

Diseño Preliminar de una Plataforma de Pruebas y Desarrollo de AOCS&UPS

Frednides Guillén*, Edgar Pérez y Eliécer Hernández

Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación Espacial
Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales
Borburata, Estado Carabobo, Venezuela

fguillen@abae.gob.ve & eperez@abae.gob.ve & ehernandez@abae.gob.ve

Resumen – En este artículo se presenta el diseño preliminar de una plataforma de pruebas de AOCS y UPS empleando un sistema “*Air Bearing*”, el cual consiste en un rodamiento sin contacto conformado por dos piezas colocadas una sobre la otra y montadas sobre una base o eje; La pieza que se adapta a la base es fija y cóncava, y sobre esta reposa una pieza semiesférica móvil y ambas están separadas por un colchón de aire a alta presión, logrando de esta forma movimientos en los tres ejes con una fuerza de roce casi nula, la cual es una condición ideal para el desarrollo de una mesa de pruebas de AOCS con tres grados de libertad. Además, en este artículo también se enumeran los requerimientos de diseño y de desempeño, así como los modos de operación, planos, simulaciones y modelos en 3D realizadas con el programa CATIA V5.

Palabras clave – plataforma de pruebas, “*Air Bearing*”, rodamiento sin contacto.

I. INTRODUCCIÓN

Las condiciones en el espacio ultraterrestre son considerablemente diferentes a las de la atmósfera de la tierra, por lo cual, para poder llevar a cabo cualquier simulación de un sistema que operará fuera de la atmósfera, es necesario representar condiciones tan similares como sea posible a las que estará expuesto dicho sistema en la realidad.

Uno de los parámetros que constituye una diferencia sustancial es la fricción, por lo cual, desde los inicios de la tecnología espacial, ha representado un reto complejo realizar en tierra una simulación de un movimiento de giro o rotación, puesto que los rodamientos empleados normalmente en cualquier otro tipo de tecnología producen fricción por contacto mecánico, lo cual ocasiona que los resultados del análisis sean poco precisos.

Esta investigación plantea el uso de un *Air Bearing* como sistema de acople con tres grados de libertad [1], que permita rotación en tres ejes y con fuerza de roce nula, para el desarrollo de una plataforma de pruebas de AOCS y UPS, ya que por no haber contacto mecánico entre sus partes se logra un movimiento libre de fricción. [1]

Así mismo en este trabajo se detallan los requerimientos de diseño de la plataforma de pruebas, se plantean los modos de operación, además se especifica el presupuesto de masa y por último se presenta una simulación CAD en donde se realiza un modelo 3D de la plataforma.

II. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

La plataforma de pruebas debe cumplir con una serie de requisitos generales y de desempeño, lo cuales se enumeran a continuación:

1) Requerimientos Generales

La plataforma de pruebas debe ser capaz de proveer un ambiente similar al libre de torque, por medio de un pivote con fricción aproximadamente cero, de esta manera la puesta a prueba y desarrollo del sistema de control solo dependerá primeramente de la masa y la inercia del sistema. [2]

2) Requerimientos de desempeño

La plataforma debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- a. El “*air bearing*” semiesférico debe estar compuesto de la siguiente manera: Una parte que encaje en la tabla de la plataforma sujeta con tornillos, esta parte es de forma hemisférica de radio 49.75 mm, como se muestra en las figuras 2 y 4. La otra pieza es de forma cóncava (de radio 50.25 mm) y se compone de 6 agujeros proporcionalmente distanciados y a la mitad de la altura de la superficie cóncava, usados como *jets* para la salida del aire comprimido, como se muestra en la figura 1. Los *jets* podrán ser *inserts* los cuales tienen un agujero de 0.55 mm de diámetro; estos *jets* van colocados en la parte cóncava del *air bearing*, ver figura 3. Esta parte cóncava debe tener entrada para el sistema de aire comprimido, y la manguera de alta presión que conduce el flujo de aire se conecta a esta pieza mediante un dispositivo denominado “*Inlet*”, como se muestra en las figuras 4 y 5. Las tolerancias de ambas piezas principales del *air bearing* deben ser no mayor a ± 0.02 mm. [2]



Figura 1: Modelo de Air Bearing



Figura 2: Modelo de Air Bearing; parte hemisférica y parte cóncava



Figura 3: Modelos de dispositivos "Inserts" de Air Bearing



Figura 4: Modelo de Air Bearing, en el que se puede observar un "Inlet" para el suministro del aire comprimido



Figura 5: Modelos de dispositivos "Inlets" para el suministro del aire comprimido

b. El material recomendado para la fabricación del exterior del *air bearing* es bronce fosforado como se muestra en la figura 2; o aluminio con un acabado exterior pulido (con un

recubrimiento del tipo *hardcoat* como el 6061 *Al hard anodized*) como se aprecia en la figura 6.



Figura 6: Modelo de Air Bearing de aluminio con un acabado exterior pulido con un recubrimiento: *Hardcoat 6061 Al Hard Anodized*

- c. El sistema del *air bearing* debe poseer fricción extremadamente baja alrededor de los ejes de rotación.
- d. El centro de rotación instantáneo de la plataforma de pruebas debe coincidir con el origen o centro de la pieza semiesférica del *air bearing*, como se muestra en la figura 7.
- e. El sistema de referencia coordinado para la plataforma debe estar configurado según el esquema de la figura 7, en donde el origen del sistema coordinado debe estar situado en el centro de rotación instantáneo, y los ejes X, Y, Z deben coincidir con los respectivo ejes principales de la plataforma (tabla + parte hemisférica).

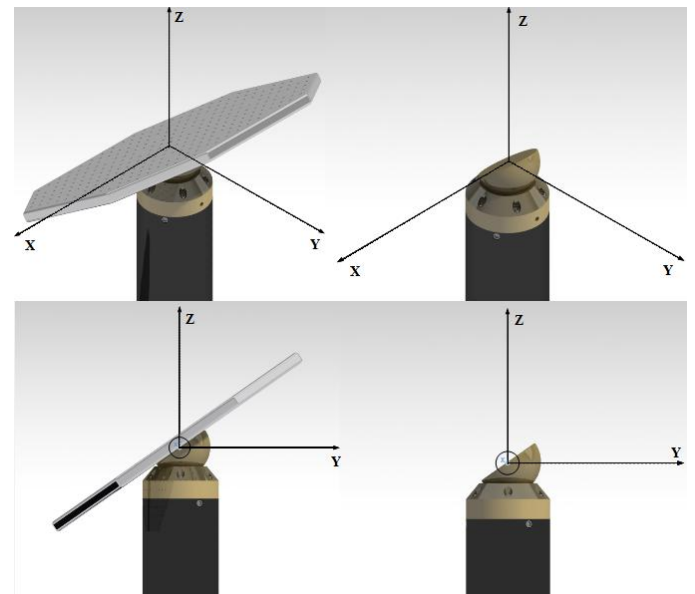


Figura 7: Ejes Coordinados de la Plataforma de Pruebas

- f. La plataforma debe estar balanceada de tal manera que el centro de masa (CM) coincida exactamente con el centro de rotación instantáneo del *air bearing* hemisférico.

- g. El CM debe ser reubicable por medio del uso de un conjunto de tres masas deslizables con un sistema de barra roscada (con paso fino) cada una, ortogonales entre si y alineadas con los ejes X, Y, Z. Con posibilidad de ser automatizado a futuro (ver figuras 7, 8 y 9).

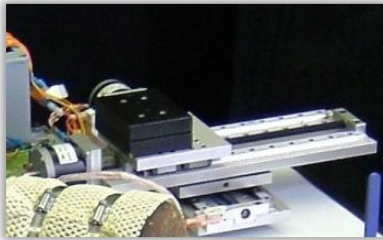


Figura 7: Sistema de contrapeso de paso fino

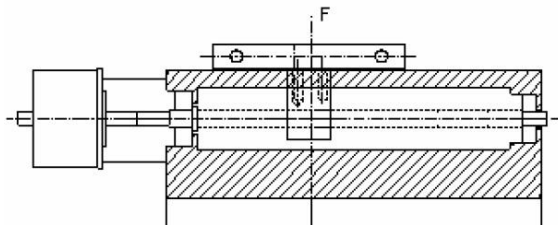


Figura 8: Esquema transversal de un sistema de contrapeso

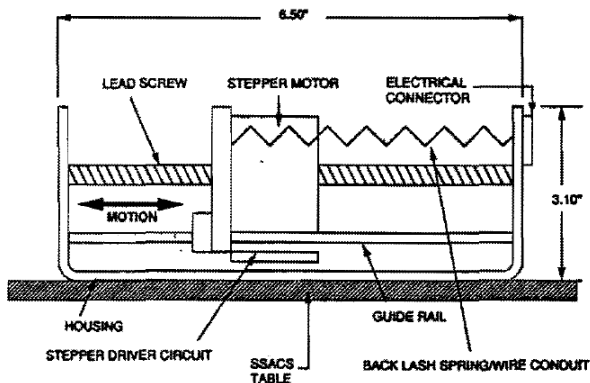


Figura 9: Sistema de contrapeso automático

- h. Poseer tres grados de libertad de rotación alrededor de los ejes X, Y, Z.
- i. Capacidad de giro de $\pm 35^\circ$ en roll y pitch, y 360° en yaw. Movimientos que estarán definidos alrededor de los ejes X, Y, Z respectivamente.
- j. Velocidad angular alrededor de todos los ejes de rotación de $\omega = 1^\circ/s$.
- k. Capacidad nominal de carga de 45 Kg con un factor de seguridad de 1,5.
- l. Sistema de aire comprimido con presión regulable el cual será la fuente del gap de aire debe tener una capacidad mínima de 60 PSI.
- m. Es obligatorio poseer filtros de aire en diferentes etapas de la línea de alimentación de aire y secadores (como se muestra en la Imagen 10) debido a que la humedad, aceite y polvo pueden romper el fino gap de aire (0.01mm) y

también podrían dañar el acabado de la superficie del *air bearing*.



Figura 10: filtros de aire y secadores del sistema neumático

- n. Tabla de aluminio con forma octagonal de un espesor de 20 mm y 50x50 cm en sus dimensiones más largas. No debe sobrepasar los 12 Kg de peso.
- o. La tabla poseerá agujeros roscados para el montaje de componentes, situados a intervalos de 5 cm en un patrón cuadrado.
- p. Colocar una representación, de manera precisa, de los ejes coordinados sobre la tabla para usarlos como referencia para posteriores alineaciones y montajes. Si esta representación es desmontable entonces cada vez que se vuelva a montar debería confirmarse la precisión de ubicación de este sistema y poseer repetitividad de precisión de alineamiento.
- q. El pedestal para la tabla debe tener una altura de 60 cm, con sección transversal circular de espesor 5 mm y con diámetro externo de 12.7 cm, con una base circular de 50 cm de diámetro, y tornillos regulables en sus extremos para nivelar la plataforma. Además debe poseer soportes angulares, con un espesor de 1 cm, de refuerzo para la estructura entre el cilindro y la base circular. El material de este pedestal es acero.
- r. El acabado final, para evitar corrosión u oxidación, debe ser con una pintura en color negro mate (de ser posible *Powder Coating*).
- s. La plataforma debe poseer un sistema de seguridad neumático (tres pistones) para elevar la tabla antes de encender y apagar el sistema de aire a presión, para de esta manera no dañar el acabado del *air bearing*. Y además alcanzar las RPM nominal de las MW mientras la tabla se encuentre elevada por el sistema de seguridad. De ser posible el sistema de seguridad debería activarse en caso de una pérdida de presión abrupta en el sistema de aire comprimido. Los tres pistones deben estar ajustados al cilindro del pedestal de la plataforma.
- t. La plataforma debe poseer soportes o contenedores para las baterías adecuado al diseño de la tabla de la plataforma.
- u. El cableado para la carga de las baterías debe estar embebido o ajustado en la tabla de la plataforma.

v. La plataforma debe poseer soportes para las ruedas de momento (MW) adecuado al diseño de la tabla.

III. MODOS OPERACIONALES

- 1) **Modo Apagado:** Donde los pistones del sistema neumático deberían actuar y elevar la mesa de la plataforma y permanecer de esta manera.
- 2) **Modo Normal:** Los pistones del sistema neumático se retraen cuando el sistema de aire comprimido se encienda y pasen unos segundos mientras se forma el *gap* de aire para el *air bearing*, posterior a esto comenzará el funcionamiento normal de pruebas y desarrollo de la plataforma.
- 3) **Modo Emergencia:** El sistema neumático debería actuar en caso de una pérdida de presión abrupta en el sistema de aire comprimido del *air bearing*.

IV. PRESUPUESTO DE MASA

En la Tabla 1 se detalla el presupuesto de masa correspondiente a los equipos que conforman la plataforma de pruebas.

Tabla 1: Presupuesto de masa para la plataforma de pruebas

COMPONENTE	CANTIDAD	MASA INDIVIDUAL (KG)	MASA TOTAL (KG)
Motores DC	3	1.5	4.5
MW	3	0.5	1.5
MWE	3	0.1	0.3
AOCE	1	2	2
Baterías	3	2	6
PS	1	12	12
PSE	1	3	3
Otros componentes	1	10	10
			39.3

V. SIMULACIONES

1) Premisa/asunción

Con un software de diseño CAD, se modeló la plataforma de pruebas y la tabla se asumió de diferentes tipos de materiales, tales como aluminio, acero, entre otros. Además se usaron las geometrías que cumplan los requerimientos para realizar los cálculos de las propiedades de masa de la plataforma.

2) Proceso de Simulación

Se ubicaron masas de diferentes dimensiones en los extremos de la tabla (ver figura 11), con el objetivo de lograr una configuración en donde se consiguió obtener un tensor de inercia, el cual los momentos de inercia eran superiores a los productos de inercia, así el CM es coincidente con el centro instantáneo de rotación (ver figura 12).

3) Programa utilizado

Como herramienta principal de diseño se usó CATIA V5.

4) Resultados de la simulación

- a. Primeramente se logró obtener un modelo en 3D de la plataforma de pruebas
- b. En función del presupuesto de masa descrito anteriormente, se modeló una ubicación hipotética de los equipos sobre la tabla de la plataforma y se obtuvo la matriz de inercia como se muestra en la figura 12.
- c. De acuerdo a la geometría propuesta de la plataforma de pruebas, se logró obtener un ángulo máximo de roll de 35° , tal como se muestra en la figura 13.

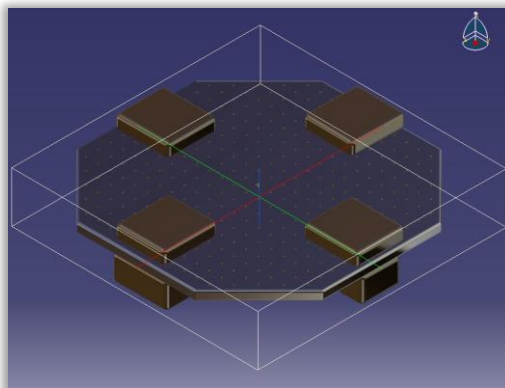


Figura 11. Distribución de masas en la tabla de la plataforma de pruebas

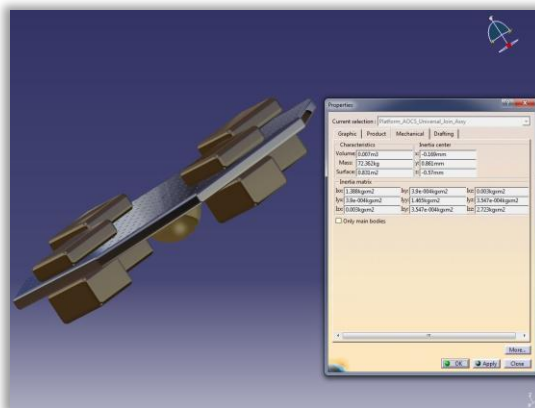


Figura 12. Obtención de la matriz de inercia de la plataforma de pruebas

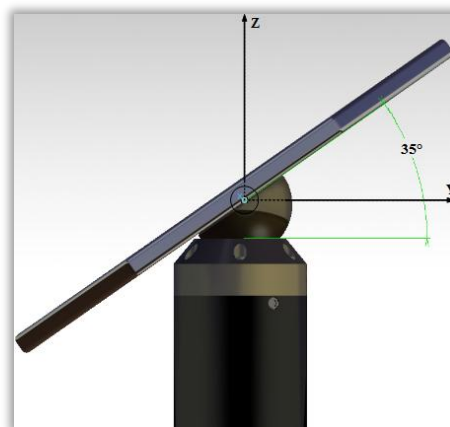


Figura 13. Ángulo máximo de maniobra de roll del sistema

VII. CONCLUSIONES

En este diseño preliminar de una plataforma de pruebas de AOCS & UPS, se logró especificar una serie de requerimientos que debe cumplir para la respectiva construcción de un prototipo o modelo físico final. En este diseño se destaca el hecho de que la mesa o tabla va conectada a la base mediante un sistema de rodamientos que permita que esta se mueva con 3 grados de libertad, específicamente la mesa puede realizar rotación en los ejes X, Y y Z, más no así podrá realizar movimientos de traslación.

El sistema de acople seleccionado y diseñado es un “*Air Bearing*”, el cual consiste en un rodamiento sin contacto conformado por dos piezas colocadas una sobre la otra y montadas sobre una base o eje; una de las piezas va fijada a la base y es cóncava, y sobre esta reposa una pieza semiesférica móvil y ambas están separadas por un colchón de aire a alta presión, logrando de esta forma movimientos en los tres ejes con una fuerza de roce nula.

Mediante la modelación en 3D con el programa CATIA V5.0, se realizó un diseño preliminar de la plataforma, por medio del cual se pueden obtener los diferentes planos que conlleven a la construcción de la misma, así mismo se pudo obtener la matriz de inercia y el ángulo máximo de maniobras en roll y pitch. Por otro lado, queda abierta la posibilidad de realizar otras modelaciones que conlleven a una mejora del modelo propuesto.

VIII. REFERENCIAS

- [1] “Air Bearing Application and Design Guide”. New Way Air Bearings Company. <http://www.newwayairbearings.com/>. Philadelphia. 2006
- [2] Richard Boynton. “Using a Spherical Air Bearing to Simulate Weightlessness”. Space Electronics, Inc. Berlin. 1996.