

SELECCIÓN DE ÓRBITAS DE LOS SATÉLITES OCEANOGRÁFICOS

J.J. MARTINEZ.

Departamento de Física Aplicada. E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona.

RESUMEN

Se describen las características de las órbitas requeridas, traza y repetitividad para las misiones de oceanografía espacial en relación a las medidas a realizar por sus sensores, así como los sistemas de seguimiento y cobertura para la determinación de las mismas. Especial atención se dedica al satélite europeo ERS-1 y su interrelación con las medidas altimétricas y la determinación de la superficie topográfica marina.

ABSTRACT

The characteristics of the required orbits, satellite ground track and repetition period are described for space oceanographic missions in relation to the measurements made by their sensors. Special attention is dedicated to the european satellite ERS-1 and its relation with altimetric measurements and determination of the sea-surface topography.

1. INTRODUCCION

La selección de la órbita para una misión espacial representa en general un compromiso entre las funciones requeridas a realizar por el satélite y las características geométricas y dinámicas de su movimiento, es decir, entre los sensores y la órbita en que se mueve.

Esta selección se basa esencialmente en el análisis de misión que comprende los aspectos siguientes: lanzador, satélite (plataforma e instrumentación), ventanas de lanzamiento, segmento terrestre y cobertura por las estaciones, órbitas posibles y plan de desarrollo que incluye diferentes etapas pre y post lanzamiento.

En el caso de los satélites de teledetección, sus órbitas son o bien geoestacionaria con observación fija de una gran parte del globo terrestre, útiles en meteorología, o casi circular a relativa baja altitud. La cobertura global es su gran ventaja.

Las perturbaciones más importantes que se producen son las debidas a los factores siguientes: el potencial terrestre, la atmósfera, los efectos luni-solares y la presión de radiación debida al Sol o a la Tierra. En las órbitas cercanas a la Tierra las dos primeras suelen ejercer un papel predominante.

2. SATÉLITES OCEANOGRÁFICOS

La oceanografía a partir de satélites comenzó con las misiones GEOS-3, SEASAT y NIMBUS-7. SEASAT lanzado el 28 de junio de 1978 fue operacional durante 108 días y fue el primero en llevar un radar de apertura sintética SAR y un escaterómetro, además de un radar altimétrico. Sus aplicaciones consistieron en el estudio de la circulación marina, el geocid, determinación de la dirección e intensidad del viento sobre la superficie marina, movimiento de hielos y procesos costeros. Su órbita tenía una inclinación de 108° y un período de repetición de 17 días, altura de 790 Km, período no-

dal de 100 min aproximadamente y excentricidad de 0,001.

NIMBUS-7 fue lanzado el 24 de octubre de 1978. Estuvo destinado a estudios oceanográficos, meteorológicos y del medio ambiente. Además de un radiómetro de microondas SMMR, y del sensor Coastal Zone Colour Scanner CZCS para medir la concentración de la clorofila. Su órbita era heliosincrona con una altitud de 950 Km inclinación de 99° y un período orbital de 104 m.

GEOSAT fue lanzado el 12 de marzo de 1985 en una órbita repetitiva exacta de períodos de 3 y 17 días para estudios geodésicos y oceanográficos. Su altitud era de 800 Km y su inclinación de 108°. Estaba provisto de un altímetro a 13,5 GHz.

Otros satélites oceanográficos han sido los MOS-1 y MOS-1B lanzados en febrero del 1987 y julio de 1990 así como el soviético Almaz lanzado en marzo de 1991, dotado de un SAR y un radiómetro en infrarrojos.

El satélite ERS-1 de la Agencia Espacial Europea ESA, ha sido lanzado el 16 de julio de 1991, estando dedicado a estudios oceanográficos y de medio ambiente. Su instrumentación (Figura 1) opera fundamentalmente en el dominio de las microondas y en consecuencia sus observaciones son independientes de la cobertura nubosa, día/noche, y de la geometría de la iluminación solar. Su instrumentación se compone de los sistemas siguientes:

- AMI Active Microwave Instrumentation: combina las funciones de un SAR y un Wind Scatterometer, escaterómetro de vientos, para medir la velocidad y dirección del viento además de la obtención de imágenes del océano por el SAR, así como de los hielos, zonas costeras y terrestres.
- RA Altimetro radar, suministra medidas de la altitud, altura significativa de las olas y velocidad del viento en la superficie del océano.

- ATSR Along Track Scanning Radiometer, obtiene medidas precisas de la temperatura de la superficie del mar.
- MWS Microwave Sounder, radiómetro pasivo de microondas que da información sobre el contenido atmosférico en vapor de agua.
- LR Retrorreflector Láser pasivo que permite calcular la distancia a las estaciones láser de seguimiento para determinar la órbita precisa y calibración de los datos en soporte de la misión altimétrica.

El ERS-1 ha sido colocado en una órbita heliosíncrona con inclinación de 98,5° y con períodos de repetición de 3 días (Commissioning and Ice Phase), 35 días (Multidisciplinary Phase) para la observación global de la Tierra por imágenes SAR, y de 176 días (Geodetic Phase) favorable para medir la superficie media del mar y el geoide marino, debido a la gran densidad de trazas altimétricas.

Todos estos satélites se basan en que la cobertura del océano puede ser densa y completa, además de que la imagen casi instantánea oceánica puede ser seguida en el tiempo de forma repetitiva y prolongada.

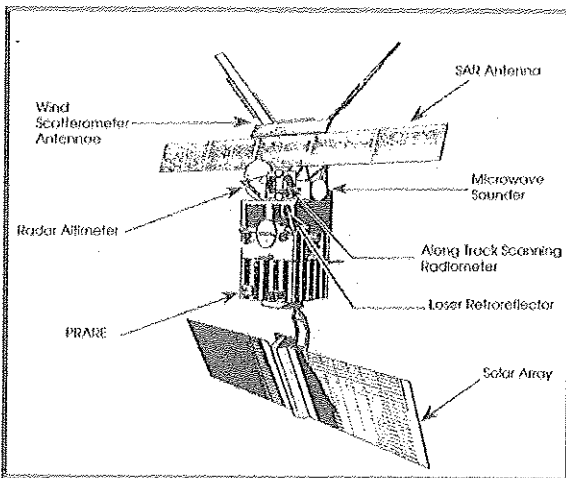


Figura 1.- ERS-1 e instrumentación.

3. LA ÓRBITA HELIOSÍNCRONA

La elección de la órbita de un satélite oceanográfico está basada en los principios de la mecánica espacial y en las características de los sensores embarcados a bordo. Se dedica la atención a la órbita heliosíncrona, ampliamente utilizada como en el ERS-1.

Si la distribución de masas de la Tierra tuviera simetría esférica, el plano orbital permanecería fijo en un sistema de referencia inercial asociado a las estrellas fijas (Figura 2). Sin embargo, debido al achatamiento de la Tierra a causa del armónico zonal J_2 del potencial, se produce una precesión del plano orbital con velocidad angular $\dot{\Omega}$,

$$\dot{\Omega} = -\frac{3}{2} J_2 \left(\frac{gR^2}{a^3} \right)^{1/2} \left(\frac{R}{a(1-e^2)} \right)^2 \cos i$$

La condición de heliosincronismo se obtiene cuando el plano de la órbita precesiona a la misma velocidad del movimiento del Sol en su órbita aparente alrededor de la Tierra. En consecuencia el tiempo local en el nodo descendente permanece constante a lo largo del tiempo con la excepción de una pequeña variación causada por el movimiento no uniforme solar debido al efecto de la excentricidad.

La inclinación de una órbita heliosíncrona es necesariamente mayor de 90°; la Figura 3 muestra la inclinación con respecto a la altitud. La posibilidad de heliosincronismo con la Tierra se pierde a partir de una altitud de 5980 Km aproximadamente.

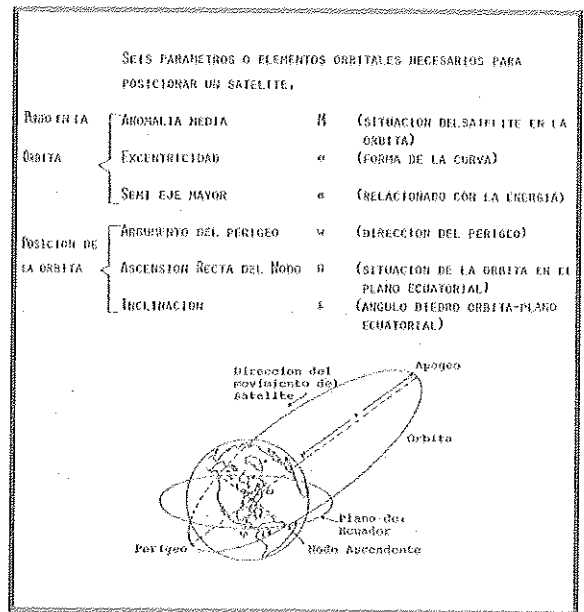


Figura 2.- Elementos orbitales.

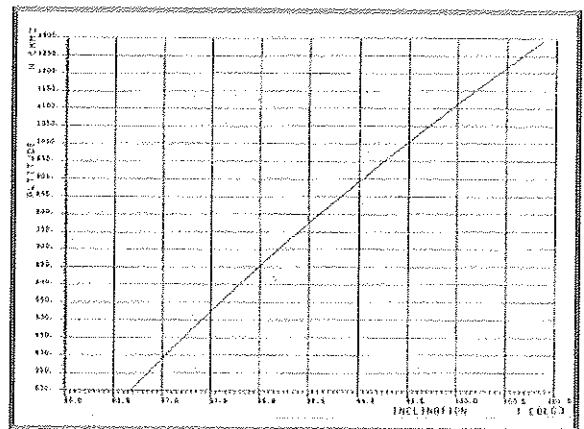


Figura 3.- Órbita heliosíncrona.

Los parámetros fundamentales a escoger para una órbita heliosíncrona son la altitud y el tiempo local al paso del nodo descendente. Se supone trayectoria circular con repercusión favorable en la actualidad de las imágenes obtenidas.

La altitud h determina el periodo orbital $T = 2\pi r^3 / (gR^2)^{-1/2}$, con $r = R + h$, y en consecuencia el tipo de traza sobre la superficie terrestre. Suele ser deseable repetir el tipo de traza sobre la superficie terrestre. Suele ser deseable repetir la traza después de un cierto número de días, obteniéndose por una elección apropiada de h . Si se designa por P_n el periodo nodal, es decir, el tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos Norte-Sur (δ Sur-Norte) por el plano ecuatorial, y por ω_e la velocidad angular de rotación de la Tierra con respecto a una referencia inercial, el espaciado longitudinal S entre trazas consecutivas viene determinado por la relación:

$$S = P_n (\omega_e - \dot{\Omega}) = 2\pi \frac{D}{N}$$

donde D designa el número de revoluciones de la Tierra y N las revoluciones del satélite correspondientes, con

$$P_n = 2\pi \left(\frac{a^3}{gR^2} \right)^{1/2} \left[1 - \frac{3}{2} J_2 \left(\frac{R}{a} \right)^2 (4 \cos^2 i - 1) \right]$$

El factor de repetición $Q = 86400s/P_n$, que es el número de periodos nodales por día puede ser escrito como,

$$Q = A + n/d = N/D$$

donde d es el ciclo de repetición en días y $dA + n$ es el número total de revoluciones nodales dentro del ciclo de repetición.

El satélite ERS-1 ha sido puesto en la configuración $14 + 1/3$, es decir, que su ciclo de repetición es de 3 días realizando 43 revoluciones nodales. Otras configuraciones para su ciclo de repetición son de 35 y 176 días.

Algunas configuraciones de interés fueron propuestas en el pasado, aunque no finalmente adoptadas, como la $14 + 121/350$, Lefèvre (1988) y las sugeridas por ESA en 1986 de $14 + 2/7$, $14 + 4/11$, $14 + 6/17$, $14 + 7/20$ y $14 + 10/29$ además de las tres finalmente escogidas.

Señalamos que estudios específicos de elección de órbitas para los satélites de observación terrestre fue realizado por ESA anteriormente al lanzamiento del ERS-1, en Análisis de Misión, indicando por ejemplo Flury & de Leeuw (1983).

En la misión del ERS-1 la determinación precisa de la órbita es importante. Para estudios oceanográficos globales el método de los arcos grandes de trayectoria es utilizado, mientras que para los aspectos oceanográficos regionales se utilizan arcos pequeños, aunque se requiere un sistema de seguimiento regional denso mediante sistemas láser y dopler. En las Figuras 4 y 5 se muestra el seguimiento láser y las trazas de la misión ERS-1 en el periodo 3-7 septiembre 1991 (Wakker & al., 1991).

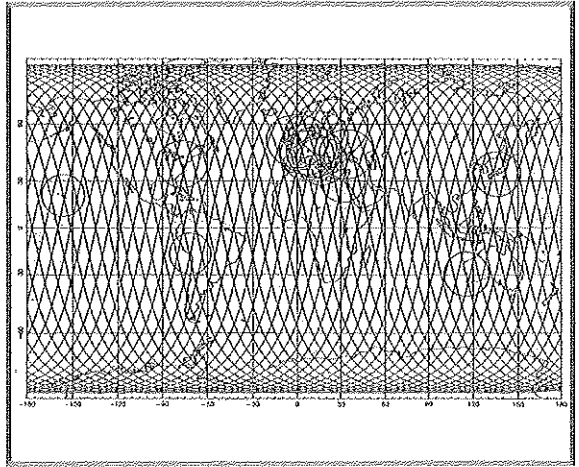


Figura 4.- Cobertura del seguimiento láser del ERS-1 del 31 de julio al 4 de agosto de 1991 (Wakker&al.).

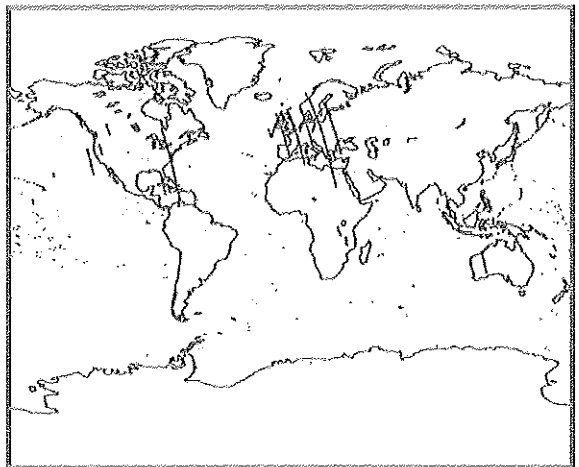


Figura 5.- Trazas del ERS-1 en seguimiento láser durante el periodo 3 al 7 de septiembre de 1991 (Wakker&al.)

4. SATÉLITES ALTIMÉTRICOS

El conocimiento de la topografía de la superficie del mar es un elemento imprescindible para el cálculo de la circulación marina a partir de medidas de campo oceanográficas, por ejemplo el cálculo de corrientes geostróficas por el método dinámico. Generalmente se han realizado medidas por mareógrafos aunque con el inconveniente de su pequeño número y por tanto baja resolución espacial. La red de estaciones de medida del nivel del mar es distribuida por el Permanent Service for Mean Sea Level, Bidston Observatory, con el nombre de GLOSS Station Handbook, en forma de disquette para PC.

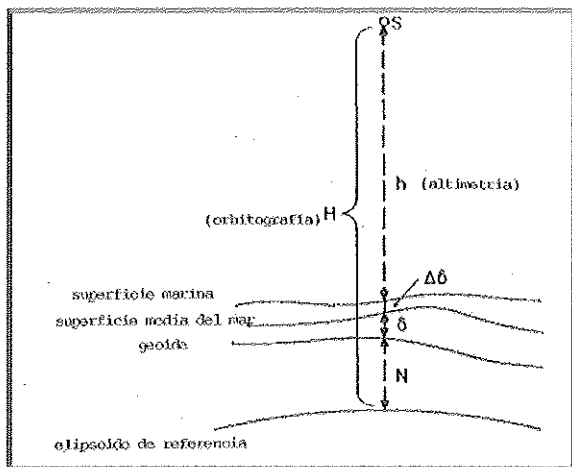


Figura 6.- Medida altimétrica y referencias.

El altímetro permite tener esta información de forma automática una vez resueltos los problemas de extracción de la señal correspondiente. En función de la calidad de la señal pueden resolverse dos aspectos: a baja resolución, la determinación de la topografía media del mar, útil para el cálculo de la circulación regional a escala sinóptica, y en alta resolución la determinación de estructuras marinas de mesoescala, útil en estudios de dinámica de la capa superficial.

En cuanto a los proyectos espaciales actuales, los datos de la misión ERS-1, además de suministrar una información fundamental nueva sobre la circulación oceánica, podrán ser utilizados en combinación con la misión TOPEX/POSEIDON, a lanzar en 1992, aunque esta última tendrá una órbita mejor determinada. Gracias a los vuelos simultáneos durante un cierto período del ERS-1 y TOPEX/POSEIDON, los datos adquiridos por el altímetro de éste en una órbita inclinada de 66° aproximadamente podrán ser utilizados para calibrar los del ERS-1 en órbita heliosíncrona.

El papel del altímetro dentro de la gama de los sensores de microondas en los estudios de circulación oceánica puede verse en Font (1986). En la Figura 6 se representa esquemáticamente la medida altimétrica con respecto las principales referencias y la Figura 7 indica la aplicación del altímetro del SEASAT en el cálculo de la variabilidad de la altura de la superficie marina según Cheney (1983).

Un satélite altimétrico mide el nivel del mar a lo largo de la traza sub-satélite mientras orbita la Tierra. La elección de su órbita para estudios de la circulación oceánica y mareas requiere un conocimiento de las características orbitales que influyen la precisión de las medidas del nivel del mar y la distribución espacial y temporal de las mismas (Parke & al., 1987).

Por otra parte, la circulación oceánica y el volumen total de los hielos en el planeta influyen el clima global. Sus variaciones a largo término no son bien conocidas. La altimetría por satélite es el único método posible que puede suministrar información en dichos aspectos.

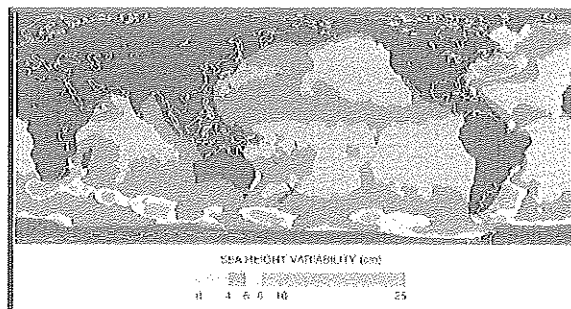


Imagen 1.- Variabilidad de la altura de la superficie marina por altimetría del SEASAT (Cheney & al.) Véase Anexo de color.

La precisión de la medida altimétrica depende críticamente de muchos factores además de la precisión del altímetro en sí, como son la configuración de la órbita, la precisión en la determinación de las órbitas y de las medidas atmosféricas o ionosféricas. A diferencia de muchos otros instrumentos, la efectividad del altímetro no consiste simplemente en añadirlo al resto de una instrumentación dada en el satélite sino que el mayor beneficio se obtiene de una misión dedicada exclusivamente a la obtención de datos altimétricos, como en el caso del TOPEX/POSEIDON. Naturalmente por razones de compromiso en bastantes casos el altímetro comparte la carga útil con un limitado número de sensores compatibles con él, como es el caso del ERS-1 y su órbita heliosíncrona asociada.

Con respecto a la configuración orbital de un satélite altimétrico, los parámetros fundamentales a considerar son los siguientes:

- **Inclinación:** Consideraciones de cobertura geográfica establecen los valores límites de la inclinación. El mínimo valor necesario para observar la corriente circumpolar antártica es de 62° , mientras que para el volumen total de la masa de hielo es casi de 90° . Sin embargo, un valor alto de la inclinación reduce el ángulo agudo entre las trazas ascendente y descendente. Si el ángulo fuera demasiado pequeño, las componentes zonales y meridionales de la pendiente de la superficie marina no podrían ser separadas de una forma precisa. En el caso del TOPEX/POSEIDON el valor de la inclinación ha sido escogido de 66° aproximadamente, debido en parte al estudio de las mareas. En futuras misiones y por razones de estudiar el cambio global se consideran inclinaciones del orden de 82° , para observación de océanos y hielos.
- **Excentricidad:** Los satélites altimétricos deben ser colocados en órbitas de muy pequeña excentricidad, es decir, prácticamente circulares. En este caso se minimiza los errores altimétricos producidos por la incerteza en el cálculo del tiempo transcurrido para cada medida además de que la selección de la frecuencia de repetición de pulsos de radar resulta más sencilla. Por otra parte, el espectro de las perturbaciones orbitales tiene picos con amplitudes que son proporcionales a la ex-

centricidad. Si ésta es inferior a 0,001, dichas perturbaciones proporcionales a potencias elevadas de la misma, resultan ser despreciables.

- Altitud: Para una precisión dada, la demanda de potencia en los radares altimétricos baja cuando la altitud decrece. Además una altitud baja reduce el potencial de riesgo de la instrumentación debido a la radiación. Por otra parte, la precisión de la órbita aumenta con la altitud debido a la disminución de las perturbaciones producidas por el campo gravitatorio terrestre y la atmósfera. Se puede tener una latitud más pequeña si se cuenta con un sistema de seguimiento por las estaciones terrestres más denso debido a un mejor control de estas fuerzas en el proceso de determinación de la órbita. Por ello es recomendable para los satélites altimétricos poseer una relativa alta altitud del orden, al menos, de unos 1200 Km.
- Período de repetición: En principio para las misiones altimétricas tanto órbitas repetitivas como no repetitivas pueden ser consideradas. Sin embargo es general-

mente requerido que las órbitas de dichos satélites sean repetitivas dentro del intervalo ± 1 Km, que ayuda considerablemente en separar la señal de variabilidad oceánica de las variaciones en el geoide a lo largo de las trazas con deriva, que también es aconsejable para estudios de cambio global. La elección del período de repetición es un compromiso entre la resolución espacial y temporal. Normalmente se escoge entre 10 y 20 días, en TOPEX/POSEIDON, se consideró 10 ó 11 días decidiéndose por 10 lo que da un espaciado en el Ecuador de 300 Km aproximadamente.

Finalmente se indica que existe software específico para PC utilizado por personal de la ESA como es el ESOV (Duesmann & al., 1989), que permite relacionar las características geométricas y dinámicas del movimiento del ERS-1 con las medidas a realizar por sus sensores de microondas obteniéndose dónde y cuando las medidas de dichos instrumentos son realizadas sobre la superficie terrestre y que ha sido usado en el proyecto ESP89-673 de la CICYT.

5. BIBLIOGRAFIA

- ✓ DUESMANN, B.; LAGERGREN, P. & FRANCIS, C. (1989): "ERS-1 swath and orbit visualisation: ESOV". ESTEC/ESA ER-TN-ESA-GS-0008.
- ✓ FLURY, W. & DE LEEUW, J. (1983): *SFCG Fourth Annual Meeting*, London. "Possible orbits for Earth exploration satellites".
- ✓ FONT, J. (1986): "Perspectivas en el uso de los sensores de microondas en estudios de circulación oceánica". *1ª Reunión Científica del Grupo de Trabajo en Teledetección*, Barcelona.
- ✓ LEFÈBVRE, M. (1988): "Position paper on ERS-1 sampling capabilities". *Publicación Interna GRGR/CNES*, Toulouse.
- ✓ PARKE, P.; STEWART, R.; FARLESS, L. & CARTWRIGHT, D. (1987): "On the choice of orbits for an altimetric satellite to study ocean circulation and tides". *Journal of Geophysical Research*, Vol.92, nº C11.
- ✓ WAKKER, K.; GAALLEN, W.; NOOMEN, R.; METS, G. & AMBROSIUS, B. (1991): "Some results of ERS-1 orbit computations". *TOPEX/POSEIDON Science Working Team Meeting*, Toulouse.