

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTRUCTURA BASADA EN EL ESTÁNDAR CUBESAT PARA UNA MISIÓN ESPACIAL CON FINES CIENTÍFICOS

José Andrés Guevara Rojas¹, Antonio Alfonso Rodríguez Rosales¹, Juan Antonio Murillo Vargas¹, Mario Alberto Mendoza Bárcenas², Rafael Prieto Meléndez³ y Cesar Augusto Sebastián Núñez¹

¹Centro de Investigación Científica y Tecnológica de Guerrero A.C. (CICTEG), Rio Atoyac 8B- L28 Col Vista Alegre, 39560, Acapulco, Guerrero, México.

²Centro de Desarrollo Aeroespacial-IPN (CDA), Belisario Domínguez 22, 06000 Centro Histórico, CDMX

³Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología-UNAM (ICAT), Cto. Exterior S/N, Coyoacán, 04510, CDMX.

Resumen

Se construyó una estructura correspondiente a Cubesat de 1 unidad (1U), basado en los parámetros geométricos y físicos de normativas existentes de agencias espaciales como NASA y la ESA, obteniendo hasta el momento una compatibilidad de un 60% respecto a los estándares de éstas; en la misma se instalaron e integraron tarjetas electrónicas correspondientes a cuatro subsistemas: el sistema energía, la computadora a bordo, el módulo de carga útil y el sistema de telecomunicaciones. Este trabajo es parte principal de la colaboración multidisciplinaria del CICTEG con el CDA-IPN y el ICAT-UNAM. Se requirió que la estructura fuera un prototipo de bajo costo, construido con materiales existentes de aluminio, sometiénolo a un proceso químico de anodizado para formar una capa dieléctrica que evite cargas electrostáticas, se buscó que, para soportar los esfuerzos mecánicos, el diseño mecánico constara de tres partes principales, así como un blindaje térmico interno para evitar la radiación ultravioleta e infrarroja y otro electromagnético. Para una evaluación general y una primera integración del sistema se diseñó e integró una computadora a bordo basada en un microcontrolador Atmega328p. A esta se conectaron los sensores que forman parte del módulo de carga útil, que integra a un magnetómetro, una sonda de Langmuir y un contador Geiger-Müller, adicionalmente cuenta con un sensor de temperatura, un sistema de posicionamiento GPS para saber en cada momento donde se encuentra el Cubesat, y también se incluyó un sensor de presión atmosférica. Asimismo, también se incluyó un módulo de Energía, el cual suministra energía a todos los subsistemas y cuenta con dos paneles solares para su alimentación y baterías para el almacenamiento de la misma. Finalmente, para enviar los datos recabados por el Cubesat a una estación terrena se desarrolló un subsistema de telecomunicaciones, basado en la tecnología LORA para transmitir mensajes por radio a largas distancias con poco uso de energía, como respaldo en las pruebas también se almacenan los datos recabados por los sensores en una memoria microSD. Las pruebas de los sensores se realizaron bajo condiciones de laboratorio, utilizando para ello de una cámara de vacío para simular condiciones atmosféricas suborbitales de hasta 20 km de altura y diferentes temperaturas. Se continúa con las mejoras y pruebas hasta lograr una compatibilidad conforme a las especificaciones de las nuevas normativas.

1. Introducción

La construcción de satélites pequeños ha tenido un auge en recientes años debido a su reducido coste y complejidad en comparación con los satélites convencionales [1].

La guía de orientación regulatoria para satélites pequeños no sujetos a coordinación clasifica generalmente a los satélites por su peso. Una de las clasificaciones por peso más aceptadas es la por el Centro Espacial Surrey de La Universidad de Surrey [2].

Tipo	Masa (kg)
Grandes	>1000
Medianos	500 a 1000
Mini	100 a 500
Micro	10-100
Nano	1 a 10
Pico	0.1 a 1.0
Femto	<0.1

Tabla 1. Clasificación de satélites por tamaño.

El proyecto Cubesat comenzó como una colaboración entre Jordi Puig-Suari, profesor de la Universidad Estatal Politécnica de California (Cal Poly), y Bob Twiggs, profesor del Laboratorio de Desarrollo de Sistemas Espaciales de la Universidad de Stanford (SSDL). Esto con el objetivo de acercar a las universidades con la investigación espacial [1].

Los Cubesats son nano satélites que deben seguir específicos criterios de forma, tamaño y peso. La forma estándar de un Cubesat es un cubo de 10x10x10 cm al cual se le llama 1U, se pueden encontrar varios tamaños de estos nanosatélites basados en esta unidad, siendo el de mayor tamaño hasta ahora el de 12 unidades (12U) [3].

Las especificaciones de diseño para la construcción de nano satélites Cubesat se especifican en el documento CP-CDS-R13 diseñado por la organización Cubesat en colaboración con la NASA y la AES [4].

Los principales requerimientos para el diseño de Cubesats son:

- Se establece que el peso para un Cubesat U1 debe ser de 1.33 kg
- El material de construcción para su estructura debe ser de Aluminio 7075, 6061, 5005, y 5052.
- La estructura del Cubesat debe ser anodizada para protegerlo de cargas electrostáticas.
- Debe poder ser sometido a altas temperaturas.
- Debe ser capaz de inhibir la transmisión inadvertida de transmisiones de radiofrecuencia



Figura 1. Cubesat 1U (izquierda) y Cubesat 3U (derecha)

Los Cubesats cuentan con componentes electrónicos en su interior para su control y funcionamiento, estos componentes se dividen en de acuerdo con su funcionalidad a estas divisiones se les llama módulos [1,3]. Los módulos que los componen son:

- La computadora a bordo la cual es la encargada de realizar todo del trabajo de cómputo del Cubesat, como obtener datos de los sensores y controlar los demás módulos.
- La carga útil. Este módulo es el corazón u objetivo de la misión, en este módulo se integran los sensores y dispositivos que se quieren probar en el lanzamiento del satélite.
- El módulo de energía se encarga de suministrar de energía todos los componentes electrónicos del satélite, cuenta con baterías y celdas solares.

- Módulo de telecomunicaciones el cual es el encargado de transmitir la información recabada por la carga útil a Tierra mediante radiofrecuencias.

2. Computadora a bordo

Tiene como objetivo obtener, procesar y enviar por radiofrecuencias los datos que el módulo de carga genera.

Como computadora a bordo se utilizó el Arduino Uno, es una placa de desarrollo de hardware abierto basada en el microcontrolador ATmega328P. Al ser tan popular entre los entusiastas de la electrónica cuenta una gran cantidad de documentación en internet, compatibilidad con la mayoría de los sensores disponibles en el mercado y una variedad de librerías de programación.

Sus características técnicas se resumen a continuación:

Microcontrolador Atmega328p
Voltaje de operación de 5v
14 pines entrada/salida
6 entradas analógicas
Terminales para conexión ICSP
32 kb de memoria flash
SRAM de 2 kb
EEPROM de 1kb
Velocidad de reloj de 16 MHz
68.6 mm de largo
53.4 mm de ancho
25 g

3. Carga útil

El módulo de carga que se construyó tiene como objetivo fundamental medir el campo magnético terrestre, la densidad de carga eléctrica y radioactividad en la ionosfera, así como de otros parámetros como son la ubicación por medio del GPS, temperatura, humedad, por lo que cuenta con los sensores siguientes:

Los sensores que se instalaron en el módulo de carga son los siguientes:

Para medir el campo magnético terrestre se utilizó el magnetómetro MLX90393, es un sensor magnético de tres ejes que cuenta con las siguientes características.

Voltaje de funcionamiento: 2.2V-3.6V

Consumo de corriente: 100μA

Resolución: 0.161μT

Máxima resolución: 44,000μT

Para observar el comportamiento del Cubesat en distintas presiones atmosféricas se utilizó el sensor de presión XGZP6847, sus rangos son de -100kPa a 1000kPa, su voltaje de funcionamiento es de 5v.

Para obtener datos de temperatura de los lugares que pase el satélite. Se utilizó el sensor de temperatura DHT22. Su alimentación es de 3.5v a 5v, consume 2.5mA, su rango de temperatura es de 0°C a 100°C.

Se utilizó un Receptor de señales GPS (Neo-6m) para obtener la localización del Cubesat en todo momento. Sus características son las siguientes:

Posee antena y EEPROM integradas.

Su comunicación se realiza mediante comunicación serial.

Tensión de alimentación: de 3 a 5V

Velocidad de transmisión estándar: 9600bps

4. Módulo de energía

El módulo de energía es el encargado de suministrar, obtener y almacenar la energía que se utilizará en toda la misión del Cubesat.

El módulo de energía que se desarrolló cuenta con baterías recargables de litio con un voltaje de 3.7V a 2000mAh.

El panel solar que se utilizó fue el YIDA-107*61, con medidas de 107 * 61 milímetros, con un voltaje de 5v con 200mAh de corriente y 1 Watt de energía.

Para cargar las baterías con la energía captada por los paneles solares se utilizó el

módulo Tp4056, ofrece una corriente de carga de 1A. Sus especificaciones son las siguientes.

Voltaje de entrada: 5V

Corriente de carga máxima: 1000mA

Voltaje de corte de carga: 4.2 V + / - 1%

Voltaje de protección de sobrecarga de la batería: 2.5 V

Corriente de protección contra sobre corriente de la batería: 3 A

Dimensión: 2.6 x 1.7 cm

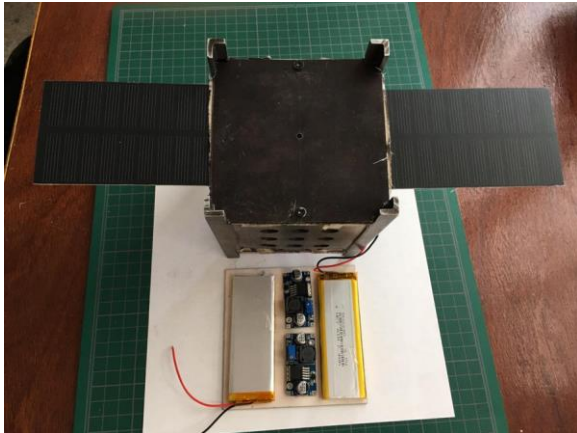


Figura 2. Presentación ideal del módulo de energía y los paneles solares

5. Módulo de telecomunicaciones

El sistema de telecomunicaciones es el encargado de enviar los datos obtenidos por el módulo de carga útil a Tierra mediante radiofrecuencias.

Para transmitir los datos se utilizó el módulo Lora Adafruit RFM95W que tiene como ventaja el bajo consumo de energía que utiliza. Transmite en las frecuencias de 868 o 915 MHz. Sus principales características son:

- Librerías Arduino programadas por Adafruit.
- Utiliza la banda libre ISM (bandas de radio industriales, científicas y médicas).
- Su alimentación es de 3V a 5V.
- Un rango aproximado de 2km

Para evitar que se pierdan los datos obtenidos por el módulo de carga cuando no pueda ser captada la señal de radio se

implementó una MicroSD para almacenar los datos en todo momento.

6. Desarrollo del software

El software de la computadora a bordo se desarrolló en lenguaje de programación de Arduino, inspirado en C++.

El lenguaje de programación Arduino cuenta con una gran variedad de librerías desarrolladas para diferentes sensores y componentes electrónicos.

Para obtener los datos de los sensores que forman parte del módulo de carga se utilizaron las librerías diseñadas para estos dispositivos.

Una vez obtenidos los datos de los sensores se procedió unirlos en una cadena de texto y separar los valores por comas y finalmente se enviaban los datos por radiofrecuencia. El código de este proceso se muestra a continuación.

```
dataMagnetismo = getMagnetismo();
dataHumedadTemperatura=
getHumedadTemperatura();
dataPresion = getPresion();
dataCoordenadas = getCoordenadas();
//Formateo de los datos
String data =
dataMagnetismo+","+dataHumedadTemperatura+","+
dataPresion+","+dataCoordenadas;
//Envío de los datos por radiofrecuencias
Serial.println("Enviando datos");
sendData(data);
Serial.println("Guardando datos");
writeInFile(data);
```

Para comprobar que el Arduino mandaba correctamente los datos, desarrollamos un programa en Python que leía los datos por comunicación serial.

7. Estructura del Cubesat

Se cortaron barras de aluminio con las siguientes medidas: 7.5mm de largo, 6 mm de largo y ancho. A cada una de estas piezas se le hicieron 4 ranuras de 4 milímetros de

profundidad con el fin que a través de estas pasaran las tarjetas de circuito impreso.

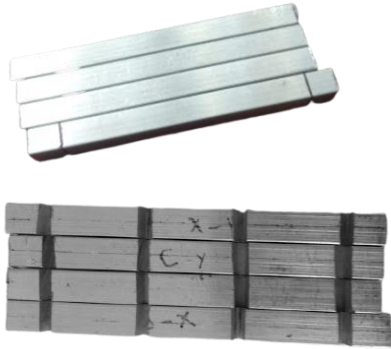


Figura 3. Rieles por donde se guían las tarjetas de circuito impreso.

Con el fin de reducir la masa de la estructura del Cubesat se hicieron una serie de perforaciones circulares [figura 4]. Se cuidó que las perforaciones realizadas fueran simétricas para no alterar el centro de masa.

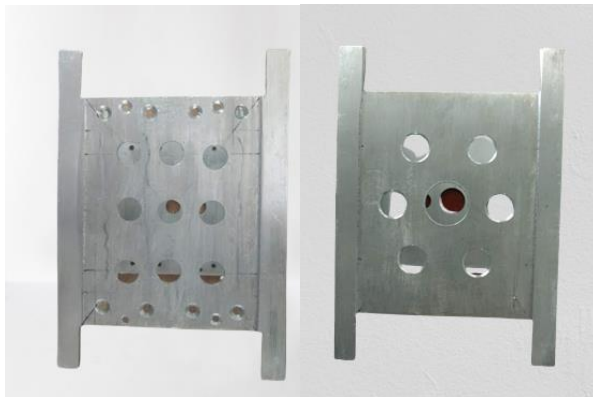


Figura 4. Estructura del Cubesat

Anodizado.

Las especificaciones de diseño del documento CP-CDS-R13 [4] establecen que el cuerpo de Cubesat debe estar completamente anodizado con el fin de protegerlo contra cargas electroestáticas.

El anodizado es un proceso electrolítico que es utilizado para incrementar el espesor del óxido de superficies metálicas [5].

Los pasos que se realizaron para anodizar fueron los siguientes:

1. Se lijaron y pulieron las superficies a anodizar
2. Para dejar las piezas completamente limpias de polvo y grasa se sumergieron en una solución alcalina compuesta de Hidróxido de sodio (NaOH) al 5% de agua por tres minutos.
3. Para neutralizar los residuos que quedaron en las piezas debemos sumergirlas en una solución ácida de 3 a 5 segundos, la solución se preparó con ácido clorhídrico (HCl) al 50% en agua a temperatura ambiente.
4. Las piezas deben estar conectadas eléctricamente entre sí, las piezas denominadas Ánodo se conectarán al positivo, el cátodo consiste en una barra de plomo, este se conectó al negativo. La corriente se generó con una fuente de poder a 12V.
5. Se sumergieron las piezas en electrolito, que consiste en una solución de ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 20% en agua por 40 minutos
6. Finalmente se hizo la coloración con tinta para ropa, se siguieron las instrucciones del fabricante de la tinta para hacer la pigmentación.

Prueba de continuidad antes del anodizado.



Figura 5. Prueba de continuidad antes del anodizado

Prueba de continuidad después del anodizado.

Al no haber continuidad comprobamos que realizamos el proceso de anodizado correctamente.



Figura 6. Prueba de continuidad después del anodizado

Protección de radiación.

Para proteger los componentes electrónicos de la radiación solar recubrimos el interior del Cubesat con una película de nano cerámica a prueba de rayos UV-IR [6].



Figura 7. Película de nano cerámica en el interior del Cubesat.

Protección electromagnética.

Después de aplicar la capa de nano cerámica recubrimos nuevamente el interior del Cubesat con una tela de Faraday para protegerlo contra campos electromagnéticos [7].



Figura 8. Interior del Cubesat cubierto con la tela de Faraday.

Ensamblaje.

Finalmente montamos todos los módulos y piezas que conforman el Cubesat dentro de la estructura.



Figura 9. Interior del Cubesat con los módulos instalados

8. Prueba de telecomunicaciones

Con la intención de probar el módulo de telecomunicaciones y el comportamiento en conjunto de los demás módulos, realizamos una prueba en las instalaciones del CICTEG. Dejando el prototipo de satélite (Transmisor) en un vehículo motorizado (Motocicleta) llevado en la parte frontal mientras que la estación terrea (receptor) se ubica en un punto fijo [figura 10].



Figura 10. Estación terrena

Para el rastreo del Cubesat se diseñó en el lenguaje de programación Python un sistema que nos arrojará las coordenadas iniciales y finales de la prueba de comunicación y como resultado nos arrojará un mapa trazado.



Figura 11. Mapa de la distancia entre el Cubesat y la estación terrena.

9. Conclusiones

Se construyó un prototipo de estructura para un Cubesat U1 basado en los requerimientos de diseño CP-CDS-R13 desarrollado por la NASA y la ESA.

Se comprobó mediante pruebas de laboratorio y de campo que el prototipo cumpla con un 60% de la norma inherente al diseño de los Cubesat.

10. Perspectivas

Continuar trabajando con el diseño del Cubesat, hasta lograr que cumpla al 100% de las especificaciones de las normas, y

construir un Cubesat que pueda ser considerado un candidato para alguna de las misiones espaciales consideradas.

Se está trabajando en la perfección de los sistemas mecánicos, como es el despliegue en forma automática de los paneles solares, transmitir datos por radiofrecuencia, y cuando todo se encuentre perfectamente integrado, realizar el ajuste final del centro de masa del prototipo.

Participar en pruebas de campo en algún globo meteorológico para evaluar el desempeño de todos los instrumentos y sistemas de monitoreo del Cubesat.

11. Agradecimientos

Al CICTEG (Centro de Investigación Científica y Tecnológica De Guerrero A, C), por las facilidades de los laboratorios, instrumentos y adquisición de componentes electrónicos y computacionales para las evaluaciones y pruebas de los diferentes elementos que intervienen en los diseños propuestos.

Al Dr. Antonio Alfonso Rodríguez Rosales director general del CICTEG por el asesoramiento e inversión de los recursos utilizados en el proyecto.

Al M. I. Rafael Prieto Meléndez del Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología-UNAM por su gran apoyo en la realización de las placas de prueba (PCB) y al Dr. Mario Alberto Mendoza Bárcenas del Centro de Desarrollo Aeroespacial- IPN quien nos ayudó en todo momento con las dudas que nos surgían.

12. Referencias

1. AEM. (s.f.). *Mejores prácticas para el diseño de Cubesats*. Obtenido de AEM: http://www.educacionespacial.aem.gob.mx/images/normateca/pdf/20160405Taller_Cubesat_CIIA_Jalisco_2016_final_4-4-2016.pdf

2. Fondo Sectorial de Investigación, D. T.-A. (s.f.). *Guía de orientación regulatoria para satélites pequeños no sujetos a coordinación*. AEM.
3. NASA. (s.f.). *Basic Concepts and Processes for First-Time Cubesat Developers*. Obtenido de NASA: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/nasa_csli_Cubesat_101_508.pdf
4. The Cubesat Program, Cal Poly SLO. (25 de 09 de 2014). *Cubesat Design Specification REV 13*. Cubesat.org. Obtenido de Cubesat.org: https://static1.squarespace.com/static/5418c831e4b0fa4ecac1bacd/t/56e9b62337013b6c063a655a/1458157095454/cds_rev13_final2.pdf
5. *PROTECCIÓN DE MATERIALES - ANODIZADO DE ALUMINIO*. (Carlos A. Giudice y Andrea M. Pereyra). Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional La Plata.
6. https://www.amazon.com.mx/HOHO-Pel%C3%ADcula-ventana-cer%C3%A1mica-152cmx100cm/dp/B073LKBZ6J/ref=asc_df_B073LKBZ6J/?tag=gledskshopmx-20&linkCode=df0&hvadid=451123909589&hvpos=&hvnetw=g&hvrnd=10240425693507947797&hvpone=&hvptwo=&hvmmt=&hvdev=c&hvdvcmdl=&hvlocint=&hvlocphy=1010049&hvtargid=pla-943105075678&psc=1
7. https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-668268776-aseguramiento-de-rfid-bloqueo-de-la-tela-blindada-de-faraday-_JM#position=2&type=item&tracking_id=0481d8f4-11d8-407a-bc8e-69dfdd23a454