

## **CAPITULO 3**

### **LA ORBITA GEOESTACIONARIA**

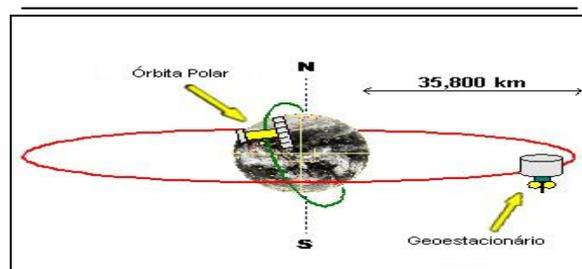
(Autor, <http://es.wikipedia.org>,2007)

Un satélite puede permanecer en la misma órbita durante un largo periodo de tiempo ya que la tracción gravitatoria de la Tierra contrarresta a la fuerza centrífuga. Como los satélites tienen su órbita fuera de la atmósfera, no les afecta la resistencia del aire, por lo que, de acuerdo con la ley de la inercia, la velocidad del satélite es constante. De esta manera pueden girar alrededor de la Tierra durante muchos años.

La tracción gravitatoria disminuye al alejarnos de la Tierra, mientras que la fuerza centrífuga aumenta al incrementarse la velocidad orbital. Por lo tanto, un satélite en una órbita baja, típicamente de unos 800 km de la Tierra se expone a una inmensa tracción gravitacional y debe moverse a una velocidad considerable para generar una fuerza centrífuga correspondiente. Existe una conexión directa entre la distancia a la Tierra y la velocidad orbital del satélite. A una distancia aproximada de 35800 km a 36000 km (ver Figura N. 26), se encuentra ubicada la órbita geoestacionaria y el tiempo que se tarda en realizar una órbita es de 24 horas, lo que corresponde al tiempo de rotación de la Tierra. A esta distancia, un satélite sobre el ecuador está estacionario con respecto a la Tierra.

**FIGURA N. 26**

#### **LA ORBITA GEOESTACIONARIA**



FUENTE: [satelite.cptec.inpe.br/notas/orbitas.htm](http://satelite.cptec.inpe.br/notas/orbitas.htm)

La necesidad de un enlace permanente obliga a que la posición del satélite permanezca fija respecto a la Tierra. Las órbitas de estos satélites han de ser circulares, geosincrónicas y ecuatoriales, en las que el periodo de rotación sideral de la Tierra sea igual al periodo de revolución sideral del satélite coincidiendo su movimiento con el de giro de la Tierra: de Oeste a Este.

El rozamiento producido por las ligeras partículas de la atmósfera sobre la superficie de los satélites, produce la suficiente fricción para provocar sus caídas, obligando a elevar sus órbitas a centenares de kms. Alrededor de los 200 Km. de altura se mantendría en órbita durante algunos días. Sobre los 500 Km. podría orbitar durante años y cerca de los 1000 km lo haría durante siglos. No obstante antes o después, el efecto de frenado provocará la caída de todos, que prácticamente se desintegrarán en su descenso, al atravesar la atmósfera.

Cualquier satélite que cumpla la condición de conseguir una órbita circular a una altura cercana a los 36.000 Km. le corresponderá un periodo orbital de 23 horas, 56 minutos y 35 segundos; el mismo que emplea nuestro planeta en su diaria rotación sideral.

Si además la inclinación de la órbita de este satélite es ecuatorial, conseguiremos que el satélite permanezca "fijo" o "anclado" en el mismo lugar del espacio. (Autor, [www.mcasco.com/p1aso.html](http://www.mcasco.com/p1aso.html),2007).

Una órbita geoestacionaria o GEO es una órbita geosíncronica directamente encima del ecuador terrestre, con una excentricidad nula. Desde tierra, un objeto geoestacionario parece inmóvil en el suelo y, por tanto, es la órbita de mayor interés para los operadores de satélites artificiales (incluyendo satélites de comunicación y de televisión). Debido a que su latitud siempre es igual a 0°, las locaciones de los satélites sólo varían en su longitud.

La idea de un satélite geosíncronico para comunicaciones se publicó por primera vez en 1928 por Herman Potočnik. La idea de órbita geoestacionaria se popularizó por el escritor de ciencia ficción Arthur C. Clarke en 1945 como una órbita útil para satélites de comunicaciones. En consecuencia, algunas

veces se refiere a esta órbita como órbita de Clarke. De igual manera, el cinturón de Clarke es la zona del espacio, aproximadamente entre 35.800 km a 36000 Km sobre nivel del mar, en el plano del ecuador donde se puede conseguir órbitas geoestacionarias.

Las órbitas geoestacionarias son útiles debido a que un satélite parece estacionario respecto a un punto fijo de la Tierra en rotación. Como resultado, se puede apuntar una antena a una dirección fija y mantener un enlace con el satélite. El satélite orbita en la dirección de la rotación de la Tierra, a una altitud significativa ya que produce un período orbital igual al período rotación de la Tierra, conocido como día sideral.

Las órbitas geoestacionarias solo se pueden conseguir muy cerca de un anillo de 36000 km sobre el ecuador. En la práctica, esto significa que todos los satélites geoestacionarios deben estar en este anillo, lo que puede suponer problemas para satélites que han sido retirados al final de su vida útil. Tales satélites continuarán utilizando una órbita inclinada o se moverán a un órbita cementerio.

Se utiliza una órbita de transferencia geoestacionaria para trasladar un satélite desde órbita terrestre baja hasta una órbita geoestacionaria. Existe una red mundial de satélites de meteorológicos geoestacionarios que proporcionan imágenes del espectro visible e infrarrojo de la superficie y atmósfera de la Tierra. Entre estos satélites se incluyen:

- Geostationary Operational Environmental Satellite, de Estados Unidos.
- Meteosat, lanzados por la Agencia Espacial Europea y utilizados por la EUMETSAT.
- GMS, de Japón.
- INSAT, de la India.

La mayor parte de los satélites de comunicaciones y satélites de televisión operan desde órbitas geoestacionarias; los satélites de televisión rusos suelen utilizar órbitas de Molniya(Geoestacionarias), debido a las latitudes altas de su

audiencia. El primer satélite de comunicaciones que se puso en este tipo de órbita fue el *Syncom 3*, lanzado por la National Aeronautics and Space Administration (NASA) en 1964. La mayoría de los satélites posteriores también se hallan en órbita geostacionaria.

La diferencia entre los satélites geostacionarios y los geosíncronos es que el plano de la órbita de estos últimos no coincide con el del ecuador, sino que adopta una determinada inclinación respecto a él. El primer satélite en órbita geosíncrona, lanzado por la NASA en 1963, fue el *Syncom 2*.(Autor, <http://es.encarta.msn.com>.2007).

Esta posibilidad supone el conseguir una comunicación constante y sin necesidad de ningún seguimiento de las estaciones terrenas. Basta con ajustar las antenas una sola vez. Estos satélites reciben el nombre de estacionarios.

### **3.1 ANGULOS DE OBSERVACION DE LA ANTENA**

La orientación de la antena (ver Figura N. 27), de una estación terrena hacia un satélite con un montaje Azimut-Elevación se realiza ajustando dos ángulos, en elevación y azimut; los valores de estos ángulos dependen de la posición geográfica de la estación (en latitud y longitud) y de la ubicación del satélite. Tomando como referencia al eje de simetría del plato parabólico, que coincide con su eje de máxima radiación, el ángulo de elevación es aquél formado entre la horizontal y dicho eje de simetría dirigido hacia el satélite; por su parte, el ángulo de azimut es la cantidad en grados que hay que girar la antena en el sentido de las manecillas del reloj (con relación al norte geográfico de la Tierra) para que ese mismo eje de simetría pase por la posición en longitud del satélite.

Cuando se requiere cambiar la orientación de la antena de un satélite a otro, es necesario variar sus ángulos de elevación y azimut; además, aunque se mantenga siempre en comunicación con el mismo satélite, y dependiendo de la aplicación de la estación terrena, también es necesario efectuar con frecuencia correcciones pequeñas en ambos ángulos; incluso, puede haber casos en los



## **Ángulos de vista**

Para orientar una antena desde una estación terrena hacia un satélite, es necesario conocer el ángulo de elevación y azimut. Estos se llaman ángulos de vista.

### **Angulo de elevación**

El ángulo de elevación es el ángulo formado entre la dirección de viaje de una onda radiada desde una antena de estación terrena y la horizontal, o el ángulo de la antena de la estación terrena entre el satélite y la horizontal. Entre más pequeño sea el ángulo de elevación, mayor será la distancia que una onda propagada debe pasar por la atmósfera de la Tierra. Como cualquier onda propagada a través de la atmósfera de la Tierra, sufre absorción y, también, puede contaminarse severamente por el ruido. De esta forma, si el ángulo de elevación es demasiado pequeño y la distancia de la onda que esta dentro de la atmósfera de la Tierra es demasiado larga, la onda puede deteriorarse hasta el grado que proporcione una transmisión inadecuada. Generalmente,  $5^{\circ}$  es considerado como el mínimo ángulo de elevación aceptable.

### **Azimut**

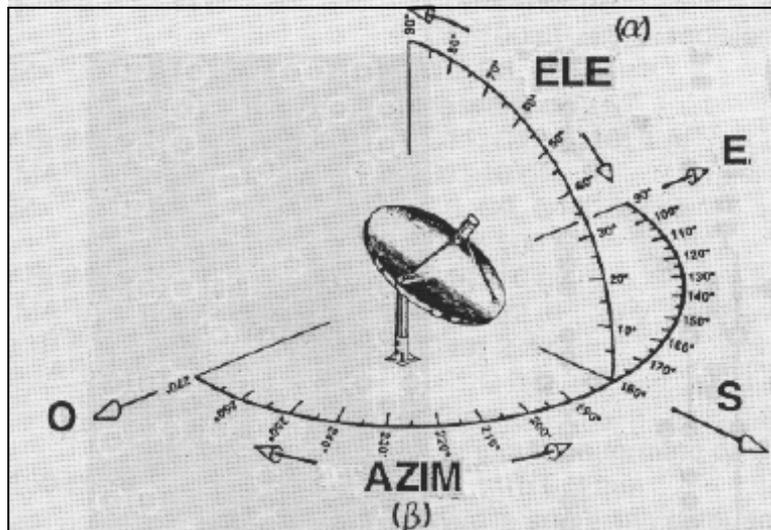
Azimut se define como el ángulo de apuntamiento horizontal de una antena. Se toma como referencia el Norte como cero grados, y si continuamos girando en el sentido de las agujas del reloj, hacia el Este, llegaremos a los  $90^{\circ}$  de Azimut.

Hacia el Sur tendremos los  $180^{\circ}$  de Azimut, hacia el Oeste los  $270^{\circ}$  y por ultimo llegaremos al punto inicial donde los  $360^{\circ}$  coinciden con los  $0^{\circ}$  del Norte. El ángulo de elevación y el azimut, dependen ambos, de la latitud de la estación terrena, así como el satélite en órbita.

Los ángulos de vista de una antena de una estación terrena están orientados en dirección al paso de los satélites artificiales, o a su vez su orientación estaría hacia los satélites geoestacionarios. (Ver Figura N. 28).

FIGURA N. 28

## ÁNGULOS DE VISTA DE LA ANTENA

FUENTE: [www.mcasco.com/p1aso.html](http://www.mcasco.com/p1aso.html)

### 3.2 LA ANTENA POLAR DE MONTAÑA

#### Introducción.

La telemetría, el seguimiento y el telecomando, son servicios clave para el correcto funcionamiento de los satélites de comunicaciones.

La telemetría, es necesaria para monitorizar y evaluar el estado de funcionamiento y las prestaciones del satélite, así como de suministrar a los sistemas de la estación terrena, la información suficiente para realizar operaciones rutinarias y de diagnóstico de fallos.

El sistema de seguimiento, proporciona información sobre la posición angular y orbital del satélite, de modo que en la estación terrena se sepa en todo momento su evolución.

El servicio de telecomando, permite el ajuste de funciones que no están automatizadas en el satélite, y que no podrían realizarse.

La antena TT&C (Ver Figura 29), provee las operaciones de seguimiento, telecomando y telemetría durante todas las fases de la misión desde la separación del vehículo de lanzamiento. La antena TT&C (Telecomando y Telemetría y Control), está diseñada para:

- Recibir las funciones de telecomando desde estaciones terrenas.
- Transmitir datos de telemetría desde el satélite a las estaciones terrenas.
- Emitir una señal de seguimiento que permita el apuntamiento del satélite desde las estaciones terrenas.
- Transmitir y recibir señales de seguimiento.

**FIGURA N. 29**

**ANTENA TT&C**



FUENTE: [http://es.wikipedia.org\\_Antenna.jpg](http://es.wikipedia.org_Antenna.jpg)

Existen muchos tipos de antenas terrestres para comunicación con satélites. Estas dependen del tipo de estación terrena, la cual comprende desde los centros internacionales de tráfico alto (antenas grandes de hasta 32 metros), pasando por los receptores domésticos de Televisión (antenas de entre 3 y 0.5 metros), hasta pequeños terminales de comunicación de datos (antenas de hasta 0.6 metros).

Una antena terrestre se instala generalmente sobre la tierra firme (Ver Figura N. 30), aunque puede instalarse sobre un barco o incluso un avión (servicios

aeronáuticos). Todo ello hace que existan multitud de tipos de antenas terrestres.

**FIGURA N. 30**

### **ANTENA POLAR DE MONTAÑA**



FUENTE:<http://www.upv.es/satelite.html>

En una comunicación por satélite, son necesarios unos requerimientos de diseño de las antenas utilizadas, los cuales se pueden resumir en estos 5 puntos:

- 1. Gran ancho de banda**, del orden de 4 GHz para el enlace descendente y de 6 GHz para el enlace ascendente.
- 2. Gran ganancia de antena** para conseguir una alta figura en recepción (G/T) y una alta Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE) de transmisión. Para ello son necesarios grandes reflectores y altas eficiencias de antena, lo que se consigue con una iluminación casi uniforme y una alta precisión en la fabricación.
- 3. Mínima temperatura de ruido** para conseguir igualmente una alta recepción (G/T). Para ello, entre otras cosas, es necesaria una baja radiación en la dirección del suelo.

**4. Bajo nivel de radiación del lóbulo secundario** para minimizar la recepción y transmisión de señales interferentes.

**5. Alta pureza de polarización** para evitar interferencias de señales de polarización cruzada, especialmente en el caso de sistemas de satélite de doble polarización.

La antena y el sistema de alimentación están sujetos por un **pedestal**, el cual necesita un diseño mecánico para orientar el rayo de la antena hacia el satélite. Este pedestal está compuesto generalmente por 2 ejes ortogonales móviles, cada uno equipado con un subsistema de control. En el caso de grandes antenas, estos subsistemas están motorizados y controlados por un sistema de seguimiento. (Ver Figura N. 31).

Estas grandes antenas (de más de 10 metros de diámetro), están colocadas en un poste o pedestal llamado AZEL, compuesto por un gran soporte esférico que permite la rotación azimutal (en el plano del suelo) y una hélice que permite el movimiento en elevación (en el plano vertical).

**FIGURA N. 31**

**ANTENA POLAR DE MONTAÑA DE MÁS DE 10 m.**



FUENTE:[ttp://www.upv.es/satelite.html](http://www.upv.es/satelite.html)

En el caso de antenas pequeñas comerciales como en el caso de estaciones VSAT, sólo es necesario una fijación manual de la orientación.

El reflector de la antena debe estar construido con una alta exactitud y rigidez para conseguir los requerimientos especificados (especialmente en cuanto a ganancia de antena) incluso en extremas condiciones ambientales.

En las antenas grandes debe incluirse un sistema de seguimiento cuya finalidad es mantener el rayo de la antena en la dirección exacta del satélite, debido a movimientos residuales del satélite, desapuntamientos mecánicos de la antena (efectos de viento y peso) y efectos de propagación atmosférica en altas frecuencias.

En el caso de antenas medianas, la solución consiste en programar el seguimiento, es decir, se actúa sobre la antena con motores controlados por programa que recibe permanentemente la posición del satélite. Estos datos de la posición pueden calcularse localmente o bien ser provistos por una estación de control.

### **ANTENAS PARA COMUNICACIONES.**

AFC, Antennas For Communications, es un fabricante americano de antenas terrestres y de satélites, radomos, componentes de microondas y guías de onda para aplicaciones de difusión, comunicación, cable, radar y meteorología, así como aplicaciones gubernamentales en todo el mundo.

Galaxy 9 surge del acuerdo entre la antigua PanAmSat Corporation y Hughes Communications, con el fin de convertirse en el mayor proveedor comercial mundial de servicios de comunicaciones vía satélite, con una red global de 16 satélites geoestacionarios y siete instalaciones terrestres. Esta unión se llama ahora PanAmSAT Corporation.

**Antena PR-12/4**, (Ver Figura N. 32), de 3.7 metros de diámetro, y destinada para operar con satélites de bandas C y Ku. Con solo cuatro secciones y sin

instalación fija, esta antena garantiza una instalación sencilla y sin errores de alineamiento, incluso para la mayoría del personal inexperto.

AFC nos presenta este modelo como la solución para servicios cable y difusión. Diseñada para ofrecer una recepción óptima de frecuencias en banda C y Ku, o ambas simultáneamente, se monta sobre un pedestal de una única pieza, el montaje proporciona una gran facilidad de alineación así como un soporte estable frente a diferentes condiciones ambientales. La antena se suministra con dos amplificadores de bajo ruido de banda C. Este tipo de antena se puede utilizar para los sistemas de navegación, ya que emiten y reciben información que puede ser tratada para los posibles usuarios.

#### **CARACTERÍSTICAS DE LA ANTENA PR-12/4.**

- Funcionamiento y fiabilidad. El pequeño número de secciones y el hecho de que el soporte sea de una pieza reduce la posibilidad de error en el montaje. Además permite un apuntamiento fino al trabajar en banda Ku gracias al mecanismo de ajuste fino que presenta en elevación.
- Instalación sencilla. AFC asegura que dos personas tardan dos horas en montar la antena.
- Transportable.

#### **FIGURA N. 32**

##### **ANTENA PARA SATELITES DE BANDA C, KU O DUALES C/KU.**



FUENTE: <http://www.upv.es/satelite/trabajos/pracGrupo2/terrestre/terrestre.html>

## ESPECIFICACIONES.

Pedestal de la antena PR-12/4.

- Reflector:
  - Secciones: 4 piezas divididas radialmente.
  - Peso máximo: 60 libras por pieza.
  - Longitud focal: 48 pulgadas.
  - Construcción: Fibra de vidrio reforzada con laminas compuestas de poliéster.
  - Estructura soporte: Acero galvanizado.
- Soporte:
  - Tipo: Pedestal El/Az.
  - Construcción: Acero galvanizado.
  - Rango de ajuste: de 0 a 90 grados en elevación, con ajuste fino de +/- 15 grados.
  - Ajuste azimutal: 360 grados.
- Funcionamiento:
  - Ganancia a 4 Ghz: 41 dB +/- 0.5 dB.
  - Ganancia a 12 Ghz: 50.3 dB +/- 0.5 dB.
  - Coeficiente de Onda Estacionaria (VSWR): 1.25:1.
- Condiciones atmosféricas adversas:
  - Temperatura: -51/+52 grados centígrados.
  - Viento y hielo: 160 Km/h.
  - Viento: 201 Km/h.
- Montaje de la alimentación:
  - DPC: receptor lineal dual, alimentación de banda C.
  - DPK: receptor lineal dual, alimentación de banda Ku.
  - DPCK: receptor lineal dual de cuatro puertos, alimentación de bandas C y Ku.
- Opciones: El reflector PR-12/4 puede ser usado junto el alimentar de doble haz, MSF-12, y otros tipos de amplificadores de bajo ruido.

**Sistema de alimentación multi-satélite** para reflectores de diámetro entre 4.5 y 9 metros. Este sistema permite la visión de 7 satélites simultáneamente sobre un arco orbital de 18 grados. (Ver Figura N. 33)

AFC del mismo modo que proporciona un alimentador multihaz para su nueva serie de antenas destinadas a la recepción de señales procedentes del nuevo sistema Galaxy 9, presenta opciones de actualización a sus antiguos clientes. De este modo, los usuarios de los actuales AFC MSF (multi-satellite feed), pueden actualizar sus equipos sin problemas, obteniendo todas las ventajas que tienen los equipos de la nueva generación.

**FIGURA N. 33**

#### **SISTEMA DE ALIMENTACIÓN MULTI-SATÉLITE**



FUENTE:<http://www.upv.es/satelite.html>

#### **Características:**

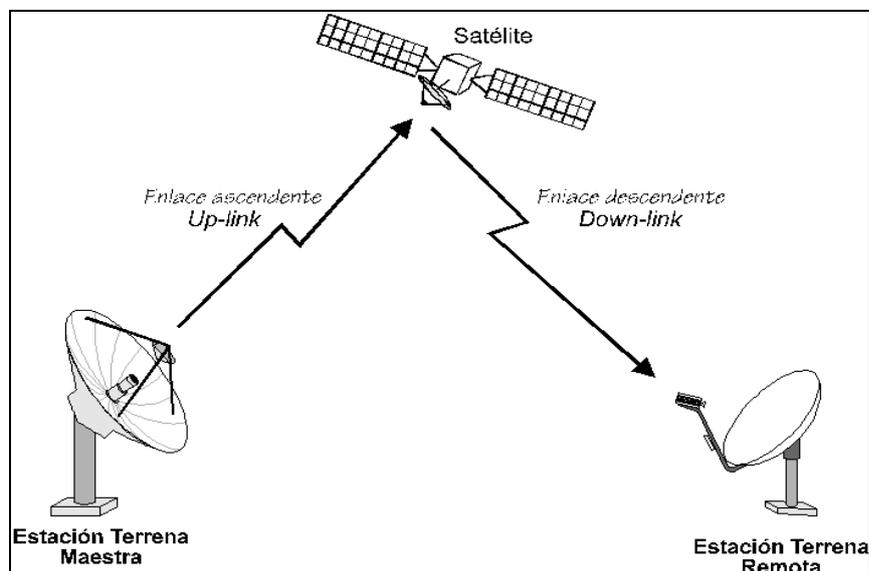
- Recepción simultánea de hasta siete satélites separados 2 grados en una misma antena.
- Fácil actualización a este sistema.
- Expansión económica.
- Disponible para antenas de diámetros comprendidos entre 4.5 y 9 metros.

### 3.3 LIMITES DE VISIBILIDAD

Idealmente, cada estación terrestre debería ser apuntada con un haz. Sin embargo, un satélite en órbita geoestacionaria, ve dos estaciones separadas (Ver Figura N. 34), a 300 km. bajo una separación angular de  $0.5^\circ$ , lo cual llevaría un diámetro de la apertura de unos 11.3 m. a 4 GHz. Es decir, cuanto más resolución terrestre se desee, mayor deberá ser el diámetro de apertura de la antena del satélite. Además se necesitaría un alimentador para la antena del satélite por cada estación terrestre.

FIGURA N. 34

#### ESTACIONES TERRENAS CON RESPECTO AL SATELITE



FUENTE: <http://www.eveliux.com.html>

Es por todo ello que se alcanza un compromiso entre cobertura global y un haz por estación terrestre, que es la cobertura zonal. Puesto que cada vez la órbita geoestacionaria está más concurrida y las comunicaciones son cada vez más complejas aparece la necesidad de reutilizar frecuencias.

### 3.4 ORBITA GEOESTACIONARIA

Las órbitas geoestacionarias están entre los 35800 Km a 36000 km de la Tierra. Son las que mejor se conocen por muchos satélites empleados en

diversos tipos de telecomunicaciones, incluida la televisión. Las señales de estos satélites pueden enviarse a todo el mundo. Las señales de telecomunicaciones se desplazan en línea recta, por lo que es necesario que los satélites queden estacionarios en las mismas posiciones relativas a la superficie de la Tierra.

### Parámetros típicos de la órbita geoestacionaria.

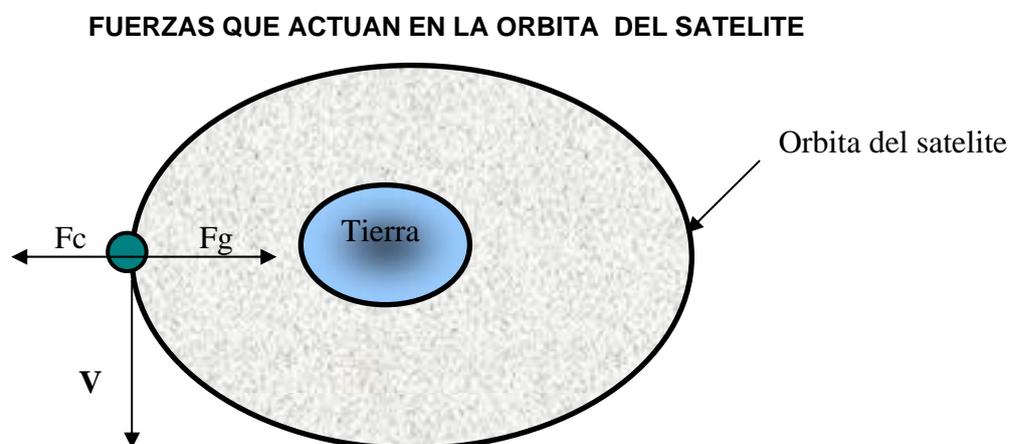
Es posible calcular algunos parámetros típicos de la órbita geoestacionaria, tales como la altura del satélite, o la velocidad del mismo, partiendo de las leyes básicas de la Física.

Como es sabido un satélite geoestacionario tiene un periodo de rotación igual al de la Tierra, por lo tanto deberemos saber con exactitud dicho periodo de rotación. Para ello se considera el día sidéreo, que es el tiempo de rotación de la Tierra medido con respecto a una estrella lejana y que difiere del día solar o medido con respecto al sol.

La duración de este día sidéreo es de 23h 56 min. 4.1seg, y es el tiempo que usaremos en nuestros cálculos.

Si hiciésemos la consideración de que la Tierra fuese realmente esférica y con una densidad uniforme, su masa equivalente podría considerarse como puntual y su fuerza de atracción sobre un satélite de masa  $m$ , respondería a la ley de gravitación universal de Newton, esta fuerza puede expresarse como:

FIGURA N. 35



$$F_g = G * \frac{mM}{r^2} \quad (01)$$

Donde:

M: Es la masa de la Tierra,  $5.98 \times 10^{24}$  kg.

G: Es la constante de gravitación universal,  $6.67 \times 10^{-11}$  N.m<sup>2</sup>/kg<sup>2</sup>.

r : Distancia desde el satélite al centro de la Tierra.

m: Masa del satélite.

V: Velocidad del satélite

Fc: Fuerza centrífuga

Fg: Fuerza de gravedad

T: Periodo de rotación del satélite

Además dado que el satélite se encuentra en una órbita circular, existirá una fuerza centrífuga  $F_c$  debida a su movimiento alrededor de la Tierra, de igual magnitud pero opuesta a la fuerza  $F_g$ , en consecuencia el satélite se encuentra en una situación de equilibrio.

$$F_c = \frac{mV^2}{r} \quad (2)$$

De la ecuación (2) se puede despejar la velocidad del satélite (**V**):

$$V = \sqrt{\frac{GM}{r}} \quad (3)$$

El periodo de rotación T, del satélite es:

$$T = \frac{2\pi \cdot r}{V} \quad (4)$$

Reemplazando (3) en (4) y despejando el radio r, nos queda:

$$r = \sqrt[3]{GM \left( \frac{T}{2\pi} \right)^2} \quad (5)$$

Como un satélite geoestacionario tiene un periodo de rotación T igual al de la Tierra, dicho periodo será entonces, la duración de un día sidéreo (23h 56min 4.1seg).

Por lo tanto de la expresión (5) podemos obtener la distancia del satélite al centro de la Tierra, y si a este valor le restamos el radio terrestre  $R=6370$  km, obtendremos la altura de la órbita geoestacionaria. Por ultimo de la expresión (3) se obtiene la velocidad del satélite. (Autor: <http://ec.europa.eu/research.html>,2007)

Todos estos parámetros se han resumido en la tabla N. 04:

**TABLA N. 04**

**PARÁMETROS DE UNA ÓRBITA GEOESTACIONARIA IDEAL**

Periodo del satélite (T)	23 hr, 56 min, 4.1seg
Radio de la Tierra $R$	6370 Km
Altitud del satélite (h)	36000 Km
Radio de la Órbita (d)	42157 Km
Inclinación respecto al ecuador	0
Velocidad tangencial del satélite (v)	3074 Km/seg
Excentricidad de la Órbita	0

FUENTE:[www.orbitaeliptica.htm](http://www.orbitaeliptica.htm)

Adicionalmente se debe considerar las principales perturbaciones en que se ve afectada una orbita geoestacionaria. Las mismas que se deben tomar en cuenta para la correcta ubicación de un satélite geoestacionario en esta orbita, así se puede resumir algunas de estas perturbaciones tal como muestra la tabla N. 05.

TABLA N. 05

## PRINCIPALES PERTURBACIONES DE UNA ÓRBITA GEOESTACIONARIA

CAUSA	EFEECTO
Atracciones de la luna y el sol.	Cambio en la inclinación de la órbita (0.75 a 0.95)
Asimetría del campo gravitacional terrestre (triaxialidad)	Cambios en la posición de longitud del satélite ("deriva", movimiento este-oeste), al alterar su velocidad.
Presión de la radiación solar	Acelera al satélite, cambio en la excentricidad de la órbita (la cual se manifiesta como una variación en longitud), ocasiona giros si la resultante no incide en el centro de la masa.
Estructura no homogénea	Giros alrededor de su centro de masa.
Campo magnético terrestre	Giros, pero menos significativos.
Impacto de meteoritos	Modificación de posición y orientación, posibles daños a la estructura.
Movimientos internos del satélites, (antenas, arreglos solares, combustible), etc.	Pares mecánicos variación del centro de masa

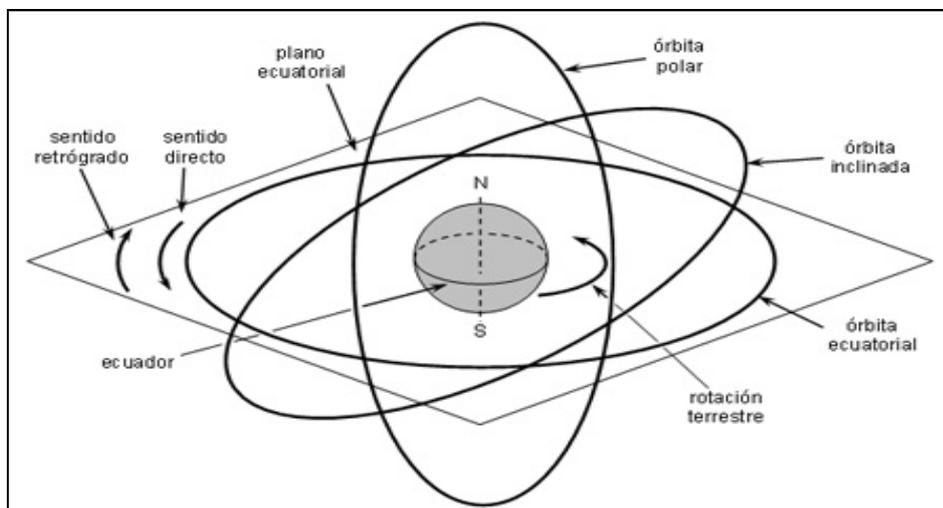
FUENTE: <http://gps.gov/systems.html>

### 3.5 ORBITAS DE LANZAMIENTO

Los satélites pueden operar con diferentes clases de órbitas terrestres. Las órbitas más comunes para satélites de medio ambiente son las geoestacionarias y las polares, pero algunos instrumentos también vuelan en órbitas inclinadas. Es posible tener otra clase de órbitas, como las órbitas de Molniya que se usan comúnmente para satélites soviéticos.

FIGURA N. 36

#### TIPO DE ORBITAS



FUENTE: <http://www.anahuac.mx/ingenieria/>.html

#### Órbitas Polares

Los satélites que vuelan en órbitas polares proporcionan una visión más global de la Tierra, girando con una inclinación (ángulo entre el plano ecuatorial y el plano de la órbita del satélite) cerca de la polar (una verdadera órbita polar tendría una inclinación de 90 grados). Orbitando a una altura de 700 u 800 Km., estos satélites cubren de mejor forma las partes del mundo más difíciles de cubrir in situ (en el sitio). Estos satélites operan en una órbita sincronizada con el sol. El satélite pasa cada día el ecuador y cada latitud a la misma hora solar local, lo cual quiere decir que el satélite pasa por encima de nuestras cabezas a la misma hora solar a lo largo de todas las estaciones del año. Esta

característica permite recolección regular de datos en horas consistentes así como comparaciones a largo plazo. El plano orbital de una órbita sincronizada con el sol debe también rotar aproximadamente un grado al día para mantenerse con respecto a la Tierra.

### **Órbitas inclinadas**

Tienen una inclinación entre 0 grados (órbita ecuatorial) y 90 grados (órbita polar). Estas órbitas pueden estar determinadas por la región de la Tierra que es de mayor interés (es decir, un instrumento que quiera estudiar los trópicos debería ser situado en un satélite de baja inclinación), o por la latitud del lugar de lanzamiento. La altura de la órbita de estos satélites generalmente es del orden de unos cientos de kilómetros por lo que el periodo orbital es del orden de unas cuantas horas. Sin embargo, estos satélites no están sincronizados con el sol y, por tanto, ven cada lugar de la tierra a diferentes horas.

Una vez definidos los tipos de servicios, el análisis de la arquitectura del sistema impone la selección de una configuración orbital conveniente en términos de características de constelación, área de cobertura, utilización de servicio y aspectos de handover. La elección de la órbita influye sobre la densidad de satélites y por consiguiente en el lanzamiento y los procesos de posicionamiento de cada satélite de la constelación. Hay cuatro tipos principales de órbitas:

- la órbita geoestacionaria (GEO)
- la órbita elíptica alta (HEO: Highly Elliptical Orbit)
- la órbita cercana a la Tierra (LEO: Low-Earth Orbit)
- la órbita circular intermedia (ICO: Intermediate Circular Orbit o MEO: Medium-Earth Orbit).

Los principales aspectos de cada tipo de órbita, sus ventajas y sus inconvenientes son resumidos para proporcionar elementos de comparación significativos (Ver Figura N. 37).

FIGURA N. 37

## BANDAS DE FRECUENCIAS Y ORBITAS

FUENTE: <http://www.upv.es/satelitesistemas.html>

**ICO LA ÓRBITA ICO (O MEO).** A una distancia entre 10000 y 14000 km de la superficie de la Tierra, las características (ventajas e inconvenientes) de esas constelaciones de satélite se hallan entre aquellas de las órbitas geoestacionarias y aquellas de las órbitas LEO.

**GEO LA ÓRBITA GEOESTACIONARIA**

**HEO LA ÓRBITA HEO.**

Principales ventajas:

- Excelente ángulo de vista sin obstrucciones (más que 50° en cualquier lugar de Europa); una gran elevación reduce también las pérdidas atmosféricas.

- Gran período de visibilidad de cada satélite (para las familias Molniya y Tundra el intervalo de visibilidad es de unas 6 y 12 horas respectivamente).

Principales inconvenientes:

- Para proporcionar una cobertura continua es necesario disponer de una constelación de satélites. En comparación con el caso de una órbita geoestacionaria, necesita más lanzamientos.
- Cuando está en posición visible, el satélite se halla a una distancia a la Tierra próxima a la de una órbita geoestacionaria.
- La categoría de lanzadores es la misma que para órbitas geoestacionarias.

### **LEO LA ÓRBITA LEO**

- Altura: entre 500 y 2000 km.
- Periodo: unos 100 minutos.

Principales ventajas:

- Los satélites están cerca de la Tierra, reduciendo los efectos de retraso de la señal.
- La baja altura de la órbita permite una reducción considerable de la potencia necesaria en el satélite y en la Tierra.
- Necesita una categoría de lanzadores más barata que en el caso de las órbitas geoestacionaria y HEO.

Principales inconvenientes:

- Son necesarios numerosos lanzamientos para proporcionar la cobertura requerida en términos de elevación y continuidad en la región de servicio.
- La constelación de satélites puede necesitar un diseño orbital complejo (cada satélite tiene que estar en una fase conveniente) y un mantenimiento orbital sofisticado.
- Puede ser difícil reducir el número de satélites para satisfacer servicios continuos (o casi continuos) a escala regional.

- El dominio de inclinación visto por un mismo usuario cambia durante el paso del satélite, esto requiere una configuración apropiada de la ganancia de la antena de a bordo.
- La búsqueda del satélite puede ser necesaria para el terminal.
- Importancia de los efectos Doppler.

## **ORBITAS ELEGIDAS**

Además de las características técnicas, la elección del tipo de órbita puede resultar en primer lugar de consideraciones económicas, intentando utilizar los sistemas de satélite que ya están empleados. Así, para proporcionar un servicio de telecomunicaciones móviles, existen empresas que sigue empleando sus satélites geoestacionarios. Pero para lograr su propósito de un sistema telefónico portátil mundial que permita a una persona hablar con el otro lado del mundo con un pequeño portátil manual, serán necesarios nuevos satélites, más pequeños y de órbita más cercana a la Tierra. En efecto, la gran distancia entre los satélites geoestacionarios y la Tierra necesitaría una potencia y antenas mayores en los satélites para establecer la comunicación con un terminal móvil tan pequeño. Además, todavía existe el problema del retraso de la señal que no permite una comunicación en tiempo real de buena calidad. Luego, para conseguir la cobertura, la capacidad y las características requeridas para servicios de telefonía móvil vía satélite.

La empresa INMARSAT de España, estudió una serie de propuestas

Opción 1: Conservar las órbitas geoestacionarias existentes estableciendo un sistema perfeccionado (de satélites geoestacionarios) similar en la configuración orbital pero más potente y con mayores antenas que las de los satélites existentes.

Opción 2: Una combinación de satélites de órbita geoestacionaria y de órbita cercana a la Tierra (LEO).

Opción 3: Un sistema bastante más complicado de órbita geoestacionaria y circular intermedia (MEO).

Finalmente, el proyecto INMARSAT-P que posteriormente se llamará ICO se está desarrollando con un sistema de satélites MEO. Sin embargo, el concepto de sistema telefónico portátil mundial atrae la atención de muchos, utilizando directamente las órbitas MEO o LEO. Así nacieron varios proyectos como Odyssey y Ellipso para las órbitas MEO o como Globalstar, Constellation, Iridium y Teledesic para las órbitas LEO. Todos tienen también la ambición de ser operativos hacia el 2010. Los sistemas más viables han sido bautizados como Big LEOs: Odyssey, ICO, Globalstar, Iridium y Teledesic.

(Autor, <http://www.servitel.es/htm,2007>).

### **TIPOS DE ORBITAS:**

#### Clasificación por centro:

- **Órbita galactocéntrica:** una órbita con centro en una galaxia. El Sol sigue este tipo de órbita en su movimiento alrededor de la Vía Láctea.
- **Órbita heliocéntrica:** una órbita alrededor del Sol. En el Sistema Solar, los planetas, cometas y asteroides siguen esa órbita, además de satélites artificiales y basura espacial.
- **Órbita geocéntrica:** una órbita alrededor de la Tierra. Existe aproximadamente 2.465 satélites artificiales orbitando alrededor de la Tierra.
- **Órbita aerocéntrica:** una órbita alrededor de Marte.

#### Clasificación por altitud:

- **Órbita baja terrestre (LEO):** una órbita geocéntrica a una altitud de 0 a 2.000 km.
- **Órbita media terrestre (MEO):** una órbita geocéntrica con una altitud entre 2.000 km y hasta el límite de la órbita geosíncrona de 36000 km. También se la conoce como órbita circular intermedia.
- **Órbita alta terrestre (HEO):** una órbita geocéntrica por encima de la órbita geosíncrona de 36000 km. También conocida como órbita muy excéntrica u órbita muy elíptica.

Clasificación por inclinación:

- **Órbita inclinada:** una órbita cuya inclinación orbital no es cero.
- **Órbita polar:** una órbita que pasa por encima de los polos del planeta. Por tanto, tiene una inclinación de  $90^\circ$  o aproximada.
- **Órbita polar heliosíncrona:** una órbita casi polar que pasa por el ecuador terrestre a la misma hora local en cada pasada.

Clasificación por excentricidad:

- **Órbita circular:** una órbita cuya excentricidad es cero y su trayectoria es un círculo.
- **Órbita de transferencia de Hohmann:** una maniobra orbital que traslada a una nave desde una órbita circular a otra.
- **Órbita elíptica:** una órbita cuya excentricidad es mayor que cero pero menor que uno y su trayectoria tiene forma de elipse.
- **Órbita de transferencia geosíncrona:** una órbita elíptica cuyo perigeo es la altitud de una órbita baja terrestre y su apogeo es la de una órbita geosíncrona.
- **Órbita de transferencia geoestacionaria:** una órbita elíptica cuyo perigeo es la altitud de una órbita baja terrestre y su apogeo es la de una órbita geoestacionaria.
- **Órbita de Molniya:** una órbita muy excéntrica con una inclinación de  $63,4^\circ$  y un período orbital igual a la mitad de un día sideral (unas doce horas).
- **Órbita tundra:** una órbita muy excéntrica con una inclinación de  $63,4^\circ$  y un período orbital igual a un día sideral (unas 24 horas).
- **Órbita hiperbólica:** una órbita cuya excentricidad es mayor que uno. En tales órbitas, la nave escapa de la atracción gravitacional y continua su vuelo indefinidamente.
- **Órbita parabólica:** una órbita cuya excentricidad es igual a uno. En estas órbitas, la velocidad es igual a la velocidad de escape.
- **Órbita de escape:** una órbita parabólica de velocidad alta donde el objeto se aleja del planeta.

- **Órbita de captura:** una órbita parabólica de velocidad alta donde el objeto se acerca del planeta.

#### Clasificación por sincronía:

- **Órbita síncrona:** una órbita donde el satélite tiene un periodo orbital igual al periodo de rotación del objeto principal y en la misma dirección. Desde el suelo, un satélite trazaría una analema en el cielo.
- **Órbita semisíncrona:** una órbita a una altitud de 12.544 km aproximadamente y un periodo orbital de unas 12 horas.
- **Órbita geosíncrona:** una órbita a una altitud de 36000 km. Estos satélites trazarían una analema en el cielo.
- **Órbita geoestacionaria:** una órbita geosíncrona con inclinación cero. Para un observador en el suelo, el satélite parecería un punto fijo en el cielo.
- **Órbita cementerio:** una órbita a unos cientos de kilómetros por encima de la geosíncrona donde se trasladan los satélites cuando acaba su vida útil.
- **Órbita aerosíncrona:** una órbita síncrona alrededor del planeta Marte con un periodo orbital igual al día sideral de Marte, 24,6229 horas.
- **Órbita aeroestacionaria:** una órbita aerosíncrona circular sobre el plano ecuatorial a unos 17.000 km de altitud. Similar a la órbita geoestacionaria pero en Marte.
- **Órbita heliosíncrona:** una órbita heliocéntrica sobre el Sol donde el periodo orbital del satélite es igual al periodo de rotación del Sol. Se sitúa a aproximadamente 0,1628 UA.

#### Otras órbitas:

- **Órbita de herradura:** una órbita en la que un observador parecer ver que órbita sobre un planeta pero en realidad orbita con el planeta.
- **Punto de Lagrange:** los satélites también pueden orbitar sobre estas posiciones.

A continuación se muestra en la tabla N. 06, un resumen de los tipos e orbitas que existen.

TABLA N. 06

## RESUMEN DE LOS TIPOS DE ORBITAS

<b>Tipos de órbita</b>	<b>Altura sobre el nivel del mar</b>	<b>Velocidad del satélite</b>	<b>Función del satélite</b>	<b>Ventajas</b>
Órbita baja	250-1 500 km	25 000-28 000 km/hr.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comunicaciones y observación de la Tierra.</li> </ul>	Poco retraso en las comunicaciones. Se requiere menor potencia.
Órbita polar	500-800 km sobre el eje polar	26 600-27 300 km/hr.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clima</li> <li>• Navegación.</li> </ul>	Están perpendiculares sobre la línea del Ecuador, por lo que pueden observar distintas regiones de la Tierra.
Órbita geoestacionaria	36000 km sobre el Ecuador	11 000 km/hr.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comunicaciones</li> <li>• Clima.</li> <li>• Navegación</li> <li>• GPS.</li> </ul>	Al dar la vuelta a la Tierra a su misma velocidad, siempre observa el mismo territorio
Órbita elíptica	Perigeo (cuando está más cerca de la Tierra) 200-1 000 km Apogeo (cuando está más lejos) ~ 39 000 km	~ 34 200 km/hr. ~ 5 400 km/hr.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comunicaciones</li> </ul>	Servicios a grandes latitudes.

FUENTE: WWW.INFO satelite2006satélitesartificiales.htm