

Física de los ingenios espaciales

Por Pablo López, Año de la Física 2005

En 1957 se lanzaron al espacio exterior los primeros satélites. En enero de 2005 la sonda Huygens penetró en la atmósfera de Titán. Entre estos dos acontecimientos se ha conseguido alcanzar varias veces la Luna y la sonda Voyager ya ha abandonado el Sistema Solar en su camino hacia el espacio profundo.

Toda esta "frenética actividad" es una consecuencia de la determinación que tiene la humanidad de ampliar cada vez más sus horizontes. El principal handicap que se tiene para la ampliación de estos límites es inherente al lugar que nos acoge, La Tierra, y se llama gravedad. La gravedad es la responsable de mantenernos unidos a la superficie terrestre y evitar que nos desprendamos y "salgamos volando" de la misma como consecuencia de la fuerza centrífuga. Como contrapartida, la gravedad es también la principal responsable de que cualquier objeto, incluido el ser humano, pueda viajar al espacio exterior, no sin un gasto energético por unidad de masa bastante considerable.

El objetivo de este artículo es hablar de los principios básicos que rigen la mecánica y funcionamiento de los vehículos espaciales. Pues bien, el primer episodio de nuestro viaje es escapar a la acción del campo gravitatorio...

Si lanzáramos una piedra horizontalmente y de forma hipotética prescindimos del rozamiento que tendría con el aire, acabaría cayendo unos metros delante de nosotros como resultado de la fuerza que la tierra ejerce sobre la piedra. Si el impulso que se diera a la piedra fuera algo mayor, ésta caería unas decenas de metros más allá de donde cayó la primera vez. Si nuestro brazo fuera tan fuerte que no hubiera limitación en el impulso en los sucesivos lanzamientos, la piedra iría cayendo cada vez más lejos, hasta que con un determinado y fortísimo impulso se daría una velocidad tal a la piedra que iría tan lejos que "nunca" terminaría de caer al suelo, se quedaría en estado de "permanente caída" y, siguiendo con las suposiciones, si la tierra no fuera rugosa llegaría un momento en el que la piedra nos pegaría en el cogote después de haberle dado una vuelta completa a la misma. Se puede decir que en ese momento habríamos fabricado un satélite artificial. La velocidad a la que sucede eso es de alrededor de 20.000 km/h. Si se sigue aumentando la velocidad del impulso inicial y la altura a la que se lanza la piedra se alcanzaría otra velocidad muy característica, la velocidad de escape, alrededor de 40.000 km/h. Esta velocidad es la necesaria para escapar por completo de los efectos de la atracción terrestre, y la piedra iniciaría su camino por el espacio exterior.

Se ha dicho que para situar un objeto fuera de la atmósfera terrestre o del alcance del campo gravitatorio hay que darle un impulso lo suficientemente grande como para alcanzar la velocidad de escape, y dicho impulso deberá ser mayor cuanto más grande sea la cantidad de masa que se desea elevar.

El fin fundamental de situar un objeto en el espacio exterior es mantenerlo orbitando alrededor de un planeta, en este caso la Tierra. La gravedad, paradójicamente, es además de un handicap para escapar de la tierra, el principal "combustible" para el

funcionamiento de los vehículos espaciales. ¿Cómo es posible esto? Una vez situado el vehículo allá afuera, es el campo gravitatorio terrestre y de los demás cuerpos celestes el que se utiliza para mantener en equilibrio dinámico en una determinada órbita o para impulsar con sus efectos al vehículo en caso de viaje interplanetario...

Pero aún estábamos en el primer episodio de nuestro viaje al espacio exterior, la principal tarea. El efecto propulsor que se utiliza en todos los lanzamientos hacia el espacio está basado en la tercera ley de Newton o principio de acción y reacción.

Una combustión genera siempre una expansión de gases y, por supuesto, una presión en todas las paredes del recipiente que la contiene. Suponiendo el recipiente con forma cilíndrica y abierto por uno de sus extremos, la presión ejercida sobre las paredes laterales se compensa y neutraliza el efecto neto, mientras que en el eje longitudinal donde está la abertura los gases de la combustión ejercen presión sobre la pared de un extremo y sobre el otro salen libremente. El resultado neto de los efectos de la combustión es que la presión ejercida por los gases en la pared opuesta a la abertura hace que el recipiente se desplace en la dirección contraria a la salida de los mismos. El mismo efecto que eleva a los cohetes pirotécnicos por encima de nuestras cabezas es también el que nos va a enviar al espacio exterior.

Una combustión continua durante todo el proceso de lanzamiento y escape de la tierra proporciona el empuje necesario para alcanzar la velocidad de 11 km/seg necesaria para poner cualquier masa en órbita: La magnitud de la velocidad a alcanzar nos da una idea de la cantidad de combustible necesario para mantener una combustión el tiempo necesario. Esto hace que un cohete eficaz tendrá siempre un peso estructural reducido en comparación al peso del combustible que transporta. La razón entre el peso del combustible y el peso total en el momento de despegar es del 90%. El satélite, al abandonar la plataforma de lanzamiento, debe adquirir a la vez altura y velocidad horizontal. El cohete puede ser orientado en cualquier dirección comprendida entre la vertical (adquirida rápidamente pero con un gran gasto de combustible), y la que forma un ángulo tal sobre el horizonte. Esta última opción permitiría adquirir antes la velocidad de escape deseada pero con un grave inconveniente, el peso que debería soportar la estructura sería tan grande que probablemente acabaría colapsando bajo su propio peso antes del despegue. Resumiendo pues, parece que nuestra primera etapa del viaje será en un cohete a reacción cuyo 90% de masa será combustible y con posición inicial de lanzamiento vertical que, según vaya ganando altura y velocidad, irá cambiándose a horizontal hasta alcanzar la velocidad y altitud deseadas.

Ya estamos escapando de la tierra y por encima de la atmósfera, pero la idea es quedarse orbitándola; en este viaje no pretendemos salir por completo del campo gravitatorio, queremos quedarnos pero no sabemos a qué altitud ni con qué velocidad. Una de las primeras consideraciones en el diseño del viaje es el cálculo de la órbita adecuada al fin perseguido. Para un mismo sistema de lanzamiento, la órbita escogida determina el peso máximo transportable en el satélite; para alcanzar órbitas superiores se reduce el peso, lo que provoca un conflicto peso-potencia, al ser necesario incrementar la planta suministradora de potencia para que el satélite pueda cumplir su misión. Todo ello lleva a pensar la gran variedad de órbitas que por la configuración de sus parámetros (excentricidad, inclinación del plano orbital, periodo, etc.) y por la altitud a la que se sitúa el satélite, son idóneas para los distintos y cada vez más usos y aplicaciones dados a los ingenios orbitales.

Atendiendo a los distintos parámetros, las órbitas pueden ser circulares (excentricidad nula) o elípticas ($0 < e < 1$). Órbitas LEO de baja altitud y órbitas HEO de alta altitud. Polares, con plano orbital que contiene a los polos terrestres y ecuatoriales y que coincide con el del ecuador terrestre. Sin olvidar las órbitas utilizadas por los satélites de comunicaciones, que orbitan el plano ecuatorial pero con una característica, su velocidad angular se corresponde con la de la rotación terrestre, lo que, situado a una altitud determinada, da como resultado una posición fija con respecto a la vertical terrestre sobre la que se situó en su momento inicial, por eso se les llama satélites geosincrónicos o geoestacionarios GEO. En definitiva, el proceso de situar un satélite en órbita es dotarlo de la suficiente energía potencial para luego transformarla en cinética o movimiento, y como se ha podido ver, la solución final en la elección de los parámetros suele ser una solución de compromiso.

Suponiendo que nuestro viaje es para cartografiar las zonas polares de la tierra, se podría escoger una órbita polar, de baja altitud o LEO y con excentricidad cero, o lo que es lo mismo, órbita circular, así estaríamos en todos los puntos de la órbita a la misma altitud lo que probablemente simplificaría la labor de observación. Llegados a este punto se plantean dos problemas que tienen que ver con el control y estabilización del satélite en su trayectoria.

Uno de los controles que se deben resolver es el propio movimiento del satélite dentro de su trayectoria orbital. La velocidad de traslación está íntimamente relacionada con la altitud a la que orbita, a mayor altitud menor velocidad de traslación. Esta velocidad no está exenta de perturbaciones como pueden ser las debidas al campo gravitatorio luna, o el propio rozamiento con las capas más altas de la atmósfera, problema éste muy común en los satélites LEO. Por todo ello, son de gran importancia el control y estabilización de la velocidad para no salirse de la órbita prefijada y acabar perdiendo el satélite.

El otro gran problema a resolver es el control de actitud, es decir, de la posición relativa de los ejes del vehículo con respecto a la tierra. La misión de nuestro viaje era cartografiar las zonas polares, por lo que es necesario situar algún instrumento de observación orientado constantemente a la vertical del lugar por el que se esté sobrevolando. Al igual que en el control orbital, se debe preservar a la actitud de las interferencias exteriores, algo tan simple como el choque con una pequeña partícula, sobre todo a las velocidades que se alcanzan allá arriba, podría hacer cambiar por completo la posición y situar el instrumento de observación en cualquier otra dirección que dejaría inservible el satélite.

Para la resolución de los problemas planteados anteriormente y lograr que el vehículo mantenga su estado dinámico dentro de las especificaciones fijadas, se establecen las funciones de determinación y control, tanto de actitud como de órbita. La determinación orbital y de actitud se basa fundamentalmente en sensores que en cada momento están informando de las variaciones que se "observan" relativas a la posición o velocidad especificadas o nominales. La estabilización y control se realizan con varios métodos y mecanismos, habiendo uno que por su sencillez en la estabilización de actitud es utilizado en gran cantidad de satélites, y que está basado en la rigidez giroscópica de un sistema con alto momento angular, conseguido a través de hacer girar el vehículo alrededor de su máximo eje principal de inercia cuya dirección permanece constante en el espacio salvo perturbaciones.