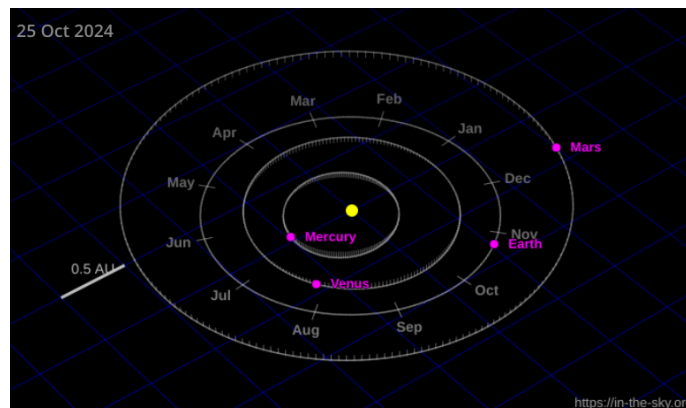


## Desafío Marte / Trayectoria

¿Cuál sería la fecha que elegirían para el despegue y por qué? Aclarar cómo estarían las posiciones de los planetas en esa fecha y si es posible acompañar con un gráfico.

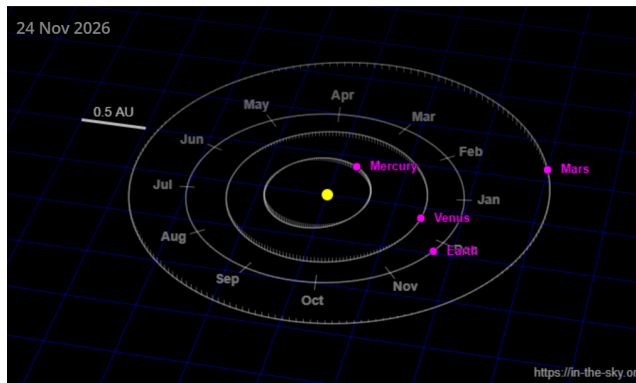
**FECHA DE LANZAMIENTO NO TRIPULADO:** 25 Octubre, 2024

Esta es una fecha para la cual falta alrededor de 16 meses, y en la cual queremos hacer un lanzamiento de prueba para corroborar todos los cálculos realizados, con el objetivo de amartizar remotamente una nave no tripulada que contendrá víveres adecuadamente empacados al vacío y deshidratados, combustible y suministros que los astronautas usarán y necesitaran en su misión cuando ellos lleguen. Este lanzamiento es muy importante, pues nos permitirá corregir cualquier error que se pudiera cometer tanto en el área de cálculos como en el área de resistencia de materiales y tecnologías necesarias para el éxito de la misión.



**FECHA DE LANZAMIENTO TRIPULADO:** 24 Noviembre, 2026

Esta es una fecha para la cual faltan alrededor de 2 años y medio, el cual es tiempo suficiente para conseguir a la tripulación, capacitarla de acuerdo al plan mostrado en la etapa 2 y que puedan estar completamente entrenados y enfocados para tener éxito en esta misión. Además, la fecha cumple con las condiciones de que Marte tiene que estar aproximadamente  $44^\circ$  adelante de la Tierra para poder hacer una transferencia de Hohmann.



### ¿Cuánto demoraría el viaje a Marte?

259 días, ya que se tarda alrededor de 517 días en completar una transferencia de Hohmann completa y para llegar a Marte se usa la mitad de la órbita y la mitad del tiempo.

### Una vez arribados a Marte, ¿cuánto tiempo más deberían esperar para poder volver a la Tierra y por qué?

454 días, esto se debe a que cuando llegamos a Marte la Tierra se encuentra a  $75.14^\circ$  adelante de Marte, por lo cual para poder usar la misma trayectoria que de ida hay que esperar a que Marte se encuentre a  $75.14^\circ$  adelante de la Tierra. Además, esto nos da el suficiente tiempo para que los astronautas puedan hacer todos los experimentos que necesitan realizarse en la superficie de Marte.

### Definir la órbita de transferencia, también de mínima energía, y calcular el tiempo total de duración de la misión, en lo posible incluyendo un cuadro con las fechas.

Para el cálculo de la órbita de transferencia, se harán algunas simplificaciones con el fin de que sean claros para todo el equipo de trabajo. Específicamente, se tomarán las siguientes bases de cálculo:

1. Las órbitas de la Tierra y Marte alrededor del sol las asumiremos como circulares, en el mismo plano y con el Sol en el centro de ambas trayectorias. Este supuesto se puede hacer pues las excentricidades de ambas son muy cercanas a 0:

$$e_{\text{TIERRA}} = 0.0167$$

$$e_{\text{MARTE}} = 0.0935$$

- La distancia media del Sol a la Tierra, que se toma como una unidad astronómica (1 UA) es de 149,597,870,700 metros y la distancia media del Sol a Marte es de 1.524 UA
- El periodo en el que la tierra da una vuelta al sol ( $T_{TIERRA}$ ) es de 1 año, y el de Marte ( $T_{MARTE}$ ) se puede calcular aplicando la tercera ley de Kepler que dice que el cuadrado del periodo de cualquier planeta es proporcional al cubo de la distancia media del planeta al Sol, lo cual en fórmula es igual a:

$$T^2 = \left( \frac{4\pi^2}{G m_{SOL}} \right) r^3$$

- Si se aplica dos veces la ecuación anterior (para la Tierra y para Marte) y se dividen ambas ecuaciones, lo que se obtiene es:

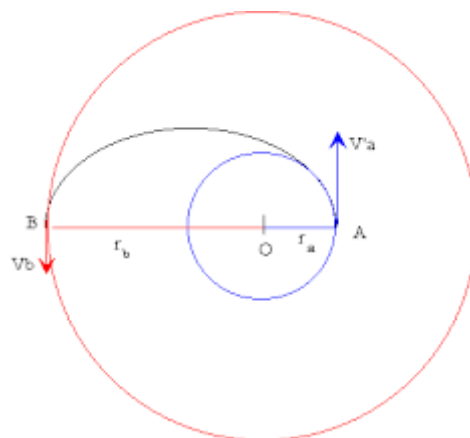
$$\left( \frac{T_{MARTE}}{T_{TIERRA}} \right)^2 = \left( \frac{r_{MARTE}}{r_{TIERRA}} \right)^3$$

$$\left( \frac{T_{MARTE}}{1} \right)^2 = \left( \frac{1.524}{1} \right)^3$$

$$T_{MARTE} = \sqrt{1.524^3}$$

$$T_{MARTE} = 1.8814$$

- Para economizar el combustible, es necesario que la nave espacial siga una órbita semi-elíptica denominada órbita de transferencia de Hohmann, para lo que es necesario proporcionarle dos impulsos<sup>1</sup>:
  - ★ En el punto A cuando la nave espacial pasa de la órbita circular interior a la órbita de transferencia, y
  - ★ En el punto B cuando la nave espacial pasa de la órbita de transferencia a la órbita circular exterior



- Para calcular la velocidad que debe llevar la nave en el punto A ( $v_{TIERRA}$ ) y en el punto B ( $v_{MARTE}$ ), se aplican la propiedad de que el momento angular es constante, por lo que tiene el mismo valor en A que en B:

$$m_{NAVE} r_{TIERRA} v_{TIERRA} = m_{NAVE} r_{MARTE} v_{MARTE}$$

7. Y debido a que la fuerza es conservativa, la energía es constante en todos los puntos de la trayectoria, así como en los puntos A y B, es decir:

$$\frac{1}{2} m_{NAVE} v_{TIERRA}^2 - \frac{G M_{SOL} m_{NAVE}}{r_{TIERRA}} = \frac{1}{2} m_{NAVE} v_{MARTE}^2 - \frac{G M_{SOL} m_{NAVE}}{r_{MARTE}}$$

8. Se pueden calcular las velocidades con las siguientes fórmulas:

$$v_{TIERRA}^2 = \frac{2 G M_{SOL} r_{MARTE}}{r_{TIERRA} (r_{TIERRA} + r_{MARTE})}$$

$$v_{MARTE}^2 = \frac{2 G M_{SOL} r_{TIERRA}}{r_{MARTE} (r_{TIERRA} + r_{MARTE})}$$

9. Así como la energía que hay que suministrar a la nave en la posición A para que pase de la órbita circular de la Tierra a la trayectoria de transferencia de Hohmann ( $\Delta E_{TIERRA}$ ) y la energía para que pase de la órbita de transferencia elíptica a la órbita circular de Marte ( ):

$$\Delta E_{TIERRA} = \frac{G M_{SOL} m_{NAVE}}{2 r_{TIERRA}} \left( \frac{r_{MARTE} - r_{TIERRA}}{r_{TIERRA} + r_{MARTE}} \right)$$

$$\Delta E_{MARTE} = \frac{G M_{SOL} m_{NAVE}}{2 r_{MARTE}} \left( \frac{r_{MARTE} - r_{TIERRA}}{r_{TIERRA} + r_{MARTE}} \right)$$

Los cálculos son los siguientes:

$$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 / \text{kg}^2$$

$$M_{SOL} = 1.989 \times 10^{30} \text{ kg}$$

$$m_{NAVE} = 2 \times 10^6 \text{ kg (En el despegue)}$$

$$r_{TIERRA} = 149,597,870,700 \text{ m}$$

$$r_{MARTE} = 227,987,154,900 \text{ m}$$

$$\mathbf{v_{TIERRA} = 32,725 \text{ m / s}}$$

$$\mathbf{v_{MARTE} = 21,473 \text{ m / s}}$$

$$\mathbf{\Delta E_{TIERRA} = 1.841 \times 10^{14} \text{ J}}$$

$$\Delta E_{\text{MARTE}} = 1.208 \times 10^{14} \text{ J}$$

### TABLA DE FECHAS CRÍTICAS PARA LA MISIÓN

FECHA	EVENTO
25/Octubre/2024	Lanzamiento de nave no tripulada
10/Julio/2025	Amartizaje de nave no tripulada
24/Noviembre /2026	Lanzamiento de nave con tripulación
10/Agosto/2027	Amartizaje de nave con tripulación
06/Noviembre/2028	Lanzamiento de nave tripulada con destino a la Tierra
23/Julio/2029	Aterrizaje de nave tripulada (Arribo de la misión)