

Desarrollo de dispositivos de ensayos ambientales para picosatélites suborbitales

Development of environmental test devices for suborbital picosatellites

Pablo M. González

Ingeniero mecánico, docente de la UTN FRH e investigador del GTA (Grupo de Tecnología Aeroespacial)

Agustín Buffa

Estudiante de Ingeniería aeronáutica/aeroespacial (UTN)

Lucas Zabala

Ingeniero aeronáutico/aeroespacial (UTN)

GTA – Grupo de Tecnología Aeroespacial. Dirigido por Nahuel M. Castello, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Haedo, Buenos Aires, Argentina.

gta@frh.utn.edu.ar

Palabras clave: Ensayos Ambientales - Picosatélites - CANSAT.

Keywords: Environmental Testing - Picosatellites - CANSAT.

Ponencia presentada en el XII Congreso Argentino de Tecnología Espacial. 12-14 de abril, 2023.

Recibido: 16/06/24
Aceptado: 20/06/24

Resumen

Los ensayos ambientales son la reproducción de forma fiel en un laboratorio de ensayos de las condiciones ambientales a las que van a estar sometidos los diferentes componentes y elementos de una carga útil espacial. La realización de ensayos ambientales permite adelantarse a los inconvenientes y solucionarlos antes de la ejecución de su misión. El Grupo de Tecnología Aeroespacial de la Universidad Tecnológica Nacional tuvo a su cargo la construcción de dispositivos para ensayar los picosatélites CANSAT en el primer certamen nacional de cargas útiles.

Abstract

Environmental testing is the faithful reproduction in a test laboratory of the environmental conditions to which the different components and elements of a space payload will be subjected. The performance of environmental tests makes it possible to anticipate and solve problems before the execution of the mission. The Aerospace Technology Group of the National Technological University was in charge of the construction of devices to test the CANSAT picosatellites in the first national payload competition.

Introducción

El proyecto CANSAT en Argentina intenta reproducir a escala todo el proceso por el cual se diseña un satélite, se lo construye, prueba, lanza y opera. Esta metodología tiene su origen en los Estados Unidos de América, donde un docente y un grupo de académicos propusieron elevar una carga útil cuyo tamaño no superara al de una lata de refrescos. Tuvo un éxito enorme en todo el mundo, a tal punto que se convirtió en una competencia anual universitaria y fue respaldado por las principales agencias espaciales (NASA, European Space Agency-ESA, Japan Aerospace Exploration Agency-JAXA, entre otras).

En nuestro país, la Asociación de Cohetería Experimental y Modelista de Argentina adoptó el modelo para la escuela media y en el año 2004 lanzó la primera prueba. La Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CNAE) se interesó en el programa y efectuó una prueba piloto con mucho éxito en el año 2011.

Un CANSAT (*can*: lata; *sat*: satélite) es un dispositivo autónomo que emula ser un satélite. Se lanza en un cohete u otro medio de elevación hasta una altura aproximada de 300 metros. Se intenta que el tiempo en el aire represente el tiempo de visibilidad sobre el horizonte de una pasada de satélite, típicamente de pocos minutos. Debe realizar una misión definida de manera previa. Debido a su espacio de uso, es ideal para mediciones atmosféricas y experimentación científica.

Los ensayos ambientales se plantean en forma didáctica como un acercamiento lo más fiel posible al ciclo de pruebas a las que son sometidas las cargas útiles antes del vuelo, para garantizar su vida.

Metodología

En la industria aeroespacial existen numerosos ensayos para comprobar el funcionamiento de los componentes, elementos y/o del producto completo. Para el certamen CANSAT se realizaron tres ensayos ambientales: ensayo de caída (*drop test*), ensayo de vacío térmico (*thermal vacuum test*) y ensayo de vibración (*vibration test*). Esta serie de pruebas están recomendadas por la NASA para su competencia internacional universitaria [1]. A continuación, se describen brevemente:

- **Ensayo de caída:** está diseñado para verificar si el picosatélite y el punto de fijación con el paracaídas sobrevivirán al despliegue y caída, las cuales pueden ser muy violentas
- **Ensayo de vacío térmico:** verifica que la carga útil pueda operar a los cambios de temperaturas que



se presentan durante la fase de ascenso. Debido a la disminución de la presión con la altura, también se verifica el despliegue de la operación de la carga útil y que todos sus componentes funcionen con normalidad.

- **Ensayo de vibraciones:** comprueba la integridad del montaje de todos los componentes, las conexiones, las partes estructurales y la batería. [2]

Los estándares de la NASA, adoptados por la ESA y la CONAE [3], establecen lo siguiente:

- **Ensayo de caída:** consiste en el despliegue de la carga útil desde una distancia de 900 mm que simula la caída real, alcanzando una velocidad igual a la que se tendría con el paracaídas, típicamente entre 2 y 4 m/s. Se propone una estructura de perfiles de aluminio con los cuales se regula la altura, en donde se tiene un mecanismo de despliegue controlado.
- **Ensayo de vacío térmico:** si bien por los estándares se sugiere realizar estos ensayos por separado -a fin de que sea más real la simulación en vuelo-, se hicieron en forma simultánea. Se realiza una disminución de presión con una bomba de vacío, alcanzando los 0,8 bar y, mediante una celda Peltier, se enfría el entorno a través de una pared de aluminio para bajar 3° C respecto a la temperatura ambiente; esto se lleva a cabo de manera lenta y no de forma similar a la tasa de ascenso del cohete.
- **Ensayo de vibración:** según los lineamientos, para este ensayo se propuso una solución sencilla: la de utilizar una lijadora orbital que lleve a una exposición de 22 g en la carga útil. Para mejorar el ensayo se plantea su utilización controlando el motor con un variador de voltaje, a modo de regular la frecuencia. Se vincula una placa de aluminio donde se sitúa el CANSAT, siendo este soportado por mordazas diseñadas por el Grupo. La obtención de resultados se da por dos acelerómetros, uno para la placa y otro para la carga en sí misma, controlados por una placa tipo Arduino.

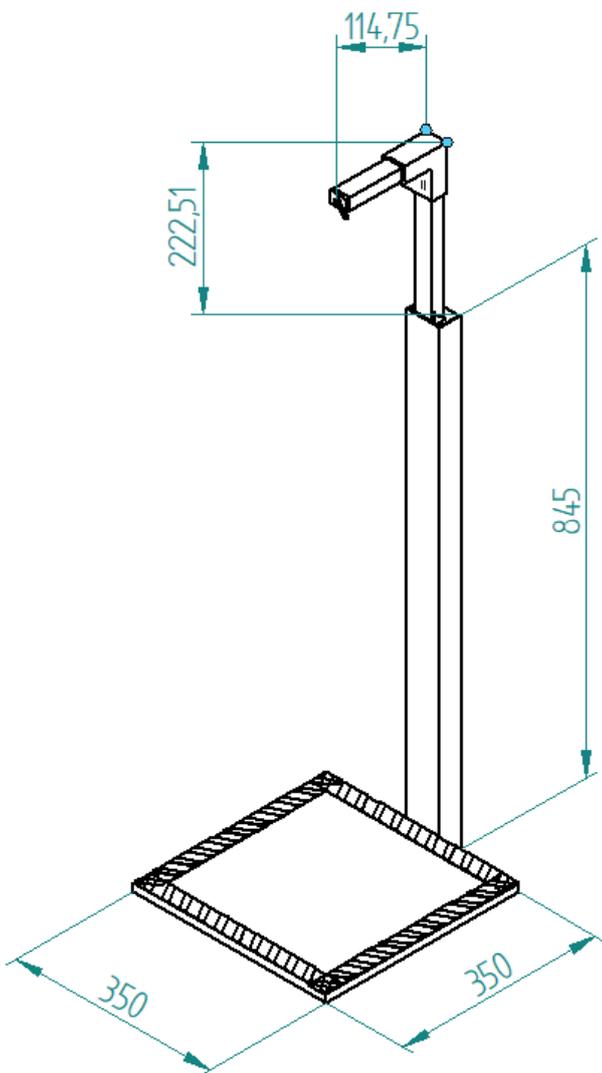
Desarrollo

Se desarrollaron tres dispositivos para la realización de los ensayos, los cuales son:

- A. Dispositivo para ensayo de caída
- B. Cámara de vacío térmico
- C. Shaker para ensayo de vibración

A. Dispositivo para ensayo de caída

Figura 1. Esquema con dimensiones del dispositivo de ensayo de caída (en mm)



Elementos:

- Plataforma de fibra de densidad media (MDF)
- Columna de aluminio
- Sistema de liberación con Arduino
- Piezas para la conexión entre elementos estructurales elaboradas en PLA
- Servomotor

“Un CANSAT es un dispositivo autónomo que emula ser un satélite. Se lanza en un cohete u otro medio de elevación hasta una altura aproximada de 300 metros”



Figura 2. El dispositivo de ensayo de caída en el LAyF de la UTN FRH

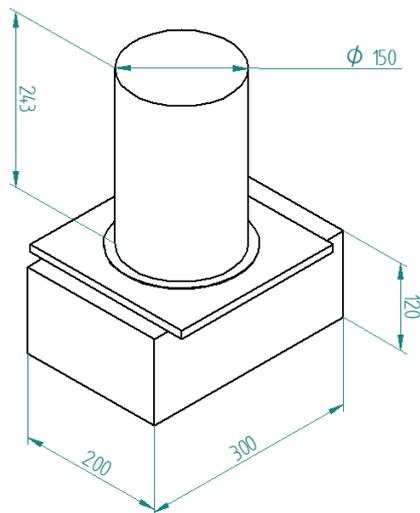


La plataforma de MDF es la base del dispositivo. En la zona de impacto del CANSAT, la columna de aluminio consta de un perfil tipo C (soporte principal) y, dentro del mismo, un tubo rectangular que se desliza dentro del perfil tipo C para regular la altura de caída. Con las piezas elaboradas en ácido poliláctico (PLA) con tecnología FDM (*Fused Deposition Modeling* o *Manufactura por Deposición Fundida -impresión 3d-*), se realizó un carril para el deslizamiento del tubo rectangular y para unión del brazo que sujeta el sistema de liberación. Este sistema se construyó con un servomotor controlado por una placa tipo Arduino que, mediante dos botones, hace girar una palanca y se libera el CANSAT.

El sistema de liberación está preparado para tres velocidades de caída, aunque se utilizó solo la altura más baja, que implica una velocidad de caída de 2 m/s aproximadamente. El dispositivo prevé un alojamiento para el picosatélite, a fines de contenerlo ante una eventual rotura en la caída.

B. Cámara de vacío térmico

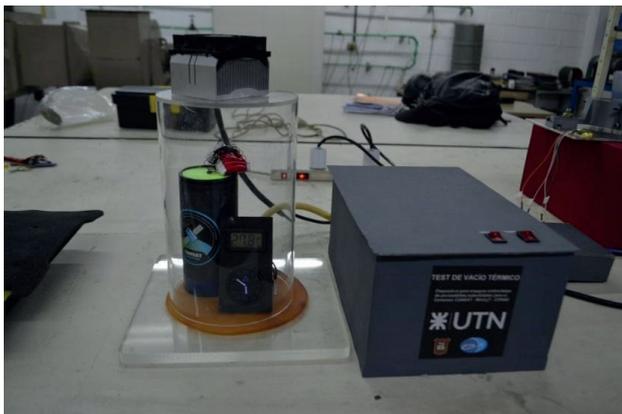
Figura 3. Esquema con dimensiones del dispositivo de ensayo de vacío térmico (mm)



Elementos:

- Bomba de vacío
- Barómetro
- Termómetro
- Cámara hermética
- Piezas para sujeción del barómetro elaboradas por impresión 3D (en poliéster de glicol-PET G)
- Celda Peltier
- Cooler
- Teclas on/off
- Caja de MDF

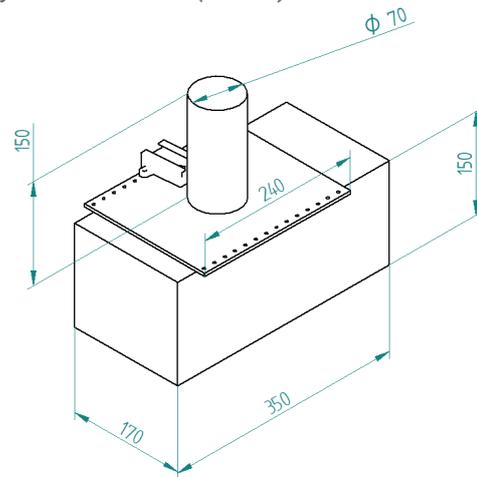
Figura 4. El dispositivo de ensayo de vacío térmico en el Laboratorio de Aerodinámica y Fluidos (LAF) de la UTN FRH



Dentro de la caja MDF se colocó la bomba de vacío con las teclas de encendido, que a su vez está conectada mediante una manguera a la cámara de vacío. Además, para reducir la temperatura se encimó a la cámara una celda Peltier refrigerada por un cooler. Para aumentar la efectividad, se dispuso de una placa de aluminio en contacto con la celda. Dentro de la cámara se encuentran el termómetro y el barómetro, colocados en piezas elaboradas en PLA con tecnología FDM.

C. Shaker

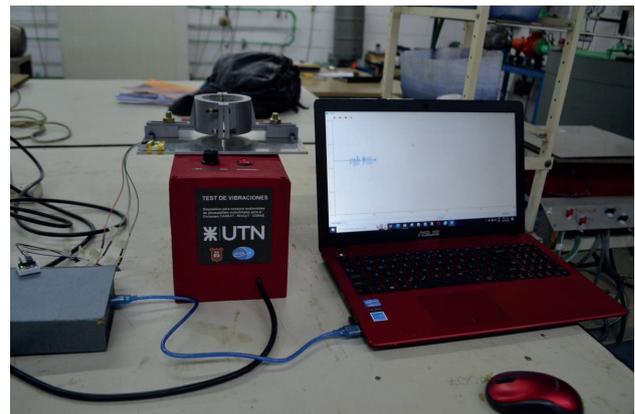
Figura 5. Esquema con dimensiones del dispositivo de ensayo de vibraciones (en mm)



Elementos:

- Lijadora orbital
- Regulador de voltaje
- Caja contenedora con MDF
- Base con placa de aluminio
- Fijadores elaborados en PLA
- Acelerómetros de unidad de proceso múltiple (Multi-Round Units-MPU)
- Notebook para la visualización de las mediciones de los acelerómetros
- Tecla on/off
- Placa Arduino UNO

Figura 6. El dispositivo de ensayo de vibraciones en el LAF de la UTN-FRH



Se construyó la caja con MDF para contener la lijadora orbital, la tecla de encendido y el regulador de voltaje. Este último permite variar la frecuencia de oscilación; también la caja funciona como base del dispositivo. Por otro lado, la placa Arduino UNO se conectó a la notebook para graficar las mediciones realizadas por los acelerómetros MPU, uno de los cuales se adhirió a la base del dispositivo y otro, al CANSAT.

Ensayos de laboratorio

En el LAyF, se practicó un *dry run* de los dispositivos con un *dummy*, simulando un CANSAT propiamente dicho. De esta forma, se aseguró el correcto funcionamiento de los dispositivos. Luego de los ensayos, se llegaron a conclusiones y correcciones para un correcto comportamiento en el Centro Espacial Teófilo Tabanera (CETT).

Dispositivo para ensayo de caída

Debido a que la velocidad de impacto era muy alta, dada la dureza de la base, y que esta no representaba de forma acorde el suelo de tierra, se disminuyó la altura a efectos de no comprometer la integridad de los dispositivos.

Cámara de vacío térmico

Se constató que su comportamiento fuera el esperado, y como no existieron mayores complicaciones tanto en funcionamiento como en la prueba en sí del *dummy*, no hubo correcciones a tener en cuenta.

Figura 7. Ensayo de un prototipo de CANSAT

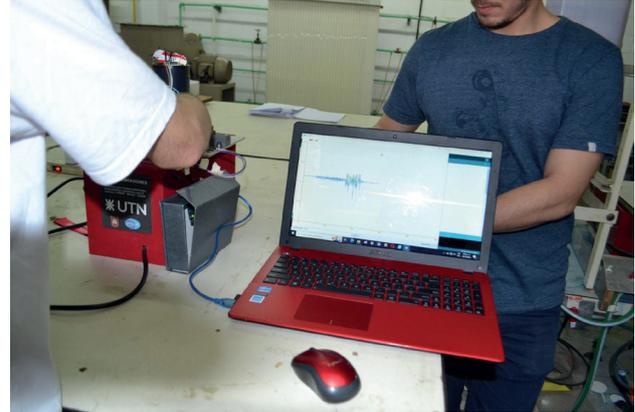


Shaker

Como antes detallamos, se usaron dos acelerómetros: uno para la base y otro en la carga útil. Se observó que existe un rango operativo: en el extremo inferior, el motor no consigue vencer la inercia del conjunto; en cambio, en el superior, la frecuencia aumenta con la amplitud, por lo que las vibraciones hacen que no sean practicables para el ensayo. Entonces no se utilizaron

valores extremos del dial de regulación, sino aquellos que arrojaban aceleraciones del orden esperado para el lanzamiento y separación, típicamente entre 6 y 9 g.

Figura 8. Ensayo de vibraciones



Pruebas de campo

En la campaña de lanzamientos de los picosatélites, se pusieron a prueba los dispositivos. Los cinco equipos finalistas realizaron los siguientes procedimientos:

- **Fit check:** se verificaron pesos y medidas para confirmar que se encontraban dentro de las especificaciones del certamen: 150 mm de largo por 70 mm de diámetro y menos de 300 gr de peso.
- **Prueba de vibración:** se ensayaron en el *shaker* los cinco picosatélites durante algunos segundos, para simular las vibraciones de la etapa de despegue, aceleración y liberación. El rango de frecuencias armónicas probadas y su duración intentaron reflejar estos eventos. Las aceleraciones obtenidas oscilaron entre 4 y 10 g durante tres segundos. Se realizaron series de cinco pruebas para garantizar el funcionamiento. Durante el transcurso de las pruebas, el CANSAT debía estar en modo operativo, transmitiendo los datos a la Estación Terrena.

Figura 9. Ensayo de las vibraciones de su CANSAT

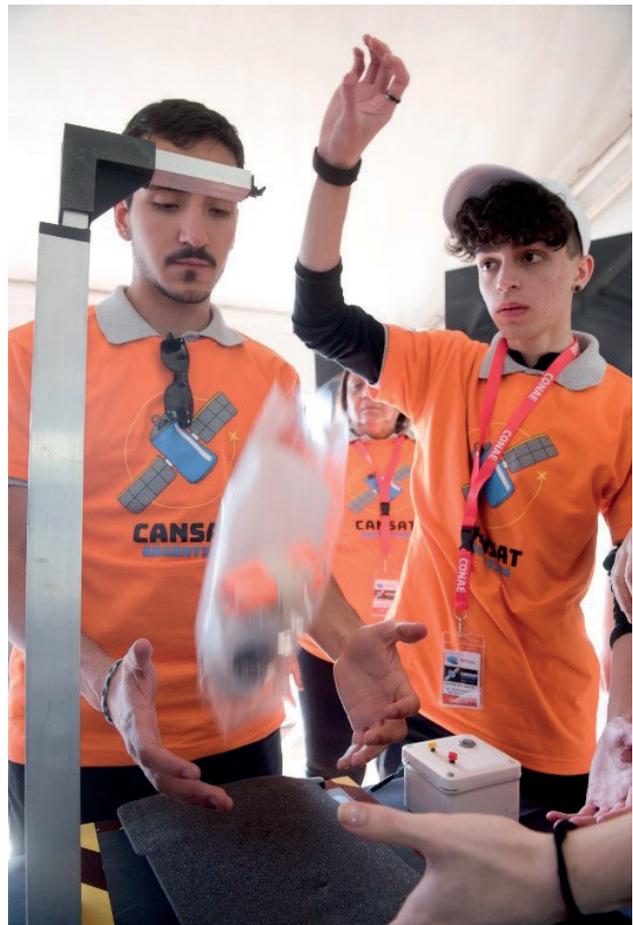


- **Prueba de vacío térmico:** una vez finalizado el primer ensayo, sin apagar los satélites, se introdujeron en la cámara de vacío térmico, practicando un vacío equivalente al triple de la altura que alcanzarían en vuelo (en el orden de 0,8 bar) y disminuyendo dos grados la temperatura dentro de la cámara. Se realizó un solo test de este tipo por equipo.
- **Drop test:** último ensayo que representaba la fase final del vuelo. Tal como se había realizado en el LAyF, la altura de lanzamiento fue la más baja (900 mm), para no dañar los satélites antes del vuelo. Una falla en la electrónica del sistema de liberación obligó a lanzar manualmente cada uno.

Figura 10. Ensayo de vacío térmico en el CANSAT



Figura 11. Ensayo de la caída del CANSAT



Conclusiones

Los dispositivos y los ensayos realizados son el puntapié que nos permite ver la complejidad que representa el estudio de las condiciones ambientales, no solo en la construcción de dichos dispositivos, sino también en que las mediciones sean confiables. Además, es necesario un análisis para seleccionar adecuadamente los elementos requeridos para lograr los parámetros ambientales a los que estará sometido el CANSAT. Considerando el tiempo de diseño, desarrollo y fabricación, los dispositivos cumplieron satisfactoriamente con lo esperado. Se busca mejorar los gabinetes donde se encuentra el hardware, como

también mejorar la *performance* de los mismos, por ejemplo, el método de refrigeración del ensayo de termovacío.

Referencias

- [1] NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. (2022). *NASA Student Launch- Handbook and Request for Proposal*. Marshall Space and Flight Center – Huntsville, Alabama.
- [2] HARRIS G. (2002). *Shock and Vibration Handbook – 5th Edition*. McGraw Hill Vol.2, 121-153.
- [3] GRUPO DE TECNOLOGÍA AEROESPACIAL (2022). Environmental Testing Requirements. *Convenio específico CONAE-UTN*.