

## PROCESO DE CALIBRACIÓN DE BANCO DE PRUEBAS DE MOTORES COHETE

### CALIBRATION PROCESS FOR A TESTING STATION OF ROCKET ENGINES

Diego A. Reyes, David Millán

Grupo de Investigación en Ciencias Aeroespaciales, Facultad de Ingeniería, Fundación  
Universitaria Los Libertadores

(Recibido: Marzo/2015. Aceptado: Junio/2015)

#### Resumen

El presente artículo plantea el proceso de puesta a punto de un banco de pruebas de motores cohete, necesario para la implementación de pruebas de laboratorio a los motores de combustible sólido desarrollados por el Grupo de Investigaciones en Ciencias Aeroespaciales (GICA) del programa de Ingeniería Aeronáutica de la Fundación Universitaria Los Libertadores. Se describe el procedimiento realizado para la calibración, así como los resultados de una prueba con un motor cohete.

**Palabras clave:** Banco de pruebas, Celda de carga, Empuje, Calibración

#### Abstract

This paper presents the process of calibration of a testing station for rocket engines, which was made at Fundación Universitaria Los Libertadores by members of the Grupo de Investigaciones en Ciencias Aeroespaciales (GICA). The purpose of this is to use the testing station in future experiments with rocket motors for the Libertador I rocket, in order to complete the initial purpose of this group; to construct a rocket capable of taking atmospheric data from troposphere and stratosphere.

**Keywords:** Test bank, Load cell, Thrust, Calibration.

## **Introducción**

Se presenta a continuación la experiencia obtenida a partir de la puesta a punto del banco de pruebas de motores cohete de combustible sólido de la Fundación Universitaria Los Libertadores. Se encuentra una descripción del banco de pruebas, varios experimentos hechos para su puesta a punto y la equivalencia voltaje-masa de la celda de carga, equivalencia necesaria para interpretar los datos en futuras mediciones de empuje en función del tiempo de combustión, así como los datos obtenidos en una de las pruebas hechas con motores cohete donde se usó esta equivalencia para la interpretación de datos. Se demuestra que después de la labor de puesta a punto el banco se encuentra listo para futuras pruebas y se anotan algunas conclusiones sobre algunos aspectos de los resultados obtenidos. [1, 2]

## **Descripción del problema**

El banco de pruebas de motores cohete que se puso en funcionamiento para la medición de empuje en función del tiempo de quemado, posee las siguientes características: Su diseño está pensado para que las pruebas sean hechas con el motor en posición horizontal, con una celda de carga LC2050100 instalada de forma vertical, sobre la cual recae la fuerza hecha por el motor a manera de contacto directo de éste sobre la celda (ver figura 1). La celda de carga envía datos eléctricos correspondientes al empuje producido por el motor en tiempo real que son procesados por un dispositivo "Data Q" encargado de filtrar y amplificar las señales, para pasar luego a un computador donde se grafican los datos de voltaje en función del tiempo.

El montaje del motor consiste en un tubo de acero perforado unido a la estructura por dos tornillos de acero. El motor se introduce dentro del tubo engrasado de manera que quede con tolerancia suficiente para que se deslice en su interior y presente poca fricción, con el fin de que la fuerza horizontal sea soportada únicamente por la celda de carga. Por uno de los extremos abiertos del tubo sobresale la cabeza del motor en contacto con la celda y por el otro extremo sobresale la tobera. Las perforaciones son hechas para que en caso de explosión

se disipe la presión que pueda acumularse internamente (ver figura 1 y 2). [3]

El banco posee una polea instalada delante de la celda de carga, ubicada de tal forma que se le pueda atar una cuerda para dirigir fuerzas verticales a la celda; esto permite poner pesos patrón colgando de la cuerda para verificar la integridad de la celda y la fiabilidad de la medida obtenida. Como la celda proporciona datos de voltaje en función del tiempo, es necesario encontrar una equivalencia entre voltaje y masa, para interpretar los datos de las pruebas de los motores como empuje en función del tiempo (figura 2).

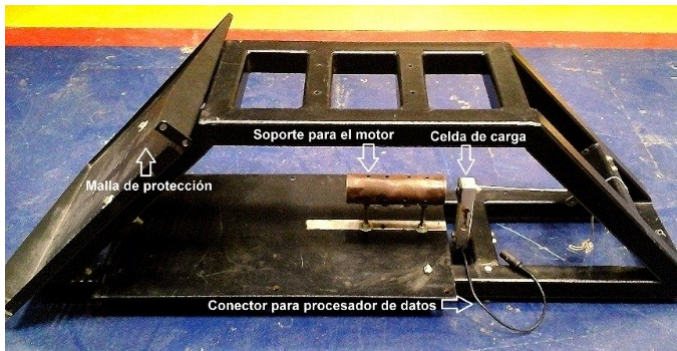


FIGURA 1. Banco de pruebas de motores cohete.



FIGURA 2. Montaje de la polea en el banco de pruebas.

## Determinación de la Equivalencia Voltaje-Masa

Para determinar la equivalencia voltaje-masa se realizaron tres experimentos:

1. Se puso el banco de pruebas en posición horizontal, con una cuerda atada a la celda y que pasaba por la polea para dirigir la cuerda de horizontal a vertical. De esta manera la celda fue cargada con 0, 0.5, 1.5, 2.5, 4.5 y 9.5 kilogramos y luego descargada en orden contrario. Al graficar los datos de voltaje (potencial) respecto a la masa se detectó una histéresis o comportamiento diferente entre las curvas de carga y descarga.
2. Se puso el banco de forma vertical sujeto a una pared (figura 3), de manera que la celda pudiera recibir fuerzas verticales sin acción de la polea y se introdujo un tubo dentro del montaje para motores cohete de forma que poniendo los pesos patrón sobre éste, la fuerza fuese dirigida a la celda. Con este montaje se obtuvo de nuevo una curva de histéresis. En la figura 4 se muestra un ejemplo de una de estas curvas.



FIGURA 3. Montaje vertical del banco de pruebas.

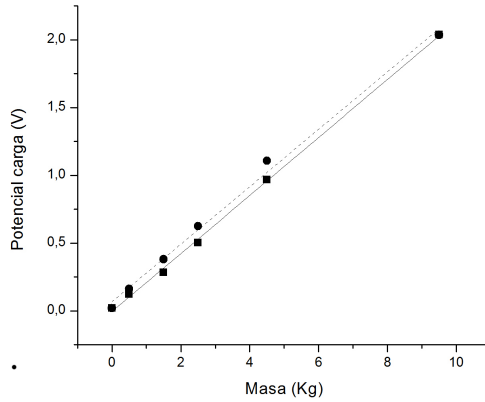


FIGURA 4. Curva de histéresis obtenida en el experimento 2 con el banco vertical y usando el montaje para el motor cohete.

3. Se conservó la posición vertical del banco y se desinstaló el montaje para el motor cohete de manera que los pesos se pudieran poner sobre la celda sin necesidad de este montaje; es decir, la celda se encuentra en voladizo, con los pesos directamente sobre ella. Se observó una reducción considerable en la curva de histéresis en este experimento y el comportamiento del voltaje en función de la masa fue lineal con un buen porcentaje de certeza, como lo muestra la figura 5. Esta linealidad indica que la pendiente puede ser usada como equivalencia entre voltaje y empuje en experimentos posteriores con motores cohete. La pendiente de la gráfica masa-voltaje durante la carga fue  $4,50 \pm 0,04 \left[ \frac{Kg}{V} \right]$  y durante la descarga fue de  $4,51 \pm 0,03 \left[ \frac{Kg}{V} \right]$ .

### Medición del Empuje de Un Motor Cohete

Después de obtenida la equivalencia voltaje-masa para la celda de carga, se realizaron mediciones de empuje de motores cohete de combustible “CANDY” que consta de una mezcla de 35 % Dextrosa anhidra y 65 % de Nitrato de Potasio por peso. Los granos combustibles usados se estandarizaron con las medidas mostradas en la figura 6. [4]

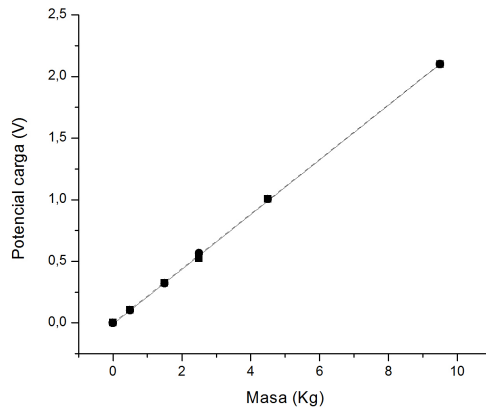


FIGURA 5. Curva obtenida en el experimento 3 con el banco vertical y la celda de carga en voladizo. El potencial se refiere a los datos de voltaje proporcionados por la celda. El inverso de la pendiente de la curva es de  $4,50 \pm 0,04 \left[ \frac{Kg}{V} \right]$  en carga y  $4,51 \pm 0,03 \left[ \frac{Kg}{V} \right]$  en descarga.

El motor utilizado fue diseñado por Murcia y Gómez [5] y tiene las siguientes características: longitud y diámetro interno de la cámara de combustión 240mm y 35mm respectivamente, ángulo de conicidad y diámetro de garganta  $15^\circ$  y 12,7mm respectivamente. Es necesario anotar que no todo el volumen interno del motor estuvo lleno de combustible debido a que lo que se buscaba era poner a punto el banco de pruebas para futuras mediciones.[6]

Como resultado, se obtuvo que las probetas de quemado lineal no registraron empuje y su tiempo de quemado fue mucho mayor que las probetas de quemado radial, para las cuales sí se obtuvieron gráficas de empuje en función del tiempo. Una de estas gráficas se muestra en la figura 7.

### Medición del Empuje de Un Motor Cohete

El comportamiento lineal del voltaje en función de la masa de carga y descarga de la celda en el experimento N° 3 indica que la celda se encuentra en buen estado y que sus mediciones son en buena medida fiables.

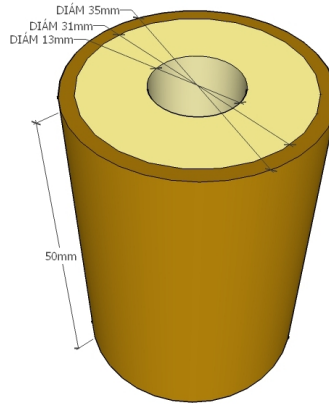


FIGURA 6. Grano combustible estandarizado. La capa externa está hecha de cartón de 2mm de espesor. La segunda capa corresponde al grano combustible, el cual posee un agujero cilíndrico en su interior en las probetas de quemado radial y no lo posee en las probetas de quemado lineal.

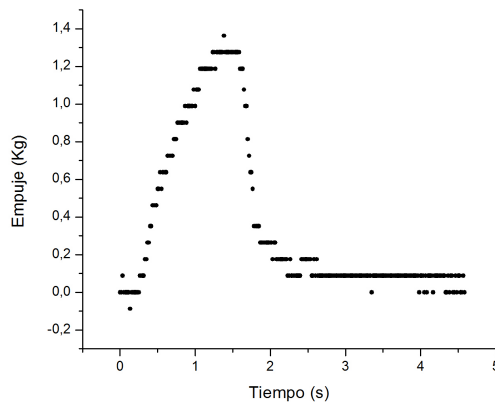


FIGURA 7. Empuje en función del tiempo para una de las probetas de quemado radial.

Las curvas de histéresis obtenidas en los experimentos 1 y 2 son atribuidas a diferencias en la fricción durante carga y descarga; en el experimento N° 1 por la fricción en la polea y en el N° 2 por la fricción del tubo con el montaje hecho para el motor cohete. Estas diferencias hacen que el proceso de carga y descarga de masas se haga por caminos o curvas diferentes.

Los tiempos de combustión de las probetas fueron mucho mayores a los reportados en la bibliografía. Esto se le atribuye a que no todo el motor se llenó de combustible, quedando un espacio de aire que reduce considerablemente la presión interna en comparación con un motor totalmente lleno; se debe aclarar que la velocidad de quemado está relacionada con la presión interna en la cámara de combustión.

Las curvas de histéresis encontradas durante las pruebas de carga y descarga con pesos patrón utilizando el montaje para motores cohete sugieren que, en futuras pruebas con motores cohete, los datos estarán alterados por este fenómeno y por lo tanto debe ser tenido en cuenta; Se sugiere que se haga un análisis de este fenómeno en los regímenes de fuerza en los que se espera que se encuentren los motores, para evaluar que tanto influye en los resultados. Es posible que sea necesario un rediseño del soporte del motor.

## Referencias

- [1] A. M. Ardila, *Física Experimental.*, 2nd ed. (Editorial Universidad Nacional de Colombia, 2012).
- [2] J. J. de la Hoz, *Diseño y construcción de un banco de ensayo estático para motores cohete*, Trabajo de grado de ingeniero aeronáutico, Universidad de San Buenaventura (2011).
- [3] A. Aziz and W. K. W. Ali, *Combustion Characteristics of AP Based Solid Rocket Propellant: Propellant Selection, Fabrication and Testing* (VDM Verlag Dr. Müller, 2011).
- [4] P. Hill and C. Peterson, *Mechanics and Thermodynamics of Propulsion* (Addison-Wesley, 1992).
- [5] J. O. Murcia Piñeros and S. A. Gómez Salcedo, *Tecnoesufa* **17**, 29 (2012).
- [6] J. O. Murcia Piñeros and S. A. Gómez Salcedo, *Tecnoesufa* **17**, 40 (2012).