

DISEÑO PRELIMINAR DE LA TRAYECTORIA PARA UNA MISIÓN INTERPLANETARIA ENTRE LA TIERRA Y SATURNO CON ASISTENCIA GRAVITATORIA NATURAL DE JÚPITER.

Asignatura de Vehículos Aeroespaciales

Enrique García Melendo

Martí Coma Company

David de la Torre Sangrá

Universitat Politècnica de Catalunya, BarcelonaTech (UPC)
Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa
Terrassa Campus, C. Colom, 1 08222 Terrassa. Telèfon 93 739 8102 / 93 739 8200.

1. Definición del problema

Se quiere enviar una misión científica a Saturno. Para llegar al planeta de los anillos se contemplan dos posibilidades. Una es enviar directamente una sonda interplanetaria en una trayectoria elíptica de transferencia de Hohmann cuyo afelio coincida con el radio de la órbita de Saturno, y una vez la nave se encuentra con el planeta, se inserta en una órbita circular a 10^6 km de Saturno entre Rhea y Titán para realizar las observaciones científicas. Para efectuar la transferencia completa necesitamos dos impulsos de velocidad, uno para entrar en la órbita de transferencia heliocéntrica y otro para frenar la nave y realizar la inserción orbital en su encuentro con Saturno.

La segunda posibilidad consiste en enviar la sonda en una trayectoria elíptica heliocéntrica de menor energía que corte la órbita de Júpiter cuyo afelio no alcanza la órbita de Saturno y en su encuentro con Júpiter, realizar una maniobra de asistencia gravitatoria natural que resulte en una nueva trayectoria heliocéntrica con energía suficiente para alcanzar Saturno. En su encuentro con Saturno, la nave se inserta en una órbita circular a 10^6 km de Saturno.

Asumiremos las siguientes simplificaciones:

- Todas las órbitas del estudio, tanto de la nave como las planetarias son coplanares.
- Las órbitas de La Tierra, Júpiter y Saturno son circulares.
- El ΔV aplicado para escapar de la Tierra y necesario para situar la nave en órbita heliocéntrica se aplica de tal manera que la velocidad inicial de la órbita del vehículo alrededor del Sol es tangente a la órbita terrestre.

- La sonda y los planetas respectivos (Júpiter y Saturno) siempre se encuentran en el lugar adecuado para realizar los sobrevuelos o las maniobras de inserción orbital.
- Despreciar la altitud cuando la nave se aproxime o se aleje de un planeta y esté en la esfera de influencia solar. En este caso el radio de la esfera de influencia planetaria se supondrá nulo.

Queremos comparar las dos trayectorias y el ΔV total que necesitamos para situarnos alrededor de Saturno, dato fundamental para los ingenieros de la misión que necesitan determinar la cantidad de combustible necesario y por tanto el peso.

A la hora de presentar el trabajo, seguir los pasos que se exponen a continuación y presentar tanto la teoría como los cálculos experimentales en forma de un artículo técnico que pueda servir como documento de apoyo a otros ingenieros de la misión.

2. Solución según una transferencia de Hohmann

Queremos calcular el ΔV total necesario para poner en órbita alrededor de Saturno nuestra misión espacial. A efectos de comparación con la asistencia gravitatoria natural, queremos calcular una trayectoria de transferencia de Hohmann entre la Tierra y Saturno. Para ello presentar un estudio con los siguientes pasos:

- Calcular el ΔV_0 necesario para escapar de la Tierra en una órbita parabólica cuando se parte de una órbita de aparcamiento terrestre circular situada a una altitud H_0 . Determinar el ΔV_1 necesario para situar la nave en una órbita elíptica heliocéntrica con un afelio igual al radio de la órbita de Saturno.
- Calcular el ΔV_0 necesario para seguir una trayectoria hiperbólica de escape de la Tierra y situar a la nave en una órbita elíptica heliocéntrica cuyo afelio se sitúe en la órbita de Saturno. Representar ΔV_0 en función de la altitud de la órbita de aparcamiento y determinar si con esta maniobra existe una altitud H_0 para la que es posible minimizar el impulso ΔV_0 . Determinar los parámetros de la hipérbola de salida de la esfera de influencia terrestre suponiendo que la asíntota de salida es paralela a la órbita terrestre.
- Determinar los parámetros de la elipse de la órbita de transferencia entre la Tierra y Saturno.
- Cuando la nave se encuentre con Saturno en el afelio de su órbita elíptica dentro de la esfera de influencia de Saturno, ésta se aproximará a Saturno en una órbita hiperbólica por lo que será necesario frenar la nave para insertarla orbitalmente alrededor de Saturno en una órbita circular a una distancia de 1.000.000 km. Determinar el impulso ΔV_2 necesario para realizar la inserción orbital. Suponiendo que la inserción orbital se realiza por el lado diurno del planeta.

3. Asistencia gravitatoria.

El segundo paso consiste en el estudio de una trayectoria a Saturno usando la asistencia gravitatoria de Júpiter. En este caso queremos enviar nuestra sonda interplanetaria en una órbita heliocéntrica que cruce la órbita de Júpiter en dos puntos para estudiar dos posibles trayectorias tras el encuentro con Júpiter. La órbita en la que se quiere lanzar la sonda tiene los siguientes parámetros

- El perihelio es igual al radio de la órbita terrestre (1 UA), que es desde donde se envía la sonda.
- El afelio se encuentra a 5.7 UA del Sol.

La Figura 1 muestra la órbita heliocéntrica de salida de la Tierra y los dos posibles puntos de encuentro con Júpiter.

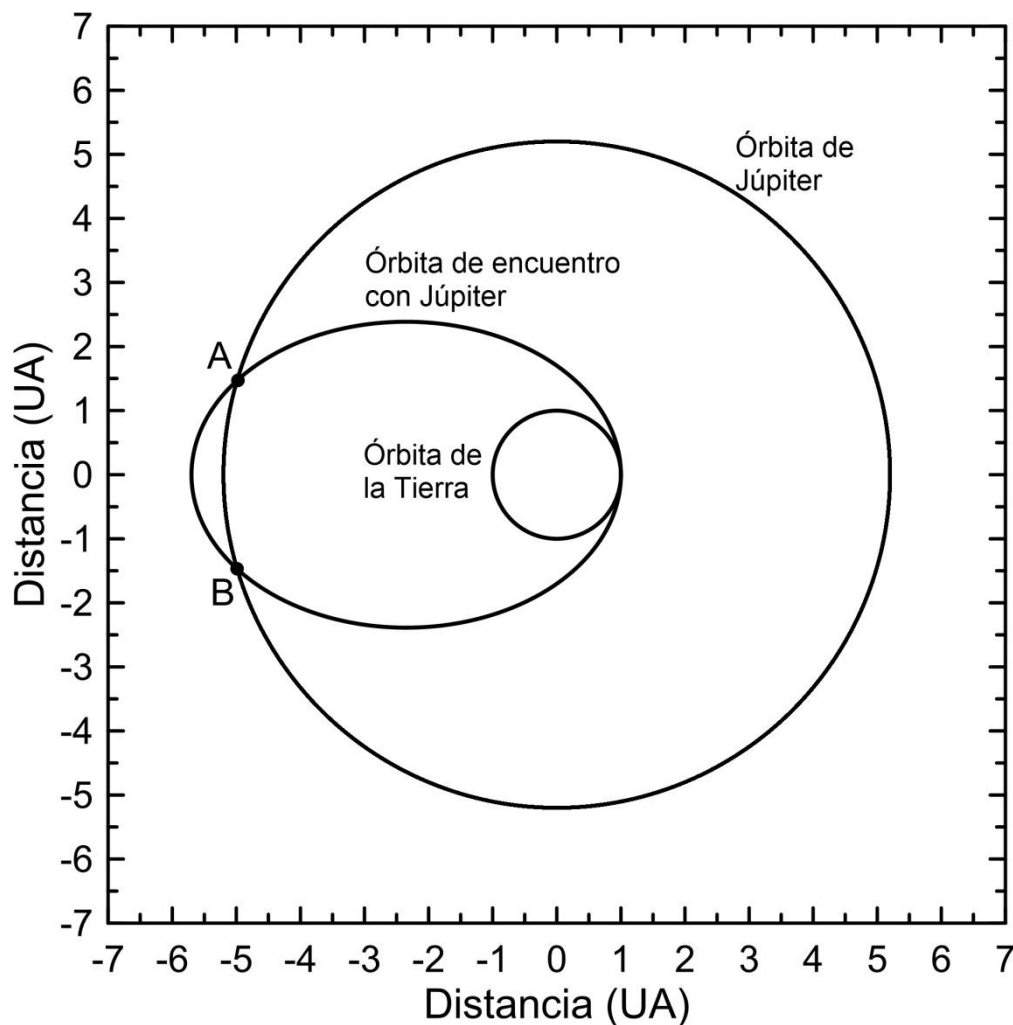


Figura 1. Órbita de encuentro con Júpiter. Existen las opciones de realizar la asistencia gravitatoria en los puntos A o B, que deberemos estudiar en este trabajo.

Realizar el siguiente estudio:

- Igual que en el punto 2, determinar cuál es ΔV y el H_0 óptimos para escapar de la Tierra en la órbita de elíptica de encuentro con los parámetros dados.
- Si el encuentro con Júpiter se efectúa en el punto A determinar el exceso de velocidad \vec{V}_∞^- cuando la nave entre en su esfera de influencia de Júpiter.
- Durante el sobrevuelo de Júpiter, determinar la velocidad de exceso de salida \vec{V}_∞^+ , el ángulo de giro y el radio del periapsis necesarios para alcanzar Saturno en el afelio de la nueva trayectoria heliocéntrica. Habrá que determinar numéricamente cuál es el radio del periapsis del encuentro con Júpiter para que el afelio de la órbita de salida sea igual al radio de la órbita de Saturno. Para ello escribir un programa que use un método numérico sencillo de determinación de las raíces de una función no lineal como por ejemplo el método de Bolzano (bisección) o un Regula Falsi. La función de la cual queremos encontrar el cero es

$$\text{Afelio_órbita_de_salida} (r_a) - \text{Radio_órbita_Saturno} = 0.$$

Una vez determinado r_a , calcular los elementos de la elipse de salida, y de la hipérbola de sobrevuelo de Júpiter.

- Calcular el módulo de la velocidad heliocéntrica de salida tomando los dos ángulos de giro (positivo y negativo) y comentar el resultado. Compararlo con la velocidad de escape del Sol.
- Determinar el ΔV_I necesario para realizar la inserción orbital alrededor de Saturno según se especifica al inicio del problema. Sumar los impulsos totales absolutos de velocidad de la misión.
- Repetir los puntos del estudio para el punto de encuentro B con Júpiter.
- Tanto para la transferencia de Hohmann como para los casos A y B de asistencia gravitatoria calcular los tiempos de vuelo desde la Tierra hasta Saturno.

Finalmente en el trabajo compararemos los resultados obtenidos para la transferencia de Hohmann y la asistencia gravitatoria.

4. Estilo de la presentación y gráficos.

Se requiere que el trabajo se redacte con una estructura de artículo técnico/científico con los siguientes puntos:

- Título y autores.
- Incluir un abstract o resumen inicial del trabajo.

- Incluir una introducción con algunos ejemplos de misiones reales que hayan usado la asistencia gravitatoria. En la introducción incluir los objetivos del trabajo, y de formar breve, de las diferentes secciones del trabajo.
- Presentar la metodología y los resultados en las secciones correspondientes de forma clara y estructurada.
- Presentar las conclusiones del estudio.
- Incluir la bibliografía y fuentes de información empleadas.
- Incluir el software usado en un apéndice.

Algunos consejos:

- Ilustrarlo adecuadamente con gráficas que ayuden a entender los resultados. Cuanto más apoyo gráfico a los conceptos y resultados mejor.
- Maquetar adecuadamente el trabajo (texto, figuras, referencias, etc.) para su lectura sea lo más fácil y agradable posible. Pueden consultarse ejemplos de artículos científicos y/o técnicos.
- Detallar la formulación y exponerla claramente en cada parte del artículo pero evitar las repeticiones. En su lugar hacer referencias a las secciones o fórmulas donde se expongan por primera vez.
- Incluir siempre las dimensiones de cualquier magnitud que se mencione en el artículo y en las gráficas.
- Presentar todas las gráficas con unidades que sean intuitivamente adecuadas. Por ejemplo usar unidades astronómicas para las distancias interplanetarias en lugar de kilómetros, o radios planetarios para trayectorias alrededor de un planeta.
- El código que se entregue debe estar bien organizado, con comentarios que expliquen el problema que se resuelve en cada puntos, el contenido de las funciones, las estructuras de las soluciones, etc. Puede usarse cualquier lenguaje de programación como C/C++, Python, Matlab, Fortran, etc.