

Subchasis de integración modular para el despliegue de antenas en un Cubesat

Modular integration sub-chassis for antenna deployment in a Cubesat

ELKIN FERNANDO JIMÉNEZ

Ingeniero Electrónico, estudiante de Maestría en Teleinformática de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

Contacto: fernando6297@hotmail.com

ERNESTO GÓMEZ VARGAS

Ingeniero Electrónico, especialista en Telecomunicaciones, magíster en Teleinformática. Docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Contacto: egomez@udistrital.edu.co

LILIA EDITH APARICIO PICO

Licenciada en Ciencias de la Educación, magíster en Teleinformática, doctora en Telecomunicaciones. Docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Directora del grupo GITEM. Bogotá, Colombia.

Contacto: medicina@udistrital.edu.co

Fecha de recepción: 12 de agosto de 2012

Clasificación del artículo: caso de estudio

Fecha de aceptación: 27 de noviembre de 2012

Financiamiento: Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Palabras clave: antena, Cubesat, sistema de despliegue.

Key words: antenna, Cubesat, deployment system.

RESUMEN

El presente artículo propone un sistema de despliegue de antenas para Cubesat por medio de una línea de pesca, basado en un subchasis de integración que permite tener un mecanismo modular, fácil de instalar, con un circuito de despliegue

activado por una señal modulada por ancho de pulso (Pulse Width Modulation - PWM), el cual evita el uso de resistencias de potencia y ofrece mejoras en tamaño, peso, consumo de potencia, confiabilidad y facilidad de ensamble.

ABSTRACT

This document proposes a antenna deployment system for cubesat by a fishing line, based on an integration sub chassis that allows having a modular mechanism, easy to install, activated by

a PWM signal which prevents using power resistors and offers improvements in size, weight, power consumption, reliability and ease of assembly.

* * *

1. INTRODUCCIÓN

En la ingeniería de satélites, como en cualquier otra área del conocimiento, intervienen diversos factores que aseguran el éxito de un proyecto. Para un Cubesat se hace necesario construir una máquina que, a pesar de sus delicados elementos electrónicos, sea capaz de resistir un lanzamiento y funcionar en el espacio, donde las temperaturas fluctúan entre los 100°C bajo cero en la sombra y 120°C a la luz del sol [1]. El paso del tiempo y los logros en las tecnologías han proporcionado instrumentos de medición más precisos, sistemas de provisión de energía eléctrica más potentes y componentes de menor peso, pero todos ellos, en esencia, poseen las mismas características físicas que los primeros diseños. Los satélites se componen de 2 elementos principales: la carga útil y la plataforma. La carga útil comprende los elementos dedicados a realizar una misión en el satélite, es aquella parte del satélite que transmite la información útil; pero para que la carga útil realice su función, la plataforma debe garantizar que los elementos que intervienen en la comunicación en órbita lleguen a su destino en condiciones adecuadas para su correcta operación [2].

Dadas las fuerzas físicas presentes en el lanzamiento, así como el espacio disponible dentro del vehículo de lanzamiento, se hace necesario contar con un sistema que retenga las antenas y las despliegue en órbita, esto con el objetivo de evitar que las antenas sufran daños no solo durante el lanzamiento sino en la expulsión del satélite en

órbita, a la vez que se optimiza espacio en el proceso de embalaje.

La Universidad Distrital desarrolla investigaciones en telemedicina y telecomunicaciones, como eje estratégico en la Maestría en Teleinformática y sus programas de Ingeniería, identificando grandes necesidades y brechas de desarrollo tecnológico para el país. En este contexto, se proponen trabajos de investigación y desarrollo para aplicación de tecnologías modernas a la solución de problemas de gran impacto social, como son la cobertura en salud y la atención especializada a la población de diferentes zonas, facilitando la solución de los problemas sociales y la evolución del desarrollo tecnológico del país en materia espacial. Con el proyecto “Cubesat UD - Telemedicina y Telemetría”, cuyo objetivo general es desarrollar un pico satélite-académico, dotado con los requerimientos técnicos específicos que permitan la capacitación del recurso humano en tecnología espacial y el establecimiento de infraestructuras para desarrollar aplicaciones en telemedicina, se quiere alcanzar una visibilidad estratégica hacia el desarrollo de grandes proyectos sostenibles, iniciando con ciudades intermedias a las cuales se llevará la solución con el fin de que el país participe en el intercambio científico y tecnológico internacional. Se propone un piloto experimental en telemedicina para transmisión de señales de electrocardiograma (ECG).

En el marco de la puesta en marcha del proyecto se tienen previstos diversos módulos que cum-

plen funciones específicas dentro de un esquema general, los cuales garantizarán el óptimo funcionamiento. Uno de estos módulos es el encargado de llevar a cabo el proceso de despliegue de las antenas de comunicación del satélite puesto en órbita.

2. METODOLOGÍA

Para el diseño y puesta en marcha de un sistema de despliegue de antenas para Cubesat, se establecieron los diferentes mecanismos que podrían realizar esta tarea, teniendo en cuenta aspectos fundamentales como: espacio, materiales y corriente consumida. Se compararon pesos y tamaños de acuerdo a los materiales de cada uno de ellos y se realizaron pruebas para determinar su consumo de potencia. Partiendo de este punto, se escogió un mecanismo al cual se le adaptó un subchasis que lo convirtió en un módulo externo de fácil ensamble a cualquier Cubesat; posteriormente, se analizaron diferentes circuitos de despliegue que brindaran la corriente necesaria para el despliegue de las antenas en el menor tiempo posible y, teniendo en cuenta las limitaciones propias de la estructura, se introdujo al circuito una señal PWM, a la cual se le adaptó su ciclo útil para proporcionar los niveles de corriente adecuados para el despliegue y con el objetivo de no sobrepasar

los límites de los dispositivos electrónicos que lo conforman. Para las pruebas se utilizó el microcontrolador MSP430 [3], el cual se cargó con el programa de despliegue y junto al sistema de potencia del Cubesat se probaron en el mecanismo tal como se muestra en la figura 1.

3. MECANISMOS DE DESPLIEGUE

Una de las ventajas y capacidades de un satélite es la capacidad de recopilar datos en un entorno que es de difícil acceso; sin embargo, debe ser capaz de comunicar los datos a las áreas donde los seres humanos tienen acceso, es decir, debe tener una antena para enviar y recibir datos [4]. Estas antenas no se pueden enviar desplegadas, ya que esto ocuparía demasiado espacio en el vuelo, aumentando su costo, y es aquí donde el mecanismo de despliegue entra en juego, pues permite que las antenas sean dobladas durante el viaje y desplegadas una vez que el satélite está en órbita. El mecanismo está diseñado para integrar el almacenamiento de las antenas y el sistema de despliegue con su correspondiente circuito, todo ello con el menor tamaño y peso posible de acuerdo al estándar Cubesat [5].

La miniaturización de los satélites y el concepto de Cubesat hacen viables a pequeña escala

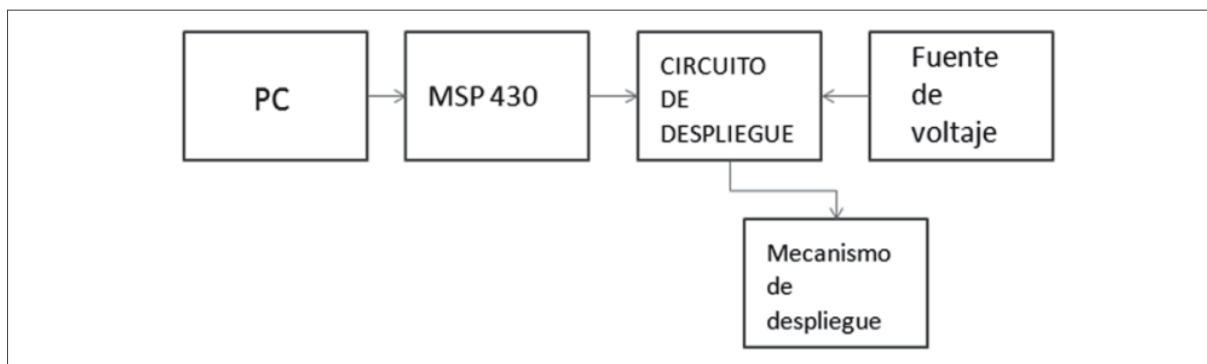


Figura 1. Esquema de pruebas

Fuente: elaboración propia.

los lanzamientos de satélites, con un presupuesto bajo [6]. Las dimensiones y masa hacen que todos los componentes incorporados deban tener las mínimas extensiones en la medida de las posibilidades.

El mecanismo de despliegue no debe superar los 82,6 x 98 mm en la parte delantera y un espesor de 6,5 mm. Existen diferentes mecanismos por medio de los cuales se puede llevar a cabo el despliegue en órbita de las antenas del Cubesat Colombiana. A continuación se muestra cada uno de ellos y posteriormente se analiza cuál de todos es el que más le conviene al proyecto, debido a sus características de consumo de potencia, espacio, diseño y confiabilidad.

3.1 Sistema de despliegue mediante línea de pesca

Las antenas se pueden unir al Cubesat mediante una línea de pesca o nylon. Para romper la línea de pesca se utiliza un alambre de cromo níquel, que será enrollado alrededor de un trozo del nylon. Esto debe hacerse en 2 lugares para hacer el sistema redundante. Si una bobina no rompe el hilo, existe una segunda oportunidad cuando la línea se rompe por la aplicación de un voltaje a través del alambre de cromo níquel [7].

Dependiendo de la ubicación de las antenas dentro del Cubesat, se pueden implementar varias posiciones para el despliegue. Se puede tener el par de antenas en las esquinas del Cubesat, de tal manera que al soltarse la línea de pesca se desplieguen hacia los costados, como se muestra en la figura 2.

3.2 Mecanismo de despliegue mediante émbolo magnético

En muchas aplicaciones es necesario controlar el paso de algún tipo de flujo, desde corriente eléctrica hasta gases o líquidos. Esta tarea es realizada

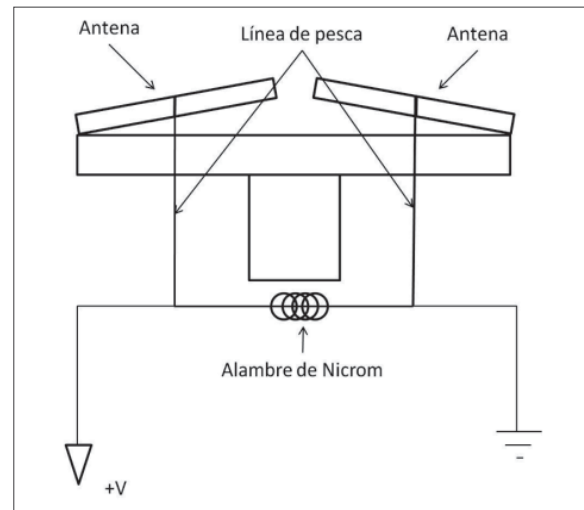


Figura 2. Mecanismo de despliegue con línea de pesca

Fuente: elaboración propia.

por válvulas. En particular, las accionadas por solenoides permiten su implementación en lugares de difícil acceso y facilitan la automatización del proceso al ser accionadas eléctricamente [8].

Este tipo de válvula es controlada variando la corriente que circula a través de un solenoide; la corriente, al circular por el solenoide, genera un campo magnético que atrae un émbolo móvil. Por lo general, estas válvulas operan de forma completamente abierta o completamente cerrada, aunque existen aplicaciones en las que se controla el flujo en forma lineal. Al finalizar el efecto del campo magnético, el émbolo vuelve a su posición por efecto de la gravedad, un resorte o por presión del fluido a controlar.

Este sistema puede utilizarse adecuadamente para implementar el sistema de despliegue de antenas del Cubesat, como se realizó en el proyecto Cubesat de la Universidad de Tokyo [9], ya que al poner en contacto las antenas con un émbolo magnético, estas estarán sujetas hasta que circule un flujo de corriente a través del electroimán y suelte el émbolo produciendo el despliegue de las antenas.

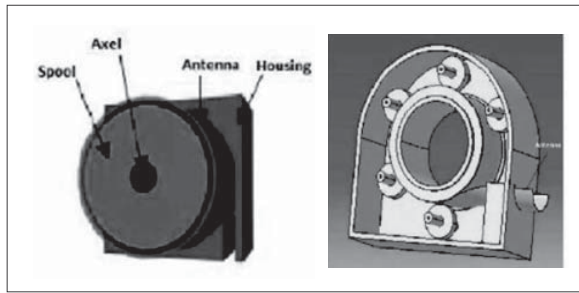


Figura 3. Cápsula de la cinta métrica
Fuente: tomada de [10].

3.3 Mecanismo de despliegue mediante cinta métrica

Este mecanismo consta de una capsula o cubierta donde se encuentra enrollada una cinta métrica, la cual debe desplegarse o desenrollarse mediante la rotación del cilindro interno donde se encuentra alojada, como se muestra en la figura 3.

Para facilitar el despliegue de antenas, se hace necesario contar con rodillos internos para disminuir la fricción y, de esta manera, agilizar el proceso y disminuir la potencia consumida. El movimiento rotatorio se puede generar a partir de un servomotor.

Aunque los 3 tipos de mecanismos ofrecen el mismo resultado, se analizaron diferentes aspectos para determinar la escogencia de uno de ellos. El peso y el tamaño son factores muy importantes a tener en cuenta en la selección del sistema de despliegue, para compararlos no se tomaron en cuenta las antenas ya que, en los 3 casos, debían estar incluidas. Por tanto, se tomaron en cuenta los materiales y los circuitos correspondientes para cada sistema.

En el sistema de cinta métrica se debe partir del hecho de que la cápsula albergará no solo las antenas sino el motor y los rodillos que eviten la fricción. La tabla 1 muestra las características para un motor DC.

Tabla 1. Características motor DC

Característica	Medida
Longitud	46.6 mm
Diámetro motor	20 mm
Diámetro eje	2 mm
Longitud eje	5 mm
Volumen	14 cm ³
Peso	30 g

Fuente: elaboración propia.

El motor junto con los rodillos, que para este caso son tornillos de acero con su respectiva arandela y la cápsula envolvente, tienen un peso aproximado de 80 g.

El sistema de línea de pesca utiliza un circuito de despliegue (figura 4) compuesto por mosfet de potencia con encapsulado SOT3, el cual tiene una medida de 5 x 2 mm; de igual manera, se utilizan capacitores y resistencias de inserción para un área de circuito impreso total de 6,75 cm², un volumen aproximado de 5 cm³ y un peso inferior a los 10 g.

El mecanismo de émbolo magnético necesita espacio suficiente para ubicar la bobina dentro del satélite. Proyectos anteriores utilizaron sistemas que ocupaban un volumen aproximado de 10 cm³ y un peso de 60 g dados los materiales de construcción.

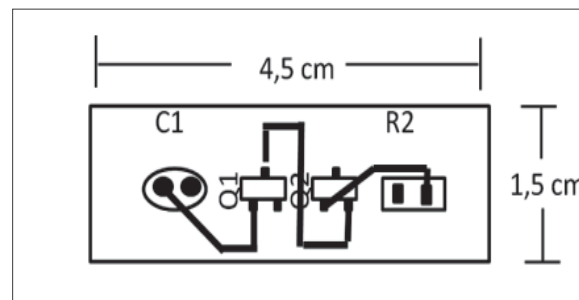


Figura 4. Circuito de despliegue
Fuente: elaboración propia.

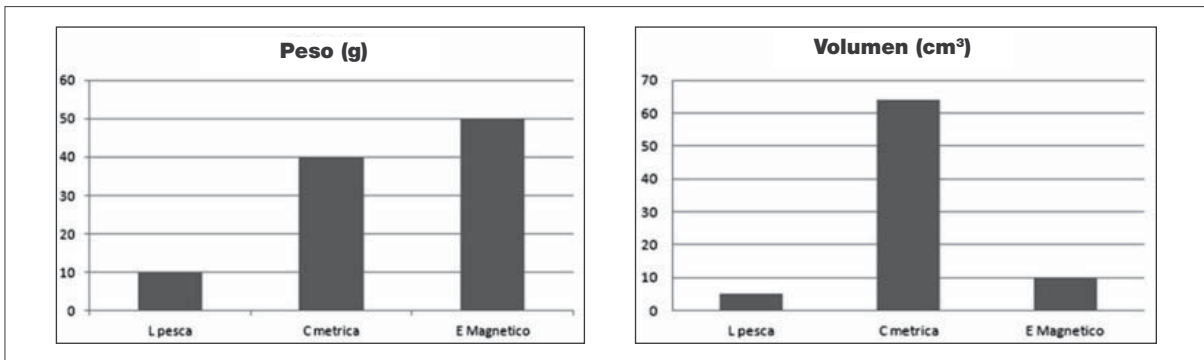


Figura 5. Peso y volumen sistemas de despliegue
Fuente: elaboración propia.

La figura 5 muestra el peso y el volumen para los mecanismos de línea de pesca, cinta métrica y émbolo magnético. El mecanismo de émbolo magnético con un peso aproximado de 50 g y el de cinta métrica con un volumen de 63 cm³ se consideran ineficientes para un proyecto Cubesat, mientras que el mecanismo de línea de pesca se constituye en la mejor opción para un nuevo prototipo.

La figura 6 muestra el esquema montado para la simulación del mecanismo de línea de pesca. Utilizando PROTEUS como software de simulación, se tomó una entrada PWM con una frecuencia variable de 0 a 30 KHz, la corriente más alta fue de 650 mA para una frecuencia de la señal de entrada de 20 KHz, con un ciclo útil del 20%.

Para el mecanismo de cinta métrica se realizaron pruebas a un servomotor introduciendo un peso adicional en el eje correspondiente a los rodillos, la cápsula y las antenas, obteniendo una corriente promedio de 460 mA.

Para determinar la corriente necesaria para realizar el despliegue en el mecanismo de émbolo magnético, se tomó la ecuación que relaciona el campo magnético y la corriente en un solenoide, la cual viene dada por la ecuación(1):

$$B = \mu NI \quad (1)$$

Donde:

μ = permeabilidad absoluta = $\mu_r \mu_0$

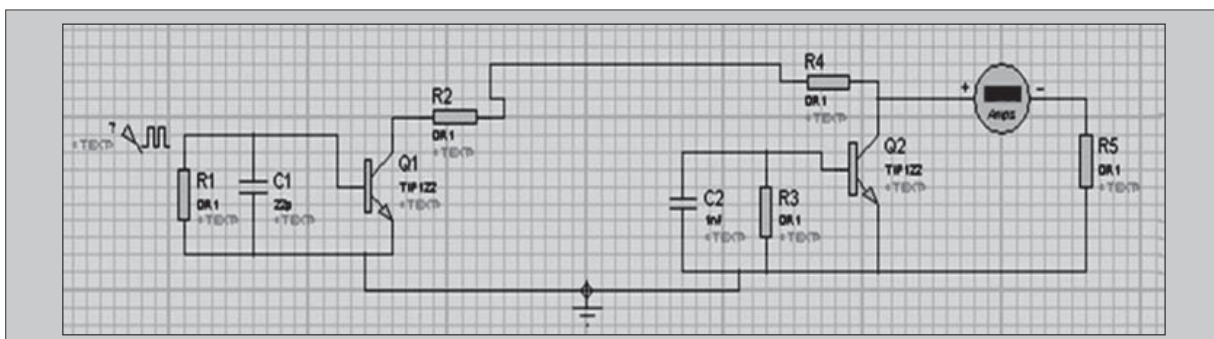


Figura 6. Esquema de simulación línea de pesca
Fuente: elaboración propia.

μ_r = permeabilidad relativa del material

μ_0 = permeabilidad en el vacío ($4\pi \cdot 10^{-7}$ N/A²)

N = número de espiras

I = intensidad que circula

Para este caso, se tomó el acero como material para el émbolo, ya que es ferromagnético y posee una alta permeabilidad relativa, aumentando el campo magnético resultante [11]. La figura 7 muestra el campo magnético vs. la corriente circulante para un solenoide de 300 espiras y una longitud de 5 cm.

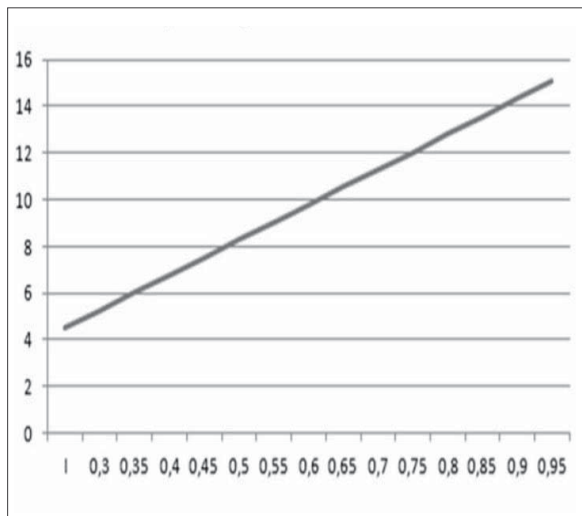


Figura 7. Campo magnético vs. corriente
Fuente: elaboración propia.

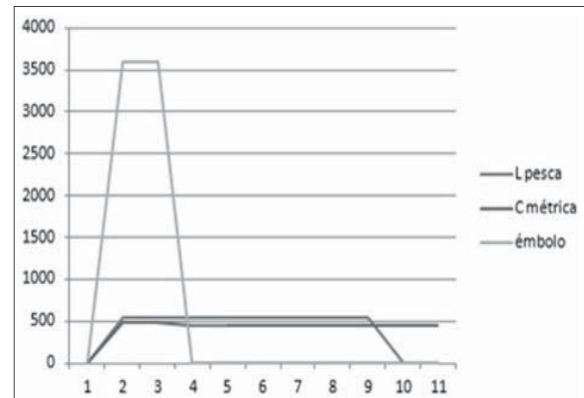


Figura 8. Consumo de corriente en cada sistema
Fuente: elaboración propia.

La magnitud de la fuerza magnética sobre un conductor rectilíneo, tomando el vector densidad de corriente perpendicular al campo magnético, viene dada por la ecuación (2):

$$F = iLB \quad (2)$$

La fuerza mínima para retener las antenas es de 3N, para llegar a este valor con un campo magnético de 16 T y un conductor de 5 cm se necesitaría una corriente de 3,75 A.

Por consumo de corriente, se descarta inicialmente el mecanismo de émbolo magnético y se optó por el de línea de pesca, ya que, aunque presenta un consumo de corriente que supera al de cinta métrica por un 30%, el espacio se reduce en un 120%, permitiendo una mayor utilización del Cubesat.

Tabla 2. Ventajas de los mecanismos de despliegue

Línea de pesca	Émbolo magnético	Cinta métrica
Menor tamaño	Sistema robusto	El uso de cápsula y rodillos hacen que ocupe el mayor espacio
Bajo consumo de potencia	Alta vibración	Uso de motor adicional para el despliegue
Tiempo de despliegue inferior a 9 s.	Espacio considerable	
Variedad en la posición de las antenas después del despliegue	Alto consumo de corriente, superior a los 2 A.	

Fuente: elaboración propia.

4. RESULTADOS

Uno de los factores determinantes en el diseño de un sistema de despliegue es el tamaño y el peso que ocupa dentro del sistema. A pesar de que el mecanismo de línea de pesca es el más liviano, se hace necesario minimizar estas variables con el objetivo de ampliar la carga útil disponible en el satélite; por tal motivo, la etapa de diseño se inició buscando el mejor soporte para los dispositivos del sistema.

Los diferentes sistemas utilizados en la actualidad para el despliegue de las antenas alojadas en el interior de los satélites presentan un grado alto de complejidad. El presente diseño consiste en un sistema de anclaje formado por un subchasis realizado en un material ligero, que soporta los demás elementos, así como los anclajes de las antenas, sus anclajes, el sistema que mantiene a estas plegadas y el que las despliega (figura 9). Así, se conforma un conjunto modular que contiene todos los elementos relativos a las antenas y su posicionado y que se puede fijar como un único elemento al satélite [12].

El diseño minimiza el circuito de despliegue gracias al uso de una señal PWM, que omite las resistencias de potencia que realizan el calentamiento

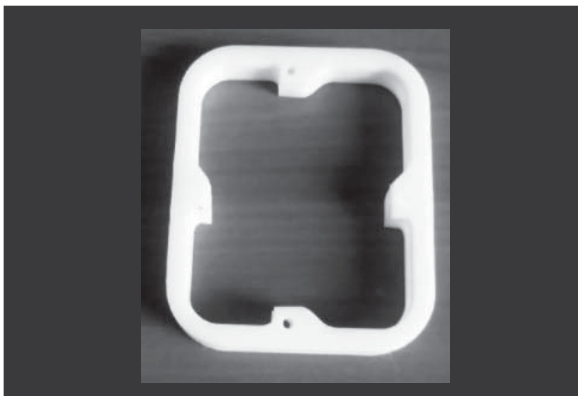


Figura 9. Subchasis de integración

Fuente: elaboración propia.

de la línea de pesca, permitiendo ganar espacio para nuevos módulos. El dispositivo funciona de una manera simple porque su diseño se basa en una pieza principal en la que las antenas, el alambre de quemado, el interruptor de detección de despliegue, una película envolvente, el cableado de las antenas y el cable de nylon de retención se pueden instalar.

Es un mecanismo de disparo único, no pirotécnico, con bajo consumo de potencia. La pieza principal del mecanismo debe estar hecha de un material polimérico, permitiendo la instalación de todos los elementos que conforman el mecanismo y el aislamiento eléctrico de las antenas. Esta característica proporciona simplicidad, ligereza y permite el perfecto guiado de las antenas plegadas [13].

Para adaptar el circuito de despliegue al subchasis, es necesario que los dispositivos electrónicos se agrupen ocupando el mínimo espacio y cumpliendo las corrientes mínimas para realizar el despliegue en el menor tiempo posible [14]. Se analizaron diferentes posibilidades de circuitos de despliegue con su respectiva implementación física para unir al subchasis, se probaron diferentes etapas de potencia y configuraciones con resultados similares en tiempo y corriente; sin embargo, se optó por los Mosfet de potencia, por su tamaño y su voltaje de activación que no supera los 3.5 V.

Dadas las características de la señal PWM, esta se puede utilizar para controlar la energía que se envía a los Mosfet, evitando el uso de resistencias de potencia y, de esta manera, reducir espacio en la placa del circuito.

El Mosfet DNS331N permite corrientes de salida superiores a los 600 mA con un voltaje de activación de 3,2 V, lo cual es ideal para el circuito a implementar para el despliegue (figura 10).

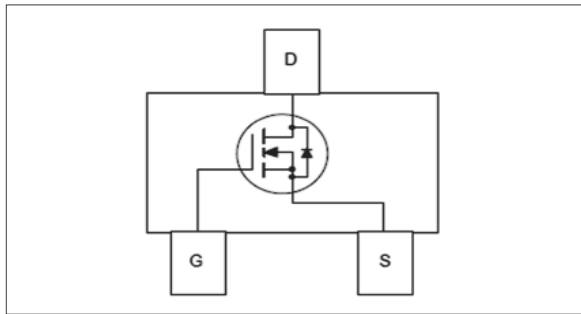


Figura 10. Diagrama interno DNS331N

Fuente: elaboración propia.

El circuito a implementar es el siguiente (figura 11):

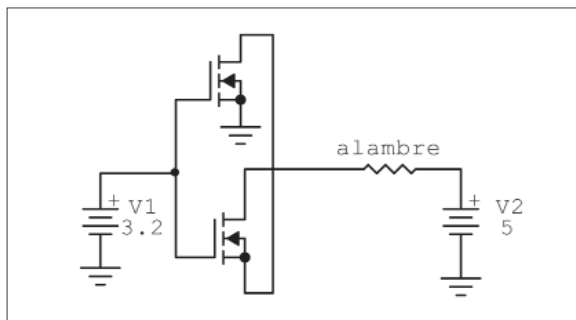


Figura 11. Circuito de despliegue con Mosfet de potencia

Fuente: elaboración propia.

La figura muestra un circuito amplificador de corriente, de fácil implementación, con un espacio apropiado para el circuito impreso dentro del Cubesat.

Las pruebas inician programando la señal PWM que controla la corriente que circula por los Mosfet, la cual se graba en el microcontrolador por medio del entrenador; esta señal saliente es la entrada al circuito de despliegue, el cual se encuentra alimentado por un voltaje de 5 V.

Las primeras pruebas realizadas se centraron en encontrar la frecuencia y el ciclo útil adecuado para realizar el despliegue. Realizando un barrido de frecuencia se obtuvieron los siguientes resultados (figura 12):

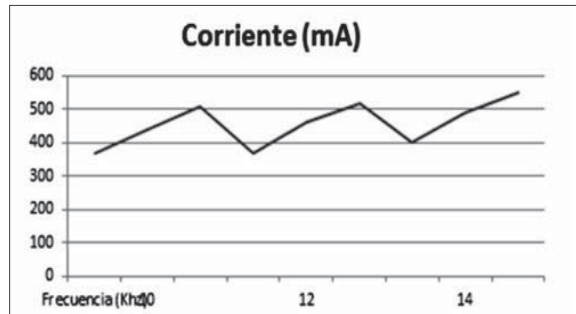


Figura 12. Frecuencia vs. corriente de despliegue

Fuente: elaboración propia.

La siguiente tabla muestra la frecuencia para la señal PWM, variando el ciclo útil la corriente que circula por el circuito.

Experimentalmente se comprobó que, para ciclos útiles superiores al 30%, se presentaban corrientes muy altas, por tal motivo, la tabla solo muestra resultados para el ciclo hasta este valor.

Tabla 3. Frecuencia para señal PWM

Frecuencia (KHz)	Ciclo útil (%)	Corriente (mA)
10	10	370
	20	440
	30	510
12	10	370
	20	460
	30	520
14	10	400
	20	490
	30	550
16	10	420
	20	500
	30	550
18	10	440
	20	520
	30	570
20	10	530
	20	600
	30	730
22	10	370
	20	550
	30	680

Fuente: elaboración propia.

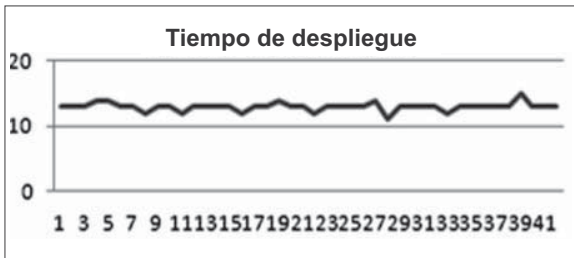


Figura 13. Tiempo de despliegue para una frecuencia de 20 KHz y una corriente de 600 mA
Fuente: elaboración propia.

Observando los resultados obtenidos para la frecuencia de la señal y la corriente consumida, se optó por trabajar con una frecuencia de 20 KHz con un ciclo útil del 20%, realizando con estos valores las pruebas para el tiempo de despliegue, de lo que se obtuvieron los siguientes resultados (figura 13):

Con los datos del tiempo de despliegue, se obtuvo una media de 13 segundos para el despliegue con una corriente de 600 mA.

El tiempo de despliegue varía levemente al cambiar el calibre del alambre, en la siguiente figura se observan las pruebas realizadas para diferentes calibres, variando la frecuencia de la señal PWM hasta 20 KHz. La figura 14 muestra el tiempo de despliegue para 4 calibres diferentes.

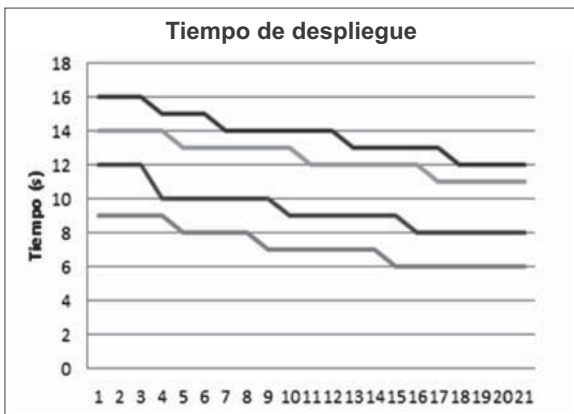


Figura 14. Tiempo de despliegue vs. frecuencia
Fuente: elaboración propia.

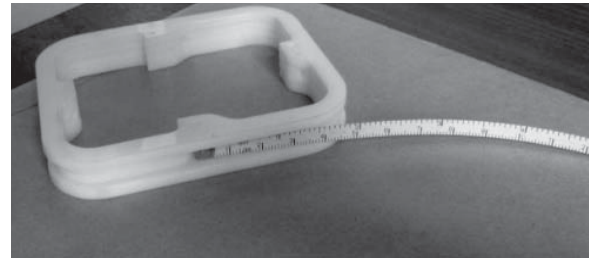


Figura 15. Subchasis con lámina envolvente
Fuente: elaboración propia.

El mecanismo debe poseer una lámina que envuelva las antenas, esta lámina debe cubrir la totalidad del subchasis de integración y, de esta manera, tener solamente un punto de quemado de la línea de pesca, tal como se muestra en la figura 15.

La lámina envolvente debe ser de un material polimérico para evitar interferencias con las antenas y tener un fácil enrollado en el subchasis. El circuito de despliegue se acopla al subchasis, buscando una placa lo más pequeña posible, para este caso se utiliza la generada para el circuito con Mosfet de potencia (figura 16).

El sistema se fija a la estructura del Cubesat atorillándolo en cada uno de los 4 lados, a la vez que quedan libres los espacios para fijar las antenas a la estructura.

El circuito puede fijarse al subchasis (figura 17) o se puede integrar junto con la placa de los paneles solares, ya que su tamaño es muy pequeño

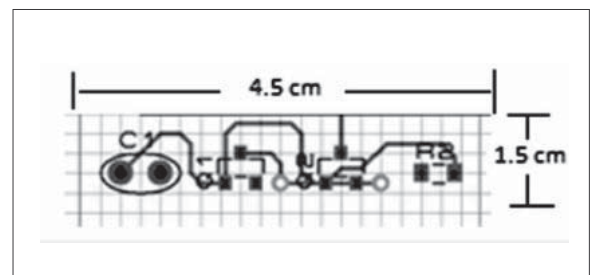


Figura 16. Placa de circuito de despliegue
Fuente: elaboración propia.

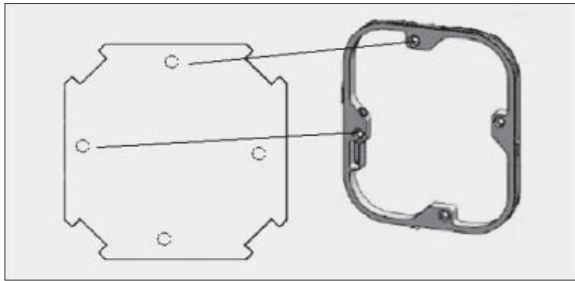


Figura 17. Fijación de subchasis al sistema

Fuente: elaboración propia.

y se puede ajustar fácilmente. La integración al sistema se realiza en una placa de 10 x 10 cm en la cual deben incluirse las antenas y el mecanismo de despliegue.

5. CONCLUSIONES

El uso de un subchasis de integración reduce el peso total del sistema hasta en un 50% comparado con otros sistemas utilizados en proyectos Cubesat, y permite el aprovechamiento del espacio interior para la carga útil.

Al generar una señal PWM e introducirla como entrada al circuito de despliegue, evita el uso de

resistencias de potencia y reduce en 5 cm² el espacio en la placa del montaje.

El uso de Mosfet de potencia en el circuito de un mecanismo de despliegue de antenas de línea de pesca, garantiza un correcto funcionamiento gracias a su bajo nivel de activación y su cantidad de corriente entregada.

El correcto funcionamiento de un Cubesat depende del óptimo diseño de un conjunto de subsistemas, los cuales deben funcionar armónicamente para conseguir el éxito de la misión.

Un sistema de despliegue de antenas óptimo para un Cubesat debe permitir un bajo consumo de potencia, un tiempo corto de despliegue y, a su vez, ocupar el mínimo espacio dentro de la estructura general del Cubesat.

El desarrollo de las pruebas al sistema de despliegue mostró un consumo corriente inferior a los 680 mA, durante un periodo de tiempo no mayor a los 13 segundos, logrando el objetivo principal de este proyecto.

REFERENCIAS

- | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>[1] R. Neri, <i>Comunicaciones por satélite</i>, México: Thomson, 2003.</p> <p>[2] J. García, <i>Los Satélites de Comunicaciones</i>, Barcelona: Marcombo, 1989.</p> <p>[3] Texas Instruments Microcontrollers, <i>MSP430x2xx Family User's Guide</i>, Dallas, Texas: Texas Instruments Incorporated, 1st edition, 2007.</p> <p>[4] C.A. Day, <i>The Design of an Efficient, Elegant, and Cubic Pico-Satellite Electronics System</i> [M.S. Thesis], California Polyte-</p> | <p>chnic State University, San Luis Obispo, 2004.</p> <p>[5] The Cubesat program, <i>Cubesat Design Specification Rev 12</i>, Cal Poly SLO, 2004. [Online]. Available: http://www.ies.univ-tp2.fr/robusta/satellite/IMG/pdf/CDS_rev12.pdf</p> <p>[6] Stanford University School of Engineering (ASCEND), <i>Advance system for communication & education in national development. Final report</i>, Stanford University, 1967.</p> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

- [7] C.D. Huerta, *Development of a Highly Integrated Communication System for use in Low Power Space Applications*, [M.S. Thesis], California Polytechnic State University, San Luis Obispo, 2006.
- [8] J. Carvallo y R. Vargas, *Válvulas de Solenoide*, Valparaíso, Chile: Departamento de Ingeniería Electrónica, Universidad Técnica Federico Santa María, 2003.
- [9] Y. Tsuda, N. Sako and T. Eishima, *University of Tokyo's Cubesat Project*, Tokyo: Department of Aeronautics and Astronautics, University of Tokyo, 2001.
- [10] P. Gireesh, *Antenna deployment in nanosatellites and picosatellites*. [Online]. Available: <http://es.scribd.com/doc/62567053/Antena-Seminar>
- [11] D. Cheng, *Fundamentos de Electromagnetismo para Ingeniería*, México: Wesley Longman S.A., 1998.
- [12] J. Encinas, J. Vilán, F. Aguado, J. López and F. Sarmiento, *Xatcobeo: Small Mechanisms for Cubesat Satellites Antenna and Solar Array Deployment*, 40th Aerospace Mechanisms Symposium, NASA Kennedy Space Center, 2010.
- [13] S. Waydo, D. Henry and M. Campbell, "CubeSat Design for LEO-Based Earth Science Missions", *IEEEAC paper*, no. 248, 2002.
- [14] J. Puig-Suari and C. Turner, "Development of the Standard CubeSat Deployer and a CubeSat Class PicoSatellite", *IEEE CA 93407*, California: Polytechnic State University San Luis Obispo, 2001.