

Estudio de un Sistema de data a bordo de Propósito General y Económico para líneas de investigación de nano satélites en órbita baja de la ABAE

Richard Alexander Mora Ortega
Centro de Investigación y Desarrollo Espacial
ABAE
Borburata, Venezuela
Richardmora99@hotmail.com

Ángel Magallanes
Centro de Investigación y Desarrollo Espacial
ABAE
Borburata, Venezuela
amagallanes@abae.gob.ve

Resumen— Una computadora a bordo (OBC) es el cerebro de cualquier satélite. Esta sofisticada pieza monitorea y controla cada función del satélite. Es generalmente un equipo muy costoso. El problema que se ha planteado en esta investigación es diseñar el bosquejo de un sistema económico, de propósito general y adaptable computadora a bordo, para ser usada en nano satélites de órbita baja (LEO). El diseño del Hardware y software de esta computadora a bordo será basado sobre una arquitectura distribuida. La idea es que el diseño pueda ser usado o adaptado por una variedad de nano satélites en órbita LEO con mínimas modificaciones. Para ello, una arquitectura completa debe ser desarrollada. El diseño está enfocado en un microprocesador o microcontrolador y tipos de componentes electrónicos ampliamente usados. En líneas generales, también se plantean las funciones generales que el software a bordo realizara, y que se apoyan por las usadas en implementaciones anteriores en materia espacial.

Palabras Clave — OBC, monitoreo, control, mantenimiento a bordo, estatus del satélite

I. INTRODUCCIÓN

La computadora a bordo está especialmente diseñada para monitorear y controlar el funcionamiento en tiempo real de un satélite. Toma el control del satélite inmediatamente después de su lanzamiento, y se mantiene al mando hasta el final de la vida útil del satélite. La función principal de la OBC es el control autónomo de todos los subsistemas del satélite. La OBC está constituida por hardware y software y así poder comunicarse con los subsistemas a bordo y la estación terrena, esto depende del tipo de arquitectura si es centralizada o distribuida. Cuando el satélite no está en la vista de la estación terrena, todas las decisiones y acciones operativas críticas son tomadas por la OBC.

La OBC es una computadora de propósito especial, y es diferente en muchos aspectos que los PC y estaciones de trabajo convencionales. Un OBC puede tener un número de interfaces, tanto en serie y en paralelo además de un bus de

comunicaciones para la comunicación con los otros subsistemas del satélite. La interfaz serie puede ser síncrona o asíncrona. El software que se ejecuta en la OBC es en tiempo real y típicamente lleva a cabo funciones de supervisión y control. Algunos satélites también contienen un sistema de manejo de datos de a bordo (OBDH) para el manejo de grandes volúmenes de datos a alta velocidad, este sistema sin embargo no tiene la autoridad de control. En los satélites pequeños, la OBC también realiza otras funciones, tales como el almacenamiento y reenvío de mensajes, la recopilación de telemetría y ejecución de telecomandos, etc. que en satélites más grandes se llevan a cabo principalmente por subsistemas dedicados.

La OBC convierte la información recibida de diferentes subsistemas en forma de corrientes y tensiones en los formatos comprensibles para la estación terrena. Estos datos se empaquetan y se transmiten a la estación terrena. De esta manera, la OBC juega un papel importante en la transmisión desde el satélite a la estación terrena, de la telemetría que proviene del monitoreo de estado. La OBC recibe comandos de control de manera similar, llamados telecomandos, desde la estación terrena. Se decodifica estos comandos ya a bordo y los ejecuta para llevar a cabo las funciones deseadas.

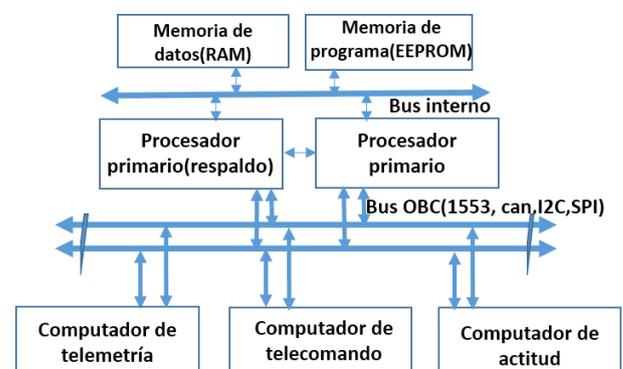


Fig.1. Diagrama de bloque simplificado de una OBC [1]

La OBC también requiere información acerca del monitoreo y control de actitud del satélite, su lado actual de cara al sol y el giro del satélite. Esta información la provee el subsistema de control de Actitud (ACS) y es requerida por la OBC, ya que la necesita para transmitir la energía de la batería cuando el satélite está en eclipse (detrás de la tierra, lejos de la luz solar) y apagarlo cuando el satélite comienza a distribuir la energía directamente de los paneles solares. Diferentes arquitecturas podrían emplearse para el diseño de OBC destinados a diferentes tipos de misiones satelitales. Ellos pueden ir desde las arquitecturas centralizadas a las distribuidas [4]. Cuando se tienen diferentes arquitecturas de diseño de la OBC, se tendría que diseñar diferentes funciones para el satélite. Se desea una arquitectura distribuida de propósito general y flexible, una OBC que se pueda utilizar o ser adaptada en cuanto a software y hardware para, casi cualquier nanosatélite en órbita LEO. [2]

II. FUNCIONES INTEGRADAS EN ESTE DISEÑO PARA LA OBC

Una OBC necesita manejar datos a bordo para ayudar a controlar el satélite. Esta información se recopila en tiempo real de diferentes subsistemas del satélite. Al analizar los datos, la OBC toma decisiones que controlan el satélite a través del software a bordo. Algunas funciones integradas bajo este diseño y llevadas a cabo por una OBC para nano- satélites en órbita LEO son:

A. La transmisión de datos de telemetría

Los Datos de telemetría significan la información relacionada con el estado de cada subsistema específico del satélite. Esta información es enviada desde el satélite a la estación terrena por la OBC y se decodifica para determinar si un subsistema en cuestión está actualmente en ON o en OFF y si está funcionando o no correctamente. Los datos de telemetría incluyen información relacionada con la tensión y la corriente suministrada a cada subsistema y las temperaturas en diferentes puntos del satélite, etc.

En la actualidad, existen diferentes formatos para los paquetes de telemetría. Algunos son específicos a satélites en particular y ellos son escogidos por los diseñadores que trabajan en el proyecto.

1) Monitoreo de Voltaje: El voltaje se controla en los pines de entrada de alimentación de un subsistema. Este voltaje se convierte en un número, por lo general un valor decimal, por un convertidor A/D (ADC). El valor se registra por la OBC y se transmite a la estación terrena. Otra tarea es simplemente sensar (en lugar de medir) los voltajes en los pines de entrada de alimentación de los subsistemas y así determinar el estado ON/OFF de un subsistema. Este resultado se produce como información de un bit, y si el bit es 1 (0) el subsistema está en ON (OFF). Esta información se denomina el estado digital del subsistema. [4]

2) Monitoreo de Corriente: La información con respecto a la corriente consumida por un subsistema particular, se

recoge a partir de los sensores, cuyo trabajo es monitorear la corriente consumida por cada subsistema del satélite. El sensor convierte esta información en un nivel de tensión correspondiente, que es transformada por el convertidor A/D en un valor numérico. La OBC recibe paquetes de este número en un paquete de telemetría para su posterior transmisión a la estación terrena. [2]

3) Control de temperatura: Los sensores de temperatura están ubicados en diferentes puntos con diferentes niveles de temperatura. La mayoría de los sensores de temperatura utilizados actualmente en los satélites convierten estos cambios de tensión en los correspondientes valores de corriente. La OBC contiene convertidores de corriente a tensión para convertir cada uno de dichos niveles de corriente en un nivel de tensión correspondiente. El ADC luego convierte este voltaje en un número decimal equivalente, que luego se coloca en su paquete de telemetría por la OBC.

voltaje1 = A* valor decimal
corriente1 = B* valor decimal
corriente2 = C* valor decimal
Temperatura = D* valor decimal
[5]

B. Decodificación y ejecución de telecomandos

Los telecomandos desde la estación terrena se utilizan para dar instrucciones a los diferentes subsistemas del satélite, a través de la OBC, y así realizar diferentes tareas. Los comandos por ejemplo [8], pueden ser destinados, para el subsistema de potencia para encender o apagar cualquier otro subsistema, o estos telecomandos se pueden enviar a una cámara con el fin de tomar una foto instantánea de la tierra y almacenar la imagen en la memoria RAM de la OBC. Del mismo modo, el Sistema de Control de Actitud (ACS) podrá realizar órdenes para ajustar la posición del satélite. ACS también puede ser usado para enviar datos de actitud relacionados, tales como lecturas de los sensores de sol, a la estación terrena. Algunos telecomandos están destinados expresamente para la OBC, por ejemplo, para que se detenga el envío de telemetría o para descargar la fotografía almacenada en la RAM OBC.

Los comandos pueden ser también etiquetados en tiempo con antelación, especialmente para la cámara, de manera que la cámara podría tomar una foto instantánea mientras que el satélite no está en línea de vista a la estación terrena. En este caso, la OBC retiene el comando en su memoria después de decodificarlo y, cuando se alcanza el tiempo estipulado, la solicitud se entregará al subsistema de la cámara para tomar la fotografía.

C. Control de actitud y órbita

La OBC en algunos satélites, monitorea y ajusta la orientación del satélite con la ayuda de un subsistema especial, llamado Subsistema de Control de actitud (ACS). ACS contiene sensores, que adquieren los datos relativos a la actitud y órbita del satélite en un momento determinado de tiempo. En algunos satélites, tarjetas especiales basadas en DSP [9] se emplean en la ACS, las cuales procesan estos datos, y a través

del uso de algoritmos especializados, se determina la actitud y órbita del satélite y si se requieren algunos ajustes en la actitud o la órbita, la ACS puede ordenar a los actuadores para ajustar la órbita y/o la actitud del satélite. Al mismo tiempo, la información recibida de los sensores también se envía a la estación terrena, donde cálculos similares, como los que se está realizando en el ACS, se llevan a cabo. En caso de fallo en una parte de la ACS, la estación terrena envía un comando como medida correctiva al satélite. En algunos casos, la OBC cuenta con la capacidad para obtener los datos de órbita y actitud directamente de los sensores y tomar decisiones para ajustar la órbita y actitud. Se requiere esta capacidad debido a que en los satélites LEO la OBC debe tener la autoridad para sí misma ajustar su órbita y actitud cuando no está en la vista de la estación terrestre.

D. Otras funciones y referencia de tiempo

Señal de referencia de tiempo y de generación del tiempo del satélite, la información de tiempo a bordo, la distribución de frecuencia de la señal a otros subsistemas y el calendario de eventos para otros subsistemas.

Procesamiento y formato de datos exclusivos, apoyo al intercambio de información y de intercambio de información entre otros subsistemas, esta función varía de simplicidad a la complejidad de acuerdo a las distintas misiones de vuelo del satélite.

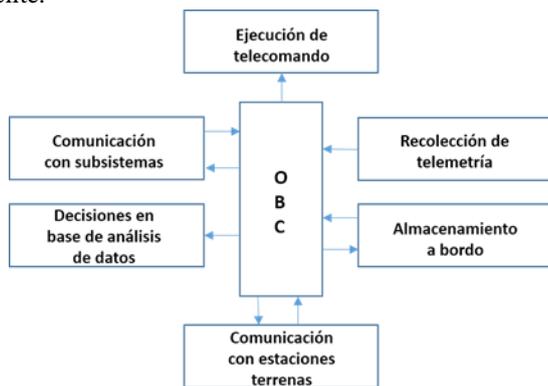


Fig.2. Funciones integradas en este diseño para la OBC [4]

III. UNA OBC DE PROPÓSITO GENERAL

El número de subsistemas de un satélite a otro varía de acuerdo a la aplicación o la misión, ya que son muy amplias, por ejemplo, experimental, de comunicaciones, de observación de la tierra, clima, búsqueda y rescate de satélites. El diseño de una OBC de uso general para cualquier categoría es una tarea compleja. La OBC está en constante comunicación con los diferentes subsistemas que lo conforman. El problema que estamos abordando es como configurar y diseñar una OBC basada en un micro controlador o microprocesador, que sea de uso general para la categoría de nano-satélites en órbita LEO. Cuando se permite que el número de subsistemas periféricos para el nano-satélite en órbita LEO vaya aumentando en su categoría, entonces el diseño de la OBC debe poseer una comunicación de cada uno de sus equipos, a través de un bus de comunicaciones bastante rápido y fácil de adaptar. Otra

característica requerida en este caso sería la asignación de rutinas de software adicional, y que se tenga la capacidad de almacenamiento de este código y también como procesar la información de telemetría extra. Las rutinas de software se pueden modificar fácilmente, si es necesario, para proporcionar capacidades de telemetría y telecomando adicionales. La OBC también tendría la capacidad para dar cabida a las rutinas de software para llevar a cabo tareas especiales que se requieren, para la misión específica la cual la OBC se está adaptando. Dado que todos los componentes utilizados en el diseño de este OBC son de tecnología CMOS, el nivel lógico 0 se puede fijar en cualquier lugar entre -12 V y 0V y nivel lógico 1 se puede ajustar entre + 2V y 12V. Esto proporciona flexibilidad en la interfaz con los otros subsistemas. Por tanto, los niveles de tensión y el número de interfaces serie y paralelo, y conexiones con el bus de la OBC pueden establecerse teniendo en cuenta las necesidades y requerimientos del satélite en la que se integrará la OBC [10].

IV. DISEÑO DE UNA OBC DE PROPÓSITO GENERAL

La figura 3 [11] muestra una configuración básica de la OBC. Hay cinco equipos implicados en este diseño. Los tres primeros son los equipos de telemetría, telecomando y control de la actitud. Son equipos basados en micro-controlador o microprocesador sencillo, que no tienen que realizar cálculos complejos. Recogen los datos de los subsistemas asociados, y lo transmiten a un computador central. Ellos igualmente transmiten órdenes desde el computador central a los subsistemas. El computador central es donde se realizan los cálculos principales, tales como la decodificación de la telecomandos, control de bus, y la comunicación con la estación terrena. Dos computadores centrales se utilizan con el fin de permitir la redundancia. El equipo de telemetría recopila información de telemetría de otros subsistemas, tales como el de potencia, ACS, y subsistema de comunicación, etc. prepara un paquete con señales de estado digitales y analógicas y las envía a la OBC a través del bus escogido, bien sea I2C, 1553, bus can, SPI. El computador ejecuta los telecomandos en secuencia desde la computadora central donde fueron primeramente decodificados y posteriormente despaquetados. El equipo de telecomando simplemente cambia el nivel lógico en uno de los pines de la interfaz periférica programable (PPI) que se posee y lo envía a través del bus. El diseño debe ofrecer una capacidad suficiente de telecomandos, de los cuales una parte son los comandos bi niveles y los restantes son los comandos de pulso. El equipo de telecomando a través de la PPI en realidad sólo genera comandos de dos niveles, que pueden ser convertidos cuando sea necesario a comandos por pulso con la ayuda de un vibrador multi-estable. El computador para el control de actitud recopila los datos de órbita y actitud de los sensores, realiza conversiones A/D, y envía los datos al computador central para su análisis y/o su posterior transmisión a la estación terrena. Del mismo modo, recibe comandos en forma digital desde el ordenador central, los interpreta, y luego los modifica a formato analógico para enviar a uno de los actuadores, y así ajustar la órbita o la actitud del satélite.

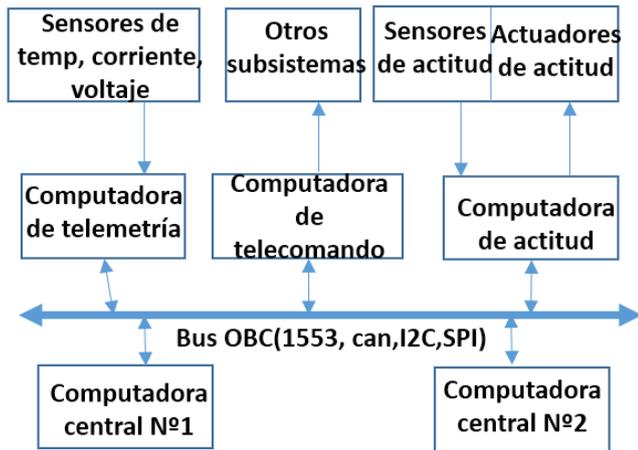


Fig.3. Configuración básica de una OBC [4]

A. Diseño del computador de telemetría

En este diseño, la telemetría es colectada en el computador de telemetría a través de los diversos subsistemas (mencionados anteriormente) y los sensores de temperatura situados en diferentes puntos en el satélite. El diagrama de bloques de la parte analógica del equipo de telemetría se muestra en la Figura 4. El computador a utilizar debe poseer capacidades de almacenamiento y de procesamiento menor a las del computador central, que puede procesar hasta cierto número de canales analógicos. Hay dos multiplexores analógicos utilizados en el diseño (que se muestra como MUX 1), en donde cada uno puede reunir entradas de canales analógicos. Estas entradas provienen de los diferentes sensores colocados en otros subsistemas. Estos incluyen voltaje, corriente, y sensores de temperatura. Esta configuración se puede mejorar fácilmente para acomodar más canales analógicos, en cuyo caso habría que colocar más multiplexores. El Estado Digital [12], que es la detección de tensiones en diferentes pines de distintas conexiones, es leído por la interface periférica paralela (PPI) que son los sensores de cada subsistema y esta información se envía por el bus. Se lee las diferentes entradas del multiplexor por el micro controlador en forma secuencial. Las salidas de los dos multiplexores se introducen en un multiplexor analógico (mostrado como MUX 2), cuya salida alimenta a un ADC. El ADC convierte la entrada analógica en forma digital para ser leída por el micro controlador. El micro controlador almacena estos valores temporalmente en su memoria RAM interna y, cuando se han leído todas las señales analógicas y las líneas de estado digital, se forma un paquete de telemetría y se almacena en la memoria RAM externa. Cuando el micro controlador central entra en línea de vista con la estación terrena, el equipo de telemetría entonces debe transmitir la telemetría almacenada, en forma de paquetes a través del bus OBC.

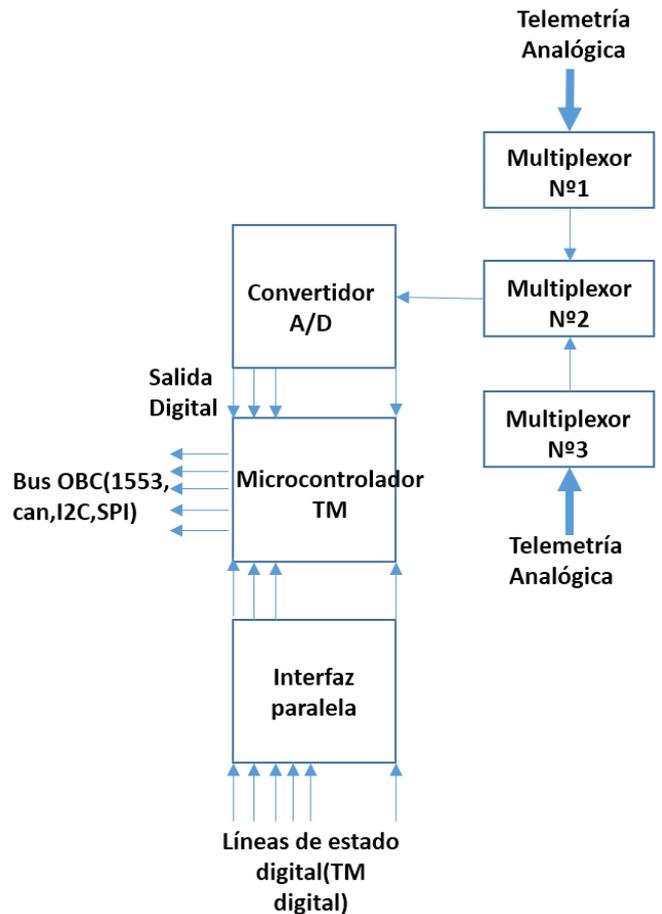


Fig.4. Diagrama de bloque de la computadora de telemetría [8]

B. Diseño del computador de telecomando

El computador de telecomando de la figura 5, tiene un diseño más simple que el computador de telemetría. El diseño incluye un micro controlador o microprocesador, dos interfaces paralelas, y un multi-vibrador monoestable. Este diseño se puede adaptar al esquema general de los telecomandos en la mayoría de los nanosatélites, de estos la mayoría son comandos de dos niveles y los restantes son comandos por pulso. Para los telecomandos, se requieren las interfaces paralelas para generar los dos tipos de niveles de 0 V o de 5V, a fin de ser considerado como comandos de dos niveles. El nivel de 5V se utiliza generalmente para encender algún relé interruptor o de estado sólido [13], mientras que el nivel de 0 V significa establecerlos en OFF. Las interfaces paralelas están conectadas al bus de datos de comunicaciones. El micro controlador genera comandos de dos niveles que se ejecutan a través de la PPI. La interface se selecciona una a la vez por el micro controlador como sea necesario. La salida de la interfaz paralela es un valor lógico entre 1 y 0. Estos se utilizan para activar/desactivar cualquier subsistema a través del subsistema de control de potencia, por lo tanto, a menudo se encuentra cerca de la OBC. Si el nivel lógico de un pin de la PPI dado es

1, el subsistema asociado se quedaría en ese valor lógico hasta cuando el nivel lógico vuelva a 0.

Los comandos generados por pulsos se crean utilizando el multi-vibrador monoestable. Cuando el estado de los pines de la PPI conectados a la entrada del multi-vibrador cambia el estado lógico de 0 a 1, el multi-vibrador genera un pulso [12]. El pulso se genera a partir de un cambio en el nivel lógico en la salida del pin en específico de 0 a 1 pero luego regresa a su valor inicial de 0. La duración de este pulso se puede ajustar mediante el uso de resistencias y condensadores externos. El telecomando que se recibió, primeramente fue despaquetado y decodificado por el microcontrolador central. El equipo central genera un telecomando de dos bytes para el microcontrolador de telecomandos. El primer byte contiene datos relativos al nombre o identificación del subsistema el cual se requiere encender o apagar, mientras que el segundo byte contiene el comando actual. Ambos bytes de forma simultánea le indican al equipo de Telecomando sobre que pin de alguna de las dos interfaces paralelas debe retornar con valor digital 0 o 1.

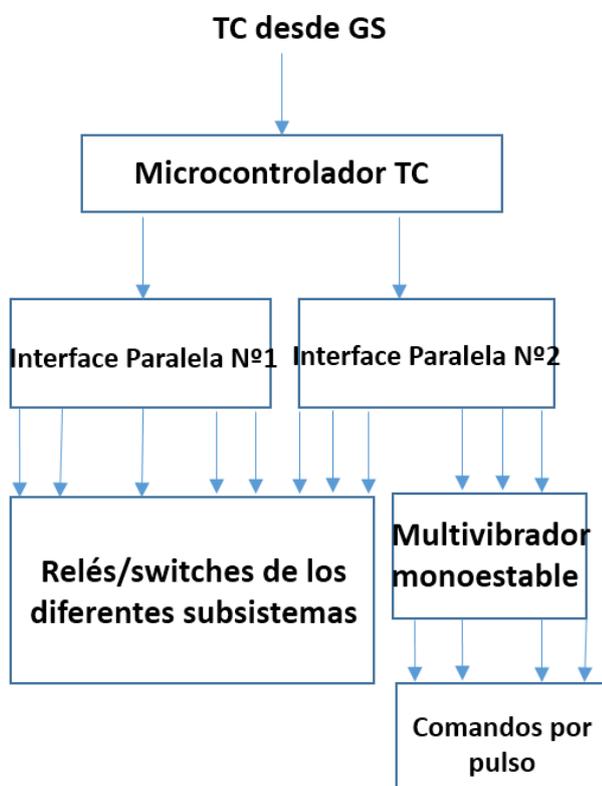


Fig.5. Computadora de telecomando [10]

C. Computadora de control de actitud

Como se describió anteriormente, la función principal de la computadora de actitud es coleccionar los datos de actitud de los sensores y transmitirla a la computadora central. El ordenador central realiza los cálculos necesarios en estos datos y manda de vuelta los datos correspondientes a la computadora de actitud, para así aplicar las funciones de control a los actuadores. Durante el paso de los satélites por la línea de vista,

esta información puede ser subida a las estaciones terrenas para almacenar la historia de la órbita y la actitud del satélite.

D. El diseño del computador central

El computador central se construye en base a un micro controlador de alta capacidad de procesamiento. La computadora tiene una memoria RAM, implementada con un chip de capacidad no mayor a 512kb [12], y una memoria ROM no mayor a 256kb. La memoria EEPROM se utiliza para mantener la posibilidad de re-programación y borrado de la memoria a bordo. El microprocesador contiene muchas unidades, que se utilizan de diversas maneras como los periféricos, los puertos serie, las unidades selectas, las interrupciones de la unidad de control, etc. Esto disminuye el número de componentes a bordo y simplifica su diseño.

El computador de telemetría envía dos tipos de paquetes de telemetría a la computadora central a través del bus de datos. El primer tipo son los datos de telemetría en tiempo real, que consta de paquetes que se obtienen durante el paso del satélite sobre la estación terrena. Estos se transmiten regularmente en intervalos predefinidos de, por ejemplo, cada un minuto [11] o activados a través de un telecomando. El computador central traduce los paquetes. Estos pasan a su transmisión a la estación terrena. El segundo tipo son los paquetes de telemetría que se almacenan con datos de la órbita y actitud y que la estación terrena necesita para conocer el comportamiento del satélite cuando no está en la vista de la estación terrena. Estos paquetes contienen una marca especial en su cabecera y se envían a la computadora central cada cinco minutos. Se almacenan en la memoria RAM del ordenador central y se transmiten a la estación terrena cuando se solicita a través de un telecomando que se recibe y se verifica.

Rango de datos	1 MHz
Tamaño de la palabra	20 bits
Bits de datos/Palabra	16 bits
Longitud del mensaje	Máximo de 32 palabras de datos
Técnica de transmisión	Half dúplex
Operación	Asíncrono
Codificación	Manchester II bi-phase
Protocolo	Comando/respuesta
Control de bus	Único o múltiple
Tolerancia de falla	Típicamente doble redundancia, segundo bus en redundancia caliente
Formato de mensaje	Controlador a terminal Terminal a controlador Terminal a terminal Difusión Control de sistema
Numero de terminales remotos	Máximo de 31
Tipos de terminales	Terminal remoto Controlador de bus Monitor de bus
Medio de transmisión	Par trenzado y apantallado
Acople	Transformado y directo

Tabla1. Especificaciones generales de un protocolo de comunicaciones

El micro controlador central es el responsable del control del bus de datos que se realiza de acuerdo al estándar a seguir. Las especificaciones generales de un protocolo de

comunicaciones, en este caso como ejemplo el mil-std1553 están resumidas en la Tabla 1.

Los protocolos de comunicaciones de datos definen por lo general cuatro elementos de hardware: los medios de transmisión, los terminales remotos, los controladores de bus y los monitores de los buses. Hay sólo tres modos funcionales permitidos en el bus: el modo de controlador de bus, el modo de monitor de bus, y el modo de terminal remoto. El computador central, el computador de telemetría, el computador de telecomando, y la computadora de actitud son capaces de trabajar en más de un modo. El computador central actúa como el controlador de bus, y los equipos de telemetría, tele comando y actitud actúan como terminales remotos. La Figura 6 ilustra una configuración típica bus.

Controlador de bus: El controlador de bus es el terminal que inicia la transferencia de información en el bus de datos. Es el que envía comandos a los terminales remotos. El terminal remoto actúa de manera variada en respuesta al comando. El bus puede soportar múltiples controladores, pero sólo puede ser activado uno a la vez. Otras características generales del controlador del bus son: (a) que es "la parte fundamental del sistema de bus de datos "y (b)" el control exclusivo de transmisión de información en el bus deberá ser administrado por el controlador de bus".

Monitor de Bus: Los monitores de bus se utilizan con frecuencia para instrumentación. Se puede definir el monitor de bus como "el terminal asignado para la tarea de recibir el tráfico del bus y extraer información seleccionada para ser utilizada en un momento posterior".

Terminal remoto: Es cualquier terminal que no opera bien sea como controlador de bus o monitor de bus, entonces opera en el modo de terminal remoto (RT). Terminales remotos son el mayor grupo de componentes de bus.

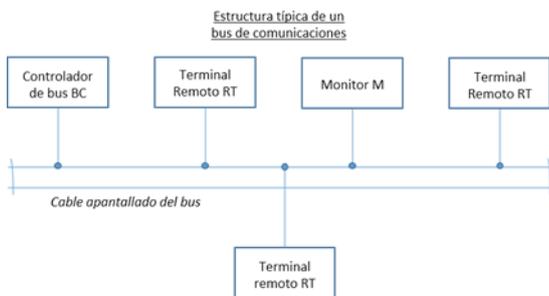


Fig.6. Estructura típica de un bus de comunicaciones [9]

La unidad de medida general en la comunicación de bus es el Word. Por ejemplo, Un Word en estándar MIL-STD-1553 es una secuencia de 20 bits, con 3 bits para los datos de sincronización, los 16 bits de datos, y 1 bit de control de paridad. Los terminales 1.553 añaden la sincronización y los bits de paridad antes de la transmisión y lo eliminan en la recepción. Hay tres tipos de Word: Word de comando, Word de datos, y Word de estado. La Figura 7 muestra un formato

de Word para el bus de datos, en este caso, como ejemplo el del estándar MIL-STD-1553.

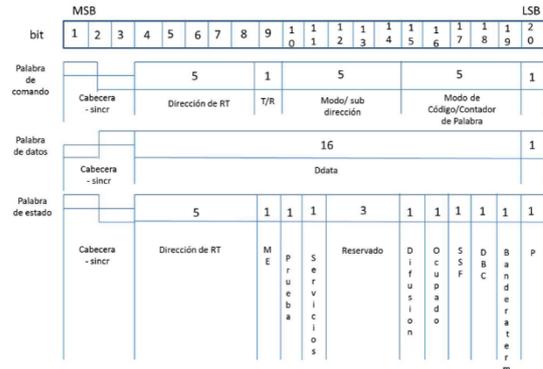


Fig.7. Formato de palabra en estándar mil-std-1553 [15]

El propósito principal del bus de datos es proporcionar un medio común para el intercambio de mensajes de datos entre los subsistemas. Un formato general de mensaje se muestra en la Figura 8. La transmisión de mensajes se puede hacer en diez formatos diferentes, todos se basan en los tres formatos de Word que acabamos de mencionar. Los formatos de transferencia de información se basan en la filosofía comando/respuesta, en la que todas las transmisiones recibidas sin errores por un terminal remoto son seguidas por la transmisión de un Word de estado desde el terminal al controlador de bus. Este establecimiento de comunicación valida la recepción del mensaje por el terminal remoto.

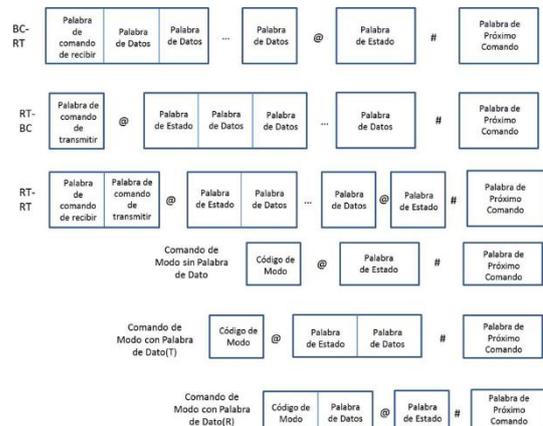


Fig.8. Formato de mensaje de datos [6] [7]

El computador central, el cual actúa como el controlador de bus, difunde un Word de comando, que recibirán en difusión los tres computadores basados en micro controlador. El equipo particular al cual se envía el comando entenderá el mensaje, y luego tomara control del bus para enviar un acuse de recibo. Este computador transmite el mismo número de bytes de datos necesarios como se menciona en el Word de comando enviado por el computador central. Cuando este computador libera el bus, el computador central toma el control.

El computador central también transmite un mensaje para mantener activo el bus cada cinco minutos, que es recibido por

la otra computadora central [10]. En caso de que el computador central # 1 falla, y el otro no recibe tales paquetes dentro de los próximos cinco minutos, el computador central # 2 tomaría automáticamente el control del bus y empezaría a enviar mensajes de mantenimiento de su conexión propia. Si el computador central # 2 había fallado antes del fracaso de la computadora central # 1, entonces el computador central # 1 recibiría nuevamente mensaje de mantenimiento de conexión a la computadora central # 1, después de paralizar los mensajes para mantener activa la computadora central # 2. El computador central # 2, después de esperar 10 minutos [11], comenzara a hacerse cargo del bus. Durante este tiempo sin actividad, no obstante se seguirán realizado las funciones en la OBC.

V. EJECUCIÓN DE TELECOMANDO

La configuración del hardware requerido para la ejecución de telecomando es muy variada. Muchas opciones están disponibles para los diseñadores para realizar los paquetes de los telecomando; bien sea seguir la norma del CCSDS, ax.25, etc. o diseñar su propio estándar. Después de usar el estándar a elegir, el sistema debe cumplir o garantizar que este depurado los errores de transmisión. Existen unas pautas generales para el diseño eficiente de las tramas. Como ejemplo, una estructura del paquete de telecomando a través de la norma CCSDS se muestra en la figura 9.

Cabecera del Paquete(48 bits)						Campo de datos del paquete(variable)			
ID del paquete				Secuencia de control del paquete		Longitud del paquete	Campo de datos de la cabecera (opcional)	Datos de la aplicación	Control de error en el paquete(opcional)
Nº de versión	Tipo	Bandera del campo de datos de la cabecera	ID del proceso de aplicación	Bandera de secuencia	Contador de secuencia				
3	1	1	11	2	14	16	variable	variable	16
16									

Formato de la cabecera del campo de datos

Paquete de TC versión PUS	Tipo de checksum	Ack	Tipo de servicio	Sub tipo de servicio
3	1	4	8	8

Fig.9. Estructura del paquete de telecomando [15] [16]

Las recomendaciones y términos del estándar CCSDS para el diseño del paquete de telecomando se muestran en la Tabla 2. La columna de los valores marcados como TBD deben ser escogidos por el ingeniero diseñador, los cuales varía de una misión a otra.

1	Frecuencia de la subportadora, modulación y forma de onda	8 o 16 KHz, PSK, onda sinusoidal
2	Elegible forma de onda de los datos de TC	NRZ-L, M
3	Rango de las tasas de bit de los TC	4000/2N, N=0,1, ...,9
4	Tasa media de modulación; rango de las tasas de bit de los TC	PCM/PM/Bi-i 4000*2N; n=1,2, ...,6
5	Longitud máxima del paquete de telecomando	65542 bytes/octetos
6	Longitud máxima de transferencia de la trama de TC	1024 bytes/octetos
7	Cabecera del campo de datos	TBD
8	APIDs	TBD
9	Datos de aplicación(Nº de bytes, tipo)	TBD
10	Control de errores en los paquetes	TBD
11	Segmentación de paquetes	TBD
12	MAPS	MAP0 and MAP1
13	ID del satélite	123 (TBD)
14	Tipos de servicios y sub servicios	TBD

Tabla2. Estructura del paquete CCSDS [6] [7]

Si los diseñadores desean implementar su propio sistema de telecomando, las siguientes pautas como también los pasos de ejecución de la estructura del paquete serian importante considerar. La OBC por defecto está en modo de colección de telemetría. Para cambiarlo al modo de telecomando, se envía desde la estación terrena una interrupción que consiste en dos caracteres, por ejemplo (BY). Después de cambiar al modo de telecomando, la OBC enviaría un carácter a la estación terrena como reconocimiento de la interrupción. Si los caracteres de interrupción llegan al satélite en forma errónea, no se tomaran medidas. Si un acuse de recibo no llega a la estación terrena durante 30 segundos, la estación terrena enviaría nuevamente la interrupción y espera durante otros 30 segundos más. Si los caracteres de interrupción son aceptados por la OBC y el reconocimiento se recibe con éxito en la estación terrena, la estación terrena está obligada a enviar una contraseña para el telecomando. La OBC (después de haber enviado el acuse de interrupción) espera por la recepción de la contraseña por un minuto. [13] [15] [16] Si la contraseña no se recibe dentro de un minuto, la OBC volvería al modo de telemetría. La OBC puede aceptar o rechazar la contraseña. Si se acepta la contraseña, la OBC envía un código, que significa que la OBC está lista para recibir el próximo telecomando. Si se rechaza la contraseña, la OBC envía dos caracteres para decirle a la estación terrena que se rechaza la contraseña y debe ser enviada de nuevo. La OBC espera durante 2 minutos para un segundo intento de la contraseña. Si la contraseña se recibe dentro de este tiempo y es aceptable, la OBC está lista para recibir el próximo telecomando. Si la contraseña no se recibe la segunda vez en 2 minutos o se rechaza de nuevo, la OBC envía dos caracteres para decirle que está de nuevo en el modo de telemetría. El fin de recibir con éxito el paquete de telecomando, es también saber si la OBC ejecutara el comando inmediatamente o es un telecomando con tiempo de marca. La configuración de los paquetes de telecomando se muestra en la figura 10.

Fecha	Hora(UTC)	Palabra de comando	Hora comando por tiempo	CRC	Bandera de fin del paquete
6 bytes	6 bytes	1 byte	1 byte	2 bytes	1 byte

Fig.10. Configuración del paquete de telecomando [15] [16]

VI. DISEÑO DEL SOFTWARE DE SISTEMA

A. Software a bordo

El software a bordo de la OBC es un sistema operativo completo, y realiza las siguientes funciones:

- La inicialización de los microprocesadores, microcontroladores y sus periféricos.
- Recolección de telemetría la cual se realiza a través del equipo de telemetría, Paquetizar la información de telemetría, Almacenamiento de los paquetes de telemetría en la memoria RAM de la OBC y bajarla a la estación terrena. Colocar los modos, que en este caso el modo de telemetría es el modo por defecto; la OBC debe ser interrumpida durante el cambio al modo de telemando.
- Analizar los datos de telemetría recibidas de diferentes subsistemas a través del computador de telemetría y luego realizar la toma de decisiones con respecto a la conmutación ON/OFF de cualquier subsistema.
- Recibir, decodificar y ejecutar los telecomandos y cambiar a modo seguro si es necesario.
- Gestionar las actividades del sistema, proporcionando el protocolo de información entre la estación terrena y el satélite, y la gestión automática, incluyendo administración térmica y de batería.

VII. CONCLUSIÓN

El diseño de la OBC presentado en este trabajo es simple, de uso general, fácil de implementar y económico. La OBC ha sido diseñada de tal manera que se pueda utilizar en cualquier LEO nano-satélite con cambios mínimos. Los tipos o tecnología de componentes electrónicos propuestos en el diseño deberían ser de bajo costo, y que son utilizados generalmente y disponible en el mercado. No hay clases de componentes especiales, tales como FPGAs o PLA, etc. Existe documentación técnica muy amplia en cuanto a los microprocesadores, microcontroladores y los otros componentes periféricos, los cuales explican su uso, su interconexión, y la programación. También están disponibles en el mercado sistemas de desarrollo para programar e interactuar con microprocesadores y microcontroladores. Las

interfaces de la OBC son flexibles a través del bus serial y eso ayuda a que sean expandibles. Por lo tanto, se pueden personalizar las interfaces, para trabajar con una variedad de subsistemas. Lo abordado en el diseño de la memoria, bus, puertos serie y paralelo para funciones específicas, y la telemetría analógica y digital son completamente adecuados para un nano-satélite. Sin embargo, algunas modificaciones se pueden establecer para ingresar otros subsistemas. El desarrollo de OBC para nano satélites, bajo características como las presentadas debería ser una excelente opción a utilizar en pequeños proyectos espaciales actuales y futuros.

REFERENCIAS

- www.sstl.co.uk/datasheets/subsys_obc386.pdf
- Mazlan Othman and Ahmad Sabirin Arshad, "TiungSAT-1: From Inception to Inauguration," *Astronautic Technology (M) Sdn. Ghd.*, 2001.
- "obdh ttc y eps subsystem" China Academy of Space Technology, 2008.
- Mohammed, Ferdjallah. *Introduction to digital systems*. Wiley publication, 2011.
- "Platform Command and data handling system operation manual", EgyptSat1 Project, 2007.
- CCSDS 200.0-G-6, Consultative Committee for Space Data Systems, *Telecommand summary of concept and rationale*, 2011.
- CCSDS 101.0-B-3 Consultative Committee for Space Data Systems, *Telemetry summary of concept and rationale*, 2011.
- T.Takahara, Y.Kurahashi, T.Mizuno, H.Saito, N.Tomita, "Embedded computer system with soft core CPU for space application", 2003.
- D. Ibrahim, *Microcontroller Based Applied Digital Control*. England: John Wiley & Sons, Ltd, 2006.
- D. Ibrahim, *Advanced PIC Microcontroller*. Projects in C. USA: Newnes, 2008.
- "PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet." Microchip Technology Inc., 2004.
- J. J. Travieso and Y. M. Ortega, "Programación de un Planificador Semafórico. Trabajo de Diploma para optar por el título de Ingeniero en Automática". Cuba: 2010
- "Packet Telemetry Standard (ESA PSS-04-106 Issue 1)," The Standards Approval Board (STAB) for Space Data Communications, 1988.
- "Intel 80386 EX Embedded Microprocessor User's Manual," Intel Corporation, 1996.
- "Packet Telecommand Standard (ESA PSS-04-107 Issue 2)," The Standards Approval Board (STAB) for Space Data Communications, 1992.
- "Packet Utilization Standard", (ESA PSS-07-101) Issue 1, May 1994, European Space Agency.