

SISTEMA DE TELEMETRÍA DEL PICOSATÉLITE COLOMBIA-1

Diana Carolina Buitrago Buitrago

Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, dcbuitragob@correo.udistrital.edu.co

Néstor Andrés Valverde García

Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, navalverdeg@correo.udistrital.edu.co

Elvis Eduardo Gaona García

Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, egaona@udistrital.edu.co

RESUMEN

En el presente artículo se describen los procesos de telemetría que se llevan a cabo en el submódulo Beacon que hace parte del módulo de comunicaciones del picosatélite Colombia - 1, como avance del proyecto de investigación Cubesat-UD: Telemedicina y Telemetría desarrollado por el grupo de investigación GITEM de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital. En este paper se encuentran los requerimientos específicos y las funciones que deben cumplir, el diseño planteado y la forma en que se implementó incluyendo el tratamiento de las señales, su posterior codificación y transmisión, para que sea parte funcional del módulo de comunicaciones.

Palabras Clave: Beacon, Telemetría, OOK, Cubesat, Picosatélite.

ABSTRACT

This paper describes the process about telemetry done over the Beacon sub-module which is part of Communications Module on the Colombia - 1 picosatellite, as a partial result of the research project Cubesat-UD: Telemedicine and Telemetry done by GITEM research group at the Faculty of Engineering of Universidad Distrital Francisco José de Caldas. In this paper are specific requirements and functions to be fulfilled, the proposed design and how it was implemented including signal processing, encoding and subsequent transmission to be a functioning part of the Communication Module.

Keywords: Beacon, Telemetry, OOK, Cubesat, Picosatellite.

1. INTRODUCCIÓN

Desde sus orígenes, los proyecto de picosatélites académicos se han desarrollado por estudiantes en proceso de graduación [1], [2],[3], [4], financiados con recursos propios de las Instituciones, donde el desarrollo tanto en hardware y software, permiten llevar a cabo misiones similares [5], [6], [7] estableciendo para ello enlaces de comunicaciones desde la estación terrena con el segmento espacial, enviando datos de control y recibiendo datos de telemetría; dependiendo de los requerimientos para la misión, es necesario estimar una rata de bits mínima para la maniobrabilidad del satélite y una máxima para la carga científica.

Proyectos desarrollados sobre el módulo de comunicaciones de pico y nanosatélites en [8],[9,10], [11] y [12] muestran la estructura, esquema de modulación, protocolo de enlace y bandas de frecuencia empleadas para este tipo de propósito. En el grupo de investigación GITEM de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas con la aprobación del Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico (CIDC), ha venido desarrollando el proyecto de investigación CUBESAT-UD: Telemedicina y Telemetría. . La misión del proyecto consiste en dar solución a

un problema de carácter social, como es el de la baja cobertura en salud en lugares de difícil acceso donde tecnologías habituales como Internet, telefonía fija o telefonía celular no se encuentran al alcance de los usuarios impidiendo el acceso directo a médicos especialistas de las diferentes áreas de la medicina. Para solventar este inconveniente se realizará un modelo de transmisión de datos tomados de un electrocardiograma enviados a través de una estación terrena ubicada un sitio de difícil acceso a un picosatélite que recibe la información, la almacena, y así podrá enviarse en una próxima línea de vista a una estación ubicada en una ciudad principal que cuente con la tecnología y el personal adecuado para la elaboración del diagnóstico.

El módulo de comunicaciones del picosatélite tiene un submódulo Beacon cuya función es servir de señal de radiofaro, siendo detectado por las estaciones terrenas estén bajo su cobertura para así proceder a realizar el enlace de comunicaciones; este submódulo le permite a la estación terrena conocer información sobre los niveles de voltaje, corriente y temperatura en los diferentes sectores del picosatélite.

En [13] se estableció la estructura de la trama a transmitir y se realizó una selección inicial de componentes para su implementación, desarrollándose la interfaz para decodificar la señal recibida en la estación terrena, en [14] se complementó el sistema de transmisión de RF para la señal de radiofaro empleando un transceiver de la familia de Analog Device, cumpliendo con las características de diseño del transmisor beacon, están sujetas a las especificaciones del estándar cubesat.

2. REQUERIMIENTOS DEL SUBMÓDULO BEACON

Dentro de las principales funcionalidades del módulo de comunicaciones entre el satélite y las estaciones terrenas que hacen importante la existencia del submódulo Beacon están:

1. Emisión periódica de la señal de radiofaro dada la trayectoria polar del picosatélite.
2. Recepción de la señal de radiofaro por cualquier estación terrena en el mundo para su posterior decodificación.
3. Identificación del picosatélite Colombia-1 para iniciar la transferencia de datos de la misión.

El submódulo Beacon se implementa dentro del sistema de comunicaciones a bordo del picosatélite, activándose cada 2 minutos permitiendo una adecuada relación entre el consumo de potencia y probabilidad de detección realizando las siguientes funciones:

- Tomar de señales a partir de los sensores instalados en diferentes sectores del satélite y datos de la memoria del microcontrolador.
- Codificar de datos asignando valores alfabéticos de acuerdo a las mediciones realizadas.
- Ensamblar la trama para su posterior transmisión.
- Modular y transmitir mediante CW en la banda de 440Mhz a una potencia entre 100mW y 200mW.

En la Figura 1 Se presenta el diagrama en bloques para el submódulo Beacon, en este diagrama se muestra como se realiza el flujo de las señales desde los sensores hasta su transmisión.

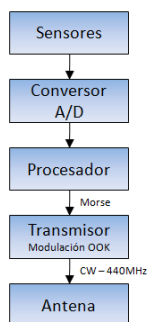


Figura 1: Esquema en bloques del submódulo BEACON. [14]

- Dado que el submódulo Beacon se implementa a bordo del picosatélite y requiere elementos tanto a nivel físico como de procesamiento fue necesario prestar atención en la selección de los componentes y el diseño de los algoritmos, ya que se debe minimizar el consumo de potencia. Por lo tanto se pueden resumir de esta manera los requerimientos técnicos. Los sensores se deben seleccionar con el requisito de mínimo consumo de potencia.
- El tamaño de todos los componentes debe ser reducido ya que el espacio en la tarjeta es limitado.
- Los límites de temperatura para todos los componentes deben estar comprendidos entre -40°C y 85°C .
- Eficiencia en el algoritmo para minimizar consumo de potencia por procesamiento y el consumo de memoria en el microcontrolador.
- El tamaño del PCB en la que se implementa debe cumplir con el estándar Cubesat.
- La señal de RF se debe transmitir mediante modulación OOK en la banda de 440MHz.
- La implementación del submódulo Beacon debe ser compatible con todo el sistema de comunicaciones.

3. SELECCIÓN DE ELEMENTOS DEL SUBMÓDULO

El sistema de sensores instalados en el picosatélite y dedicados a la telemetría se seleccionó y diseñó buscando que todos los componentes cumplieran los requerimientos tanto en rango para las mediciones como en su propio consumo de potencia y funcionamiento bajo las condiciones a las que serán sometidos.

A continuación se describe las características de cada sensor, su acondicionamiento y la señal de voltaje que entregará al microcontrolador.

3.1 SENSOR DE TEMPERATURA: MICROCHIP TC1046

“El TC1046 es un sensor de temperatura lineal cuya tensión de salida es directamente proporcional a la temperatura medida. El TC1046 mide con precisión temperaturas de -40°C a $+125^{\circ}\text{C}$. El rango de voltaje de salida para este dispositivo es de 174mV a -40°C a 1205mV a $+125^{\circ}\text{C}$.”. [6]. En la Tabla 1 se observa la discriminación de dispositivos realizada hasta llegar al TC1046.

Tabla 1: Selección del Sensor de Temperatura. [14]

<i>Referencia</i>	<i>Polarización/ V</i>	<i>Polarización Negativa</i>	<i>Rango/$^{\circ}\text{C}$</i>	<i>Precisión/$^{\circ}\text{C}$</i>	<i>Corriente/μA</i>	<i>Fabricante</i>
TC1046	2.7 a 4.4	No	-40 a 125	± 0.5	35	Microchip
TC620	4.5 a 18	No	-55 a 125	± 1	400	Microchip
TC6501	2.7 a 5.5	Si	-55 a 130	± 4	17	Microchip
AD22100	4 a 6.5	No	-40 a 125	± 1	500	Analog Devices
TMP20	1.8 a 5.5	No	-55 a 130	± 2.5	4	Texas Instruments
LM20	2.4 a 4.4	No	-40 a 125	± 1.5	4.5	Nat. Instruments
LM19C	2.4 a 4.4	No	-40 a 125	± 2.5	4.5	Nat. Instruments
LM35	4 a 30	Si	-55 a 150	± 0.5	60	Nat. Instruments
LM50	4.5 a 10	No	-40 a 125	± 2	130	Nat. Instruments
LM60	2.7	No	-40 a 125	± 3	110	Nat. Instruments
LM135	10 a 30	Si	-55 a 150	± 1	450	STMicroelectronics
LM334	1 a 40	Si	-55 a 150	± 1	450	STMicroelectronics

3.2 SENSOR DE VOLTAJE: XC61CN3002MRN, XC61CN4502MRN.

Los sensores XC61C son una serie de detectores de voltaje de alta precisión y bajo consumo de potencia que utilizan tecnología CMOS. En este desarrollo se utilizó el XC61CN30 para detectar el nivel de la fuente de 3.3V y

el XC61CN45 para detectar el nivel de la fuente de 5.0V. En la Tabla 2 se observan dispositivos con similares características y el por qué la selección del actual detector.

Tabla 2: Selección de Sensores de Voltaje. [14]

<i>Referencia</i>	<i>Voltaje/V</i>	<i>Corriente/μA</i>	<i>Polarización/V</i>	<i>Fabricante</i>
XC61CN300	3	0.7	3.2 a 5.5	Torex Semi.
LT019CS8-3.0	3	1	6 a 40	Linear Tech.
LM404AIM-3	3	60	3.3	Maxim
LM4040B301	3	40	4.09	Texas Inst.
LM4120IM5-3	3	160	4 a 12	Nat. Instruments
LT019CS8-4.5	4.5	1	6 a 40	Linear Tech.
XC61CN450	4.5	0.7	4.75 a 5.5	Torex Semi.
LM404AIM-4.5	4.5	60	5	Maxim
LM4040B451	4.5	40	5	Texas Inst.
LM4120IM5-4.5	4.5	160	6 a 12	Nat. Instruments

3.3 SENSOR DE CORRIENTE: ZXCT1009

El ZXCT1009 es un sensor que no perturba el plano de la tierra al medir la corriente, como suele ocurrir con los sensores típicos de estado sólido. Este dispositivo toma una señal de voltaje a través de una derivación de corriente de un resistor y la convierte en una salida proporcional de corriente. El usuario define la escala del resistor de salida referenciado a una tierra de voltaje. Debido a su pequeña corriente de operación de 4 μ A y su pequeño tamaño, este sensor es una excelente solución para equipos portátiles. *Tomado de: Hoja de datos.* En la Tabla 3 se observan los dispositivos que se tuvieron en cuenta como posibles sensores de corriente.

Tabla 3: Selección de Sensor de Corriente. [14]

<i>Referencia</i>	<i>Rango/A</i>	<i>Voltaje/V</i>	<i>Precisión/%</i>	<i>Corriente/μA</i>	<i>Fabricante</i>
ZXCT1009	Configurable	2.5 a 20	2.5	4	Zetex
ACS709	hasta 75	3.5 a 5.5	4	11000	Allegro Mic.
CSNX25	hasta 56	4.75 a 5.25	0.24	2000	Honeywell

En la Figura 2 se observa el acondicionamiento de señal que necesita el sensor de corriente. Posteriormente se brinda la explicación para el cálculo de las resistencias mostradas igualmente en la Figura 2.

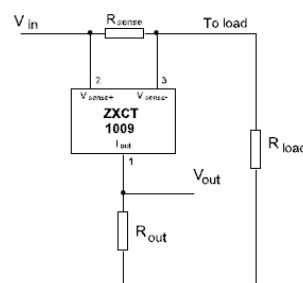


Figura 2: Adecuación para sensor de corriente. [18]

Es necesario evitar que la resistencia R_{sense} tenga una caída de tensión alta, de tal manera que la tensión en la carga no disminuya. En la hoja de datos se encuentran las ecuaciones necesarias para calcular las resistencias R_{sense} y R_{out} de acuerdo a las necesidades del diseño.

$$V_{sense} = V_{in} - V_{load} \quad (ec. 1)$$

$$V_{out} = 0.01 * V_{sense} * R_{out} \quad (ec. 2)$$

En este caso ya que se desea medir la corriente que circula por el bus de 5V en la tarjeta comunicaciones y asumiendo que la máxima corriente en algún momento sea de 1A y contando con una R_{sense} de 22m Ω se tienen los siguientes datos: en caso de máxima corriente:

$$V_{in} = 5V \quad (ec. 3)$$

$$V_{load} = 5V - (1A * 22m\Omega) = 4.978V \quad (ec. 4)$$

$$V_{sense} = 22mV \quad (ec. 5)$$

Con una $R_{load} = 10k\Omega$

$$V_{out} = 0.01 * 22mV * 10k\Omega = 2.2V \quad (ec. 6)$$

Con estos valores en caso de tener la máxima corriente, el voltaje en la carga solo se reduce a 4.978V y el voltaje que se debe medir con el microcontrolador sólo aumenta a 2.2V. En la Figura 3 se observa la curva característica del arreglo utilizado para la medición de la corriente.

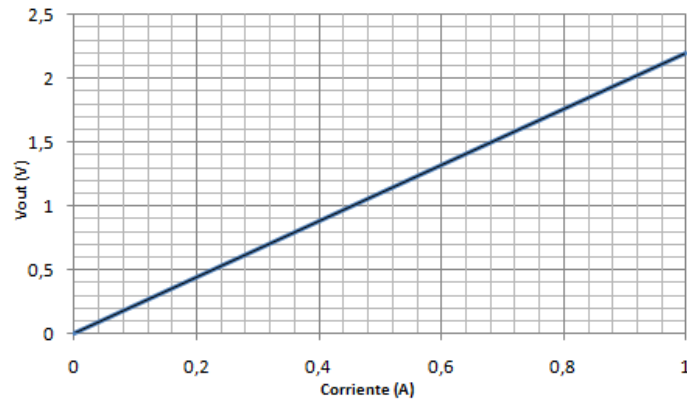


Figura 3: Curva característica para el sensor de corriente. [14]

4. ADQUISICIÓN, ADECUACIÓN Y CODIFICACIÓN DE LA TRAMA DE BEACON

Las señales de los sensores se toman a través del microcontrolador dsPIC, donde se realiza la conversión analógica a digital, para el caso de los sensores de temperatura y corriente, los valores se almacenan en registros numéricos, por lo que se hace necesario llevar a cabo una codificación que permita generar la trama a transmitir; toda esta codificación se lleva a cabo mediante algoritmos eficientes para consumir la mínima potencia posible. La trama a transmitir se definió previamente y en ella se incluyen los datos de los sensores, datos para identificar el picosatélite e información para las estaciones terrenas que se deseen iniciar un enlace. En la Tabla 4. se muestra la estructura de la trama.

Tabla 4: Trama Beacon del Colombia-1. [13]

<i>Campos</i>	ID	T1	T2	T3	T4	V1	V2	I1	EO	ED	E
<i>Letras</i>	COL	AA	BB	CC	DD	E	F	G	H	I	J

La trama que se desea transmitir cuenta con 11 campos en los que se incluye la información concerniente a la identificación del picosatélite, los valores de temperatura, voltaje y corriente obtenida a partir de los sensores y tres campos para control de acceso al medio para estaciones terrenas futuras en el territorio colombiano. Cada uno

de estos campos se genera por separado y se codifica en ASCII para su posterior transmisión mediante CW. A continuación se plantea como se codifican los 11 campos de la trama mediante el microcontrolador.

- Campo de identificación: consta de tres caracteres “COL”, estos no varían y se definen previamente en la memoria del microcontrolador.
- Campos de temperatura: los siguientes 4 campos corresponden a la información de los 4 sensores de temperatura instalados en diferentes posiciones del satélite. Cada campo consta de 2 caracteres que dependen de la temperatura medida por el respectivo sensor de acuerdo a la Tabla 5.

Tabla 5: Codificación de la temperatura. [14]

Temp. (°C)	Codificación
-40	NA
-39	NB
-38	NC
...	...
-1	ON
0	OO
1	OP
...	...
50	QM
51	QN
52	QO
...	...
123	TH
124	TI
125	TJ

- Campos de voltaje: los siguientes 2 campos corresponden a los indicadores de voltaje de las líneas de 3.3V y 5V. Cada campo consta de un caracter que puede ser “B” para indicar óptimo o “E” para indicar error.
- Campo de corriente: en siguiente campo se codifica la información correspondiente al sensor de corriente; al igual que en los campos de voltaje, este campo indica mediante un caracter si el nivel de corriente es óptimo o no.
- Campos de acceso al medio: lo últimos tres campos de la trama se han designado para ofrecer una solución de acceso al medio. En el siguiente apartado se estudia cuidadosamente la utilidad de estos campos.

Por último, en la etapa de codificación se le debe asignar a cada caracter su correspondiente representación en código Morse, dado que es la que se utiliza para realizar la transmisión en CW.

5. CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

El sistema de control de acceso al medio, permite a las estaciones terrenas vinculadas al proyecto, conocer el estado en el que se encuentra el satélite. Conocer si posee información para transmitir hacia alguna estación terrena específica o si está esperando información y de cual estación terrena. La información se codifica en tres campos de la siguiente manera:

1. Estación terrena origen: Indica cual estación puede enlazarse con el picosatélite para transmitirle información o de cual estación terrena posee información el satélite para ser transmitida. Los caracteres en este campo pueden ser “B”, “F”, “T”, “N” para Bogotá, Florencia, Tunja o Neiva respectivamente.
2. Estación terrena destino: Indica para cual estación terrena posee información el satélite, en caso de poseerla. Los caracteres en este campo pueden ser “B”, “F”, “T”, “N” para Bogotá, Florencia, Tunja o Neiva respectivamente.
3. Se codifica el estado del satélite, los caracteres pueden ser: “L” para indicar que se encuentra libre y puede recibir datos de alguna estación terrena, “O” que indica que está ocupado con datos para la estación terrena

especificada en el campo anterior, “C” que indica que posee datos para cualquier estación terrena o “N” que significa que no se encuentra disponible para transmisión de datos.

6. TRANSMISIÓN BEACON

La etapa de transmisión para la señal de Beacon se implementó mediante el transceiver ADF7020-1, este debe configurarse en modulación OOK y ya que su potencia de salida es ajustable se debe calcular la adecuada para que al sumarse con el amplificador de potencia la salida sea de 200mW. En este caso:

$$P_t = 0 \text{ dBm}$$

$$G_A = 20 \text{ dB}$$

$$P_o = P_t + G_A = 20 \text{ dBm} \approx 100 \text{ mW}$$

Donde,

P_t : Potencia del transceiver.

G_A : Ganancia del amplificador.

P_o : Potencia de salida.

La configuración del transceiver se realiza mediante el uso del microcontrolador, a través de la interfaz serial se configura en diferentes registros tanto el esquema de modulación como la frecuencia en RF y la potencia de salida.

Al configurar modulación OOK la portadora de 440 MHz se encenderá cuando los datos enviados desde el microcontrolador al transceiver sean unos, y se apagará por completo cuando los datos enviados sean ceros. Como en este punto los datos a transmitir ya se tienen codificados en Morse solo resta encender y apagar la portadora de la siguiente manera:

Punto: Portadora encendida por 100ms

Línea: Portadora encendida por 300ms

Espacio entre símbolos: Portadora apagada por 100ms

Espacio entre caracteres: Portadora apagada por 300ms

En la Figura 4 se presenta un ejemplo de transmisión de la letra “C” mediante CW.

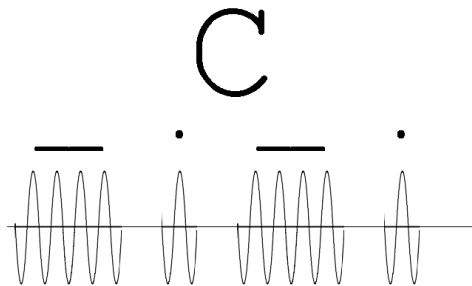


Figura 4: Transmisión de la letra C mediante CW. [14]

7. RESULTADOS

Se realizaron mediciones de la señal de Beacon transmitida desde el módulo de comunicaciones, obteniendo una potencia de salida de 20dBm. En la Figura 5 se visualiza el espectro obtenido de la señal en el puerto de salida de RF.

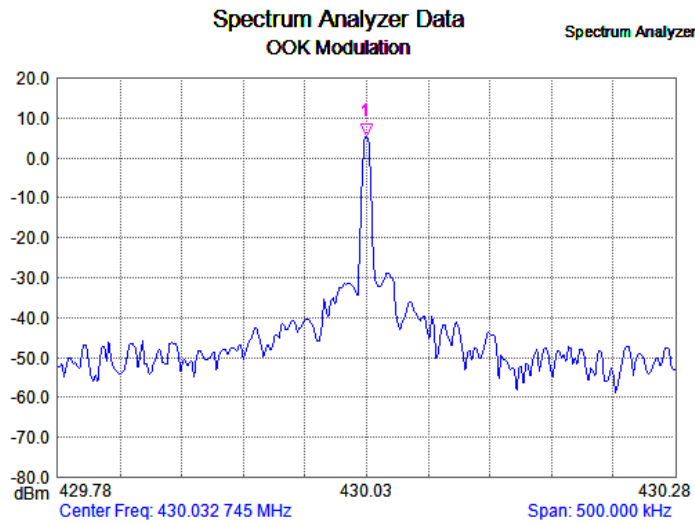


Figura 5: Espectro obtenido para señal de radiofaro. [14]

Para verificar que dicha señal se transmite de manera inalámbrica, se utiliza un par de antenas tipo monopolo; una a la salida del módulo y otra en el analizador de espectro, con el fin de observar el espectro de la señal recibida.

El tiempo de transmisión utilizado es en promedio de **20s**, variando su tiempo dependiendo de los caracteres que van a transferirse. A partir de la medición del sensor de corriente y conociendo que dentro de los 20 s permanece encendida la portadora a transmitir un promedio de 10 s, se puede calcular la potencia promedio que consume el módulo mientras no se encuentre transmitiendo de datos, como se ilustra en la ec. 10.

$$P_T = 100 \text{ mW} \quad (\text{ec. 7})$$

$$t_s = 1/12 \text{ h} \quad (\text{ec. 8})$$

$$P_{prom} = P_T * t_s = \frac{100 \text{ mW}}{12 \text{ h}} \quad (\text{ec. 9})$$

$$P_{prom} = 8,33 \text{ mW/h} \quad (\text{ec. 10})$$

Donde,

P_T : Potencia de transmisión.

t_s : Tiempo de encendido promedio de la portadora

8. CONCLUSIONES

Se logró diseñar, implementar y probar el sistema de telemetría para el picosatélite Colombia 1, que brinda las condiciones necesarias y suficientes para informar a la estación terrena del estado en que se encuentra y la disposición para que le pueda ser solicitada una conexión por parte de las estaciones terrenas mediante el protocolo de acceso al medio.

Este proyecto es un aporte importante al desarrollo de tecnología aeroespacial en el país, un área poco explorada, demostrando de esta forma que Colombia está en las capacidades investigativas para incursionar en este campo, tan desarrollado a nivel mundial.

Aunque al sistema de comunicaciones aún le falta la implementación de la etapa de transferencia de información, mediante un protocolo de capa de enlace, para cumplir la misión del proyecto en general; se encuentra en un punto donde cuenta con los elementos suficientes para llevar a cabo una misión, como se ha dado en otros picosatélites que únicamente transmiten señal de Beacon.

REFERENCIAS

- [1] J. Puig-Suari, C. Turner, and R.J. Twiggs, "CubeSat: The Development and Launch Support Infrastructure for Eighteen Different Satellite Customers on One Launch," *Proceedings of the 2001 Small Satellite Conference*, Citeseer, , pp. 13-16.
- [2] H. Heidt, P.J. Puig-suari, P.A.S. Moore, P.S. Nakasuka, and P.R.J. Twiggs, "CubeSat: A new Generation of Picosatellite for Education and Industry Low-Cost Space Experimentation," *Small*, p. 19.
- [3] L. Alminde, M. Bisgaard, D. Vinther, T. Viscor, and K. Ostergard, "Educational value and lessons learned from the AAU-cubesat project," *International Conference on Recent Advances in Space Technologies, 2003. RAST '03. Proceedings of*, 2003, pp. 57-62.
- [4] B. a Larsen, D.M. Klumpar, M. Wood, G. Hunyadi, S. Jepsen, and M. Obland, "Microcontroller design for the Montana EaRth Orbiting Pico-Explorer (MEROPE) Cubesat-class satellite," *Proceedings, IEEE Aerospace Conference*, 2002, pp. 1-487-1-492.
- [5] C.B. Duncan, M.S. Dennis, A.E. Kalman, K.A. Stein, Y. Tesfaye, B. I-Ming Lin, E. Truong-Cao, and C. Foster, "LMRST-Sat: A small, high value-to-cost mission," *2010 IEEE Aerospace Conference*, Mar. 2010, pp. 1-8.
- [6] L.N. Stras, D.D. Kekez, G.J. Wells, T. Jeans, R.E. Zee, F.M. Pranajaya, and D.G. Foisy, "The design and operation of the Canadian advanced nanospace eXperiment (CanX-1)," *Proc. AMSAT-NA 21st Space Symposium, Toronto, Canada*, 2003, pp. 150-160.
- [7] H. Heidt, J. Puig-Suari, A.S. Moore, S. Nakasuka, and R.J. Twiggs, "CubeSat: A new generation of picosatellite for education and industry low-cost space experimentation," *Proceedings of the Utah State University Small Satellite Conference, Logan, UT*, Citeseer, 2001, pp. 1-2.
- [8] B.S. Rani, E. Logashanmugam, S. Rajarajan, M. Sugadev, G. Jegan, N.J. Kumar, and N.J. Kumar, "On Board Communication Subsystem for Sathyabama University Nano-Satellite," 2010, pp. 143-145.
- [9] A. Eatchel, R. Fevig, C. Cooper, J. Gruenenfelder, J. Wallace, U. Fink, L.C. Schooley, and A. Hudor, "Development of a Baseline Telemetry System for the CubeSat Program at the University of Arizona," *International Telemetry Conference*, 2002.
- [10] N. Higuchi, G. Shiroma, S. Kawakami, D. Mattes, R. Fang, C.S. Suh, J. Johnson, M. Hall, J. Hung, and D. Goshi, "Tracking, Telemetry, and Command Team PDR Report," 2002.
- [11] R.J. Hamann, C.J.M. Verhoeven, A.A. Vaartjes, and A.R. Bonnema, "Nano-Satellites for Micro-Technology Pre-Qualification: The Delfi Program of Delft University of Technology," *6th Symposium on Small Satellites for Earth Observation*, 2007.
- [12] A. Addaim and A. Kherras, "Design of a Telecommand and Telemetry System for use on Board a Nanosatellite," *2007 14th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems*, Dec. 2007, pp. 455-458.
- [13] F.R. Amoroch Cruz and F.L. Malaver García, "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO BEACON DEL PICO-SATÉLITE CUBESAT- UD," 2009, p. 141.
- [14] D.C. Buitrago García and N.A. Valverde, "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO DE COMUNICACIONES PARA EL PICOSATÉLITE COLOMBIA-1 DEL PROYECTO CUBESAT-UD.," Mar. 2011, p. 109.
- [15] ADF7020-1, High Performance FSK/ASK Transceiver IC, Analog Devices, Datasheets, 2005.
- [16] ADL5531, 20 Mhz to 500 Mhz IF Gain Block, Analog Devices, Datasheets, 2008.

- [17] dsPIC33FJ64GP804, High – Performance, 16-bit Digital Signal Controllers, Microchip Technology Inc, 2009.
- [18] ZXCT1009, High – Side Current Monitor, Zetex Inc, Data sheet, 2001.
- [19] TC1046, High Precision Temperature-to-Voltage Converter, Microchip Technology Inc, Data sheet, 2002.
- [20] XC61Cseries, Low Voltage Detectors, Torex, Data sheet, 2004.

Authorization and Disclaimer

Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.