Instituto Nacional de Astrofísica, Optica y Electrónica.

LABORATORIO DE COMUNICACIONES
EN RADIOFRECUENCIAS Y FIBRA OPTICA

REPORTE TECNICO

RT620

Tarjeta de Carga Util del Nanosatélite
ULISES 1

Autores:
Jacobo Meza Pérez
Celso Gutiérrez Martínez
J. Alfredo Torres Fórtiz
Adolfo Morales Díaz

Diciembre de 2015

©INAOE 2015
Derechos Reservados
El autor otorga al INAOE el permiso de reproducir y distribuir copias de este reporte técnico en su totalidad o en partes mencionando la fuente.

Instituto Nacional de Astrofísica, Optica y Electrónica

Laboratorio de Comunicaciones en Radiofrecuencias y Fibra Optica

Reporte:

Tarjeta de Carga Util del nanosatélite ULISES I

Participan:

Jacobo Meza Pérez
Celso Gutiérrez Mtz.
Alfredo Torres Fórtiz
Adolfo Morales Díaz

Fecha:

Noviembre de 2015

Palabras clave:

ARDUINO, audio, SmartWAV, tramas sonoras, giroscopio, TubeSAT.

Descripción:

Se describe el funcionamiento de la tarjeta de carga útil tanto en la parte física como en la parte lógica. También se describe la forma en como interactúa con la computadora principal y la forma en como se realiza la división de carga de trabajo entre la computadora primaria y la computadora secundaria en la carga útil.

Detalles adicionales:

El presente reporte forma parte del conjunto de reportes que describen la parte técnica del nanosatélite ULISES 1.

Contenido

1 Introducción....4
2 Tarjeta de Carga Util....5
2.1Especificaciones eléctricas....6
2.2Subsistemas de la carga útil....6
2.2.1 Tarjeta de reproducción de audio “SmartWAV”....7
2.2.2 Arduino Mini....8
2.2.3 Medidor de temperatura....9
2.2.4 Medidor de Aceleración....10
2.2.5 Selector de Canal (MUX)....12
3 Operatividad....14
3.1Ordenes de la computadora secundaria....15
3.2Interacción con otras etapas....15
3.3 Descripción Física....16
4 Procesamiento de datos....17
4.1Termómetro....17
4.2Acelerómetro....17
4.3Datos generados....18
4.3.1 Subsistema de tarjeta reproductora de audio....18
4.3.2 Subsistema de medidor de temperaturas....18
4.3.3 Subsistema de medidor de aceleración y giroscopio....19
5 Conclusiones....20

Índice de ilustraciones

Figura 1: Diagrama a bloques de la Tarjeta de Carga Util.....5
Figura 2: Tarjeta de reproducción de audio: SmartWAV.....7
Figura 3: Esquema de distribución y fotografía de Arduino Mini V5.....9
Figura 4: Medidor de temperatura: Diagrama a bloques y empaquetado.....10
Figura 5: Diagrama a bloques del giroscopio y acelerómetro MPU-6050.....11
Figura 6: Esquema de operación del selector CMOS 4053.....13
Figura 7: Diagrama de flujo de la función de la computadora secundaria.....14
Figura 8: Esquema a bloques de ULISES I.....15
Figura 9: Diagrama de conexiones de la tarjeta de carga útil con otras tarjetas de ULISES I.....16

1 Introducción

ULISES I es un satélite cuya misión principal es realizar transmisiones analógicas de segmentos sonoros originales que han sido compuestos por un grupo de artistas del Colectivo Espacial Mexicano (CEM). El grupo de artistas considera a ULISES I el medio de difusión cultural que permite expresar estas manifestaciones artísticas en un entorno nunca antes explorado por artistas mexicanos; el espacio exterior.

Para llevar a cabo dicha tarea artística, se ha propuesto que las tramas sonoras sean grabadas a una memoria digital y posteriormente sean reproducidas por un sistema de reproducción electrónico que genera una salida analógica audio-sonora. La salida es alimentada a un transmisor de radio frecuencia (RF) en la banda de 433 MHz, que es una banda de telecomunicaciones reservada para uso de radio aficionados para el segmento espacial.

Pero no es suficiente con solo emitir estas tramas audio, también será necesario conocer el estado de salud del satélite, así como otros datos que son necesarios para estimar algunos de los efectos del espacio exterior que afectaran cotidianamente a ULISES I. Uno de los efectos que es de interés darle seguimiento es el relacionado con el movimiento inercial que llevaría el satélite después de ser liberado para orbitar la tierra, el cual se verá afectado por la interacción con la atmósfera, que muy tenue pero aún presente, como el principal factor de arrastre o frenado que hará caer paulatinamente al satélite hacia la Tierra. También será necesario conocer los niveles de temperatura a los que se verán sometidos los componentes que conforman al satélite; expuestos a las condiciones del espacio exterior.

Para poder realizar mediciones de estos efectos ha sido necesario incorporar un conjunto de medidores electrónicos; medidores de temperatura, medidor de aceleración y un giroscopio electrónico. Estos medidores se han incorporado en la tarjeta de carga útil, estos de manera adicional al reproductor de audio que en conjunto forman parte de la denominada Carga Util. Los elementos se han elegido para compartir el mismo lenguaje de comunicación, que a la vez requieren de una atención especifica que es realizada por una computadora secundaria basada en ARDUINO MINI. La computadora secundaria realiza los cálculos necesarios para interpretar los datos adquiridos de los medidores y una vez procesados son enviados a la computadora primaria, también la computadora secundaria ejecuta el control de los elementos que se realiza para los componentes de la Carga Util.

2 Tarjeta de Carga Util

La Carga Util de un satélite se refiere a aquellos sistemas que realizan la tarea para la cual se ha fabricado el satélite, es decir, si el satélite tomará fotografías, la Carga Util es el conjunto de sistemas que operan a la cámara fotográfica y a la cámara en sí. Para el caso de ULISES 1, que es un satélite que realizará emisiones de tramas de audio, la carga útil se relaciona con los sistemas que realizarán las funciones de almacenamiento y reproducción.

En ULISES 1 la tarjeta de Carga Util es un solo circuito impreso de doble cara que contiene los sistemas y subsistemas electrónicos que permiten llevar a cabo el objetivo de la misión. El diagrama a bloques de la figura 1 muestra los subsistemas electrónicos contenidos en la carga útil.

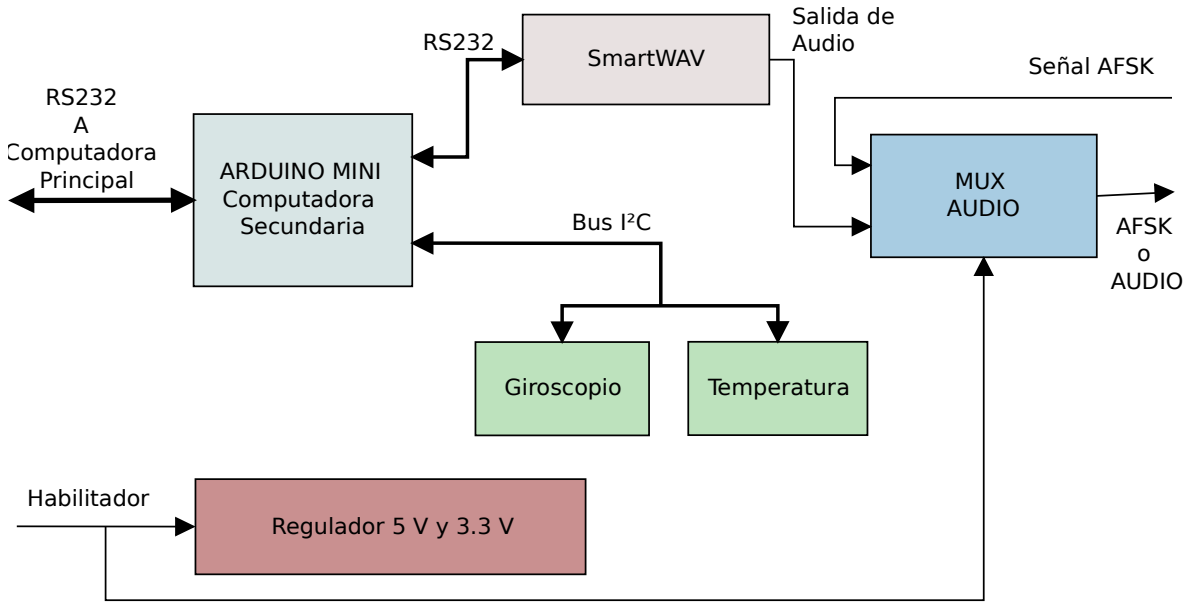

Figura 1: Diagrama a bloques de la Tarjeta de Carga Util.

La descripción general del diagrama a bloques es como sigue: la comunicación con la computadora primaria es a través de la computadora secundaria, la cual se encarga de inicializar las otras etapas de la tarjeta mediante diferentes protocolos de comunicación. Bajo control de la computadora secundaria se encuentran los siguientes subsistemas: tarjeta de reproducción “SmartWAV”, medidores de temperatura y medidores de aceleración y giróscopo.

Los reguladores de la tarjeta de carga útil cuentan con una función de habilitación mediante una patilla que es controlada por un puerto digital de la computadora primaria. Cuando se habilitan los reguladores se energiza a la computadora y elementos asociados. Caso aparte es el MUX de audio, el cual siempre esta energizado. La misma función de habilitación opera como selector de entrada para el MUX, cuando la habilitación tiene valor

“cero” o “deshabilitar” se selecciona la señal AFSK que es generada desde la tarjeta de control. Cuando la habilitación tiene valor “uno” o “habilitar” la señal que se selecciona es la generada por la tarjeta de reproducción de audio. La salida del MUX, sea la señal de audio o la señal AFSK, es alimentada directamente a la entrada de audio del transceptor RADIOMETRIX en la tarjeta de RF.

2.1 Especificaciones eléctricas

Los valores de voltaje de alimentación para los subsistemas son 5.0 volts de corriente directa (Vdc) y 3.3 Vdc. Los reguladores son alimentados desde la etapa de potencia con 5.7 Vdc. El consumo de corriente típico de los componentes o subsistemas se ilustra en la tabla 1. La tabla 2 muestra los parámetros convencionales de operación para la tarjeta de carga útil.

Tabla 1: Consumos de corriente de los subsistemas de la Carga Util.

Subsistema	Min.	Tip.	Max.	Unidades
Termómetro	.2	1.2	3	mA
Acelerómetro	.5	3.9	5	mA
SmartWAV		150	200	mA
Arduino		150	200	mA
MUX	1	10	50	mA

Tabla 2: Parámetros de la tarjeta de carga útil.

Parámetro		Min.	Tip.	Max.	Unidades
Voltaje de alimentación	Vcc	5	5.7	9	V
Corriente de consumo	Icc		315	450	mA
Temperatura de operación	T	-50	20	80	°C
Entrada AFSK			500	1000	mVp-p
AUDIO			900	1000	mVp-p

2.2 Subsistemas de la carga útil

De acuerdo al diagrama a bloques de la figura 1, se muestra una descripción de los elementos que se emplearon para conformar a la Carga Util.

2.2.1 Tarjeta de reproducción de audio "SmartWAV"

SmartWAV[1] es un sistema de reproducción digital de archivos en formato WAV a salida tipo estéreo, el sistema esta basado en un microcontrolador de la familia ATMEL de 8 bits. Se requiere una tarjeta de memoria tipo microSD que debe tener previamente almacenados los archivos .wav. La figura 2 muestra una imagen de la tarjeta reproductora.

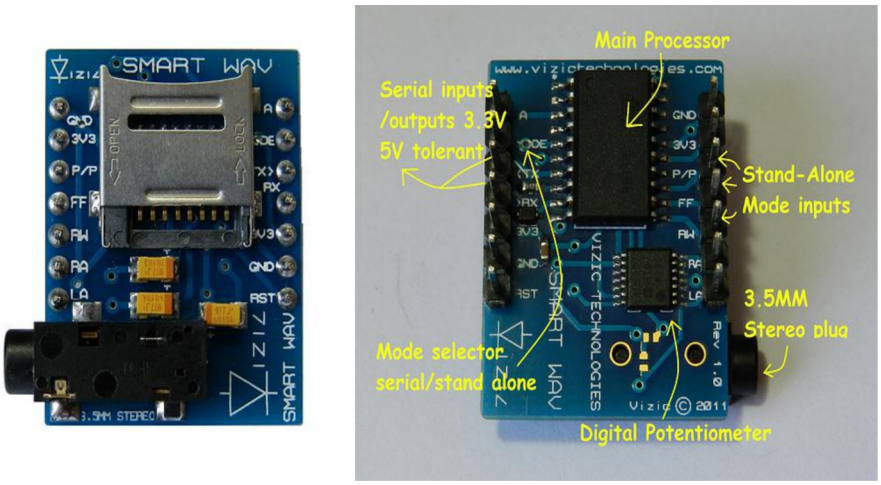

Figura 2: Tarjeta de reproducción de audio: SmartWAV.

La tarjeta SmartWAV puede ser empleada en modalidad *dependiente* por medio de ordenes a través de un puerto de comunicación tipo RS232, o bien, en modo *independiente* al emplear las patillas para ejecutar las funciones básicas, reproducir, adelantar, parar, etc., por medio de interruptores, para ULISES I operará en modalidad *dependiente*.

La tarjeta SmartWAV acepta un conjunto de 11 ordenes vía RS232 que permiten manipular la forma en que serán reproducidos los archivos almacenados. En el anexo se han agregado las hojas que contienen información sobre las 11 ordenes y una breve sintaxis que se emplea para cada orden. Para mayores detalles sobre la tarjeta SmartWAV se puede consultar el manual "Command Set"[2].

El fabricante, Vizic Technologies[3], ofrece una biblioteca para lenguaje C++ que puede ser empleada en los sistemas ARDUINO. Esta biblioteca es aplicada como parte de la programación de la computadora de carga útil, la cual es suficiente para las funcionalidad que se dará a la tarjeta SmartWAV en ULISES I. La biblioteca puede ser descargada del sitio del fabricante, las cuales son smartwav.h y smartwav.cpp.

1 http://www.vizictechnologies.com/#!smartwav/c118s
2 http://media.wix.com/ugd/f7ab2a_bf8896899d6aef299da0b67bf0a2787d.pdf
3 http://www.vizictechnologies.com

2.2.2 Arduino Mini

Arduino Mini es el nombre de un sistema mínimo basado en microcontrolador que se maneja bajo el concepto de sistema abierto, tanto para la parte física como para la parte lógica: "Open Hardware & Open Software". **Arduino**, es el nombre de la empresa que desarrolla estas plataformas abiertas. Para facilitar la divulgación del sistema, el fabricante provee un conjunto de herramientas computacionales de manera libre, las cuales son suficientes para un desarrollo muy básico. Ambas, hardware y software, en conjunto permiten realizar desarrollos a nivel de prototipo a costos muy por debajo de los que son necesarios para cualquier otra plataforma que requiere alguna licencia privativa. Esta condición de sistema abierto es considerada idónea por el CEM, para propósitos en los que se permita replicar el sistema o modificarlo para otros usos convenientes.

Arduino Mini es un circuito electrónico de dimensiones pequeñas (30 mm x 18 mm) basado en el microcontrolador ATMEGA328 del fabricante ATMEL. A pesar de lo pequeño del sistema, contiene poderosas funcionalidades que hacen de este sistema apto para ser empleado en ULISES I. Algunas de las capacidades del Arduino Mini son:

- 1 puerto de comunicación RS-232
- 1 puerto de comunicación SPI o I^2C
- 13 puertos digitales entrada/salida
- 5 puertos de conversión analógica a digital
- 32 Kbytes de almacenamiento no volátil (flashRAM)
- 1 Kbyte de memoria de almacenamiento no volátil (EEPROM)

La figura 3 muestra un esquema de disposición de patillas y una fotografía del circuito Arduino Mini. El puerto nativo de comunicación RS232 se emplea para la comunicación con la computadora primaria, pero se requiere un puerto adicional para comunicación con la tarjeta SmartWAV, el cual es implementado por dos de los puertos digitales (Tx y Rx) y se implementa el protocolo por software. El puerto I^2C se emplea para comunicar a los medidores de temperatura y aceleración, de manera secuencial; primero el acelerómetro y después el termómetro.

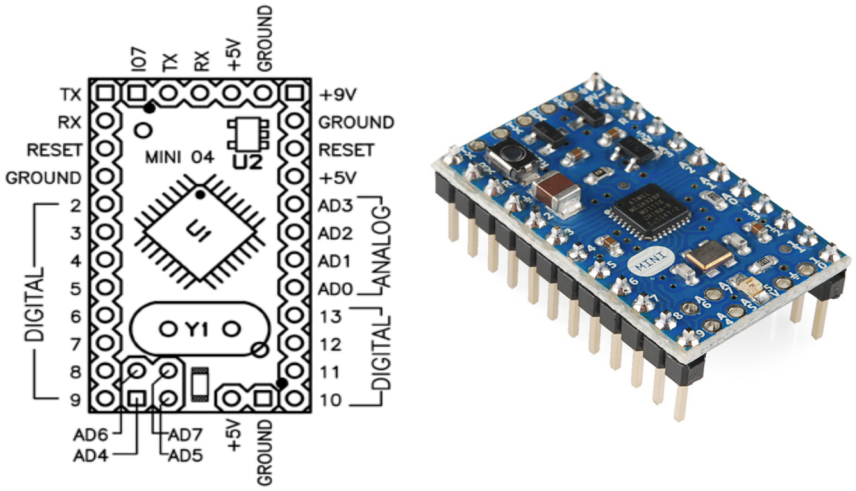

Figura 3: Esquema de distribución y fotografía de Arduino Mini V5.

El funcionamiento de esta computadora se encuentra bajo control de la computadora primaria, la cual debe enviar una señal de habilitación a la tarjeta de carga útil para encender las etapas. La computadora se enciende e inicializa los parámetros de configuración de la tarjeta SmartWAV primero y posteriormente de los medidores. Una vez que pasa el proceso de inicialización, máximo 2 segundos, queda en espera de ordenes de la computadora primaria.

Los medidores generan datos “crudos” que deben ser procesados para normalizar los datos a las unidades de medida; temperatura en grados centigrados (°C), aceleración en unidades de aceleración terrestre (g's) y rotación en velocidad angular (°/s), lo cual es implementado en la computadora secundaria.

2.2.3 Medidor de temperatura

Para medir la temperatura se emplea el circuito con matrícula **AD7415** del fabricante **Analog Devices**[4], el cual es un circuito integrado con funcionalidades muy atractivas. La figura 4 muestra el diagrama a bloques del circuito, el cual se encuentra dentro de un encapsulado SOT-23, mostrado también en la misma figura.

4 http://www.analog.com/en/mems-sensors/digital-temperature-sensors/ad7415/products/product.html

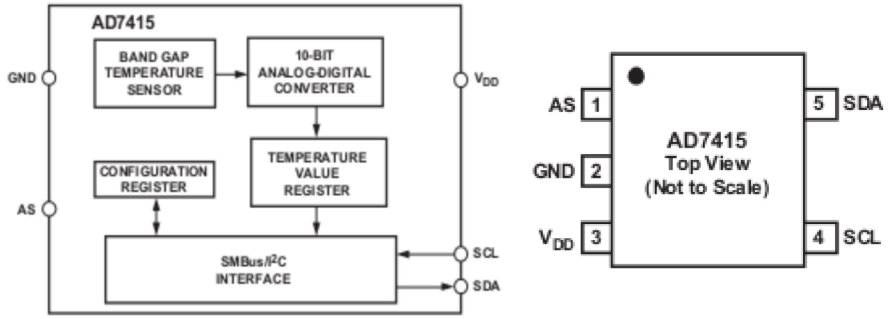

Figura 4: Medidor de temperatura: Diagrama a bloques y empaquetado.

Las principales características del medidor de temperatura se listan a continuación:

- ADC de 10 bits
- Rango de temperatura: -40°C a +125°C
- Exactitud típica de: ±0.5°C @ +40 °C
- Interface serial: I^2C, SMBus
- Máximo consumo de corriente: 1.2 mA durante la conversión
- Consumo en descanso: 3 μA

El circuito requiere ser inicializado vía I^2C para configurar el modo de operación, que en el caso de aplicación en ULISES I es tomar un solo dato de la temperatura. Posteriormente, en un intercambio de información se realiza la solicitud de la medición realizada y es procesada por la computadora secundaria.

2.2.4 Medidor de Aceleración

Para medir la aceleración y posición relativa del satélite se emplea un circuito de aplicación embebida que comprende de un giroscopio, un acelerómetro y un termómetro, la matricula del circuito es **MPU-6050** del fabricante **Invensense**[5]. El circuito incluye además una computadora interna de procesamiento digital de señales, la cual es deshabilitada para las funciones en ULISES I. La aplicación en ULISES I requiere de solicitar dos vectores de interés para conocer el movimiento inercial de ULISES I a través de su estancia en la zona orbital alrededor de la tierra.

El diagrama a bloques del MPU-6050 se muestra en la figura 5. Donde se muestra que cada componente vectorial de aceleración y de giroscopio es medida y convertida por un ADC de 16 bits en complemento a 2. Las componentes son solicitadas vía I^2C para ser procesadas en la computadora secundaria. Previo a realizar la medición, el circuito debe ser configurado externamente, lo cual es realizado también por la computadora secundaria.

5 http://www.invensense.com/mems/gyro/mpu6050.html

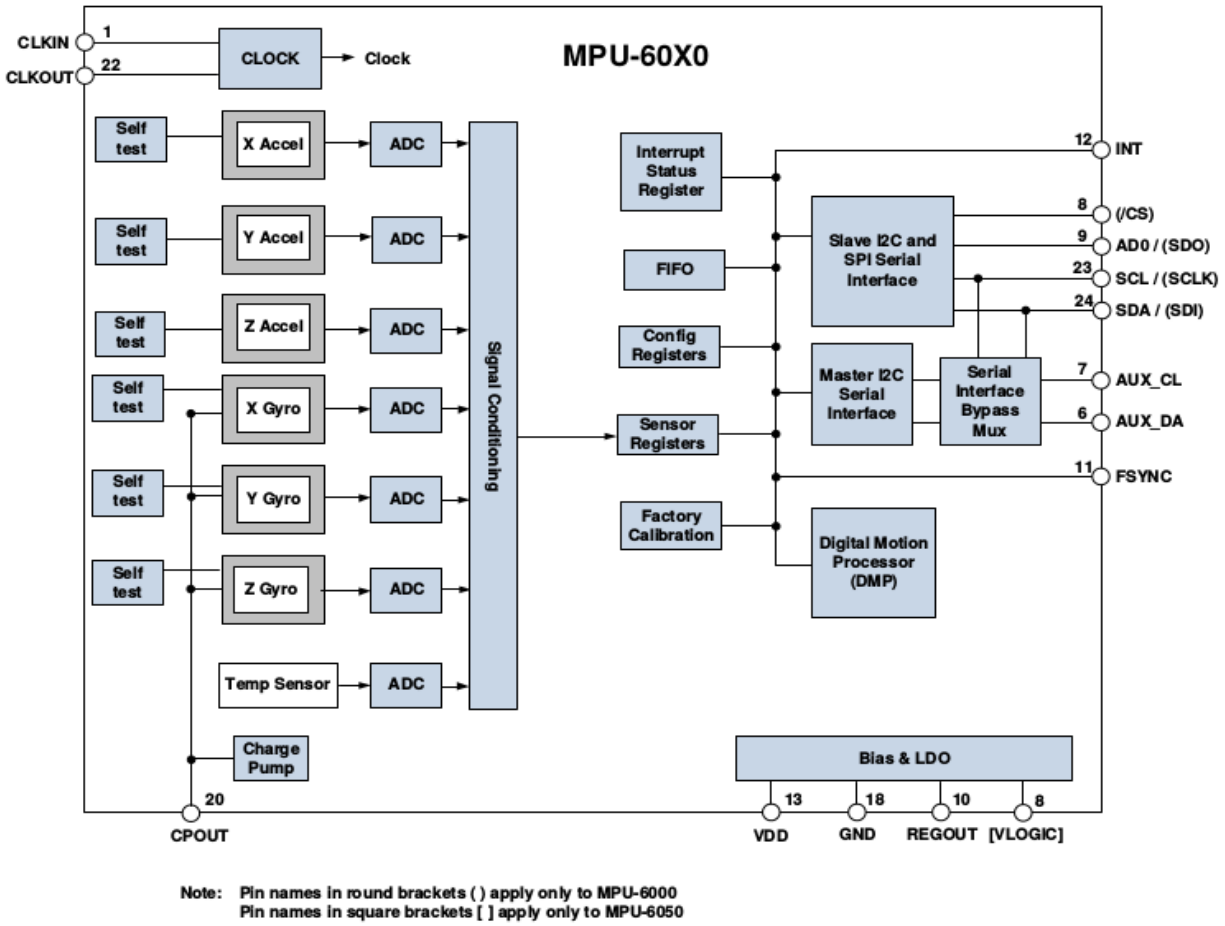

Figura 5: Diagrama a bloques del giroscopio y acelerómetro MPU-6050.

Al igual que el medidor de temperatura, los datos que provee el giroscopio son datos crudos que deben ser procesados por la computadora secundaria. El giroscopio permite realizar mediciones a diferentes niveles de sensibilidad las cuales son mostradas en la tabla 3 con sus respectivos rangos de operación.

Tabla 3: Niveles de sensibilidad del acelerómetro.

Selector	Rango para aceleración	Rango para rotación
0	±2g[6]	±250 °/s
1	±4g	±500 °/s
2	±8g	±1000 °/s
3	±16g	±2000 °/s

El procedimiento para normalizar los datos crudos a las unidades correspondientes, de

6 1 g = 9.80665 m/s^2. Unidades de aceleración normalizada a la gravedad de la tierra.

acuerdo al nivel de sensibilidad en que fueron medidos, se presenta a continuación. El factor de normalización depende intrínsecamente del nivel de sensibilidad, lo cual es denotado por las relaciones: (1) para el *factor de normalización* para aceleración y (2) para el *factor de normalización* de la velocidad angular. Donde ***n*** es el valor de **selector** en la tabla 3.

$$Ka=\frac{2^{n+1}}{2^{16-1}-1} \tag{1}$$

$$Kg=\frac{2^{n}\cdot 250}{2^{16-1}-1} \tag{2}$$

El valor normalizado en g's y °/s se obtiene con las siguientes relaciones:

$$\begin{bmatrix} a_x=Ka\cdot acc_x \\ a_y=Ka\cdot acc_y \\ a_z=Ka\cdot acc_z \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$\begin{bmatrix} g_x=Kg\cdot gyr_x \\ g_y=Kg\cdot gyr_y \\ g_z=Kg\cdot gyr_z \end{bmatrix} \tag{4}$$

2.2.5 Selector de Canal (MUX)

Se emplea el circuito de tecnología CMOS, el **4053**, que es un selector de canal que funciona tanto para sistemas digitales como para analógicos. Se hace funcionar como un interruptor 1P2T para elegir una de dos entradas hacía una única salida. Las entradas son la señal AFSK y la señal de audio, que dependiendo del valor del selector (0 volts o 5 volts) se elige pasar la señal de una de las entradas hacia la salida.

La figura 6 muestra el diagrama de operación del **4053**, que es un circuito que fabrican diversas empresas de semiconductores, del cual se emplea solo uno de los selectores. Los otros selectores son aterrizados tanto las entradas como las salidas para evitar inducciones de ruido externo.

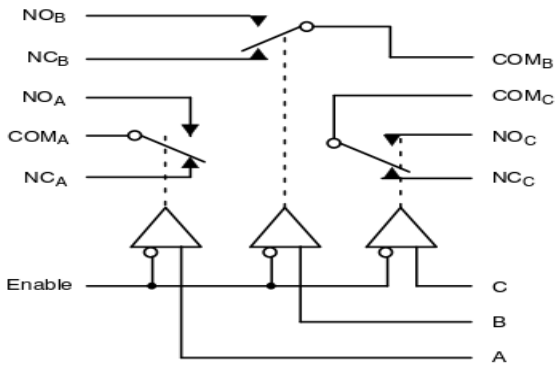

Figura 6: Esquema de operación del selector CMOS 4053.

La tabla 4 muestra la tabla de verdad para la operación del selector.

Tabla 4: Tabla de operación de un selector del 4053.

Enable	A	SWITCH
1	x	open
0	0	$COM_A - NC_A$
	1	$COM_A - NO_A$

El circuito es alimentado a 5 Vdc y la referencia es 0 Vdc, por lo que las señales de entrada son montadas sobre componentes de DC para evitar el recorte de las mismas.

3 Operatividad

En esta sección se describe la funcionalidad de la computadora secundaria en interacción con los componentes asociados a la carga útil. El esquema de funcionamiento se ha tratado de implementar de la forma más simple posible, la computadora secundaria inicializa las subsistemas y queda a la espera de ordenes de la computadora primaria. De acuerdo a la orden, deberá solicitar, activar o enviar datos a los subsistemas involucrados. La figura 7 muestra el diagrama de flujo para la operación de la computadora secundaria y la interacción con los demás elementos.

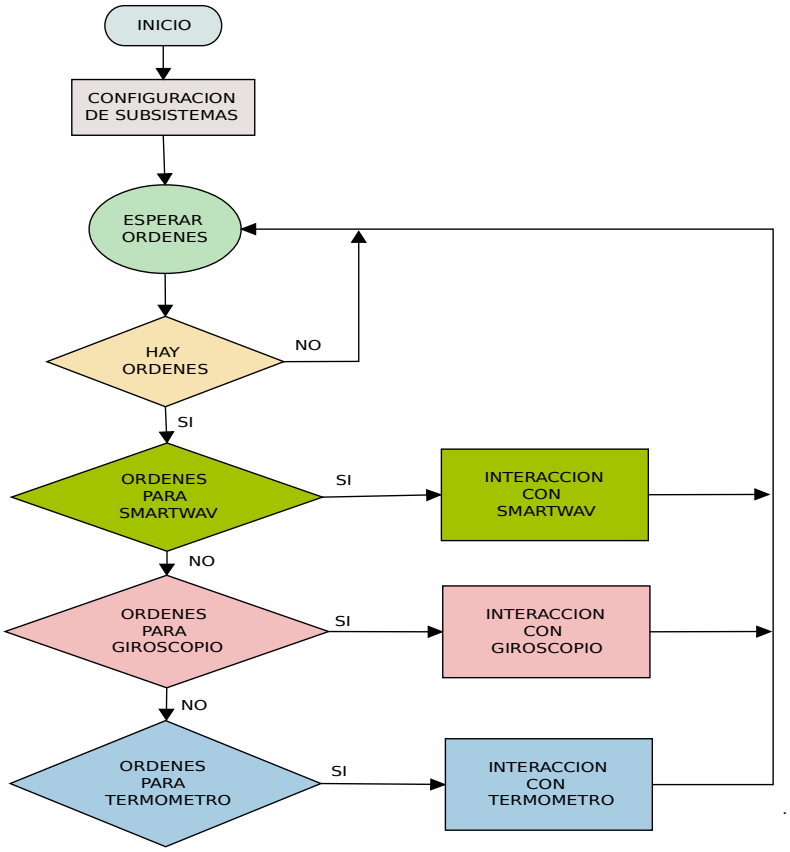

Figura 7: Diagrama de flujo de la función de la computadora secundaria.

En algunos de los casos u ordenes que son recibidas requieren de enviar una respuesta, una vez que se procesa la solicitud y se obtienen datos, estos son enviados como respuesta a la computadora central.

3.1 Ordenes de la computadora secundaria

Se han implementado un conjunto mínimo de ordenes que permiten indicarle a la tarjeta de carga útil la ejecución de alguna acción determinada mediante dichas ordenes. Un conjunto de dichas ordenes se relacionan con la reproducción de las tramas musicales, ya sea de manera aleatoria o de manera consecutiva. Otro conjunto de ordenes esta dedicada a solicitar información de los circuitos medidores los parámetros que es posible medir: temperatura, aceleración y velocidad angular.

Las ordenes son generadas a partir de la computadora primaria, previo a ello, la computadora primaria debe habilitar a la tarjeta de carga útil. Posteriormente, la computadora secundaria, posterior a inicializar todos los elementos asociados a la carga útil, se pone en modo de espera a las ordenes de la computadora primaria.

Los tiempos de actividad de la tarjeta de carga útil dependen del tipo de solicitud que se realiza, unos pocos segundos cuando se requieren datos hasta algunos minutos de funcionamiento cuando se solicita la reproducción de alguna de las tramas sonoras.

3.2 Interacción con otras etapas

La tarjeta de carga útil se conecta físicamente con otras etapas para diferentes funciones que van desde obtener energía, recibir las señales de control y realizar funciones de comunicación. El esquema general que se muestra en la figura 8 ilustra las diferentes interacciones entre etapas, pero las conexiones físicas requeridas están ilustradas por el diagrama de la figura 9.

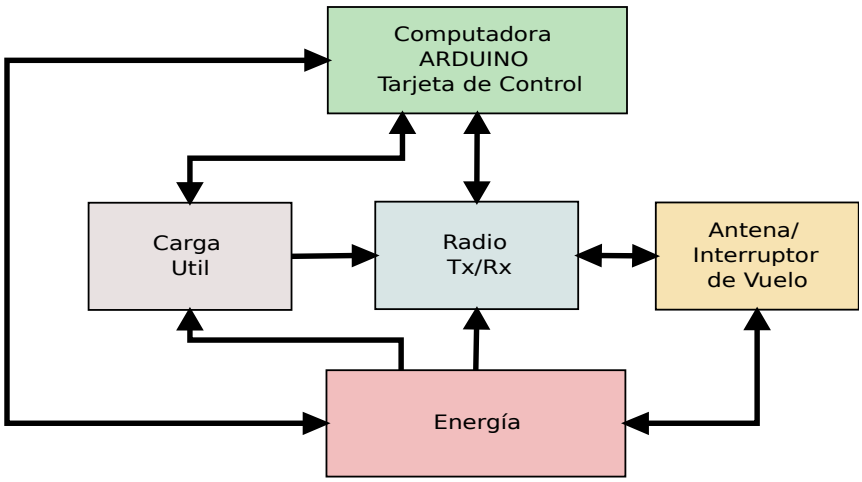

Figura 8: Esquema a bloques de ULISES I.

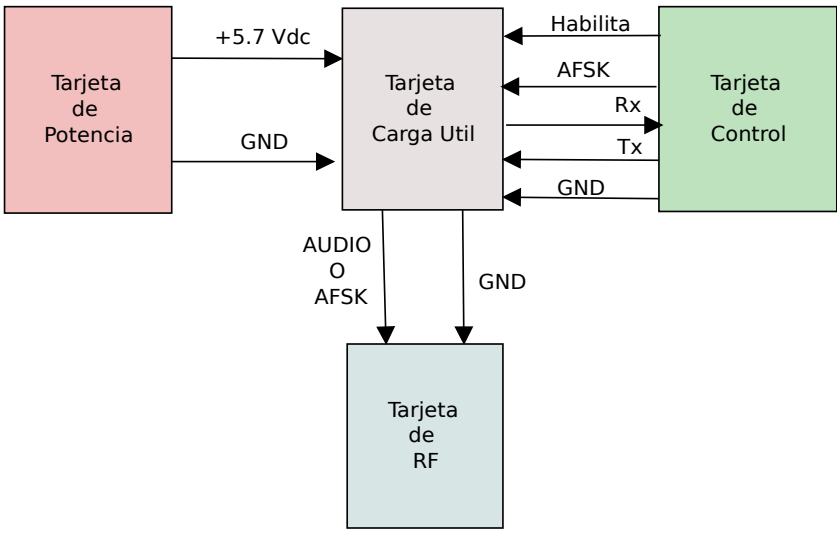

Figura 9: Diagrama de conexiones de la tarjeta de carga útil con otras tarjetas de ULISES I.

3.3 Descripción Física

La tarjeta de carga útil contienen todos los componentes antes descritos en la sección 2, la distribución que se ha realizado permite tener un termómetro cerca del borde de la tarjeta y al medidor de aceleración, que contienen un termómetro interno en el extremo opuesto, lo que permitirá obtener datos de las diferencias de temperaturas a las que estará sometida la estructura del satélite en el espacio exterior.

Los componentes que se emplean en la placa de la tarjeta de carga útil son considerados de grado comercial. El material de la placa es FR4, substrato basado principalmente en fibra de vidrio comprimida, que es un material ampliamente usado en el ámbito comercial. La intención de emplear elementos de tipo comercial es la de armonizar con la idea de que este será un satélite que pudiera ser construido por aficionados a los temas afines.

4 Procesamiento de datos

En esta sección se muestran los detalles sobre el procesamiento que se lleva a cabo al interior de la computadora secundaria para los datos de los subsistemas.

4.1 Termómetro

El termómetro AD7415 contiene un conversor analógico-digital (ADC) de 10 bits y el formato de datos es complemento a 2. La resolución LSB para cada nivel es de 0.25 °C y el rango de medición va desde -40°C hasta +125°C. Aunque es posible abarcar un rango más amplio con los 10 bits, el rango es una limitación física de los elementos electrónicos del circuito integrado.

La regla de aplicación para convertir los datos crudos adquiridos y normalizarlos a temperatura es como sigue:

Para temperaturas positivas:

$$T_{positivas} = \frac{ADC_{CODE}}{4} \tag{5}$$

Para temperaturas negativas, se elimina el décimo bit y se aplica la siguiente relación:

$$T_{negativas} = \frac{ADC_{CODE} - 512}{4} \tag{6}$$

Recordar que en complemento a 2 el décimo bit es indicativo de número negativo.

4.2 Acelerómetro

La solicitud al acelerómetro da como respuesta los vectores de aceleración y velocidad de rotación. Previamente se debe indicar la configuración que permita determinar el nivel de sensibilidad que será empleada para tomar la medición. El acelerómetro cuenta con cuatro niveles de sensibilidad con los cuales es posible medir hasta un efecto de aceleración a ±16g's[7] o ±2000°/s como máximo. La tabla 3 muestra los rangos para cada nivel de sensitividad.

Los vectores contienen tres componentes para cada medición $[a_x,a_y,a_z]$ para el vector de aceleración y $[g_x,g_y,g_z]$ para el vector de velocidad angular. El procesamiento de los datos

7 1g = 9.80665 m/s^2. Unidades de aceleración normalizada a la gravedad de la tierra.

dependerá del nivel de sensibilidad en que se realiza la medición y los datos crudos que se obtienen como resultado se generan en la siguiente forma:

```
<n>:acc_x,acc_y,acc_z,gyr_x,gyr_y,gyr_z:#
```

cuya nomenclatura se describe a continuación:

- n : Identificador de nivel de selectividad. [0,1,2,3]
- acc_x : Componente x del vector de aceleración.
- acc_y : Componente y del vector de aceleración.
- acc_z : Componente z del vector de aceleración.
- gyr_x : Componente x del vector de velocidad de rotación.
- gyr_y : Componente y del vector de velocidad de rotación.
- gyr_z : Componente z del vector de velocidad de rotación.

4.3 Datos generados

Los datos que se generan como resultados por parte de la tarjeta de carga útil depende del subsistema con el que esta interactuando la computadora secundaria, no se mezclan los resultados de un subsistema con los de cualquier otro. Las posibles respuestas a las ordenes que se describen a continuación:

4.3.1 Subsistema de tarjeta reproductora de audio

El subsistema de reproducción de audio da respuesta a tres de las ordenes de las siete que puede procesar:

PISTAS : un número entre 1 y 255, para indicar el número de pistas que se encuentran almacenadas en la memoria.

AVOL : un valor entre 0 y 255 para indicar el nivel de volumen que tiene programada la tarjeta reproductora (en versión final el número es 100).

PLAY? : da por respuesta un valor lógico de 0 o 1 para indicar si se encuentra reproduciendo alguna pista; 0 para “no reproduce” y 1 para “reproduciendo”.

4.3.2 Subsistema de medidor de temperaturas

El subsistema de medidor de temperatura genera un valor equivalente en grados centígrados para indicar la medición que se realizó en el momento de la petición:

TEMP : un valor entre -40.00 hasta 125.00 relativo a °C.

4.3.3 Subsistema de medidor de aceleración y giroscopio

A cada petición de la computadora primaria, la computadora secundaria configura al medidor de aceleración y velocidad angular, de acuerdo al tipo de petición. Para la telemetría se solicita un dato con el menor nivel de sensibilidad (selector=0 de la tabla 3):

```
30.74, 504, 0.03, -620, -0.04, 16080, 0.98, -67, -0.44, 121, 0.80, -16, -0.11
```

con el siguiente formato:
temperatura(°C),acc_x,a_x,acc_y,a_y,acc_z,a_z,gyr_x,g_x,gyr_y,g_y,gyr_z,g_z

donde:

temperatura :Es la temperatura interna del medidor de aceleración.

acc_i y gcc_i :Es el *i-esimo* valor de aceleración y velocidad angular, respectivamente, en dato "crudo".

a_i y g_i : Es el valor normalizado.

Para la petición FGYRO se da por respuesta todos los diferentes vectores a todos los niveles de sensibilidad disponibles, pero solo datos crudos:

<n>:acc_x,acc_y,acc_z,gyr_x,gyr_y,gyr_z:#

```
<0>:400,-412,15056,-93,-77,-93:#
<1>:154,-232,7554,-56,-53,-53:#
<2>:90,-101,3795,-27,-19,-31:#
<3>:42,-53,1888,-12,-10,-11:#
```

5 Conclusiones

El desarrollo de la tarjeta de Carga Util cumple con las condiciones requeridas para realizar las emisiones sonoras vía una modulación en frecuencia que permitirá que la señal pueda ser recibida por un sistema de demodulación en tierra, o en el espacio, para escuchar las piezas de arte sonoro concebidas de manera original para este proyecto.

Los puntos técnicos más destacados a mencionar son los siguientes:

- La carga útil debe ser habilitada por la computadora primaria (esclava).
- La comunicación entre la computadora primaria y la secundaria es de tipo UART.
- Las piezas sonoras deben ser almacenadas en formato WAV sin compresión.
- Las piezas sonoras van almacenadas en una memoria *no volátil* tipo FLASH (microSD).
- La carga útil también contiene dos termómetros, un acelerómetro y un giroscopio.
- La carga útil solo consume potencia mientras se encuentra habilitada.
- Todas las acciones que puede realizar la Carga Util son solicitadas por un único puerto de comunicación, que es el que conecta a la computadora primaria.

Adicional a la parte física de la tarjeta de carga útil se han realizado los programas correspondientes al control y la transmisión de datos obtenidos de los circuitos de medición, como también así lo requiere el subsistema de reproducción de audio. El programa considera condiciones en que alguno de los subsistemas deje de responder, ya sea por daño o por error temporal que pudiera suceder, de tal forma que no quedaría en una condición de inestabilidad que pudiera afectar a todo el sistema.

La tarjeta de Carga Util ha sido probada en diferentes condiciones de laboratorio, bajo simulación de condiciones en el espacio exterior, de las cuales ha resultado con un buen desempeño. Es por ello que se considera que que esta parte del proyecto ULISES 1 se ha obtenido un buen logro y que no será un factor que afecte a la integridad del satélite por algún mal desempeño en su operatividad o funcionalidad.