

# DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TOBERA APLICADA AL SISTEMA DE CONTROL DE REACCIÓN BASADO EN GAS FRIO

Jara Ezequiel, Mantelli Pablo, Berón Tomas

UIDET- LaCLyFA – Laboratorio de Capa Límite y Fluidodinámica Ambiental, Universidad Nacional de La Plata Calle 116 e/47 y 48 (1900)

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas RCS, “sistema de control de reacción” proveniente de sus siglas en inglés, son subsistemas que conforman al sistema de control de actitud general del vehículo, consta de un mecanismo de acción automático, y es utilizado en lanzadores, satélites y otros vehículos espaciales. Estos sistemas le ofrecen al vehículo la estabilidad en su trayectoria seleccionada o el reposicionamiento de esta. Esta acción de control puede realizarse de diferentes formas, en este trabajo se analiza la denominada CGPS (Cola Gas Propulsión System), la cual es un sistema que utiliza una inyección de gas frío para generar un empuje requerido para la acción de control, la cual se realiza a través de una válvula ON/OFF.. En este trabajo, se plantea el diseño, la fabricación y el ensayo de un prototipo de tobera de Laval para un sistema propulsor RCS, no se contempla el diseño y la fabricación de la válvula ON/OFF. Se siguen las pautas generales de diseño presentes en la bibliografía.

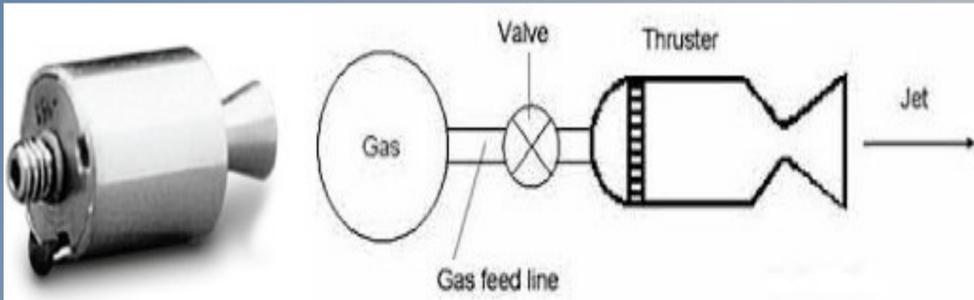


Figura 1. Esquema del conjunto válvula de inyección y tobera de un sistema de gas frío.

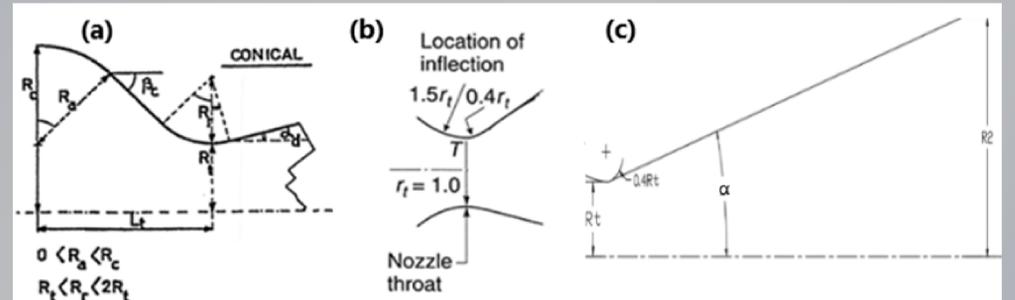


Figura 2. Variables geométricas en la sección (a) convergente. (b) garganta. (c) divergente.

## MARCO TEÓRICO Y DISEÑO

El empuje generado por este tipo dispositivos, para una condición de funcionamiento constante y en una atmosfera homogénea, se obtiene con la ecuación 1, donde el subíndice 1 indica los parámetros de entrada de la tobera y el subíndice 2 los parámetros de salida. Tenemos que A es el área, Pa la presión atmosférica, F el empuje generado y m el flujo másico.

$$F = \dot{m} \cdot v_2 + A_2(P_2 - P_a)$$

Ecuación 1

De la bibliografía se obtiene la expresión para determinar la velocidad de salida de los gases de escape (ecuación 2), donde T es la temperatura, P la presión, R la constante del gas y k la constante isoentrópica.

$$v_2 = \sqrt{\frac{2k}{k-1} RT_1 \left[ 1 - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}$$

Ecuación 2

Si consideramos un empuje dado y una presión de descarga para trabajar adaptada, los términos de presión de la ecuación 1 se van y podemos determinar la velocidad de salida de los gases de escape con la ecuación 2.

## REQUERIMIENTOS

Para el desarrollo de la geometría de la tobera adaptada a una atmósfera equivalente al nivel del mar, se propone como datos de entrada los requerimientos expuestos en la tabla 1.

Tabla 1. Requerimientos de la tobera diseñada.

Requerimientos	
Presión de entrada	1500000 Pa (Abs)
Presión de salida	101325 Pa (Abs)
Propelente	Nitrógeno gaseoso
Empuje	30 N



Figura 3. (a) Impresora 3d de resina (SLA). (b) Tobera física ya ensayada, vistas frontal y lateral. (c) Vista en corte de tobera y banco.

## GEOMETRÍA Y CONSTRUCCIÓN

La superficie de la pared en toda la tobera debe ser lisa y brillante para minimizar la fricción, la absorción de radiación y la transferencia de calor por convección debido a la rugosidad de la superficie. Deben evitarse los huecos, agujeros, bordes afilados o protuberancias. En la figura 2 se destacan 3 secciones que conforman la tobera de Laval: Convergente (a), garganta (b) y divergente (c).

Para el modelado en 3D de la tobera se utiliza el entorno, Autodesk Inventor, el cual es un paquete de modelado paramétrico. La tobera se fabricó a partir de impresión 3D de resina (véase figura 3).

## ENSAYOS, RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Se verifica mediante una prueba de empuje los parámetros de empuje, velocidad y comportamiento mecánico de la tobera. Durante el proceso de ensayo se realizaron cuatro ensayos de disparo con el fin de observar la repetibilidad en los resultados. Se extrae el valor del empuje, proporcionado por la fuerza aplicada sobre la celda de carga (véase figura 4).

Habiendo alcanzado 30,8 N en el ensayo, se obtuvo un error del 2,6%. El error puede estar asociado a diferentes causas como un error de calibración o a las simplificaciones de flujo isoentrópico.

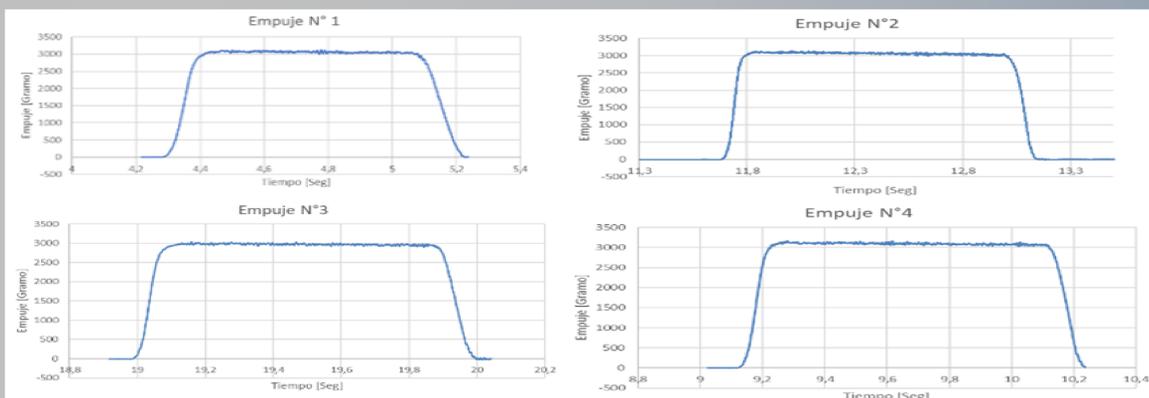


Figura 4. Curvas de empuje [gf] vs tiempo [s].

- [1] Rocket Propulsion Elements Hardcover; George P. Sutton (Author), Oscar Biblarz (Author) 1nd ed.
- [2] Turner, M.J. Rocket and Spacecraft Propulsion, 2nd ed.
- [3] Diseño de vehículos y motores de cohetes; Autor: Dr. Pablo Alejandro Arizpe Carreón. 1er Edición.
- [4] The reaction control system bases on a cold gas, Autor Teodor Viorel Chelaru.
- [5] Mecánica De Fluidos Frank M. White 5ta Edición.
- [6] Rao, G. V. R., et al. “Nozzle Optimization forspace-Based Vehicles”, AIAA.