

Artículo Nº 01/2025 VUELOS DE PRUEBA DE STARSHIP



Por Álvaro Aguirre Warden. Director de Asuntos Espaciales.
08 de enero de 2025. 14 Min. de lectura.



Starship instalada en Starbase antes de su sexto vuelo de prueba. SpaceX

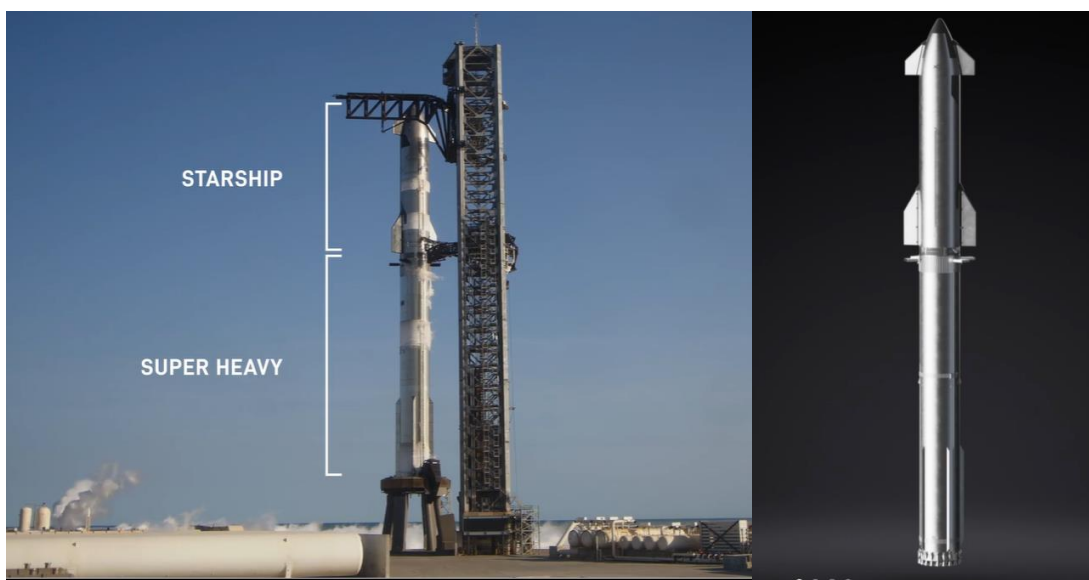
La nave espacial Starship y el cohete Super Heavy de SpaceX, conocidos como Starship, representan un sistema de transporte totalmente reutilizable diseñado para transportar tanto a la tripulación como a la carga a la órbita terrestre, la Luna, Marte y más allá.

El conjunto Starship-Super Heavy permanece unido por acción de la gravedad y, durante el lanzamiento, por la aceleración de los motores de la primera etapa. Este sistema es posible porque usa una técnica de separación de etapas, que consiste en que la primera etapa comienza a girar y la segunda aprovecha la fuerza centrífuga para separarse y, tras encender sus 6 motores Raptor, alejarse del Super Heavy.

Starship es el vehículo de lanzamiento capaz de transportar hasta 150 toneladas métricas totalmente reutilizables y 250 toneladas métricas desechables.

Las dimensiones son: Alto 121 metros, Diámetro 9 metros, Capacidad de carga de pago 100 a 150 toneladas.

Con cinco mil toneladas al despegue, el sistema Starship es casi dos mil toneladas más pesado que el Saturno V (usado para las misiones Apolo) y también supera al SLS (Space Launch System) de la NASA (2600 toneladas).



Nave Espacial Starship.

Es una nave espacial totalmente reutilizable y la segunda etapa del sistema Starship. Esta nave tiene varias configuraciones, con una sección de carga útil integrada que le permite transportar tripulación y carga a la órbita terrestre, la Luna, Marte y más allá. También, es capaz de transporte punto a punto en la Tierra, lo que permite viajar a cualquier parte del mundo en una hora o menos.

Las dimensiones son: Alto 50 metros, Diámetro 9 metros, Capacidad de combustible 1.200 toneladas, Empuje 1.200 tf.



Starship. Fuente: SpaceX.

Super Heavy.

Es la primera etapa, o propulsor, del sistema de lanzamiento Starship, y tiene 33 motores Raptor que utilizan metano líquido subenfriado (CH_4) y oxígeno líquido (LOX). Esta etapa es totalmente reutilizable y volverá a entrar en la atmósfera terrestre para aterrizar de nuevo en el lugar de lanzamiento.

Las dimensiones son: Alto 71 metros, Diámetro 9 metros, Capacidad de combustible 3.400 toneladas, Empuje 7.590 tf.



Super Heavy. Fuente: SpaceX.

Motor Raptor.

Es un motor de combustión por etapas de metano-oxígeno reutilizable que alimenta el sistema Starship y tiene el doble de empuje que el motor Falcon 9 Merlin.

Starship estará propulsado por seis motores, tres motores Raptor y tres motores Raptor Vacuum (RVac), que están diseñados para su uso en el vacío del espacio, mientras que el Super Heavy estará propulsado por 33 motores Raptor, con 13 en el centro y los 20 restantes alrededor del perímetro del extremo de popa del propulsor.

Las dimensiones los motores son las siguientes: Alto 3,1 m., Diámetro 1,3 m., Empuje 230 tf.

Raptor Vacuum (RVac) tiene un diseño similar al motor Raptor, pero cuenta con una sección de escape más grande y una boquilla de expansión más grande para maximizar la eficiencia del motor en el espacio. Tres RVacs impulsarán Starship, además de tres motores Raptor.

Las dimensiones son: Alto 4,6 m., diámetro 4,6 m., empuje 258 tf.



Raptor y Raptor Vacuum. Fuente: SpaceX.



Motores Raptor del Super Heavy. Fuente: SpaceX.

Vuelos de prueba.

Estos vuelos proporcionan datos invaluable para continuar desarrollando Starship rápidamente, y a la fecha de este artículo, se han realizado seis vuelos los que se detallan a continuación:

Primer vuelo.

Fue el primer vuelo de prueba de Starship integrado entre el Super Heavy y la nave Starship, que se realizó el 20 de abril de 2023 y durante este vuelo, el cohete despegó exitosamente, pero experimentó múltiples motores apagados durante el vuelo, lo que implicó la pérdida de altitud y comenzó a caer, explotando en el aire minutos después debido a problemas técnicos.

Aunque el vuelo terminó con una explosión, se consideró un éxito parcial porque se lograron muchos objetivos y se obtuvieron datos cruciales para mejorar futuros lanzamientos dando un paso importante en el desarrollo de la nave espacial reutilizable.

A pesar de la explosión del cohete, se pudo recopilar una gran cantidad de datos valiosos que permitieron dar información en relación a los objetivos planificados, y algunos de ellos se detallan a continuación.

- **Rendimiento de los motores Raptor:** Se evaluó cómo funcionaron los motores bajo condiciones reales de vuelo, lo que permitió identificar áreas de mejora.
- **Comportamiento aerodinámico:** Se obtuvieron datos sobre la estabilidad y el control del cohete durante el vuelo, especialmente al atravesar la fase de máxima presión aerodinámica (Max-Q)
- **Separación de etapas:** Aunque la separación de las etapas no se realizó correctamente, se aprendió mucho sobre los mecanismos involucrados y las posibles fallas.
- **Resistencia estructural:** Se evaluó la capacidad del cohete para soportar las tensiones del despegue y el vuelo inicial.



Starship en vuelo. Fuente: SpaceX.



Primer vuelo. Fuente: SpaceX.

Segundo vuelo.

Este vuelo se realizó el 18 de noviembre de 2023, el que logró alcanzar una altitud significativa antes de experimentar una falla durante la etapa de separación, lo que llevó a una explosión controlada lo que impidió completar la misión, a pesar de lo anterior logró una serie de hitos importantes como fue:

Los 33 motores Raptor del Super Heavy Booster arrancaron con éxito y, por primera vez, completaron una combustión completa durante el ascenso.

Starship ejecutó con éxito una separación de etapa caliente, apagando todos menos tres de los motores Raptor de Super Heavy y encendiendo con éxito los seis motores Raptor de la segunda etapa antes de producirse la separación de los vehículos. Esta fue la primera vez que esta técnica se realizó con éxito con un vehículo de este tamaño.

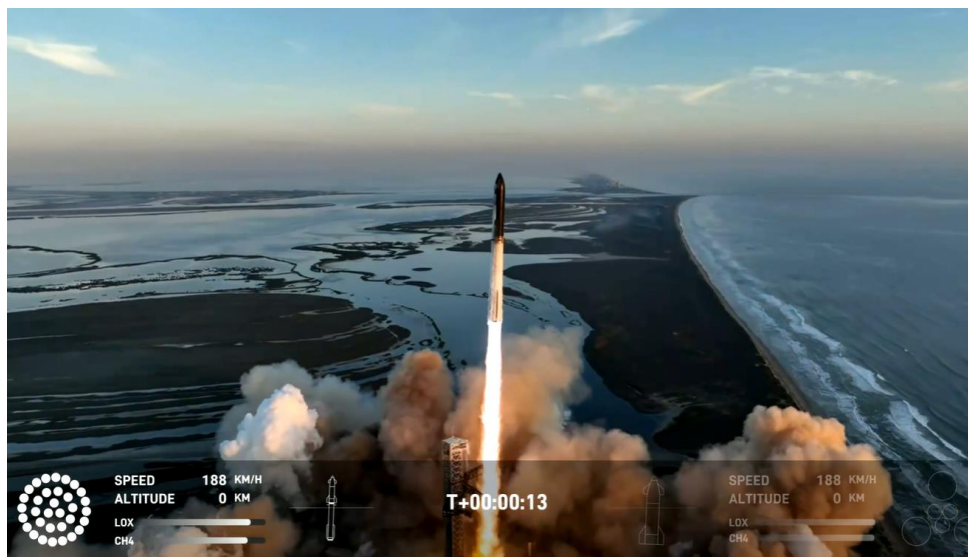
Después de la separación, el propulsor Super Heavy completó con éxito su maniobra de volteo e inició la combustión del propulsor antes de experimentar un desmontaje rápido y no programado. La avería del vehículo se produjo a los tres minutos y medio de vuelo a una altitud de aproximada de 90 km sobre el Golfo de México

La conclusión de la prueba de vuelo se produjo cuando la telemetría se perdió cerca del final de la segunda etapa antes del corte del motor después de más de ocho minutos de vuelo. El equipo verificó que un comando de destrucción seguro se activó correctamente en función de los datos de rendimiento del vehículo disponibles.

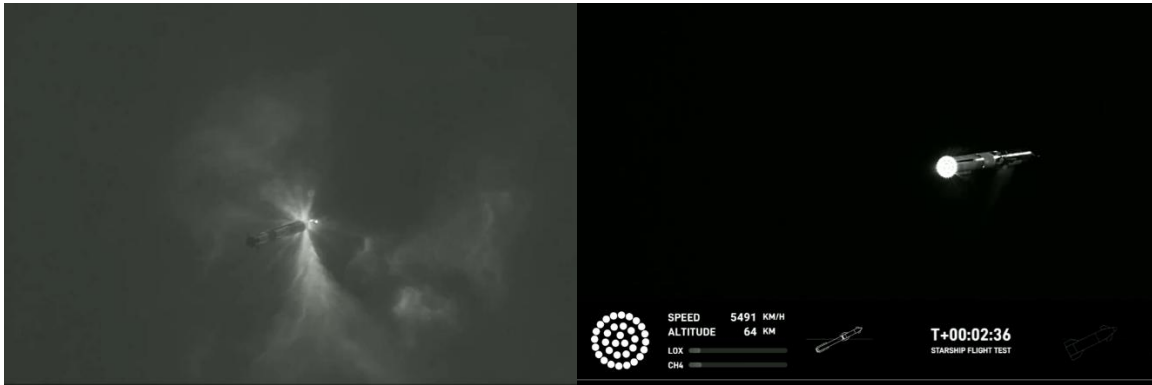
El deflector de llama refrigerado por agua y otras actualizaciones de la almohadilla funcionaron como se esperaba, requiriendo un trabajo mínimo posterior al lanzamiento para estar listo para las próximas pruebas del vehículo y la próxima prueba de vuelo integrada.

Aunque el vuelo no logró todos sus objetivos, proporcionó valiosos datos para futuras misiones, los que se señalan a continuación:

- **Mejora en la fase de despegue:** El cohete logró despegar y alcanzar una altitud considerable, lo que demostró mejoras en los motores Raptor y en la estructura del cohete.
- **Datos sobre la separación de etapas:** Aunque la separación de las etapas no fue exitosa, los datos recopilados ayudarán a mejorar los mecanismos y procedimientos para futuras misiones.
- **Resistencia estructural:** El vuelo permitió evaluar la resistencia de los materiales y la estructura del cohete bajo condiciones extremas.
- **Sistemas de seguridad:** La explosión controlada proporcionó información valiosa sobre los sistemas de seguridad y cómo pueden ser mejorados para proteger tanto la carga útil como el entorno.



Despegue del segundo vuelo de Starship. Fuente: SpaceX.



Vuelo del Super Heavy. Fuente: SpaceX.

Tercer vuelo.

Este vuelo se efectuó el 14 de marzo de 2024, siendo el vuelo más exitoso que los anteriores, logrando que ambas etapas del cohete ascendieran con éxito y que la nave regresara a la Tierra de forma controlada después de una hora de vuelo.

Por segunda vez, los 33 motores Raptor del Super Heavy Booster arrancaron con éxito y completaron una combustión completa durante el ascenso

Starship ejecutó con éxito su segunda separación en la etapa caliente, apagando todos menos tres de los motores Raptor de Super Heavy y encendiendo con éxito los seis motores Raptor de la segunda etapa antes de separar los vehículos.

Después de la separación, el propulsor Super Heavy completó con éxito su maniobra de volteo e inició la combustión del propulsor para enviarlo hacia su punto de amarizaje en el Golfo de México.

Super Heavy encendió con éxito varios motores para su primer aterrizaje antes de que el vehículo experimentara un RUD ("desmontaje rápido no programado"). El vuelo del propulsor concluyó a aproximadamente 462 metros de altitud y poco menos de siete minutos después de iniciada la misión.

Los seis motores Raptor de la segunda etapa de Starship arrancaron con éxito e impulsaron el vehículo a su órbita esperada, convirtiéndose en la primera nave estelar en completar su combustión de ascenso de duración completa.

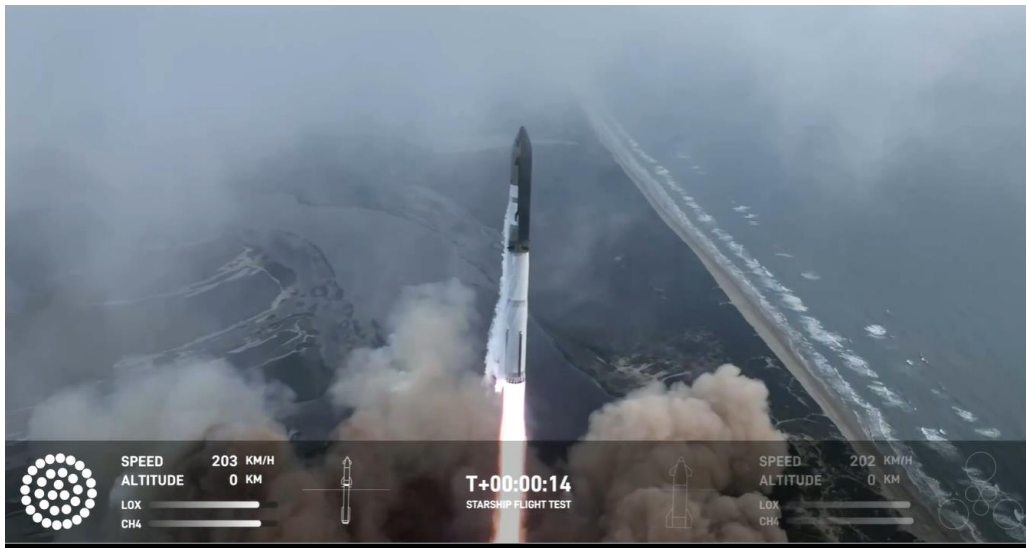
Mientras navegaba por inercia, Starship logró varios de los objetivos adicionales de la prueba de vuelo, incluida la apertura y cierre de su puerta de carga útil (también conocida como el dispensador de pez) e inició una demostración de transferencia de propulsor. Starship no intentó el reencendido en órbita de un solo motor Raptor debido a las tasas de balanceo del vehículo durante la costa. Los resultados de estas demostraciones llegarán una vez que se complete la revisión de datos posterior al vuelo.

Starship experimentó su primera entrada desde el espacio, proporcionando valiosos datos sobre el calentamiento y el control del vehículo durante la reentrada hipersónica. Las vistas en vivo de la entrada fueron posibles gracias a los terminales Starlink que operan en Starship.

La conclusión de la prueba de vuelo se produjo durante la entrada, con las últimas señales de telemetría recibidas a través de Starlink desde Starship aproximadamente a los 49 minutos de la misión

Algunos de los hitos importantes que se lograron son los siguientes:

- **Encendido exitoso de los motores Raptor:** Los 33 motores Raptor del propulsor Super Heavy se encendieron y funcionaron correctamente durante el ascenso.
- **Separación de etapas:** La separación de las etapas del cohete se realizó con éxito, permitiendo que la segunda etapa, Starship, continuara su ascenso.
- **Órbita terrestre:** Starship alcanzó la órbita terrestre, lo que representa un gran avance en comparación con los vuelos anteriores.
- **Pruebas de carga útil:** Se realizaron pruebas de apertura y cierre de la puerta de carga útil, así como una demostración de transferencia de combustible en órbita.
- **Reingreso controlado:** Aunque la nave no logró un amerizaje exitoso, se recopilieron datos valiosos sobre el reingreso y la resistencia térmica.



Despegue del tercer vuelo de Starship. Fuente: SpaceX.

Cuarto vuelo.

Este vuelo efectuado el 6 de junio de 2024, fue lanzado con objetivos ambiciosos, intentando ir más lejos que cualquier prueba anterior y comenzar a demostrar capacidades fundamentales para el retorno y la reutilización de Starship y Super Heavy. La carga útil de esta prueba fueron los datos.

El propulsor Super Heavy despegó con éxito y completó un ascenso de duración completa, luego Starship ejecutó con éxito otra separación de etapa caliente, apagando todos menos tres de los motores Raptor de Super Heavy y encendiendo con éxito los seis motores Raptor de la segunda etapa antes de separarse ambos vehículos.

Después de la separación, el propulsor Super Heavy completó con éxito su maniobra de volteo, la quema de impulso para enviarlo hacia la zona de amarizaje y el desprendimiento del adaptador de etapa caliente.

El vuelo del propulsor terminó con un amarizaje suave en el Golfo de México a los siete minutos y 24 segundos de vuelo.

Los seis motores Raptor de la segunda etapa de Starship impulsaron con éxito el vehículo al espacio y lo colocaron en la trayectoria planificada.

Starship realizó una reentrada controlada, superando con éxito las fases de calentamiento máximo y presión aerodinámica máxima y demostrando la capacidad de controlar el vehículo usando sus flaps mientras descendía a través de la atmósfera a velocidades hipersónicas.

Starlink en Starship una vez más permitió la telemetría en tiempo real y el video de alta definición en vivo durante cada fase de la entrada, con cámaras externas que brindan vistas hasta la conclusión del vuelo.

Este vuelo terminó con Starship encendiendo sus tres motores Raptor centrales y ejecutando la primera maniobra de voltereta y aterrizaje desde nuestra campaña suborbital, seguida de un amerizaje suave de la nave en el Océano Índico una hora y seis minutos después del lanzamiento.

Los hitos que se lograron son los siguientes:

- **Despegue exitoso:** Los 33 motores Raptor del propulsor Super Heavy se encendieron y funcionaron correctamente, permitiendo un despegue limpio
- **Separación de etapas:** La separación de las etapas del cohete se realizó con éxito, permitiendo que la segunda etapa, Starship, continuara su ascenso
- **Órbita terrestre:** Starship alcanzó la órbita terrestre y realizó maniobras en la capa superior de la atmósfera
- **Reingreso controlado:** Ambas etapas del cohete lograron un reingreso controlado y amerizaron de manera segura en el océano Índico

- **Recopilación de datos:** Se obtuvieron datos cruciales sobre el rendimiento de los motores, la aerodinámica y la resistencia térmica durante el reingreso



Vuelo de Starship. Fuente: SpaceX.



Despegue de Starship. Fuente: SpaceX.

Quinto Vuelo.

Este vuelo se realizó el 13 de octubre de 2024, siendo lo más notable el lograr capturar la primera etapa del cohete, conocida como Super Heavy, con una precisión sin precedentes utilizando los brazos de la torre Mechazilla.

Después de un exitoso despegue, ascenso, separación de etapas, impulso, el propulsor Super Heavy realizó su aterrizaje y fue atrapado por los brazos de los palillos de la torre de lanzamiento y captura en Starbase.

Starship ejecutó otra separación de la etapa, encendiendo sus seis motores Raptor y completando el ascenso al espacio exterior. Se deslizó a lo largo de su trayectoria planificada hacia el otro lado del planeta antes de ejecutar una reentrada controlada, pasando por las fases de calentamiento máximo y presión aerodinámica máxima, antes de ejecutar un giro, aterrizaje y amerizaje en su área objetivo en el Océano Índico. La prueba de vuelo concluyó en el amarizaje 1 hora, 5 minutos y 40 segundos después del lanzamiento.

Los logros del vuelo fueron los siguientes:

- **Captura de la primera etapa:** Por primera vez, SpaceX logró capturar la primera etapa del cohete, conocida como Super Heavy, utilizando los brazos de la torre Mechazilla con una precisión sin precedentes.
- **Órbita terrestre:** Starship alcanzó la órbita terrestre y realizó maniobras exitosas en el espacio.
- **Pruebas de comunicación:** Se probó un nuevo sistema de comunicación utilizando Starlink, manteniendo contacto con el módulo orbital durante la reentrada.
- **Reingreso controlado:** Ambas etapas del cohete lograron un reingreso controlado y amerizaron de manera segura en el océano Índico.
- **Mejoras en el escudo térmico:** Se implementaron nuevas placas de protección térmica, mejorando el rendimiento durante la reentrada.



Super Heavy atrapado por los brazos Machazilla. Fuente: SpaceX.

Sexto vuelo.

Este vuelo se realizó el 19 de noviembre de 2024 y consistía en repetir el aterrizaje efectuado en el vuelo cinco, encender uno de los motores Raptor de la etapa superior en el espacio y realizar pruebas de reentrada.

Este vuelo se realizó el 19 de noviembre de 2024, lanzado desde Starbase y buscaba expandir la envolvente de las capacidades de la nave y el refuerzo y acercarse a la reutilización de todo el sistema en línea.

El propulsor Super Heavy despegó con éxito al comienzo de la ventana de lanzamiento, con los 33 motores Raptor impulsándolo llevando a Starship fuera de la plataforma de Starbase.

Después de un ascenso nominal y una separación de etapas, el propulsor hizo una transición exitosa a su combustión de propulsión para comenzar el regreso al sitio de lanzamiento, pero durante esta fase, las comprobaciones de estado automatizadas del hardware crítico en la torre de lanzamiento y captura, desencadenaron un aborto del intento de captura. Luego, el propulsor ejecutó una maniobra de desvío planificada previamente, realizando un aterrizaje y un amarizaje suave en el Golfo de México.

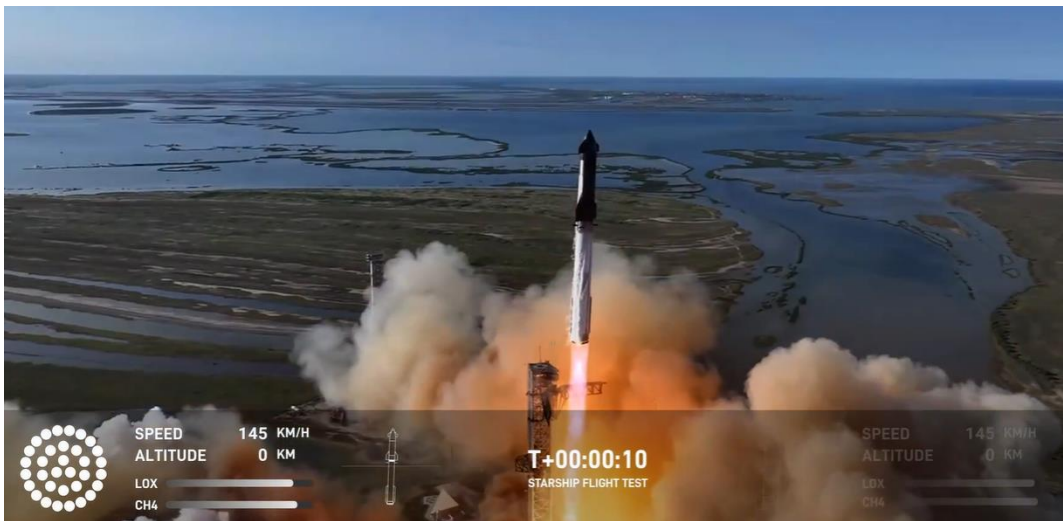
Starship completó otro ascenso exitoso, colocándola en la trayectoria esperada, y la nave volvió a encender con éxito un solo motor Raptor mientras estaba en el espacio, demostrando las capacidades necesarias para llevar a cabo una combustión de desorbitación de la nave antes de comenzar misiones orbitales completas. Con vistas en vivo y telemetrías transmitidas por Starlink, logró superar con éxito la reentrada y ejecutó un giro, y amarizó en forma suave en el Océano Índico

Los datos recopilados de los múltiples experimentos de protección térmica, así como el vuelo exitoso a través de velocidades subsónicas a un ángulo de ataque más agresivo, proporcionan información

invaluable sobre el rendimiento del hardware de vuelo en un entorno de vuelo mientras apuntamos al eventual regreso y captura de la nave.

Con los datos y los aprendizajes de vuelo como nuestra carga útil principal, la sexta prueba de vuelo de Starship una vez más cumplió.

Las lecciones aprendidas harán que todo el sistema Starship sea más confiable a medida que nos acercamos a la reutilización completa y rápida.



Despegue de Starship. Fuente: SpaceX.



Amarizaje de Starship en el Océano Índico. Fuente: SpaceX.

Los hitos logrados son los siguientes:

- **Encendido de motor en el espacio:** Por primera vez, SpaceX logró encender uno de los motores Raptor de la nave Starship mientras estaba en el espacio, demostrando la capacidad de realizar maniobras de desorbitación.
- **Reingreso controlado:** La nave Starship reingresó a la atmósfera y realizó un amarizaje controlado en el Océano Índico.

- **Pruebas de escudo térmico:** Se probaron nuevas secciones del escudo térmico, evaluando su rendimiento en condiciones extremas durante el reingreso.
- **Recopilación de datos:** Se obtuvieron datos valiosos sobre la aerodinámica, la resistencia térmica y el comportamiento general del cohete durante todas las fases del vuelo.
- **Pruebas de comunicación:** Se mantuvo la comunicación con el módulo orbital durante el reingreso utilizando el sistema Starlink, lo que permitió una transmisión continua de telemetría.



Amarizaje del Super Heavy. Fuente: SpaceX.

Resumen.

Estos vuelos de prueba que son cruciales, le permiten a SpaceX llevar a cabo experimentos con el objetivo de desarrollar por completo a Starship y revolucionar la manera de que los seres humanos pueda acceder al espacio.

La capacidad de reutilización, que es el corazón de la estrategia de la empresa SpaceX, permite abaratar los costos de los vuelos, representando un ahorro significativo de tiempo y recursos, facilitando a SpaceX ofrecer los servicios a una mayor cantidad de clientes, como pueden ser gobiernos, empresas privadas y organizaciones científicas. Además, esto es fundamental para las futuras misiones de gran envergadura como es el transporte masivo a la Luna y la creación de colonias en Marte.

Desde su primer vuelo efectuado en abril de 2023, Starship ha mostrado avances significativos. Aunque su primer vuelo terminó abruptamente, las pruebas posteriores han llevado al cohete a ir superando los diferentes objetivos planificados para cada vuelo, que le permitirán contar con un sistema reutilizable para alcanzar la órbita terrestre, la Luna, Marte y más allá.

La recuperación del Super Heavy mediante los brazos mecánicos es uno de los avances tecnológicos más importantes en el desarrollo del Starship. Este sistema busca capturar al propulsor directamente en la torre de lanzamiento. Tiene como objetivo agilizar los procesos de reacondicionamiento y reutilización, lo que permite que el cohete esté listo para su próximo vuelo en un tiempo mucho más corto y reduce drásticamente los costos de operación.

Bibliografía:

spacex.com/launches/

spacex.com/launches/mission/?missionId=starship-flight-5

spacex.com/launches/mission/?missionId=starship-flight-6