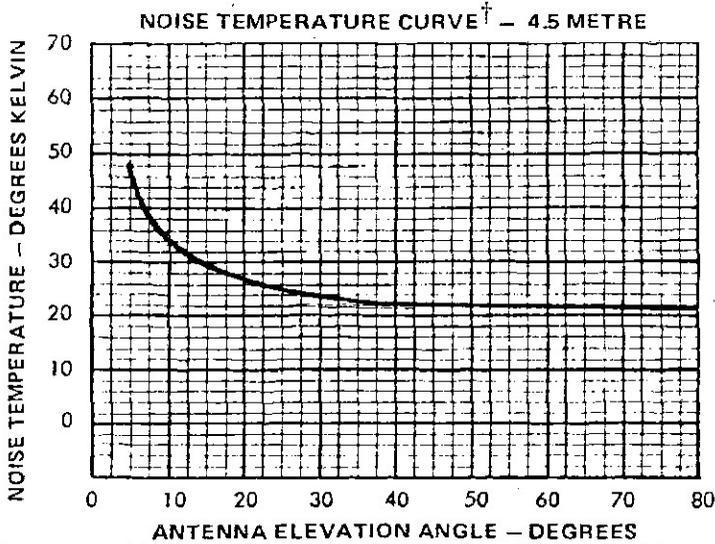


7. Antenna Elevation Angle \_\_\_\_\_ EI = \_\_\_\_\_ " (7)  
 $EL = 90^\circ - R - T$  where:  
 $R = \cos^{-1} (\cos \theta \cos \phi)$   
 $T = \tan^{-1} \frac{\sin R}{6.6166 - \cos R}$   
 $\phi$  = earth station site latitude  
 $\theta$  = satellite longitude minus earth station site longitude

8. Antenna Noise Temperature

Determine from curve for antenna type and elevation angle

\_\_\_\_\_ °K (8)



† Worst case within 3.7 - 4.2 GHz band measured at the CPR229G Input flange on a clear dry day.

9.  $\alpha \times$  Antenna Noise Temperature

Item (6) X Item (8)

\_\_\_\_\_ °K (9)

10. LNA Noise Temperature

From spiral curve page 4

\_\_\_\_\_ °K (10)

11. Noise Temperature of any Transmission Line or Switches between Antenna and LNA(s).

$290^\circ\text{K} (1 - \alpha)$ ,  $\alpha$  from (6)

\_\_\_\_\_ °K (11)

12. System Noise Temperature

Add items (9), (10), and (11)

$T_{SYS} =$  \_\_\_\_\_ °K (12)

13. IF Bandwidth of Receiver

Usually  $30 \times 10^6$  Hz

$B =$  \_\_\_\_\_ Hz (13)

14. System Noise Level

System Noise =  $10 \log_{10} (KT_{SYS} B) + 30$ , where  $K = 1.38 \times 10^{-23}$   
 $T_{SYS}$  is item (12),  $B$  is item (13)

$N_{SYS} =$  - \_\_\_\_\_ dBm (14)

15. Carrier-to-Noise Ratio (Thermal Downlink Degradations)

Item (5) minus Item (14). Note signs.

$C/N_D =$  \_\_\_\_\_ dB (15)

16. Total Net Carrier-to-Noise Ratio Including Carrier-to-Interference (about 21 dB for 4.5M, 24 dB for 10M) and Carrier-To-Noise Thermal Uplink Degradations (Normally 29.6 dB)

$C/N_{TOTAL} = C/N_D \oplus 21 \oplus 29.6$  for 4.5 M, or  $C/N_D \oplus 24 \oplus 29.6$  for 10 M

Add, on a power basis, Item 15, Carrier-to-Interference, and Carrier-to-Noise Thermal Downlink Degradation

Example: if  $C/N_D = 15$ , then  $C/N_{TOTAL} = 10 \log_{10} (10^{\frac{-15}{10}} + 10^{\frac{-21}{10}} + 10^{\frac{-29.6}{10}})$   
 $= 13.9$  dB

$C/N_{TOTAL} =$  \_\_\_\_\_ dB (16)

17. Total Signal-to-Noise (Degraded, CCIR Weighted Including Pre-Emphasis)

$S/N = C/N_{TOTAL} +$  FM improvement factor of receiver (usually 37.2)

$S/N =$  Item (16) plus 37.2

$S/N =$  \_\_\_\_\_ dB (17)

18. LNA Gain (Usually 50)

+ \_\_\_\_\_ dB (18)

19. Attenuation of Transmission Line between LNA and Receiver

If 7/8" air-dielectric HELIAX is used the attenuation is 0.03 dB per foot plus 0.4 dB total for two 3' jumper cables.

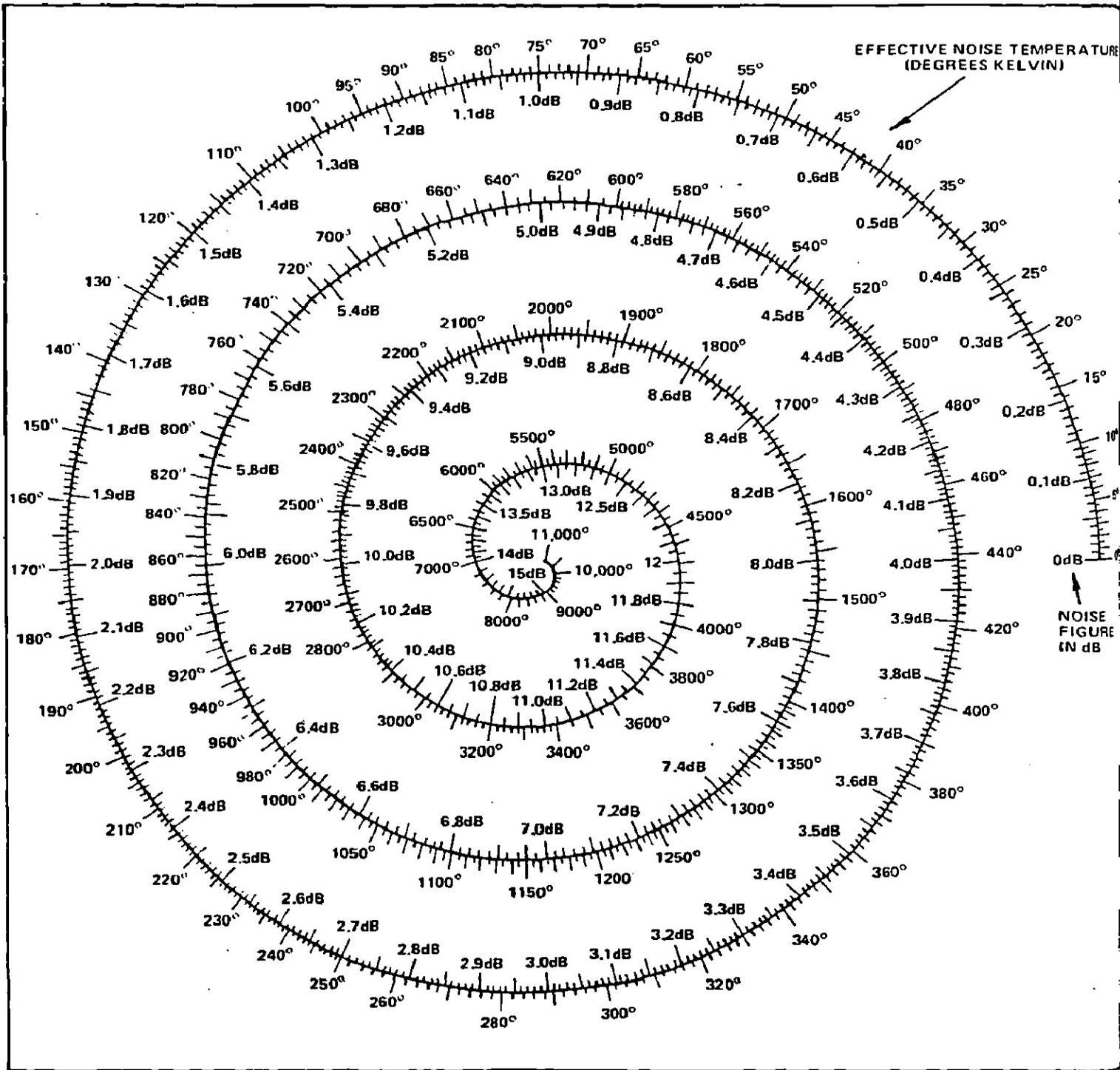
- \_\_\_\_\_ dB (19)

20. Carrier Level at Receiver Input

Add items (5), (18), (19). Note signs. Must be between -20 dBm and -78 dBm

- \_\_\_\_\_ dB (20)

NOISE FIGURE VS TEMPERATURE



Unlike a pyramidal horn, the normal modes associated with the conical horn can be found by associating a spherical coordinate system with the horn. If one chooses the axis of the conical section as the polar axis of a spherical coordinate system, then the cone surface is a surface of constant polar angle, and hence the modes can be solved for. Because of the nature of the functions involved (spherical Bessel functions and Legendre polynomials) the analysis is

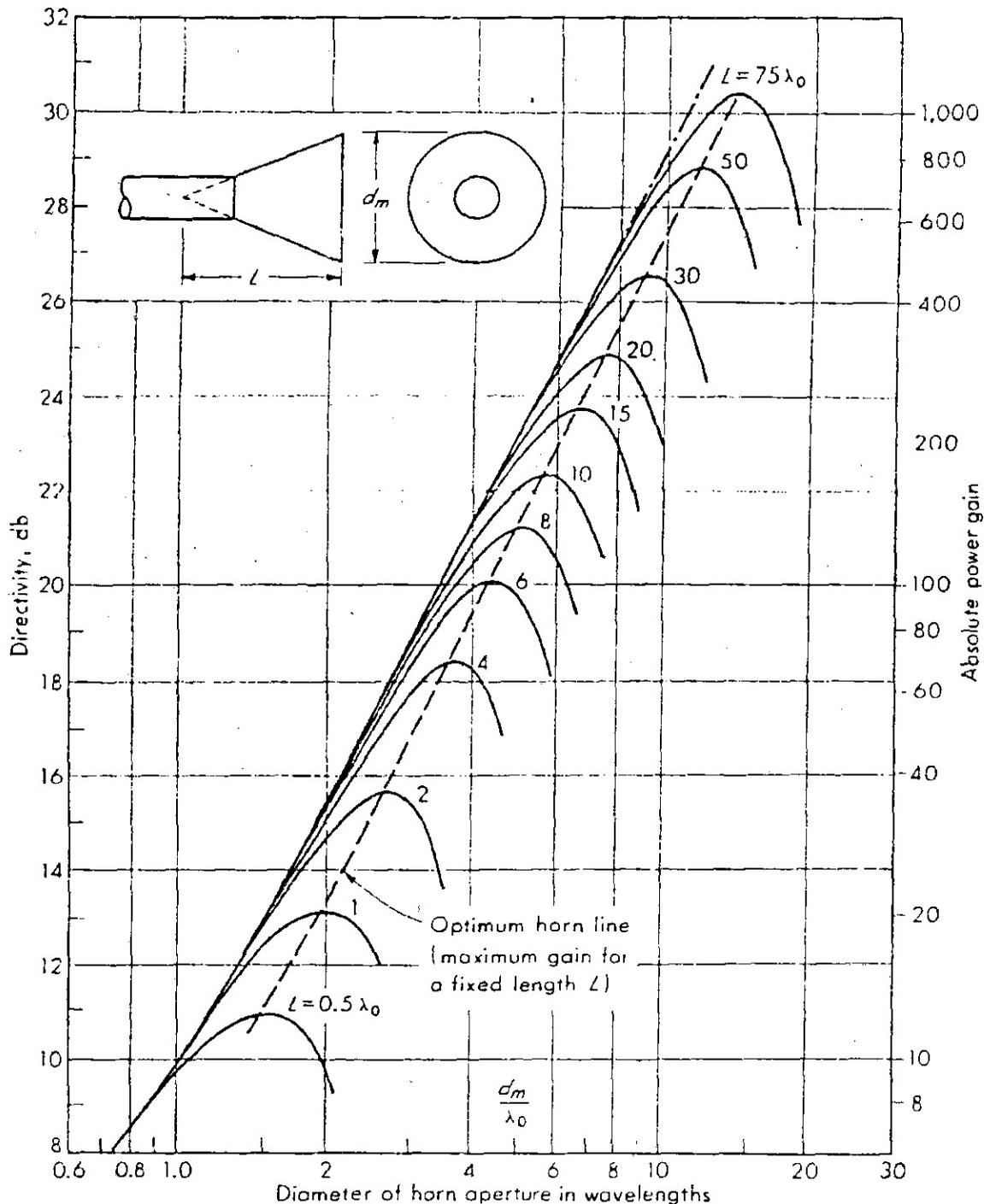
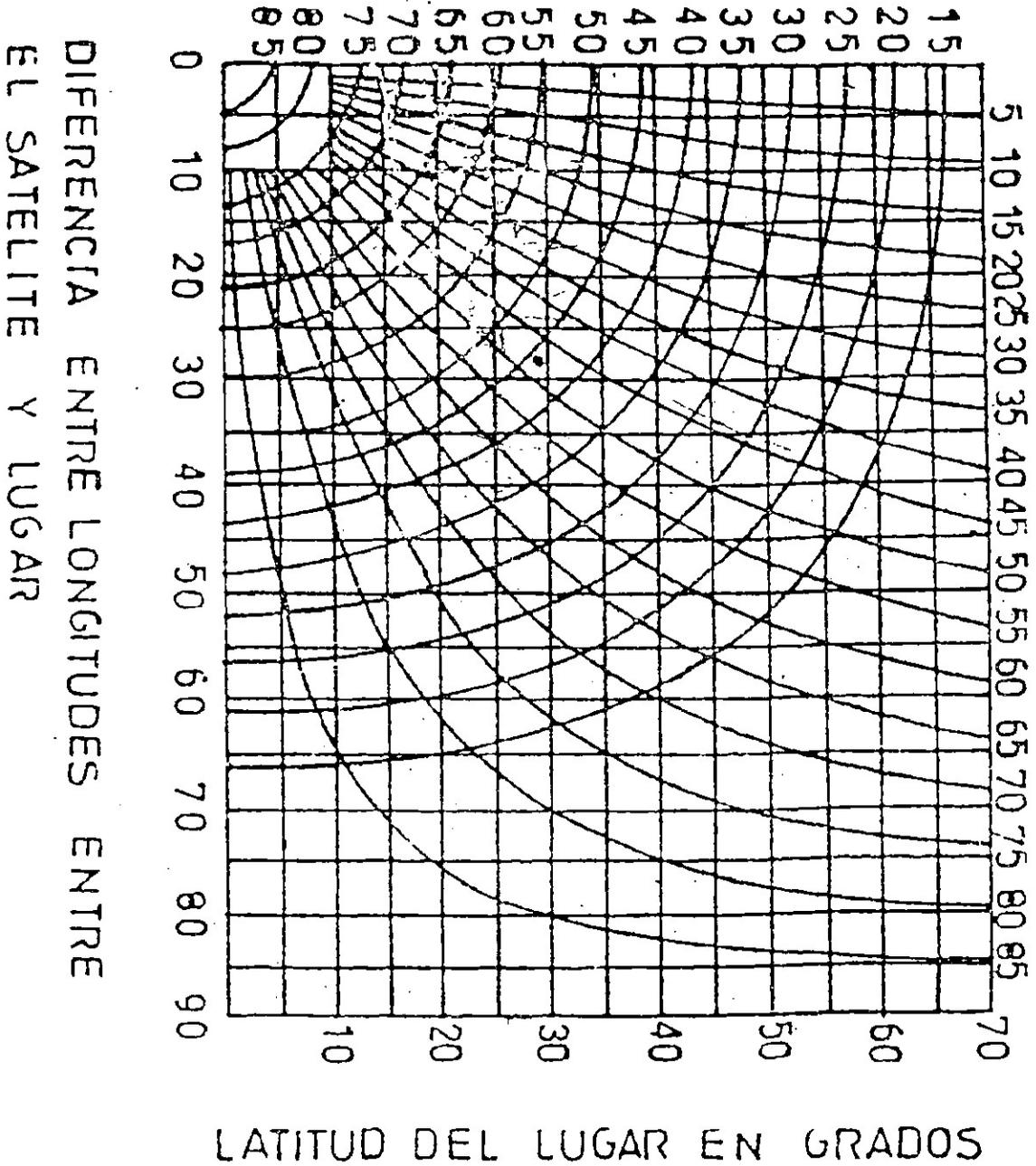


Fig. 15.18 The directivity of a conical horn as a function of axial length and aperture diameter  $d_m$  in wavelengths. (From King.<sup>23</sup>)

ANGULO DE ELEVACION EN GRADOS

AZIMUT REFERIDO A 180°



**BIBLIOGRAFIA:**

**DISEÑO DE ENLACES DE COMUNICACION VIA SATELITE.  
ING. FERNANDO ESTRADA SALAZAR.**

