

Análisis y verificación de datos térmicos de telemetría del picosatélite artificial 'Libertad 1'

Raúl Andrés Joya Olarte**
Heiler Yesid Ledezma Leudo*
Universidad Sergio Arboleda
Calle 74 no. 14 - 14 Bogotá D.C., Colombia
Tel: (1) 5414680
Correo-e: tecnoledezma@yahoo.com.mx.

Resumen. Se presenta el análisis y verificación de datos térmicos de telemetría del picosatélite artificial 'Libertad 1', el cual es la base para conocer el resultado del funcionamiento del cube-sat en órbita alrededor del planeta Tierra. En este artículo se discute el comportamiento orbital de 'Libertad 1' con respecto a la telemetría reportada por este en algunos puntos de su órbita. El análisis de la telemetría constituye una base fundamental para constatar el proceso de transmisión de los datos, como también el funcionamiento del sistema de orientación magnético implementado.

Abstract- One presents the analysis and check of thermal information of telemetry of the artificial picosatellite 'Libertad 1', which is the base to know the result of the functioning of the cube-sat in orbit about the planet Earth. In this article the orbital behavior is discussed of 'Libertad 1' with regard to the telemetry reported by this one in some points of his orbit. The analysis of the telemetry constitutes a fundamental base to verify the process of transmission of the information, as also the functioning of the magnetic system of orientation implemented.

Palabras clave: *Picosatélite, telemetría, órbita, campo magnético, transmisión.*

** Director Proyecto 'Colombia en Órbita' Universidad Sergio Arboleda.
* Investigador Auxiliar proyecto 'Colombia en Órbita', Tecnólogo Electrónico Universidad Distrital 'Francisco José de Caldas'.

I. INTRODUCCIÓN.

Para describir la dinámica orbital de un satélite alrededor del planeta Tierra, es fundamental emplear los elementos orbitales correspondientes a dicho cuerpo, 'Libertad 1' no es la excepción, es un Cube-Sat de tipo pico-satélite y fue necesario recopilar información de sus elementos orbitales para poder precisar con alguna cercanía su posicionamiento orbital, de igual forma, es amplia la temática que implica el análisis de un satélite desde todo punto de vista, y la transmisión es un ejemplo de ello, por tanto en el presente documento se analiza el proceso de transmisión llevado a cabo por 'Libertad 1' a partir de los datos de telemetría transmitidos por el cube-sat.

II. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ORBITAL.

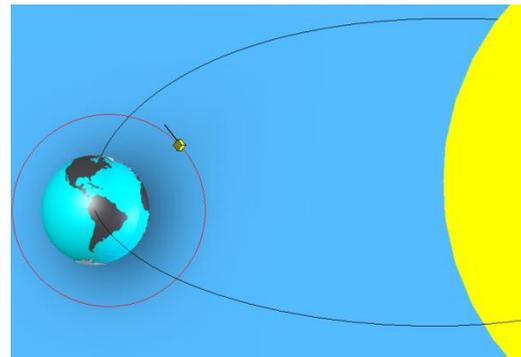


Figura 1.

Dinámica del Satélite

Para poder analizar los datos de telemetría del satélite, es importante primero discutir la dinámica del sistema, que en este caso consiste en dinámica orbital y dinámica rotacional. La primera

será discutida brevemente, y se hará énfasis en la segunda debido que esta directamente relacionada con el problema de la orientación, y en consecuencia, con los datos de telemetría de temperatura reportados.

Dinámica Orbital

En la dinámica orbital se considera el sistema Tierra-satélite, donde el satélite es analizado como una partícula. Libertad 1 orbita en promedio a 700 Km de altura, con un periodo de 110 min. Tiene además una órbita polar, cuyo plano de rotación se encuentra inclinado a $97,5^\circ$ con respecto al plano ecuatorial. Estos $97,5^\circ$ causan que el vector de fuerza gravitacional generado por la Tierra cambie ligeramente durante su órbita. Este cambio es debido al achatamiento de la tierra en el ecuador, y causa una precesión del plano orbital de aproximadamente 1° al día (Figura (1)). Una precesión de 1° hace que el plano orbital siempre haga aproximadamente el mismo ángulo con el vector de radiación solar, y por lo tanto este tipo de órbita es conocida como una órbita Helio-Sincrónica.

III. VERIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LA DINÁMICA ORBITAL DE 'LIBERTAD 1'.

Para describir la dinámica orbital de un satélite alrededor del planeta Tierra, es fundamental emplear los elementos orbitales correspondientes a dicho cuerpo, 'Libertad 1' no es la excepción, es un Cube-Sat de tipo pico-satélite y fue necesario recopilar información de sus elementos orbitales para poder precisar con alguna cercanía su posicionamiento orbital.

Formato two line de elementos orbitales.

Para el seguimiento orbital de 'Libertad 1', se utilizaron los elementos orbitales del Cube-Sat.

LIBERTAD 1
1 31128U 07012M 07114.21960096 -.00000048 +00000-0 00000+0 0 107
2 31128 098.0833 189.2026 0103091 191.9225 167.9579 14.51823583 991

Elemento orbital	Descripción
LIBERTAD 1	Nombre común para el satélite
1	Número de línea
31128	Número de identificación de satélite
U	Clasificación del elemento
07012M	Designación internacional
07114.21960096	Momento de obtención del elemento orbital
-.00000048	1ra deriv. del movimiento medio respecto al tiempo
+00000-0	2da deriv. del movimiento medio respecto al tiempo (Punto asumido)
00000-0	Coefficiente balístico
0	Tipo de conjunto de elemento
10	Número de elemento
7	Checksum: Es la suma de todos los caracteres en la línea de datos
2	Número de línea
31128	Número de identificación de Objeto
098.0833	Inclinación de la órbita (En grados)
189.2026	Ascensión recta de Nodo Ascendente (En grados)
0103091	Excentricidad (Punto decimal asumido)
191.9225	Argumento del perigeo (En grados)
167.9579	Anomalía media (grados)
14.51823583	Revoluciones por día
99	Número de órbita
1	Checksum: Es la suma de todo los caracteres en la línea de datos.

Tabla 1.

Elementos orbitales correspondientes a cada información de telemetría reportada.

Generalmente es recomendable actualizar los elementos orbitales cada 2 o 3 semanas (según muchos textos de

astronomía) para los cuerpos que orbitan la Tierra. En el seguimiento orbital realizado a 'Libertad 1', se quiere disminuir al máximo la probabilidad de error en el cálculo del posicionamiento orbital. El error es directamente proporcional al tiempo transcurrido entre la obtención de los elementos orbitales, y el tiempo de monitoreo, por ello, estos datos se actualizaron con más frecuencia (entre 1 y 9 horas) según los reportes enviados por NORAD (North American Aerospace Defense Command).

A continuación se muestra un ejemplo de los elementos orbitales correspondientes información de telemetría, reportada en la órbita #78 alrededor del planeta Tierra.

Órbita 78

Domingo 22 de Abril.

18h: 32min: 4Seg: 445,088mSeg.

LIBERTAD 1
 1 31128U 07012M 07112.77227367 -.00000048 00000-0 00000+0 0 91
 2 31128 098.0855 187.8095 0102997 196.4031 163.3927 14.51822982 780

Hora	Telemetría reportada por 'Libertad 1'	Cód. R. Op.
12:06'	A00023C23I23P22R-3_LIBERTAD_1COL_B:73_AA	JE9PWL

Tabla 2.

Pertinencia orbital de la telemetría reportada.

Debido a la cantidad de fenómenos terrestres involucrados en la dinámica orbital de un satélite, resulta sumamente complejo conocer con total exactitud la posición del objeto en determinado instante de tiempo. Para lograr gran precisión en la determinación orbital de un satélite, se requiere de métodos avanzados como los utilizados por NORAD, Defense Mapping Agency, US Naval Surface Weapons Centre (NSWC), etc., los cuales a menudo utilizan telemetría laser y técnicas avanzadas de astrometría. Como se menciona en los principios de determinación orbital: Las diferencias existentes entre las posiciones calculadas y observadas, permiten determinar correcciones del modelo de fuerzas e incluso de las condiciones iniciales de posición y velocidad.

A partir de los elementos orbitales se calculó la hora para 2 límites del país

desde el que se capturó reporte (sur y norte), con respecto al área visible del satélite para dicha porción del globo terrestre, de modo que se puede calcular con cierta cercanía (en la mayoría de los casos) la duración de cada paso.

Posición relativa de 'Libertad 1'.

Los radio operadores sólo reportaron el momento de cada paso en horas y minutos, de modo que se muestra a continuación cada paso en intervalos de tiempo mínimo (00") y máximo (59"). El desconocimiento del tiempo exacto en cada paso genera una incertidumbre de la posición exacta del satélite, entonces, no sabremos la posición exacta del pico-satélite para cada hora reportada, pero conoceremos un pequeño intervalo de su órbita en el que reporto determinados datos de telemetría. A continuación se muestra el reportes de telemetría #7, y las diferencias observadas entre las horas de reporte observados (por el radio operador) y calculado (según elementos orbitales).

Domingo 22 de Abril, 12:06'.

Reporte #: 7

Información de telemetría:

A00023C23I23P22R-3_LIBERTAD_1COL_B:73_AA

Código del radio operador: JE9PWL

País: Japón.



Figura 2. Posición geográfica de Japón.

Hora calculada:

Límite sur: 11:58':40"

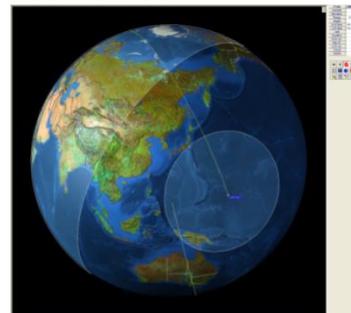


Figura 3.

Límite norte: 12:15':20"

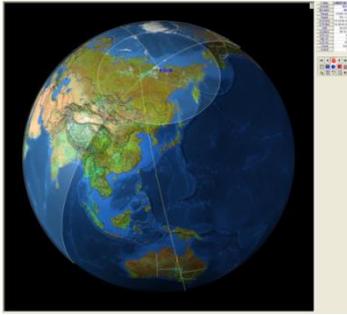


Figura 4.

Hora reportada:

Tiempo mínimo: 12:06':00"

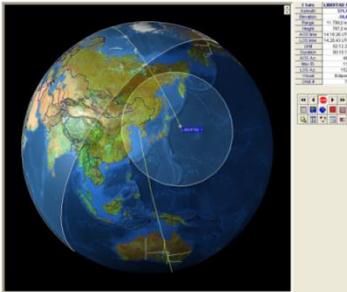


Figura 5.

Tiempo máximo: 12:06':59"

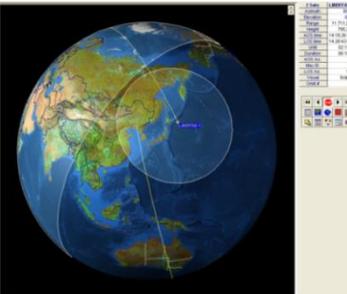


Figura 6.

Fecha de reporte: Abril 22 de 2007.

Hora calculada

- Límite norte (h:m:s") 12:15':20"
- Límite sur (h:m:s") 11:58':40"
- Duración calculada (m:s") 16':40"

Hora del reporte: 12:06'

País del radio operador: Japón.

Dirección del paso: Sur-Norte.

IV. ANÁLISIS DE DATOS TÉRMICOS DE TELEMETRIA A PARTIR DE LA TEORÍA DE LA INFORMACIÓN.

Es amplia la temática que implica el análisis de un satélite desde todo punto

de vista, y la transmisión es un ejemplo de ello, por tanto en el presente documento se analiza el proceso de transmisión llevado a cabo por 'Libertad 1'. Todo satélite que envíe información a una estación terrena debe procurar optimizar la transmisión y que esta sea confiable. A continuación se muestra un análisis de los datos telemétricos reportados por el cube-sat '**Libertad 1**' desde el punto de vista de la **teoría de la información**, partiendo de la codificación binaria de cada carácter, desde la manera en que se empaquetan los datos que transmite el satélite, pasando por su codificación binaria, hasta la verificación de la entropía, velocidad efectiva de transmisión, etc.

Descripción del protocolo utilizado.

La transmisión de paquetes de datos por radio es realizada en forma de pequeños bloques de datos, llamados frames, cada frame está formado por pequeños grupos de datos llamados campos. Un frame está formado por los siguientes campos:

A	B	C	D	E	F	A
1	14-70	1	1	M	2	2

Tabla 3.

- A. Bandera.
- B. Dirección.
- C. Control.
- D. ID de protocolo.
- E. Información 'M'.
- F. Secuencia de chequeo de frames.

Bandera (1 octeto). Este campo se utiliza para delimitar los frames, aparece al inicio y al fin de cada frame y tiene el valor de 7E hexadecimal o 01111110 binario. Indica el inicio o fin de cada frame.

Dirección (14 a 70 octetos). El campo de dirección de AX.25 tiene una longitud de 14 a 17 octetos, dependiendo de cuantos repetidores o digipeaters se requieran para llegar al destino. Si las estaciones emisoras-receptoras están en rango (o sea, que no requieran de digipeater), solo será necesario especificar las direcciones de las estaciones emisoras-receptoras; para

esto, se requiere del uso de 7 octetos, los cuales contienen el distintivo de llamada compuesto de hasta 7 caracteres cada uno. Si un frame debe pasar por un digipeater, será agregado un subcampo adicional al final del campo de direcciones.

Control (1 octeto). El campo de control es usado para identificar el tipo de frame que está siendo transmitido, por ejemplo, cuando hay una conexión en proceso el campo de control será tipo 2.

ID de Protocolo (1 octeto). Especifica el tipo de la capa de red en uso, para este caso, se usará la capa 3.

Información (hasta 256 octetos). El campo de información es usado para colocar la información a ser transmitida desde un punto a otro.

FCS o Secuencia de Chequeo de Frames (2 octetos). Esta secuencia de control está compuesta por los frames del emisor y el receptor, de tal forma que en cada FCS existe un octeto del emisor y un octeto del receptor. Se utiliza para asegurar que el frame no sea corrompido por el medio de transmisión además de cumplir con las recomendaciones del ISO 3390.

Bandera (1 octeto). Es idéntica a la bandera del inicio del frame, para indicar terminación de frame.

Implementación del protocolo AX.25 en 'Libertad 1'.

Para 'Libertad 1', los frames quedan de la siguiente manera:

A	B	C	D	E	F	A
1	7	1	1	M	2	2

Tabla 4.

- A. Bandera:**
- Inicio (1 octeto).
 - Final (2 octetos).
- B. Dirección:** En este campo, según el protocolo AX.25, se alojarán 7 octetos, si las estaciones emisora-receptoras están en rango, es decir, si no se requiere de digipeaters o repetidores. Sabemos que Libertad 1 envía la información directamente a la estación

terrena, de forma que en este campo el satélite utiliza 7 octetos.

- C. Control (1 octeto).**
- D. ID Protocolo (1 octeto).**
- E. Información:** 'Libertad 1' envía información en forma de paquetes de datos, los cuales son codificados en código ASCII, cada caracter es codificado como 1 octeto (8 Bits), en cada transmisión envía 40 caracteres, de forma que este campo es ocupado por 40 octetos, de los 256 que permite como máximo el protocolo AX.25.
- F. Secuencia de chequeo de frames (2 octetos).**

Descripción de la codificación binaria empleada.

Dado que los sistemas digitales procesan la información en forma de lo que se entiende como 'unos' y 'ceros', o en otras palabras, 'presencia' o 'ausencia' de voltaje, es necesario procesar las señales recibidas de los sensores en forma digital. La mayoría de los sistemas digitales modernos procesan la información de acuerdo a códigos universalmente estandarizados, de ahí la necesidad de recurrir al código ASCII para procesar la información del satélite y para su posterior análisis.

Verificación de la información contenida en la primera transmisión en función de '1s' y '0s'.

Primera transmisión de 'Libertad 1':

A11044C33I22P25R14_LIBERTAD_1COL_B:2_AA

Trama de bits contenidos:

```
010000010011000100110001010011110000
010000000100010000110011001100110011
010010010011001000110010010100000011
001000110101010100100011000100000100
010111110100110001001001010000100100
010101010110101010001000001010001000
101111100110001010000110100111101001
100010111110100 00100011 10100011 0010
0101 11110101 11110100 00010100 0001.
```

de Bits totales: 320.

de '1s': 135.

de '0s': 185.

Probabilidad de ocurrencia de '1s' y '0s' en la primera transmisión de 'Libertad 1'.

$$P_{(1)} = 135 / 320 = 0,421875.$$

$$P_{(0)} = 185 / 320 = 0,578125.$$

Información aportada por '1s'.

$$I_{(1)} = \text{Log}_2 (1 / 0,421875) = \text{Log}_2 2,3703 \\ = \ln 2,3703 / \ln 2 = 1,2451.$$

Información aportada por '0s'.

$$I_{(0)} = \text{Log}_2 (1 / 0,578125) = \text{Log}_2 1,7297 \\ = \ln 2,3703 / \ln 2 = 0,7905.$$

Entropía 'H' del sistema para la primera transmisión de 'Libertad 1'.

Se ha definido la autoinformación en función de los mensajes individuales o símbolos que una fuente pueda producir, pero un sistema de comunicación no es diseñado para un mensaje en particular, sino para todos los posibles mensajes. Por tanto aunque el flujo de información instantáneo de una fuente pueda ser errático, se debe describir la fuente en términos de la información promedio producida. Esta información promedio se denomina entropía de la fuente.

Una fuente de información, además de estar caracterizada por el alfabeto fuente, también lo está por la probabilidad con que se emite cada símbolo.

$$H = P \text{Log}_2 (1 / P) + (1-P) \text{Log}_2 (1 / (1-P))$$

$$H = P_{(1)} \text{Log}_2 (1 / P_{(1)}) + P_{(0)} \text{Log}_2 (1 / P_{(0)}) \\ = 0,421875 \text{Log}_2 (1 / 0,421875) + \\ 0,578125 \text{Log}_2 (1 / 0,578125).$$

$$H = 0,9823.$$

Luego, sabiendo que la velocidad de los datos es de 1200Bps, se sabe entonces que el Tiempo de Bit 'T_b' es: 8,33*10⁻⁴S.

Razón de Entropía 'rH'.

$$rH = 1 / T_b * H.$$

Sabiendo que la entropía es 0,9823, y T_b es: 8,33*10⁻⁴Seg.

$$rH = (1 / 8,33*10^{-4}S) * 0,9823 \\ = 1.178,76 [\text{Unid. de información/Seg}].$$

Bits totales para 'Libertad 1'.

Como se muestra en la implementación del protocolo AX.25, 'Libertad 1' envía la información modulada, en secuencias de 54 octetos, y sabiendo que un octeto es

un grupo de 8 Bits, hay entonces un total de 432 Bits por cada transmisión, distribuidos de la siguiente forma:

Octeto Bandera (de inicio) + 7 Octetos de dirección + 1 Octeto de Control + 1 Octeto de ID de Protocolo + 40 Octetos de Información + 2 Octetos de FCS (Secuencia de chequeo de Frames) + 2 Octetos Bandera (de final de transmisión).

Velocidad efectiva en la primera transmisión de 'Libertad 1'.

A la hora de evaluar o verificar el rendimiento de un sistema de comunicaciones electrónico, resulta de suma importancia conocer la velocidad real de la información útil, esto es, la velocidad de la transmisión en función del mensaje 'M'.

$$D = (\# \text{ Bits Información}) / (\# \text{ Bits totales})$$

$$V_{ef} = D * (1 / T_b)$$

$$D = (320 \text{ Bits inform}) / (432 \text{ Bits totales}) \\ = 0,740740.$$

$$V_{ef} = 0,0926 * (1 / 8,33 * 10^{-4}S)$$

$$V_{ef} = 889,245 [\text{Bits de información/Seg}]$$

V. VERIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LA DINÁMICA ROTACIONAL CON BASE EN LA TELEMETRÍA REPORTADA.

Libertad 1, es un picosatélite que transmite esencialmente información de la temperatura de sus caras y del microcontrolador, de manera que esta variable física es un criterio fundamental a la hora de verificar el comportamiento rotacional del objeto en órbita.

Orden de recepción de los datos.

# Dato	Fecha	Hora (UTC)
1	17.04.2007	10:25
2	17.04.2007	21:19
3	21.04.2007	21:18
4	21.04.2007	22:50
5	21.04.2007	23:00
6	21.04.2007	23:40
7	22.04.2007	12:06
8	22.04.2007	20:26

9	22.04.2007	22:08
10	22.04.2007	22:49
11	23.04.2007	04:25
12	23.04.2007	14:08
13	24.04.2007	01:32
14	24.04.2007	11:45
15	24.04.2007	20:26
16	24.04.2007	22:58
17	25.04.2007	14:08
18	25.04.2007	22:48
19	26.04.2007	03:34
20	26.04.2007	03:16
21	27.04.2007	22:48
22	28.04.2007	10:43
23	28.04.2007	20:25
24	29.04.2007	09:52
25	29.04.2007	12:45
26	29.04.2007	19:33
27	29.04.2007	21:05
28	29.04.2007	22:47
29	30.04.2007	03:33
30	30.04.2007	12:04
31	30.04.2007	13:36
32	30.04.2007	21:56
33	01.05.2007	09:51
34	01.05.2007	11:31
35	03.05.2007	19:22
36	03.05.2007	22:46
37	04.05.2007	10:41
38	04.05.2007	12:13
39	04.05.2007	13:35

Tabla 5.

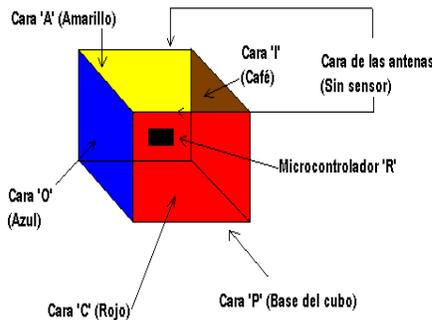


Figura 7.

Tabulación de la temperatura reportada por los sensores [En ° Centígrados].

A	O	C	I	P	R
6,5	22	11,5	11	12,5	14
8,5	7,5	12,5	9,5	8	99
0	12	11,5	12	10,5	5
0	11,5	11,5	11,5	11	1
0	12,5	12	12	10,5	6
0	7	49,5	8	5,5	99
0	11,5	11,5	11,5	11	3
0	12	12	12	10,5	5
0	12	12	12	10,5	6
0	7	5,5	8,5	5	99
0	12	12	0	11,5	55
0	22	5,5	5,5	12,5	13
0	9,5	9	9,5	6,5	10
0	12,5	12	12	12	99
0	12	12	12	10,5	6
0	11,5	11,5	11,5	11	2
0	11	12,5	12,5	12,5	13
0	11,5	11,5	11,5	11	3
0	12	12	12	11,5	44
0	11	12,5	0	12,5	13
0	11,5	11,5	11,5	11	4
0	27,5	5,5	33	12	2
0	12,5	12	12,5	10,5	7
0	38,5	5,5	33	8,5	3
0	11,5	11,5	11,5	11	1
0	12	12	12,5	10,5	7
0	11,5	11,5	11,5	11	4
0	12	11,5	11,5	10,5	6
0	12	11,5	12	11,5	22
0	27,5	44	16,5	26,5	13
0	11,5	11,5	11,5	11	2
0	11,5	11,5	11,5	11	5
0	38,5	5,5	33	14,5	2
0	27,5	44	22	25	0
0	11,5	11,5	11,5	11	3
0	12	12	12	10,5	6
0	27,5	49,5	27,5	26,5	13
0	33	5	38,5	0	4
0	11,5	11,5	11,5	11	4

Tabla 6.

Descripción grafica de los datos térmicos reportados por los sensores (°C vs Orden de recepción de los datos).

Sensor A.

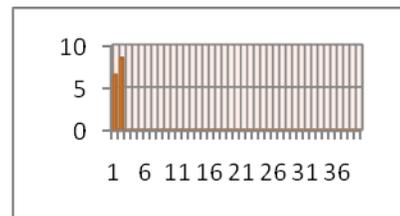


Figura 8.

Sensor O.

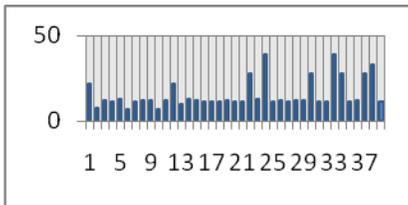


Figura 9.

Sensor C.

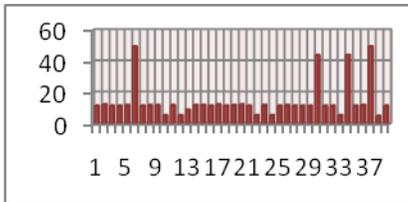


Figura 10.

Sensor I.

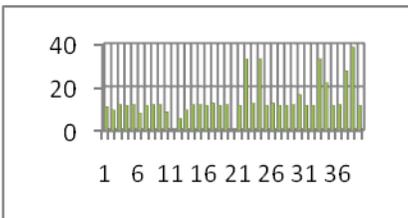


Figura 11.

Sensor P.

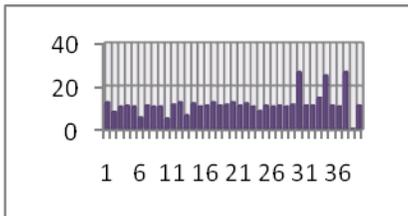


Figura 12.

Sensor R.

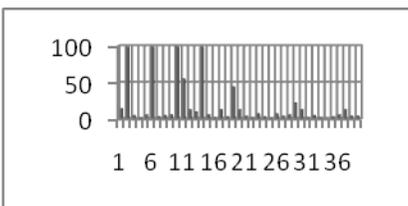


Figura 13.

En las gráficas y en la tabulación puede observarse que el sensor correspondiente a la cara 'A', a partir del tercer paquete hasta los últimos paquetes de telemetría recibidos, reporta

'0s', un típico comportamiento de un sensor averiado, este funcionamiento deficiente imposibilita un análisis del comportamiento rotacional (sobre su propio eje) a partir de la telemetría de temperatura de 'Libertad 1'.

VI. VERIFICACIÓN DE LA ESTABILIZACIÓN DE 'LIBERTAD 1' CON BASE EN DATOS DE TELEMETRÍA.

El sistema de orientación implementado en 'Libertad 1' es un sistema de orientación pasivo, el cual utiliza un material ferromagnético fabricado con una aleación de Hierro y Niquel, conocida como HyMu, perfectamente alineado con la antena de transmisión del pico-satélite, el cual intenta orientar la antena al alinearse tangencialmente con las líneas de campo magnético de la Tierra.

Alineación de la antena y el magneto en el cube-sat.

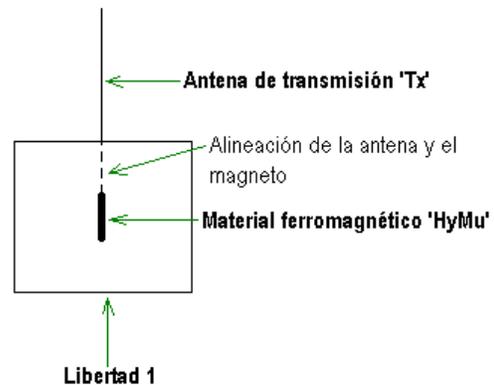


Figura 14.

Alineación tangencial del magneto con respecto a las líneas de campo magnético terrestre.

Gracias a las propiedades intrínsecas de los materiales ferromagnéticos, el polo sur del magneto tiende a alinearse hacia el polo norte terrestre, y lo propio hace el polo norte del magneto con respecto al polo sur terrestre.

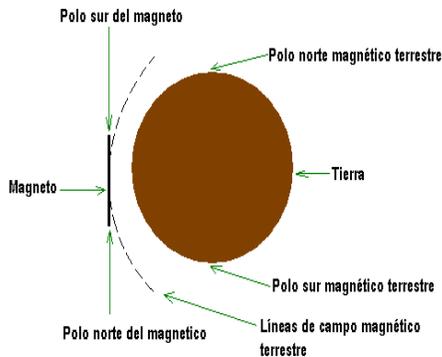


Figura 15.

Orientación tangencial de la antena con respecto a las líneas de campo magnético terrestre.

El principal objetivo del sistema de estabilización magnético, es lograr que la antena de transmisión 'Tx' siempre (o la mayor parte del tiempo) sea tangente a las líneas de campo magnético de la Tierra.

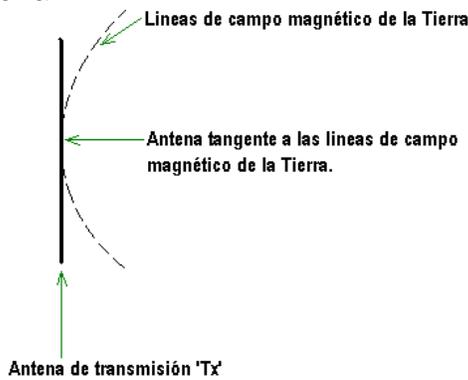


Figura 16.

Alineación de 'Libertad 1' con respecto a la tierra.

El sistema de estabilización intenta mantener al pico-satélite como se muestra en la figura en la mayor parte de su orbita alrededor de la Tierra.

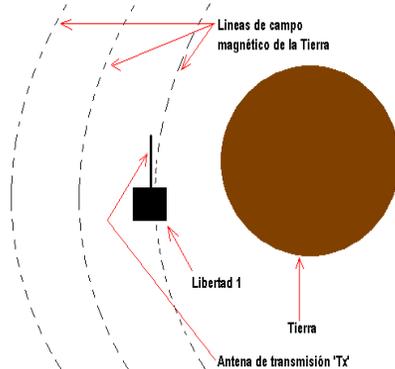


Figura 17.

Región "ciega".

Dada las propiedades de los materiales ferromagnéticos y a la dispersión radial de las ondas electromagnéticas, a la hora de transmitir estas ondas por medio de la antena, en esta se obtiene una región "ciega", región indeseada para cualquier tipo de transmisión, ya que dicha región se caracteriza por la deficiencia o prácticamente ausencia de radiación electromagnética, o dicho en otras palabras, región en la que prácticamente no se puede transmitir.

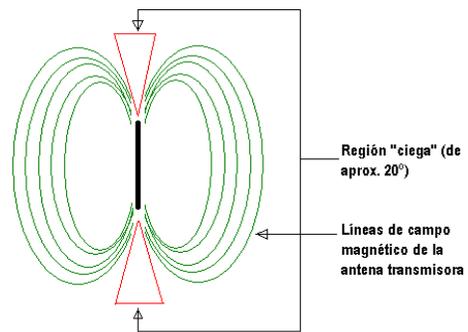


Figura 18.

La región ciega no es como tal un triángulo, es realmente un cono que se extiende tanto como las líneas de campo magnético (hasta el infinito).

La velocidad de transmisión de los datos de telemetría de 'Libertad 1' es de 1200BPS, el número de bits totales (incluyendo los bits de control y bits de datos) es de 432 bits, entonces:

$$432\text{Bits}/1200\text{BPS} = 0,36\text{Seg} = 360\text{mS.}$$

VII.OBSERVACIONES Y RESULTADOS.

La transmisión de cada paquete de telemetría tarda 360 mSeg. (Tiempo perceptible para el ojo humano) entre el primer bit y el último, condición fundamental para que se lleve a cabo la transmisión. La transmisión de los datos es una **comunicación simplex**, unidireccional, lo que imposibilita el uso de técnicas de detección y corrección de error, con lo cual se observa que en un tiempo perceptible, el satélite nunca pasó

por la región "ciega" durante cada transmisión.

El recorrido orbital del picosatélite tiene un periodo de 110 minutos, en la tabla 5 (Orden de recepción de los datos) se observa que los siguientes paquetes recibidos (# dato) se encuentran dentro de ese periodo: 3,4,5 - 4,5 - 4,5,6 - 8, 9 - 9, 10 - 19, 20 - 33, 34 - 37, 38 - 38, 39. Se tiene entonces la certeza de que durante considerables intervalos del recorrido orbital del satélite, el sistema de estabilización lo mantuvo fuera de la región ciega.

VIII. CONCLUSIONES.

La información implícita en las comunicaciones electrónicas permite verificar el funcionamiento del sistema de estabilización (sean pasivos o activos) en satélites de tipo cube-sat, información relevante para analizar el comportamiento del sistema de adquisición y monitoreo de este tipo de aparatos mientras orbitan el planeta Tierra, a partir de la telemetría reportada durante su trayectoria orbital.

En este documento se muestra la manera de verificar la información de la estabilización de un picosatélite, del sistema de adquisición y monitoreo y los datos de telemetría de un cube-sat, con base en los reportes de temperatura.

REFERENCIAS

[1] W. Tomasi (1996). Sistemas de comunicaciones electrónicas. Prentice Hall.

[2] W. Couch II, León (1997). Sistemas de comunicaciones digitales y analógicas. México: Pearson educación.

[3] Wertz, James R. y Larson, Wiley J (1999). Space Mission Analysis and Design. Washington: Space Technology Library.

[4] Nuñez, Paul (2006). Artículo Orientación y estabilidad rotacional de

'Libertad 1'. Bogotá: Observatorio Astronómico Universidad Sergio Arboleda

[5] Calpoly (California Polytechnic State University).
<http://cubesat.atl.calpoly.edu/pages/missions/dnepr-launch-2.php>. Página consultada el día 10 de Abril de 2007.

[6] NORAD (North American Aerospace Defense Command).
<http://celestrak.com/NORAD/elements>. Página consultada el día 12 de Abril de 2007.

[7] Amateur Radio Information and Support for Cube-Sats.
<http://showcase.netins.net/web/wallio/CubeSat.htm>. Página consultada el día 17 de Abril de 2007.

[8] Wikipedia
http://es.wikipedia.org/wiki/Sat%C3%A9lite_artificial. Página consultada el día 12 de Abril de 2007.

[9] Telecable.
<http://www.telecable.es/personales/ea1bcu/keps.htm>. Página consultada el día 1 de Abril de 2007.

[10] Magaconsultores.
<http://www.magconsultores.net/cursoSCR01.htm>. Página consultada el día 2 de Junio 2007.