

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE SEÑALES SÍSMICAS Y ALMACENAMIENTO DE DATOS DIGITALES, CON UTILIZACIÓN DE LA COMUNICACIÓN USB

Cadena Castillo Andrés Alejandro, Ing.
Tapia Maldonado Juan Carlos, Ing.
Jiménez Jiménez María Soledad, MSc.

Escuela Politécnica Nacional

RESUMEN

Se diseña y construye un prototipo de un sistema de adquisición de señales sísmicas y almacenamiento de datos digitales con la utilización de la comunicación USB.

Tomando como referencia la aplicación se designó un nombre para el sistema completo: GEODAS_USB (GEO = Tierra, DAS = *Data Acquisition System*, USB = Protocolo en el Dispositivo de Almacenamiento Masivo).

El equipo GEODAS_USB es una herramienta portátil de fácil instalación, que será usada por el Instituto Geofísico para el monitoreo sísmico y volcánico en zonas de difícil acceso, donde establecer un enlace de radio para la transmisión de datos sería muy costoso o no factible.

Este equipo fue diseñado e implementado para adquirir datos de un sensor sísmico de tres componentes, sincronizarlos con la hora global, acondicionar las señales recibidas y luego grabarlas en un dispositivo de almacenamiento masivo USB.

ABSTRACT

A seismic acquisition system and a digital recorded system were combined in a new design. This prototype has a USB controller that acts as HOST and manages all the communications specified in the USB protocol.

Taking in account the application of the prototype the name GEODAS_USB (GEO= earth, DAS= *Data Acquisition System*, and USB = *Protocol in the Mass Storage Device*) was given.

The GEODAS_USB is a portable tool of easy installation. This equipment will be used by the Instituto Geofísico to monitor the seismic and volcanic activity in zones with difficult access, where an electromagnetic radio link would be very expensive or impossible to achieve.

1. INTRODUCCIÓN

El equipo GEODAS_USB toma como fuente de señal de entrada un sensor sísmico de tres componentes; estas señales, antes de ingresar a un conversor analógico digital, son acondicionadas con un circuito desplazador de voltaje y un circuito de ganancia variable. Una vez que se tienen los datos digitales se los almacena en una memoria USB.

Las características eléctricas del sismómetro empleado como fuente de información son: voltaje de salida pico –

pico de ± 2.5 V, en el cual la respuesta del sensor es lineal, y sus frecuencias límites de respuesta son 1/20 Hz y 40 Hz.

Se implementa un filtro pasivo pasa bajos con una frecuencia de corte de 50 Hz para garantizar que los datos almacenados sean los generados por la fuente sísmica.

El equipo es capaz de sincronizarse con la hora global y además obtener su posición global por medio de un módulo receptor de GPS. Con esto se garantiza que los datos almacenados son coherentes en tiempo para todas las estaciones, permitiendo un análisis fiable de los datos.

Por medio del controlador AT43USB380 el equipo funciona como *HOST* USB y es capaz de reconocer una gama de dispositivos conectados a su puerto, discriminando entre ellos las memorias USB (*Mass Storage Device*). Una vez establecida la comunicación con el dispositivo conectado, se implementa como capa superior el manejo de archivos utilizando FAT32, grabando así un archivo .GDU que es reconocido por cualquier sistema operativo.

Adicionalmente el equipo es calibrado mediante un software utilizando una interfaz serial RS-232 entre el PC y el prototipo.

2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO GEODAS_USB

Actualmente todos los equipos de monitoreo instalados utilizan un enlace de radio en tiempo real, por el cual se envían los datos registrados por los sensores sísmicos. Normalmente son usados equipos analógicos, los mismos que modulan la señal entregada por el sensor para que pueda ser transmitida al Instituto Geofísico, en donde se recupera la señal sísmica y se la grafica en tambores giratorios, los cuales tienen una capacidad de almacenamiento máxima de un día por cada lámina, las mismas que son almacenadas para llevar un historial del monitoreo.

Debido a que se debe prescindir del enlace de radio que permite vincular una estación con el Instituto Geofísico, el equipo debe ser capaz de: almacenar una gran cantidad de información en una memoria portátil, sincronizar los datos con la hora global, e implementar un control de voltaje en la fuente de alimentación.

2.1 REQUISITOS DE DISEÑO

El equipo debe ser capaz de:

- Admitir tres señales analógicas bipolares provenientes de un sensor sísmico (GEODEVICE FBS-3B) en un rango de $\pm 2.5V$ máximo, con una frecuencia máxima de respuesta de 40Hz.
- Amplificar con ganancias variables por igual a las tres señales analógicas de entrada.
- Mantener un sincronismo de los datos adquiridos con la hora global, para que en el análisis de los datos se pueda correlacionar la información de varias estaciones.
- Registrar su posición global para identificar la fuente de las señales obtenidas.
- Almacenar los datos adquiridos en un dispositivo de almacenamiento masivo.
- Implementar una comunicación hacia un computador para una visualización de las señales adquiridas, con el objetivo de facilitar una calibración del equipo.
- Controlar el consumo de energía en caso de detectar que el nivel de voltaje en las baterías es menor a un nivel crítico, y reestablecer el sistema cuando se alcance un nivel óptimo de voltaje.

Además el equipo debe ser portátil, de fácil instalación y manejo sencillo para su aplicación en el campo.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

Para poder adquirir tres señales analógicas bipolares de baja frecuencia se puede utilizar un convertor tipo Sigma-Delta por su precisión en la cuantificación de los datos a baja frecuencia, en un rango mínimo de 0 a 50Hz. Este convertor debe manejar por lo menos tres canales de entrada multiplexados con un rango dinámico de 5V cada uno; además permitir insertar una etapa de amplificación previa a la conversión de analógico a digital. Por lo que el dispositivo elegido para esta función es el AD7738.

Debido a que el convertor escogido no puede trabajar con voltajes bipolares, se acondicionan las señales del sensor sumándoles un voltaje DC de 2.5V a cada componente. Obligando a que la etapa de amplificación variable también mantenga la misma referencia desplazada.

El sistema debe incluir un dispositivo GPS para la sincronización del equipo con la hora global y para determinar su posición en el planeta. Se escogió el Motorola M12+ debido a su tamaño y bajo costo comercial. Para suplir una falencia encontrada en un pulso por

segundo generado por este GPS, se utiliza el RTC¹ DS1307 el cual se sincroniza con la hora del M12+ llevando una cuenta paralela del tiempo y generando una señal cuadrada confiable a 1Hz.

El dispositivo de almacenamiento masivo escogido fue una memoria flash con acceso USB, debido a su creciente popularidad, su alta velocidad de acceso, su portabilidad, su característica *plug&play*, y la alta capacidad de almacenamiento de datos.

Para el control de la memoria se necesita un dispositivo que implemente las funcionalidades de Host dentro del protocolo USB, debido a que la memoria tiene una naturaleza de Device. Para esto se eligió el controlador AT43USB380.

El microcontrolador principal elegido es el ATmega128L. El cual se encarga de establecer una comunicación con el controlador USB, el módulo GPS y el RTC antes mencionados, y una comunicación con el computador mediante el pòrtico serial.

Debido a que la grabación en la memoria flash conlleva un tiempo máximo de 400ms por cada 600 bytes grabados, la adquisición de datos no puede ser manejada por el ATmega128L, por lo que se utiliza el microcontrolador ATmega16L, para la recolección de datos, realizada a 100Hz.

A continuación se muestra un diagrama de bloques del sistema GEODAS_USB, donde se especifica las configuraciones relevantes en cada dispositivo y el tipo de interfaz de comunicación entre cada uno de los dispositivos.

¹ RTC: *Real Time Clock*: Reloj a tiempo real. Es un circuito integrado diseñado para llevar la cuenta en segundos, minutos, horas, días, meses y años.

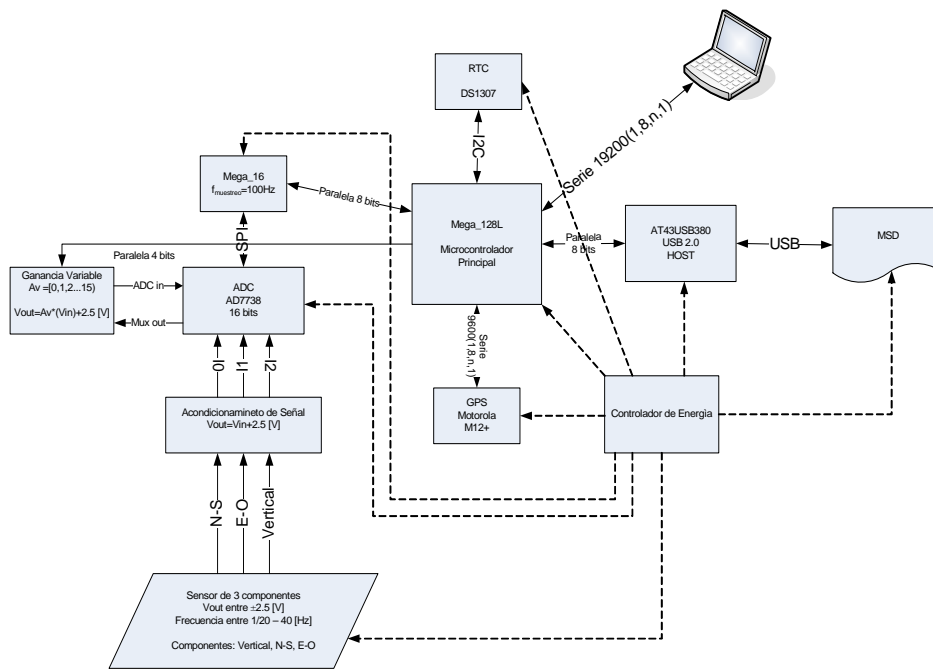
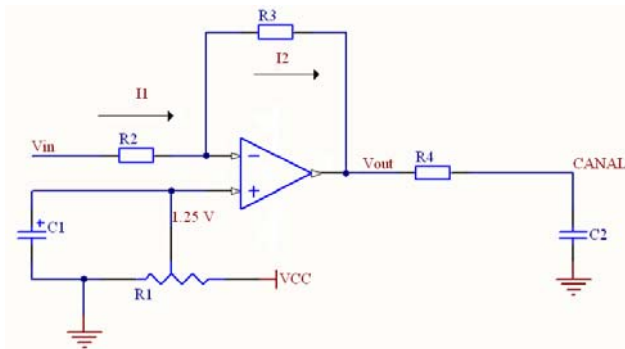


Diagrama de bloques del sistema GEODAS_USB

El bloque Sensor de Tres Componentes representa al sismómetro empleado como fuente de información sísmica. Sus características eléctricas de salida para cada componente son: un voltaje de salida pico - pico de ± 2.5 V en el cual la respuesta del sensor es lineal, sus frecuencias límites de respuesta son 1/20 Hz y 40 Hz.

Como se puede apreciar en el diagrama, el bloque Sensor de Tres Componentes genera las señales de entrada al bloque Acondicionamiento de Señal, el cual tiene la función de desplazar a las señales de entrada desde un nivel de 0V hasta 2.5V. Para esto se utiliza un desplazador de voltaje por cada componente configurado en base a un amplificador operacional de la siguiente manera:



Circuito desplazador de voltaje.

Donde,

$$V_{diferencial} \approx 0V$$

$$\Rightarrow I_1 = \frac{V_{in} - 1.25V}{R_2} \quad \wedge \quad I_2 = -\frac{V_{out} - 1.25V}{R_3}$$

$$I_1 = I_2$$

$$\Rightarrow \frac{V_{in} - 1.25V}{R_2} = -\frac{V_{out} - 1.25V}{R_3}$$

$$\text{Si } R_2 = R_3$$

$$\Rightarrow V_{out} = -V_{in} + 2.5V$$

A la salida del operacional se tiene un filtro pasivo pasa bajos con una frecuencia de corte de 50Hz debido a que la frecuencia de muestreo para cada componente es de 100Hz.

Donde,

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_4 C_2} = 50Hz$$

$$\text{Si } C_2 = 2.2 \mu F$$

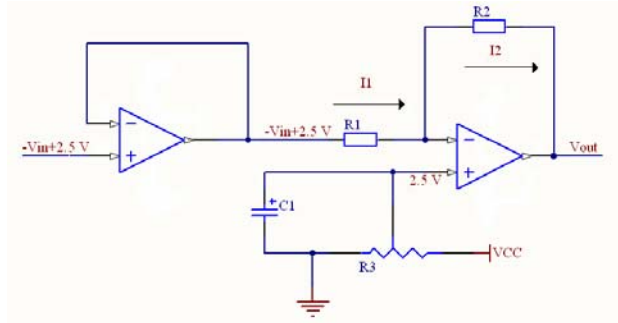
$$\Rightarrow R_4 = \frac{1}{2\pi f_c C_2} = 1446.86 \Omega$$

$$\Rightarrow R_4 = 1.1 K\Omega + 330 \Omega \quad \therefore f_c = 50.59 Hz$$

Como salidas del bloque Acondicionamiento de Señal se tienen los canales 0, 1 y 2, los cuales ingresan al bloque ADC. Internamente el convertor AD7738 tiene un multiplexor analógico de ocho canales (sólo se usan tres

canales). Las señales multiplexadas son accesibles por medio de los pines MUXOUT en donde se incorpora el bloque Ganancia Variable.

El bloque de ganancias tiene una configuración eléctrica que permite amplificar únicamente la componente alterna de la señal de entrada ($V_{in} + 2.5V$) sin distorsionarla. Se utiliza un amplificador de AC de ganancia variable en base a un amplificador operacional configurado de la siguiente manera:



Circuito amplificador AC de ganancia variable.

Donde,

$$V_{diferencial} \approx 0V$$

$$\Rightarrow I_1 = \frac{-V_{in} + 2.5V - 2.5V}{R_1} \quad \wedge \quad I_2 = -\frac{V_{out} - 2.5V}{R_2}$$

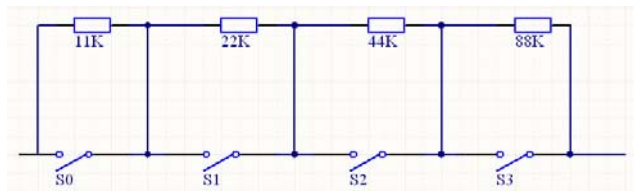
$$I_1 = I_2$$

$$\Rightarrow \frac{-V_{in} + 2.5V - 2.5V}{R_1} = -\frac{V_{out} - 2.5V}{R_2}$$

$$\Rightarrow \frac{-V_{in}}{R_1} = -\frac{V_{out}}{R_2} + \frac{2.5V}{R_2}$$

$$\Rightarrow V_{out} = V_{in} \frac{R_2}{R_1} + 2.5V$$

La resistencia R2 es un potenciómetro digital de 16 pasos, el mismo que está configurado de la siguiente manera:



Potenciómetro digital de 16 pasos.

Para poder controlar la ganancia desde el microcontrolador principal (ATmega128L) se emplea el integrado 4066, el cual contiene cuatro interruptores analógicos internamente.

Este bloque de Ganancia Variable envía la señal unipolar amplificada a los pines ADCIN, que son la entrada del conversor configurado con una ventana dinámica de $\pm 2.5V$ (0-5V) y con una resolución de 16 bits.

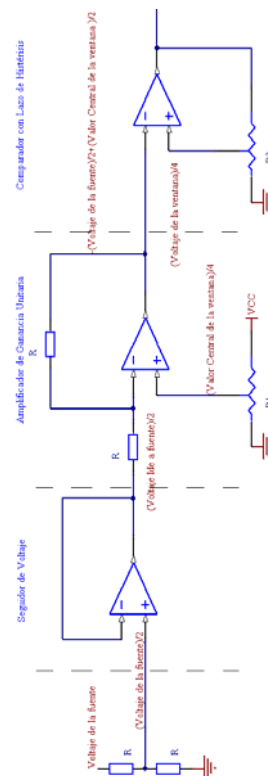
El bloque ADC se comunica con el bloque Mega_16 mediante una interfaz SPI, donde el microcontrolador

ATmega16 administra la comunicación. Las funciones del bloque Mega_16 son las de resetear y configurar al AD7738, además se encarga de pedir datos de los tres canales cada 10ms almacenándolos en su memoria RAM para luego enviarlos al microcontrolador ATmega128L cuando éste lo solicite, utilizando una comunicación paralela de ocho bits.

El bloque Mega_128 contiene al microcontrolador principal (ATmega128L) el cual administra todo los dispositivos del sistema con los que se encuentra vinculado directamente, como son: el GPS Motorola M12+, el RTC DS1307, al controlador AT43USB380, y los bloques de Ganancia Variable y Mega_16.

Además el ATmega128L es capaz de comunicarse con un puerto serial de un computador, el cual selecciona las configuraciones abiertas al usuario como es el nivel de ganancia variable y si los datos adquiridos son enviados por el puerto serial o grabados en la memoria MSD² por medio del controlador AT43USB380.

El bloque Controlador de Energía monitorea el voltaje de la fuente principal y se encarga de la conexión y desconexión de todos los bloques vinculados al mismo. El circuito que permite implementar esta función se detalla a continuación:



Circuito controlador de energía.

² MSD: *Mass Storage Device*: es un medio de almacenamiento de gran capacidad, que es más barato que un disco duro o cualquier unidad de almacenamiento primario.

2.3 PROGRAMA ATmega128L

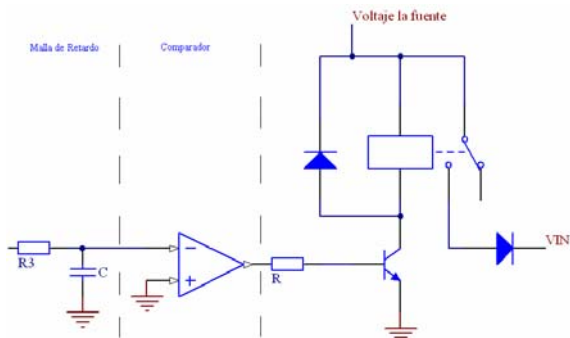
Se toma una muestra del voltaje de la fuente por medio de un divisor de tensión (Voltaje de la fuente/2), y para aislar las impedancias con la etapa siguiente se coloca un seguidor de voltaje.

A continuación con un amplificador de ganancia unitaria y un potenciómetro R1 calibrado a (Valor Central de la ventana)/4 se obtiene un valor diferencial entre el Voltaje entregado por la fuente y el voltaje central de la ventana deseada $(-(\text{Voltaje de la fuente})/2 + (\text{Voltaje Central de la Ventana})/2)$.

Este voltaje diferencial entra a un comparador con lazo de histéresis, en donde el potenciómetro R2 regula el tamaño de la ventana. Esta etapa entrega valores lógicos al microcontrolador ATmega128L, el cual al reconocer una baja de energía del equipo ($-V_{cc}=0L$) se prepara para la desconexión.

La misma señal para la conexión o desconexión llega a un relé pasando por una etapa de retardo, calculado a cinco segundos, lo cual garantiza la desconexión segura del dispositivo USB.

A continuación se tienen el circuito de la etapa de retardo de la señal, el cual utiliza una malla RC como entrada a un comparador, entregando una señal para saturar o abrir un transistor el cual controla al relé.



Circuito controlador de relé.

Hay que aclarar que este sistema no desconecta la fuente de los operacionales, permitiendo mantener el control sobre el voltaje de la fuente, para reiniciar el equipo cuando el voltaje sea el adecuado.

A continuación se describe el programa principal en el ATmega128L con su respectivo diagrama de flujo.

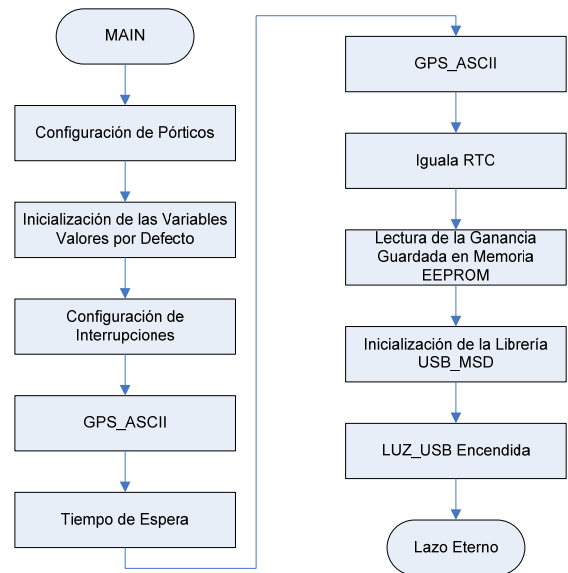


Diagrama de flujo del programa principal en el ATmega128L.

Al iniciar el programa principal se configuran los pines como entradas o salidas de acuerdo a las declaraciones, se asignan valores por defecto a las variables empleadas en el programa principal y se configuran las interrupciones. Luego de esto el programa pide datos al módulo GPS M12+ y verifica que el número de satélites encontrados por el receptor GPS sea al menos cuatro, si esta condición se cumple el programa lee los datos de latitud, longitud y altura.

A continuación el programa espera un tiempo de aproximadamente un minuto y toma el valor de la hora global del GPS M+12 con la que iguala al RTC DS1307, después de esto el RTC genera una señal cuadrada a una frecuencia de 1 Hz, la cual es empleada por el ATmega128L para sincronismo.

Al tener un sincronismo garantizado, se procede a la inicialización de la librería USB_MSD, con lo que se activa el controlador AT43USB380 como *HOST USB* y ahora el equipo es capaz de reconocer cualquier dispositivo USB conectado a su puerto, discriminando para un establecimiento de una comunicación en capa superior, solo las memorias USB (MSD).

A continuación se muestra un diagrama de flujo del lazo eterno.

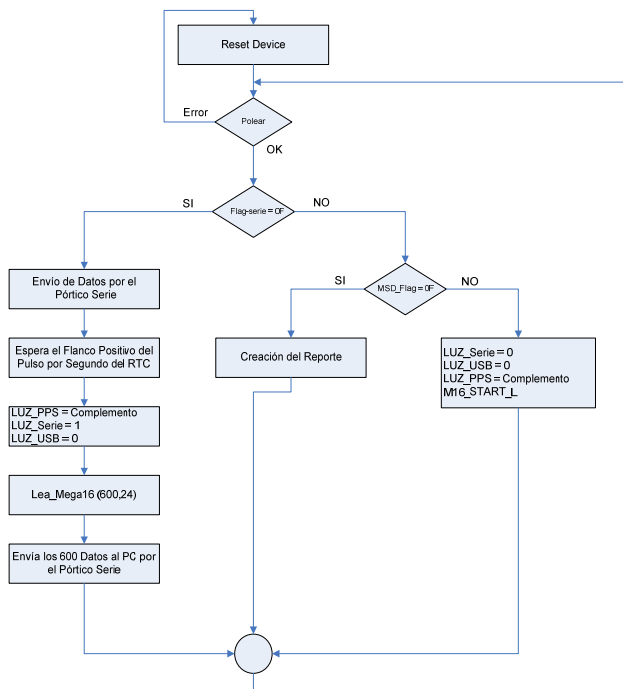


Diagrama de flujo del lazo eterno en el ATmega128L.

Al culminar con los anteriores procedimientos, el programa entra a un lazo eterno, dentro del cual se puede direccionar el flujo del programa con ayuda de banderas, las cuales son alteradas de acuerdo al dato ingresado cuando se genera una interrupción por recepción debido a una transmisión serial provocada por el computador.

El computador puede enviar los siguientes comandos:

- **Comando "T":** el microcontrolador envía como respuesta la "L" indicando que el equipo está conectado al puerto serial.
- **Comando "I":** el microcontrolador responde con una trama de datos la cual contiene la latitud, longitud, altura y un identificador de la estación.
- **Comando "S":** el programa polea los datos del ATmega16L y envía bloques de 600 bytes de datos cada segundo hacia el computador.
- **Comando "M":** el programa polea los datos del ATmega16L y los almacena en la memoria como un archivo binario de extensión GDU.
- **Comando "P":** el programa deja de polear al ATmega16L y no envía datos ni a la memoria ni al puerto serial.
- **Comando "Ganancia":** para este comando se envían datos entre 30h para ganancia de 0 hasta 3Fh para ganancia de 15, estas ganancias se almacenan en la memoria EEPROM del microprocesador.

Los paquetes de 600 bytes contienen 100 muestras cuantificadas a 16 bits correspondientes a los tres canales, organizadas en grupos de seis bytes, dos por cada canal.

A continuación se muestra un diagrama de flujo de la creación del reporte

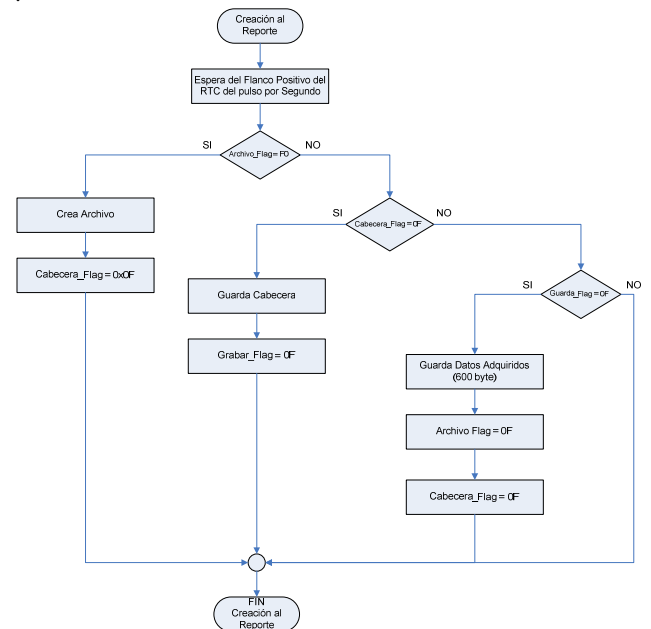


Diagrama de flujo de la creación del reporte.

Cuando se encuentra activado el envío de datos a la memoria USB, el programa busca si existe un archivo creado con el nombre de "GEODAS.GDU" en el caso de no encontrarlo crea un archivo en blanco con el mismo nombre y luego agrega una cabecera la cual se encuentra estructurada de la siguiente forma:

GEODAS_USB V1.0

Posicion

Latitud: 00°08.8949'S

Longitud: 078°27.7640'W

Altura: 02934.5

Fecha: 2006/10/09

Hora: 17:31:59

ID_Estacion: 1

AUTORES:

Andres Cadena

Juan Carlos Tapia

Datos: xxyyzzxxyyzzxxyyzz....xxyyzz

Esta cabecera es agregada al archivo cada vez que se genera una discontinuidad en los datos adquiridos, esto puede suceder por tres motivos: que el computador suspenda la adquisición, que el usuario retire la memoria o que el voltaje en la fuente principal sea menor al fijado en el sistema de control de voltaje.

Debido a que el envío de datos a la memoria USB es continuo, el sistema tiene implementado un pulsante el cual suspende el envío de datos a la memoria garantizando que no exista actividad en la misma cuando el usuario la remueva, con esto se protege la integridad de los datos almacenados.

Se necesita adquirir datos del convertor análogo-digital AD7738 con una frecuencia de 100 muestras por segundo lo cual genera un tiempo entre muestras de apenas 10ms, por este motivo se diseñó un sistema que adquiera los datos durante un segundo los cuales son descargados en paquetes de 24 bytes por cada slot de tiempo libre entre muestra y muestra; como son 24 bytes los descargados desde el ATmega16L al ATmega128L, la descarga de los 600 bytes requiere de 25 slots de tiempo libre con lo que se gana 750 ms para almacenar paquetes de 600 bytes en la memoria o para transmitirlos al computador.

Para aclarar cómo se genera este proceso de adquisición, se presenta un diagrama de tiempos en el cual se indica el tiempo que demora el ATmega16L en recoger los datos de los tres canales del ADC, el tiempo que demora en transmitir los datos hacia el ATmega128L, el tiempo que tarda en transmitir los datos hacia el computador el microprocesador ATmega128L y, el tiempo que demora en guardar los datos en la memoria USB.

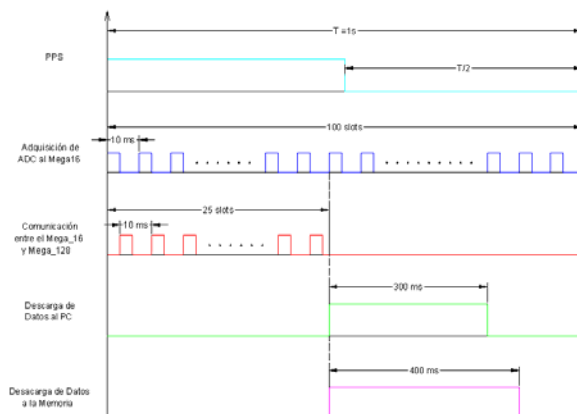


Diagrama de flujo de la creación del reporte.

2.4 PROGRAMA ATmega16L

En este punto se detalla en bloques como está estructurado el programa en el microprocesador ATmega16L. En la primera parte constan las declaraciones de macros y variables globales, esta porción de código sólo se ejecuta una vez al resetear el microcontrolador. En cada bloque de macros se definen los pines del microcontrolador a ser usados en cada una de las diferentes comunicaciones.

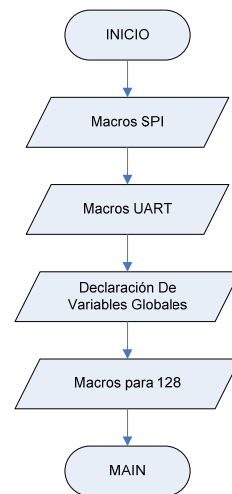


Diagrama de flujo de macros en el ATmega16L.

A continuación se presenta el programa principal; el cual comienza con una configuración de los puertos del microprocesador definiendo si son utilizados como entradas o salidas. Luego se inicializa el convertor AD7738 con un reset generado por medio de un comando para después configurar cada canal con una ventana dinámica de ± 2.5 V, un tiempo de conversión de 36.3 μs y un modo de conversión simple. Para la inicialización del *Timer1* se cargan los valores necesarios para que éste genere una interrupción cada 10 ms. En la última parte de la configuración están las interrupciones, las cuales son habilitadas para su comunicación con el ATmega128L y para el muestreo de las señales por medio del convertor. A partir de este momento el ATmega16L se encierra en un lazo infinito, en el cual sólo valida un flanco positivo en la señal CKL_128 para copiar un byte desde RAM hacia el pòrtico de salida de datos.

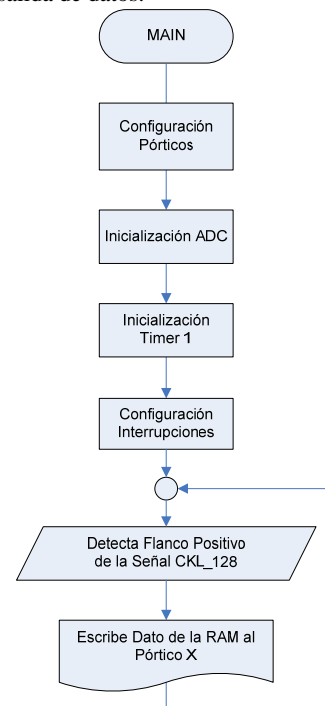


Diagrama de flujo del programa principal en el ATmega16L.

La interrupción externa es configurada por flanco positivo para un inicio del *Timer1*, como se observa en el siguiente diagrama.

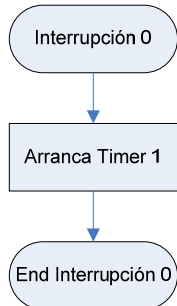


Diagrama de flujo de la interrupción externa en el ATmega16L.

Por último se incluye el bloque de código que es ejecutado en la interrupción del *Timer1* a 100 Hz. Aquí primero se carga el valor en el *Timer1* para que siga contando, y luego se leen desde el convertor los datos de cada canal, los cuales son almacenados en RAM.

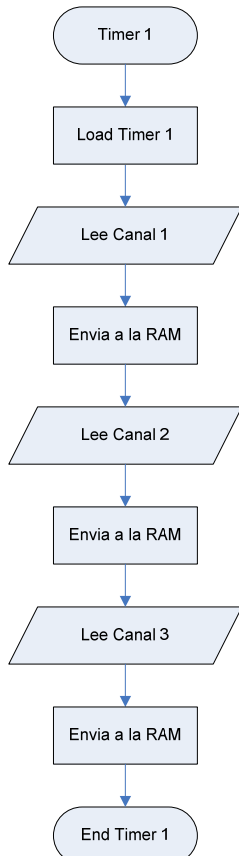
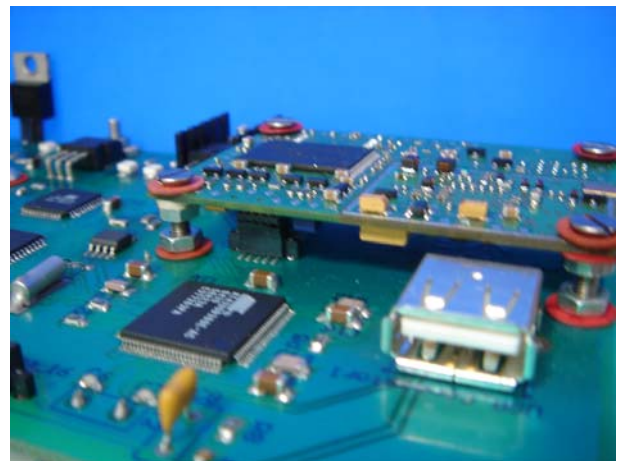
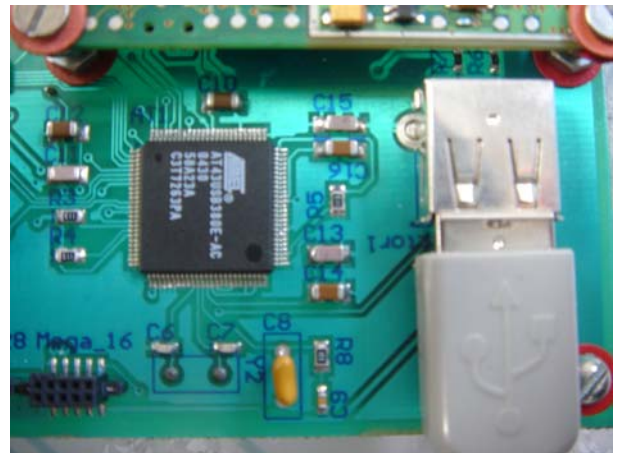
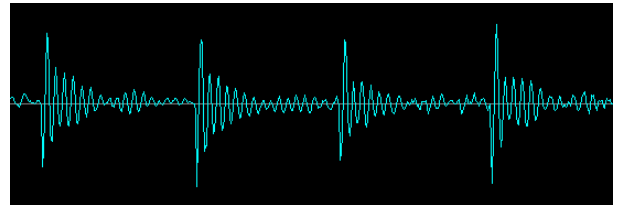
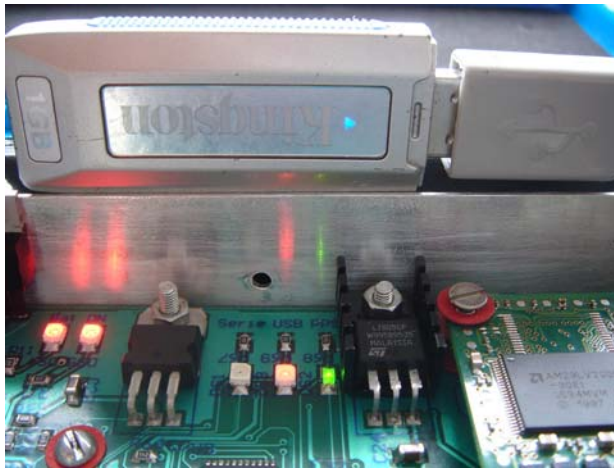


Diagrama de flujo de la interrupción del *Timer1* en el ATmega16L.

3. RESULTADOS DEL PROYECTO

En esta sección se presenta el equipo culminado y las señales obtenidas en el mismo.





3. CONCLUSIONES

En la construcción del equipo GEODAS_USB se emplearon elementos eficientes y de bajo costo, además la alta calidad alcanzada en el circuito impreso permite minimizar el impacto del ruido eléctrico.

El resultado del eficiente trabajo de diseño y construcción hace que el equipo GEODAS_USB sea portátil y de muy sencilla instalación y manejo, facilitando el trabajo del personal del Instituto Geofísico en su continua labor de mitigar el impacto de los desastres naturales en nuestro país.

Una de las ventajas de los dispositivos que tienen incorporado el protocolo USB es su característica *plug&play*, por lo tanto, no se requiere que el sistema que actúa como *Host* sea reiniciado cada vez que se conecte un dispositivo USB, sino que lo reconoce y se configura para establecer la comunicación con dicho dispositivo.

Uno de los dispositivos más difundidos son las memorias flash USB (*memory stick*), debido a su bajo costo, reducido

tamaño y gran capacidad de almacenamiento, actualmente llegan hasta capacidades de 4 Gbytes de datos.

La velocidad de transmisión en el protocolo USB varía de acuerdo a la versión de la especificación, la versión 1.1 maneja velocidades de 1.5Mbps y 12Mbps, la versión 2.0 maneja velocidades de 1.5Mbps, 12Mbps y 480 Mbps.

El consumo de corriente en un sistema digital es proporcional a la velocidad de procesamiento del mismo.

En capa física el protocolo USB es un protocolo balanceado, utiliza dos líneas de datos (D+ y D-), además el receptor decodifica un dato diferencial lo cual ayuda a eliminar el ruido que se pueda introducir en el cable.

En protocolo USB emplea una codificación de línea NRZI con relleno de bits para evitar cadenas largas de unos, provocando mayores transiciones en la señal codificada, mejorando así el sincronismo.

El protocolo USB en capa enlace es desbalanceado, definiendo un sistema maestro (*HOST*) y un sistema esclavo (*DEVICE*), por este motivo el canal de transmisión es administrado por el *HOST*.

Para la detección de errores el protocolo USB emplea un campo *CRC*, si se detecta un error empleando un modo de transmisión confiable se pide retransmisión.

El protocolo USB puede implementar cuatro modos de transmisión de los cuales tres son confiables (*Bulk*, *Interrupción* y *Control*) y uno no confiable (*Isócrono*).

Cuando un dispositivo USB es conectado al bus pasa por los siguientes estados: polarizado, reseteado, direccionado y configurado.

Para que el *HOST* USB pueda determinar cómo debe administrar la comunicación con un cierto dispositivo conectado a su puerto, pide los descriptores mediante el *endpoint* de control, en ellos se indica información del dispositivo como por ejemplo: modo de transmisión, corriente máxima de consumo, período de poleo, número de *endpoints* empleados, etc.

Para poder crear un archivo en la memoria que pueda ser interpretado por el sistema operativo de un computador, se requiere de un sistema de manejo de archivos conocido como *FAT* (Tabla de asignación de archivos).

Existen varias versiones de *FAT* como son *FAT12*, *FAT16* y *FAT32*, la diferencia más significativa entre ellos es la cantidad de bytes por cluster que manejan; para volúmenes de alta densidad se emplea *FAT32*, el cual genera el menor número de bytes por cluster.

Para triangular una señal espacial se requiere de al menos tres puntos conocidos; pero si se toma en cuenta una variable adicional, como es el tiempo de propagación de la señal en distancias grandes, se requiere un mínimo de cuatro puntos.

El controlador AT43USB380 internamente tiene dos microcontroladores, uno implementa las capas física y enlace del protocolo USB, y el otro gestiona la interfaz de comunicación con un microcontrolador externo.

Para que el AT43USB380 trabaje, se necesita descargar un programa por cada microcontrolador interno, este proceso se realiza cada vez que es inicializado el controlador.

El AT43USB380 tiene un bus de ocho bits para dirección y un bus variable para datos (8,16 o 32 bits).

Los microcontroladores AVR utilizados presentan grandes ventajas como son: gran capacidad de memoria de programa, pueden ser grabados en la placa, tienen memoria EEPROM interna; existen compiladores en lenguaje de alto nivel para programarlos, son veloces (1 ciclo de máquina = 1 ciclo de reloj) y trabajan en un rango de voltaje de polarización de 2.7 a 5 V.

Un convertor *Sigma-Delta* tiene un mejor rechazo al ruido de entrada para la cuantificación, pero es lento comparado con convertidores veloces, como uno de rampa. Esto limita a este tipo de convertor a trabajar en un rango de frecuencias bajas.

Con un arreglo de resistencias en ponderación binaria y *switches* analógicos (4066), se puede obtener un potenciómetro digital de avance lineal, que al formar parte de un amplificador provoca una variación de la ganancia, proporcional al valor del potenciómetro.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Universal Serial Bus Revision 2.0 specification (<http://www.usb.org/developers/docs/>)
- [2] Mass Storage Bulk Only 1.0 (http://www.usb.org/developers/devclass_docs#approved)
- [3] Understanding FAT32 Filesystems (<http://www.pjrc.com/tech/8051/ide/fat32.html>)
- [4] GPS Global Position System (<http://www.geocities.com/puertoweb1/gps.html>)
- [5] Sismógrafos mecánicos y electromagnéticos (<http://www.ssn.unam.mx/SSN/instrumentacion1.html>)
- [6] AT43USB380 Datasheet complete (<http://www.atmel.com/products/usb/forms/splashes.asp#380>)
- [7] ATmega128L (http://www.atmel.com/dyn/products/product_card.asp?family_id=607&family_name=AVR+8%2DBit+RISC+&part_id=2018)

[8] ATmega16L (http://www.atmel.com/dyn/products/product_card.asp?family_id=607&family_name=AVR+8%2DBit+RISC+&part_id=2010)

[9] M12+ Oncore Users Guide (<http://www.synergy-gps.com/content/view/35/60/>)

[10] DS1307 Datasheet (http://www.maxim-ic.com/quick_view2.cfm/qv_pk/2688)

[11] AD7738 Datasheet (<http://www.analog.com/en/prod/0,2877,AD7738,00.html>)

[12] AT43USB380 Integration Guide (<http://www.atmel.com/products/usb/forms/splashes.asp#380>)

[13] AXELSON, Jan, USB Complete: Everything You Need to Develop Custom USB Peripherals, Segunda Edición.

[14] AT43USB370/380 USB Preprocessor Library Software Development Guide for Host Mode (<http://www.atmel.com/products/usb/forms/splashes.asp#380>)

[15] HORENSTEIN, Mark, Circuitos y Dispositivos Microelectrónicos, Pretince-Hall Hispanoamericana, Segunda Edición, Mexico, 1997.

[16] LT1083-Fixed – 7.5 A Low Drop Positive Fixed Regulator (<http://www.linear.com/pc/productDetail.do?navId=H0.C1.C1003.C1040.C1055.P1278>)

[17] JAMSA, Kris, Aprenda c++ paso a paso, Editorial Alfaomega, Segunda Edición, México, 1997.

[18] AVR Product Line Introduction (<http://www.atmel.com/products/avr/overview.asp>)

[19] HYDE, John, USB Design by Example, Segunda Edición, 2004.

5. BIOGRAFIAS



CADENA CASTILLO ANDRES ALEJANDRO.- Nació en Quito, Ecuador el 1 de enero de 1983. Obtuvo el título de Bachiller en Ciencias en el Colegio San Gabriel de Quito en el 2000. Sus estudios superiores los realizó en la Escuela Politécnica Nacional en Quito, obteniendo su título, en Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones en el 2007.

Actualmente se encuentra asignado en Poza Rica-México como Ingeniero de Campo para Drilling and Measurements Schlumberger.



TAPIA MALDONADO, JUAN CARLOS.- Nació en Quito, Ecuador el 26 de abril de 1982. Obtuvo el título de Bachiller Técnico en Electrónica Industrial en el Colegio Técnico Don Bosco de Quito en el 2000. Sus estudios superiores los realizó en la Escuela Politécnica Nacional en Quito, obteniendo su título, en Ingeniería en Electrónica y

Telecomunicaciones en el 2007. Actualmente es Gerente de su empresa SILTTEC.

JIMÉNEZ JIMENEZ, MARÍA SOLEDAD.- Obtuvo el título de Ingeniera en Electrónica y Telecomunicaciones en la Escuela Politécnica Nacional en marzo de 1988. Realizó sus estudios de postgrado en la Universidad de Texas & Arlington, donde obtuvo el título de *Master of Science in Electrical Engineering* en mayo de 1994. Se desempeña como profesora principal a tiempo completo del Departamento de Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de Información de la EPN. Dicta cátedras a nivel de pregrado y postgrado en las áreas de telecomunicaciones y afines.