

COMPUTADORA DESTINADA A APLICACIÓN EN GLOBO ESTRATOSFERICO PARA EXPERIMENTOS EN MICROGRAVEDAD.

Benito, Gonzalo³; Bianchi, Andrés³; Di Fiore, Damián³; Gentili, Fernando³; Liozzi, Fernando³; Raggi, Guido³; Ing. Piris, Laureano², Ing. Canal, Carlos¹.

¹*Director del Proyecto, Prof. Área Técnicas Digitales, Universidad Nacional del Comahue, Neuquén, Argentina.*

²*Integrante, Ayudante de primera, Área Digitales Universidad Nacional del Comahue, Neuquén, Argentina.*

³*Alumnos de Ingeniería Electrónica, Universidad Nacional del Comahue, Neuquén, Argentina.*

Palabras claves: Control remoto DTMF, Computadora de abordo, AX25, GPS, microgravedad

Resumen. Lograr ausencia de gravedad, es crucial en muchos campos de la ciencia y la tecnología. Dentro de las posibilidades para crear microgravedad, se encuentra la de elevar una cápsula por medio de globos que alcancen gran altura (la estratósfera), y ser lanzada desde allí en caída libre.

El objetivo de este experimento es realizar un ascenso controlado a 25 km de altura para conseguir aproximadamente 10 segundos de microgravedad a partir de la liberación de una carga útil. Dicha carga lleva un experimento compuesto por un puente líquido de estaño, el cual debe solidificarse en ambiente de microgravedad para luego ser estudiado.

De forma de controlar el proceso de ascenso, caída y recuperación de dicha cápsula es necesario desarrollar una computadora que cumpla con las siguientes funciones: adquisición y almacenamiento de datos, telemetría y recepción de comandos enviados de forma remota.

La computadora se compone de un microcontrolador conectado a distintos dispositivos de medición (aceleración, temperatura, posición, altura, presión, etc.), un modulador FSK y un GPS para la telemetría, un decodificador de tonos de DTMF para la recepción de comandos y un adaptador de tarjeta SD para el almacenamiento de datos.

La telemetría se realiza sobre protocolo AX.25 el cual es decodificado en tierra por un radio módem/TNC y enviado a una PC. Una interfaz desarrollada en Visual C# permite visualizar en forma gráfica la posición geográfica de la carga, su altura, las aceleraciones soportadas por la misma y temperaturas propias del experimento y del aire.

A la vez, es posible enviar desde tierra hacia la carga útil, combinaciones de tonos de DTMF para controlar variables del experimento tales como el corte de los globos en el momento que se requiera.

La comunicación aire-tierra se logra cubriendo el enlace con transceptores UHF tipo *Handy*

Si bien está computadora y el acondicionamiento de los demás dispositivos se pensaron para su uso en un globo estratosférico, la misma puede utilizarse como computadora de a bordo de cualquier unidad móvil que requiera las prestaciones antes mencionadas, teniendo en cuenta que el alcance de operación puede ser tan significativo como la potencia del sistema de radio que se utilice.

Carlos Canal: carloscanal@yahoo.com.ar, Departamento de Electrotecnia, Universidad Nacional del Comahue. Buenos Aires 1400 (8300) Neuquén Capital.
Tel 54-299-4488305; Cel 54-299-154570864

1 INTRODUCCIÓN

Los experimentos en microgravedad son difíciles de realizar dado lo extremo del ambiente requerido. Estas experiencias solo pueden ser supervisadas *in situ* si se desarrollan en vuelos espaciales, lo cual tiene un gran costo. Existe también la opción de los ensayos en caída libre donde la supervisión es efectuada a través de computadoras a bordo de la cápsula de experimento. La gran limitación de un ensayo en caída libre es el tiempo que dura la condición de microgravedad, ya que para maximizar este tiempo se debe buscar una densidad del aire mínima y un recorrido considerable. Por esto conviene que el cápsula sea soltada a grandes alturas y para llevarla se puede usar un globo. Dada la necesidad de una unidad procesadora de datos en vuelo es que se incorpora una computadora de abordo a la cápsula del experimento. Esta computadora cumple funciones tanto para el experimento como para el vuelo previo al inicio del ensayo y la recuperación de la carga. Las computadoras de abordo tienen funciones tan variadas como el registro de datos en tiempo real, la comunicación externa e incluso la actuación en sistemas internos.

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño e implementación de una computadora de abordo que debe ser capaz de controlar las diferentes funciones y procesos de una cápsula de experimento.

El experimento consiste en un ensayo de soldadura de estaño en microgravedad, por lo que la temperatura y la aceleración son los datos de mayor importancia a registrar. El estaño es colocado dentro de un horno eléctrico controlado y con un dispositivo de apertura para enfriamiento rápido. El globo debe llevar la cápsula a una altura mayor a 15000 metros donde suelta la carga para empezar la experiencia, luego se despliega un paracaídas que salvaguarda la integridad de la cápsula al tocar tierra.

A continuación se detalla, en primera instancia la planificación del vuelo experimental. Luego se procede a describir la computadora de vuelo construida por el equipo y sus funciones fundamentales, incluyendo en otra sección la enumeración de los diversos dispositivos y sensores incorporados. También se explica el funcionamiento del experimento y las modalidades de comunicación entre tierra y la cápsula. En última instancia se especifican las optimizaciones energéticas dispuestas para hacerlo lo más portable posible, y se incorporan las conclusiones del trabajo.

El trabajo se basó en la experiencia adquirida en el lanzamiento de globos estratosféricos y la recuperación de las cargas útiles que se vienen realizando desde 1999 dentro del Programa de Investigaciones PehuenSat de nuestra Universidad.

2 PLAN DE VUELO

El experimento requiere ciertas precauciones para su realización, que dura alrededor de 2 horas. El factor clima es determinante para que el globo pueda alcanzar la altura ideal sin volar tan lejos que su señal se pierda. Si el globo fuese lanzado bajo condiciones de fuertes vientos, podría no ser recuperada la cápsula ya que sería arrastrada más allá del alcance de los equipos de radio en tierra. A su vez, es preferible que el cielo esté despejado para evitar que las nubes interfieran en la comunicación.

Otro factor importante es el dado por la seguridad, tanto del tráfico aéreo como de tierra. Se define un punto de lanzamiento y una hora tal que no se encuentre en la ruta de vuelos comerciales y se notifica a las autoridades correspondientes a fin de reducir el riesgo que

representa un objeto volador no tripulado. También se elige el punto de despegue en una zona relativamente despoblada para evitar que la cápsula aterrice causando daños a personas o propiedades.

Una vez cumplidas las condiciones anteriormente detalladas para el óptimo desarrollo del experimento, se procede al encendido y chequeo de las funciones de los sistemas de la cápsula. En forma consecutiva, se acoplan los globos que permitirán el ascenso de la carga.

La recepción de las tramas de datos estará a cargo de dos equipos. Uno de estos, se desplazará siguiendo en tierra la trayectoria descrita por la cápsula y otro estará compuesto por una red de radioaficionados que colaborarán en la experiencia expandiendo el radio de recepción de la señal. Para ello cada grupo dispondrá de un equipo de radio conectado a una PC donde contarán con un programa que les permita visualizar los datos y posiciones geográficas de la cápsula.

A la altura debida, se enviará el código para el corte de los globos desde la interfaz en la PC.

Por último el equipo móvil rescatará la carga con la información obtenida sobre posición.

3 COMPUTADORA

Dado el medio de elevación, no se precisan más controles de vuelo que el rastreador satelital, el sistema de separación del globo y el de despliegue del paracaídas. A las funciones de vuelo se le agregan medidores de parámetros tales como aceleración, temperatura y presión, a fin de recabar la información fundamental para el experimento. En cuanto al proceso de guardado de datos, la computadora cuenta con una memoria SD de 1 Gb de capacidad. Los comandos (que incluyen soltar el globo, apagar el horno, desplegar el paracaídas y resetar el equipo) ingresan a la computadora a través de un sistema procesador de tonos telefónicos y esta emite la información recabada mediante un módulo que los empaqueta bajo el protocolo AX.25 en una señal con una cierta periodicidad aún luego de caer a tierra.

El diseño de la CPU se basa en un desarrollo modular implementado mediante dos microcontroladores: uno de ellos, denominado “maestro” que es el corazón del CPU, que se encarga de realizar las operaciones de abordaje del globo (almacenamiento de datos, medición de variables, recepción de códigos DTMF, envío de tramas AX.25) y gestión del ensayo. El otro, encargado específicamente de las operaciones de medición y control de la temperatura del horno que lleva a cabo el experimento.

La CPU cuenta con diferentes módulos que se detallan a continuación (Ver Figura 1 y 2):

1. Un módulo de GPS el cual permite determinar la ubicación del globo de ensayo instante a instante; es de fundamental importancia para la pronta recuperación de la cápsula.
2. Un acelerómetro que nos permite verificar la microgravedad del ensayo, además brinda información sobre la inclinación estimadas de la cápsula
3. Una memoria SD comercial que almacena los datos del ensayo.
4. Un módulo de comunicación serial que se encarga de la comunicación entre el microcontrolador maestro y el encargado de las operaciones referidas al horno.
5. Un demodulador de tonos telefónicos que se encarga de realizar la decodificación de los datos de telemetría enviados, para comandar remotamente tareas a realizar.
6. Un módulo AX.25 que se encarga de la telemetría del globo a la estación de monitoreo en tierra.

El microcontrolador elegido para cumplir las tareas de maestro es el PIC18F4620 de Microchip debido a sus características de alimentación (capaz de operar con una alimentación

de 3,3V, lo que representa una ventaja a la hora de trabajar con la memoria SD) y gran capacidad de memoria de programa, siendo este factor de suma importancia por la extensión del código de programa de la CPU a raíz de la modularidad del mismo.

En cuanto al control y monitoreo del horno, el segundo microcontrolador consta de una termocupla (para el medición de la temperatura) y una resistencia de constantán acoplada a un control economizador de la energía almacenada en las baterías, como se detallara más adelante.

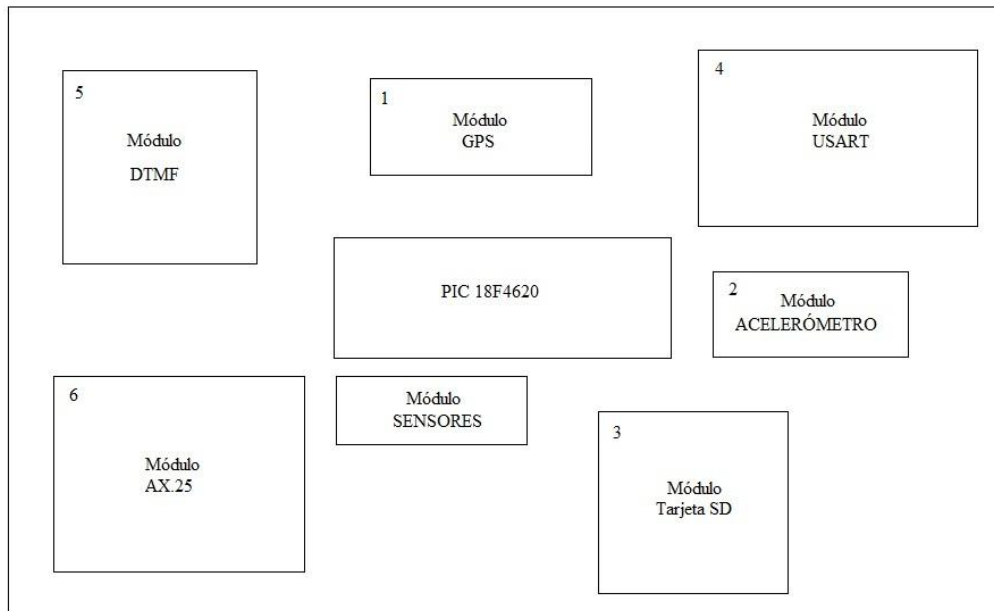


Figura 1 Esquema modular de la CPU

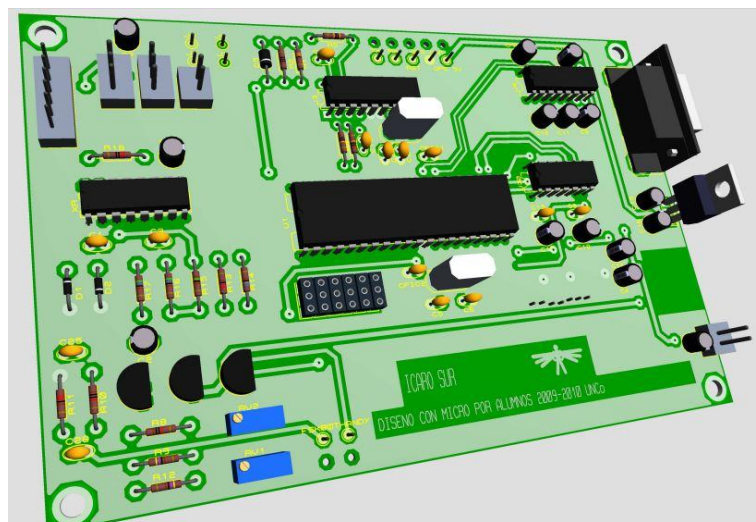


Figura 2 Vista la placa de la computadora en 3D

Funcionamiento del programa

El *firmware* fue desarrollado en lenguaje C18 de Microchip, el cual presenta una potente forma de programación.

Su estructura de funcionamiento es secuencial, es decir, el microcontrolador se aboca completamente a una tarea por vez (Ver Figura 3). La elección de este modo de ejecución se debe principalmente a que hay tareas como la escritura de la memoria SD, las cuales demandan un tiempo de ejecución ininterrumpido que impide el empleo de técnicas de programación *Multi-Tasking*.

El tiempo que demanda un ciclo completo de programa es de aproximadamente un segundo, de los cuales 400ms se dedican al almacenamiento de datos y el resto se distribuyen en la adquisición y envío de los mismos. Esto restringe la frecuencia máxima de transmisión a 1 trama por segundo.

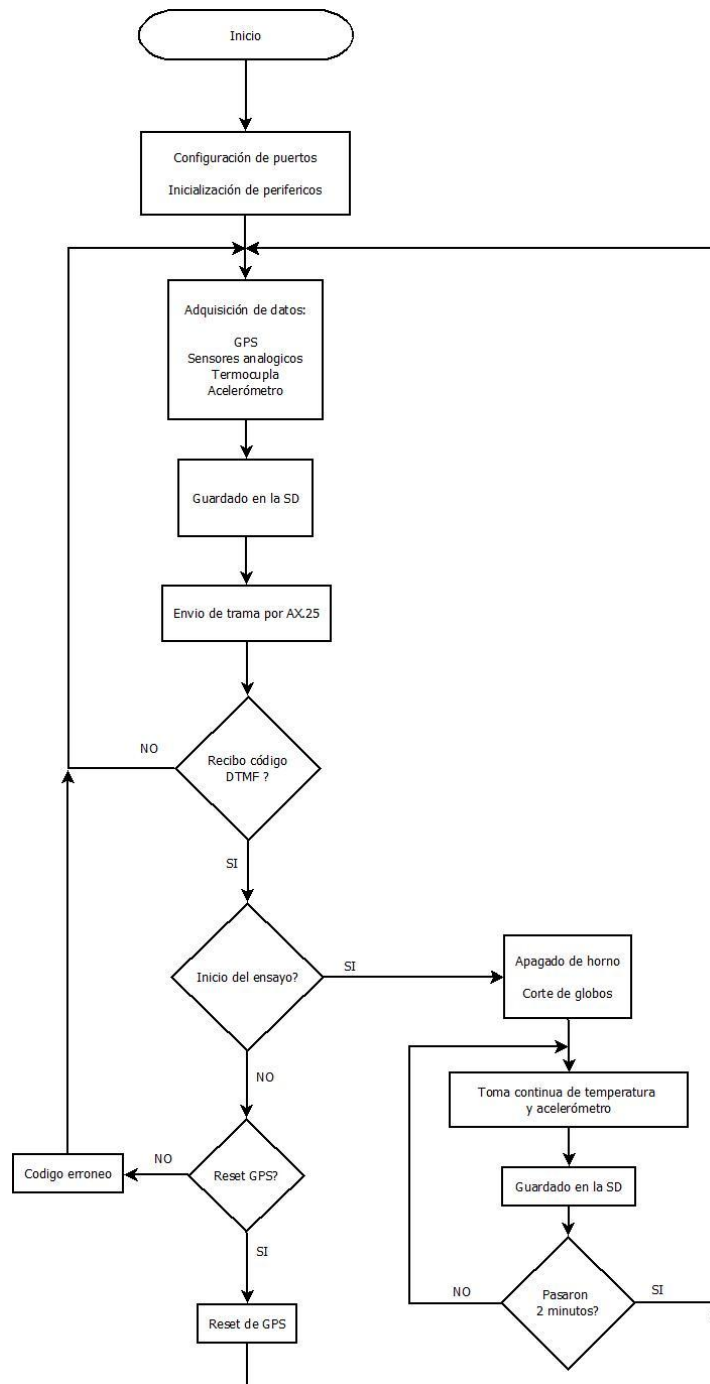


Figura 3 Diagrama de flujo del *firmware*

4 ADQUISICIÓN Y ALMACENAMIENTO DE DATOS

La computadora cuenta con una serie de dispositivos que permiten la obtención de información relativa a la presión y temperatura en el interior de la carga como así también a la inclinación y posicionamiento global de la misma y el consumo de corriente de la computadora. Para tal propósito se utilizaron sensores de temperatura y de presión, un acelerómetro, un dispositivo GPS y un sensor de corriente por efecto Hall. Toda la información recabada se almacena en una tarjeta de memoria SD.

4.1 Sensores de temperatura

Teniendo en cuenta que los componentes electrónicos y batería tienen un rango de temperatura de trabajo, es necesario medir la misma para confirmar que su funcionamiento es óptimo. Frente a esta necesidad se utiliza un sensor analógico TC1047A para registrar la temperatura interna de la cápsula. El mismo es capaz de medir temperaturas comprendidas en el rango de -40°C a $+125^{\circ}\text{C}$ con una precisión típica de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. También se hace uso de una termocupla tipo K para medir la temperatura interna del horno donde se lleva a cabo el experimento. En este caso, se opta por este dispositivo ya que además de ser mucho más sensible que el TC1047A, es capaz de registrar hasta temperaturas cercanas a los 500°C .

4.2 Barómetro

Para saber qué condiciones internas presentará la cápsula, se emplea un sensor de presión analógico MP3H6115A. El rango de temperatura de trabajo del mismo va desde los -40°C a $+125^{\circ}\text{C}$ y es capaz de registrar presiones de entre 15 y 115 kPa con una precisión de $\pm 1,5\text{kPa}$.

4.3 Acelerómetro

Con el objeto de medir la inclinación y aceleración de la cápsula se utiliza un sensor digital MMA7455L capaz de medir la aceleración de la gravedad en tres ejes. La comunicación con el microcontrolador se realiza a través del protocolo SPI. El mismo opera en el rango de temperatura que va desde los -40°C a los $+85^{\circ}\text{C}$ y permite trabajar en tres modos relativos a la escala máxima de aceleración en gravedad: $\pm 2\text{g}$, $\pm 4\text{g}$ y $\pm 8\text{g}$. Para este trabajo se elige el modo $\pm 2\text{g}$ para obtener mayor precisión en las mediciones ya que esta información será esencial para el experimento que se llevará a cabo.

Una vez iniciado el experimento, se estima que habrá cerca de 10 segundos de microgravedad. En este momento, es donde el sensor cobra vital importancia ya que es necesario confirmar que el ensayo se lleva a cabo en condiciones de “gravedad cero”.

4.4 GPS (*Global Positioning System*)

El dispositivo GPS empleado es el FV-4A que combina gran sensibilidad y bajo consumo de energía en un módulo de pequeño tamaño. El mismo es capaz de trabajar tanto con antenas pasivas como activas y la comunicación se lleva a cabo a través del protocolo RS-232. Además, el rango de temperatura de trabajo va desde los -40°C a los $+85^{\circ}\text{C}$. Este módulo arroja las tramas NMEA cada un segundo, de las cuales seleccionamos la trama GPGGA (*Global Positioning System Fix Data*) que cuenta con toda la información que se requiere: hora, longitud y latitud, precisión y altitud.

4.5 Sensor de corriente por efecto Hall

Con el objeto de testear el estado de la batería durante el vuelo se implementó un sensor de corriente por efecto Hall. De este modo y conociendo las curvas de descarga de la batería se puede predecir de manera aproximada la carga de la misma y así adelantar el experimento en caso de ser necesario, evitando la pérdida de la comunicación con la cápsula.

El sensor se manufacturó a partir de un núcleo toroidal de ferrite al que se le incrustó un sensor de campo magnético de efecto Hall (Ver Figura 4). Luego se le realizó un devanado por el cual circulará la corriente a medir, en nuestro caso, la corriente total del consumo de la batería.

Este sensor se ensayó, relevando una curva de tensión de salida en función de corriente de entrada de forma de calcular la pendiente de esta curva. En la Figura 5 se puede observar que

la pendiente es negativa, esto se debe a que el arrollamiento del bobinado se realizó de forma tal que la variación de la tensión de la celda Hall no supere a la máxima tensión permitida por la entrada analógica del microcontrolador.

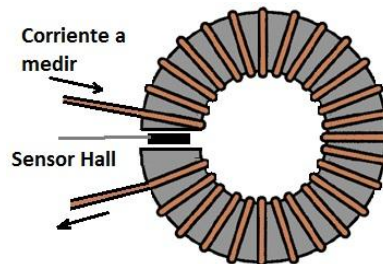


Figura 4 Esquema de sensor de corriente por efecto Hall.

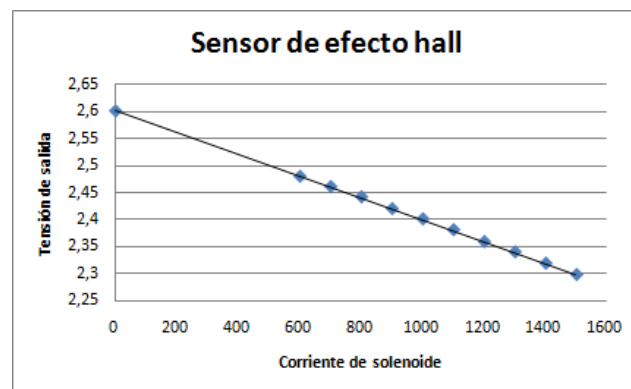


Figura 5 Característica tensión-corriente del sensor.

4.6 Almacenamiento SD/MMC (*Secure Digital/MultiMedia Card*)

Se eligió el almacenamiento en tarjetas SD/MMC, por su versatilidad, gran capacidad de almacenamiento, bajo consumo energético y costo reducido. Estas tarjetas tienen 3 modos de operación:

- Modo SP: entrada separada serial y salida serial.
- Modo un-bit SD: separa comandos, canales de datos y un formato propietario de transferencia.
- Modo cuatro-bit SD: utiliza terminales extra más algunos terminales reasignados para soportar transferencias paralelas de cuatro bits.

En nuestro proyecto se utilizó el modo SPI, ya que el mismo tiene conexión directa con el microcontrolador.

Con este medio de almacenamiento, y considerando que los datos recolectados de los sensores se guardan cada un segundo, podemos almacenar 42Mb/día de información provenientes de todos los dispositivos de adquisición de datos en forma simultánea.

5 ENVÍO DE DATOS DE AIRE A TIERRA.

Los datos adquiridos por la computadora de abordaje son enviados a tierra en la modalidad de paquetes de radio bajo el protocolo de comunicaciones AX.25 (*Amateur X.25*). Algunas de las características que hacen a este último un método adecuado para la transmisión son:

- Tiempo de emisión reducido. El módem en la cápsula consume energía sólo durante el tiempo de transmisión de cada paquete singular.
- Su alta difusión, debido a su uso por radioaficionados, lo que deriva en facilidad de acceso a información y equipamiento.
- Posibilidad de uso de un módem/TNC (*Terminal Node Controller*) que permite el tratamiento y observación de los datos recibidos directamente en la computadora.

Concretamente, para lograr la transmisión de los datos, los bytes de información son empaquetados según el citado protocolo, luego modulados en AFSK (*Audio Frequency Shift Keying*) y finalmente son emitidos al aire con un equipo de radio tipo handy.

Dicho proceso es llevado a cabo por diferentes módulos de la computadora de forma secuencial (Ver Figura 6).

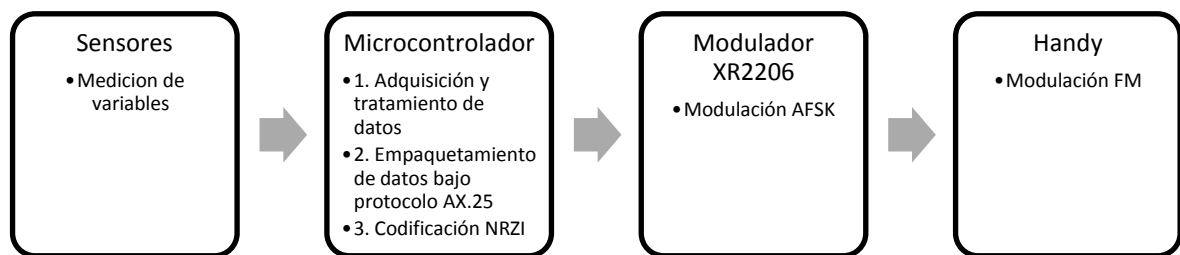


Figura 6 Esquema sistema de transmisión de datos en la computadora.

Microcontrolador

En primer lugar, el microcontrolador procesa los valores obtenidos de las mediciones y los incorpora en una trama de datos que responde a la estructura determinada por el protocolo.

Las tramas que se envían son 3 distintas, una conteniendo los datos resultantes de las mediciones de los sensores, otra que informa la temperatura de la termocupla y valores de tensión y corriente de la batería y una última que incorpora la trama *GPGGA* proveniente del GPS. (Ver Figura 7).

Sensores varios	{{ UNCo P1:9788,T1:1796,Gx:-0.01g ,Gy:+0.03g ,Gz:+1.07g FIN
Termocupla y batería	{{ UNCo TTC:25.07,V:64778,C:9554 FIN
GPGGA	{{ UNCo \$GPGGA,030919.00,3856.38382,S,06802.63822,W,1,08,4.73,291.0,M,22.5,M,,*5D FIN

Figura 7 Estructura de tramas tipo de datos enviadas

Una vez formadas estas tramas la emisión se realiza a través de una de las salidas del dispositivo leyendo de a un bit por ciclo y codificando la señal en NRZI (*Non Return to Zero Inverted*).

Modulador XR2206

En la etapa siguiente la señal llega a la entrada de otro circuito integrado, cuyo nombre comercial es XR2206. Las frecuencias de modulación son calibradas por medio de presets a 1200Hz y 2200Hz que son las requeridas para que el módem/TNC reconozca y demodule la señal recibida en tierra (Ver Figura8).

La provisión de alimentación de este dispositivo se logra mediante la habilitación de una de las salidas del microcontrolador, a través de una configuración con transistores, cada vez que se envía una trama de datos.

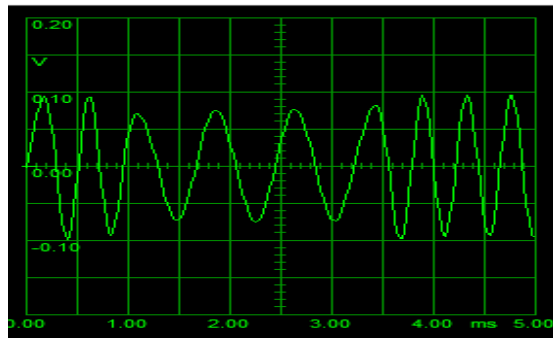


Figura 8 Señal de salida del modulados AFSK

Transceptor de radio

Por último, la salida del dispositivo anterior se conecta a través de un conector Jack con el handy que se encarga de modular y emitir la señal al aire para que su par en tierra la reciba.

Los transceptores de radio utilizados tienen como nombre comercial Alinco DJ-C4, son equipos de mano con una frecuencia de operación desde 430MHz a casi 449MHz y batería de ión de Litio.

Este dispositivo presenta las siguientes ventajas para su utilización en nuestro proyecto:

- Batería independiente de la alimentación del resto de la computadora
- Conector Jack que permite tanto la emisión como la recepción de la señal. Esto resulta verdaderamente útil para el *handy* en tierra que además de recibir la trama de datos debe ser capaz de enviar los tonos DTMF (*Dual Tone Multi Frequency*) para el control.
- Portabilidad y peso reducido.
- A pesar de consistir en un módulo cerrado listo para su uso, el acceso al manejo del PTT (*Push To Talk*) es sencillo. Esto permite comandar la habilitación de la transmisión con un pin del microcontrolador a través de un transistor que conecta a masa el terminal PTT al momento de transmitir cada trama.

6 RECEPCIÓN DE DATOS EN TIERRA.

La demodulación de los paquetes de datos una vez recibidos por el *handy* en tierra se realiza mediante un modem/TNC. Este último dispositivo cuyo nombre comercial Kantronics KPC-3 Plus funciona como interfaz entre el *handy* y la computadora demodulando la señal recibida y transmitiendo los datos a través de un puerto serie bajo protocolo RS232. A partir de allí el tratamiento y presentación de la información se logra con un programa compilado en *Microsoft Visual C#* (Ver Figura 9).



Figura 9 Esquema de sistema de recepción de tramas en tierra

El programa en *Visual C#* dibuja y presenta las curvas correspondientes a cualquiera de las variables medidas a lo largo del tiempo, así como los valores instantáneos de algunas de ellas. Un esquema de un cubo en 3D da una idea de las inclinaciones sufridas por la cápsula en su trayectoria de ascenso. Esto se deriva de cálculos realizados a partir de los valores medidos por el acelerómetro (Ver Figura 10).

Otra importantísima herramienta que proporciona el programa creado es la ubicación en *Google Earth* de los puntos en los que se posiciona la cápsula al momento de la transmisión de cada trama. Esto resultará realmente útil para seguir y recuperar la cápsula a lo largo del experimento (Ver Figura 11).

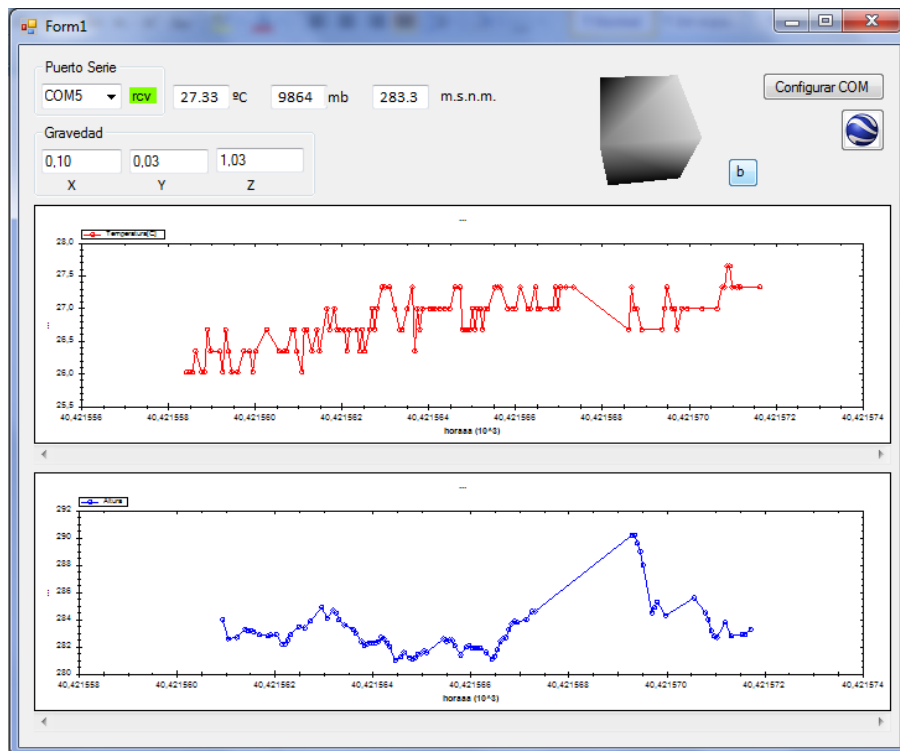


Figura 10 Captura de pantalla de la interfaz en Visual C#



Figura 11 Captura de pantalla de Google Earth con los puntos marcados por el programa en la PC representado los puntos recibidos por la trama GPGGA obtenidos en un ensayo de campo

7 ENVÍO DE CODIGOS DE CONTROL DTMF

Dada la necesidad de manejar a distancia las operaciones del experimento, es que se opta por el envío de tonos DTMF a través del enlace RF (Radio Frecuencia) ya contemplado. Esto resulta ventajoso ya que no hay que agregar otro módulo de comunicaciones.

Los códigos DTMF son una representación de los números decimales compuesta por dos tonos de audio de distintas frecuencias. Para poder interpretar dichos códigos, se implementa, mediante el integrado HT9170, un módulo de decodificación. De esta forma se logra convertir los tonos en señales fácilmente interpretables por el microcontrolador.

Para que el manejo remoto sea seguro, es decir que ninguna persona o fuente de ruido pueda activar alguna de las funciones del experimento es que en el programa se contemplaron las siguientes condiciones de comando:

- Los códigos validos están compuestos por cinco números ingresados de manera secuencial, precedidos por una tecla de borrado (#).
- Cada número deberá ser pulsado por un tiempo no menor a 250ms.
- Por cada número recibido de forma válida, la computadora confirmará dicha acción mediante una trama de aviso.
- En caso de que el código ingresado no sea correcto, la CPU enviará en mensaje: “error de código”, debiendo el usuario repetir los paso antes mencionados.

8 HORNO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

El horno es la pieza de mayor importancia del proyecto, es justamente éste el encargado de la solidificación del estaño en microgravedad. Es por ello que debe estar diseñado de forma tal de permitir que éste se mantenga líquido en el ascenso de la cápsula, y un enfriamiento

repentino en el momento indicado. Siendo estos los dos modos de operación del horno. En el ascenso es necesaria la máxima aislación térmica posible, para garantizar las condiciones impuestas y a la vez minimizar las pérdidas energéticas. Mientras que en el momento de microgravedad el estaño debe poder liberar el calor para poder solidificarse en el tiempo propuesto de 10 segundos, de tomarle más tiempo la gravedad experimentada por la muestra no sería cercana a cero.

El diseño del horno que cumple con las condiciones antes mencionadas está compuesto por un cilindro de poliuretano, dentro del cual se encuentran dos tubos de teflón de distintos diámetros. El tubo más grande (Ver Figura 12 *1) cumple la función de evitar el contacto entre la resistencia de calentamiento (Ver Figura 12 *2) y el aislante. La resistencia se enrolla en el tubo más pequeño (Ver Figura 12 *3), el cual contiene la muestra de estaño. Para lograr una mayor aislación en el momento de ascenso se coloca una tapa como muestra la Figura 12, la cual estará cerrada antes de la caída, y se abrirá justo en el momento de corte del globo, permaneciendo abierto por el resto del experimento.

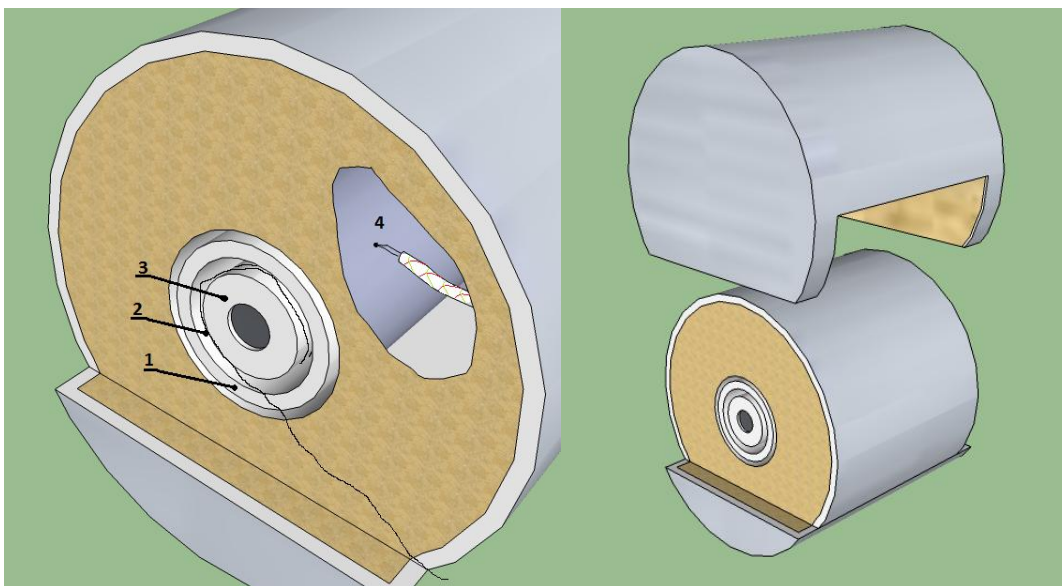


Figura 12 Dibujo tridimensional del horno

El módulo de la computadora encargado del horno está compuesto por un PIC16F88, cuya función es generar una señal PWM (*Pulse Width Modulation*) que alimentará la resistencia. De esta manera la potencia que suministramos al horno es mucho menor que la que consumiría conectado directamente a la batería. También se incorpora una termocupla como muestra la Figura 12 *4. La señal de dicho sensor es amplificada por el integrado AD595A, el cual además de amplificar compensa el efecto de junta fría. La temperatura sensada ingresa por un canal analógico del micro auxiliar, cerrando el lazo con la realimentación para el PWM. Con esto se logra un control de energía necesaria para mantener el estaño líquido en el ascenso. La comunicación entre los micros es por protocolo serie, el PIC auxiliar comunica permanentemente la temperatura al PIC primario, mientras que este inhabilitará el horno en el instante del corte del globo. Este último paso es de vital importancia ya que de no hacerlo el estaño no podrá solidificarse, es por eso que se contempló un método de respaldo mediante un *relay* en serie con la resistencia.

9 ENSAYOS REALIZADOS

9.1 Bajas temperaturas

Se realizó el ensayo a bajas temperaturas debido a que por arriba de los 10000m de altitud, la temperatura desciende por debajo de los -20°C . Para simular estas condiciones se colocó el horno dentro de un frízer cuya temperatura de trabajo es de -18°C , el cual se mantuvo 40 minutos, que es el tiempo estimado de exposición a esas temperaturas.

La finalidad de dicho ensayo era comprobar el adecuado funcionamiento de los componentes y la batería cuando se encuentran sometidos a bajas temperaturas. Pero principalmente se quiso verificar que el puente de estaño sigue en estado líquido gracias al control térmico diseñado.

El resultado de esta experiencia fue sumamente satisfactorio ya que el desempeño del sistema fue óptimo, y también se pudo verificar que el aumento energético demandado por el horno en tales condiciones no superó un 30%.

9.2 Prueba de campo

Otra de las pruebas realizadas apuntó al funcionamiento del sistema de adquisición de datos, envío y recepción de tramas; y la estabilidad de la computadora al movimiento. Dicho ensayo consistió en montar la computadora sobre un vehículo y realizar un recorrido cualquiera. Una estación fija recibía la trama de datos y la información era visualizada a través de una PC, la cual contaba con el programa realizado en Visual C#.

Los resultados se pueden apreciar en una captura de pantalla mostrada a continuación, se aprecia un funcionamiento correcto del sistema, siendo estable a los movimientos. Existen zonas donde la comunicación no se estableció, esto es debido a irregularidades del terreno en el que se desarrolló el ensayo, las cuales se pueden atribuir a la pérdida de enlace óptico. Ésta situación no se espera en el experimento, pues la línea de visión entre los handy no presentará obstáculos.

10 CONCLUSIONES

Dadas las especificaciones de funcionamiento y los ensayos efectuados sobre los componentes, se puede concluir que, *a priori*, la computadora construida puede desempeñar la labor de control y seguimiento del experimento en forma satisfactoria. Ha de ser tenido en cuenta que se trata de una unidad constituida por componentes de clase civil cuyos límites de rendimiento son inferiores a los de clase militar. En función de eso, se ha desarrollado la disposición que se cree mejor para mantener las condiciones de funcionamiento dentro de parámetros aceptables para los semiconductores.

Habiéndose desarrollado como un sistema adaptable para módulos móviles tanto aéreos como terrestres, el globo es solo una de las aplicaciones posibles del proyecto. Resta solamente la prueba en campo mediante la realización del experimento en sí, solo de esta forma se podrá verificar que la computadora desarrollada está a la altura de las circunstancias.

11 REFERENCIAS

Laureano Piris Botalla, Dalibor Fernando Alić, 2009. *Computadoras de a bordo del nanosatélite PehuenSat-1 y del globo estratosférico GLX-4*

Laura Halliday, 2000. *Communications Infrastructure for the MOST Microsatellite Project AX.25 Link Access Protocol for Amateur Packet Radio. Version 2.2. Revision: 11 November 1997*

Hojas de Datos de los componentes utilizados

Manual de Kantronics KPC-3

<http://www.lusex.org.ar/lusex.htm>