

Diseño de radiocomunicación de CanSat didáctico

Andrés Calvillo Téllez

Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital,
Av del Parque 1310 Mesa de Otay, C.P. 22510, Tijuana, B.C.,
Teléfono: 664 623 1344
calvillo@citedi.mx

José Cruz Núñez Pérez

Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital,
Av del Parque 1310 Mesa de Otay, C.P. 22510, Tijuana, B.C.,
Teléfono: 664 623 1344
nunez@citedi.mx

Teodoro Álvarez Sánchez

Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital,
Av del Parque 1310 Mesa de Otay, C.P. 22510, Tijuana, B.C.,
Teléfono: 664 623 1344
talvarez@citedi.mx

Ricardo Cárdenas Valdez

Instituto Tecnológico de Tijuana, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica,
Blvd. Industrial Tijuana S/N, Mesa Otay C.P. 22500, Tijuana B.C., México. Teléfono: (664)-6244743
ricardo.cardenas@tectijuana.edu.mx.

Antonio Gómez Roa

UABC, Blvd. Universitario #1000, Valle de las Palmas, Teléfono: (664) 676-8222 ext. 50127
Gomez_roa@uabc.edu.mx

Raúl Rascón Carmona

UABC, Blvd. Benito Juárez, y Calle de la Normal S/N, C.P. 21280, Mexicali, México
raul.rascon@uabc.edu.mx

Resumen

Se presenta el cálculo del diseño de radiocomunicación punto a punto de un satélite didáctico entre los módulos zigbee; el receptor de la estación terrena que colecta los datos de telemetría (orientación en tres ejes, giroscopio, geoposicionamiento, humedad y presión barométrica) con una sensibilidad de -100 dB y una potencia isotrópica radiada efectiva de 17.6 dBmW por el transmisor contenido en el módulo de comunicaciones del satélite incrustado en una lata de aluminio (CanSat), con un peso total de 355 gr, suspendido a una distancia de un kilómetro sobre el nivel del suelo. El diseño considera la distancia, ganancias de antenas, potencia del transmisor y umbral del receptor, las pérdidas por desvanecimiento, permitiendo observar el margen de desvanecimiento y del sistema.

Palabra(s) Clave(s): CanSat, punto a punto, satélite, telemetría, zigbee.

1. Introducción

La comunidad CanSat iniciada a finales de 1990 y principios del 2000 en universidades de Japón, Estados Unidos e Inglaterra, atraen su atención, en despertar el interés en estudiantes de bachillerato e ingeniería por el fenómeno didáctico que se está presentando a nivel mundial organizando una amplia gama de actividades a través de concursos, conferencias y desarrollos de aplicaciones científicas, que este tipo de satélites pueden brindar, como la primera experiencia en proyectos relacionada con el espacio, a un costo relativamente económico como en [1, 2]. El CanSat (ver Fig. 1), es un satélite de 355 gramos contenido en una lata de aluminio y está constituido por subsistemas de instrumentación, computador central, comunicaciones, y potencia (ver Fig. 2). Su misión comienza a partir de que un dron, globo o cohete suelte el CanSat a una distancia de 1km de altura e inmediatamente después lleve a cabo un experimento científico, enviando su telemetría a la estación terrena, para posteriormente logre un aterrizaje lo más seguro posible y se recupere el satélite con los menores daños posibles.

Para garantizar una buena comunicación de la telemetría, se requiere estimar el desvanecimiento de la señal, que hoy día se está presentando, esto debido a que ha crecido el número de usuarios de sistemas de radiocomunicaciones en banda libre en especial los 2.4 GHz, esto motivado por el uso exhaustivo de conectividad inalámbrica en entorno urbano. En esta banda los radioenlaces se están empleando en la red de servicios de telefonía y seguridad.

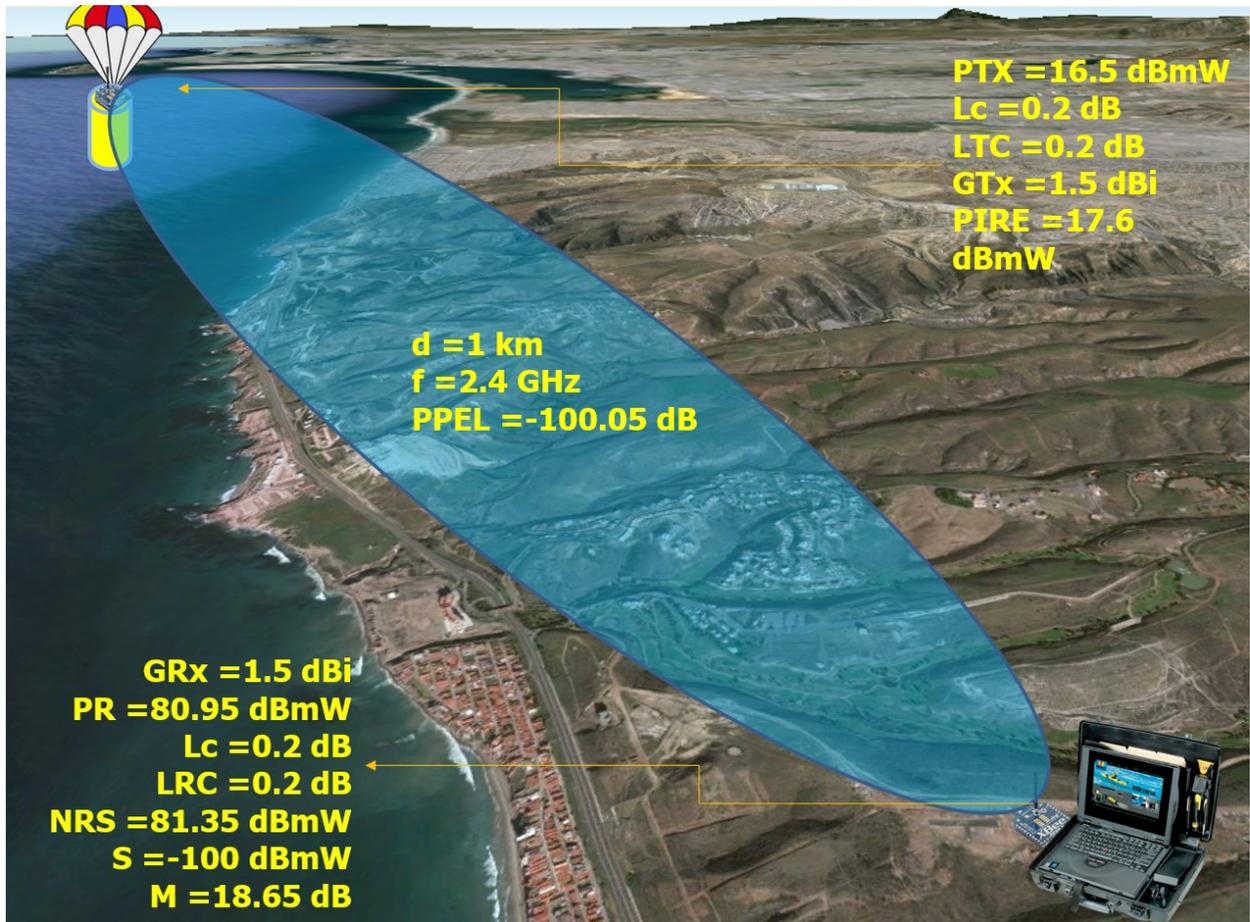


Fig. 1. Presupuesto del transmisor y receptor.

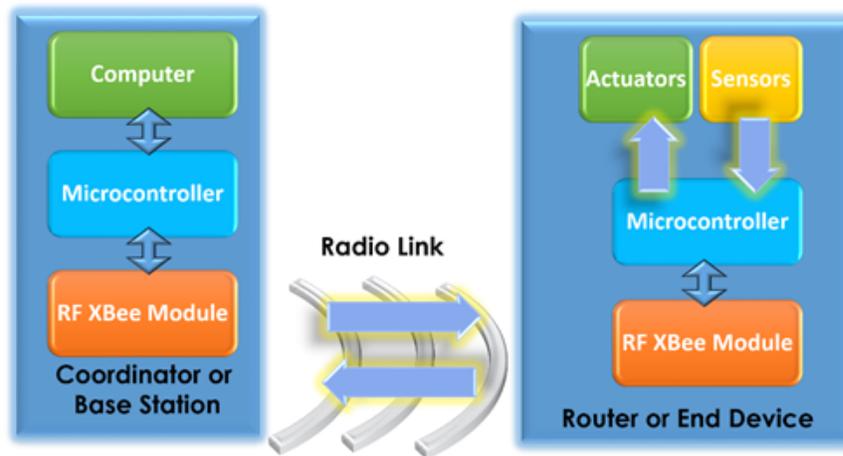


Fig. 2. Esquema de interacción entre el módulo del transmisor y receptor.

2. Desarrollo

Para asegurar que exista la comunicación entre transmisor y receptor XBee como en [3], se llevó a cabo la estimación del presupuesto de radiocomunicación como en [4, 5, 6], considerando la frecuencia de operación, la distancia de separación entre transmisor y receptor, las atenuaciones que se presentan en la línea de comunicación y la conexión entre el amplificador de salida y la antena transmisora, con estos parámetros se determinó que potencia estaría a la entrada del receptor y considerando el umbral de recepción o el ruido de piso, finalmente se calculó el margen de desvanecimiento de la señal, la tasa de transmisión que se utiliza es de 9600 la cual es comúnmente utilizada en dispositivos transmisores XBee para telemetría.

Un factor muy importante que hay que considerar para asegurar la efectividad del enlace es la claridad óptima que presentan este tipo de enlaces al no haber obstrucciones y cuyas reflexiones se consideran de pequeña señal como en [7, 8]. De acuerdo con la teoría de ondas electromagnéticas un frente de onda tiene propiedades de expansión conforme viaja a través del espacio, estas propiedades ocasionan reflexiones y cambios de fase cuando la onda choca con un obstáculo como en [9]. Esto produce un incremento o disminución en el nivel de señal recibida.

La Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (PIRE), es la potencia equivalente que radia la antena para alcanzar la misma densidad de potencia en la dirección seleccionada en un punto de recepción. Su valor es la suma algebraica de la potencia transmitida, la ganancia de la antena transmisora y la atenuación en cables y conectores, y se calcula con la siguiente ecuación como en [10]:

$$PIRE_{[dBmW]} = P_T - L_c - L_{LT} + G_T \quad (1)$$

P_T = Potencia del transmisor [dBmW]= 16.5 dBmW,

G_T = Ganancia de la antena transmisora= 1.5 dB,

f =2.4 GHz,

G_R = Ganancia de la antena receptora= 1.5 dB,

L_{LT} = Pérdidas por la línea de transmisión= 0.2 dB

L_c = Pérdidas por el conector= 0.2 dB

Con los parámetros anteriores podemos determinar que:

$$PIRE = 16.5 \text{ dBmW} - 0.2 \text{ dB} - 0.2 \text{ dB} + 1.5 \text{ dB}, \quad PIRE = 17.6 \text{ dBmW}$$

Evaluando la ganancia que tiene el sistema, lo obtenemos al sumar de todas las ganancias que influyen en la señal conforme se propaga en el espacio libre, desde el transmisor hasta el receptor. Esto es:

$$G_S [dB] = P_T + G_T + G_R \quad (2)$$

$$G_S = 16.5 \text{ dBW} + 1.5 \text{ dBi} + 1.5 \text{ dBi}, \quad G_S = 19.5 \text{ dBW}$$

Pérdidas por propagación en el espacio libre son las pérdidas que sufre la señal conforme se propaga en línea recta a través del espacio sin ninguna absorción o reflexión de los objetos cercanos. De [3] o [4], la expresión para la pérdida de trayectoria en el espacio libre es:

$$PPEL_{[dB]} = 92.44 \text{ dB} + 20 \log(f)_{GHz} + 20 \log(d)_{Km} . \quad (3)$$

$$PPEL = 92.44 \text{ dB} + 20 \log(2.4) + 20 \log(1.0) , PPEL = 100.05 \text{ dB}$$

La potencia de recepción es la cantidad de energía radioeléctrica que está presente en el sitio de recepción, y es la potencia que llega a la antena en el receptor más la ganancia de la antena receptora, es decir:

$$P_R [dBmW] = EIRP - FSL + G_R . \quad (4)$$

$$P_R = 17.6 \text{ dBmW} - 100.05 \text{ dB} + 1.5 \text{ dBi} , P_R = -80.95 \text{ dBmW}$$

La cantidad de energía radioeléctrica que está presente después de la línea de recepción y de la atenuación de los conectores, denominada nivel de recepción de la señal, es el nivel de potencia a la entrada del receptor, es decir:

$$NRS_{[dB]} = P_R - L_{LT} - L_c . \quad (5)$$

$$NRS = -80.95 \text{ dBW} - 0.20 \text{ dB} - 0.20 \text{ dB} , NRS = -81.35 \text{ dBW}$$

El valor del margen del sistema permite conocer si el radioenlace es proclive a desvanecerse y fallar la radiocomunicación, o si está garantizada, todo dependerá de la magnitud que presente al estimar el presupuesto, si adquiere un valor menor a cero el receptor solo escuchará ruido, si presenta un valor menor a 6 estará en condiciones de presentar efectos de desvanecimiento si se presentan condiciones meteorológicas de neblina o lluvia severas, o que se encuentre en un ambiente donde existan múltiples usuarios que empleen la misma banda de frecuencias. El margen se obtiene restando el nivel de recepción y la sensibilidad del receptor, es decir:

$$M [dB] = NRS - S . \quad (6)$$

S = Sensibilidad del receptor.

$$S = -100 \text{ dBmW}$$

Por lo tanto:

$$M = -81.35 \text{ dBmW} - (-100) \text{ dBmW} , M = 18.65 \text{ dB}$$

3. Resultados

Parámetro	Variable	Magnitud	Unidad
Potencia del Transmisor	P_{TX}	16.5	dBmW
Perdidas de conexión	L_c	0.2	dB
Perdidas de línea de transmisión	L_{TC}	0.2	dB
Ganancia de la Antena de Transmisión	G_{TX}	1.5	dBi
Potencia Isotrópica Radiada Efectiva	PIRE	17.6	dBmW
Distancia entre Transmisor y Receptor	d	1	km
Frecuencia de operación	f	2.4	GHz
Perdidas por Propagación en el Espacio Libre	PPEL	-100.05	dB
Ganancia de la Antena de Recepción	G_{RX}	1.5	dBi
Potencia de Recepción	P_R	80.95	dBmW
Perdidas de conexión en la antena de recepción	L_c	0.2	dB
Perdidas de línea de recepción.	L_{RC}	0.2	dB
Nivel de Recepción de la Señal	NRS	81.35	dBmW
Sensibilidad del Receptor o Nivel de Piso	S	-100	dBmW
Margen	M	18.65	dB

Tabla 1. Presupuesto del radioenlace punto a punto de un Cansat.

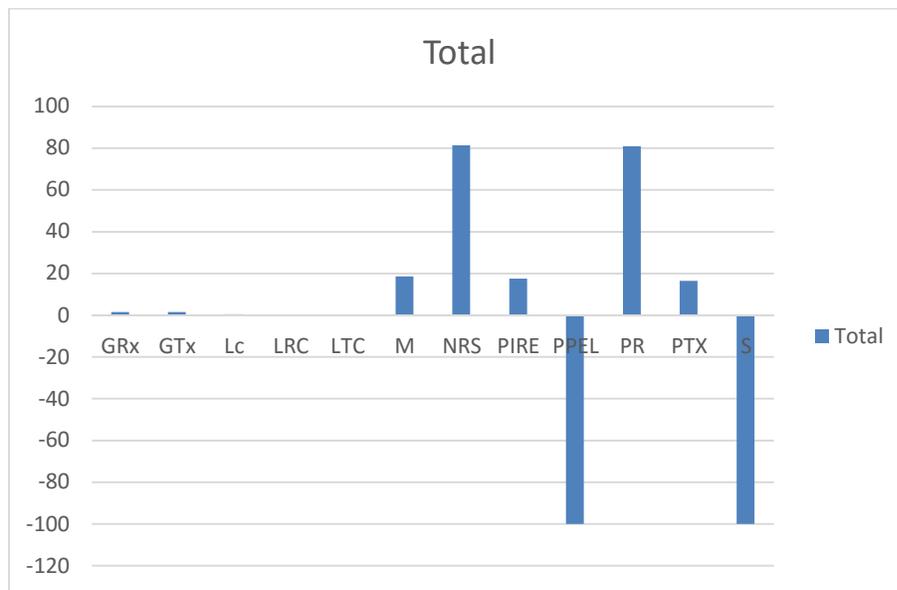


Fig. 3. Grafica del presupuesto del radioenlace punto a punto de un Cansat.

4. Discusión

El alcance o rango de comunicaciones con claridad en la línea de vista entre transmisor y receptor, permite la comunicación de telemetría bajo una 9600 bps comúnmente utilizada por transmisores XBee, muy por debajo de la capacidad del canal de comunicación que puede alcanzar hasta 240,000 bps. Esta velocidad de comunicación permite que la integridad de los datos sea absoluta, y el desempeño del experimento resulte tal y como se tiene programado.

5. Conclusiones

Durante el procedimiento de evaluación del presupuesto de las radiocomunicaciones se emplearon las características del transmisor, receptor, antenas, conectores y línea de transmisión, esto con la finalidad de calcular las pérdidas que deberán ser superadas por el equipo de radio para lograr un enlace confiable. En el diagrama de eventos de pérdidas y ganancias, podemos ver que el nivel de recepción de la señal está por encima del umbral del receptor (sensibilidad), esto indica que se puede establecer la comunicación entre el transmisor y el receptor. Se explican con puntualidad la

terminología y las unidades que intervienen en el proceso de comunicación de un Satélite didáctico, empleado para ilustrar a estudiantes de bachillerato, como se realiza el proceso de la estimación de las variables que intervienen en un radioenlace punto a punto. Esto ilustra de forma brillante el conocimiento de ciencias e ingeniería, ya que es aquí donde intervienen con sus acciones durante su primer contacto real con actividades que se llevan a cabo en laboratorios especializados.

6. Referencias

- [1] J. C. LaCombe, E. L. Wang, M. Nicolescu, P. Rivera, and B. Poe. Design Experiences with a Student Satellite Program. Proceedings of the 2007 American Society for Engineering Education Pacific Southwest Annual Conference.
- [2] S. Malztnaga, K. Yoshiharpi, Y. M. Sekiguchi, H. Sawada, S. Tsurumi, K. Nakaya, M. Mori, K. U. N. Maeda, O. Mori, "Titech Micro-Satellite Model:CanSat for Sub-orbital Flight". Mechano-Aerospace Engineering, Tokyo Institute of Technology. Aerospace Conference Proceedings, IEEE. Vol. 7. 2000.
- [3] XBee & XBee-PRO OEM RF Module Antenna Considerations, Application Note XST-AN019a. http://ftp1.digi.com/support/images/XST-AN019a_XBeeAntennas.pdf. Consultado el 5 de junio de 2015.
- [4] Radio System Design for Telecommunications. Wiley & Sons. 1987.
- [5] The Mobile Radio Propagation Channel". Wiley & Sons. 1992.
- [6] Introduction to Radio Propagation for Fixed and Mobile. Artech House. 1996.
- [7] H. L. Bertoni, et al., "UHF Propagation Prediction for Wireless Personal Communications". Proceedings of the IEEE. Vol. 82. No. 9. 1994. 1333-1359 pp.
- [8] J. B. Andersen, T. S. Rappaport, S. Yoshida, "Propagation Measurements and Models for Wireless Communications Channels". IEEE Communications Magazine. 1995. 42-49 pp.

- [9] W. C. Y. Lee, *Mobile Communications Design Fundamentals*. Second Edition. 1993. Wiley & Sons.
- [10] CCIR (now ITU-R) Report 567-4. Propagation data and prediction methods for the terrestrial land mobile service using the frequency range 30 MHz to 3 GHz. International Telecommunication Union. Geneva. 1990.

7. Autores

M. en C. Andrés Calvillo Téllez: nació en la Ciudad de México, el 6 de noviembre de 1964. Recibió su título de Ingeniero de la Escuela Nacional de Instituto Politécnico de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Ciudad de México, en 1991, y el grado de maestría en Investigación de Tecnología Digital y Centro de Desarrollo del Instituto Politécnico Nacional (IPN-CITEDI) en Tijuana, México, en 1993. Su interés por la investigación incluye el modelado y la simulación de la propagación de RF, el diseño de RF y nivel de sistema utilizando dispositivos FPGA.

Dr. José Cruz Núñez Pérez: nació en Uruapan Michoacán, México, el 2 de abril de 1978. Recibió el grado de maestría en ingeniería electrónica del Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET), en Cuernavaca, México, en 2003, y el doctorado del Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas de Lyon (INSA - Lyon), Francia, en 2007. En primer semestre de 2008, fue Director de Investigación de Tecnología Avanzada de Investigación SA de CV (ATR) en Guadalajara, México, donde dirigió un equipo de investigadores que trabajan en redes y telecomunicaciones arquitecturas. Desde agosto de 2008, es profesor en el Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital (CITEDI-IPN), en Tijuana, México. Es Coordinador de Investigación en el Departamento de Telecomunicaciones de CITEDI.

Dr. José Ricardo Cárdenas - Valdez: nació en Tijuana Baja California, México, el 1 de octubre de 1982. Recibió el grado de Ingeniería del Instituto Tecnológico de Tijuana (ITT) en Baja California, México, en 2006, y el grado de maestría en Digital Sistemas del Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología digital del Instituto Politécnico Nacional (IPN - CITEDI), México, en 2008. Con el grado de Doctor en Ciencias con la tesis titulada " Modelado, simulación y optimización de modelos de comportamiento con memoria de amplificadores de potencia para RF" en CITEDI-IPN. Su interés de investigación incluye el diseño y modelado de dispositivos digitales y analógicos principalmente amplificador de potencia, dispositivos de alta frecuencia y el diseño de FPGA, predistorsión digital y modelado 3D. Actualmente es Profesor-Investigador en el Instituto Tecnológico de Tijuana.

M.I. Antonio Gómez Roa que actualmente es el Coordinador del programa educativo de Ingeniería Aeroespacial de la unidad de Centro de Ingeniería y Tecnología CITEC valle de las palmas del Campus Tijuana. Mismo que fue capacitado por The CanSat Leader Training Program (CLTP4), establecida en 2010, capacitación para investigadores y educadores como uno de los programas de desarrollo de capacidades en la tecnología espacial a nivel internacional. El tema de este curso fue sobre Nano Satélites “CanSat” en el país de JAPON los días del 22 de julio al 25 de agosto del 2013 en la universidad de Kanagawa. Para la selección de esta capacitación se dio a través de una convocatoria primeramente nacional donde la Agencia Espacial Mexicana (AEM)

Dr. Raúl Rascón Carmona: Ingeniero Electrónico con grado de maestría en Sistemas Digitales del Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital del Instituto Politécnico Nacional (IPN - CITEDI) , México , y Doctor en CICESE y candidato en el Sistema Nacional de Investigadores desde 2014 en México, es profesor en la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) en el departamento de Aeroespacial, México.