
Capítulo 1 Satélites Geoestacionarios

Los satélites artificiales nacieron a partir de la carrera tecnológica realizada entre Estados Unidos y la extinta Unión Soviética a mediados del siglo XX, siendo los segundos los que lograron lanzar con éxito, el día 4 de octubre de 1957, al primer satélite artificial, el llamado Sputnik I. A partir de este importante avance tecnológico, el desarrollo de satélites ha ido avanzando cada vez más rápido.

Cinco años después, el lanzamiento del satélite Telstar I, el primer satélite de comunicaciones activo, marcaría el inicio de las comunicaciones vía satélite creando el primer enlace televisivo internacional.



Figura 1-1: Telstar I, primer satélite de comunicaciones.

Hay una gran variedad de satélites, ya sea por el tipo de órbita, por su tamaño, por su peso, por la distancia respecto a la Tierra, etc. Sin embargo hay un cierto tipo que, de acuerdo a sus características especiales, es muy utilizado para los servicios de comunicaciones, los llamados satélites geoestacionarios.

Gracias a los satélites geoestacionarios, se puede tener una amplia cobertura de zonas terrestres que son de difícil acceso, por lo que no se podría llegar a ellos utilizando otros medios, por ejemplo fibra óptica. Se utilizan para la radiodifusión, la telefonía móvil, la transmisión de datos a altas velocidades, entre muchas otras aplicaciones que, en la actualidad, son indispensables para la sociedad.

1.1 Las órbitas LEO, MEO y GEO

De acuerdo a la distancia entre un satélite y la Tierra, las órbitas satelitales se dividen en 3 tipos: órbitas bajas (LEO), órbitas medias (MEO) y órbitas geoestacionarias (GEO). Las LEO se ubican a aproximadamente 800 km. Las órbitas MEO se ubican entre 10 000 km y 12 000 km de la Tierra. Y las GEO están ubicadas a 35 786 km de la Tierra.

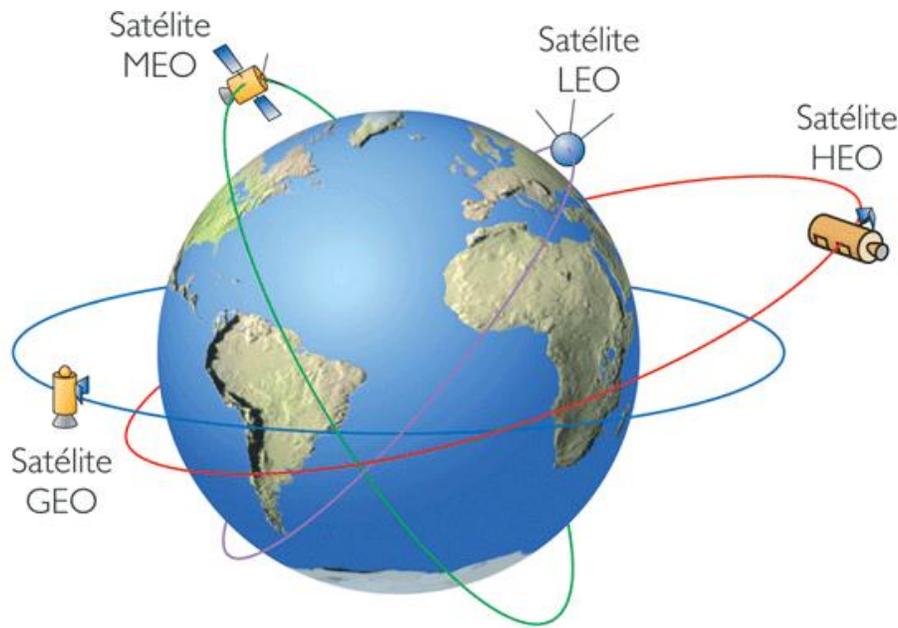


Figura 1-2: Órbitas satelitales

Existen importantes características que se deben analizar para la colocación de un satélite en órbita, ya que es necesario conocer las ventajas y desventajas de cada opción, ya sea para LEO, MEO o GEO. Las órbitas LEO y MEO se ubican a menor distancia de la Tierra comparándolas con la órbita GEO, esto tiene como ventajas una menor atenuación de la señal al realizar un enlace satelital (entiéndase un enlace satelital como la comunicación entre una o varias bases terrenas con un satélite, ya sea al transmitir y/o recibir información a través de ondas radioeléctricas). Una mayor atenuación, como sucede con la señal que se recibe de un satélite geoestacionario, requerirá que se utilicen receptores con mayor sensibilidad que puedan captar la señal transmitida. La otra ventaja es un menor retraso de la señal recibida, esto es fácil de notar debido a que un satélite geoestacionario, al estar más lejos con respecto a la Tierra, provocará que la señal tenga que viajar más distancia a comparación de una señal transmitida por un satélite de órbita media, y más aún con uno de órbita baja.

A pesar de las evidentes desventajas de la órbita GEO con respecto a las órbitas LEO y MEO, existen marcadas ventajas que le han permitido ser una de las opciones preferidas para sistemas de comunicación terrestres.

La más clara ventaja de esta órbita nos la da su nombre y es, por tanto, su principal característica: el término geoestacionario se refiere a tener un satélite que al mirar al cielo, siempre se observa como un punto en el mismo lugar, o sea que no tiene un movimiento aparente. Esta característica permite que sea más fácil, para los sistemas terrestres, ubicar al satélite, ya que siempre estará en la misma dirección, a comparación de los satélites ubicados en órbitas LEO y MEO, los cuales nunca están fijos en el cielo, lo que dificulta su seguimiento por sistemas terrestres, por ello es necesario utilizar constelaciones de satélites en éstas órbitas, ya que de otra forma, es muy probable que se llegue a perder la conexión debido a que los satélites se mueven y al desplazarse de un lado al otro del cielo, terminan por desaparecer de la vista y los sistemas de seguimiento tendrían que esperar a que el satélite diera una vuelta a la Tierra para volver a visualizarlos.

Otra ventaja es la zona de cobertura que pueden manejar los satélites geoestacionarios, ya que, además de ser una zona fija, es amplia con respecto a satélites de órbitas más cercanas a la Tierra, esto es porque las antenas de los satélites, al tener una mayor distancia con respecto a la Tierra, podrán abarcar zonas más grandes de acuerdo a su patrón de radiación, además el tener una zona fija permite ofrecer servicios de manera eficiente.

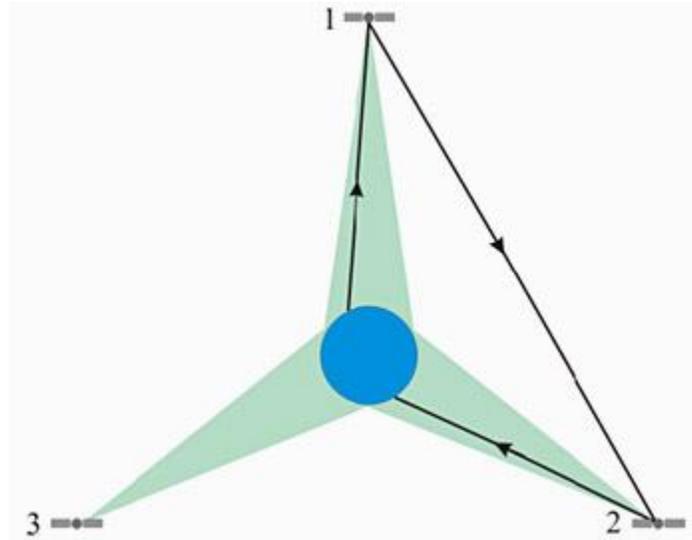


Figura 1-3: Cobertura global utilizando 3 satélites geoestacionarios.

Por estas razones, los satélites geoestacionarios son una elección recurrente para los servicios de Telecomunicaciones, aunque algunos servicios, como la telefonía móvil, suelen utilizar satélites en órbitas bajas debido a las ventajas que se mencionaron anteriormente.

Cabe aclarar que los satélites no solo son utilizados para servicios de Telecomunicaciones, también tienen diversas aplicaciones como en sistemas de detección o como una ayuda en la elaboración de mapas muy precisos de la Tierra, inclusive para cuestiones meteorológicas, en cuyos casos se utilizan satélites en órbitas bajas que mientras se mueven “recorren” distintas zonas de la superficie terrestre capturando imágenes o midiendo patrones.

1.2 Características de los satélites geoestacionarios

Como ya se mencionó, los satélites geoestacionarios se ubican en la órbita geoestacionaria (GEO), la cual tiene características muy especiales con respecto a cualquier otra órbita utilizada para colocar satélites.

La primera característica es que la órbita GEO es geosíncrona. Esto quiere decir que el periodo orbital de cualquier satélite que se encuentra en ella es de 24 horas, o sea que al satélite le toma un día completo en girar alrededor de la Tierra, mismo tiempo que tarda ésta en girar sobre su propio eje, por ello el satélite parece estar fijo en el cielo cuando se le observa desde la superficie terrestre.

Para que la órbita pueda ser geoestacionaria se cumplen 2 cosas: la primera es que la órbita es circular, siendo el perigeo (punto de la órbita más cercano a la Tierra) y el apogeo (punto de la órbita más lejano a la Tierra) iguales, a diferencia de las órbitas elípticas que tiene un apogeo y un perigeo distintos; la segunda es que el llamado plano orbital, aquel en el que se encuentra la órbi-

ta, corresponde al plano ecuatorial, el cual divide la Tierra a la mitad, esta característica es la que diferencia a una órbita geosíncrona de una geostacionaria, ya que la órbita geosíncrona puede no estar en el plano ecuatorial, por lo que tendría una inclinación con respecto a éste, en cambio se considera que la geostacionaria tiene una inclinación igual a cero con respecto al plano ecuatorial.

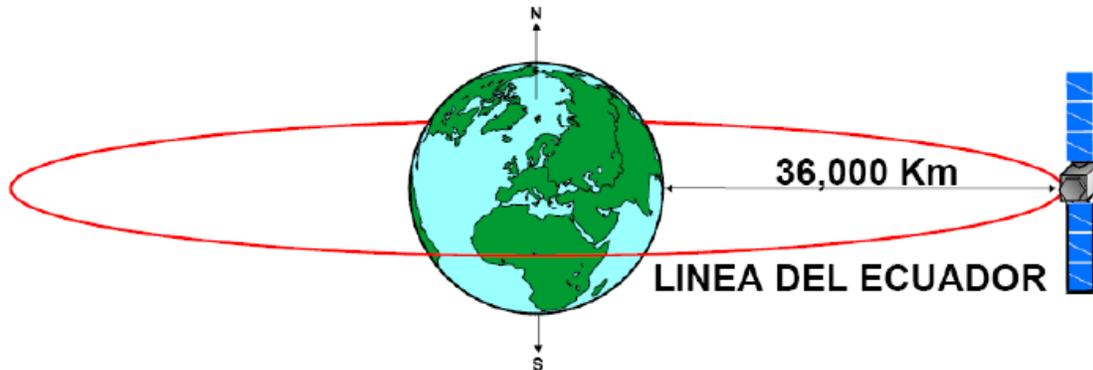


Figura 1-4: Órbita geostacionaria, ubicación respecto a la Tierra.

La altura de la órbita GEO, mencionada con anterioridad, es de 35 786 km, en la cual los satélites deben girar en el mismo sentido que la Tierra a una velocidad orbital de 3.075 km/s, esta velocidad es tangencial a la órbita y permite que el satélite se mantenga en la órbita, de otra forma, con una velocidad menor, el satélite sería atraído a la Tierra, y por el contrario, teniendo una velocidad mayor, el satélite podría salir de la órbita hacia otras más lejanas y podría perderse. Claro está que hay muchos factores que afectan la posición del satélite en la órbita, por lo que este dato es solo teórico y solo sirve como una guía en la práctica.

1.3 Lanzamiento y puesta en órbita de un satélite geostacionario

Al tener construido un satélite, el siguiente paso es llevarlo al centro espacial desde donde será lanzado, pero para ello es necesario saber los costos que conlleva su lanzamiento, los cuales dependen de distintos factores entre los cuales se incluye el ángulo de inclinación que debe tener el plano orbital, que para el caso de un satélite geostacionario es igual a cero, la selección y costo del lanzador, y lo más importante, la selección del centro espacial utilizado para el lanzamiento.

Para la selección del centro espacial es necesario conocer sus coordenadas geográficas. La razón es muy simple, tomando en cuenta el lanzamiento de un satélite geostacionario, se debe colocar en la órbita GEO la cual es coplanar al Ecuador, lo que significa que entre más cercano al Ecuador se encuentre el centro espacial, la potencia para llevar al satélite hacia ese plano orbital será menor, por el contrario, entre más lejos se encuentre del Ecuador, se requerirá de mayor potencia ya que la inclinación con respecto al plano será mayor, por lo tanto se tendrá mayor gasto de combustible, lo que conlleva a un costo mayor en el lanzamiento.

Para el caso de los satélites geostacionarios, que son de gran tamaño y potencia, se necesitan los cohetes más poderosos, también debido a la altura de sus órbitas y a la velocidad a la que se necesitan acelerar los satélites para colocarlos en la llamada órbita de transferencia.

La colocación de un satélite geostacionario en órbita no es un proceso instantáneo, es todo un procedimiento muy cuidadoso y preciso que conlleva el uso de la llamada órbita de transferencia

de Hohmann, nombre dado en honor al científico alemán Walter Hohmann, el cual dedujo una técnica para la colocación de satélites en órbita, dicho proceso se explica a continuación.

Los satélites son lanzados desde la Tierra transportados en un cohete que se coloca en una órbita circular baja. En un punto de la órbita, que se considera como el perigeo, el cohete, en su última etapa, enciende el llamado motor de perigeo, el cual acelera al satélite para dejarlo en una órbita elíptica muy alargada conocida como órbita de transferencia, la cual tiene a su perigeo como punto común de la órbita circular baja en la que se encontraba el satélite, y a su apogeo como punto común de la órbita geoestacionaria. Una vez colocado el satélite en ésta órbita, debe llegar al apogeo, en donde, con el prendido del motor de apogeo, acelerará hasta llegar a una velocidad de 3.075 km/s, para poder colocarse en la órbita geoestacionaria.

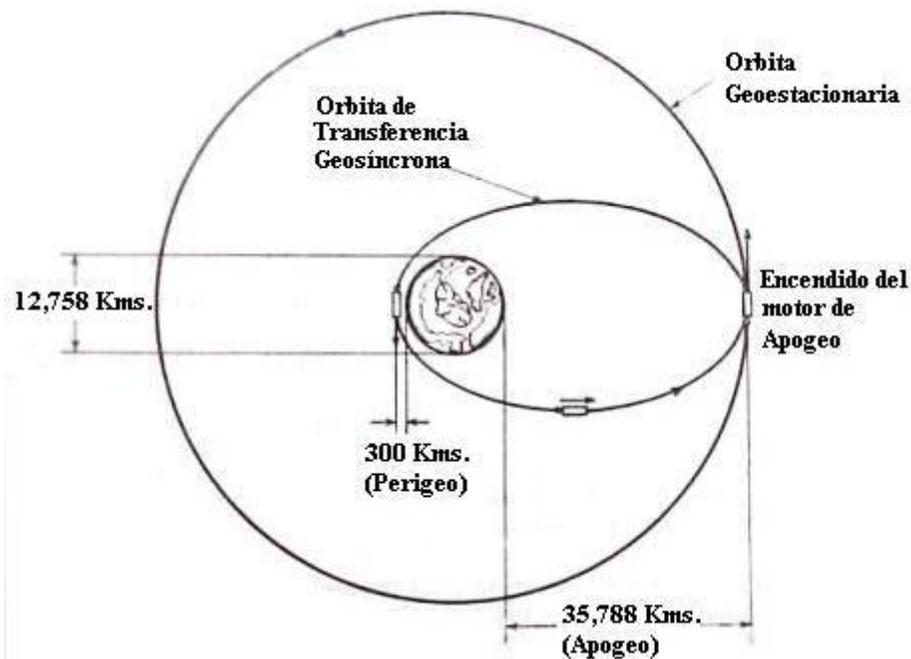


Figura 1-5: Proceso de colocación de un satélite en la órbita geoestacionaria.

En general es un proceso fácil de explicar, sin embargo, el ponerlo en práctica es complicado, ya que se deben de tomar en cuenta muchos factores, por lo que se realiza un estudio previo de la relación entre el tipo de combustible, la eficiencia del motor y el incremento de la velocidad. También es importante tener en cuenta la dirección de la velocidad, ya que, en la realidad, no se realizan lanzamientos exactamente en el Ecuador, por lo que existe una inclinación que se corrige calculando la dirección de la potencia originada con la activación del motor de perigeo del cohete. Con todo esto, el tiempo en que un satélite tarda en colocarse en su órbita y comienza a funcionar se lleva algunas semanas, esto sumado al tiempo de monitoreo que se tiene en el que se checa si el satélite es completamente funcional porque, muchas veces, el viaje en el cohete puede llegar a dañar al satélite, lo que claro está dentro de la póliza de seguro que representa un gasto adicional a los costos técnicos de lanzamiento.

1.4 Posiciones orbitales de los satélites geoestacionarios

La órbita geoestacionaria es única en su tipo, ya que por sus características especiales, permite un gran desarrollo de las comunicaciones a grandes distancias, sin embargo, al ser sólo una órbita, se

considera como un recurso muy demandado y que, a pesar de su perímetro de aproximadamente 265 000 km, longitud en la que se podrían colocar un gran número de satélites, tiene una capacidad limitada.

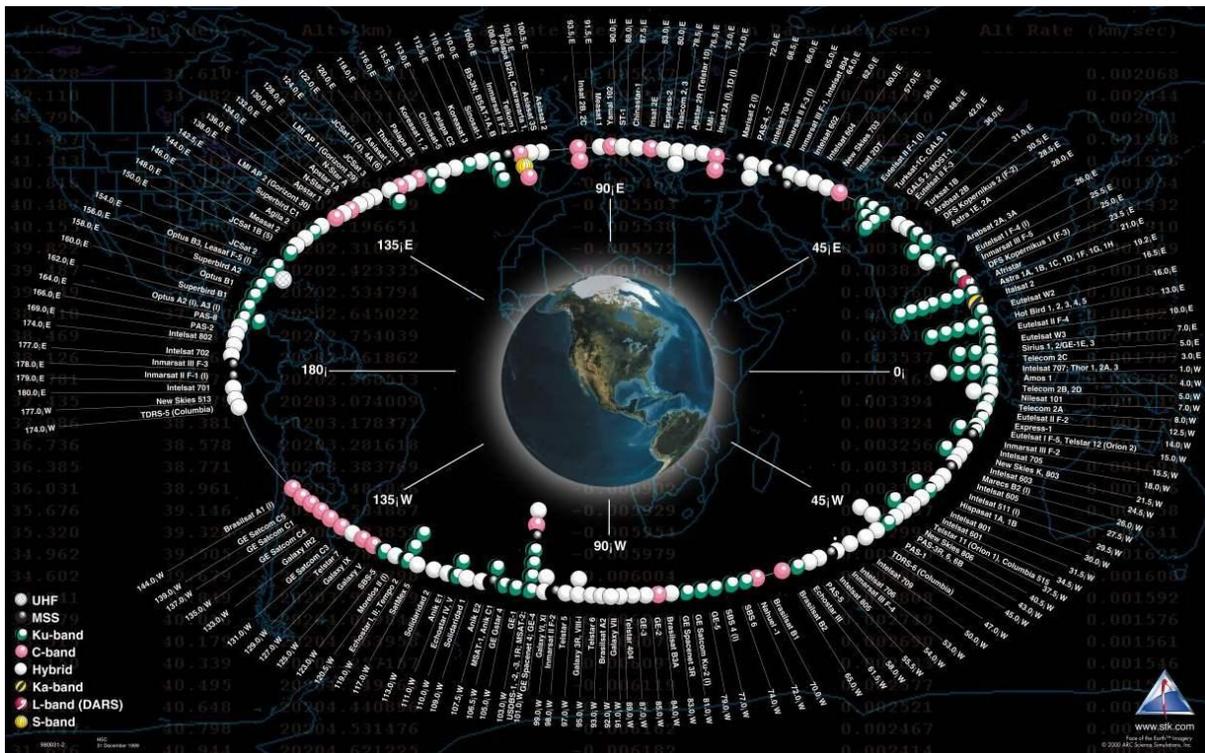


Figura 1-6: Posiciones orbitales.

La limitante es que los satélites usan antenas, las cuales tienen un cierto patrón de radiación. Si dos satélites están a corta distancia uno de otro, podrían llegar a interferirse debido a la radiación generada por sus antenas, por lo que es necesario colocarlos lo más lejos posible para impedir interferencias, pero hay que tomar en cuenta que la órbita estará poblada por muchos más satélites, por lo que se divide la órbita geoestacionaria en posiciones orbitales.

La separación en grados entre satélites vecinos está regida por los niveles permisibles de interferencia radioeléctrica, con el fin de garantizar la buena calidad de la transmisión y recepción de cada uno, especialmente si funcionan en bandas de frecuencias similares. Se debe de tomar en cuenta que los patrones de radiación de las antenas de los satélites (generalmente platos parabólicos), deben cumplir con normas internacionales y los propietarios de los satélites vecinos deben vigilar y coordinar las posibles situaciones de interferencias mutuas, con el fin de evitarlas o reducirlas al mínimo, en particular cuando, por congestiónamiento del arco, sus unidades estén físicamente más cerca de la media. Se considera como congestiónamiento de arco a las zonas en que existe una alta densidad de satélites en una parte del arco de la órbita, por ejemplo en longitudes útiles como América o Europa.

Las posiciones orbitales se determinan a partir de la posición de 0° sobre el meridiano de Greenwich, de allí se comienzan a determinar las demás hacia el Este o hacia el Oeste, por ejemplo el satélite Sátmex 5 está colocado en la posición 116.8° O.

1.5 Ventana de posicionamiento

Una vez que un satélite es puesto en órbita, tomando en cuenta que todo el proceso se realizó con éxito, y se encuentra activo y funcionando con normalidad, la siguiente tarea es monitorearlo.

De acuerdo a lo que ya se explicó, el satélite no debe causar problemas de interferencia ni degradaciones de la calidad de las señales recibidas o transmitidas por él, y por lo tanto debe permanecer ahí lo más fijo que se pueda. A pesar de la gran velocidad que lleva con la cual gira alrededor de la Tierra, el satélite debe permanecer en la órbita geoestacionaria y además nunca perder la orientación de las antenas las cuales tienen que apuntar hacia la Tierra o hacia el lugar en el que le permite dar el servicio para el que está diseñado. Sin embargo, existen muchas fuerzas que se encargan de no permitirle al satélite cumplir del todo con sus objetivos. Estas fuerzas empujan y tiran de él de un lado a otro y no permiten que se quede en un mismo punto. Por ello, los satélites cuentan con un subsistema de propulsión, controlado por órdenes a control remoto desde un centro de control ubicado en tierra, que les ayuda a corregir su orientación y posición.

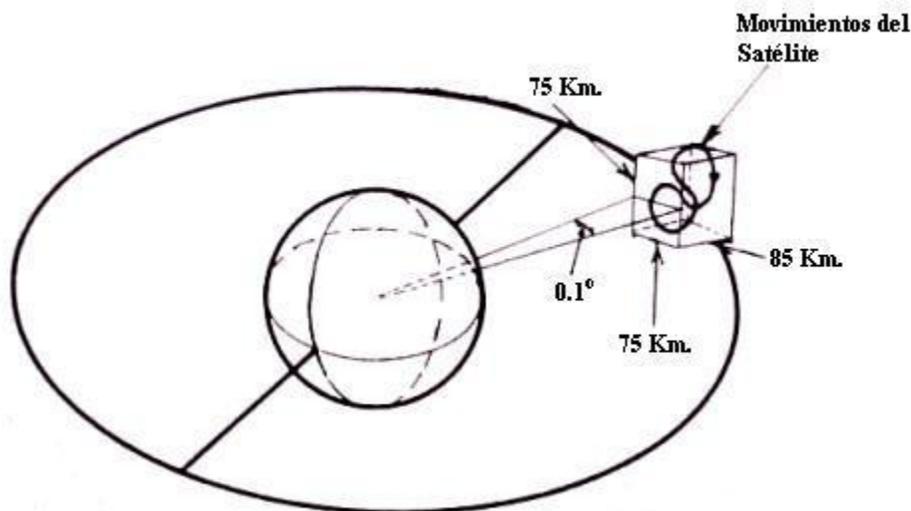


Figura 1-7: Ventana de posicionamiento de un satélite geoestacionario.

Debido al constante desplazamiento del satélite hacia varias direcciones, el subsistema de propulsión se encarga de mantener al satélite dentro de una zona de tolerancia. Ésta zona es una especie de caja imaginaria dentro de la cual el satélite puede estar moviéndose sin problema, pero no puede salir de ella, a ésta caja se le conoce como ventana de posicionamiento.

Para mantener al satélite dentro de la ventana de posicionamiento, hay que tener un seguimiento constante para observar su posición y encender el subsistema de propulsión por control remoto antes de que salga, para así hacerlo volver hacia el otro lado de la caja. Para realizar estas maniobras se necesita precisamente un centro de control espacial informatizado en tierra, y que el satélite le envíe cierto tipo de información que le permita a los operadores y a los ordenadores hacer sus cálculos para decidir acertadamente en qué momento realizar las maniobras.

De las distintas fuerzas perturbadoras que afectan la posición y orientación del satélite, existen 3 que se consideran las más significativas y que demandan un mayor incremento de velocidad generado gracias al subsistema de propulsión: La triaxialidad del campo gravitacional terrestre, que no es más que la fuerza del campo gravitacional de la Tierra que afecta al satélites; La atracción gravi-

tacional del Sol y la Luna, que son de baja magnitud pero que de todas formas afectan; y la presión de la radiación solar. Estas fuerzas tienen como consecuencias desviaciones norte-sur (inclinación de la órbita) y este-oeste (progresión en longitud), considerando que las correcciones norte-sur generan un mayor gasto de combustible que las correcciones este-oeste.

1.6 Vida útil de un satélite geoestacionario

Las perturbaciones que afectan la posición del satélite provocan que se tenga que utilizar un subsistema de propulsión para corregir dicha posición, pero para activar el propulsor se necesita combustible, sin embargo, el combustible dentro de un satélite no puede durar para siempre, por lo que representa una limitación en el tiempo de vida útil. Así es que, la cantidad de combustible determina el tiempo que un satélite puede durar trabajando, ya que acabándose el combustible no hay otra forma de poder corregir la posición, por lo que se pierde el control sobre él.

Después de varios años de trabajo normal y de correcciones para mantener el satélite dentro de su ventana de posicionamiento, el combustible se agota; entonces es preciso desactivarlo, para evitar posibles interferencias radioeléctricas con otros sistemas satelitales cercanos. Sin embargo, el artefacto que va a ser desactivado no permanece en su antiguo hogar o ventana de posicionamiento, ya que lo más seguro es que se esté preparando otro satélite que supla al que ha llegado al fin de su vida útil en la misma posición orbital para mantener la continuidad del servicio de telecomunicaciones e incluso mejorarlo con tecnologías más avanzadas. Por lo tanto, la última reserva de combustible es utilizada para impulsarlo hacia una órbita superior a la órbita geoestacionaria. Se escoge una órbita superior porque, el ponerlo en una órbita inferior representaría un peligro, considerándolo como desecho o chatarra espacial que podría afectar en la colocación de satélites nuevos.

Los satélites impulsados al final de su vida útil hacia la nueva órbita de retiro o “cementerio de los satélites”, como se le conoce comúnmente, pueden quedar a una altitud adicional que va desde unos 100 km hasta varios cientos de kilómetros.

Después de que un satélite es desorbitado y apagado permanece en órbita alrededor de la Tierra, describiendo en su trayectoria una figura o traza semejante a la de un número ocho todos los días. Esta traza crece con el tiempo, conforme aumenta la inclinación progresiva del plano orbital hasta llegar a una posición de equilibrio en el que el satélite permanecerá errante a aproximadamente 100 km de la órbita geoestacionaria.