

Plasma thrusters for satellite propulsion systems

Formación académica: Doctorado en Ingeniería Física en el área de la física del estado plasma de la Universidad de Porto, Portugal.

Investigación de doctorado titulada: Modelling and simulation of plasma thrusters for electric propulsion technologies. (Modelado y simulación de propulsores basados en plasma para tecnologías de propulsión eléctrica)



Victor H. Granados, Ph.D.

Resumen de investigación doctoral

Actualmente existe una tendencia hacia la miniaturización de los satélites que se colocan en órbita alrededor de la tierra. Se envían satélites de 100 kg, 10 kg y hasta 1 kg. Esta reducción de la masa y el tamaño de los satélites también está acompañada de una reducción significativa en los costos de producción, lanzamiento y operación de los mismos.

Típicamente los satélites de estos tamaños pequeños son llevados desde la tierra a una lanzadera ubicada en órbita y desde la cual son lanzados como si fueran una bala de cañón. Después de su lanzamiento, los satélites giran entorno a la tierra sin corrección de trayectoria por un tiempo definido, dados por su órbita, velocidad tangencial y otras variables. Después de un tiempo de vida útil estos satélites se salen de su órbita y acaban por caer a la tierra.

Para mantener los satélites en órbita por mayor tiempo, y por ende extender su aplicabilidad y beneficio, se ha intentado dotarlos de medios de propulsión para realizar ciertas maniobras y corregir sus trayectorias, así como controlar la altitud por un mayor tiempo que el actual, sin embargo por la naturaleza de su simplicidad y restricciones de espacio los medios de propulsión tradicionales no son compatibles con el paradigma de un satélite simple y de bajo costo. Los cohetes químicos no son adecuados para mantener estos satélites en sus órbitas debido a su tamaño e ineficiencia en términos del uso de su combustible.

Los cohetes que utilizan plasma como medio de propulsión permiten utilizar una masa menor de combustible y hasta permiten utilizar el mismo aire circundante para crear impulso a ciertas altitudes bajas, todo esto sin la necesidad de partes móviles ni grandes cámaras en donde se produzca una reacción química.

Existen esfuerzos actualmente que plantean utilizar propulsores basados en plasma para realizar maniobras de corrección de altitud y dirección. Para ello es necesario estudiar propulsores de tamaño proporcional al satélite y sin partes móviles. Para este trabajo se plantea analizar un tipo de propulsor en específico, llamado Propulsor Electro-hidrodinámico (Electrohydrodynamic Thruster - EHD).

En la investigación de mi doctorado me centré en modelar matemáticamente y simular mediante métodos de elementos finitos varios propulsores de tipo EHD, con diferentes geometrías y utilizando tres gases con los cuales se produce el plasma en su interior.

Los propulsores EHD hacen uso de un campo eléctrico entre dos electrodos asimétricos, de manera que el ánodo tenga forma de punta para aumentar la intensidad de campo eléctrico en su terminal y el cátodo tenga una mayor área transversal para servir como un receptor de todas las líneas de campo eléctrico salientes del ánodo. La Figura 1 muestra un ejemplo de dicho propulsor con su cátodo en forma de embudo, en la cual me centraré para ejemplificar mi trabajo, y la región donde se aplicó el método de elementos finitos para su solución.

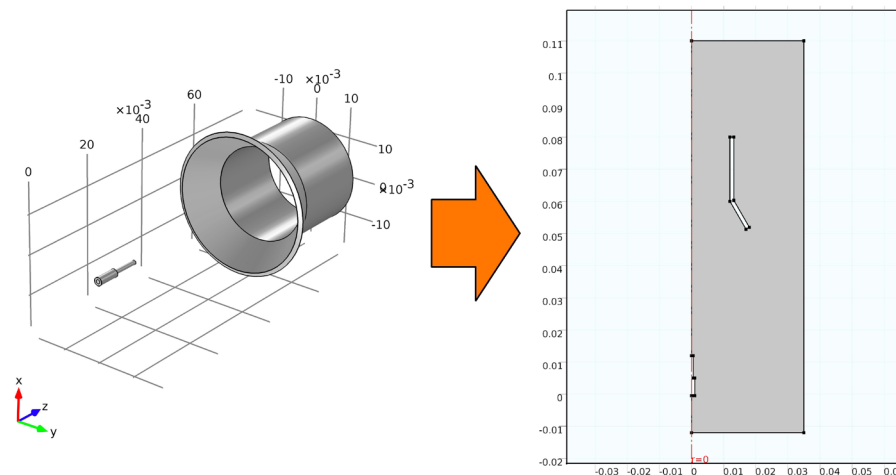


Figura 1. **Izquierda:** Geometría de un propulsor EHD de dos electrodos, ánodo de punta y cátodo con forma de embudo. **Derecha:** Región de simulación bidimensional axisimétrica. Dimensiones en m.

Para lograr estas simulaciones desarrollé un modelo bidimensional auto-consistente que permite considerar diferentes fenómenos físicos de la descarga de plasma involucrada y obtener resultados estables sobre la operación del propulsor EHD.

Con la configuración de la Figura 1 se garantiza que el campo eléctrico tiene una dirección específica del ánodo al cátodo y debido a su intensidad en el ánodo, se genera una superficie ionizante del gas circundante. Los iones positivos generados en el ánodo, que se ven inmediatamente inmersos en el campo eléctrico, sentirán una fuerza aplicada por el mismo campo eléctrico que los hará moverse en dirección al cátodo, donde serán absorbidos. En el recorrido entre ánodo y cátodo, estos iones positivos chocarán con el resto de las partículas presentes en esa región, transmitiendo el momento adquirido previamente, este intercambio de momento debido a las colisiones producirá un arrastre del gas que se encuentra entre los electrodos, al flujo del gas se le llama comúnmente viento iónico.

Estudí a fondo la dinámica de partículas que impera en un reactor EHD cuando se consideraron los gases Argón, Nitrógeno y Oxígeno, las moléculas más abundantes en la atmósfera terrestre.

El campo eléctrico se distribuye ligeramente diferente dependiendo del gas presente entre los electrodos, esto se debe a que cada especie requiere un nivel de energía diferente para

ionizar sus moléculas. Se puede notar la diferencia de la distribución del potencial eléctrico en la Figura 2.

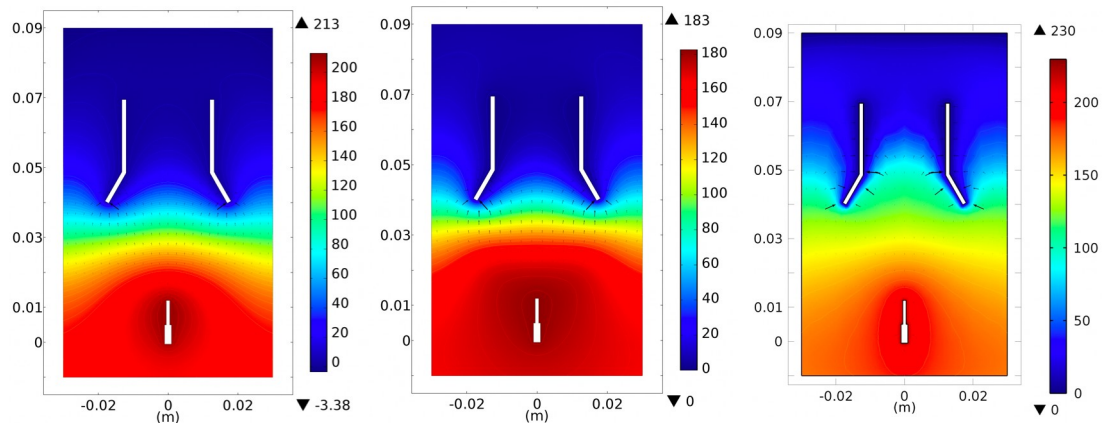


Figura 2. Distribuciones espaciales de potencial eléctrico (V), flechas proporcionales al campo eléctrico, de izquierda a derecha: Argón, Nitrógeno y Oxígeno. $T_g = 300$ K, $p = 10$ Torr.

Después de resolver las ecuaciones relacionadas con el campo eléctrico, la densidad electrónica de todas las especies envueltas en las reacciones, el aporte de las colisiones entre especies, la interacción de los iones con las paredes, el circuito de descarga que supe de potencia la descarga, las ecuaciones que resuelven la interacción del fluido neutro, su velocidad y acople con las fuerzas eléctricas; además de considerar todas las condiciones de frontera para cada uno de los fenómenos considerados, se obtienen soluciones estacionarias del movimiento del fluido neutro entre los electrodos. La distribución de las velocidades del fluido neutro puede ser apreciada en la Figura 3.

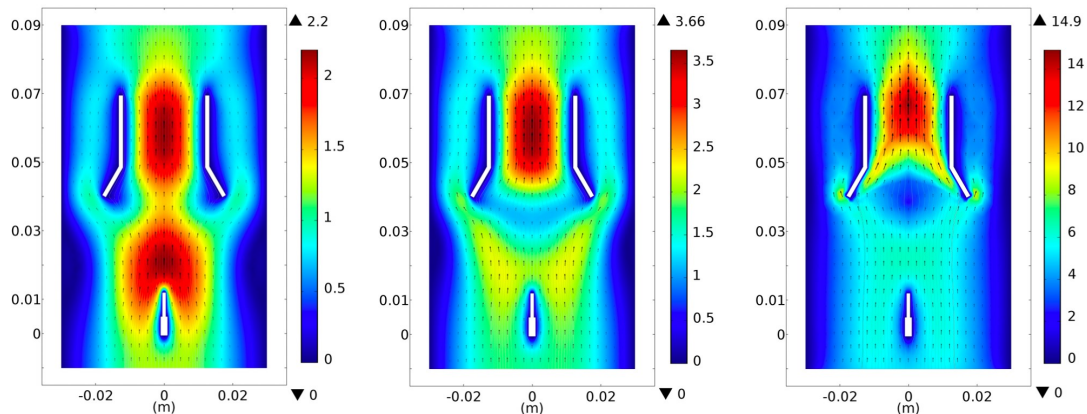


Figura 3. Distribuciones espaciales de las velocidades del fluido (cm/s), flechas proporcionales a la velocidad, de izquierda a derecha: Argón, Nitrógeno y Oxígeno. $T_g = 300$ K, $p = 10$ Torr.

Podemos apreciar cómo la distribución de la velocidad del fluido neutro para cada gas considerado es diferente, tanto en forma como en magnitud, siendo el gas oxígeno la que consigue valores mayores de velocidad dentro de la cámara.

Analizando de cerca el gas Nitrógeno como caso de estudio particular podemos notar claramente cómo aumenta la velocidad del fluido en medio de los electrodos cuando aumenta la presión del gas en la cámara, pasando de una velocidad pico de 5.67 cm/s a 80.2 cm/s con el incremento de presión de 0.5 Torr a 100 Torr, respectivamente (ver Figura 4).

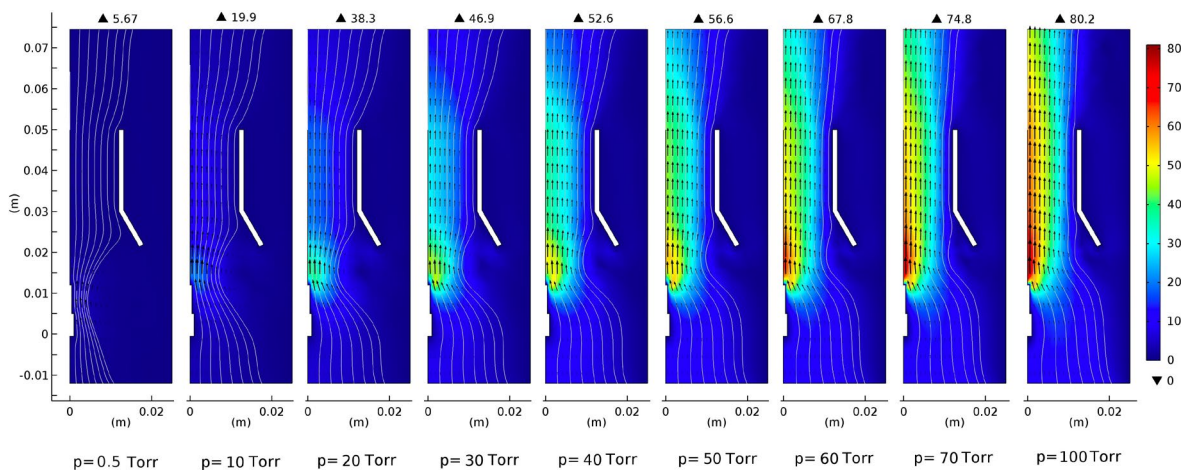


Figura 4. Perfil de velocidades (cm/s) para varios valores de presión del gas Nitrógeno. Las líneas blancas indican el flujo que atraviesa la cámara. Flechas proporcionales a la velocidad (valores pico en parte superior). $T_g = 300$ K.

Existen otros factores que modifican la operación de los propulsores EHD estudiados, entre ellos la emisión de electrones secundarios por parte del cátodo, lo cual sucede cuando los iones chocan en la superficie del cátodo con la suficiente energía para liberar electrones de la superficie; la temperatura del gas, la distancia entre electrodos, la corriente entre electrodos y cómo se relaciona con el circuito eléctrico que supe la potencia necesaria para mantener la descarga de plasma, entre otros. Los factores mencionados fueron estudiados y parametrizados para entender su papel en la operación de los propulsores EHD.

Los resultados anteriores prueban que es posible mover un fluido neutro entre dos electrodos, aplicando un campo eléctrico entre ellos, sin necesidad de partes móviles. Las aplicaciones para esta tecnología se extienden a otros campos, por ejemplo el bombeo de muestras de suelo en otros planetas por medio de robots exploradores, ya que al no poseer partes móviles, se evita el atascamiento de material en el equipo.

Aún es necesaria más investigación en el tema de propulsión eléctrica para construir prototipos con diferentes geometrías para optimizar el impulso que puede generar un propulsor EHD dependiendo de la región en donde vayan a operar, esto es: presión, temperatura, gases, entre otros.

Actualmente el Departamento de Ingeniería Física de la Universidad de Porto está continuando la investigación analizando el comportamiento y desempeño de estos modelos utilizando el Xenón como el gas de trabajo y se planea construir prototipos para validación experimental de los modelos obtenidos.

Se invita al lector a indagar más sobre este tema. Para ello puede consultar sobre mi investigación doctoral en el siguiente enlace: <https://hdl.handle.net/10216/111742>