

EL PRIMER SATÉLITE ARGENTINO LUSAT-1

Ing. JORGE LUIS FAVIER

LUSAT es el acronismo formado por **LU**, prefijo de las licencias de comunicaciones de radiodifusoras, radioaficionados, etc., de Argentina y **SAT** por satélite. Como todo satélite de radioaficionados, se lo concibe como un satélite abierto a todo usuario con licencia habilitada.

La misión de **LUSAT** proveerá de enlaces digitales con capacidad de **STORE-FORWARD** desde una órbita terrestre de baja altitud, utilizando frecuencias de **VHF** y **UHF**. Podrá ser usado por radioaficionados y universidades en todo el mundo, con propósitos educativos y de comunicaciones.

El proyecto **LUSAT** se inicia como parte de la carga útil, dentro del satélite **SAC-1** (satélite de aplicaciones científicas) desarrollado por la **Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales** (CNIE). El primero de mayo de 1988 surge una nueva alternativa que lleva a suspender momentáneamente el programa de cooperación con la **CNIE**. En esa fecha, en la ciudad de **Dayton, Ohio (USA)**, directivos de **AMSAT USA** y **AMSAT AR** (Satélites Amateurs) acordaron comenzar un esfuerzo conjunto para la construcción de un pequeño satélite de comunicaciones de radioaficionados, denominado **LUSAT**.

DESCRIPCIÓN DEL LUSAT

Metas de la misión.

Las metas de la misión son:

- Demostrar la posibilidad de crear archivos digitales que permitan el almacenamiento y emisión de datos a nivel de radioaficionados, con fines educacionales y científicos.
- Calificar para uso espacial las tecnologías de hardware y software a ser empleadas en el **LUSAT**.
- Transferir a **AMSAT AR** las tecnologías autorizadas y patentadas por **AMSAT USA**, para la futura fabricación de satélites de radioaficionados en la Argentina.

Descripción General de la Misión

LUSAT ha sido implementado utilizando un nuevo concepto en la fabricación de satélites, conocido como **MICROSAT**. El satélite es cúbico y mide sólo 23 cm de cada lado sin contar la longitud de las antenas. Está diseñado para ser usado en órbitas bajas. Será más efectivo su funcionamiento si se lo ubica en una órbita sol sincrónica semejante a la de los satélites de fase dos.

Los primeros satélites (**OSCAR** del 1 al 5) fueron llamados de fase uno, ya que eran enteramente experimentales. Eran de muy corta vida y órbita muy baja; o al menos el perigeo (que es el punto más cercano a la tierra) era en

estos casos muy bajo. Esto último provocaba el reingreso del satélite en un tiempo relativamente breve.

A partir del **OSCAR 6** se comenzó la era de los satélites de larga duración y gran contabilidad. Con el **OSCAR 6** se inicia la serie de fase dos. Las características más importantes en cuanto al aspecto técnico de este satélite son:

- *sistemas de energía consistentes en celdas solares y baterías recargables confiables.*

- *sistema de telemetría más profesional y confiable que los utilizados hasta el momento.*

- *duplicación de los circuitos más críticos del satélite.*

La masa proyectada para el **LUSAT** es de 7,5 kg y el adaptador de lanzamiento y el separador del hardware pesan otros 2,5 kg.

La energía producida por los paneles solares del satélite superan los 6 w promedio, en el peor de los casos, sobre una **órbita sol-sincrónica**.

El satélite transmite en la banda amateur de 70 cm y recibe órdenes y señales de enlace ascendentes en la banda de 2 m.

La frecuencia del enlace descendente recomendado para el paquete **D-PSK** es de 437.150 mhz.

Los canales de subida recomendados para el paquete **FSK** son: 145.960/940/920/900 mhz. Estas frecuencias han sido cuidadosamente estudiadas para minimizar la probabilidad de interferencia mutua. El transmisor de bajada utiliza una modulación **D-PSK** y ocupa un ancho de banda de menos de 20 khz. El satélite tiene una capacidad máxima de transmisión en el enlace de bajada de 4 w de potencia de salida. La potencia de salida se puede variar tanto con telecomandos desde la estación terrena, como también en forma automática a través de la computadora de a bordo.

La variación de la potencia de salida del transmisor del satélite, dependerá del presupuesto de energía de la nave.

Hay varias formas de modular una portadora de onda continua con un tren de pulsos. Estas formas son:

- modulación por cambio de amplitud **ASK**.
- modulación por cambio de frecuencia **FSK**
- modulación por cambio de fase **PSK**

(Ver figura 1)

La modulación **PSK** se realiza en dos formas posibles: una se basa en efectuar la modulación en una frecuencia intermedia (**FI**), la otra se ejecuta directamente en radiofrecuencias (**RF**). Con el fin de aprovechar mejor el espectro se suelen usar más fases de modulación. Tal es el caso de **4-PSK**, **8-PSK** y **16-PSK**. En el caso de **4-PSK** cada fase codifica dos bits, con lo que se logra una reducción a la mitad del ancho de banda. Lamentablemente el margen de ruido permitido es inferior al **de2-PSK**. Aumenta el rendimiento en ancho de banda a costo de mejorar la relación señal a ruido (c/n). Lo mismo ocurre con **8-PSK** y **16-PSK**.

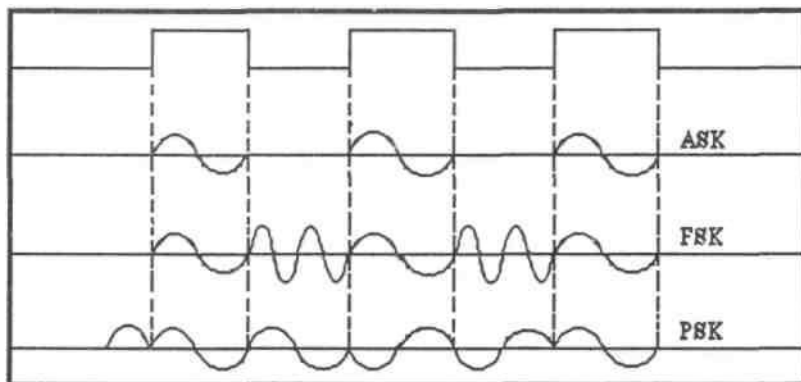


Figura 1

El sistema telemétrico constará de 32 o más parámetros analógicos digitales, que proporcionarán información relacionada con el estado del satélite. La información telemétrica análoga será convertida en información digital que, a su vez, estará disponible para la transmisión en paquetes.

La órbita de la misión es **sol-sincrónica** a una altitud nominal de 822 km, con un perigeo de 817 km y una inclinación de 97 grados.

DESCRIPCIÓN DEL MICROSAT

La estructura de la nave espacial **MICROSAT** está formada por cinco módulos de aluminio apilados, que se mantienen unidos con chavetas de acero inoxidable. Esta pila, de forma casi cúbica, es conocida como "**conjunto de armazón apilado**". Las medidas del **stak** (pila) son 230 x 230 x 213 mm.

Celdas solares de gran eficiencia han sido reunidas sobre cuatro paneles solares que están instalados sobre los cuatro lados del "stack assembly". Conjuntos adicionales de celdas solares están ubicados sobre la parte superior de la nave espacial.

Los paneles laterales están contruidos con material poroso de aluminio adherido de 4,8 mm de espesor. El espesor de estos paneles asegura que no exista ninguna imperfección en la superficie que pueda dañar las celdas solares.

Cada una de las cinco láminas de la estructura apilada del **Microsat** contiene subconjuntos electrónicos que sirven a la misión de la nave espacial tales como receptores (**Rx**), transmisoras (**Tx**), computadora de a bordo, sistema de potencia y módulo de aplicaciones especiales.

Los paneles superior e inferior de la nave **MICROSAT** poseen grupos de antenas de **VHF** y **UHF**, respectivamente, como así también grupos de celdas solares.

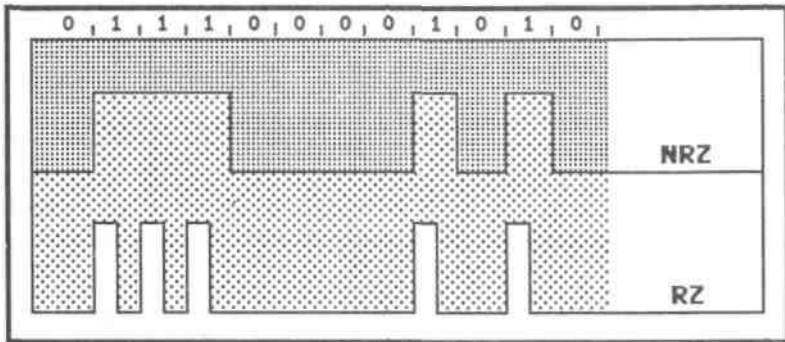


Figura 2

CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO

Los armazones y módulos son utilizados en forma funcional. Cada uno cumple un aspecto importante dentro de la operación general del satélite.

Los módulos están enumerados de cero a cinco, comenzando por la base de la nave. La función de los módulos es la siguiente:

- 01 **D - PSK**, Tx packet (cara -z).
- 02 sin utilizar
- 03 subsistema de potencia.
- 04 subsistema de comando y control.
- 05 FSK, Rx packet (cara +z).

MODULO 01

El Tx packet es el modo en el cual el satélite se comunicará con la tierra. Todas las transmisiones son digitales **NRZ, D-PSK y H-DLC**.

Está de acuerdo con el protocolo **Ax-25**, actualmente utilizado por todo el servicio de radio amateur.

El código **NRZ** (no retorno a cero), hace uso del nivel 0 y 1 ó 0 y -1. En un caso se tiene Código **NRZ** positivo y en el otro caso el **NRZ** es negativo. Una variante de este código es el **RZ** (retorno a cero). Este código consiste en transmitir el nivel 1 ó -1, según sea **RZ** positivo o negativo, sólo una fracción del tiempo total asignado a ese nivel lógico. Esa fracción o ciclo de actividad suele ser del 50%. Una ventaja del código **RZ** respecto del **NRZ** es que transmite la mitad de potencia. Por otro lado al llegar a cero antes que el NRZ permite una menor interferencia de un pulso con el siguiente (interferencia intersímbolo **ISI**). Como el ciclo de actividad es menor, el ancho de banda de transmisión es mayor (Ver figura 2).

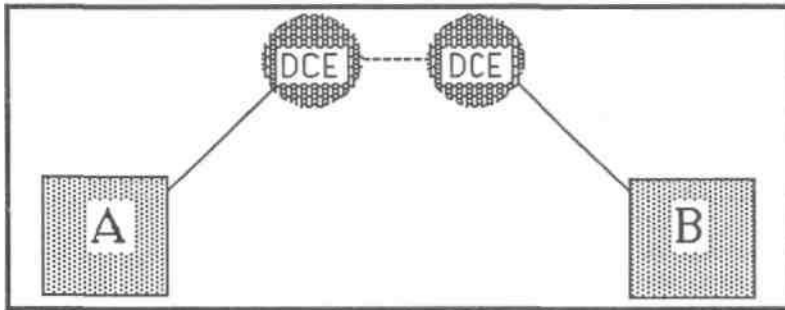


Figura 3

Cuando nos referimos al estándar **Ax-25** en realidad se trata de la versión amateur del estándar **X-25**. Emitido en 1980, se compone de tres niveles de conexión en el modelo OSI (sistema abierto de intercomunicación): físico, enlace de datos y red. Tiene un conjunto de normas asociadas para la conexión de equipos asincrónicos (**X-3**, **X-28** y **X-29**) y para la conexión con otras redes (**X-75**). Una red de conmutación de paquetes **X-25**, es una red de comunicaciones de datos. Estos se encuadran en tramos que contienen estructuras llamadas paquetes, cuyo formato se ajusta a las especificaciones emitidas por el **CCITT** (Comité Internacional Consultor en Telegrafía y Telefonía).

El **X-25** especifica las características de la interconexión entre el **DCE** (es el nodo de la red que obra como entrada o salida de la misma). (Ver figura 3)

El modelo **OSI** es estratificado y su estructura la componen siete capas. Las tres inferiores constituyen el estándar **X-25**. El **OSI** pone atención al intercambio de información entre sistemas y no al funcionamiento interno de cada sistema en particular.

La capa **DLC** (control de enlace de datos) provee la conexión lógica a través de la línea, el direccionamiento, el secuenciamiento y la recuperación de errores. En esta capa, se determina el uso de una disciplina de comunicación conocida como **HDLC** (height level data link control). Como hemos mencionado, el **HDLC** es el protocolo de línea considerado como un estándar universal, al cual muchos toman como modelo. Los datos en **HDLC** se organizan en tramos.

El transmisor del **MICROSAT**, utiliza un amplificador de alta eficiencia con una salida máxima de 4 w. Se ha establecido un control de potencia de salida que permitirá que el Tx opere a niveles inferiores de energía (2w, 1w y 0,5 w). El nivel de potencia de salida se podrá establecer tanto por control directo de tierra o a través de la computadora de a bordo.

Las velocidades de transmisión previstas son de **1.200 a 4.800** bits por segundo, seleccionabas. Los correspondientes anchos de bandas son, aproximadamente, **4 khz** y **15 khz**.

La frecuencia propuesta para el transmisor en el enlace de bajada es 437.150 mhz (70 cm). El transmisor alimenta una antena torniquete que permitirá que todos los usuarios usen **antenas de polarización lineal**. Se dice que una onda está polarizada linealmente cuando las direcciones de los vectores representativos del campo eléctrico y del campo magnético no cambian en el tiempo, en un cierto punto del espacio.

MODULO 02

En el caso de que los subsistemas en desarrollo necesiten más espacios dentro del satélite, este módulo podrá ser utilizado para acomodar las partes de los subsistemas.

En nuestro caso este módulo se utilizará para acomodar la **baliza de cw** (70 cm.) También será ocupada por parte de la memoria **RAM** de la nave.

MODULO 03

Este módulo recibe la energía de los paneles solares, convirtiendo y reduciendo el voltaje de **20 v a 10 v**, que es el voltaje de la batería colectiva principal.

El módulo de energía cumple la función de regulación de la carga de la batería.

Los conjuntos solares del satélite consisten en dieciocho subpaneles idénticos que se conocen como **clips**.

Cada clip contiene veinte celdas solares de alta eficiencia. Las celdas operan con una eficiencia de 15,5 % a una temperatura de 20°C. Se planea utilizar la nave espacial a temperaturas un poco más bajas para aumentar la eficiencia de las celdas solares y prolongar la duración de las baterías. Cada celda solar, a una temperatura de +5 a +15°C, producirá por lo menos 1,6 w. Cada panel lateral de la nave (x, -x, y, -y) tiene cuatro clips (dos conjuntos cableados en forma paralela). El panel superior (**z**) también tiene cuatro clips y el panel inferior (-z) tiene un total de 40 celdas en serie, aunque ese diseño será únicamente para esa superficie.

El módulo de energía incluye **baterías de NI Cd** de alto rendimiento. Estas baterías aseguran la capacidad necesaria para operar en forma continua durante un eclipse de satélite y también podrá ser utilizado para operar el satélite durante los períodos pico con un presupuesto de energía negativa

El módulo de energía también incluye dos **reguladores de tensión** operando a 7,5 v y 5 v. Estos voltajes son necesarios para todo equipo digital y varios circuitos analógicos que operan en el satélite.

MODULO 04

El satélite posee una microcomputadora cuyos objetivos principales son: control, comando y empleo de la información digital.

La computadora de a bordo es responsable de asegurar que todas las funciones de la nave espacial se lleven a cabo correctamente.

La computadora de a bordo realiza las siguientes funciones:

- regula la carga de la batería.
- selecciona el nivel de potencia de salida del transmisor.
- descifra los telecomandos.
- iniciala la baliza de packet telemétrico.
- transmisión, recepción e implementación del protocolo **Ax-25**.
- realiza la operación de vigilancia para resetear la computadora si no se reciben comandos durante cierto período.
- reduce la potencia del transmisor si la tensión de la batería se vuelve muy baja.

El diseño de la computadora de vuelo se basa en un **microprocesador NEC-V40**. Sostiene tres áreas de memoria primaria.

Para almacenaje del programa ejecutable, se establecieron **265 Kbytes** de **RAM** con detectores y correctores (**EDAC**) que utilizan doce bits, ocho de información y cuatro de chequeo. Dos kbytes de **RAM** de carga no volátil, proveen la manera de asegurar la reinicialización de la computadora de a bordo.

Los mensajes de usuarios y el almacenaje de la telemetría están guardados en tres megabytes de **RAM**. Se pueden configurar hasta diez megabytes de **RAM** (disco virtual).

Bancos de memoria de medio megabyte se pueden ir agregando o quitando, en forma individual, para conservar la energía de la nave espacial cuando no está en uso la memoria.

Dentro de la computadora existe un solo **convertidor analógico digital (A/D)** de **ocho bits** que mide el voltaje de un par de líneas colectivas reservadas para medidas analógicas. Esta proporciona el medio por el cual la computadora de vuelo monitorea los parámetros de operación de toda la nave con fines telemétricos y operacionales.

Todos los circuitos integrados están preparados para **resistir la radiación**; especialmente el corrector y detector de errores (**EDAC**).

La telemetría está codificada dentro de las medidas del **A/D** y organizada en **treinta y dos o más canales** dentro del software.

MODULO 05

El receptor digital opera con cuatro canales en la banda de dos metros. Un quinto canal del receptor es utilizado para dirigir los telecomandos al receptor. La frecuencia seleccionada para este canal debe quedar como información clasificada para las estaciones de control.

Cada uno de los canales usuarios de enlace ascendente puede ser fijado para recibir en **FSK**, tanto en **1.200** como en **4.800 bits/seg.** El canal de comando se selecciona automáticamente entre 1.200 y 4.800 bps de acuerdo con las características de la señal que reciba.

En ambas velocidades, el enlace ascendente está codificado **NRZ, HDLC** a 1.200 bps, el ancho de banda de la señal en el enlace ascendente es, aproximadamente, de 4 khz a 4.800 bps. La señal de enlace ascendente completa, aproximadamente, la totalidad del canal de 15 khz.

Sólo las estaciones de comando conocerán y podrán utilizar el quinto canal de comando. Las funciones de comando pueden realizarse en cualquiera de los cinco canales, siempre que se conozca la clave de acceso.

Los niveles de privilegio son:

0: posee la habilidad de solicitar telemetría; esta capacidad la tienen todos los usuarios.

1: posee la habilidad de cargar boletines informativos.

2: posee la habilidad de acceder indiscriminadamente al **BBS**. El **BBS** es un sistema que permite guardar y visualizar mensajes, archivos (ASCII y binario), programas, etc.

3: posee la habilidad de reconfigurar funciones telemétricas.

4: posee la habilidad de cambiar parámetros operativos de la nave espacial.

5: posee la habilidad de resetear y recargar la computadora.

En el satélite hay **dos juegos de antenas**, uno para el transmisor y otro para el receptor. La del transmisor, de setenta centímetros, consta de cuatro elementos radiantes montados sobre la superficie de la nave (-z). Estos forman un torniquete oblicuo y cuando son alimentados adecuadamente, producen una señal **polarizada circularmente** por el eje z. Los elementos de la antena son de metal flexible.

La antena receptora de dos metros, es un látigo montado en la superficie de la nave (+z). Su longitud es de **1/4 de longitud de onda**. Tiene polarización lineal.

CARACTERÍSTICAS TERMICAS

Está diseñado para una operación en órbita baja.

Los recubrimientos de la nave espacial están diseñados para minimizar la entrada del calor del sol o de radiaciones reflectivas de la tierra. El objetivo es mantener bajas las temperaturas de la nave (**oscilando entre -5°C y +15°C**), a fin de promover la mayor eficiencia posible de las celdas solares y baterías.

CONTROL DE ACTITUD

La actitud del satélite está controlada por medio de una **técnica pasiva**. El marco de la nave espacial contiene cuatro **pequeños magnetos**

permanentes alineados con el eje z. Esto hace que el eje z del satélite, estando en **órbita polar**, apunte siempre hacia la tierra. También se provoca que el satélite rote lentamente alrededor del eje z.

Cada uno de los cuatro elementos en hoja que forman la **antena torniquete**, están pintados de **un lado blanco y del otro negro**. En todo momento, por lo menos una superficie negra y una blanca del lado opuesto; están expuestas a **fotones solares**, creando un impulso rotativo alrededor del eje (z). La transferencia diferencial del impulso lineal de fotones en colisión con las superficies blancas y las negras, causa una rotación neta alrededor del eje. El ritmo de rotación aumenta hasta encontrar el **equilibrio** entre este torque y el torque causado por una serie de **pequeñas varillas de metal** orientadas en forma paralela al eje (-x). La rotación resultante se espera que sea entre **ocho y quince por minuto**. El propósito de la rotación es eliminar las **diferencias de temperatura** transversales en la nave, principalmente en el **plano x-y**.

La antena del receptor está pintada de negro y no aplica torque a la masa del satélite.

BIBLIOGRAFÍA

- AIRES, Roberto. **Telecomunicaciones digitales**, Hasa-1985.
AMSAT ARGENTINA. **Propuesta para el diseño y construcción de un satélite argentino para radioaficionados**.
GONZALEZ SAINZ, Néstor. **Comunicaciones y redes de procesamiento de datos**, Mc Crow Hill, 1985.
HUERTAS, Carlos. **Satélites**, Hasa, 1988.

AUTOR

El Ing. Jorge Luis Favier, nació en Mendoza el 14 de julio de 1960. Cursó sus estudios superiores en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Mendoza donde obtuvo el título de Ingeniero en Electrónica y Electricidad (1978-1984). Posteriormente fue becado por la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales (CNIE), para realizar el curso de posgrado sobre Tecnología Aeroespacial (especialidad satelital), con el aval académico de la Universidad Tecnológica Nacional (1984-1985).

También fue becario del Rotary Internacional, para el "Programa intercambio de grupos de estudio" realizado en México y Estados Unidos de América del Norte (1985-1986).

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a la UNIVERSIDAD DE MENDOZA representada por su Rector, Prof. Ing. Salvador Puliafito y, por su intermedio, a la Facultad de Ingeniería, representada por el Ing. Celeste D'Inca, y a AMSAT ARGENTINA representada por el Coordinador de Área Ing. Gerardo Belinsky, por el apoyo prestado para la realización de este trabajo.