



DISEÑO, DESARROLLO Y ELABORACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS E INTERFAZ DE USUARIO PARA NANOSATELITES

Mauricio Cristaldo

Pasante en la Agencia Espacial del Paraguay

Supervisor Directo:

Ing. Esteban Fretes, MSc.

Dirección de Proyectos de Investigación y Desarrollo

Laboratorios SpaceLab

San Lorenzo – Paraguay

2023

ABSTRACTO

Este trabajo presenta un banco de pruebas giratorio de un solo eje o “Single-Axis Rate Table”, utilizado en la industria aeroespacial y de la ingeniería para someter a objetos, como pueden ser los nanosatélites, a movimientos rotatorios precisos y controlados. Esta plataforma se utiliza para llevar a cabo pruebas de simulación que evalúan cómo responderá el sistema a situaciones específicas en el espacio. Estas pruebas son fundamentales para garantizar que los equipos y sistemas espaciales funcionen correctamente y puedan resistir las tensiones y fuerzas a las que estarán expuestos en misiones reales.

El motor Paso a Paso (PaP) es el corazón de esta plataforma. Este motor es ideal para aplicaciones de alta precisión, ya que puede dividir su rotación en pasos discretos. Esto permite controlar la posición angular con gran exactitud, lo cual es necesario para la mesa de pruebas. Este motor requiere la integración de un driver específico para motores PaP, como puede ser el modelo A4988. Un Arduino Nano será el microcontrolador a utilizar, debido a su diseño compacto y sencilla implementación. El programa será controlado por una Interfaz de Usuario o GUI, diseñada y desarrollada en Visual Studio.

INDICE

ABSTRACTO	II
INDICE	III
INTRODUCCION	1
METODOLOGÍA	2
ESPECIFICACIONES	2
SOFTWARE	4
ESTRUCTURA	6
PROCEDIMIENTO DE ENSAMBLAJE	10
FUTURAS CONSIDERACIONES	13
CONCLUSIÓN	13

INTRODUCCION

Es un hecho que Paraguay ha dado sus primeros pasos en la incursión de la industria aeroespacial, evidenciado por el lanzamiento exitoso de su primer nanosatélite, el 'GuaraniSat-1', en febrero de 2021. Este logro significativo fue resultado del trabajo en conjunto de ingenieros paraguayos y miembros del proyecto Birds-4 [1], en el Instituto de Tecnología de Kyutech (Kyushu, Japón), donde se llevaron a cabo las simulaciones y pruebas necesarias para la aprobación del proyecto. Para continuar avanzando en el desarrollo de sistemas espaciales y tecnología satelital en Paraguay, es fundamental trasladar al territorio paraguayo los conocimientos y la tecnología utilizada para dichas pruebas y simulaciones.

Este trabajo presenta un banco de pruebas rotatorio de un eje de libertad, diseñado para realizar pruebas de posicionamiento y rotación constante en nanosatélites, con un enfoque especial en el 'GuaraniSat-2'. El sistema está compuesto por un motor a pasos NEMA17, un Arduino Nano y otros componentes electrónicos, junto con rodamientos rígidos de bolas ('rulemanes'), impresiones en 3D y madera. Esta plataforma permite simular movimientos rotatorios precisos para evaluar la respuesta del nanosatélite y sus componentes, contribuyendo al desarrollo y la calidad de las misiones satelitales en Paraguay.

El Sistema de Determinación y Control de Actitud es uno de los subsistemas mayormente beneficiados, utilizando esta plataforma para verificar el correcto funcionamiento de los sensores como son los giroscopios, acelerómetros, y magnetómetros al integrarlo con una jaula de Helmholtz. Además, el Sistema de Telecomunicaciones podrá valerse del posicionamiento preciso del banco de pruebas, para realizar el Test de Patrón de Radiación de la Antena, como también para comprobar que las antenas desplegables tipo "Patch" no sufran una apertura prematura debido a las tensiones y fuerzas causadas por la rotación constante en el espacio.

METODOLOGÍA

Especificaciones

Primeramente, debemos definir las dimensiones y la carga a la que será sometido nuestro banco de pruebas. Para un nanosatélite de 3 unidades (3U) estándar, las dimensiones son de 10 cm x 10 cm x 34 cm, y se estima un peso aproximado de entre 3.0 ~ 3.9 Kg. [2]

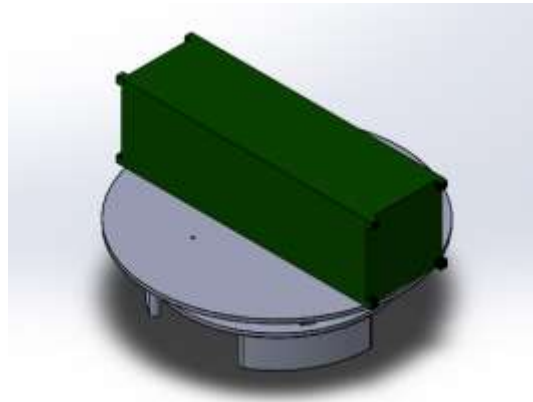


Figura 1. CubeSat de 3U sobre el Banco de Pruebas.

El motor PaP seleccionado para esta aplicación es el NEMA 17HS2408-s. Dicho motor realiza 200 pasos por revolución (1.8° por paso), y es capaz de ejercer un torque de 1200 g/cm. Las dimensiones como también sus especificaciones detalladas pueden ser encontradas en la hoja de datos del fabricante en la carpeta “[Single-Axis Rate Table → Anexos → Nema17 – datasheet.pdf](#)”. También es necesario complementar al motor, un Driver de motores Paso a Paso, el cual se encarga de suministrar la corriente cuando el microcontrolador se lo indique. El driver utilizado en este proyecto es el modelo A4988, junto con el microcontrolador Arduino. A continuación, se presenta un ejemplo muy similar de la esquemática del circuito, utilizando un Arduino UNO:

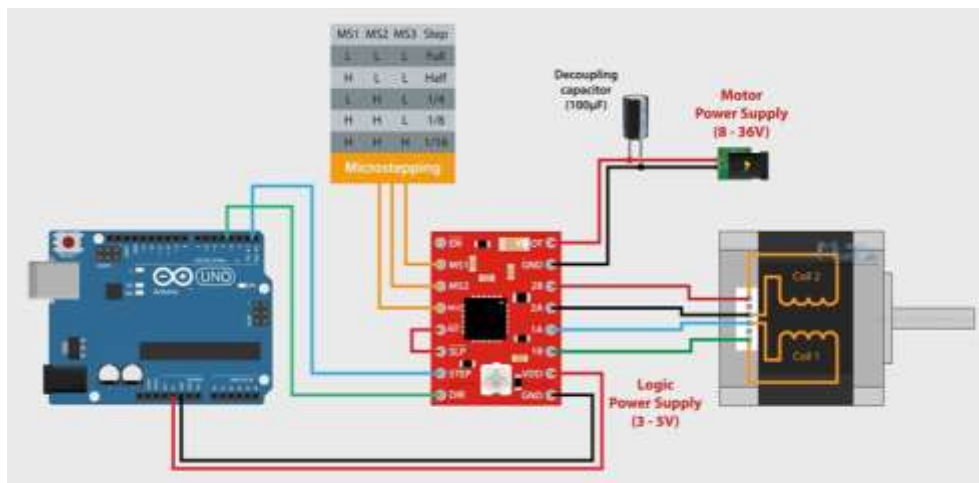


Figura 2. Ejemplo del circuito con un Arduino UNO y el driver A4988. **Fuente:** HowToMechatronics (YouTube).

Debido a ciertas diferencias de manufactura del fabricante, el motor PaP en posesión cuenta con las conexiones de sus bobinas de manera alternada, formando una bobina entre el primer y tercer cable, y la otra entre el segundo y cuarto cable. Esto se detalla en la siguiente imagen con los colores Azul (1er cable), Verde (2do cable), Amarillo (3er cable), Rojo (4to cable). En el caso de realizar mal las conexiones, el motor no será capaz de girar y, por ende, comenzará a vibrar cuando se lo suministre de corriente.

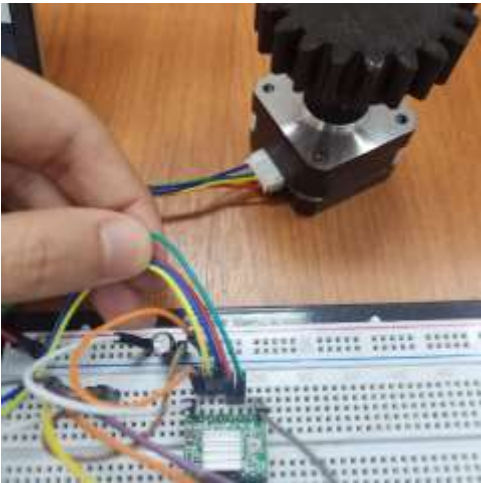


Figura 3. Bobina 1: Cables Amarillo y Azul. Bobina 2: Cables Rojo y Verde.

Para lograr una reducción de fricción en la plataforma, se incorporan a la estructura unos rodamientos rígidos de bolas o “Ball Bearings”, que permiten un giro suave y eficiente al proporcionar un soporte con mínima resistencia al movimiento y ayudando así a mantener la estabilidad de la plataforma. Estos mecanismos también conocidos como “Rulemanes”, fueron reciclados del laboratorio SpaceLab y también donados por colaboradores del proyecto. Son de dimensiones diferentes, siendo dos de ellos del modelo 608 con diámetro exterior de 22mm. y otros tres del modelo 608 con diámetro exterior de 24 mm. Ambos modelos tienen un diámetro interno de 8mm, por lo cual podrán ser integrados con tornillos y tuercas M8 e impresiones 3D personalizadas.

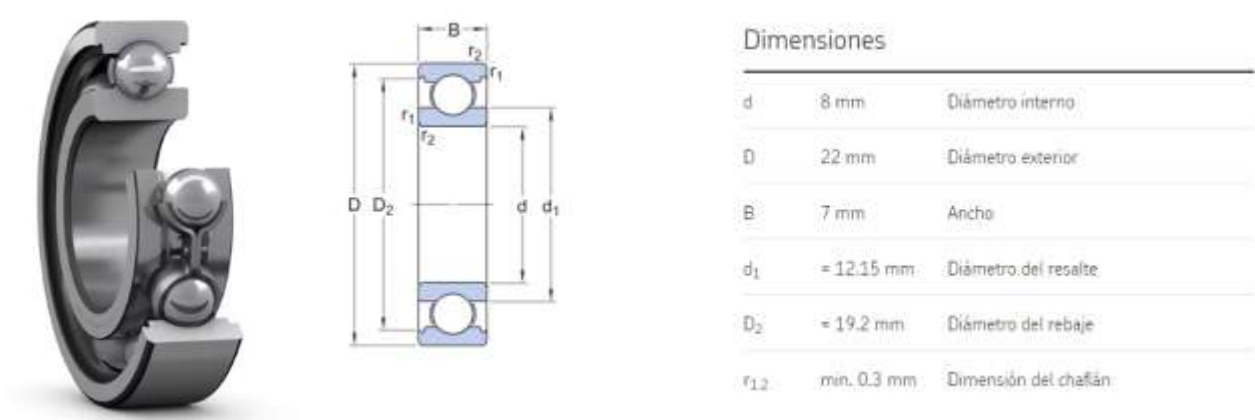


Figura 4. Dimensiones del Rodamiento Rígido de Bolas 608

Software

El código proporcionado en la carpeta “Single-Axis Rate Table → Rate Table Codes → StepperControl_ArduinoCode → StepperControl_ArduinoCode.ino” y realizado en el Arduino IDE, debe ser compilado y cargado al microcontrolador a utilizar. Es responsable de recibir los comandos a través de la Interfaz Gráfica del Usuario, y mediante la comunicación serial con el puerto COM al cual se debe mantener conectado durante la operación.



Figura 5. Interfaz Gráfica del Usuario, Inicio.

Una vez iniciado el programa, se deberá seleccionar el método de control de acuerdo a la necesidad del usuario. Luego, se deberá configurar la comunicación con el puerto COM a ser utilizado, en el cual se encuentra conectado el Arduino. Se podrá ver las opciones de puertos disponibles en el momento que fue iniciado el programa, por lo que, si se conecta el Arduino luego de ejecutar el programa, es necesario clickear en el botón “Actualizar” para poder seleccionarlo. El BaudRate predeterminado será de “115200”, con opción de ser cambiado a “9600” si también lo hacen en el código del Arduino. Si la conexión por comunicación serial es exitosa, se habilitarán los cuadros de texto para enviar los comandos.

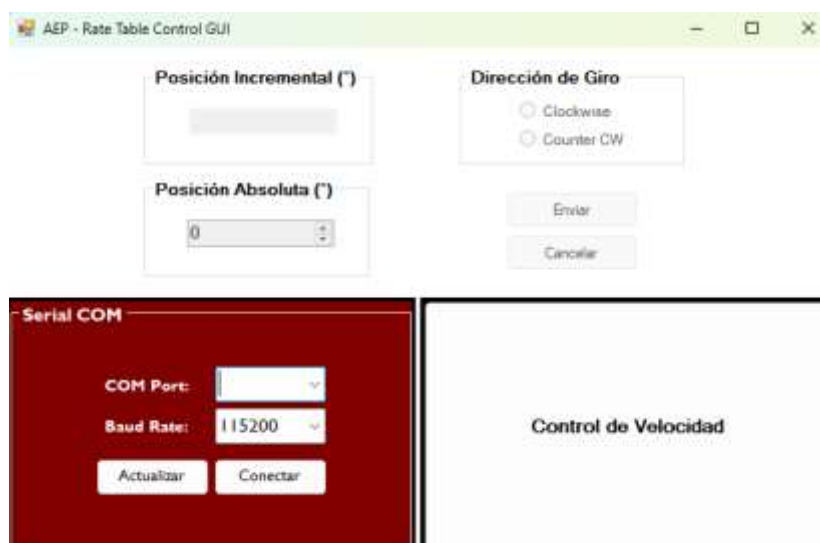


Figura 6. Interfaz Gráfica del Usuario, Control de Posición.

En el control de posición, tendremos la opción de giros posicionales de manera incremental respecto a la última ubicación, y otra opción con giro posicional absoluto respecto al origen (configurado como 0 en la posición donde fue ejecutado el programa y alimentado el Arduino), con el cual se podrá posicionar el objeto a ser testeado en la orientación deseada, girando con una velocidad predeterminada por el programa del microcontrolador.



Figura 7. Control de Posición, conectado exitosamente.

En cambio, si lo que se desea es una rotación continua durante cierto periodo de tiempo y a una velocidad específica, se debe seleccionar la opción “Control de Velocidad” que se encuentra disponible en todo momento en el botón derecho.



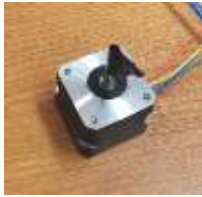



Figura 8. Control de Velocidad, conectado exitosamente.

En ambas opciones, el botón “Cancelar” y el botón “Volver”, ordenarán al motor que se detenga.

Estructura


En la tabla 1 se presenta la lista de componentes para realizar el ensamblaje. Los modelos para ser impresos en 3D y cortados en máquina láser, se encuentran en la carpeta “[Single-Axis Rate Table → Rate Table Design](#)”.


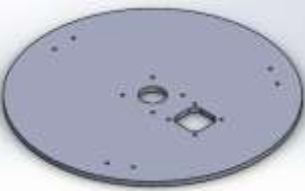
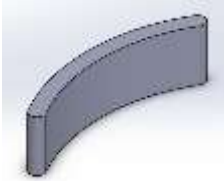
Tabla 1. Lista de componentes del banco de pruebas.

Componente	Cantidad	Manufactura	Costo
 Nema 17 HS2408-s	x1	Prefabricado	Gs. 200.000
 Driver A4988	x1	Prefabricado	Gs. 35.000
 Arduino Nano	x1	Prefabricado	Propiedad de la AEP
 Jumpers M-M	x15	Prefabricado	-

 <p>Protoboard</p>	x1	Prefabricado	Propiedad de la AEP
 <p>Fuente de Alimentación</p>	x1	Prefabricado	Propiedad de la AEP
 <p>Capacitor 100uF</p>	x1	Prefabricado	-
 <p>Rodamientos</p>	x5	Prefabricado	Donación (Gs. 15.000 c/u)
 <p>Tornillo M8 x50mm</p>	x1	Prefabricado	Gs. 1.500

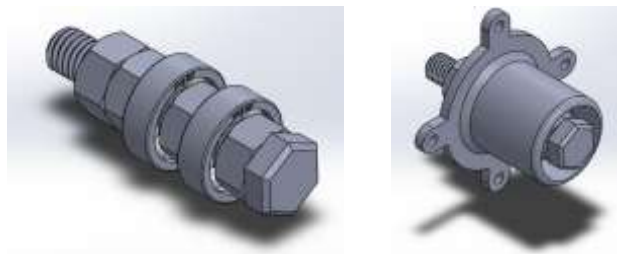
 <p>Tuercas M8</p>	X5	Prefabricado	Gs. 5.000
 <p>Tornillos M3 x10mm</p>	X24	Prefabricado	Gs. 24.000
 <p>Arandelas M3</p>	X8	Prefabricado	Donación
 <p>Tuercas M3</p>	X14	Prefabricado	Gs. 14.000
 <p>Engranaje externo</p>	x1	Impresión 3D	-

 <p>Engranaje interno</p>	x1	Impresión 3D	-
 <p>Soporte Central</p>	x1	Impresión 3D	-
 <p>Centralizador</p>	x1	Impresión 3D	-
 <p>Soportes p/ Rodamientos</p>	x3	Impresión 3D	-
 <p>Pin de Rodamientos</p>	x3	Impresión 3D	-

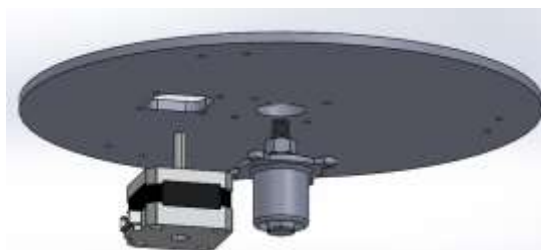
 <p>Base Superior</p>	x1	Corte Láser	Donación
 <p>Base Principal</p>	x1	Corte Láser	Donación
 <p>Soportes</p>	x3	Corte Láser o Impresión 3D	Donación

Procedimiento de Ensamblaje

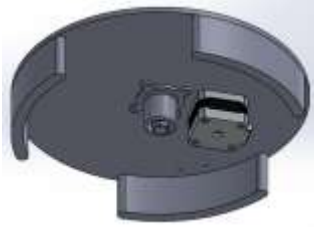
Primeramente, se ensambla el tornillo M8 con 4 tuercas M8 y 2 Bearings 608 de 22mm de diámetro externo de manera alternada. Luego, se inserta este ensamblaje en el Soporte Central.



A continuación, utilizaremos 8 tornillos M3, 8 arandelas y 4 tuercas M3 para asegurar el Motor y el Soporte Central a la Base Principal.



Los Soportes de la Base Principal serán adheridos con pegamento para madera (en el caso de ser de este material). Deben ser fijados de manera equidistante entre ellos.



Los soportes para los rodamientos serán ensamblados junto con los pines y los rodamientos 608 de 24 mm de diámetro externo. Luego se fijarán con 6 tornillos y 6 tuercas M3 a la Base Principal.



Para terminar con la Base Principal, debemos asegurar el engranaje interno al motor Nema17 con 2 tornillos M3.



Finalizando con el ensamblaje, debemos asegurar el Engranaje Externo y el Centralizador a la Base Superior, utilizando 8 tornillos y 4 tuercas M3. *Obs: Para asegurar el engranaje externo se utilizó pegamento de ferretería.



Por último, debemos apoyar la Base Superior sobre los rodamientos e insertar el Centralizador al tornillo del Soporte Central. En este paso se debe acoplar los engranajes correctamente.



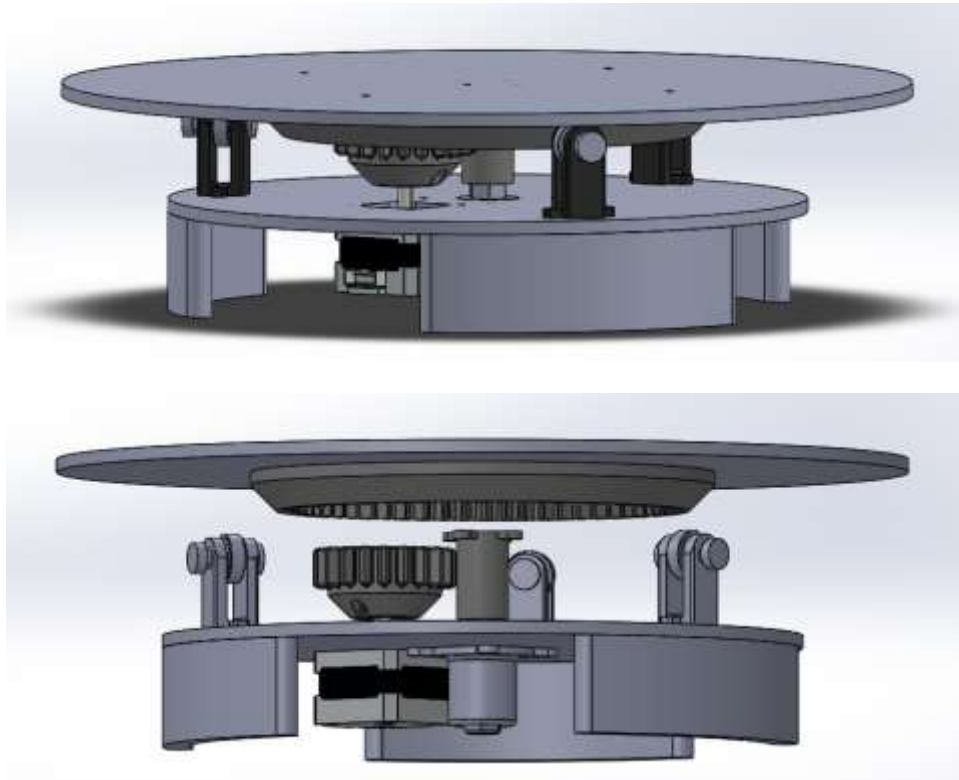


Figura 9. Diseño final ensamblado.

Futuras consideraciones

Existen oportunidades de mejora que podrían aumentar la eficiencia y la calidad de las pruebas. En particular, consideramos que la implementación de cojinetes de aire esféricos [3] es ideal para reducir la fricción en lugar de rodamiento, y podría optimizar el funcionamiento de la plataforma garantizando una simulación mucho más cercana a la realidad en órbita.

Aún si se sigue utilizando rodamientos, otra posible mejora sería el reemplazo del Driver A4988 por drivers de la familia TMC (como el TMC2209) que, aunque más costoso, ofrecería un trabajo del motor mucho más silencioso, lo cual es una característica altamente valorada en aplicaciones como la nuestra que requieren precisión en las mediciones.

La Interfaz Gráfica del Usuario, podría recibir datos del Arduino como la posición angular en tiempo real, para poder realizar gráficos de posicionamiento y velocidad respecto al tiempo transcurrido, y compararlos con los datos obtenidos mediante los sensores de giro y aceleración que fueron testeados. Para esta aplicación se deberá integrar al sistema un medidor de tiempo y una Tarjeta de memoria, que almacenará los datos de tiempo y de posición mediante la función “`Stepper.currentposition();`” de la librería utilizada en el código de Arduino “`AccelStepper`”.

Conclusión

En resumen, el banco de pruebas giratorio de un solo eje presentado en este trabajo es un valioso recurso para la industria aeroespacial y la ingeniería en Paraguay, que, como se mencionó anteriormente, beneficia especialmente al Sistema de Determinación y Control de Actitud y al Sistema de Telecomunicaciones, permitiendo realizar pruebas de simulación esenciales, y sentando las bases para futuras investigaciones y mejoras en la tecnología de sistemas espaciales del país, allanando el camino para un futuro prometedor en esta área.

Referencias

- [1] Adolfo Javier Jara Cespedes, *An Overview of the BIRDS-4 Satellite Project and the First Satellite of Paraguay*.
- [2] NASA, CubeSat101: Basic Concepts and Processes for First-Time CubeSat Developers, 2017.
- [3] E. Fretes, DEVELOPMENT OF TEST BENCH AND USER INTERFACE FOR ADCS TESTING OF MICRO AND NANOSATELLITES, 2022.