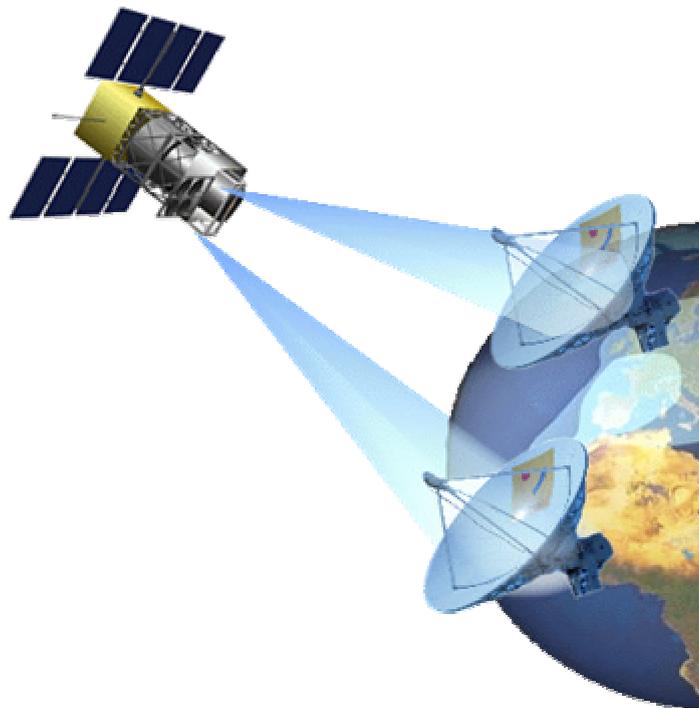


# CAPITULO II

## *Sistemas de Transmisión Satelital*



- 1. Descripción General del Sistema**
- 2. Órbitas**
- 3. Enlaces Satelitales**
- 4. Clasificación de Satélites**
- 5. Notas Bibliográficas**

## 2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

Un sistema de comunicaciones por satélite está formado por estaciones terrenas, para la transmisión y recepción de las señales, y satélites situados en cualquier órbita a una distancia de la superficie de la Tierra, que se encargan de recoger, amplificar y retransmitir las señales enviadas desde las estaciones terrenas. Además se necesitan estaciones que permitan el seguimiento del satélite, así como el control y la supervisión, tanto del satélite como de los sistemas de comunicaciones, a través de telemando y teledata que poseen.

En el caso de radiodifusión directa de televisión vía satélite el servicio que se da es de tipo unidireccional por lo que normalmente se requiere una estación transmisora única, que emite los programas hacia el satélite, y numerosas estaciones terrenas de recepción solamente que captan las señales provenientes del satélite. Otros tipos de servicios son bidireccionales y las estaciones terrenas son de transmisión y recepción.

Un requisito importante del sistema es el conseguir que las estaciones sean lo más económicas posibles para hacerlas accesibles a un gran número de usuarios, lo que se consigue utilizando antenas de pequeño diámetro y transmisores de baja potencia.

Para poder reducir la dimensión de las antenas receptoras en tierra se requiere la utilización de tubos amplificadores de gran potencia a bordo del satélite, lo que a su vez exige la utilización de grandes paneles solares que generen la potencia primaria necesaria para alimentar a estos tubos.

En principio la cadena de recepción no es estrictamente necesaria en la estación transmisora de los servicios de radiodifusión que implican una comunicación de tipo unidireccional, sin embargo sería conveniente supervisar las portadoras transmitidas a través del satélite por lo que debemos considerar la cadena de recepción como parte integrante de la estación transmisora.

El control y supervisión del sistema de comunicaciones debe realizarse en otra estación separada, en la que se ubique el centro de control en el que se procesa la información que permite tomar las decisiones necesarias de estructuración del sistema y que permite tomar las medidas correctoras que pudieran necesitarse.

Las funciones de control y supervisión pueden subdividirse de la siguiente forma:

- Telecontrol y telemedida del satélite.
- Pruebas periódicas en órbita de los parámetros principales del módulo de comunicaciones del satélite.
- Supervisión de la calidad y características de las señales que se emiten a través del satélite.

Periódicamente se realizan pruebas en órbita para supervisar las características del transponder del satélite. Se trata de obtener información acerca de los parámetros que definen los canales repetidores. Se hacen medidas de todos los valores especificados importantes para el desempeño de las funciones del satélite. Estos parámetros se subdividen en tres categorías: parámetros de entrada, parámetros de salida y parámetros de transferencia.

En todo este proceso se deben controlar varios parámetros como los siguientes:

- El factor de calidad del receptor.
- La densidad de flujo de potencia a la entrada del receptor.
- La potencia radiada.
- La estabilidad de frecuencia.
- Las características de transferencia y de linealidad del repetidor.
- La discriminación de polarización de las antenas del satélite.

El hecho de realizar este tipo de pruebas permitirá ir evaluando todo el proceso de puesta en órbita del satélite tanto para su aceptación como para establecer las características reales de funcionamiento del módulo de comunicaciones. Durante la vida del satélite, o cuando se detecta algún fallo o problema en los repetidores, se deben realizar estas pruebas para de esta forma seguir la evolución y comportamiento del mismo.

En un sistema de radiodifusión directa de televisión se deben supervisar los parámetros más importantes de las portadoras transmitidas con el objeto de comprobar de manera continua el correcto funcionamiento del sistema y, en particular, para asegurarse de que el conjunto de estación transmisora y satélite está generando una señal dentro de los límites admitidos para que la recepción en tierra tenga una calidad que sea aceptable.

Se supervisan también los parámetros como presencia de portadora, potencia de portadora y frecuencia de la misma, relación portadora a ruido y dispersión energía, pero se analizan también los parámetros más significativos de las señales (por ejemplo de video y audio en radiodifusión) que permitan determinar la calidad con la que se reciben en los terminales de usuario.

El sistema de comunicaciones consta de los siguientes elementos:

La antena de recepción que tiene una ganancia relacionada con las dimensiones deseadas de la estación transmisora de tierra y, fundamentalmente, del área de cobertura o de la zona de servicio.

El receptor de bajo ruido se requiere porque la gran distancia a la que se encuentra el satélite provoca que la señal enviada por la estación terrena sea recibida muy débilmente y deba utilizarse un receptor cuyo ruido interno sea muy inferior a la señal recibida, para que no se degrade la calidad.

El multiplexor de entrada tiene como función extraer de la banda asignada, amplificada y trasladada en frecuencia por el receptor, cada uno de los canales que tenga asignados el servicio. Cada una de las salidas del multiplexor se conecta a un canal formado por una etapa amplificadora y el tubo de potencia.

El amplificador de canal lleva incorporado un atenuador variable en etapas telecomandado desde tierra que permite ajustar el punto de trabajo del repetidor al valor deseado. El amplificador de canal tiene como misión proporcionar parte de la ganancia de la cadena repetidora y obtener el nivel de señal adecuado para el ataque al amplificador de potencia en su punto óptimo de trabajo.

Para asegurar una potencia de salida constante, esta unidad puede estar equipada con un control automático de nivel. La parte de la cadena repetidora encargada de suministrar la potencia a transmitir consta de un amplificador de ondas progresivas TWT de elevada potencia así como el equipo auxiliar encargado de suministrar la alimentación eléctrica a los electrodos del mismo.

El multiplexor de salida tiene como misión reunir en una misma salida las señales procedentes de cada uno de los canales y encaminarlas todas a la antena transmisora.

En el diseño de esta unidad deben tenerse en cuenta dos limitaciones: por una parte la alta potencia que debe soportar al recibir la salida de los amplificadores de potencia de

los canales, y por otra parte las bajas pérdidas que debe presentar debido a que de lo contrario la potencia entregada por los tubos de emisión se dispararía incrementado mucho la temperatura.

La antena de transmisión debe estar diseñada para cubrir la zona de cobertura que se desee.

Dado que no es posible acceder al satélite una vez puesto en órbita es necesario asegurar su pleno funcionamiento ante la posibilidad de fallos en los equipos, lo que obliga a que las partes más críticas tengan un determinado nivel de redundancia, en función del grado de fiabilidad que se alcanzar.

La fiabilidad del satélite vendrá determinada por la de cada uno de los subsistemas que lo integran y por la redundancia de los equipos. Existe un compromiso entre redundancia peso y complejidad del satélite, por lo que la redundancia va dirigida a aquellos equipos o subsistemas que tienen un fuerte impacto en el correcto funcionamiento del satélite o aquellos cuya fiabilidad es menor.

Por otra parte el diseño del satélite para un sistema de comunicaciones es un proceso complicado debido a que involucra la interacción de varias disciplinas. El primer problema es el propio satélite, ya que debe ser tan pequeño y ligero como sea posible tomando en cuenta que un kilo de peso en órbita geoestacionaria es muy caro; y, el satélite debe utilizar el mínimo de energía posible.

Generar la electricidad necesaria para el satélite requiere tanto peso como área de paneles solares, ya que la capacidad de comunicaciones es lo que proporciona las ganancias del satélite, éste debe ser capaz de llevar tantos canales de comunicaciones como sea posible. Los satélites y sus lanzamientos son caros, el satélite debe ser capaz de funcionar sin mantenimiento por muchos años en un entorno hostil de alto vacío, a través de ciclos térmicos muy severos y bajo el constante bombardeo de la radiación de partículas subatómicas y micro meteoritos. De igual forma, puesto que la tecnología de comunicaciones cambia rápidamente, el diseño de los satélites debe hacerse tan flexible como sea posible.

Otra consideración es la distancia entre el satélite y la Tierra, una distancia de aproximadamente 36.000 Km., que corresponde a aproximadamente el 90% de un recorrido del Ecuador de la Tierra, y una señal debe atravesar esta distancia una vez para alcanzar el satélite geoestacionario y otra vez para volver a tierra. Las pérdidas

son enormes más o menos de 200 dB en cada trayecto y además en las frecuencias por encima de 10 Ghz se le añaden las pérdidas causadas por la lluvia.

Cuando se utiliza enlace ascendente se pueden utilizar transmisores con mucha potencia y antenas grandes pero tanto uno como otro son muy caros e inconvenientes; mientras que en el enlace descendente el tamaño de la antena y la potencia del transmisor están limitados, uno por la electricidad que pueda generar el satélite y el otro por la zona de servicio que deba cubrirse; y, las señales recibidas en tierra son extremadamente débiles, más débiles que las encontradas en cualquier otro tipo de sistema de comunicación. Por este motivo debe prestarse mucha atención a la ganancia de la antena, eficiencia del transmisor, la figura de ruido del receptor y demás aspectos de modulación y codificación de la señal, sin embargo, las limitaciones técnicas y económicas del hardware requieren un gran esfuerzo en todos los aspectos de software de comunicaciones por satélite. Por ello se dedica mucho trabajo al desarrollo de esquemas de modulación y codificación para detectar y corregir los errores de transmisión introducidos por el ruido.

El acceso múltiple es también un problema ya que un satélite puede tener muchos usuarios dispersos en un país o incluso en un hemisferio completo. Para maximizar el retorno económico el satélite debe permitir el servicio a un número grande y cambiante de usuarios de manera simultánea y eficiente con el mínimo control externo posible.

Los canales del satélite ofrecen una excelente alternativa a las fibras ópticas y a los cables para transmisión a grandes distancias y en particular sobre rutas dispersas en las que el tráfico de comunicaciones es pequeño.

Los satélites tienen la característica potente de proporcionar un medio de acceso múltiple que es inapreciable para comunicaciones de acceso aleatorio de un gran número de usuarios, sin embargo los satélites poseen la limitación de la potencia disponible para la transmisión ya que esta potencia se obtiene de la energía solar. Además, se debe tomar en cuenta que la configuración de los vehículos de lanzamiento limita el tamaño de las antenas de transmisión y recepción del satélite.

En conclusión los satélites se utilizan para comunicaciones a gran distancia entre dos antenas terrenales donde el satélite actúa normalmente como un repetidor no regenerativo, es decir que el satélite simplemente recibe una señal desde una estación terrena transmisora la amplifica y la retransmite hacia otra estación terrena receptora.

### 2.1.1. Aplicaciones

La **CAMAR** o **WARC** (World Administrative Radio Conference, *Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones*) asigna frecuencias para las radiocomunicaciones según los distintos servicios. Se encarga de llevar a cabo los principales servicios de radiocomunicaciones espaciales bajo los auspicios de la **ITU** (International Telecommunication Union) formada por las distintas administraciones del mundo. Los servicios se detallan a continuación:

- ✓ **Servicio Fijo por Satélite** para comunicaciones a través de uno o más satélites entre estaciones terrenas localizadas en puntos fijos.
- ✓ **Servicio de Radiodifusión vía Satélite** que permite la recepción de sonido e imagen a través de satélite por receptores individuales o colectivos.
- ✓ **Servicio Móvil por Satélite** proporciona comunicaciones entre estaciones terrenas móviles a través del satélite. Si las estaciones terrenas están situadas a bordo de barcos se tiene el Servicio Móvil Marítimo, si es a bordo de aviones el Servicio Móvil Aeronáutico y si es a bordo de vehículos en tierra el Servicio Móvil Terrestre. Este servicio se usa también para detectar y localizar señales de socorro y emergencia.
- ✓ **Servicio de Exploración de la Tierra** desde Satélite para meteorología, geodesia, exploración de recursos, etc.
- ✓ **Servicio de Exploración del Espacio** en el que el satélite u otras plataformas se utilizan para investigación técnica o científica.
- ✓ **Servicio de Operación Espacial** para la operación del satélite puede ser teledirigida, telemando y seguimiento.
- ✓ **Servicio de Radio determinación por Satélite** para poder determinar la posición y velocidad de un objeto usando uno o varios satélites.
- ✓ **Servicio de Radioaficionados por Satélite** que permite el acceso al satélite para los radioaficionados.
- ✓ **Servicio entre Satélites** para enlaces únicamente entre satélites.

## 2.2. ÓRBITAS

### 2.2.1. Descripción General

Antes de que Isaac Newton formulara sus leyes con respecto al movimiento, se creía que para mantener a un cuerpo en movimiento era necesario aplicar una fuerza ya sea para empujarlo o halarlo.

Galileo realizó una serie de varios experimentos que le llevaron a pensar que *"el movimiento era una propiedad intrínseca, que no requería mantenimiento"*<sup>19</sup>, y Newton basó su teoría del movimiento en este concepto. En base a estos datos se puede decir que Newton propuso las Leyes del Movimiento quedando de esta manera:

- Un cuerpo tiende a permanecer en movimiento, o detenido, a menos de que sobre él actúe una fuerza.
- La fuerza que actúa sobre un cuerpo es igual al producto de su masa por su aceleración.
- Para cada acción siempre hay una reacción opuesta y equivalente.

En base a estas tres leyes Newton se dedujo que todos los movimientos de los cuerpos se realizan bajo la acción de las fuerzas, y debido a esto Newton aplicó sus leyes al movimiento de los planetas, fue entonces cuando se dio cuenta de que la gravedad era la fuerza que controlaba a los planetas y a la Luna en sus órbitas alrededor del Sol y de la Tierra.

Uno de los grandes logros de la teoría de Newton, fue la determinación, por Halley, de que los cometas se mueven en órbitas elípticas o parabólicas ya que calculó las órbitas de muchos cometas e indicó que varios cometas que supuestamente eran diferentes, seguían la misma órbita, además conjeturó que eran el mismo objeto, y dio varias predicciones acerca de que reaparecería en un año específico. Así es que conocemos al cometa con el nombre de Halley, en honor al hecho de que su análisis y predicciones eran correctos.

Las leyes de Newton coinciden con las de Kepler en cuanto a que los planetas se mueven en órbitas elípticas alrededor del Sol.

---

<sup>19</sup> Ref: [http://www.oarval.org/solar\\_systemsp.htm](http://www.oarval.org/solar_systemsp.htm)

Las propuestas rompieron con la creencia de que los planetas se movían en órbitas circulares.

Las Leyes de Kepler indican que:

- Los planetas describen órbitas elípticas, con el Sol en uno de sus focos.
- El vector de posición de cualquier planeta, relativo al Sol, barre áreas iguales de su elipse, en tiempos iguales.
- Los cuadrados de los períodos de revolución, son proporcionales a los cubos de las distancias promedio al Sol.

De acuerdo con la **primera ley** los planetas giran alrededor del Sol en órbitas elípticas en las que el Sol ocupa uno de los focos de la elipse.

La **segunda ley** formula que las áreas barridas por el radio vector que une el centro del planeta con el centro del Sol son iguales en lapsos iguales; como consecuencia, cuanto más cerca está el planeta del Sol con más rapidez se mueve.

La **tercera ley** establece que *"la relación de la distancia media,  $d$ , de un planeta al Sol, elevada al cubo, dividida por el cuadrado de su periodo orbital,  $t$ , es una constante, es decir,  $d^3/t^2$  es igual para todos los planetas"*<sup>20</sup>.

Luego de haber realizado una pequeña introducción del movimiento de los cuerpos es importante indicar los conceptos de órbita en forma generalizada, ya que la mayoría de personas tienen un concepto parecido y es por esto que existen varias definiciones como las que se indican a continuación.

Órbita es:

*"El recorrido o trayectoria de un cuerpo a través del espacio bajo la influencia de fuerzas de atracción o repulsión de un segundo cuerpo"*<sup>21</sup>.

*"Una trayectoria seguida por un cuerpo celeste al moverse alrededor de otro siguiendo las leyes de la gravitación universal"*<sup>22</sup>.

---

<sup>20</sup> Ref: Biblioteca de Consulta Microsoft Encarta 2004: Microsoft Corporation, versión 13.0.0.0531

<sup>21</sup> Ref: Biblioteca de Consulta Microsoft Encarta 2004: Microsoft Corporation, versión 13.0.0.0531

<sup>22</sup> Ref: Diccionario de la Lengua Española: Ediciones Nauta S.A., Barcelona - España

Así como hay conceptos generalizados existen también conceptos más específicos como los siguientes:

Órbita es la "trayectoria seguida por un cuerpo alrededor de otro como resultado de su interacción gravitatoria mutua. Como resultado de la ley gravitatoria de los cuadrados inversos, las órbitas planetarias suelen ser aproximadamente secciones cónicas"<sup>23</sup>.

### 2.2.2. Tipos de órbitas

Las órbitas tienen un sinnúmero de clasificaciones ya sea de acuerdo a la distancia, al plano orbital, o a la trayectoria orbital, estas clasificaciones se muestran a continuación:

- ✓ **De acuerdo a su plano orbital con respecto a la línea ecuador**
  - ☞ **Órbita Ecuatorial:** En este tipo de órbita la trayectoria del satélite sigue un plano paralelo al ecuador, es decir tiene una inclinación de 0.
  - ☞ **Órbita Inclínada:** En este curso la trayectoria del satélite sigue un plano con un cierto ángulo de inclinación respecto al ecuador.
  - ☞ **Órbita Polar:** En esta órbita el satélite sigue un plano paralelo al eje de rotación de la tierra pasando sobre los polos y perpendicular al ecuador.

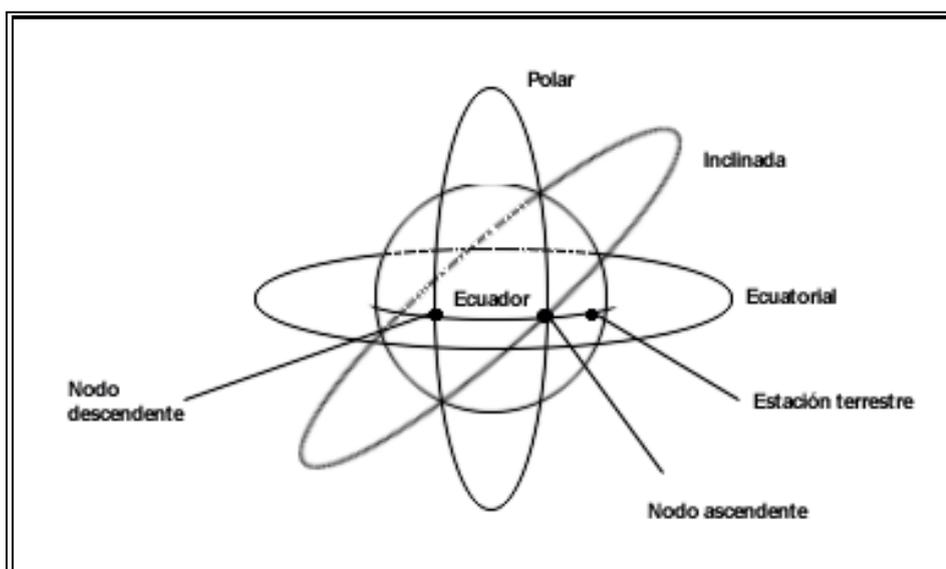


Figura 2.1 Tipos de órbitas incluyendo nodos y estación terrestre

<sup>23</sup> Ref: Revista Antenatel: Fascículo 2.

✓ De acuerdo a la trayectoria orbital que describen

- 📖 **Órbita circular o geosíncrona:** Se dice que un satélite posee una órbita circular si su movimiento alrededor de la tierra es precisamente una trayectoria circular. Este tipo de órbita es la que usan los satélites geosíncronos.
  
- 📖 **Órbitas elípticas:** Se dice que un satélite posee una órbita elíptica si su movimiento alrededor de la tierra es precisamente una trayectoria elíptica. Este tipo de órbita posee un "**perigeo**"<sup>24</sup> y un "**apogeo**"<sup>25</sup>.

Existen otros tipos de órbita las cuales están limitadas a circulares y elípticas, siendo posibles tener las siguientes:

- 📖 **Órbita Polar Circular.-** Esta es la única órbita que puede proporcionar cobertura global completa por un satélite, pero requiere varias órbitas para ello. En materia de comunicaciones, en las que se requiere transferencia instantánea de información, la cobertura global completa se podría obtener con una serie de satélites, separados cada uno de ellos en tiempo y en ángulo de su órbita.
  
- 📖 **Órbita Elípticamente Inclinada.-** Este tipo de órbita tiene propiedades únicas que han sido utilizadas con éxito por algunos sistemas de satélites de comunicaciones. Para este sistema, la órbita elíptica tiene un ángulo de inclinación de 63° y un período de 12 horas. El satélite es emplazado de manera que sea visible durante ocho de las doce horas de su período orbital, a fin de reducir al mínimo el problema de transferencia de tráfico a la par que se proporciona una cobertura considerable de la superficie terrestre. Utilizando tres satélites debidamente sincronizados, se puede proporcionar cobertura continua de la región polar, lo que no se podría hacer desde otras órbitas.
  
- 📖 **Órbita Ecuatorial Circular.-** Un satélite en órbita circular a 35.800 Km. de altitud tiene un período de 24 horas y por consiguiente, parece estacionario sobre un punto fijo de la superficie terrestre, hasta el círculo Ártico, y su órbita se utiliza para el sistema de telecomunicaciones por satélite INTELSAT.

---

<sup>24</sup> **Perigeo:** Referente punto más próximo a la Tierra de la órbita de un astro o un satélite artificial

<sup>25</sup> **Apogeo:** Se refiere al punto de una órbita, en el cual es máxima la distancia entre el objeto que la describe y su centro de atracción.

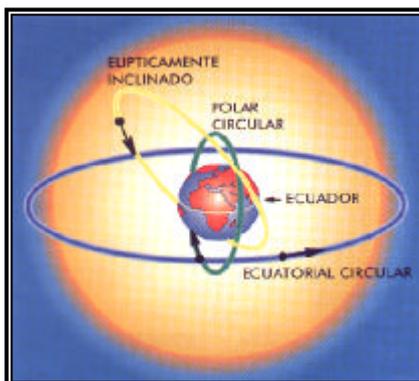


Figura 2.2 Órbitas de acuerdo a su trayectoria

### 2.3. ENLACES SATELITALES

El satélite provee un enlace de radio entre puntos separados sobre la superficie de la tierra, gracias a un repetidor ubicado que está en órbita, para realizar intercambio de información entre dichos puntos.

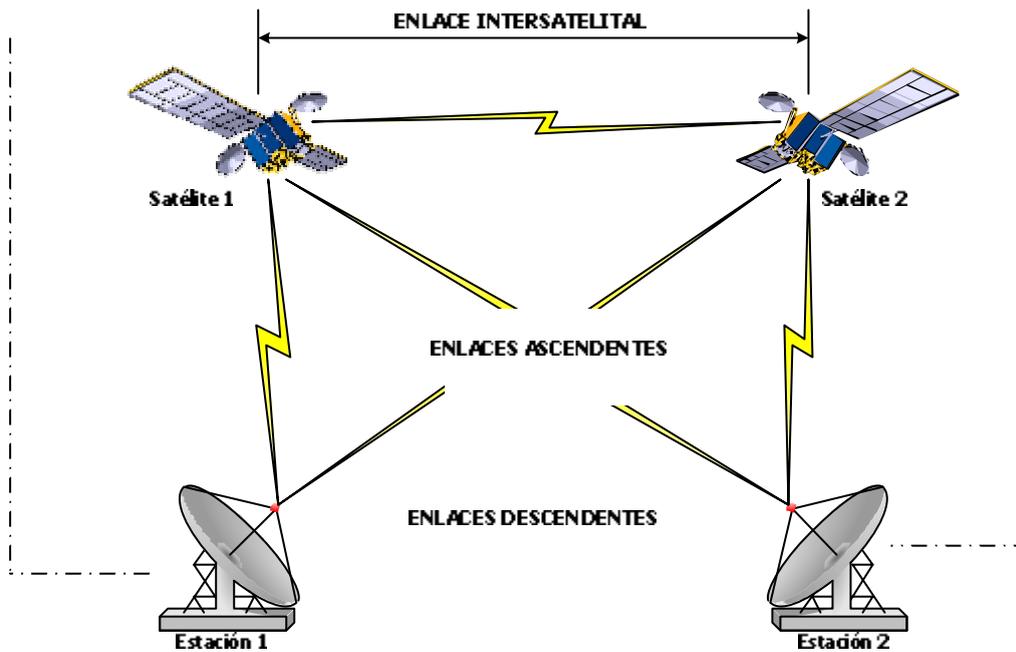
Las características que pueden determinar un enlace realizado por satélite son:

- Clase de información a administrar: voz, imagen, datos.
- Posición de los puntos a enlazar: fijos, móviles.
- Tipo de enlaces: punto a punto, punto a multipunto, multipunto a multipunto.

Se necesita una línea de vista para cada uno de los puntos ya que se produce caminos de enlace a puntos donde el acceso es muy difícil. El diseño de los caminos separados, entre estos puntos sobre la tierra y el satélite y su combinación, son los elementos principales del análisis de los sistemas de transmisión.

Aparece una situación especial cuando los enlaces satelitales son usados para radio-enlace entre satélites ya que este tipo de enlaces está siendo explotado comercialmente, con servicios globales, y se vislumbra su incremento en el futuro cercano. Existen sistemas globales con intercambio satelital, como el **GPS** (*Sistema de Posicionamiento Global*) que brinda un servicio técnico a nivel mundial; el servicio **INMARSAT** (International Maritime Satellite Organization) ofrece cobertura global de comunicaciones móviles comerciales independientes punto a punto.

Los caminos de radiotransmisión pasan a través de la atmósfera y están influenciados por una serie de efectos de propagación como reflexión, "difracción"<sup>26</sup>, "atenuación"<sup>27</sup> y múltiples fluctuaciones. Panorámicamente el enlace satelital puede ser representado de la siguiente manera:



El tiempo de vida del satélite se ve afectado por muchos factores, como autonomía en abastecimiento de energía, problemas mecánicos de la órbita, problemas de fallas en sus sistemas electrónicos de comunicaciones, control y telemetría.

El diseño de los enlaces satelitales utiliza las mismas ecuaciones básicas de los sistemas de transmisión terrestres; sin embargo, se debe tomar en cuenta que hay una gran diferencia en la magnitud de muchos de los resultados numéricos ya que las pérdidas del enrutamiento son considerablemente mayores, y las señales recibidas son mucho menores; a pesar de eso, los enlaces satelitales pueden ser diseñados con márgenes relativamente pequeños, como las condiciones de "propagación"<sup>28</sup> inherentemente estables.

<sup>26</sup> **Difracción:** Desviación del rayo luminoso al rozar el borde de un cuerpo opaco.

<sup>27</sup> **Atenuación:** Referente a Poner tenue, sutil o delgado alguna cosa o acción.

<sup>28</sup> **Propagación:** Hacer que algo se extienda o llegue a sitios distintos de aquel en que se produce.

### 2.3.1. Bandas de frecuencia

Cuando se trata de satélites de comunicaciones, la porción del espectro radioeléctrico que utilizarán lo determina prácticamente todo: la capacidad del sistema, la potencia y el precio. La mayoría de las personas de este medio se refieren a los segmentos del espectro de radio por una clasificación de bandas basadas en letras. A partir de la segunda guerra mundial, los científicos nombraron partes del espectro con letras, tales como: L, C, Ku, Ka, por lo tanto estas bandas poseen una letra que las identifica de acuerdo a las características que poseen cada una, de esta manera se tiene la Banda L, Banda C, Banda Ku o Banda Ka.

La banda C fue la primera en destinarse al tráfico comercial por satélite; en ella se asigna dos intervalos de frecuencia, el más bajo para tráfico de enlaces descendentes y el superior para tráfico de enlaces ascendentes. Estas bandas ya están sobre pobladas porque también las usan las portadoras comunes para enlaces terrestres de microondas.

La Banda Ku es la banda más alta disponible para las portadoras de telecomunicaciones comerciales. Esta banda proporciona más potencia que la C y, en consecuencia, el plato de la antena receptora puede ser más pequeño, del orden de 1.22 metros de diámetro, aunque la cobertura es mayor.

A la banda Ku, no le afectan las interferencias terrestres pero sí las turbaciones meteorológicas, por ejemplo la lluvia, que produce distorsiones y ruido en la transmisión; las tormentas fuertes casi nunca abarcan áreas extensas, de modo que con usar varias estaciones terrestres ampliamente separadas en lugar de una sola se puede resolver el problema, a expensas de gastar más en antenas, cables y circuitos electrónicos para conmutar con rapidez entre estaciones.

Las longitudes de onda diferentes poseen propiedades diferentes. Las longitudes de onda largas pueden recorrer grandes distancias y atravesar obstáculos. Las grandes longitudes de onda pueden rodear edificios o atravesar montañas, pero cuanto mayor sea la frecuencia más fácilmente pueden detenerse las ondas.

Cuando las frecuencias son lo suficientemente altas hablando de decenas de Ghz, las ondas pueden ser detenidas por objetos como las hojas o las gotas de lluvia. Para superar esto se necesita mucha más potencia, lo que implica transmisores más potentes o antenas más enfocadas, que provocan que el precio del satélite aumente.

La ventaja de las frecuencias elevadas es decir en las bandas Ku y Ka, es que permiten a los transmisores enviar más información por segundo. Esto es debido a que la información se deposita generalmente en cierta parte de la onda: la cresta, el valle, el principio o el fin. El compromiso de las altas frecuencias es que pueden transportar más información, pero necesitan más potencia para evitar los bloqueos, mayores antenas y equipos más caros.

Concretamente, las bandas más utilizadas en los sistemas de satélites son:

✓ **Banda L**

📖 **Rango de frecuencias:** 1.53-2.7 Ghz.

📖 **Ventajas:** grandes longitudes de onda pueden penetrar a través de las estructuras terrestres; precisan transmisores de menor potencia.

📖 **Inconvenientes:** poca capacidad de transmisión de datos.

✓ **Banda Ku**

📖 **Rango de frecuencias:** en recepción 11.7-12.7 Ghz, y en transmisión 14-17.8 Ghz.

📖 **Ventajas:** longitudes de onda medianas que traspasan la mayoría de los obstáculos y transportan una gran cantidad de datos.

📖 **Inconvenientes:** la mayoría de las ubicaciones están adjudicadas.

✓ **Banda Ka**

📖 **Rango de frecuencias:** 18-31 Ghz.

📖 **Ventajas:** amplio espectro de ubicaciones disponible; las longitudes de onda transportan grandes cantidades de datos.

📖 **Inconvenientes:** este tipo de banda necesita transmisores muy potentes; sensibles a interferencias ambientales.

A continuación se muestran las tablas referentes a las bandas de frecuencia de los satélites INTELSAT en sus diferentes Bandas.

### Nomenclatura y bandas de Frecuencias: Banda Ku

Nombre Actual	Anchura de Banda Enl. Ascendente	Anchura de Banda Enl. Descendente	Nomenclatura Abreviada
14/11 Ghz Banda Ku	13.75 – 14.50 (750 Mhz) @	10.95 – 11.20 (250 Mhz)	Banda inferior de 11 Ghz Banda Ku o Banda A
		11.45 – 11.70 (250 Mhz)	Banda Superior de 11 Ghz Banda Ku o Banda B
14/12 Ghz Banda ku	13.75 – 14.50 (750 Mhz) @	11.70 – 11.95 (250 Mhz)	Banda inferior de 12 Ghz Banda Ku o Banda C
		12.50 – 12.75 (250 Mhz)	Banda superior de 12 Ghz Banda Ku o Banda D

Tabla 2.1 Nomenclatura de la Banda Ku de INTELSAT

### Nomenclatura y bandas de Frecuencias: Banda C

Nombre Actual	Anchura de Banda Enl. Ascendente	Anchura de Banda Enl. Descendente	Nomenclatura Abreviada
6/4 Ghz Banda C	5.925 – 6.425 (500 Mhz)	3.700 – 4.200 (500 Mhz)	Banda C
		5.850 – 6.425 (575 Mhz)	Banda C
		6.425 – 6.650 (225 Mhz)	Banda C

Tabla 2.2 Nomenclatura de la Banda C de INTELSAT

#### 2.3.2. Estabilización

El satélite necesita ser estabilizado porque la tierra no es perfectamente esférica; y, la Luna, el Sol y el movimiento de las mareas ejercen efectos gravitacionales sobre el satélite que tienden a apartarlo de su posición correcta. Una órbita inclinada en relación con el plano ecuatorial produce una variación sinusoidal en longitud, vista desde la Tierra como un movimiento en torno a una elipse una vez cada 24 horas.

El satélite debe mantenerse en posición durante la vida útil que se requiera de él. Esta posición es corregida con regularidad para que se mantenga dentro de un margen de +- 0.1.

Para prolongar la vida útil de los satélites, se puede hacer correcciones menos frecuentes. Por ejemplo, para mantener el satélite en su posición norte-sur hay que utilizar más de sus reservas de combustible. Si no se mantiene la posición norte-sur, el satélite tenderá a moverse hacia una posición natural a 15 grados de la órbita geostacionaria. Por lo tanto INTELSAT ha decidido permitir que la inclinación de determinado número de satélites aumente hasta  $\pm 3$  grados, lo que prolonga sus vidas útiles hasta 3 años más.

Aunque las fuerzas asociadas con estos momentos no son normalmente suficientemente grandes para afectar la trayectoria de un satélite, los momentos sí pueden afectar significativamente la actitud del mismo.

Los momentos o "**torques**"<sup>29</sup> del entorno (externos) sobre un satélite planetocéntrico pueden provenir de la presión de radiación solar, de campos planetarios gravitatorios y magnéticos, y de fuerzas por moléculas libres (si el satélite está suficientemente cerca de una atmósfera planetaria). Existe la posibilidad también de impactos producidos por micro meteoritos y partículas de polvo. Los momentos que provienen de movimientos internos pueden ser generados por desplazamientos de la carga y por los movimientos y acciones de los ocupantes así como también por la "**eyección**"<sup>30</sup> de propulsores y otros líquidos.

Si un satélite en órbita es inestable, degenerará si es perturbado; si es marginalmente estable (no amortiguado), oscilará sobre una posición de equilibrio; y si es estable (con el amortiguamiento externo o interno), volverá a la posición de equilibrio después de que la oscilación transitoria se extinga.

Las técnicas de estabilización pueden clasificarse como pasivas o activas. Los dispositivos activos de estabilización, tales como toberas impulsoras, giróscopos y ruedas de reacción, requieren un gasto de energía y aumento del peso del satélite y pueden ser caros; además, si el abastecimiento de energía se agota, el control de actitud del sistema falla, el satélite espacial degenera, y la misión quedará abortada. Además del problema de estabilización, hay un problema independiente de orientación, generalmente un problema de control activo, en que el vehículo espacial o una parte del equipo del vehículo espacial deben apuntar en una dirección específica. Puede haber también misiones para investigar el Sol u otros cuerpos celestes y misiones de navegación en que las antenas deben mantener o adquirir las orientaciones requeridas.

---

<sup>29</sup> **Torque:** Magnitud resultante del producto del valor de una fuerza por su distancia a un punto de referencia.

<sup>30</sup> **Eyección:** Impulsar con fuerza hacia fuera mediante un mecanismo automático.

## 2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS SATÉLITES

### 2.4.1. Sistemas Satelitales Fijos (FSS)

Este tipo de sistemas se basan en los requerimientos de cobertura, por lo tanto se puede citar a los siguientes:

- ✓ **Satélites Domésticos DOMSAT.**- Son aquellos satélites que limitan su cobertura al territorio nacional. Existen varios satélites domésticos en órbita brindando servicios nacionales a un buen número de países alrededor del mundo. El sistema DOMSAT en Ecuador ha sido considerado para suministrar servicios de telecomunicaciones a varias poblaciones rurales del Oriente del país.
- ✓ **Sistemas Regionales.**- Estos satélites limitan su cobertura a un grupo de países para un servicio conjunto de comunicaciones. Por ejemplo:
  - ☞ **EUTELSAT** o red regional para el tráfico internacional europeo, el cual opera en la banda Ku (14/11-14/12 Ghz).
  - ☞ **ARABSAT** opera en la banda C (6/4 Ghz) para los países árabes.
  - ☞ **PANAMSAT**, con cuatro haces: para el Norte, Centro, Sur y el haz Continental, que opera en la banda C. Actualmente se encuentran en órbita 5 satélites de PANAMSAT (PAS-1, 2, 3, 4 y 5).
  - ☞ **HISPASAT**, que cubre la región ibérica y latinoamericana.
- ✓ **Sistemas Internacionales.**- Estos sistemas proveen servicio global a todos los países visibles desde una simple posición orbital.

El sistema INTELSAT y el INTERSPUTNIK son ejemplos de este tipo de sistemas, ambos trabajan en las bandas C y Ku; además, existen redes globales de satélites como el GPS y el INMARSAT, se debe tomar en cuenta que existen varias regiones que a medida que ha pasado el tiempo han ido colocando en órbita varios satélites que han permitido el desarrollo de la tecnología y sobre todo alcanzar metas como la transmisión de TV Vía satélite como lo hicieron algunos países de Asia, de igual forma existen satélites que cubren las regiones

de América Latina y Europa, permitiendo así la comunicación entre todo el continente gracias a estos sistemas de comunicación.

📡 **Región Asia Pacífico.**- En esta región se produce la revolución regional de las comunicaciones vía satélite gracias al sistema **Palapa-A1** construido por Hughes en Julio de 1976, siendo Indonesia la tercera nación, después de EE.UU. y Canadá, en operar su propio sistema satelital doméstico. Indonesia con más de 200 millones de habitantes está dispersa sobre más de 13000 islas con cientos de kilómetros de distancia, ha encontrado como solución ideal a sus comunicaciones su servicio satelital doméstico. Actualmente los sistemas PALAPA están en la serie C luego de haber pasado 3 generaciones. Este sistema es conocido como el servicio **SATELINDO** y ocupa las bandas C y Ku.

En extremo oriente el sistema satelital de Malasia, contratado en Mayo de 1974, también construido por Hughes, está operando como el servicio **MEASAT** diseñado para ofrecer servicios directos al usuario, con capacidades de telefonía, televisión, servicios de negocios y transmisión de datos, en una base regional que abarca desde Malasia hasta las filipinas y desde Beijing hasta el sur Indonesia y el norte de Australia. La construcción de estos nuevos Satélites incluye las celdas solares de Arseniuro de Galio que brindan un 40% más de capacidad de potencia, con un peso más ligero, alta ganancia y antenas mejoradas.

Mientras el sistema MEASAT es una de los más importantes de la región, Hughes está trabajando en otros programas. Entre ellos, el sistema **APSTAR** construido para la compañía de satélite **APT** de Hong Kong. Este sistema innovador está enlazando un satélite HS 376 con una aeronave de Hughes. El satélite **APSTAR I** fue lanzado en Julio de 1994 por el cohete China's Long March 3, y el modelo HS601 fue lanzado a principios de 1995. La constelación de satélites **THAICOM** de Tailandia desde octubre de 1991 ha sustituido algunos servicios de INTELSAT y del sistema PALAPA de Indonesia, con dos satélites 376 de Hughes. El primer satélite **THAICOM I** puesto en órbita por el Ariane, introduce el servicio **DBS-I** (Direct Broadcast Service, *Difusión directo de televisión*), con un satélite HS 601. El **THAICOM II**, colocado en Octubre de 1996 es también un HS 601. Estos satélites tienen cada uno 2 transponder de 47 Wats en la banda Ku y 10 transponders en la banda C. El nivel de potencia en la banda Ku es excelente para aplicaciones directas del usuario, como televisión directa y

difusión de audio digital, así como servicios de negocios, incluyendo redes VSAT, buscapersonas digital, transmisión de datos, videoconferencia y enlaces de comunicaciones móviles.

Los servicios satelitales para Australia y Japón también han sido construidos por Hughes. En Australia desde 1982 se mantiene el servicio **AUSSAT** con 3 HS 376 como el primer sistema doméstico en esta región. En el año 1988, Australia fue la primera nación en contratar los sistemas HS 601, seleccionando dos aeronaves para evolucionar e incrementar los requerimientos de las telecomunicaciones. Los satélites HS 601 Optus son tres veces más poderosos y tienen una vida útil de dos veces más que sus predecesores. Estos proporcionan difusión directa de televisión a las casas en todo el territorio Australiano, comunicaciones de voz a comunidades del sector urbano y rural, transmisión digital de datos.

En Japón, Hughes ha proporcionado varias generaciones de satélites a diferentes compañías. La compañía **JSAT** (Japan Satellite Systems Inc.) decidió añadir un satélite HS 601, junto con **JCSAT-3** a una constelación de dos HS 393. Este nuevo satélite cubriría no sólo Japón sino también a Australia y hasta el sur de Nueva Zelandia y hasta el este de Hawai y brindará comunicaciones de voz, datos y video; este sistema posee 28 transponders en la banda Ku y 12 transponders en la banda C.

- 📖 **Región América Latina.-** El lanzamiento de la primera generación de satélites que Hughes construiría para México se produce en Noviembre de 1982, y por esto se abrió el mercado en América Latina para las comunicaciones satelitales domésticas dedicadas. Sin embargo cabe destacar que muchas naciones de América Latina usaban capacidad de Intelsat IV y satélites IVA de Hughes operando en la red global de Intelsat.

México reconfirmó su papel de liderazgo en comunicaciones por satélite en América Latina al firmar el contrato en Mayo 1991 con Hughes para dos satélites HS 601. Los dos nuevos satélites **Solidaridad** complementaban al sistema **Morelos** de México compuesto por dos aeronaves HS 376 y extienden la presencia en el espacio de la nación para muchos años. El primer satélite Morelos fue retirado de su servicio en 1994.

Con el sistema Solidaridad se proporciona más capacidad y potencia a los clientes, como también se ofrece un sistema regional para tener mayor

flexibilidad en sus comunicaciones. Con la aparición de la banda L, **Telecomm** está en la posición para proveer servicios móviles y con esto está revolucionando los conceptos de comunicaciones en México.

Solidaridad 1 fue lanzado por Ariane en Noviembre de 1993; Solidaridad 2 le siguió once meses después. Cada satélite soporta 18 transponders activos en la banda C y 16 transponders activos en la banda Ku y 1 canal en la banda L para aplicaciones móviles.

Todas las bandas cubren México. Con los transponders en la banda C y Ku se alcanza la parte sudoeste de Estados Unidos. Los rayos de la banda Ku alcanzan a muchas ciudades de Estados Unidos como Chicago, Dallas, Los Angeles, San Francisco, Miami, y New York, mientras que la cobertura con la banda C se extiende hacia el Caribe, Centro y Sudamérica incluyendo los siguientes países: Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Chile, Argentina, Paraguay, Uruguay y Bolivia. Los servicios típicos incluyen telefonía, fax y comunicación de datos, redes de negocios y aprendizaje a distancia pero con la característica de que pueden ser todos servicios móviles. El impacto en América Latina es por los precios competitivos y la mayor capacidad para los clientes de toda la región que brinda Solidaridad.

La segunda generación de satélites comerciales constituyen los dos satélites de Brasil, las series **Brasilsat B** con versiones HS 376 ampliadas, que reemplazan a los dos modelos anteriores HS 376 que operaban desde 1985. **Brasilsat B1** fue lanzado por Ariane en Agosto de 1994 y el segundo satélite fue lanzado en Diciembre de 1994.

Los nuevos satélites HS 376W ofrecen una mayor capacidad de comunicaciones, empleando 28 transponders activos en la banda C. Cada satélite acarrea también un transponder en la banda X para las aplicaciones del gobierno Brasileiro. El tiempo de vida esperado para estos satélites es de 12 años.

Dentro de los requerimientos de las comunicaciones del Brasil, el segundo satélite **Brasilsat B2** fue diseñado para alcanzar la agrupación de naciones como Brasil, Argentina, Uruguay y Paraguay con el fin de realizar transacciones de negocios entre estos países.

☞ **Región Europa.-** Desde el invento y lanzamiento del Sputnik, la **SES** (Société Européenne des Satellites) de Luxemburgo que opera el sistema

ASTRA directo a casa, premier de Europa, seleccionó satélites Hughes HS 601 de alta potencia en la banda Ku para enviar servicios de difusión y en el futuro cercano para televisión digital de alta definición.

El primer satélite de la serie nueva HS 601 para SES, **Astra 1C**, lanzado en Mayo de 1993, contiene 18 transponders en la banda Ku con una potencia efectiva radiada isotrópica de 51 dBW. Niveles de potencia de esta magnitud permiten el uso de platos muy pequeños que pueden ser instalados fácilmente por dueños de casa y otros usuarios.

Los principales servicios que brindan son: incrementar dramáticamente el número de circuitos para teléfono sobre el océano Atlántico, y hacer posible la televisión en vivo entre Europa y Estados Unidos.

#### 2.4.2. Características de los Satélites Fijos

Los sistemas satelitales fijos se caracterizan por el tipo de Banda que utilizan, en este caso existen dos tipos de banda más usuales que son las Bandas C y Ku que trabajan de la siguiente manera:

- ✓ **Satélites de Banda C (6/4 Ghz).**- La Tecnología de banda C está altamente desarrollada en términos de componentes y subsistemas de estaciones terrenas, debido a que inicialmente fue usada para comunicaciones satelitales porque presentaba favorables características de propagación para estas frecuencias.

Las específicas bandas de mayor uso son: 5925 a 6425 Mhz para enlaces ascendentes y 3700 a 4200 Mhz para enlaces descendentes. Los transponders espaciales usados en estas bandas emplean normalmente amplificadores de tubos de ondas progresivas para potencias de 5 a 10 w., mientras que los amplificadores de poder de estado sólido se usan para potencias de hasta 8,5 watts, y gracias a buena linealidad que presentan su utilización ha ido creciendo rápidamente.

Otra posibilidad de operación en la banda C es el uso de la banda de 6425 a 6725 Mhz para enlaces ascendentes y la de 4500 a 4800 Mhz para descendentes. El empleo de estas bandas fue autorizado a partir de la Conferencia Mundial de Administración de Radio en 1979. La misma tecnología de la banda C convencional es aplicable a estas últimas bandas. El uso de estas

nuevas bandas es parte de un plan establecido en 1988 por la segunda sesión del WARC.

Los anchos de banda de 36 Mhz. para los transponders de la banda C son los más comunes y están dados sobre frecuencias centrales de 40 Mhz. El uso satelital en polarización simple puede proveer hasta 12 transponders; y, hasta 24 con técnicas de doble polarización, además se usan transponders de 72 Mhz en sistemas de alta velocidad como transmisión digital.

A continuación se muestra la tabla que indica las características de la Banda C

### CARACTERISTICAS DE LA BANDA C

PARAMETRO	TIPO DE COBERTURA		
	GLOBAL	REGIONAL	NACIONAL
Ganancia de antena de satélite dBi			
TRANSMISIÓN	17 – 19	21 – 25	28 – 34
RECEPCIÓN	17 – 19	21 – 24	30 – 34
Temperatura de ruido del receptor K	800 – 2000	800 – 2000	800 – 2000
Ganancia de Temperatura G/T, dB/K	-17 A -14	-12 A -5	- 3 A +5
PIRE, dBw	22 – 24	26 – 31	30 – 39

Tabla 2.3 Características de la Banda C

- ✓ **Sistemas de Banda Ku (14/11 ó 14/12 Ghz).**- Son sistemas relativamente más nuevos en el FSS, el primer satélite fue lanzado en 1976. Las mayores pérdidas de propagación en estas frecuencias requieren mayores potencias "isotrópicas"<sup>31</sup> radiadas para conseguir las mismas características de transmisión que en la banda C, y esto se obtiene con el uso de mayores ganancias en las antenas espaciales.

Las altas potencias que son factibles permiten el uso de estaciones terrenas con antenas muy pequeñas, y la combinación de estos factores hace posible ubicar estaciones terrenas cerca de otros usuarios. Se consigue una importante ventaja económica para muchos servicios, siendo la banda de 12 Ghz muy conveniente.

<sup>31</sup> **Isotrópicas:** Características de los cuerpos cuyas propiedades físicas no dependen de la dirección.

El sistema PANAMSAT I que opera con Ecuador, tiene en su estructura seis transponders de 72 Mhz en esta banda para comunicaciones entre EE.UU. y Europa.

## 2.5. NOTAS BIBLIOGRÁFICAS

En el desarrollo de este capítulo se describe de manera general a un sistema satelital, las órbitas existentes, tipos de satélites existentes alrededor del mundo y sus principales características. De igual manera se ha realizado un estudio básico de los enlaces satelitales tomando en cuenta las bandas de frecuencia que se puede utilizar.

Para encontrar información más específica acerca de este tema se recomienda estos sitios en Internet:

- [http://www.oarval.org/solar\\_systemsp.htm](http://www.oarval.org/solar_systemsp.htm)
- <http://lfuente.8m.com/Investigaciones.htm>
- <http://www.engesat.com.br/satelites/envisat.htm>
- <http://www.gr.ssr.upm.es/~miguel/rcii/general/download.htm>
- <http://atenea.udistrital.edu.co/cursos/mt.redesI/grp01/satelites/img1.htm>

Así como también datos en los siguientes Libros ó Revistas:

- **Revista Antenatel:** Fascículo 2
- **Sistemas de Comunicación Digitales y Analógicos:** Editorial Prentice Hall, 5ta. Edición 1997, México.