

**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**  
**JORGE PAREDES FLORES**  
**ASESOR: ING. FERNANDO ESTRADA SALAZAR**

**CIUDAD UNIVERSITARIA**

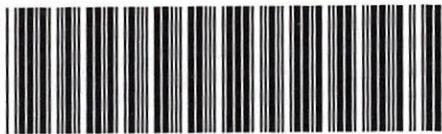
**JUNIO DE 1997**

T

TK5104

P3

C.1



1080071721

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**

*Comunicación Vía Satélite*

**TESINA**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES**

**PRESENTA**

**JORGE PAREDES FLORES**

**ASESOR : ING. FERNANDO ESTRADA SALAZAR**

**CIUDAD UNIVERSITARIA**

**JUNIO DE 1997**

T  
TK5104  
P3



## INDICE

## PAGINA

LANZAMIENTO Y COLOCACION EN ORBITA GEOESTACIONARIA	1
EL SATELITE Y EL MEDIO AMBIENTE DEL ESPACIO	12
ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE UN SATELITE	21
COMUNICACION VIA SATELITE	37
VENTAJAS DE LA COMUNICACION Y EL SATELITE	38
CLASIFICACION DE LOS SATELITES	39
ORBITA GEOESTACIONARIA	41
AREA DE COBERTURA	42
EL ENLACE TIERRA—SATELITE --TIERRA	44

## LANZAMIENTO Y COLOCACIÓN EN ÓRBITA GEOESTACIONARIA

### EL CINTURÓN 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 más 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 sólo tres satélites colocados en esa órbita tan especial. Cómo sería posible lograrlo, si los satélites deben moverse a gran velocidad, para no perder altura y caer hacia la Tierra, atraídos por ella ?. La Tierra gira sobre su propio eje, completando un vuelta cada 24 horas; si se coloca a un satélite de tal forma que gire circularmente alrededor de ella en un plano imaginario que la atraviese por el círculo ecuatorial, y si el satélite también completa una vuelta en 24 horas, entonces, para un observador sobre un punto fijo de la Tierra, se produce la ilusión de que el satélite no se mueve.

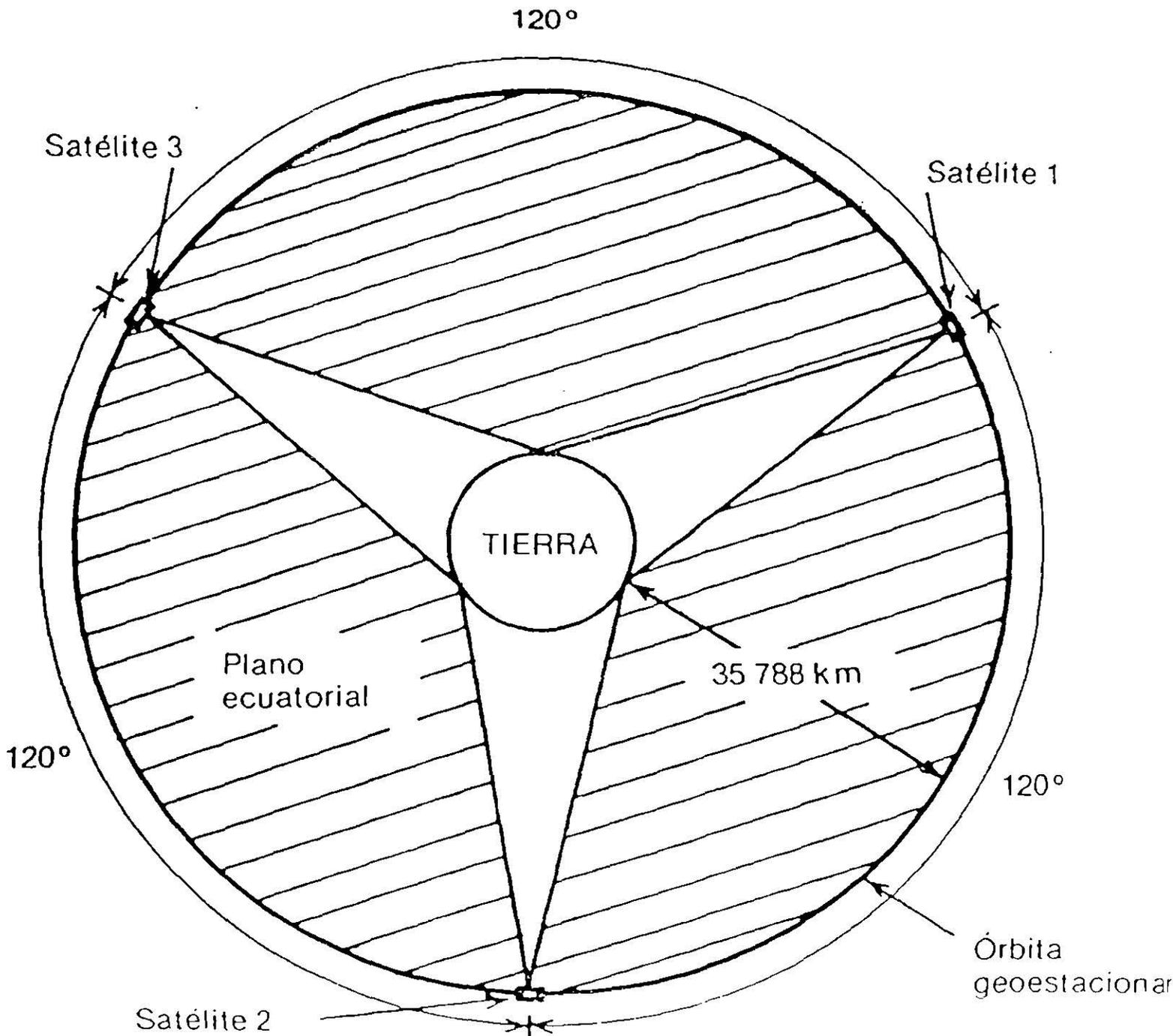
La idea de Clarke era muy buena y debían cumplirse varios requisitos para que el satélite fuese en verdad fijo con respecto a la Tierra, es decir, geoestacionario.

En primer lugar el satélite debía desplazarse en el mismo sentido de rotación que la Tierra; además, para que no perdiese altura poco a poco y completarse una vuelta cada 24 horas, debía estar aproximadamente 36,000 km. de altura sobre el nivel del mar; para lograrlo, el satélite debía tener una velocidad constante de 3,075 m/s, siguiendo una órbita circular alrededor de la Tierra.

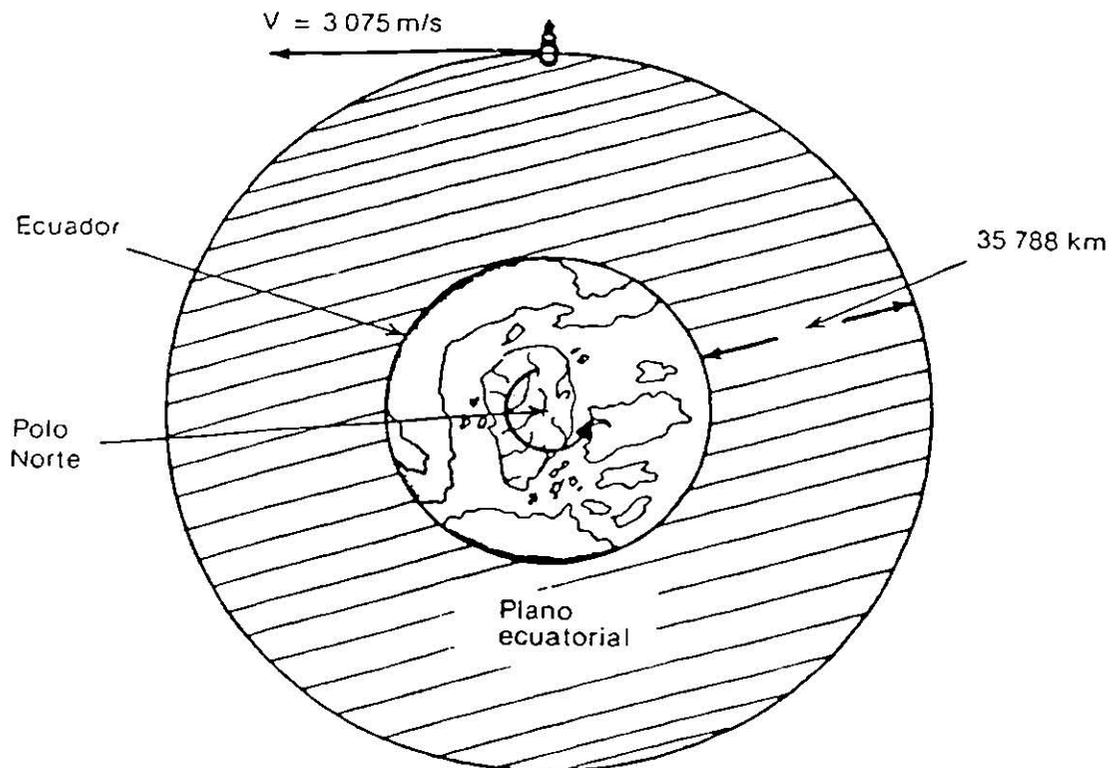
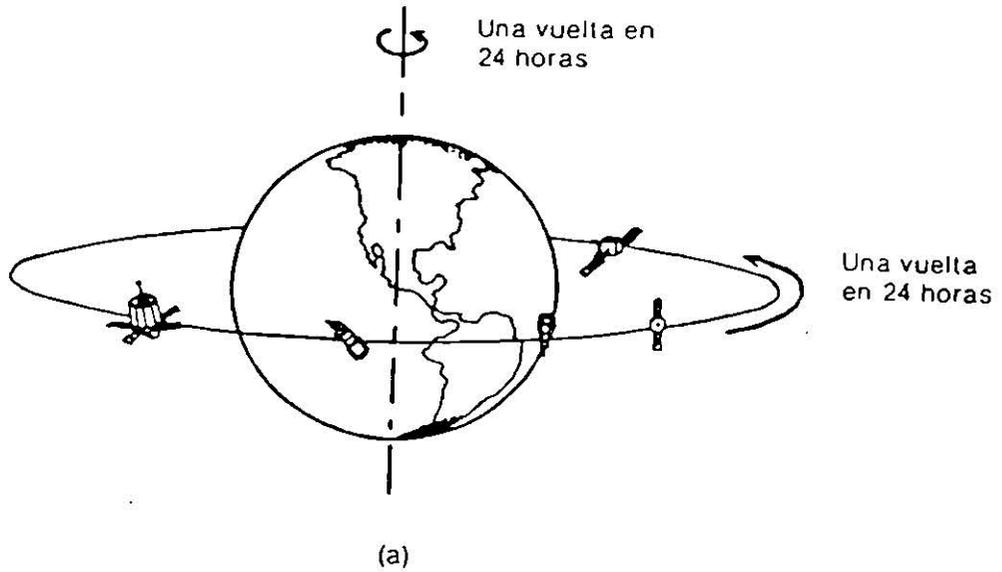
Sin duda fueron muchos los científicos e ingenieros que leyeron con interés las ideas de Arthur C. Clarke y de otros autores contemporáneos. Cabe mencionar que en aquél entonces todavía no se lanzaba ni siquiera el primer satélite artificial de la Tierra, ya no se diga en órbita geoestacionaria a 36,000 km. de altura sobre el nivel del mar, sino aunque fuese a unos cuantos cientos de kilómetros de distancia. Pero llegó el día en que la era espacial se inició, en 1957, con el lanzamiento del Sputnik 1, y después de varias pruebas con algunos otros satélites en esos primeros años, al fin se colocó en órbita el primer satélite geoestacionario del mundo, llamado SYNCOM.

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.

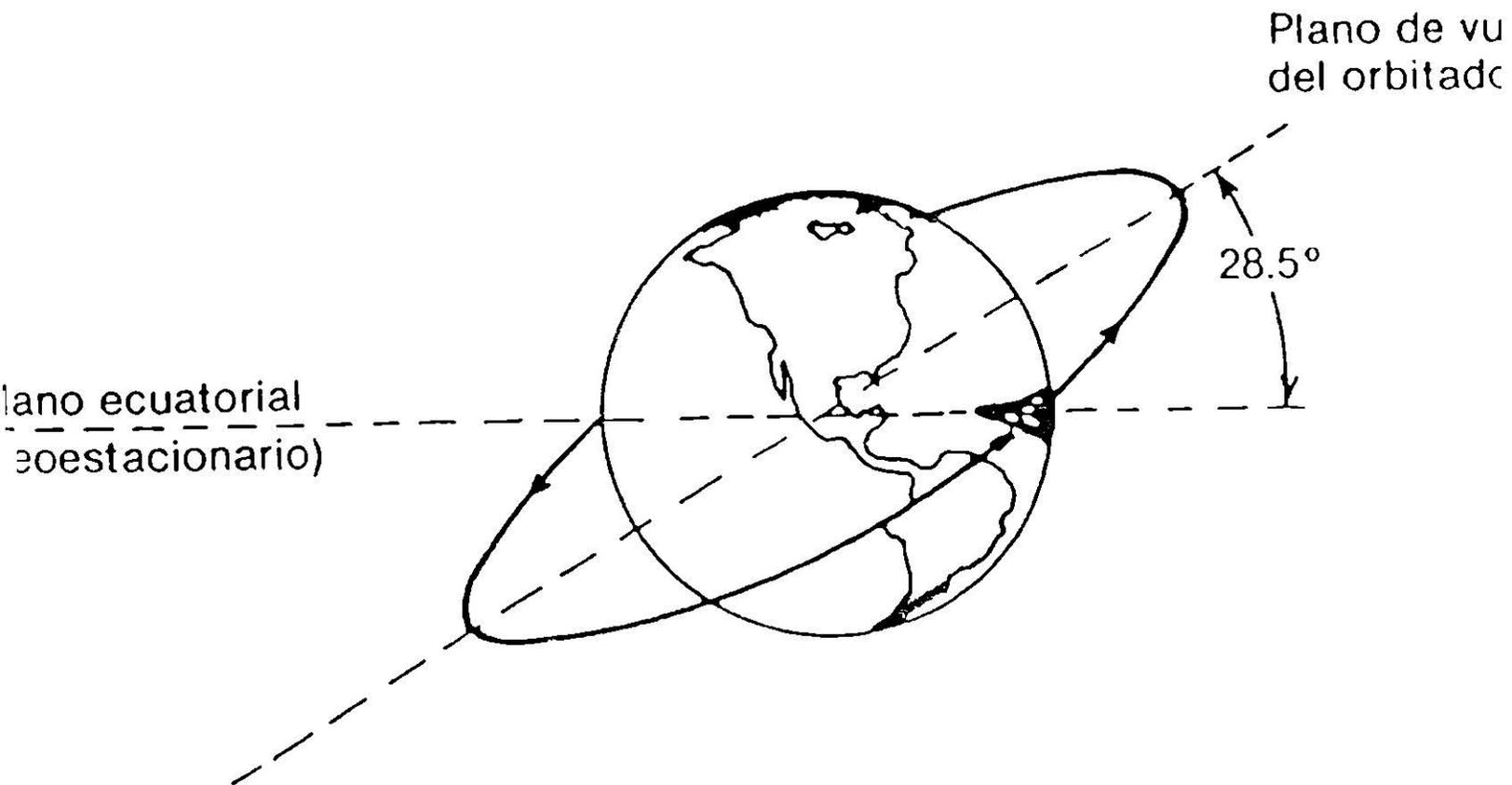
CLARKE INDICÓ QUE CON SOLAMENTE TRES SATÉLITES EN ÓRBITA GEOESTACIONARIA SERÍA POSIBLE INTERCOMUNICAR POR RADIO A CASI LA TOTALIDAD DEL MUNDO HABITADO, DESDE LUEGO CON UNA LIMITACIÓN EN LA CANTIDAD DE TRÁFICO SIMULTÁNEO.



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.



CUANDO EL ORBITADOR PASA POR EL PLANO ECUATORIAL, EL SATÉLITE ES LIBERADO DEL COMPARTIMIENTO DE CARGA. AL IGUAL QUE EL ORBITADOR, QUEDA EN ÓRBITA CIRCULAR BAJA, INCLINADA  $28.5^\circ$  CON RESPECTO AL PLANO ECUATORIAL. SE ENCUENTRA AHORA EN ÓRBITA CIRCULAR BAJA.



## CÓMO LLEGAR A LA ÓRBITA GEOESTACIONARIA.

En teoría, el número de tipos de órbita en los que un satélite se puede colocar alrededor de la Tierra es infinito, pero como ya se indicó anteriormente, la más codiciada y utilizada de las órbitas posibles es geoestacionaria. Para llevar un satélite a esa órbita tan especial existen tres procedimientos distintos, los cuales se describen a continuación.

### INYECCIÓN DIRECTA EN ÓRBITA GEOESTACIONARIA.

En éste caso, el satélite es transportado por un cohete de varias etapas hasta el cinturón de Clarke, sin que necesite realizar esfuerzos propios, lo que en cambio si es necesario en los otros dos procedimientos que se explican más adelante. La inyección directa en órbita geoestacionaria es muy costosa y sólo se utiliza para lanzar satélites militares; como el satélite no realiza esfuerzos propios, es decir, no lleva motores acoplados directamente a él, para pasar de una órbita a otra, la probabilidad de que llegue a su destino en buenas condiciones aumenta. El cohete Titán III C de los EE.UU. es un ejemplo de lanzador que puede emplearse con éste fin.

### INYECCIÓN INICIAL EN ÓRBITA ELÍPTICA.

En éste 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 lleve a cabo la siguiente etapa del proceso, ya con esfuerzos propios de él mismo.

El perigeo de la órbita de transferencia geosíncrona está normalmente a una altura aproximada de 200 Km. sobre el nivel del mar y su apogeo cerca de los 35,788 Km., que es una altura final en la que el satélite debe quedar para funcionar. El paso siguiente es circularizar la órbita y para ello el satélite lleva acoplado un motor que se enciende precisamente en el punto de apogeo de la última vuelta elíptica que se haya programado; obviamente, el encendido se efectúa después de haber orientado al satélite a control remoto en forma adecuada, para que el empuje del motor de apogeo resulte en la dirección correcta. Al encenderse éste, el satélite recibe un incremento sustancial de velocidad y su órbita cambia, pasando de la elíptica de transferencia geosíncrona a la circular geoestacionaria.

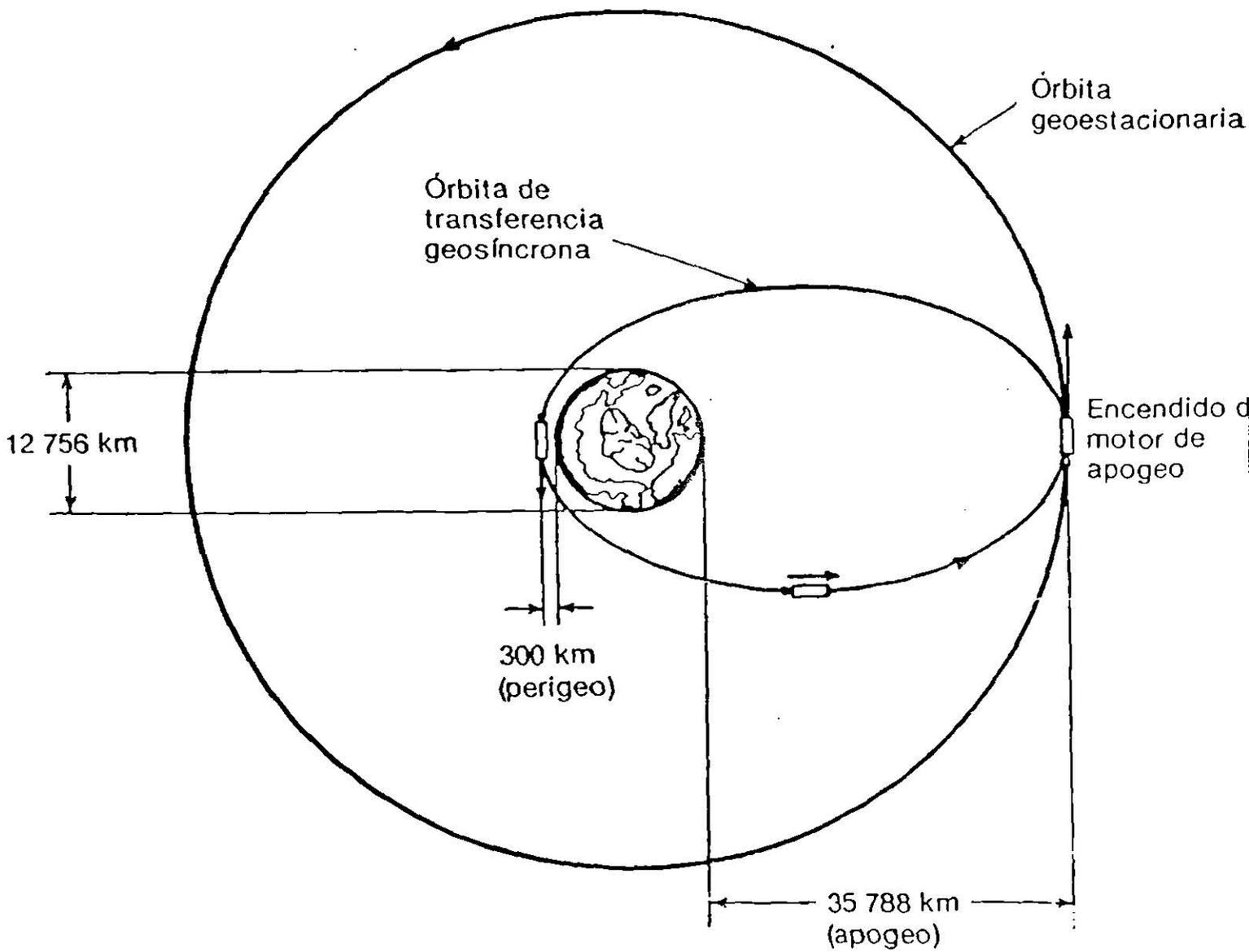
#### INYECCIÓN INICIAL EN ÓRBITA CIRCULAR BAJA.

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

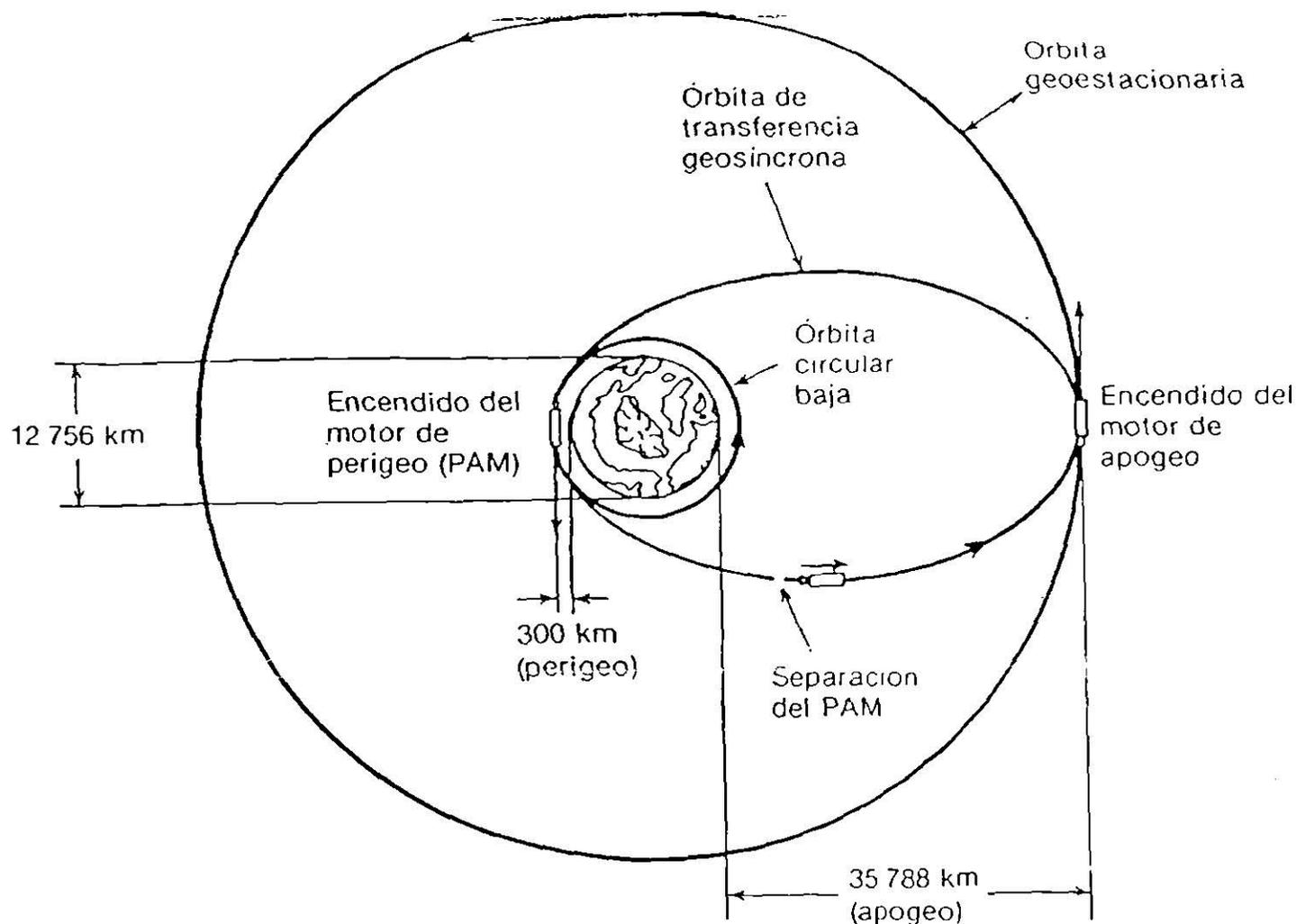
El orbitador despega llevando al satélite en su compartimiento de carga y entra en órbita alrededor de la Tierra siguiendo una trayectoria circular, a una altura aproximada de 300 Km. sobre el nivel del mar. En una de las muchas vueltas que da la nave, el satélite es liberado o arrojado del compartimiento de carga, quedando de ésta forma también en órbita circular baja alrededor de la Tierra, aunque separado el vehículo espacial; la velocidad inicial del satélite es la misma que la de la nave, aunque

ligeramente modificada por efecto de los resortes que se emplean para arrojarlo del compartimiento de carga. La separación se efectúa cuando la nave va cruzando el plano del ecuador, y cuarenta y cinco minutos más tarde, cuando el satélite vuelve a cruzar el plano del ecuador, su motor de perigeo se enciende. Este le da un empuje tal que modifica su órbita, cambiándola de circular baja o de estacionamiento a una elíptica, similar a la del segundo caso explicado anteriormente. Una vez que ha cumplido su función, el motor de perigeo se desprende del resto del cuerpo del satélite, dando así las condiciones adecuadas para que, más 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.

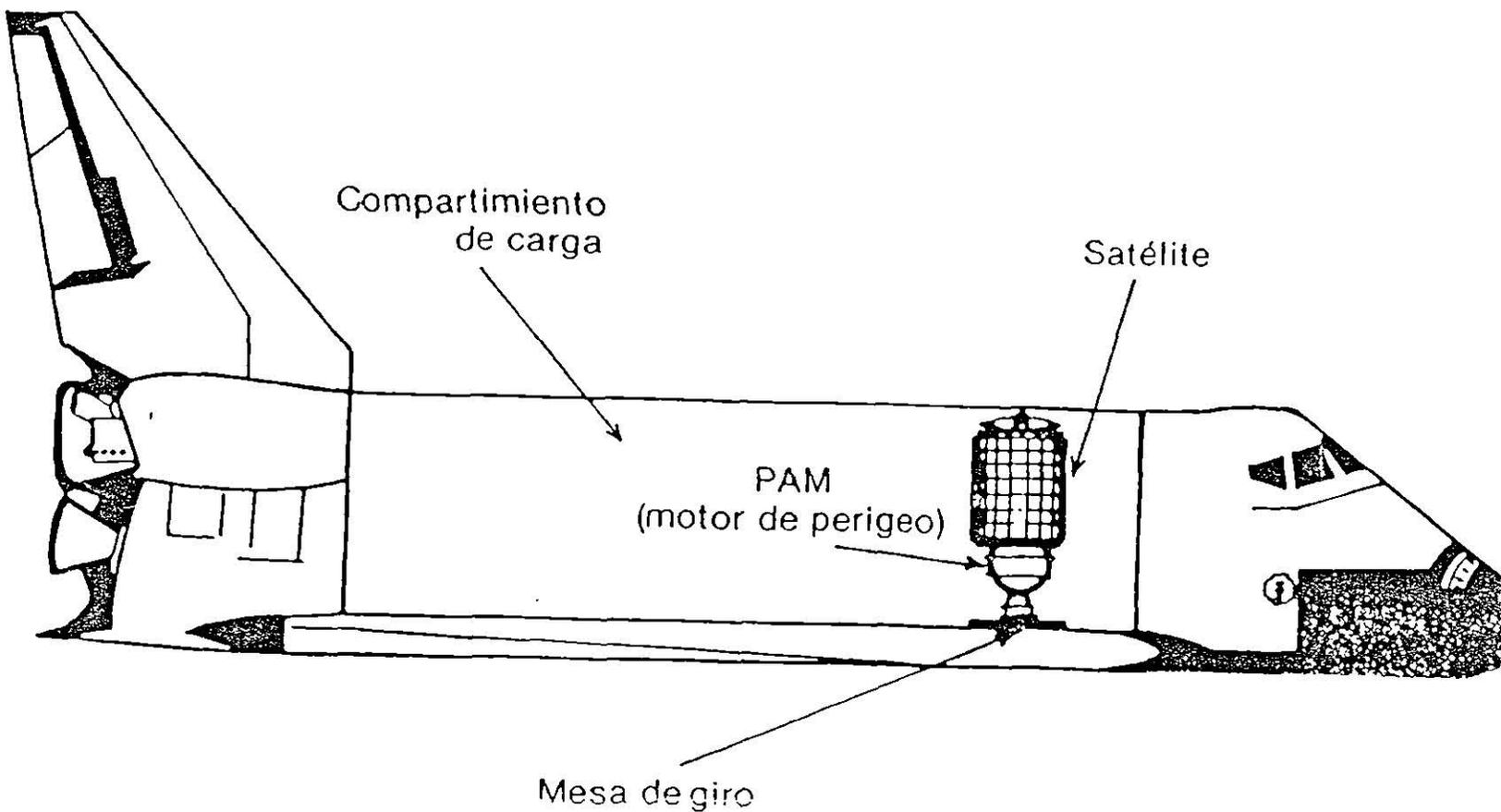
ALGUNOS COHETES, COMO LOS ARIANE DE LA AGENCIA ESPACIAL EUROPEA, COLOCAN A LOS SATÉLITES GEOESTACIONARIOS EN DOS PASOS. EL SATÉLITE SE PONE PRIMERO EN UNA ÓRBITA ELÍPTICA DE TRANSFERENCIA GEOSÍNCRONA Y DESPUÉS DE VARIAS VUELTAS, EN UNO DE LOS APOGEOS SE ENCIENDE UN MOTOR QUE CIRCULARIZA LA ÓRBITA, QUEDANDO ASÍ EL SATÉLITE EN ÓRBITA GEOESTACIONARIA.



LOS ORBITADORES DE LA NASA COLOCAN AL SATÉLITE EN UNA ÓRBITA CIRCULAR BAJA. PARA QUE ESTE LLEGUE A SU POSICIÓN GEOESTACIONARIA FINAL DEBEN SEGUIRSE OTROS DOS PASOS, MEDIANTE EL ENCENDIDO DE UN MOTOR DE PERIGEO Y DESPUÉS EL DE UN MOTOR DE APOGEO. COMO CONSECUENCIA DEL ACCIDENTE DEL CHALLENGER, POCOS SON LOS SATÉLITES COMERCIALES QUE LA NASA LANZARÁ CON SUS ORBITADORES EN LOS PRÓXIMOS AÑOS.



CONFIGURACIÓN DE UN SATÉLITE ALMACENADO EN EL COMPARTIMIENTO DE CARGA DE UN ORBITADOR. UN SATÉLITE DE MAYORES DIMENSIONES IRÍA EN POSICIÓN HORIZONTAL.



## EL SATÉLITE Y EL MEDIO AMBIENTE DEL ESPACIO

### EL SATÉLITE Y SU NUEVO HOGAR.

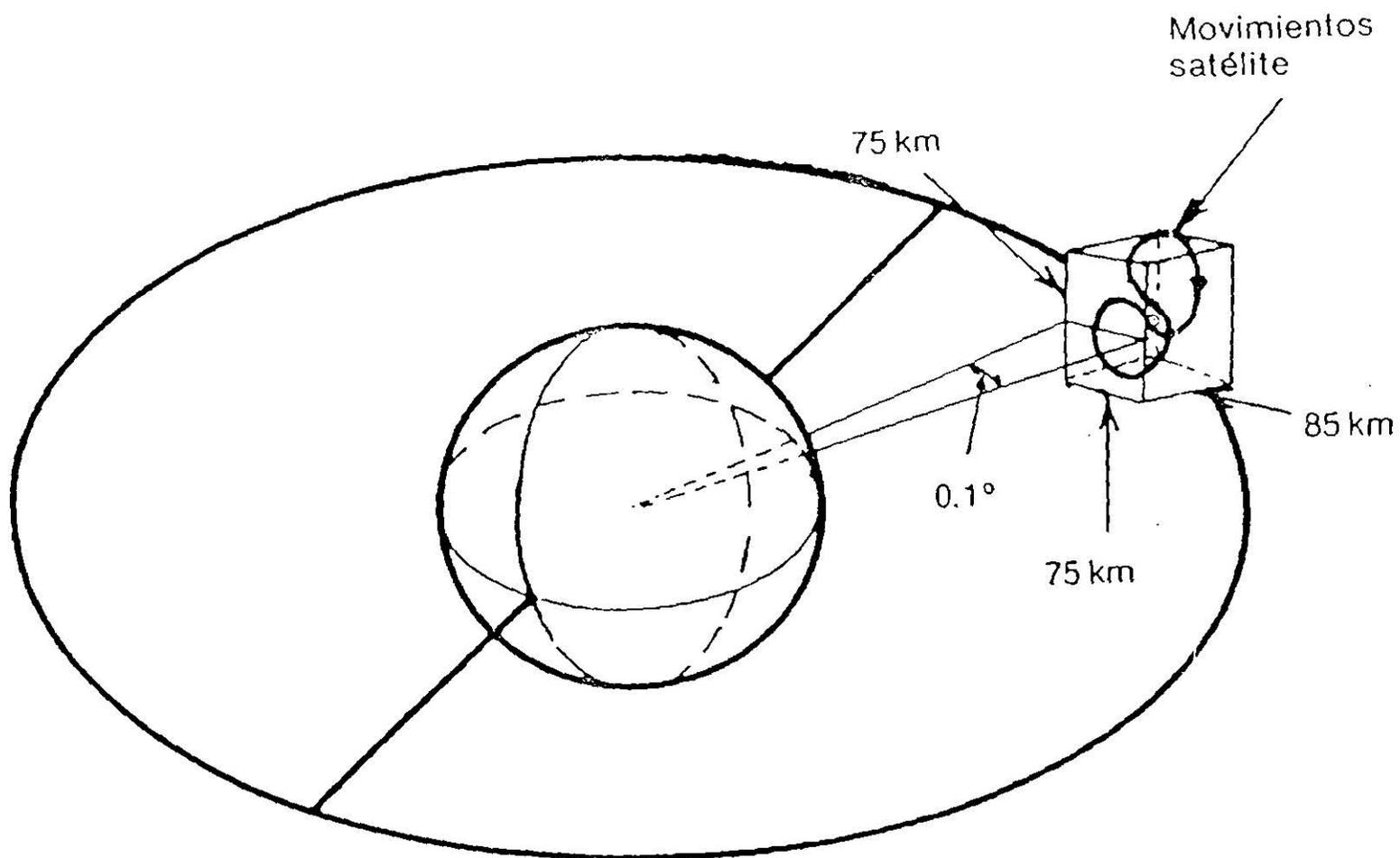
El satélite ha llegado a su posición final en el cinturón de Clarke, autorizado a su propietario con años de anticipación por la Unión Internacional de Telecomunicaciones. Sin embargo, no es el primero en llegar ahí, hay muchos otros satélites en el mismo cinturón, algunos jóvenes y otros viejos, de configuraciones , tamaños y aplicaciones distintas; muchos de ellos reciben y transmiten señales en las mismas frecuencias que el satélite recién llegado también usará durante su funcionamiento, por muchos años. Afortunadamente, aunque todos son vecinos, no se encuentran colocados en el mismo punto; de hecho, están separados entre sí por dos a tres grados de arco, equivalentes a 1,500 y 2,200 kilómetros respectivamente, con lo cual se garantiza que no exista ningún riesgo de interferencia radioeléctrica entre ellos. Además la posición en longitud de cada uno depende de la zona geográfica que se encargue de intercomunicar.

La zona de mayor tráfico internacional de señales radioeléctricas es la del océano Atlántico, debido a que a sus lados se encuentran los países industrializados de América del Norte y Europa. Por lo que se refiere a tráfico interno o doméstico de señales, se intuye que una de las zonas más congestionadas, por la gran demanda de servicios que allí hay, tanto en variedad como en cantidad, es la sección del arco ecuatorial

comprendida por las longitudes geográficas de México, EE.UU. y Canadá, así como las longitudes más cercanas a sus territorios.

Sin embargo, el satélite no puede cumplir del todo con los requisitos anteriores, ya que varias fuerzas se encargan de dificultarle su tarea, empujándolo o tirando de él de un lado a otro, de tal forma que se le puede imaginar, aunque sean en forma muy exagerada, como una botella que flota sobre las olas del mar cambiando su orientación y posición constantemente. Necesita ayuda para resolver todos esos contratiempos, 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 encargarán de volver a moverlo. A través del subsistema de propulsión del satélite, es posible ayudarlo a corregir su orientación y posición, enviándole comandos a control remoto en forma periódica.

SIEMPRE Y CUANDO EL SATÉLITE NO SE SALGA DE ESTA GRAN CAJA IMAGINARIA NO HAY NINGÚN PROBLEMA.



## LAS FUERZAS PERTURBADORAS.

Cuáles son las fuerzas que causan tantos problemas para conservar al satélite fijo en su posición geoestacionaria ? La fuerza que más la afecta se el campo gravitacional de la Tierra. este campo no es esféricamente uniforme, pues la distribución de la masa del planeta no es homogénea. Para que se tuviese una uniformidad esférica del campo gravitacional de la Tierra, en primer lugar ésta debería de ser una esfera perfecta, y además su masa tendría que estar mezclada homogéneamente; ambas cosas son, por supuesto imposibles, dada la manera en que se formó ya que gira sobre su propio eje.

La no uniformidad del campo gravitacional de la Tierra, combinada con el hecho de que la estructura del satélite tampoco tiene una masa homogénea, puesto que sus componentes están fabricadas con una diversidad de materiales, produce un par gravitacional. este par o fuerza hace que el satélite gire alrededor de su centro de masa y que su velocidad varíe conforme se desplaza sobre su órbita; dicho cambio de velocidad o aceleración provoca a su vez que el satélite cambie de posición en longitud, es decir que se mueva a la derecha o ala izquierda (oeste o este) sobre el arco geoestacionario, dentro de la caja imaginaria.

El campo gravitacional de la Tierra es la fuerza de mayor influencia sobra la posición y orientación del satélite, debido al gran tamaño que tiene el planeta y a la relativa cercanía del satélite al mismo, pero la Luna también ejerce una ligera fuerza gravitacional perturbadora. Sin embargo,

como esta última es mucho más pequeña que la Tierra y además se encuentra diez veces más lejos del satélite que éste de la superficie del planeta su efecto comparativo es mínimo, al igual que en el caso de la fuerza gravitacional perturbadora del sol. De cualquier manera, la combinación de estas fuerzas produce un movimiento de satélite perpendicular al plano ecuatorial, es decir, hacia arriba o hacia abajo (norte o sur) dentro de la caja imaginaria.

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; 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.

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 sus arreglos solares o el combustible que quede dentro de sus tanques de almacenamiento, produce pares o fuerzas que afectan al satélite. Conviene apuntar que conforme los tanques de combustible se van vaciando, el centro de masa del satélite cambia; por lo tanto, cuando se activa el subsistema de propulsión para corregir errores en 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.

## LA TEMPERATURA DEL SATÉLITE.

El satélite está integrado por un gran número de elementos, todos ellos fabricados con distintos materiales 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 específicos de temperatura para funcionar bien. Por 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 recibió por la radiación de fuentes externas y la energía que el mismo disipa internamente. El problema se complica aún 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 de día y la época del año la magnitud de la radiación que recibe del Sol y de la Tierra es variable.

La principal fuente de radiación externa es el Sol, y aún cuando causa algunos problemas para conservar el balance térmico en el satélite, es obvio que sin él no sería posible generar electricidad a través de las celdas solares. 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 distintas temperaturas; mientras la cara que está orientada hacia el Sol se calienta

mucho, las partes no iluminadas se enfrían. En el interior del satélite, la transferencia de calor se lleva a cabo por conducción, y en el espacio por radiación, puesto que el medio ambiente de casi vacío excluye la posibilidad de que en este último se pueda transferir con convección. En cuanto a la contribución térmica de la Tierra, ésta 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 producido por la radiación solar directa.

Por otra parte, cuando ocurre un eclipse, el satélite no solamente se enfría muchísimo al interponerse la Tierra entre él y el Sol, sino que además no puede transformar energía solar en electricidad; en estas condiciones, necesita obtener su energía de alguna otra fuente para seguir funcionando. Esta fuente de respaldo está 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.

#### OTROS FACTORES DE PERTURBACIÓN.

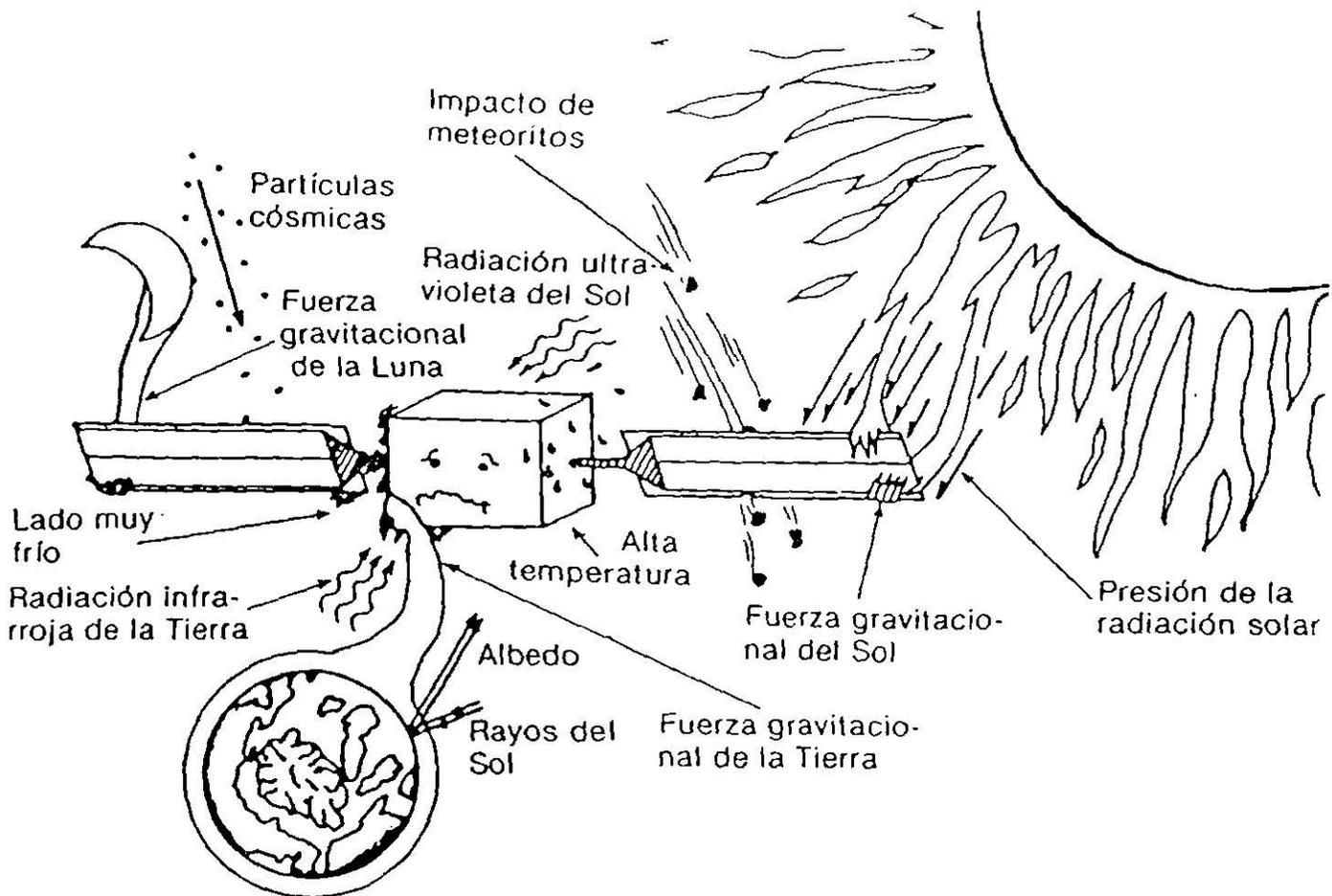
Hasta ahora se han visto ya la mayor parte de los factores que alteran el funcionamiento correcto de un satélite geoestacionario y que, por consiguiente, exige en él un buen diseño y una supervisión y control permanentes. A continuación se mencionan algunos otros factores importantes que complican aún más la vida operativa del satélite.

La radiación violeta 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 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. La cantidad de masa que pierden depende mucho de la temperatura, pero en realidad estas pérdidas son despreciables siempre y cuando los materiales utilizados para proteger al satélite no sean muy delgados. Hay otros efectos que puedan resultar más dañinos, como es la posibilidad de que se condensen gases en superficies frías y produzcan un cortocircuito e materiales aislantes. Como punto a su favor, el medio ambiente de casi vacío tiene la ventaja de que elimina la posibilidad de que haya problemas por corrosión.

FUERZAS Y OTROS FACTORES QUE ALTERAN LA ESTABILIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE UN SATÉLITE.



## ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE UN SATÉLITE.

### INTRODUCCIÓN

Un satélite es un sistema muy complejo y delicado, integrado por varios subsistemas; cada uno de ellos es igualmente importante, pues su probable falla podrá causar la inutilidad parcial o total del conjunto. El satélite necesita energía eléctrica, disipar calor corregir sus movimientos y mantenerse en equilibrio, ser capaz de regular su temperatura, ser resistente al medio ambiente en el que vive, y desde luego poder comunicarse con la Tierra.

Los principales subsistemas de un satélite y sus funciones son:

SUBSISTEMA	FUNCIÓN
1. Antenas	Recibir y transferir señales de radiofrecuencia.
2. Comunicaciones	Amplificar las señales y cambiar la frecuencia.
3. Energía eléctrica	Suministrar electricidad con los niveles adecuados de voltaje y corriente.
4. Control térmico	Regular la temperatura del conjunto.
5. Posición y Orientación	Determinar la posición y orientación del satélite.
6. Propulsión	Proporcionar incrementos de velocidad y pares para corregir la posición y orientación.
7. Rastreo telemetría y comando	Intercambiar información con el centro de control en Tierra para conservar el funcionamiento del satélite.
8. Estructural	Alojar todos los equipos y darle rigidez al conjunto.

## SUBSISTEMA 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 de alimentación diferentes.

Las antenas son, al mismo tiempo, el puerto de entrada y de salida de ese mundo electrónico que es el interior del satélite; son la interfase o etapa de transformación entre las señales electromagnéticas que viajan por el espacio y las señales que circulan dentro de varios de sus subsistemas. Las hay de distintos tamaños, configuraciones y acabados, según las frecuencias a las que tengan que trabajar y la cobertura que deban tener de ciertas zonas geográficas de la Tierra.

Paradójicamente, una antena parabólica chica puede recibir y transmitir dentro de una extensión territorial muy grande, mientras que una antena de mayor tamaño, que opera a la misma frecuencia, solamente puede hacerlo dentro de una zona geográfica más pequeña. Algo debe obtenerse de una antena grande a cambio de cubrir menos metros cuadrados sobre la superficie terrestre, para qué gastar tanto material y tener que vencer complicaciones de volumen y peso en el sistema de lanzamiento que lleve al satélite en el espacio? La razón es sencilla: Cuanto

más grande son las antenas, tienen la propiedad de una mayor capacidad para concentrar la energía en un haz electromagnético muy angosto, que ilumina pocas unidades cuadradas, pero que las irradia con niveles muy altos de densidad de potencia; esto facilita el diseño y reduce el costo de las estaciones terrenas receptoras. Por otra parte, cuanto más alta sea la frecuencia a la que la antena de dimensiones constantes trabaje, mayor es 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.

La dimensión eléctrica de una antena es igual a su dimensión física dividida entre lo que mide la longitud de onda a la frecuencia de operación, o sea, es el número de longitudes de onda que cabrían alineadas en su apertura de boca. Por ejemplo, una antena parabólica de dos metros de diámetro que irradia energía a una frecuencia de 11 GHz, lo hace dentro de un haz de iluminación más angosto que como lo haría si tuviese que operar a una frecuencia de 4 GHz, simplemente porque cuanto más alta es la frecuencia, la longitud de la onda electromagnética es más corta y el tamaño eléctrico de una antena aumenta.

La antena de telemetría y comando no es parabólica ni de cometa, pues estas últimas son altamente direccionales; normalmente es una antena bicónica, cuya radiación es casi omidireccional, es decir, que emite más o menos con la misma intensidad en todas las direcciones.

## SUBSISTEMA DE COMUNICACIONES

### *Conceptos Generales.*

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

El diagrama muestra la relación entre las antenas y el equipo de comunicaciones. Para mayor sencillez, en él solamente se ilustra una de las posibles trayectorias o cadenas de los equipos que hay en el subsistema de comunicaciones; es normal que algunos de éstos equipos se instalen repetidos, o sea, que sea redundantes para que en el caso de que uno de ellos se descomponga, exista aún la posibilidad de tener una trayectoria ininterrumpida entre las antenas de recepción y transmisión; para efectuar el cambio se cuenta con conmutadores que hacen la conexión de un elemento a otro. A la trayectoria completa de cada repetidor, comprendiendo todos sus equipos desde la salida de la antena receptora hasta la entrada de la antena transmisora se le da el nombre de

transpondedor, o sea que el subsistema de comunicaciones consta de muchos transpondedores, y su número depende del diseño del satélite.

La señal proveniente de la Tierra que entra por la antena receptora puede contener muchos canales de televisión, o miles de canales telefónicos o de datos, todos ellos enviados en frecuencias diferentes; al rango de frecuencias que hay entre la frecuencia más baja y la más alta de las que se transmiten se le da el nombre de ancho de banda. Cuanto mayor sea el ancho de banda de un equipo, este será más 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 más canales de televisión, telefonía o datos que otro cuyo ancho de banda de operación sea menor.

Existen satélites denominados híbridos, que tienen los equipos necesarios para trabajar simultáneamente tanto en la banda C como en la Ku, con la cual se duplica la capacidad en el número de canales que puede manejar el sistema al mismo tiempo.

Los transpondedores, entre otras funciones, cambian las frecuencias de todas las señales contenidas en ese rango, bajándolas a otro de igual ancho de banda, pero cuyos límites inferior y superior son, respectivamente, 3.7 y 4.2 Ghz.

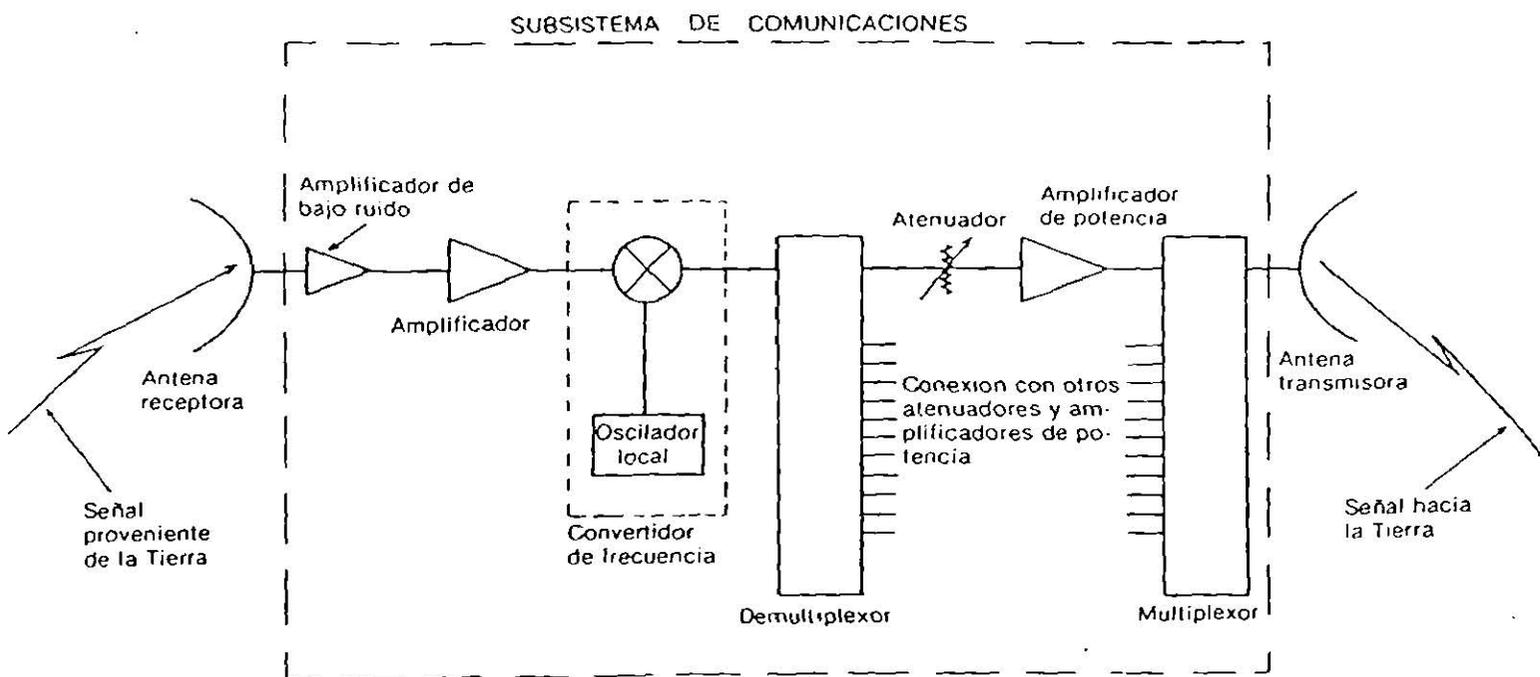
En los satélites híbridos, los procesos descritos para las bandas C y Ku se llevan a cabo simultáneamente, a través de sus amplificadores y demás equipos correspondientes; estos equipos están contenidos en secciones

separadas del subsistema de comunicaciones, puesto que unos están diseñados para trabajar en la banda C y otros para hacerlo en la banda Ku. Es fácil intuir que estos satélites, por el hecho de duplicar su capacidad de trabajo, requieren más energía eléctrica, y en consecuencia necesitan más metros cuadrados de celdas solares para efectuar la conversión suficiente de energía solar en electricidad.

El primer dispositivo electrónico importante que encuentran las señales recibidas por la antena es un 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.

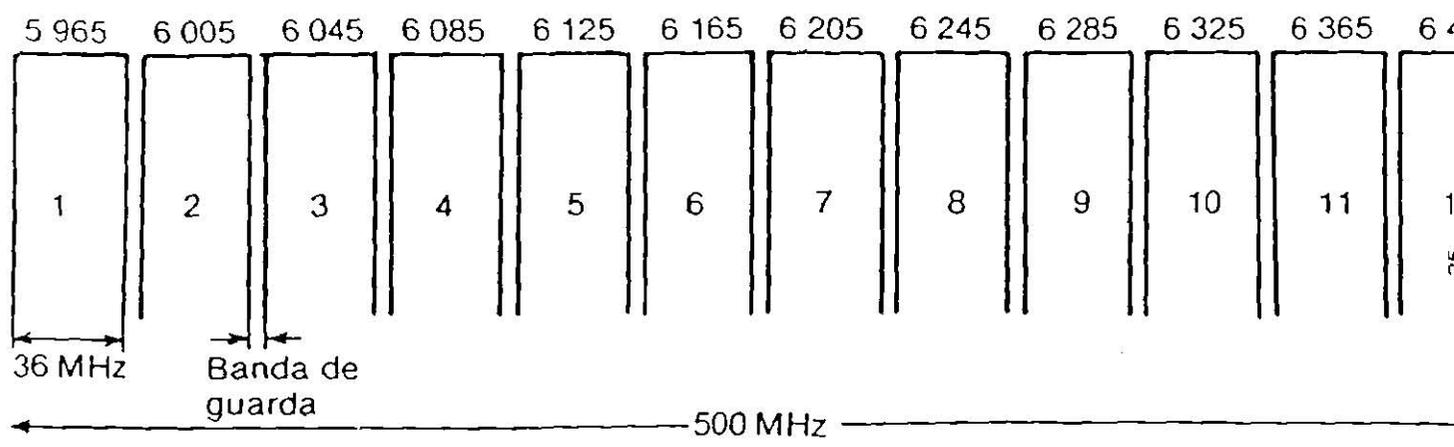
El amplificador de bajo ruido tiene un ancho de banda muy grande, de 500 MHz, pues debe ser capaz de amplificar al mismo tiempo todas las señales recibidas por la antena, antes de que se proceda a separarlas entre sí, por medio de filtros. Es un dispositivo clave, de cuyo correcto funcionamiento depende que la información siga fluyendo o no dentro del satélite, y por lo tanto se debe contar con un duplicado; es decir, el amplificador de bajo ruido es un equipo redundante, de tal forma que si uno de los amplificadores se descompone, mediante un conmutador se transfiere el enlace al otro que sí esté en buenas condiciones.

## RELACIÓN ENTRE LOS SUBSISTEMAS DE ANTENAS Y COMUNICACIONES.

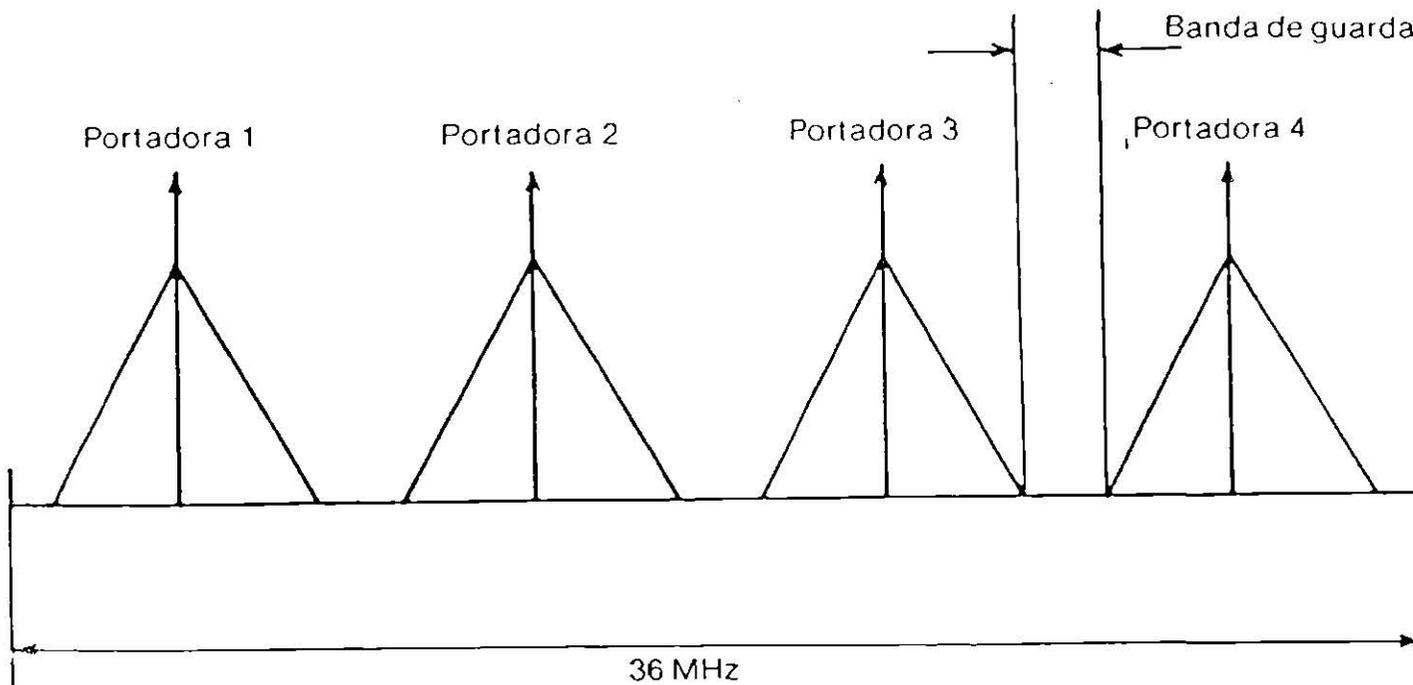


ANCHO DE BANDA DE UN SATÉLITE QUE OPERA EN LA BANDA C, DIVIDIDO EN RANURAS DE FRECUENCIAS DE 36 MHz CADA UNA. CADA RANURA CORRESPONDE A LAS FRECUENCIAS DE TRABAJO DE UN TRANSPONDEDOR, Y LAS FRECUENCIAS CENTRALES QUE SE INDICAN SON LAS QUE SE USAN PARA TRANSMITIR DE LA TIERRA AL SATÉLITE. PARA LA TRANSMISIÓN SATÉLITE - TIERRA SE HACE UNA DIVISIÓN SIMILAR DEL ANCHO DE BANDA COMPRENDIDO ENTRE 3.7 Y 4.2 GHz, CON SUS FRECUENCIAS CENTRALES CORRESPONDIENTES.

FRECUENCIAS CENTRALES (MHz)



ESTA SERÍA UNA POSIBLE CONFIGURACIÓN DE LA OCUPACIÓN DEL ESPACIO DE FRECUENCIAS DE UN TRANSPONDEDOR DE 36 MHz. CADA TRIÁNGULO REPRESENTA UNA SEÑAL DE TELEFONÍA QUE CONTIENE 132 CANALES TELEFÓNICOS INDIVIDUALES Y TIENE ASIGNADA SU PROPIA FRECUENCIA PORTADORA. LA BANDA DE GUARDA ENTRE SEÑALES ADYACENTES SE DEJA PARA REDUCIR LA INTERFERENCIA ENTRE AMBAS, Y SU ANCHO SIEMPRE ES FUNCIÓN DEL TIPO DE SEÑALES QUE VAYAN A SUS LADOS.



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. Después de amplificar y cambiar la frecuencia de las señales, el siguiente paso es separarlas en grupos o bloques; cada grupo puede contener un sólo canal de televisión o dos, cientos de canales telefónicos, un paquete de información digital de alta velocidad, o alguna otra variante. La separación se realiza con 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 sólo conjunto de 500 Mhz de ancho de banda, a través de un multiplexor, conectado a la antena transmisora del satélite.

Después de cada salida del demultiplexor hay un atenuador o resistencia variable; esta sirve para disminuir a control remoto, y en distinto grado, la intensidad del bloque de señales que entra a cada amplificador de potencia, o a la primera etapa de amplificación si es que hay más de una. Los atenuadores o resistencia variables descritos anteriormente permiten regular la intensidad de las portadoras y entregar menos o más potencia a la entrada del amplificador.

### *Acceso Múltiple por División en Frecuencia.*

Ya se ha visto que el ancho de la banda total de 500 MHz de un satélite se divide en varios transportadores, y que una forma usual de hacerlo es con ranuras de 36 MHz. Esto significa que el amplificador de cada transpondedor puede darle cabida a una gran diversidad de información que ocupe en total un ancho de banda de 36 MHz. Sin embargo, cada estación terrena que transmite desde la Tierra no tiene necesariamente el suficiente tráfico para generar información que ocupe todo ese ancho de banda y que pueda enviar con una sola frecuencia portadora determinada. Considérese como ejemplo una gran ciudad, otra de tamaño medio y una población rural con unos cuantos miles de habitantes, y supóngase que las tres desean hacer uso del satélite. Es razonable suponer que en la primera hay la mayor demanda de conversaciones telefónicas, tanto por su mayor nivel económico y cultural como por su densidad de población; en la segunda hay una demanda menor, y en la tercera menos todavía. Por consiguiente, las señales que se generan a cada instante en cada una de esas tres poblaciones requieren distintos anchos de banda para que puedan transmitirse.

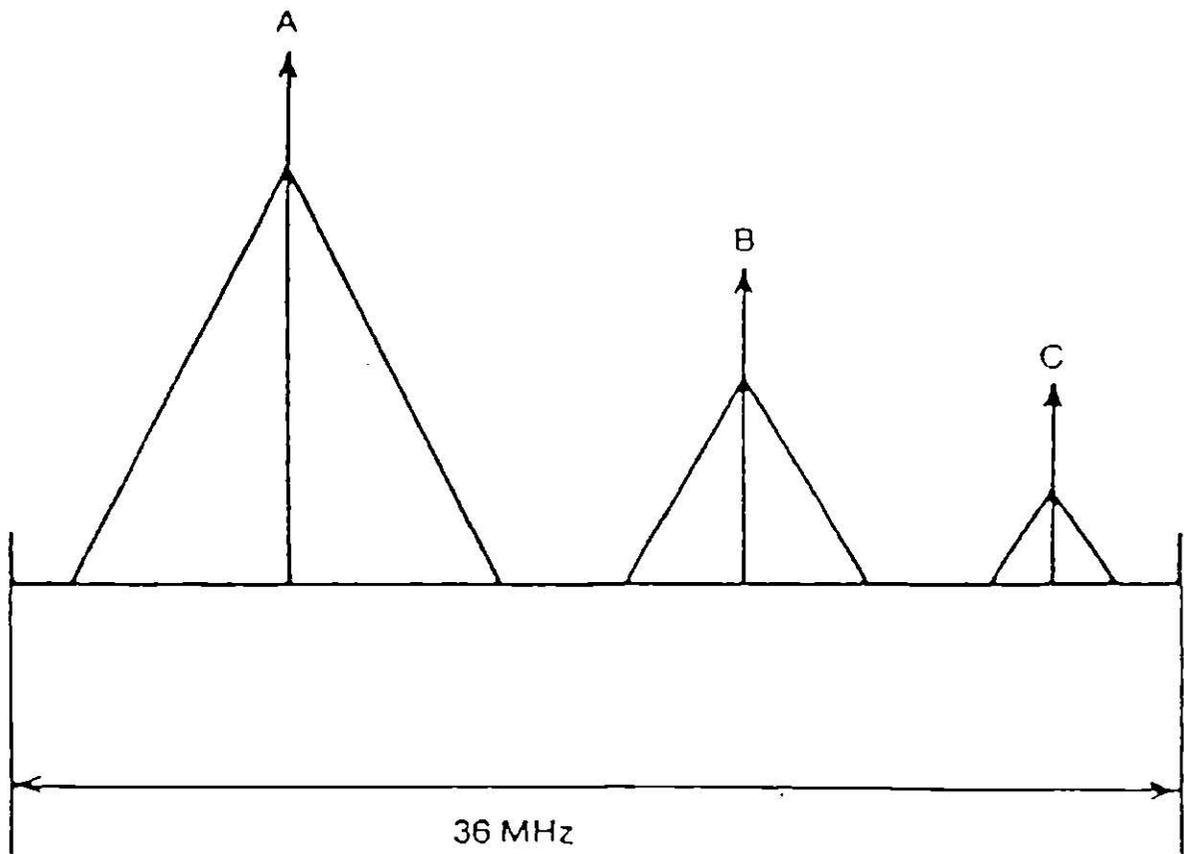
Regresando al ejemplo transmitido, supóngase que la gran ciudad se designa con la letra A, la de tamaño medio por B, y la población rural por C. Es evidente que, si las tres transmiten al mismo tiempo, deben hacerlo con frecuencias portadoras diferentes para que no haya interferencia. Si la suma de los 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. Esta forma de uso simultáneo del transpondedor por varias estaciones terrenas, estén o no situadas en la misma ciudad, recibe el nombre de acceso múltiple por división en frecuencia o FMDA, ya que el espectro radioeléctrico del transpondedor se divide en sesiones o ranuras de frecuencias asignadas a cada una de ellas.

Sin embargo, qué sucede cuando el tráfico generado en los puntos geográficos que comparten un transpondedor es intermitente y esporádico? Evidentemente, la capacidad de ese transpondedor no se estaría aprovechando con eficiencia si se emplease la técnica anterior, y en este caso se requiere utilizar otra versión de acceso múltiple que brinde mayor flexibilidad; la alternativa se denomina acceso múltiple por división en frecuencia con asignación por demanda o DAMA.

La técnica de acceso múltiple DAMA permite aprovechar al máximo las ranuras de frecuencia y la potencia del satélite cuando el tráfico que genera cada estación es esporádico, pues las ranuras se asignan a las estaciones terrenas solamente durante el tiempo que las necesitan para establecer comunicación; en el momento de que alguna deja de transmitir, esa ranura se libera y queda disponible para cualquier otra de las estaciones del sistema que las solicite temporalmente.

OCUPACIÓN DE UN TRANSPONDEDOR DE 36 MHz CON ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN EN FRECUENCIA; CADA SEÑAL PROVIENE DE UNA POBLACIÓN DIFERENTE Y TIENE SU PROPIA FRECUENCIA PORTADORA ASIGNADA.



### *Acceso múltiple por división en el tiempo.*

El acceso múltiple por división en el tiempo o TDMA es una técnica totalmente digital mediante la cual varias estaciones terrenas accesa y ocupan un transpondedor o parte de él. A diferencia del acceso múltiple por división en frecuencia, en donde cada estación transmisora tiene asignada una ranura de frecuencias dentro del transpondedor, normalmente con un ancho de banda diferente, en esta nueva técnica todo un grupo de estaciones tiene asignada la misma ranura, con cierto ancho de banda fijo, y se comparte entre ellas secuencialmente en el tiempo; es decir, cada estación tiene asignado un tiempo  $T$  para transmitir lo que guste dentro de la ranura y cuando su tiempo se agota debe dejar de transmitir para que lo hagan las estaciones que le siguen en la secuencia, hasta que le toque nuevamente su turno.

El tiempo  $T$  asignado a cada estación no es necesariamente igual en todos los casos, puesto que algunas estaciones conducen más tráfico que otras y, por lo tanto, la ranura de tiempo que se le asigne debe ser más larga que de las estaciones chicas. Estos tiempos asignados pueden ser fijos por estación, en cuyo caso se tiene acceso múltiple por división en el tiempo con por asignación fija, o bien pueden variar con el tiempo cuando algunas estaciones tengan exceso de tráfico ( horas pico ). En esta condiciones, es preciso reorganizar la distribución de los tiempos con una nueva estructura de marco o trama de transmisión, dándole ranuras de tiempo más largas a las estaciones con exceso de tráfico y ranuras más cortas a las de poco tráfico; la nueva estructura de marco se repite

secuencialmente hasta que haya necesidad de hacer otro cambio. Hay varios métodos para cambiar los marcos de transmisión según la demanda, pero la más común es mediante un programa establecido con base en las estadísticas de tráfico.

*Acceso múltiple por diferenciación de código.*

Además de las técnicas de acceso múltiple FDMA y TDMA, que son las de mayor uso en los satélites comerciales de comunicaciones, existe una tercera alternativa en la que un transpondedor completo es ocupado por varias estaciones que transmiten a la misma frecuencia y al mismo tiempo. Esta técnica, denominada acceso múltiple por diferenciación de código o CDMA, y que aparentemente resulte imposible, es particularmente útil en transmisiones confidenciales o altamente sensitivas a la interferencia; al igual que TDMA, es totalmente digital, y presenta la ventaja de que las antenas terrenas transmisoras y receptoras pueden ser muy pequeñas, sin importar que sus ganancias sean bajas y sus haces de radiación muy amplios. Por otra parte presenta el inconveniente de que ocupa mucho ancho de banda ( un transpondedor completo ), pues cada bit de información como los que se transmiten en modalidad TDMA se transforma en un nuevo tren de bits muy largo, de acuerdo con un código determinado previamente.

Cada estación transmisora utiliza una secuencia diferente de bits para codificar cada uno de los bits de información; de las estaciones terrenas receptoras, sólo la destinataria de cierta información determinada conoce el código con el que se transmitió y es capaz de reconstruir el mensaje original, aunque llegue superpuesto con todos los demás mensajes que se

transmitieron simultáneamente, pues estos últimos solo los detecta como ruido tolerable. En virtud de que el ancho de banda que utiliza este sistema de CDMA es muy amplio, por la expansión del espectro en frecuencia de la señal al codificar cada bit e información en un nuevo tren de bits, también se le denomina acceso múltiple con espectro expandido o SSMA.

## COMUNICACION VIA SATELITE

Un satélite no es mas que una repetidora puesta en el espacio

Un satélite no crea transmisores solo retransmite o releva lo que recibe de la Tierra.

El satélite recibe la señal proveniente de la Tierra en la banda llamada Up-Link y la regresa en la banda Donw-Link.

Esto produce un retardo aproximadamente de 0.26 segundos

TIERRA-----SATELITE-----TIERRA

Hay que recordar que a mayor frecuencia portadora se dispone de un mayor ancho de banda.

No olvidemos que las microondas solo se propagan en línea de vista; es decir, en línea recta.

La utilización del satélite hace factible el uso de las microondas. Una de las ventajas de usar este es que solo se usa una repetidora.

El satélite permite el salto de los océanos para lograr una comunicación intercontinental de alta capacidad haciendo mas factible el enlace.

## VENTAJAS DE LA COMUNICACION VIA SATELITE

### 1.- SIMPLIFICACION DEL SISTEMA

Debido a su gran altura (aproximadamente 36,000 km.) tiene línea de vista con cualquier estación terrena.

### 2.- MAYOR CALIDAD

Esto se refiere a que cualquier proceso electrónico degrada la señal, el satélite solo tiene una sola repetición no degrada la señal (a un sea un grado mínimo).

### 3.- MAYOR CONFIABILIDAD

Esto reduce la posibilidad de falla a un sea un grado mínimo.

### 4.- ALTA CAPACIDAD (ESTA VENTAJA ES PROPIA DE LAS MICROONDAS).

Esto es debido a que las microondas disponen de un mayor ancho de banda.

## CLASIFICACION DE LOS SATELITES

### 1.- DE ACUERDO A SU PRINCIPIO DE OPERACION

#### ACTIVOS Y PASIVOS

El pasivo actúa solamente como superficie reflectora y el activo se involucra con algún proceso electrónico.

### 2.- DE ACUERDO A SU APLICACION

Se clasifican en dos grupos:

CIVILES Y MILITARES

### 3.- DE ACUERDO A SU ORBITA

Se clasifican en:

GEOESTACIONARIOS Y  
NO GEOESTACIONARIOS

#### GEOESTACIONARIO:

Es aquel que permanece fijo con respecto a la Tierra.

#### NO GEOESTACIONARIO:

Aquel que aparece siempre en movimiento con respecto a la Tierra.

### 4.- DE ACUERDO A SU COBERTURA

Se clasifican en:

Globales y Domésticos

**GLOBAL:**

De acuerdo a su línea de vista cubre aproximadamente un 40% de la superficie terrestre.

**DOMESTICO:**

Este cubre solo una área en específico según sean los requerimientos.

Existe un intermedio entre los dos; a este lo llaman REGIONAL que cubre varias regiones pero sin intentar cubrir lo de un global.

## LA ORBITA GEOESTACIONARIA

Para que un satélite sea Geoestacionario debe cumplir con lo siguientes pasos.

- 1.- Que tenga órbita circular.
- 2.- Que este en el plano ecuatorial.
- 3.- Que tenga una altura sobre el nivel del mar de 35890 km.
- 4.- Que tenga el mismo sentido de rotación de la Tierra.

Al cumplir con estas condiciones se logra un periodo orbital de 24 Horas.

Los motores de propulsión son los encargados de reacomodarlo ya que algunas fuerzas extrañas lo desestabilizan.

Los motores son los que hacen las maniobras de reacomodo, estos motores normalmente son alimentados por combustibles que operan a los propulsores químicos.

El combustible mas utilizado es la HIDRAZINA MONOPELENTE a un que la tendencia apunta hacia los sistemas BIPROPELENTES con dos propelentes distintos: un combustible y un oxidante. De hecho estos combustibles son los que determinan la vida útil de los satélites.

La duración de un satélite es de aproximadamente de 10 a 14 años en promedio.

## AREA DE COBERTURA

Son tres satélites los requeridos para establecer un sistema de comunicación a nivel mundial.

Con este tipo de satélites con un ángulo de cobertura sobre el ecuador de la Tierra es de 162.6 grados visto desde el satélite en el sistema de cobertura global.

Los tres satélites se encuentran con una separación de 120 grados.

En conclusión tienen como finalidad retransmitir las señales que le son enviadas desde la Tierra (señal Up-Link) y retornarlas en otra banda de frecuencia (señales Down-Link).

Las bandas mas utilizadas son:

### BANDA "C"

ASCENDENTE

(Up-Link)

5,925 a 6,425 Mhz

DESCENDENTE

(Down-Link)

3,700 a 4,200 Mhz

### BANDA "KU"

ASCENDENTE

(UP-link)

14,000 a 14,500 Mhz

DESCENDENTE

(Down-Link)

11,700 a 12,200 Mhz

BANDA "KA"

ASCENDENTE

(Up-Link)

27,500 a 31,000 Mhz

DESCENDENTE

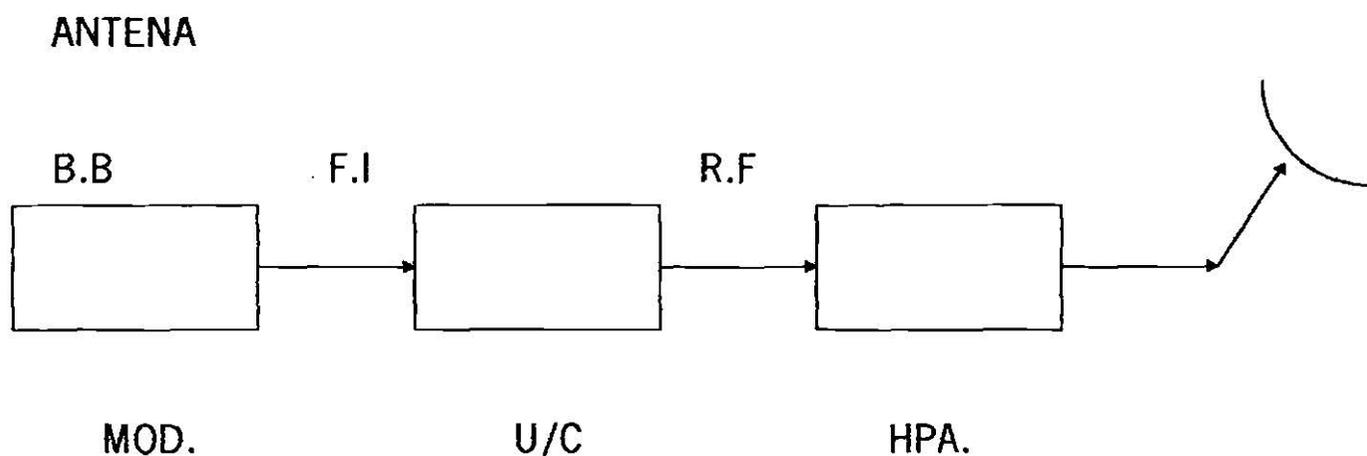
(Down-Link)

17,700 a 21,200 Mhz

## EL ENLACE TIERRA SATELITE TIERRA

Para establecer un sistema de comunicación vía satélite, se requiere una estación terrena transmisora, un satélite de comunicaciones y una estación terrena receptora.

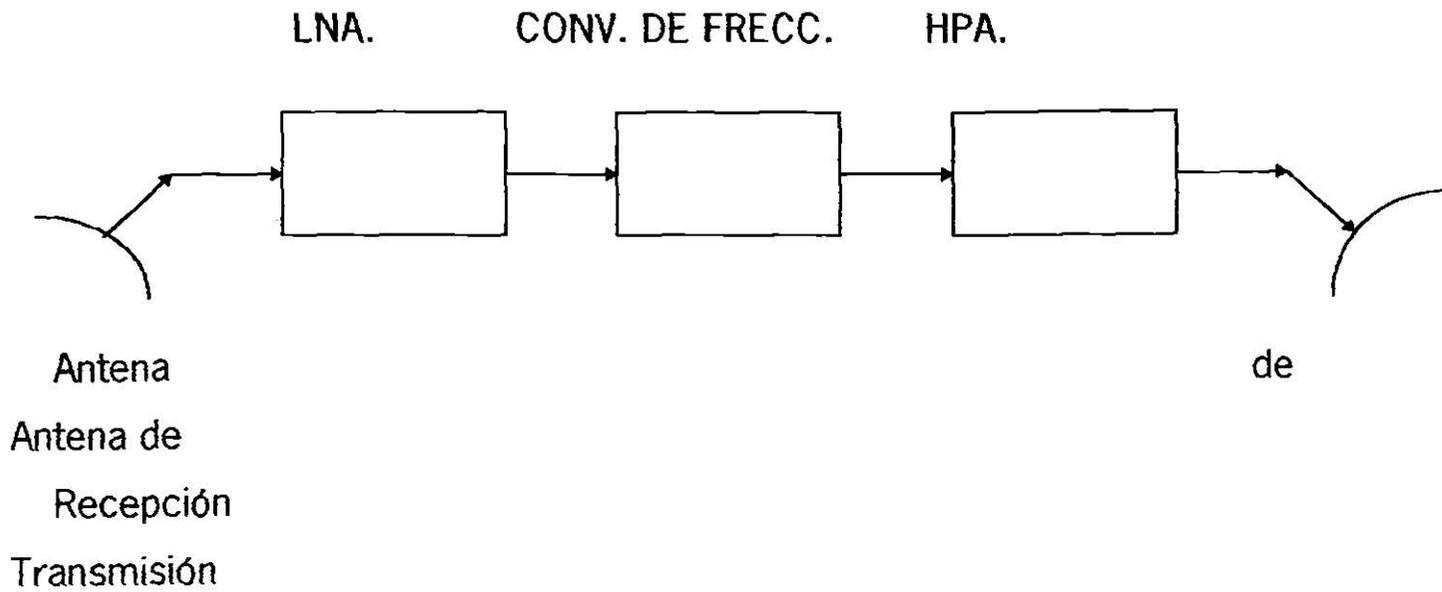
### CIRCUITO HIPOTETICO DE ENTRADA



### ESTACION TERRENA TRANSMISORA

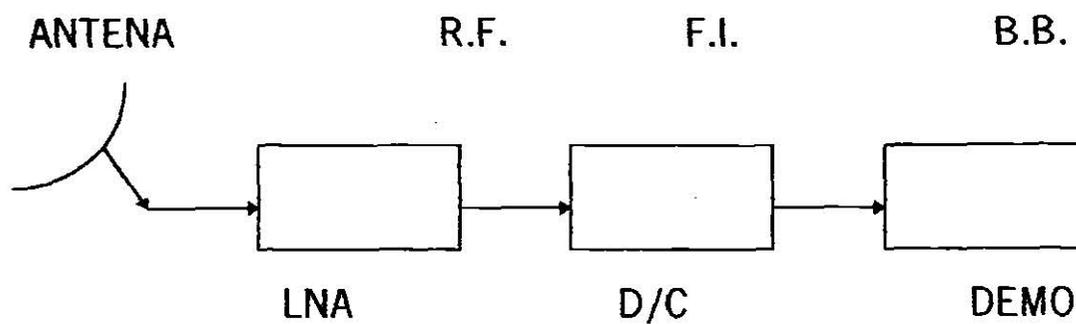
- Acometida de la señal transmitida (Banda Base).
- Modulador.
- Convertidor de subida (Up-Converter)
- Amplificador de Potencia.
- Antena de Transmisión.

## SATELITE DE RADIOCOMUNICACIONES



- Antena lado de Recepción.
- Amplificador de Bajo Nivel de Ruido (LNA).
- Convertidor de Frecuencia (Translador de Banda).
- Amplificador de Potencia (HPA).
- Antena lado de Transmisión.

## ESTACION TERRENA RECEPTORA



- Antena lado de Recepción.
- Amplificador de Bajo Nivel de Ruido (LNA).
- Convertidor de Bajada (D/C).
- Demodulador.
- Entrega de la Señal a la Banda Base.

## ENLACE COMPLETO DE UNA COMUNICACION VIA SATELITE

