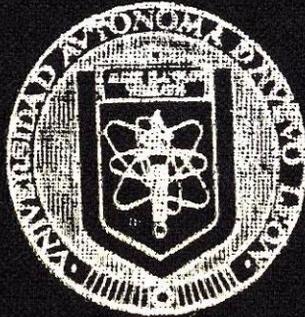


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
Y ELECTRICA



TEMA: COMUNICACION VIA SATELITE

TESINA

QUE EN OPCION AL TITULO DE:

INGENIERO EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES

PRESENTA

RUBEN LEON GARCIA

ASESOR: ING. FERNANDO ESTRADA

CD. UNIVERSITARIA

JUNIO DE 1997

F

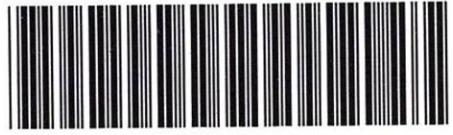
TK510

L4

C.1

1

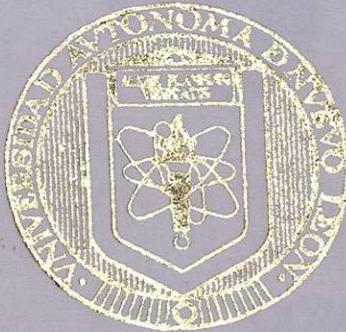
5104



1080072245

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
Y ELECTRICA



TEMA: COMUNICACION VIA SATELITE

TESINA

QUE EN OPCION AL TITULO DE:

INGENIERO EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES

PRESENTA

RUBEN LEON GARCIA

ASESOR: ING. FERNANDO ESTRADA

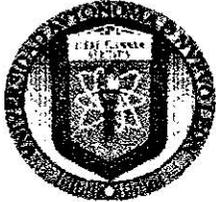
CD. UNIVERSITARIA

JUNIO DE 1997

T  
TK 5/05  
24



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



**TEMA**

**COMUNICACION VIA SATELITE**

**TESINA**

**QUE EN OPCION AL TITULO DE INGENIERO EN  
ELECTRONICA Y COMUNICACIONES  
PRESENTA**

**RUBEN LEON GARCIA.**

**ASESOR:**

**ING. FERNANDO ESTRADA.**

**CIUDAD UNIVERSITARIA**

**17 DE JUNIO DE 1997**

**A mis padres:**

**Que siempre me ayudaron demostrándome su amor y cariño, dándome consejos, apoyo moral y hasta económico. Quisiera también agradecerles que ellos sean mis padres, que dedicaron su tiempo para educarnos y decirles que son los seres mas buenos y comprensivos del mundo.**

**A mis hermanos:**

**Que casi siempre me ayudaron en los momentos de decidir sobre mi carrera, también les agradezco lo mucho que me quieren, ya que sin su cariño y aprecio, no hubiese terminado mi objetivo.**

# **INDICE**

Introducción	1
<b>CAPITULO 1</b>	
Historia de los satélites	2
<b>CAPITULO 2</b>	
Los satélites	4
Comunicación vía satélite	4
Ventajas de comunicación vía satélite	6
Cómo se clasifican los satélites	7
Lanzamiento y colocación en órbita geoestacionaria	9
Como llegar a la órbita geoestacionaria	10
<b>CAPITULO 3</b>	
El satélite y su medio ambiente	13
Fuerzas perturbadoras	14
La temperatura del satélite	16
Factores de perturbación	17
<b>CAPITULO 4</b>	
Subsistemas de un satélite	19
Subsistemas de antenas	19
Subsistema de comunicaciones	21
Subsistema de energía eléctrica	25
Subsistema de control térmico	27
Subsistema de orientación y posición	29
Subsistema de propulsión	30
Subsistema de rastreo, telemetría y comando	31
Subsistema estructural	33
<b>CAPITULO 5</b>	
Estaciones terrenas	34
Estación terrena transmisora	34
Estación terrena receptora	35
Tipos de acceso	37
Acceso múltiple	37
Bibliografía	40

# **INTRODUCCION**

Uno de los resultados más fascinantes y notables obtenidos a partir de los programas espaciales es la tecnología de los satélites artificiales. La llegada de estos aparatos electrónicos complejos ha modificado notablemente la forma de vida de la mayor parte de la población del mundo, y quizá de toda ella aunque sea en forma indirecta. Gracias a ellos conocemos con más precisión los recursos naturales de la tierra y los fenómenos meteorológicos, las distancias entre las ciudades y los países se han acortado y ahora pueden intercambiar todo tipo de información casi instantáneamente, y más allá de las capas atmosféricas podemos observar y comprender más el universo.

Los satélites integran una gran familia, y parte de ella la constituyen los que están abocados específicamente a los servicios de comunicaciones; dentro de estos últimos, existen algunas variantes, pero los más importantes y los que más se utilizan en la actualidad. Con ellos es ahora posible comunicar lugares muy alejados o que previamente eran inaccesibles, y la cantidad y variedad de información que transmiten y reciben es sorprendente. Por ejemplo se pueden ver en vivo programas de televisión que se estén transmitiendo en otra ciudad o país, hablar por teléfono a cualquier parte del mundo, realizar juntas de trabajo a distancia mediante teleconferencias, transmitir cursos de actualización y de entrenamiento a zonas urbanas y rurales, realizar transacciones bancarias, actualizar y consultar bancos de datos de computadoras, y muchas otras cosas más que contribuyen a la dinámica evolutiva de la sociedad moderna.

# **CAPITULO 1**

## **HISTORIA DE LOS SATELITES**

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 oz fue transmitido por la Marina de los Estados Unidos, mediante el trayecto tierra-luna. En 1956 un servicio relevador lunar de la Marina de E.U; fue 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 fue 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 vía satélite.

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

Aunque los satélites pasivos tienen capacidad infinita para comunicaciones de acceso multiple, son gravemente obstaculizados por el uso ineficiente de la potencia transmitida . En el experimento "ECHO", por ejemplo, solamente una parte en 10 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, mas 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 1084 Km. Y un periodo 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.

TABLA 1.1

PRIMEROS SATELITES EXPERIMENTALES Y COMERCIALES DE  
COMUNICACIONES

<b>NOMBRE</b>	<b>Fecha de lanzamiento</b>	<b>Altitud de la órbita inicial (Kilómetros)</b>	<b>Servicios</b>
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

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

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.

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

## **LOS SATELITES**

Un satélite no es mas que una repetidora (en el rango de las microondas ) puesta en el espacio. Un satélite no crea transmisiones por si mismo, solo retransmite ó releva lo que recibe de la tierra en la banda llamada up-link y la regresa en la banda down-link produciéndose un retardo de aproximadamente 0.26 segundos.

## **COMUNICACION VIA SATELITE**

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 radio comunicaciones por onda corta (banda HF) estas solo pueden proporcionar un numero limitado de canales a la estrechez del ancho de banda utilizable . Hay que recordar que , 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 esta saturada. Además la propagación en esta banda ya esta saturada. Además la propagación en esta banda esta afectada por factores aleatorios ya que depende de la ionosfera, 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 incertidumbre por la ionosfera son ampliamente superados constituyendo un medio de gran confiabilidad y capaz de manejar una gran cantidad 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 .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, 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 SATELITE.

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 mas 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 dentro del mismo continente y aun dentro del mismo país.

# **VENTAJAS DE 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 este 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 cualquier proceso electrónico degrada la señal al agregar algo de ruido (aunque sea en grado mínimo ), debemos de 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 mas repetidoras, por lo tanto 20 mas fuentes de ruido. Definitivamente la calidad de la señal en un enlace via satélite es mucho mas alta que en un enlace a través de una red de microondas.

**3.-MAYOR CONFIABILIDAD.** Otra consecuencia de usar solo una repetidora, en vez de una red de ellas en los enlaces via 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 mas estrictas que controlan la fabricación del satélite, lo que permite la seguridad de su funcionamiento durante su tiempo de vida útil. Pero aun debemos agregar a esto, el echo de que los fabricantes de los satélites proveen a este de equipo redundante para las partes mas 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 TV ) por cada banda que disponga (C y/ó 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, este es el caso de regiones pantanosas, bosques, islas, etc.

## **COMO SE CLASIFICAN LOS SATELITES.**

1.-DEACUERDO A SU PRINCIPIO DE OPERACION. Podemos clasificar a los satélites en pasivos y activos, de acuerdo a su principio de operación . Consideramos a un satélite 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.

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:

\_Al permanecer fijo el satélite con respecto a la tierra no es necesario rastrear el movimiento para orientar la antena esta permanece fija, factor que gravita preponderantemente en el costo de la estación terrena .

\_Una vez orientada la antena se dispondrá del satélite todo el tiempo, ya que este permanece fijo, lo que permite la continuidad del sistema las 24 horas del día, condición necesaria en un buen sistema de comunicaciones.

**4.-DEACUERDO A SU COBERTURA.** Clasificaremos a los satélites de acuerdo a su cobertura en globales y domésticos. Un sistema sera global cuando su transmisión cubra todo el espacio sobre la tierra, de acuerdo a la línea de vista desde el satélite. En la practica un 40% de la superficie de la tierra es "vista" desde un satélite geoestacionario. Un satélite será de cobertura domestica cuando su transmisión cubra solo un area especifica 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 domestica es decir los "regionales" cuyo objetivo es cubrir varias zonas especificas, por ejemplo varios paises o alguna region de ellos pero sin intentar cubrir toda el area que cubre un global, un ejemplo de estos son los Solidaridad I y II de Mexico con cobertura America 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, a antena comúnmente utilizada es del tipo de corneta, mientras que en los de cobertura domestica, los MORELOS por ejemplo, la antena es de tipo parabola. Los sistemas globales son para comunicaciones internacionales e intercontinentales, mientras que los domésticos son para comunicaciones locales, (dentro del mismo país ).

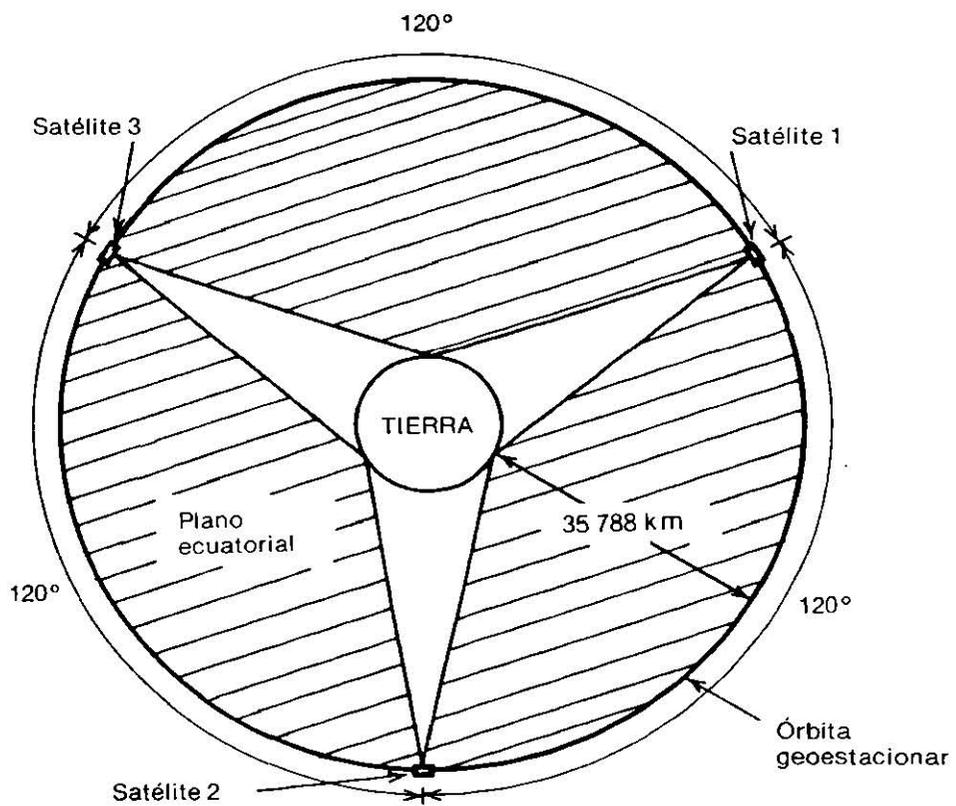
# **LANZAMIENTO Y COLOCACION EN ORBITA GEOESTACIONARIA**

## **EL CINTURON DE CLARKE**

En 1945, Arthur C. Clarke sugirió en una de sus publicaciones la posibilidad de colocar satélites artificiales en una órbita tal que al observarlos desde un punto sobre la superficie de la tierra parecería que no se moviesen, como si estuviesen colgados en el cielo. Los satélites no cambiarían aparentemente de posición y esto traería consigo grandes ventajas pues, tal como se verificaría años mas tarde, su operación se simplificaría y el costo de los equipos terrestres necesarios para utilizarlos se reduciría, en relación con el uso de otras órbitas . Además casi la totalidad del mundo habitado se podría intercomunicar por radio con solo tres satélites colocados en esa órbita tan especial (fig.pag.sig.). Como seria posible lograrlo, si los satélites devén moverse a gran velocidad, para no perder altura y caer hacia la tierra atraídos por ella ? La Tierra gira sobre su propio eje, completando una vuelta cada 24 hrs; si se coloca un satélite de tal forma que gire circularmente alrededor de ella en un plano imaginario que la atraviese por el circulo ecuatorial, y si el satélite también completa una vuelta en 24 hrs, entonces, para un observador en un punto fijo de la tierra, se produce la ilusión de que el satélite no se mueve.

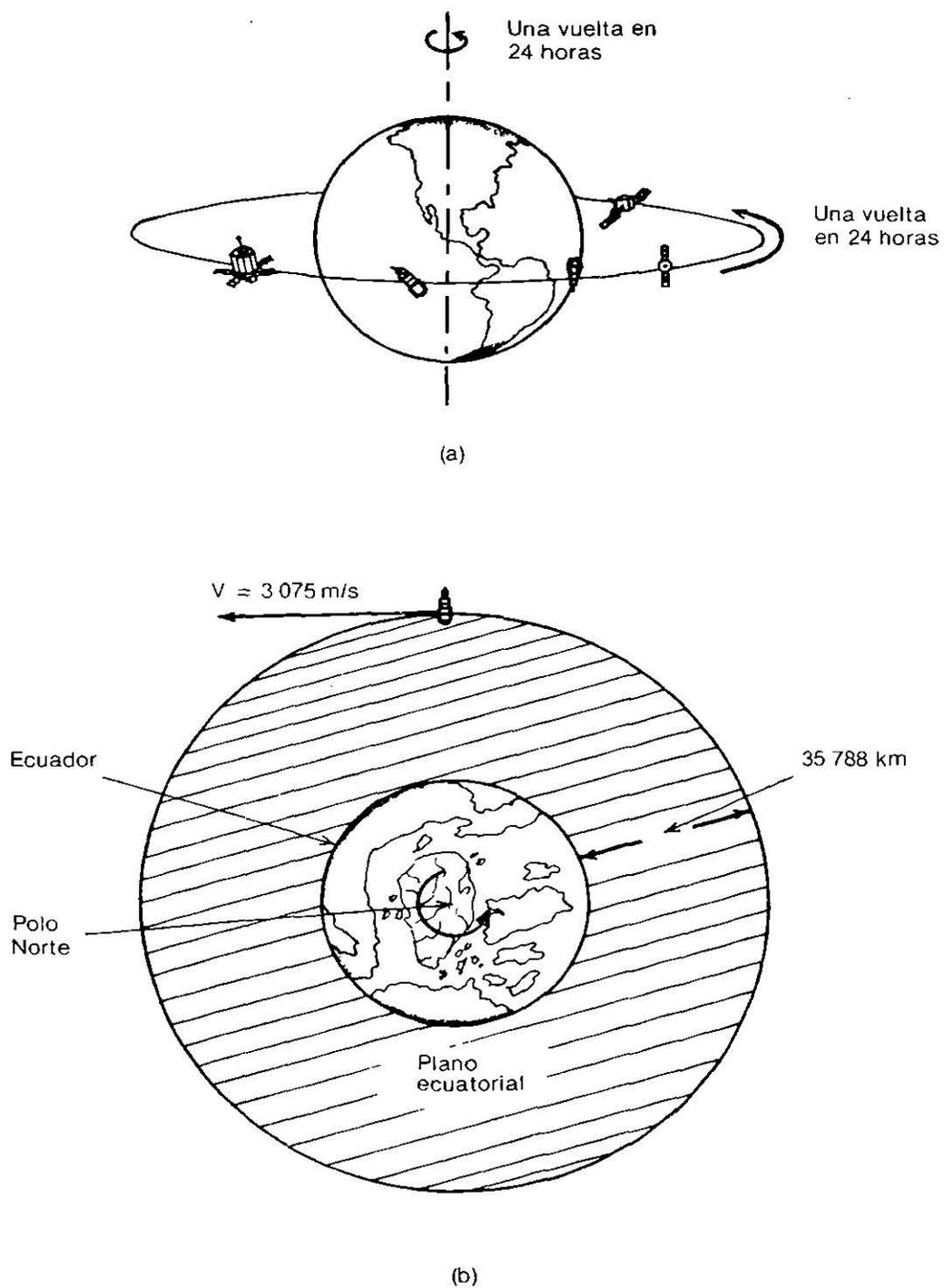
La idea de Clarke era muy buena y debían cumplirse varios requisitos para que el satélite fuese en verdad fijo con respecto a la tierra, es decir, geoestacionario. En primer lugar, el satélite debía desplazarse en el mismo sentido de rotación de la tierra; además, para que no perdiese altura poco a poco y completase una vuelta cada 24 hrs, debía estar aproximadamente 36000 Kms. De altura sobre el nivel del mar; para lograrlo el satélite debía tener una velocidad cte. de 3075 m/s, siguiendo una órbita circular alrededor de la tierra (fig. Sig.)

## 2 SATÉLITES DE COMUNICACIONES



**Figura 1.1** Clarke indicó que con solamente tres satélites en órbita geostacionaria sería posible intercomunicar por radio a casi la totalidad del mundo habitado desde luego con una limitación en la cantidad de tráfico simultáneo.

LANZAMIENTO Y COLOCACIÓN EN ÓRBITA GEOESTACIONARIA 3



**Figura 1.2** Los satélites geoestacionarios giran alrededor de la Tierra sobre el plano ecuatorial, completando una vuelta en 24 horas. Para un observador sobre un punto fijo de la Tierra, los satélites no se mueven. a) Vista lateral; b) vista superior.

La órbita en cuestión recibe el nombre de órbita geoestacionaria, pero con frecuencia muchos autores e investigadores también se refieren a ella como el cinturón de Clarke, en justo reconocimiento a su promotor.

En la actualidad, esta es la órbita mas congestionada alrededor de la tierra, muchos propietarios de satélites, si no todos, quieren estar ahí por obvias razones de sencillez y bajo costo de operación. En ella se encuentran satélites de apariencia física y aplicaciones muy diversas: Meteorológicos, Militares, Experimentales y de Comunicaciones.

## COMO LLEGAR A LA ORBITA GEOESTACIONARIA

Para llevar a un satélite a esa órbita tan especial existen tres procedimientos distintos, los cuales se describen a continuación.

### **Inyección directa en órbita geoestacionaria**

En este caso, el satélite es transportado por un cohete de varias etapas hasta el cinturón de Clarke, sin que necesite realizar esfuerzo propio, lo que en cambio si es necesario en los otros dos procedimientos que se explican mas adelante. La Inyección directa en órbita geoestacionaria es muy costosa y solo se utiliza para lanzar satélites militares; como el satélite no realiza esfuerzos propios, es decir, no lleva motores acoplados directamente a el, para pasar de un órbita a otra, la probabilidad de que llegue a su destino en buenas condiciones aumenta. El cohete Titan IIC de los E. E. U. U. es un ejemplo de lanzador que puede emplearse con este fin.

### **Inyección inicial en órbita elíptica**

En este procedimiento las etapas del sistema lanzador colocan al satélite en una órbita elíptica de gran excentricidad, es decir, muy alargada, en la que el

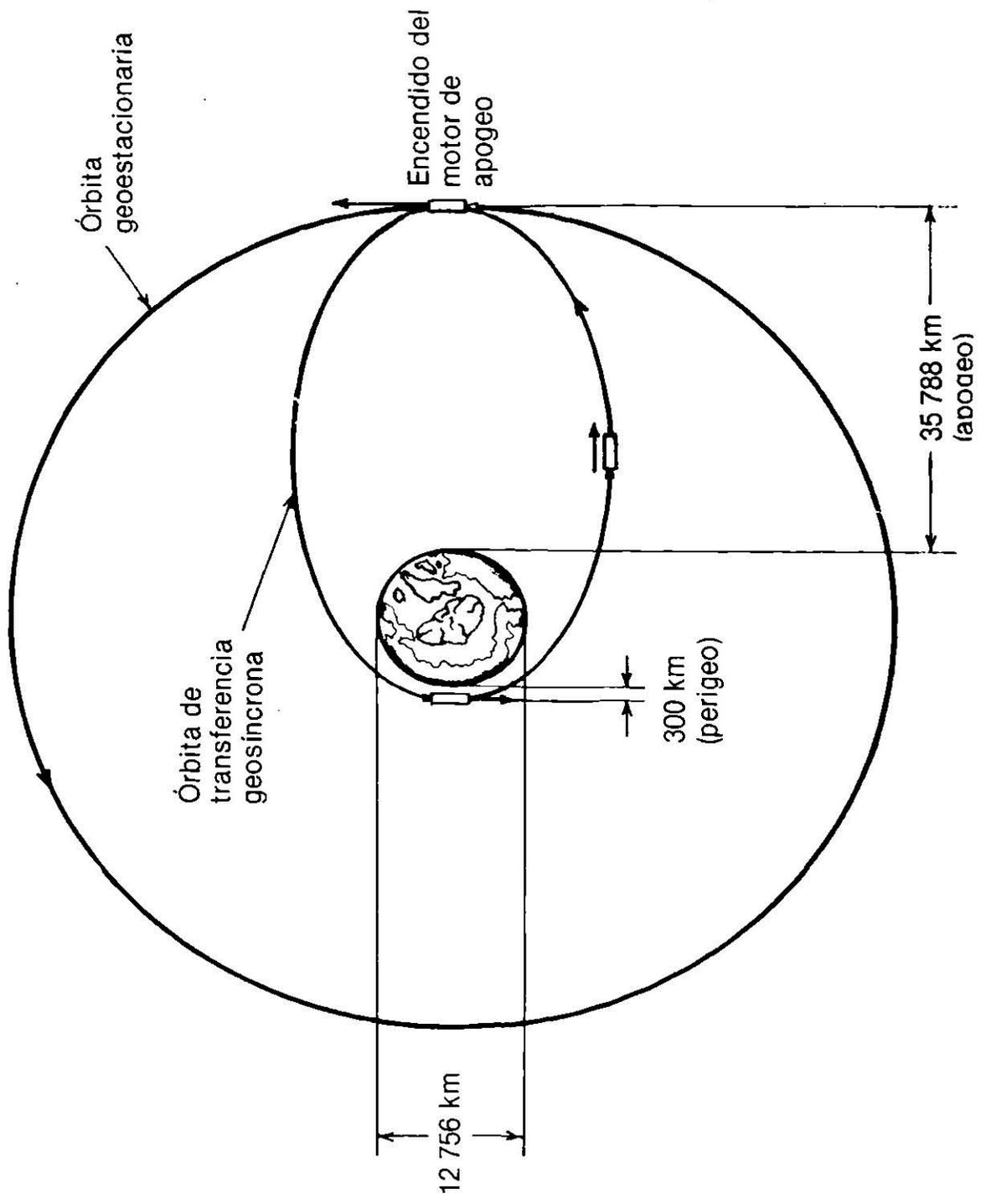
centro de la tierra es uno de los dos focos. Una vez ahí, el satélite se separa del cohete y da una o varias vueltas en esa órbita, llamada de transferencia geosíncrona, hasta que se lleva acabo la sig. etapa del proceso ya con esfuerzos propios de el mismo.

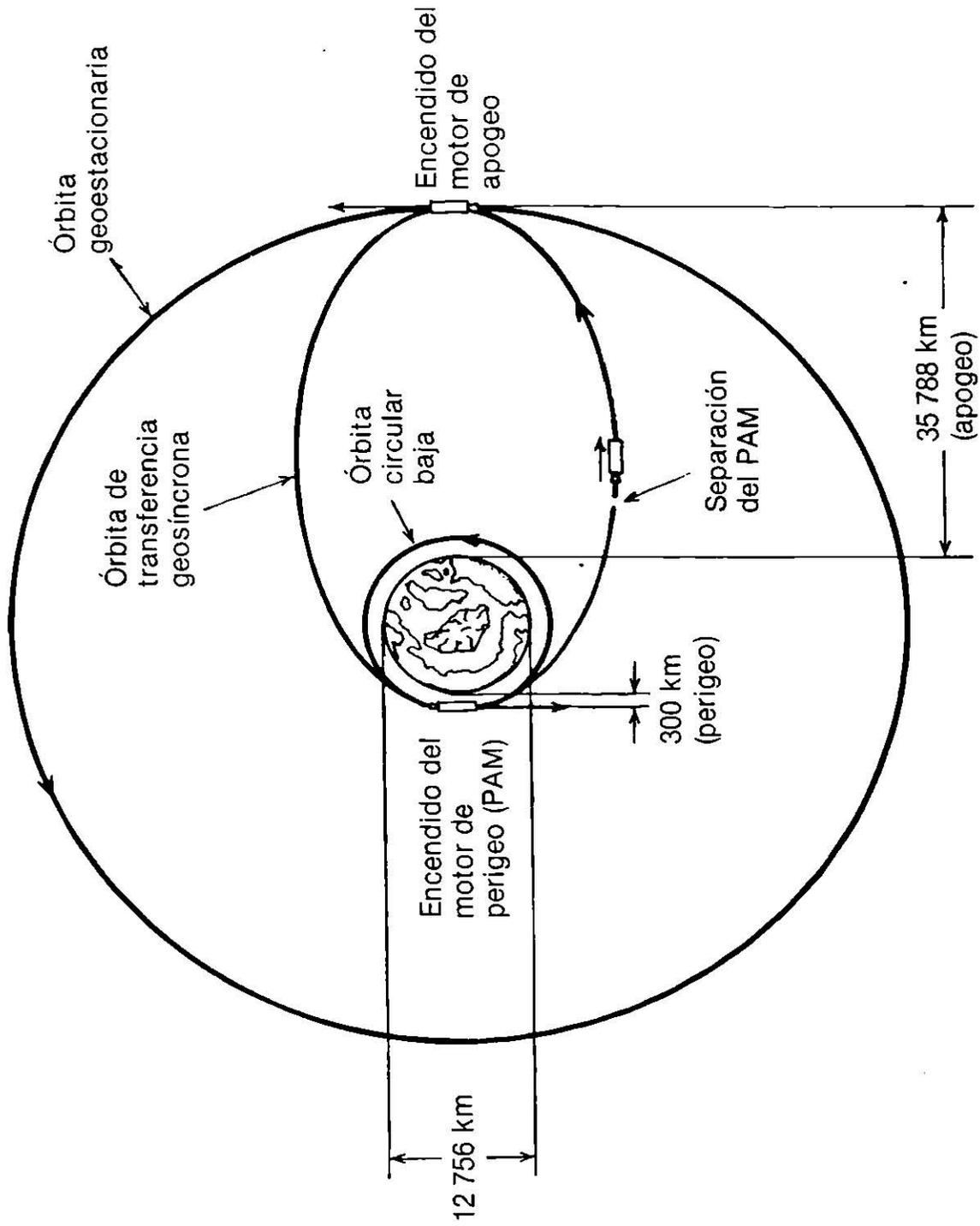
El perigeo de la órbita de transferencia geosíncrona esta normalmente a una altura aproximada de 200 Kms. Sobre el nivel del mar y su apogeo cerca de los 35788 Kms. Que es la altura final en la que el satélite debe quedar para funcionar. El paso sig. es circularizar la órbita y para ello el satélite lleva acoplado un motor que se enciende precisamente en el punto de apogeo de la ultima vuelta elíptica que se haya programado; obviamente el encendido se realiza después de haber orientado al satélite a control remoto en forma adecuada, para que el empuje del motor de apogeo resulte en dirección correcta. Al encenderse este, el satélite recibe un incremento sustancial de velocidad y su órbita cambia, pasando de la elíptica de transferencia geosíncrona a la de transferencia geoestacionaria (fig 1.3)

## **Inyección inicial en órbita circular baja**

Esta es la técnica empleada por el Sistema de Transportación Espacial de la NASA de E. E. U. U.; mejor conocido como orbitador y consiste en tres pasos, los dos últimos son idénticos al caso anterior de inyección inicial en órbita elíptica, y el primer paso se describe a continuación.

El orbitador despegando llevando al satélite en su compartimiento de carga y entra en órbita alrededor de la tierra siguiendo una trayectoria circular, a una altura aprox. de 300 Kms. Sobre el nivel del mar (fig. 1.9). En una de las muchas vueltas que da la nave, el satélite es liberado o arrojado del compartimiento de carga, quedando este también en órbita circular baja alrededor de la tierra, aunque separado del vehículo espacial; la el. Inicial del satélite es la misma que la de la nave, aunque ligeramente modificada por el efecto de los resortes que se emplean para arrojarlo del compartimiento de carga. La separación se efectúa cuando la nave va cruzando el plano de ecuador, y 45 min. mas tarde, cuando el satélite vuelve a cruzar el plano del ecuador su motor de perigeo se enciende, este le da un





empuje tal que modifique su órbita cambiándola de circular baja o de estacionamiento a un elíptica similar a la del segundo caso explicado anteriormente. Una vez que ha cumplido su misión, el motor de perigeo se desprende del resto del cuerpo del satélite, dando así las condiciones adecuadas para que, mas adelante y en el momento preciso, un motor de apogeo acoplado al cuerpo del satélite se encienda para circularizar la órbita con su altura final.

En realidad, el procedimiento para colocar un satélite en órbita geoestacionaria no es tan simple como parece ser de acuerdo con los tres métodos descritos. No solo hay que proporcionar cambios o incrementos de vel. al satélite, para modificar la geometría de las órbitas que formen parte del procedimiento elegido, sino que al mismo tiempo también hay que lograr pasar de un plano a otro, y todo ello haciendo el menor consumo posible de energía (combustible) para reducir los costos de lanzamiento.

# **CAPITULO 3**

## **EL SATELITE Y SU MEDIO AMBIENTE**

El satélite ha llegado a su posición final en el cinturón de Clarke, autorizada a su propietario con años de anticipación por la Union Internacional de Telecomunicaciones. Sin embargo, no es el primero en llegar ahí; hay muchos otros satélites en el mismo cinturón, algunos jóvenes y otros viejos, de configuraciones, tamaños y aplicaciones distintas; muchos de ellos reciben y transmiten señales en las mismas frecuencias que el satélite recién llegado también usara durante su funcionamiento, por muchos años. Afortunadamente, aunque todos son vecinos no se encuentran colocados en el mismo punto; de hecho, están separados entre si por dos a tres grados de arco, equivalentes a 1500 y 2200 Kms respectivamente, con lo cual se garantiza que no exista ningún riesgo de interferencia radioelectrica entre ellos. Además, la posición en longitud de cada uno depende de la zona geográfica que se encargue de comunicar. Por ejemplo, un satélite diseñado para prestar servicio de telecomunicaciones a la India se colocara en órbita geoestacionaria en el Océano Indico y no al otro lado de la tierra, sobre el océano Pacifico, al sur de Mexico; allí de nada le serviría el sistema a la India, amenos que la energía radiada por el satélite pudiese atravesar el planeta y ser capturada por antenas hindúes que estuvieran apuntando hacia el centro de la tierra y no hacia el cielo.

El satélite recién llegado no debe causar problemas de interferencia ni degradaciones en la calidad de las señales recibidas o transmitidas por el, y por lo tanto debe permanecer ahí lo mas “fijo” posible. Es decir, aun cuando se este moviendo a gran velocidad alrededor de la tierra para mantener su posición geoestacionaria, no debe desviarse de su trayectoria y tampoco debe cambiar la orientación de su cuerpo con respecto a la superficie terrestre.

Sin embargo, el satélite no puede cumplir del todo con los requisitos anteriores, ya que varias fuerzas se encargan de dificultarle su tarea, empujándolo y tirando de él de un lado a otro de tal forma que se puede imaginar, aunque sea de forma muy exagerada, como una botella que flota sobre las olas del mar cambiando su orientación y posición constantemente. Necesita ayuda para resolver todos estos contratiempos, y tener así mismo cierta flexibilidad de movimiento limitado. Nunca se le puede decir “no te muevas ya”, como por arte de magia pues las fuerzas externas se encargaran de volver a moverlo. Atraves del sistema de propulsión del satélite, es posible ayudarlo a corregir su orientación y posición, enviándole comandos a control remoto en forma periódica.

Cada vez que el subsistema de propulsión se activa para corregir la orientación y posición del satélite se consume combustible, y poco a poco los tanques de almacenamiento se van vaciando. Que ocurre cuando ya no hay combustible en los tanques de almacenamiento, después de varios años de haber realizado gran número de acciones correctivas? Simplemente, ya no es posible mantener el satélite dentro de la caja imaginaria, y tampoco orientarlo correctamente hacia la superficie de la tierra a la que le debe prestar servicio; se corre el grave riesgo de causarle interferencia a otros sistemas, además de otros problemas operativos en tierra, y la única solución es apagar el satélite concediéndole su jubilación. El número de años que puede trabajar sin problemas, es decir, su vida útil, depende en gran medida de la eficiencia con la que los operadores en tierra administren el combustible contenido en los tanques de almacenamiento en el satélite.

## **FUERZAS PERTURBADORAS**

La fuerza que mas problemas causa para conservar el satélite fijo en su posición geoestacionaria, es el campo gravitacional de la tierra. Este campo no es esféricamente uniforme, pues la distribución de la masa del planeta no es homogénea. Es decir, si se imaginase a una gran esfera en cuyo centro este el centro de la tierra, y si pudiese medirse de alguna forma la intensidad del campo gravitacional en todos los puntos de la superficie de esa gran

esfera imaginaria envolvente, no se obtendría el mismo valor en todos los puntos, o sea, que la intensidad del campo gravitacional no es exactamente igual sobre un punto en el sur del océano Pacífico que sobre un punto en el continente africano, aun cuando ambos puntos de medición estén a la misma altura sobre el nivel del mar.

El campo gravitacional de la tierra es la fuerza de mayor influencia sobre la orientación y posición del satélite debido al gran tamaño del planeta y la relativa cercanía del satélite al mismo, pero la luna ejerce también una ligera fuerza gravitacional perturbadora. Sin embargo, como esta última es mucho más pequeña que la tierra y además se encuentra 10 veces más lejos del satélite que este de la superficie del planeta, su efecto comparativo es mínimo, al igual que en el caso de la fuerza gravitacional perturbadora del sol..

Otra fuerza que también produce cambios en la posición y orientación del satélite es la presión de la radiación solar sobre la superficie de su estructura.

Esta fuerza acelera el satélite, y su efecto es mayor en satélites que tienen sus arreglos solares montados sobre paneles desplegados o extensibles que en satélites de configuración cilíndrica; el principal efecto de esta fuerza es cambiar la excentricidad de la órbita del satélite, y como la resultante no incide precisamente sobre su centro de masa, al mismo tiempo se produce un giro, que cambia su orientación con respecto a la superficie del planeta.

Existen otras fuerzas perturbadoras, pero en realidad su efecto es despreciable en comparación con las fuerzas antes mencionadas.

Por otra parte, la posición y orientación del satélite no son modificadas solamente por las fuerzas externas que se han mencionado, sino que el propio satélite también genera otras fuerzas perturbadoras. El simple hecho de que haya movimiento en sus antenas, sus arreglos solares o el combustible que se quede dentro de los tanques de almacenamiento, produce pares o fuerzas que afectan al satélite. Conviene apuntar que conforme los tanques de combustible se vacían, el centro de masa del satélite cambia; por

lo tanto, cuando se activa el subsistema de propulsión para corregir errores de orientación y posición, el empuje resultante no se aplica precisamente sobre el centro de masa; esto produce pares o fuerzas igualmente perturbadoras durante la realización de las correcciones.

Como puede verse, el nuevo hogar del satélite es muy inestable, y por ello su subestima de propulsión es sumamente importante para poder mantenerlo dentro de la habitación que le corresponde en el espacio, es decir dentro de su caja imaginaria. Sin embargo, hasta ahora solo se ha hablado de los efectos perturbadores mecánicos o de movimiento sobre el satélite; a continuación se mencionan otros, que también pueden alterar su funcionamiento correcto, como son la radiación solar, las partículas cósmicas y los eclipses.

## **LA TEMP. DEL SATELITE**

El satélite está integrado por gran número de elementos, todos ellos fabricados con distintos materiales y diseñados para realizar funciones diversas. Por ejemplo, las celdas solares trabajan con mayor eficiencia entre  $-100^{\circ}\text{C}$  y  $+50^{\circ}\text{C}$ , las baterías solamente entre  $0^{\circ}\text{C}$  y  $+20^{\circ}\text{C}$ , y los tanques de combustible deben estar entre  $+10^{\circ}\text{C}$  y  $+50^{\circ}\text{C}$ ; el equipo electrónico y los sensores infrarrojos, entre otros componentes, también requieren rangos de temperaturas específicos para funcionar bien. Por lo tanto, es preciso garantizar un control térmico eficaz en la estructura del satélite y en cada uno de sus equipos para que no falle. El mecanismo para hacerlo es muy complejo, pues se necesita mantener un balance térmico entre la energía que el satélite recibe por la radiación de fuentes externas y la energía que el mismo disipa internamente. El problema se complica aun más si se considera que la energía de las fuentes externas cambia constantemente conforme el satélite gira alrededor de la tierra, ya que según la hora del día y la época del año la magnitud de radiación que recibe del sol y de la tierra es variable.

La principal fuente de radiación externa es el sol, y aun cuando causa algunos problemas para conservar el balance térmico en el satélite, es obvio que sin él no podría generarse energía eléctrica a través de las celdas solares;

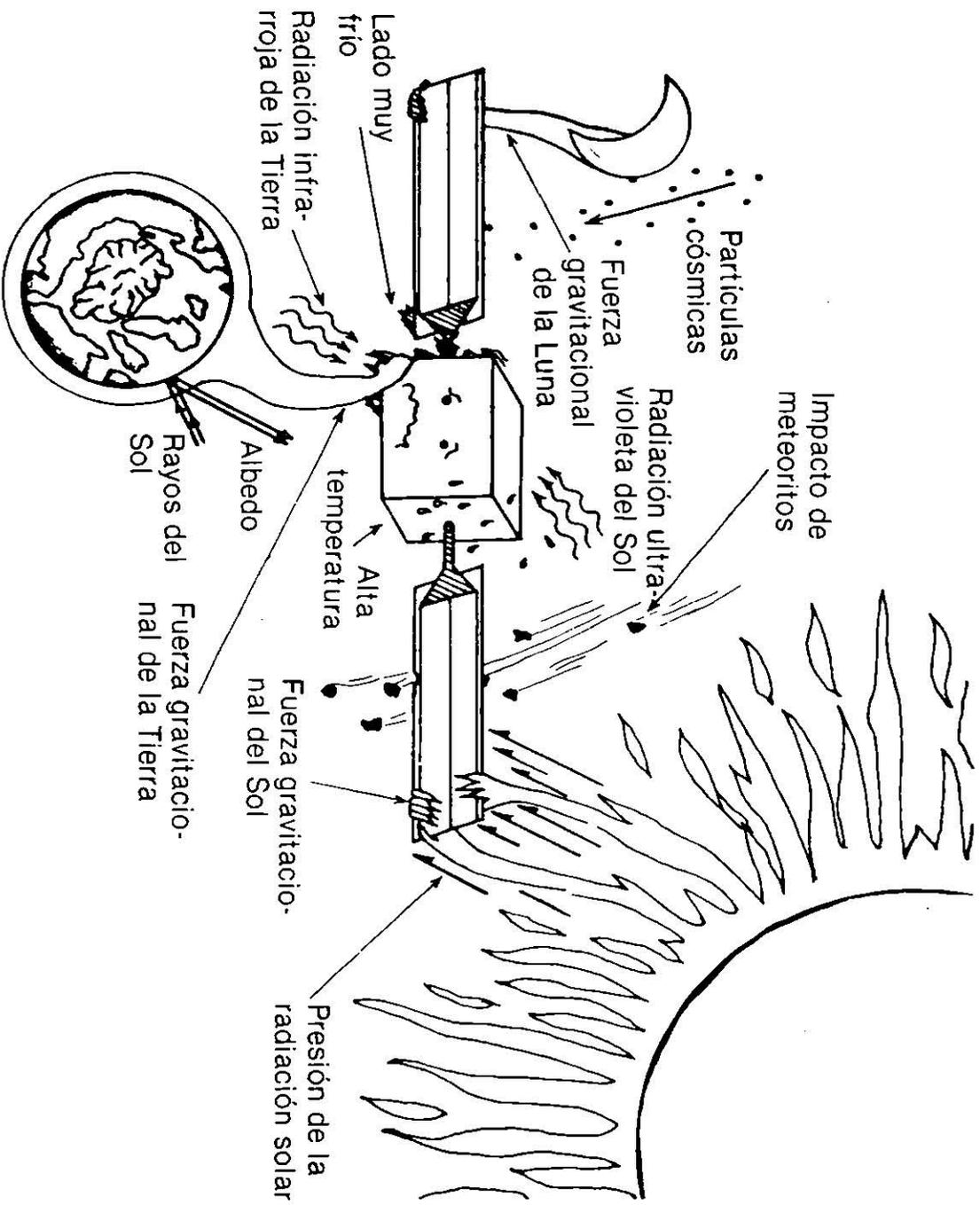
por supuesto, sin el tampoco habría vida sobre la superficie de la tierra y mucho menos satélites artificiales girando alrededor de ella. Por un lado, el sol permite generar electricidad para que el satélite funcione, pero por otro complica el diseño del mismo. En todo momento el satélite tiene varias de sus partes expuestas a diferentes temperaturas; mientras que la cara que esta orientada hacia sol se calienta mucho, las partes no iluminadas se enfrían (fig. 2.2). En el interior del satélite, la transferencia de calor se lleva por conducción, y en el espacio por radiación, puesto que el medio ambiente es casi vacío excluye la posibilidad de que este ultimo se pueda transferir por convección. En cuanto a la contribución térmica de la tierra, esta consiste en radiación infrarroja emitida por ella misma y de la reflexión de los rayos solares sobre su superficie, denominada albedo; sin embargo, el efecto térmico de su radiación total es despreciable en comparación con el producto de la radiación solar directa.

Por otra parte, cuando ocurre un eclipse, el satélite no solo se enfría muchísimo al interponerse la tierra entre el y el sol, sino que además no puede convertir energía solar en electricidad; en estas condiciones, necesita obtener su energía de alguna otra fuente para seguir funcionando. Esta fuente de respaldo esta constituida por varias baterías que forman parte del satélite, y gracias a ellas el servicio no se interrumpe durante un eclipse o la noche terrestre.

## **FACTORES DE PERTURBACION**

Hasta ahora se han visto ya la mayor parte de los factores que alteran el funcionamiento correcto de un satélite geoestacionario y que, por consiguiente, exigen en el un buen diseño y una supervision y control permanentes. A continuación se mencionan algunos otros factores importantes que complican aun mas la vida operativa del satélite (fig. 2.2 )

La radiación ultravioleta del Sol causa que los materiales del satélite se ionicen; esto produce un aumento en la conductividad de los aisladores y cambios en las características de emisión y absorción de calor de los



**Figura 2.2** Fuerzas y otros factores que alteran la estabilidad del funcionamiento de un satélite.

materiales protectores. Además, la misma radiación degrada poco a poco la eficiencia de las celdas solares, que después de varios años de trabajo y de estar expuestas al Sol reducen su eficiencia en un 20% a 30%.

El medio ambiente de casi vacío ocasiona, por su parte que los metales y los semiconductores se sublimen y tiendan a evaporarse

Adicionalmente, las partículas cósmicas que inciden sobre el satélite ocasionan que sus plásticos se ionicen y que la eficiencia de sus celdas solares se degrade aun mas; por si fuera poco, también pueden modificar el acabado de las superficies diseñadas para controlar su balance térmico.

# **CAPITULO 4**

## **SUBSISTEMAS DE UN SATELITE**

### **Subsistemas de antenas.**

Las antenas reciben las señales de radiofrecuencia provenientes de las estaciones terrenas transmisoras, y después, de que son procesadas en el satélite, las transmiten de regreso hacia la Tierra concentradas en un haz de potencia. En algunos casos, las antenas que reciben son distintas de las que transmiten, pero también es posible que una sola reciba y transmita al mismo tiempo utilizando para ello frecuencias y elementos de alimentación diferente. Los elementos de alimentación, denominados alimentadores, son generalmente antenas de corneta conectadas en guías de onda que emiten energía hacia un reflector parabólico, o bien la captan proveniente de este último para entregársela a los equipos receptores.

Es fácil comprender que si el subsistema de antenas tuviese alguna falla, por ejemplo, si no estuviese bien orientado hacia la superficie de la Tierra debido a algún desperfecto en su mecanismo, entonces no sería factible transmitir correctamente desde el satélite ni recibir las señales provenientes de las estaciones terrenas.

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

Paradójicamente, una antena parabólica puede recibir y transmitir dentro de una extensión territorial muy grande, mientras que una antena de mayor

tamaño que opere en la misma frecuencia, solamente puede hacerlo dentro de una zona geográfica m s pequeña.

Algo debe obtenerse de una antena grande a cambio de cubrir menos metros cuadrados sobre la superficie terrestre; la razón es sencilla: cuanto m s grandes son las antenas, tienen la propiedad de una mayor capacidad para concentrar la energía en un haz electromagnético muy angosto, que ilumina pocas unidades cuadradas, pero que las irradia con niveles muy altos de densidad de potencia.

Por otra parte, cuanto m s alto sea la frecuencia a la que una antena de dimensiones constantes trabaje, mayor su capacidad de concentración de energía; esta es una característica propia de las antenas parabólicas y, en general, de todas las antenas llamadas de apertura, cuya capacidad de concentrar la potencia en un haz invisible de radiación o iluminación muy angosto es función directa de sus dimensiones eléctricas y no de las físicas.

## **Subsistema de comunicaciones**

Los principales pasos del proceso de la información son amplificar las señales a un nivel de potencia adecuado, para que puedan ser recibidas a su regreso con buena calidad, así como cambiarlas de frecuencia, para que salgan por el conjunto de antenas sin interferir con las señales que están llegando simultáneamente. El subsistema de comunicaciones realiza estas funciones mediante filtros, amplificadores, convertidores de frecuencia, conmutadores y multiplexores.

A la trayectoria completa de cada receptor, comprendiendo todos sus equipos desde la salida de la antena receptora hasta la entrada de la antena transmisora se le da el nombre de TRANSPONDEDOR, el número de ellos depende del diseño del satélite. Asignar trayectorias o transpondedores en los que deben ir los diferentes servicios, como los canales de televisión, telefonía y datos, con sus correspondientes niveles de potencia, así como el espacio que deben ocupar dentro de cada amplificador es responsabilidad de los ingenieros de comunicaciones.

Al rango de frecuencias que hay entre la frecuencia mas baja y la más alta de las que se transmiten se le da el nombre de ANCHO DE BANDA. Cuanto mayor sea ,éste en un equipo, ser mas capaz de trabajar de igual forma dentro de un mayor rango de frecuencias; por ejemplo, si se trata de un equipo de recepción, puede recibir con la misma calidad mas canales de televisión, telefonía o datos que otro cuyo ancho de banda de operación sea menor. Las antenas receptoras y lo mismo se aplica para las antenas transmisoras, tienen un ancho de banda muy grande, suficiente para operar a las frecuencias asignadas para los satélites de comunicaciones, cuya mayor parte funciona actualmente en las bandas de frecuencia C y Ku. En cada una de estas bandas, el ancho de banda de operación o sea, el rango de frecuencias disponibles, es de 500 Mhz para transmisión y 500 Mhz para recepción. Existen satélites denominados híbridos, los cuales pueden trabajar tanto en banda C como en la Ku al mismo tiempo.

En la banda C, las frecuencias que se utilizan para transmitir de la Tierra hacia el satélite están entre 5.925 y 6.425 Ghz. La antena receptora del satélite detecta todas estas frecuencias, con una frecuencia central de 6.175 Ghz. Los transpondedores cambian las frecuencias de todas las señales contenidas en el rango, bajándolas a otro de igual ancho de banda, pero cuyos límites inferior y superior son, respectivamente, 3.7 Ghz y 4.2 Ghz; posteriormente, todas las señales contenidas en estas últimas frecuencias son entregadas a la antena transmisora, para que las envíe de regreso a la Tierra.

En la banda Ku, todo el proceso es similar al de la banda C solo que las frecuencias Tierra-satélite estén entre 14 y 14.5 Ghz, con una frecuencia central de 14.25 Ghz, y las frecuencias satélite-Tierra estén entre 11.7 y 12.2 Ghz; en este caso, el enlace se representa con la nomenclatura 14/12 Ghz.

Cuando un canal de televisión se transmite por satélite, al modularlo en frecuencia ocupa normalmente sólo 36 de los 500 Mhz disponibles, y técnicamente esa ocupación puede hacerse en cualquier parte dentro de ese rango. Por conveniencia, el ancho de banda de 500 Mhz se divide en espacios o ranuras, cuyo número depende de la aplicación del satélite.

En la siguiente figura se muestra una división usual del ancho de banda de un satélite en 12 ranuras de 36 Mhz de ancho de banda cada una. Los espacios libres entre ranuras adyacentes se dejan para disminuir la posibilidad de interferencia entre las señales que cada una contiene. Cada ranura puede trabajar con un canal de televisión independientemente, por lo que la capacidad total del satélite en esta banda C de operación sería igual a 12 canales de televisión. También sería posible que en cada ranura cupiesen 2 canales de televisión o cientos de canales telefónicos y de datos.

De acuerdo con la figura, la frecuencia central del transpondedor número 4 es de 6.085 Ghz; o sea, que esta es la frecuencia central con la que estaría enviando el canal de televisión de la Tierra hacia el satélite. Hay que recordar que la antena receptora del satélite no capta solamente las frecuencias que corresponden al rango del transpondedor número 4, sino todas las frecuencias de los 12 transpondedores. Es decir, por ella entran

diferentes clases de señales al mismo tiempo, que bien podrían ser en un momento dado 6 o 7 canales de televisión, miles canales telefónicos o algunos canales de datos. Para la antena esto no representa ninguna dificultad, pero no es fácil construir aparatos electrónicos de alta frecuencia que realicen sus funciones de amplificación óptimamente con todas esas señales al mismo tiempo.

Es necesario aislarlas, para procesarlas y amplificarlas por separado, y esta es una de las razones principales por las que se divide el ancho de banda del satélite; después del proceso, todas las señales se vuelven a juntar o agrupar, para que la antena transmisora las envíe hacia la Tierra.

Dentro del subsistema de comunicaciones se encuentra el primer dispositivo electrónico importante que se encuentran las señales recibidas por la antena, que es el amplificador de bajo ruido, con poca potencia de salida; este aparato genera internamente muy poco ruido, que se suma a las señales originales que entran a él para amplificación. Todos los dispositivos electrónicos generan ruido, principalmente por su calentamiento. La primera etapa de amplificación es muy importante, porque cualquier señal recibida por la antena es muy débil, debido a la distancia que tiene que recorrer.

Es importante que el ruido generado por este primer dispositivo de amplificación común sea lo más bajo posible, éste dispositivo tiene un ancho de banda muy grande, de 500 Mhz, debido a que debe de ser capaz de amplificar al mismo tiempo todas las señales recibidas por la antena, antes de que se proceda a separarlas entre sí, por medio de filtros, para realizar las siguientes etapas del proceso que se lleva a cabo en éste subsistema.

Del amplificador de bajo ruido depende que la información siga fluyendo o no dentro del satélite, por lo que se debe de contar con un duplicado, es decir, es un sistema redundante.

Hasta este momento, lo único que se ha hecho es aumentar ligeramente el nivel de potencia de la señales. Cuando han alcanzado un nivel adecuado, pasan por un dispositivo conocido como convertidor de frecuencia, que no es más que un oscilador local que multiplica las señales que entran por otra generada internamente, las señales obtenidas a la salida del aparato son similares a las que entraron, por lo que respecta a su contenido, pero han sido desplazadas a frecuencias más bajas en el espectro radioeléctrico.

El siguiente paso es separarlas en grupos por medio de un demultiplexor, que tiene un solo conducto de entrada y varios de salida. A él entra la información completa de 500 Mhz de ancho de banda, y en su interior, mediante filtros, se separan los canales en bloques de 36 Mhz cada uno. A continuación, cada bloque pasa por una etapa muy fuerte de amplificación, proporcionada por un amplificador de potencia, y después todos los bloques son reunidos nuevamente en un solo conjunto de 500 Mhz de ancho de banda, a través de un multiplexor, conectado a la antena transmisora del satélite. Existe dentro de este subsistema un atenuador o resistencia variable, que se encuentra después de cada salida del demultiplexor, que sirve para disminuir a control remoto, y en distinto grado, la intensidad del bloque de señales que entra a cada amplificador de potencia.

Cuando los amplificadores de potencia del satélite entregan a su salida el máximo de potencia posible, se dice están operando en su punto de saturación; para que esto ocurra, la potencia total de las señales que entran en ellos debe tener un valor determinado. Sin embargo, no siempre es necesariamente deseable obtener a la salida de un amplificador de potencia la máxima salida, es decir, operarlo en saturación, todo depende de la clase de información que contenga el bloque que se va a amplificar.

Cuanto mayor sea la intensidad de las señales que llegan al satélite se obtienen mejores resultados en la primera etapa de amplificación, ya que la relación entre la potencia de la señal amplificada y la potencia de ruido térmico generado internamente es mayor, y como la calidad con la que finalmente la señal se recupera en la Tierra depende, entre otros parámetros, de esta relación de potencias, se obtiene entonces una mejor fidelidad.

Todo tipo de información que se transmite al satélite tiene una frecuencia asignada, denominada portadora, por ejemplo, un canal de televisión tiene su propia frecuencia portadora, y la combinación de 60 canales telefónicos en un solo grupo también tiene la suya. De igual forma, un canal digital que contenga datos, sin importar si es de alta o baja velocidad, requiere tener su propia frecuencia portadora. En la siguiente figura se muestra un ejemplo de lo que podría contener un transpondedor de 36 Mhz de ancho de banda, en donde el espacio de frecuencias disponibles es ocupado por cuatro señales similares en amplitud y ancho de banda, con su propia frecuencia portadora; cada señal contiene 192 canales telefónicos agrupados y proviene de una ciudad distinta.

En el ejemplo anterior, el número de frecuencias portadoras que entraran al amplificador de potencia sería mayor de uno e igual a cuatro y como la característica entrada-salida del amplificador es lineal, se producirían internamente muchas señales adicionales e indeseables que a la salida se sumarían a la información original, distorcionándola. Estas señales indeseables se denominan en conjunto ruido de intermodulación, y su intensidad es cada vez mayor, conforme se trata de obtener más y más potencia a la salida del amplificador, hasta llegar quizá la máxima posible, correspondiente al punto de saturación. Por esta razón, es preciso operar al amplificador de potencia en un punto de trabajo inferior al de saturación, para reducir así el ruido de intermodulación y su efecto sobre la información original, aunque para ello tenga que sacrificar potencia de salida. Los atenuadores permiten regular la intensidad de las portadoras y entregar menos o más potencia a la entrada del amplificador para que a su vez salga de él, con una menor o mayor amplificación de potencia, con un nivel aceptable de ruido de intermodulación.

## **Subsistema de energía eléctrica**

La cantidad de potencia requerida por cada satélite en particular depende de sus características de operación, y normalmente varía entre los 500 y 2,000 watts. Este subsistema depende de tres elementos fundamentales: una fuente primaria, una fuente secundaria y un acondicionador de potencia; este

último est integrado por dispositivos como reguladores, convertidores y circuitos de protección, que permiten regular y distribuir la electricidad con los niveles adecuados a cada una de la partes del satélite.

La fuente primaria de energía del satélite est constituida por arreglos de celdas solares. Una gran desventaja que actualmente tienen las celdas solares es que su factor de eficiencia es la conversión de energía solar a eléctrica es muy bajo. Con el arseniuro de galio que ofrece una eficiencia del 18% aproximadamente, se puede obtener un determinado voltaje usando menos celdas conectadas en serie que el número que se requiere cuando se emplean celdas de silicio (eficiencia aproximada de 12%); además de esto, las primeras tienen la ventaja de que son menos dependientes de la temperatura, pero todavía son muy caras y densas, y pasar n varios años antes de que comiencen a utilizarse a gran escala.

Las celdas solares funcionan bajo el principio del efecto fotovoltaico; cuanto mayor sea la densidad de flujo de la radiación solar sobre ellas, mayor es la electricidad que generan. El efecto fotovoltaico también depende de la temperatura a la que están expuestas las celdas solares; cuanto m s baja sea esta, mayor ser el nivel de voltaje entregado por las celdas. Todas las celdas se ven expuestas durante su vida de operación a diversos tipos de radiaciones, que año tras año van disminuyendo su eficiencia aún más; después de unos 7 años de operación, la reducción de su eficiencia puede disminuir aproximadamente en un 30% con respecto a la eficiencia original, aun cuando llevan una cubierta de protección hecha de sílice fundido.

La distancia entre el satélite y el Sol y el movimiento aparente del Sol con respecto al satélite, ocasionan que en diferentes ,pocas del año se tenga m s o menos energía eléctrica disponible, siendo máxima durante los equinoccios y mínima en los solsticios.

Durante su vida de operación, el satélite se ve expuesto a eclipses, por lo cual necesita obtener la energía eléctrica de alguna otra fuente de que no sea el Sol para poder seguir funcionando; ésta fuente secundaria o de respaldo la

constituye un conjunto de baterías, que se cargan cuando las celdas solares se hallan expuestas al Sol y se descargan durante los eclipses o en las horas pico de mayor demanda de energía.

En el momento en que ocurre un eclipse ya sea de Tierra o de Luna, unos reveladores eléctricos detectan la disminución en el nivel de energía suministrada por las celdas a los equipos y conectan las baterías automáticamente. De esta forma, las baterías comienzan a descargarse poco a poco, mientras alimentan al satélite, y su operación se puede requerir durante muchos minutos, a veces más de una hora, dependiendo de la duración del eclipse.

Las baterías que más se utilizan en los satélites geostacionarios de comunicaciones son de níquel-cadmio; su eficiencia de potencia/peso es baja, pero se prefieren porque son muy confiables y de larga duración. Sin embargo, algunos satélites (Intelsat V y Spacenet) ya utilizan baterías de níquel-hidrógeno, que poseen importantes ventajas tecnológicas sobre las anteriores y que quizá poco a poco las irán reemplazando hasta el año 2,000. Hay otros tipos de baterías que aún se encuentran en la etapa de investigación, por ejemplo, de plata-hidrógeno, litio y sodio.

## **Subsistema de control térmico**

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

La suma del calor generado internamente por el satélite más el producido por la absorción de energía del Sol y de la Tierra, menos el radiado por el satélite hacia el exterior, se debe mantener lo más constante posible, con pocas variaciones, de tal modo que el satélite funcione íntegra y correctamente. El control de este balance térmico es también muy importante cuando ocurre un eclipse, pues el satélite se enfría bruscamente

al quedar en la oscuridad, y cuando est de nuevo expuesto a los rayos del Sol sufre otro cambio brusco de temperatura.

La transferencia del calor sobrante del satélite al vacío se efectúa por radiación; en su interior también se produce una ligera transferencia de calor entre sus partes, pero por conducción en la estructura. Con el fin de mantener lo mejor posible el equilibrio térmico, los especialistas en el diseño de satélites tienen a su alcance gran variedad de materiales que utilizan para proteger cada una de las partes del aparato. Por ejemplo, una sección del satélite va cubierta con un reflector óptico de cuarzo, semejante a un gran espejo, que rechaza el calor del exterior y al mismo tiempo lo transfiere del interior al vacío; los dispositivos electrónicos que generan más calor (como los amplificadores de potencia) se colocan junto a ,l.

Los colores también juegan un papel muy importante en el acabado de las partes del satélite, dependiendo del lugar que cada una de ellas ocupe en la estructura, al igual que las propiedades de absorción y emisión de los materiales. Entre otros acabados, también se utiliza en algunas secciones la pintura de aluminio; por tener una emitancia más baja que la pintura negra, así como una absorbencia también baja, las zonas recubiertas con pintura de aluminio son más calientes en la oscuridad de lo que serían si tuviesen un terminado con pintura negra.

El equilibrio térmico se altera drásticamente cuando ocurre un eclipse, pues en ese momento desaparece la contribución del calor proveniente del Sol, así como el albedo cuya influencia es mucho menor, modificándose la temperatura resultante total. Si no se tomase alguna medida de protección para estas condiciones especiales, el satélite sufriría un cambio térmico muy fuerte, enfriándose a tal grado que las componentes más sensibles a las bajas temperaturas dejarían de funcionar correctamente; uno de los elementos más sensibles al frío son, por cierto, las baterías, que irónicamente son las responsables de suministrar energía eléctrica al satélite durante un eclipse, y por lo tanto es posible contar con algún sistema de calefacción que se encienda cuando la temperatura comienza a bajar en forma significativa.

Para tal efecto se utilizan caloductos que distribuyen en el interior el calor emitido por los amplificadores de potencia, así como calentadores eléctricos activados por termostatos o a control remoto. Los caloductos operan bajo el principio de la evaporación y condensación sucesivas de algún fluido en los extremos de un ducto; en el extremo donde está la fuente de calor (los amplificadores de potencia) el fluido se evapora, y en el otro se encuentra un radiador que transmite el calor al exterior del ducto, hacia las partes frías; esto ocasiona que el fluido se condense, pero al recircular en el interior del caloducto pasa nuevamente a la condición de evaporación, y así en forma sucesiva.

## **Subsistema de orientación y posición**

Para orientar al satélite hacia la zona geográfica de servicio, es necesario mantener la orientación de la estructura del satélite estable con respecto a la superficie de la Tierra, lo cual se obtiene mediante las técnicas de estabilización por giro o de estabilización triaxial. Independientemente del tipo de estabilización que se use, las fuerzas perturbadoras en el espacio no dejan de provocar cambios en la posición del satélite sobre su órbita y en su orientación con respecto a la superficie de la tierra.

Para conocer la posición, se requiere medir la distancia a la que se encuentra y en que dirección o ángulo con relación a algún punto de referencia sobre la Tierra. La distancia se mide transmitiendo una señal piloto hacia el satélite, que, éste retransmite después, y la diferencia que se detecta en el centro de control entre las fases de la señal transmitida y la recibida es un indicador de lo lejos que se encuentran la medición del ángulo o la dirección en la que se halla se puede hacer por interferometría, empleando dos estaciones separadas por cierta distancia y comparando las señales piloto recibidas por cada una de ellas. Cuando se obtiene la posición máxima de recepción, se considera que la antena de la estación terrena está perfectamente orientada hacia el satélite, y por lo tanto se puede conocer la dirección o ángulo con que éste se encuentra.

Por lo que se refiere a la determinación de la orientación del cuerpo del satélite con relación a la superficie terrestre se puede utilizar para ello una variedad de sensores, de los cuales los más comunes son los de Sol y los de Tierra. Los sensores solares son dispositivos fotovoltaicos en los que se produce una corriente eléctrica cuya magnitud depende de la dirección de la radiación solar sobre ellos. Los sensores de Tierra miden la radiación infrarroja emitida por el planeta, utilizando para ello un dispositivo sensible al calor, como un bolómetro o una termopila.

El procedimiento de corrección de la posición y orientación del satélite se basa en comparar los resultados de las mediciones de los sensores con ciertos valores de referencia considerados como correctos, calcular a continuación las correcciones que deben hacerse para reducir esos errores o diferencias, y finalmente llevarlas a cabo mediante la operación de algún actuador o conjunto de actuadores montados en el satélite. Los más comunes, y que proporcionan niveles importantes en la magnitud de los pares necesarios de corrección, son los propulsores.

## **Subsistema de propulsión.**

Este subsistema opera según el principio de la tercera ley de Newton; mediante la expulsión de materia a gran velocidad y alta temperatura a través de tuberías o conductos de escape, se obtienen fuerzas de empuje en sentido contrario. Hay propulsores químicos o eléctricos, pero los primeros son los de mayor uso porque proporcionan niveles de empuje cientos o miles de veces más grandes que los eléctricos.

La eficacia de un propulsor se caracteriza por su empuje y el impulso específico del propelente que utilice. Cada tipo de propelente produce un incremento de velocidad diferente con cierta cantidad de masa consumida; cuanto menor sea la masa necesaria para producir un incremento de velocidad determinado mayor es el impulso específico del propelente. El impulso específico se puede definir como el empuje aplicado o producido por cada unidad de peso del propelente que se consume cada segundo; en

consecuencia, tiene dimensiones de tiempo y se expresa en segundos. El principio básico mediante el cual operan los propulsores químicos es la generación de gases a muy alta temperatura en el interior de una cámara mediante la reacción química de propelentes, y los gases se aceleran al pasar por una tobera de escape cuya boquilla va disminuyendo poco a poco en su área transversal y después se ensancha.

Un tipo de propulsión es la hidrazina monopropelente, la cual es inyectada en una cámara donde se pone en contacto con un catalizador; como resultado, la primera se evapora y se descompone exotérmicamente en una mezcla de nitrógeno, hidrógeno y amoníaco, a temperaturas del orden de 300°C y con un impulso específico de unos 225 segundos. Este impulso se puede mejorar incrementando la temperatura de los gases mediante algún sistema de calentamiento resistivo, después de la descomposición catalítica, hasta unos 1,900°C, y antes de que se escapen por la tobera; de esta forma, el impulso específico aumenta hasta unos 300 segundos. Este importante incremento permite reducir la masa de propelente en el satélite antes de lanzarlo y colocarlo en órbita, pero a costa de un consumo mayor de energía eléctrica, pues hay que calentar la cámara de canalización.

En la actualidad existe cada vez más la tendencia a utilizar sistemas bipropelentes, con los que no se emplea un catalizador, sino que dos propelentes distintos (un combustible y un oxidante) se ponen en contacto. Los propulsores eléctricos funcionan según el principio de generar un empuje al acelerar una masa ionizada dentro de un campo electromagnético, pero aun se encuentran en su etapa de pruebas y desarrollo.

## **Subsistema de rastreo, telemetría y comando**

Este subsistema permite conocer a control remoto la operación y posición del satélite, así como enviarle órdenes para algún cambio deseable se ejecute. El equipo de telemetría cuenta con diversos tipos de sensores instalados en varios cientos de puntos de prueba, que miden cantidades tales

como voltajes, corrientes, presiones, posición de interruptores y temperaturas, etc. Las lecturas tomadas por los sensores son convertidas en una señal digital que el satélite transmite hacia la Tierra con una velocidad baja, entre 200 y 100 bits por segundo, lo cual permite conocer el estado de operación del sistema satelital, apoyado por la información de rastreo.

El rastreo se efectúa mediante la transmisión de varias señales piloto, denominadas tonos, desde la estación terrena de control hacia el satélite. Normalmente se utilizan de 6 a 7 tonos distintos, cuya frecuencia es de unos cuantos kilohertz, y que modulan sucesivamente en fase con la señal portadora de la estación terrena de control; el satélite recupera los tonos y remodula con ellos su propia portadora para retransmitirlos hacia la Tierra, en donde son detectados por el centro de control. Las señales recibidas en Tierra se comparan en fase con las transmitidas originalmente, y las diferencias obtenidas permiten calcular la distancia a la que se encuentra el satélite, con precisión de unas cuantas decenas de metros. La transmisión de las señales de telemetría y la retransmisión de los tonos de rastreo hacia la Tierra se realiza a través de un mismo amplificador a bordo del satélite, al igual que con las señales de comando que se hayan recibido, para que se verifiquen antes de que sean ejecutadas, como se muestra en la siguiente figura.

Las señales de comando son las que permiten efectuar las correcciones en la operación y funcionamiento del satélite a control remoto, como cambiar la ganancia de los amplificadores, cerrar algún interruptor, conmutar detranspondedor, modificar la orientación de la estructura, extender los paneles solares, mover las antenas y encender el motor de apogeo. Todas estas señales de comando van codificadas, por cuestiones obvias de seguridad, y la mayor parte de los sistemas que operan actualmente utilizan una secuencia en la que el satélite primero retransmite al centro de control los comandos que haya recibido, estos son verificados en la Tierra, y si se comprueba que las ordenes fueron recibidas correctamente, entonces el centro de control transmite una señal de ejecución. Al recibirla, el satélite procede entonces a efectuar los cambios ordenados.

## **Subsistema estructural.**

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

Los materiales más comunes para este fin son aluminio, magnesio, titanio, berilio, acero, y varios plásticos reforzados con fibra de carbón; de estos el berilio es el más caro, y por tanto su utilización es limitada. Dependiendo del diseño (numero y forma de las antenas, tipo de estabilización, numero y potencia de los amplificadores, etc), la masa de la estructura puede variar entre 10 y 20 % del total de la masa del satélite; una buena parte de esa estructura (los cilindros o las paredes de la caja, según el caso) se fabrica con "panal de abeja" de aluminio, por su ligereza y rigidez excelentes.

# **CAPITULO 5**

## **ESTACIONES TERRENAS**

### **Estación terrena transmisora**

El equipo transmisor consiste básicamente en tres módulos: modulador, convertidor elevador y amplificador de alta potencia. El modulador de la estación combina la forma de la señal original con la señal portadora, modificando el ancho de banda de frecuencias y la posición de la información dentro del espectro radioeléctrico, la cual es transferida a frecuencias más altas; este paso de la señal modulada a frecuencia intermedia es el primero en su ascenso de conversión a microondas.

El convertidor elevador transfiere a la señal de la frecuencia intermedia (que dependiendo del sistema, puede tener una frecuencia de 70 Mhz, 140 Mhz, 1 Ghz, o más) a una posición dentro del espectro radioeléctrico en donde las nuevas frecuencias que la integran son mucho más altas que cuando salieron del modulador. La señal tiene ahora las frecuencias apropiadas para poder ser radiada hacia el satélite, pero su nivel de potencia es aún muy bajo, por lo que es preciso amplificarla antes de entregársela a la antena; para esto se utiliza un amplificador de alta potencia, del cual existen dos tipos:

Un tubo de ondas progresivas que es un amplificador de microondas de ancho de banda muy grande, que abarca todas las frecuencias utilizables del satélite (500 Mhz o más en algunos casos) por lo que puede amplificar simultáneamente a señales dirigidas hacia distintos transpondedores del mismo.

Un klistrón que es un amplificador de banda estrecha, suficiente para manejar uno o dos canales de televisión, varios cientos de canales telefónicos o algunos canales de datos de muy alta capacidad de transmisión.

Dada la posible pérdida de todo un enlace de comunicaciones si es que el amplificador de alta potencia falla, por norma general es común encontrar sistemas operativos en los que hay amplificadores de redundancia (en forma similar a como ocurre en los transpondedores del satélite). Por último, es importante señalar que, antes de su adquisición, las características de un amplificador de potencia se deben determinar tomando en cuenta el posible crecimiento del tráfico de la estación terrena.

Nota: el satélite de radiocomunicaciones se explicó anteriormente en el subsistema de comunicaciones.

## **Estación terrena receptora**

La antena recibe las señales provenientes del satélite y a través del diplexor se las entrega a un amplificador de bajo ruido; éste funciona similarmente al amplificador de bajo ruido del satélite, por las mismas razones de que a su llegada la señal tiene una intensidad muy baja y de que es muy vulnerable ante cualquier ruido que se le pueda añadir antes de ser amplificada a un nivel aceptable. La antena y el amplificador de bajo ruido son los elementos más importantes de una estación terrena receptora y juntos definen la calidad de su operación.

Después del amplificador de bajo ruido van conectados en cadena un convertidor reductor de frecuencias y un demodulador, sin contar con algunos filtros intermedios. La señal de salida del amplificador contiene toda la información radiada por el satélite en una banda de operación con ancho de 500 Mhz, situada aún en la misma región del espectro radioeléctrico; el convertidor reductor tiene como función transferir toda esa información de 500 Mhz a una región más baja del espectro, centrándola en una frecuencia intermedia (FI) de recepción, es decir, haciendo una operación inversa al convertidor elevador de la estación transmisora.

La conversión de reducción de frecuencia se puede hacer en un solo paso, bajando de la frecuencia de llegada a la antena (que es la misma frecuencia en la que opera el amplificador de bajo ruido) hasta la frecuencia intermedia FI que se debe entregar al demodulador.

La señal de frecuencia intermedia que sale del convertidor reductor aún está modulada (ya sea en FM, PSK o alguna otra forma de modulación), y el paso siguiente para recuperarla en su forma original (banda base) es precisamente demodularla. En realidad, la señal nunca se recupera exactamente como era en su forma original, ya que diversos factores (como el ruido térmico y el de intermodulación), se encargan de distorsionarlo.

El grado de distorsión que se produce depende del tipo de modulación que se haya elegido, del nivel de potencia transmitida, de la ganancia de las antenas, y de otros parámetros del diseño del enlace.

La relación señal a ruido ( $S/N$ ) es la medida de la calidad de la señal recibida y se especifica precisamente a la salida del demodulador.

Para cada clase de señal hay un estándar o  $S/N$  distinto. Por ejemplo, para una señal telefónica el estándar es de 50 dB, o sea, que la mayor parte del tiempo, la potencia de la señal que sale del demodulador y que contiene la información de la voz debe ser 100,000 veces mayor que la potencia del ruido que se le añade.

Por lo general la relación  $S/N$  debe ser aún mayor en el caso de señales de televisión, y su valor es fijado por el tipo de uso que se le vaya a dar (servicio rural, servicio urbano de distribución, estación casera, distribución de televisión de muy alta definición, etc.); por ejemplo, para el servicio rural o casero de recepción directa de TV quizá sea aceptable una  $S/N$  de 44 a 48 dB, pero para un servicio de distribución en una ciudad los enlaces procuran diseñarse de tal forma que la  $S/N$  sea de 53 dB o más durante la mayor parte

del tiempo (99%), especialmente cuando se está operando en un medio comercial altamente competitivo.

## **TIPOS DE ACCESO**

### **Acceso múltiple**

Para que no ocurra ningún tipo de conflicto entre las señales que llegan simultáneamente al satélite, se establece un orden mediante una técnica de acceso múltiple, que 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. Existen tres tipos: por división de frecuencia, por división en el tiempo, y por diferenciación de código; de éstos, el primero es el más común en la actualidad.

Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA), aquí todos los usuarios 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.

Este tipo de acceso tiene las siguientes ventajas:

No se requiere de sincronización (cada estación transmite independientemente de las otras).

La asignación de cada canal es simple y directa.

Desventajas:

- 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 propuesto 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.

La figura muestra un ejemplo de FDMA, supóngase que la ciudad se designa por la letra A, la de tamaño medio por B, y la población rural por C. Es evidente que, si las tres transmiten al mismo tiempo, deben hacerlo con frecuencias portadoras diferentes para que no haya interferencia. Si la suma de los anchos de banda que requieren las tres estaciones individualmente da un total cercano a los 36 Mhz, entonces las tres ocuparán simultáneamente el mismo transpondedor del satélite, separadas por bandas de guarda.

Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA), aquí todos los usuarios transmiten por turno en su propia y única ranura de tiempo. Mientras est transmitiendo, cada ocupante tiene el uso exclusivo de uno o más transponders. La naturaleza intermitente del TDMA lo hace particularmente atractivo para modulación digital. Un ejemplo se muestra en la siguiente figura.

Este acceso tiene las siguientes ventajas:

- 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:

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

Acceso múltiple por división de código (CDMA), las 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. Un ejemplo de éste se muestra a continuación.

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 asignación por demanda.

# **BIBLIOGRAFÍA**

Satélites de comunicación.

Rodolfo Neri Vela.

Mc Graw Hill.

Memorias de comunicación vía satélite.

Ing. Fernando Estrada Salazar.

F.I.M.E. U.A.N.L.

