

# TELEMETRIA DE EVENTOS SISMICOS

## Adquisición de Datos, Almacenamiento y Transporte

Narváez, Pablo Rodrigo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> UCASAL, Facultad de Ingeniería, IESIING Salta capital, Salta, Argentina

efeparo@yahoo.com.ar

**Resumen**— En el presente trabajo se muestran los avances de un proyecto de desarrollo en curso, que tiene como objetivo dotar al Valle de Lerma, donde se asienta la Ciudad de Salta de una red de Vigilancia Sísmica Continua (RVSC). La misma constará de cuatro estaciones de tres componentes, empleando geófonos Mark L4, para lo cual se deberá desarrollar el sistema de adquisición de datos y su posterior transmisión de forma inalámbrica a la estación base.

En este informe se detalla el sistema de adquisición de datos y su transporte, desarrollado sobre una plataforma microcontrolada.

**Palabras Clave**— microcontrol, telemetría, almacenamiento, sismos, geófono.

### 1. INTRODUCCIÓN

La Ciudad de Salta se ubica en el sector Noroeste del Valle de Lerma, una depresión rellena con mantos cuaternarios y rodeada de cerros de edad cenozoica (al este) y terciaria (al oeste). Según la clasificación del Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES), la región corresponde a la Zona 3 (sismicidad moderada a intensa).

El INPRES tiene varias estaciones de acelerómetros ubicadas en el Valle, que se activan con sismos intensos, tal como el que se produjo el 27 de Febrero de 2010.

La red diseñada constará de 4 estaciones de tres componentes, con monitoreo continuo, registrando la actividad sísmica de la región, a fin de definir y caracterizar fuentes cercanas a la ciudad. La presente red constará con la posibilidad de comunicación inalámbrica con una estación base a modo de poder visualizar los datos de forma remota y de monitorear a la estación que se requiera por el observador en tiempo real. La misma constará con almacenamiento de datos insitu, en una tarjeta de memoria, en caso de perderse la conexión con base o por estar congestionada la red; De esta manera se asegura el registro continuo, los mismos pueden ser luego transmitidos a base o ser leídos en el lugar.

### 2. ADQUICION DE DATOS

Un paso importante en el desarrollo es diseñar y seleccionar la mejor opción electrónica para la adquisición de los datos provenientes de los geófonos Mark L4 y su posterior transporte de forma inalámbrica. El sistema se puede dividir en los siguientes bloques constitutivos (Fig. 1):

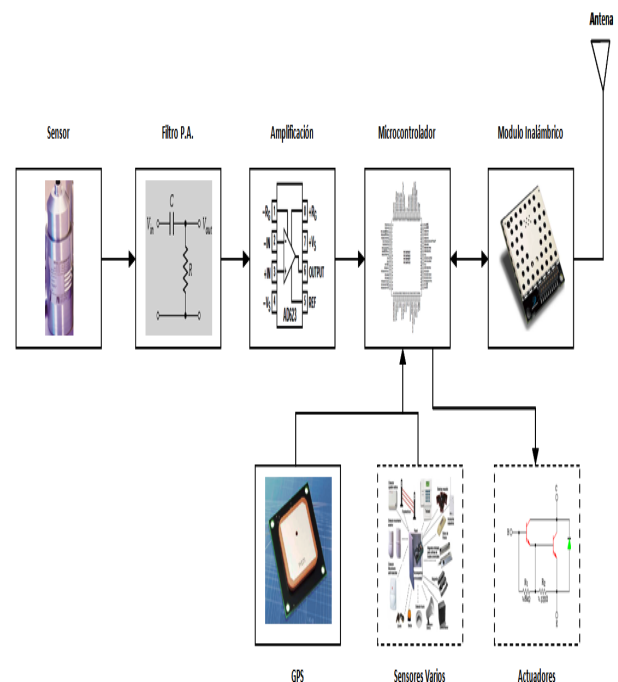


Figura 1. Sistema completo

Los datos obtenidos del sensor son filtrados y amplificados para luego ser convertidos a formato digital y así enviados al módulo inalámbrico para su posterior transmisión a la estación base, que es la encargada de tratar los mismos, procesarlos y realizar su representación grafica correspondiente.

#### 2.1 Sensor

De forma general los geófonos de péndulo tienen una salida proporcional a la velocidad relativa de sus elementos.

Los sensores sísmicos se clasifican en base a la respuesta de frecuencia que éstos tengan, y se clasifican en tres clases:

**Corto periodo.-** Este tipo de sismómetro está caracterizado por tener una respuesta en velocidad normalmente plana en el rango de frecuencia entre 1 y 50 Hz (donde se sitúa la sismología de corto periodo). Su respuesta en frecuencia y sobre todo su rango dinámico hace a este tipo de instrumento ideal para el estudio de sismicidad local de magnitud moderada a baja, pero no para energías grandes, pues se suele producir la saturación mecánica del instrumento (señal fuera del rango de trabajo del sensor).

Dentro del mercado de este tipo de sismómetros podemos diferenciar al menos dos tipos de sensores, los denominados sismómetros de prospección y los sismómetros estándar de aplicación para el estudio de microterremotos.

**Banda ancha.-** Aunque en la mayoría de las situaciones el contenido de frecuencias de las señales se centra en el denominado corto periodo, hay casos en los que existen señales a menor frecuencia que 1Hz, como por ejemplo, señales asociadas por cámaras magmáticas.

**De movimiento fuerte.-** Utilizados para detectar movimientos de mediana o fuerte magnitud, no resulta ser una necesidad habitual el registro en aceleración de las señales sísmicas en volcanes, sobre todo porque la energía que se pone en juego es, en comparación con situaciones tectónicas, mucho menor, por lo que los niveles de aceleración del suelo están en los umbrales de detectabilidad de este tipo de instrumentos. Por tanto, el uso de sensores de movimiento fuerte (acelerógrafos) no resulta ser una práctica muy extendida en la sismología volcánica.

**2.2 Estructura Interna**

El geófono de péndulo está formado por una estructura sólida, cuya base contiene un imán permanente para generar un campo magnético constante. El péndulo es la parte móvil y está formado por una masa sísmica con una bobina, unidas a la estructura del sensor a través de un resorte.

El movimiento relativo del péndulo dentro del campo magnético constante, generado por un electroimán, se mide en la mayoría de casos a través de un sensor de velocidad, el cual convierte la energía mecánica proveniente de las ondas sísmicas en señal eléctrica. La Fig. 2 muestra en forma esquemática éste sensor [1].

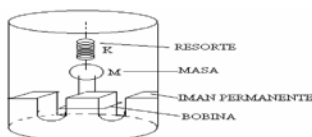


Figura 2. Componentes de un geófono.

El amortiguamiento magnético depende de la resistencia externa equivalente. En la Fig. 3 se presenta el circuito eléctrico equivalente deseado para el funcionamiento del geófono, con un amortiguamiento determinado por la resistencia RS.

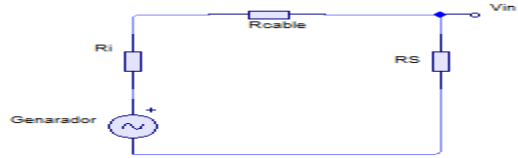


Figura 3. Diagrama electrico equivalente.

En la Fig. 4 se observa la forma de respuesta que se espera obtener (Vin) cuando a la masa del geófono se le dé una posición inicial Z(0) y se la deja oscilar.

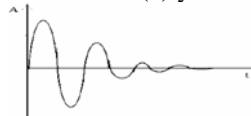


Figura 4. Respuesta Subamortiguada.

Determinando los valores cuando ocurren los picos máximos y los mínimos de la señal de salida, se puede obtener el coeficiente de amortiguamiento β, así [2]:

$$\beta = \left[ \left( \frac{\pi}{\lambda} \right)^2 + 1 \right]^{\frac{1}{2}} \tag{1}$$

Despejando λ:

$$\lambda = \frac{\beta\pi}{\sqrt{1 - \beta^2}} \tag{2}$$

λ es justamente el coeficiente de amortiguamiento del geófono. Esto quiere decir que se calcula el coeficiente de amortiguamiento de acuerdo a las condiciones propias de cada geófono.

El geófono utilizado Mark L-4C (Fig. 6) es un geófono de periodo corto con repuesta lineal en frecuencia de 2hz a 20hz, a continuación se presenta la respuesta del geófono proporcionado por el fabricante.

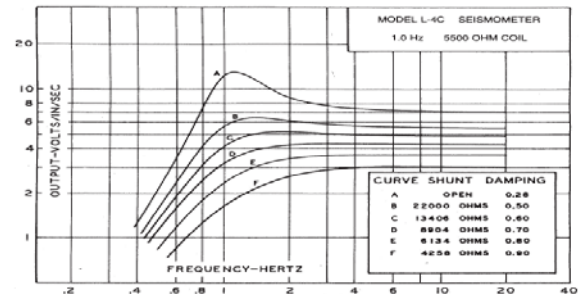


Figura 5. Curva de respuesta del geófono.

Además el fabricante proporciona la expresión para el cálculo del factor de amortiguamiento o damping el cual es:

$$bt = bo + bc \tag{3}$$

donde

$b_o = 0.28$  damping a circuito abierto.  
 $b_c = (1.1 * R_i) / (R_s + R_i)$  (4).  
 $R_i =$  resistencia interna ( $5500\Omega$ )  
 $R_s =$  resistencia damping ( $8880 \Omega$ ).

Lo cual resulta en un factor de amortiguamiento de:  
 $b_c = 0,42$

De la curva de respuesta (**Fig. 5**) se seleccionó la curva D, tener respuesta más plana en frecuencia a partir de 2 a 20 hz. y la cual nos proporciona el factor de amortiguamiento 0,7 que corresponde a una respuesta subamortiguada optima.[1]

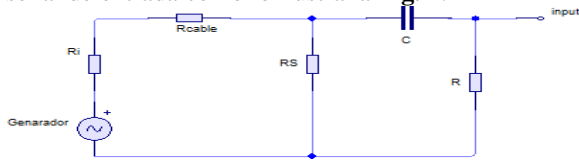
El factor de conversión de volt/inch/seg es de 170Volt/m/seg. para la zona lineal de la curva D.



**Figura 6.** Geófonos utilizados.

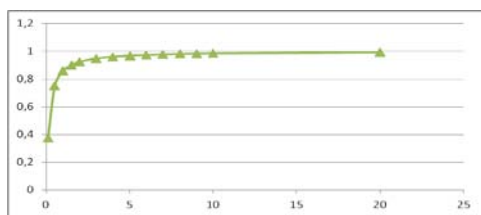
### 3. FILTRO

Esta etapa está conformada por un filtro pasa alto para resolver los problemas del nivel medio de la señal de entrada como lo ilustra la **Fig. 7**.



**Figura 7.** Filtro implementado.

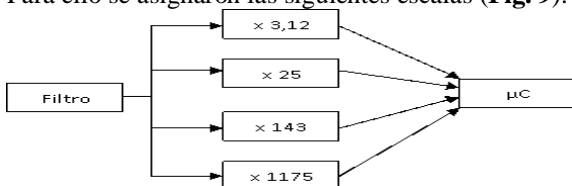
El filtro está constituido por C y R1 los cuales fueron seleccionados para que la atenuación fuera mínima en baja frecuencia, menos de 3db por debajo de los 2hz, cuya respuesta es la siguiente (**Fig. 8**):



**Figura 8.** Respuesta del filtro.

### 4. AMPLIFICADOR

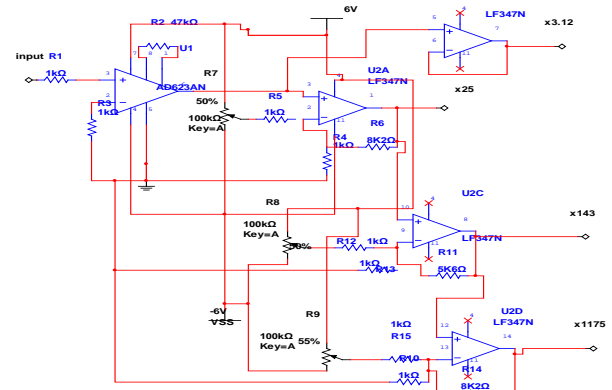
Una vez que la señal fue previamente filtrada la misma es amplificada en distintas escalas para poder luego ser aplicadas al microcontrolador el cual realizará la tarea de la conversión analógico digital. Para ello se asignaron las siguientes escalas (**Fig. 9**):



**Figura 9.** Escalas de amplificación.

Las escalas fueron seleccionadas para barrer toda la respuesta en frecuencia del geófono. La salida que proporciona el geófono con su respectiva resistencia de damping, es de aproximadamente 32mv/cm/seg. a 1,7v/cm/seg (datos provistos por el fabricante a través de la curva de respuesta del geófono) [10].

El circuito amplificador está conformado por un amplificador de instrumentación AD623[7] y una posterior amplificación mediante el empleo de amplificadores operacionales LF347[8], como muestra la **Fig. 10**.

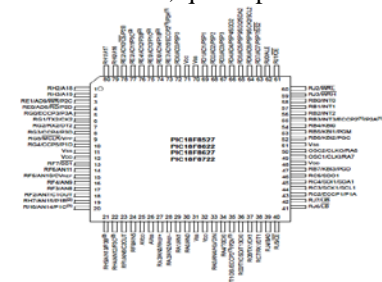


**Figura 10.** Circuito de amplificación.

### 5. MICROCONTROLADOR

El microcontrolador es el encargado de realizar la conversión analógico a digital de las señales provenientes del circuito amplificador, para luego ser transmitidas al módulo inalámbrico. El microcontrolador seleccionado es el Pic18F8722 que es un microcontrolador de la gama media de Microchip. El mismo se seleccionó por el número de patitas disponibles y sus prestaciones. Cada componente es un geófono, de la cual se obtienen 4 escalas, por lo tanto al ser tres componentes se necesitarán 12 entradas disponibles [6].

Además de las 12 entradas utilizadas para las escalas, se necesitaran otras para la conexión del microcontrolador con la tarjeta de memoria (SD/MMC), un módulo GPS, entradas y salidas para el control de carga de la batería, que alimenta toda la electrónica y de algunos sensores más (temperatura, humedad, etc.); todo ello justificó la elección de dicho microcontrolador, que se presenta en la **Fig. 11**.



**Figura 11.** Microcontrolador Pic18F8722 [6].

El convertor analógico-digital es un convertor de aproximaciones sucesivas de 10 bits con 16 canales disponibles para el ingreso de señales, el tiempo de conversión es de 83µseg y la frecuencia de conversión máxima es de 12Khz la cual se ve reducida aproximadamente 8Khz por las demás tareas que el microcontrolador se encuentra realizando como la transmisión serie. La misma es superior a la frecuencia requerida por el teorema del muestreo que es de 40hz.

## 6. ALMACENAMIENTO

El almacenamiento de los datos provenientes del microcontrolador se realiza en una tarjeta de memoria de estado sólido SD/MMC o microSD.

Las tarjetas SD poseen 9 pines, de los cuales uno es de reloj (CLK), otro es para los comandos, cuatro son de datos y los tres restantes son de alimentación como se muestra en la tabla 1; Para la MMC son 7 pines; La única diferencia respecto a la SD es que posee sólo dos pines para datos.

El rango de voltaje de alimentación permitido es de 2.7 a 3.6 V.

Internamente, la tarjeta posee chips de memoria flash como medio de almacenamiento. Además posee un controlador inteligente que maneja los diferentes protocolos de comunicación, algoritmos de seguridad para la protección contra copia no autorizada de información almacenada.

A continuación se presenta en las Fig. 12 y 13 la disposición de los pines de conexión de la tarjeta SD [3]:

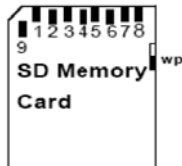


Figura 12. Tarjeta SD [3].

Pin	Name	Type	SD Description
1	CS/DAT32	I/O3	Chip Select/Data Line [Bit 3]
2	CMD/DI	I/O	Command/Data In (SPI)
3	VSS1	S	Supply voltage ground
4	VDD	S	Supply voltage
5	CLK	I	Clock
6	VSS2	S	Supply voltage ground
7	DAT0	I/O	Data Line [Bit 0]
8	DAT1	I/O	Data Line [Bit 1]
9	DAT2	I/O	Data Line [Bit 2]

Figura 13. Descripción de pines[3].

### 6.1 Comunicación

Si bien las tarjetas SD/MMC aceptan por lo general dos protocolos de comunicación el empleado en el desarrollo del presente trabajo es el protocolo SPI ya que el microcontrolador dispone de dos módulos para el manejo de dicho protocolo.

### 6.2 Protocolo SPI

Para su implementación necesita solo cuatro líneas de comunicación:

1. SCLK: Señal de reloj (CLK).
2. MOSI: Máster Output, Slave Input. (DATA OUT).
3. MISO: Máster Input, Slave Output (DATA IN).
4. SS: Slave Select (CS).

La memoria recibe los datos y los comandos por DATA IN y envía datos por DATA OUT [4]. Para habilitar la tarjeta se debe poner en nivel bajo el Terminal CS. La señal de CLK que se envía desde el PIC18F8720 es la que establece la velocidad de la comunicación [6].

### 6.3 Tipo de conexión

Si bien el protocolo SPI soporta varios tipos de conexión, en el presente trabajo se optó por la conexión de un maestro (microcontrolador) y un esclavo (tarjeta).

En este caso la comunicación es sencilla, ya que los dispositivos estarán conectados sin interrupción y transmitiéndose los datos entre ellos sin esperar más que a la señal de reloj que habilite este proceso. Por lo tanto, la señal de SS siempre está activa (nivel bajo) hasta que no haya más datos que transmitir y se finalice la conexión como muestra la Fig. 14.

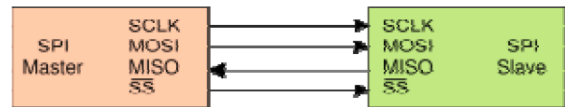


Figura 14. Conexión M/S[3].

### 6.4 Formato de Comandos

La secuencia de comandos para la tarjeta en modo SPI consiste de 6 Bytes tal como se ilustra en la Tabla 1 [4].

Tabla 1. Secuencia de comandos SPI

Byte 1			Byte 2 - 5			Byte 6	
7	6	5	31	30	29	7	0
0	1		Comand	Comand	CRC	1	

El primer byte es el comando (escritura, lectura etc.).

Del segundo byte al quinto son datos adicionales, por ejemplo dirección.

El sexto byte es un byte de verificación.

### 6.5 Comandos

La memoria contiene varios comandos que funcionan por comunicación SPI, por ejemplo.

1. Reset de la memoria comando 0 (CMD0).
2. Inicialización de la memoria comando 1 (CMD1).
3. Configuración del bloque de 512 bytes comando16 (CMD16).

4. Escritura de un bloque de 512 bytes (CMD24).
5. Lectura de un bloque de 512 bytes comando 17 (CMD17).

Una vez enviado el respectivo comando, la memoria responde por medio de un registro llamado R1 (Fig. 15) indicando si hubo un error o si todo está bien [4].

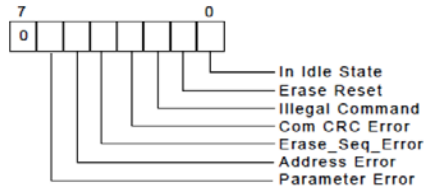


Figura 15. Registro R1.

La memoria debe responder con 0x00 para todos los comando antes mencionados, pero para el comando 0 (CMD0) la memoria responde con 0x01 debido a su estado inicial.

## 7. GPS

El modulo GPS empleado para la obtención de los datos es el modulo Smart GPS antenna A1035-D. El cual posee comunicación serie y el formato de sus datos es según el estándar NMEA. La velocidad de transmisión empleada para la conexión del módulo con el microcontrolador es de 4800 baudios.

Los datos enviados al microcontrolador son la hora UTM, la latitud, la longitud, la fecha, la altitud, cantidad de satélites y el fix. Para lo cual se conforma un trama de 28 bytes de longitud conforme se explica en el punto 8.4.

Para la obtención de los datos se emplea el mensaje GGA como se muestra en la siguiente Fig. 16 [9].

Name	Example	Unit	Description
Message ID	\$GPGGA		GGA protocol header
UTC Time	002153.000	hhmmss.sss	
Latitude	3342.661E	ddmm.mmm	
N/S Indicator	N	N=north or S=south	
Longitude	11751.385E	dddmm.mmm	
E/W Indicator	W	E=east or W=west	
Position Fix Indicator	1		See Table 1-4
Satellites Used	10	Range 0 to 12	
HDOP	1.2		Horizontal Distortion of Precision
MSL Altitude	27.0	meters	
Units	M	meters	
Geoid Separation	34.2	meters	Geoid to ellipsoid separation. Ellipsoid altitude = MSL Altitude + Geoid Separation.
Units	M	meters	
Age of Diff Corr.		sec	Null fields when DGPS is not used
Diff. Ref. Station ID	0000		
Checksum	*5E		
<CR> <LF>			End of message termination

Table 1-4 Position Fix Indicator

Value	Description
0	Fix not available or invalid
1	GPS SPS Mode, fix valid
2	Differential GPS, SPS Mode, fix valid
3-5	Not supported
6	Dead Reckoning Mode, fix valid

Figura 16. Mensaje GGA

## 8. TRANSPORTE DE DATOS

Los datos almacenados en la tarjeta son leídos por el microcontrolador y luego enviados al módulo

inalámbrico mediante la comunicación serie TTL. El módulo seleccionado es el AC4490 de Aerocom, ya que el mismo posee comunicación serie, tiene un alcance de 65km, posee 56 canales de transmisión y una velocidad de transmisión por aire de 78kbps.

### 8.1 Conexión

Debido a que el presente módulo inalámbrico presenta tres modos de operación: una mediante comandos AT y las otras dos de transmisión y recepción de datos. Las últimas dos formas de operación generalmente se la conoce como transparente.

La modalidad empleada en el presente trabajo es la modalidad transparente, la cual permite transmitir los datos sin la necesidad de la transmisión de un dato adicional por el microcontrolador.

El modo comando AT se puede configurar de forma inalámbrica; en caso de ser necesario la modificación de algunas características de funcionamiento del módulo.

Las distintas características extras que posee el modulo originan que el mismo disponga de unas 20 líneas de conexión con el mundo exterior.

Como se observa en la figura el módulo posee una alimentación de 3,3v-1,3amp. y el microcontrolador seleccionado una alimentación de 5v, esto hace que se necesite de un soporte electrónico para ello, además de la configuración electrónica externa al módulo para su configuración básica como se observa en la siguiente Fig. 17.

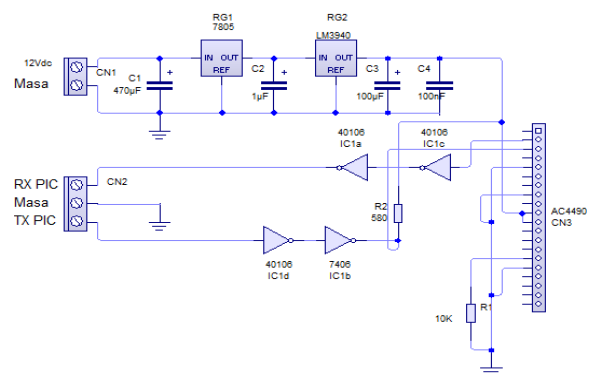


Figura 17. Electrónica del módulo inalámbrico.

### 8.2 Modo Comando

En modo comando el modulo requiere de la introducción de una secuencia determinada de datos (comandos AT), en este modo se tiene acceso a la configuración de funcionamiento del modulo, al manejo de la memoria EEPROM interna que posee el modulo y al manejo del convertor A/D como así también de algunas entradas y salidas digitales de propósito general.

### 8.3 Interface Serial

Para la transmisión y recepción de datos con el microcontrolador el modulo inalámbrico dispone de una interface serial compatible con la UART del

microcontrolador esto es una comunicación serie TTL, cuya operación es modo asíncrono.

En este modo los datos se sincronizan con el microcontrolador a través de un bit de inicio y un bit de parada o fin. El modo asíncrono permite la transmisión de un bit adicional para el chequeo de errores en la transmisión que es el bit de paridad, el cual es optativo. Además permite la transmisión de ocho, siete o nueve bits de datos, como así también se puede seleccionar la velocidad de transmisión. Todos estos parámetros pueden ser configurados solo en modo comando.

Para el presente trabajo se seleccionó una velocidad de 19200bps entre el microcontrolador y el modulo inalámbrico y un formato de datos de 8 bits de información y un bit de parada.

#### 8.4 Trama

Para la comunicación entre cada modulo y la computadora en la estación base se debió desarrollar una trama la cual contiene la información de las distintas componentes y sus escalas respectivas. Para la sincronización del inicio de la trama, la misma tiene una cabecera y un final de trama, como se muestra a continuación en la **Fig. 18**.

Destino	Origen	Código	Datos	Datos	Fin
---------	--------	--------	-------	-------	-----

**Figura 18.** Trama de información

El campo de datos está compuesto por un identificador de componente y escala para su posterior decodificación.

La longitud de la trama es variable dependiendo del tipo de dato que es enviado, en el caso más general en cual se envía las todas las escalas a la pc, la longitud de la trama es de 36 bytes de información. Cuando es requerida la localización del sismógrafo la trama está compuesta por los datos del gps en cuyo caso la longitud de la trama es de 28 bytes. La longitud de la trama más corta es de 4 bytes la cual representa una confirmación de datos recibidos o no.

#### 9. SENSORES VARIOS Y ACTUADORES

Estos bloques no se encuentra implementados ya que son para el control de carga de la batería como así también para el agregado de algunos sensores extras en líneas futuras como ser de temperatura, humedad, etc.

#### 10. CONCLUSIONES

En el desarrollo del presente trabajo, la mayor complejidad fue la adquisición de los datos, razón por la cual se desarrolló de manera modular a fin de poder actualizar la electrónica en caso de ser necesario.

La trama conformada para la comunicación funciona correcta sin detectar cortes en la comunicación ni errores de recepción, ya que el modulo inalámbrico posee una trama rf con corrección y detección de errores; sin embargo a la trama conformada se le debe agregar CRC, cuestión en la que se trabaja.

La finalización del mismo permite continuar con otras líneas de investigación como la de transmisores inteligentes, el estudio de algoritmos para la detección de sismos, el estudio de la red inalámbrica más eficiente para el caso de la ocurrencia de sismos y el estudio, tratamiento y representación de los datos.

#### REFERENCIAS

- [1] Katsuhiko Ogata, Ingeniería de Control Moderna. Editorial Prentice Hall, 2010.
- [2] Cisneros Christian, Marcillo Omar, Enríquez Wilson. Calibrador Digital de Sensores Sísmicos. XIX Jornadas en Ingeniería Eléctrica y Electrónica
- [3] Henao Carlos, Cardona Edison. Manejo de una memoria SD/MMC con un Pic18f87x. Scientia et Technica Año XVI, No 44, Abril de 2010. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701.
- [4] Hoja de datos memoria SD SanDisk Securite Digital Card.
- [5] Hoja de datos modulo inalámbrico AC4490 de Aerocom.
- [6] Hoja de datos del microcontrolador pic18f8722 de microchip.
- [7] Hoja de datos del amplificado de instrumentación AD623 de Analog Device.
- [8] Hoja de datos del amplificador operacional LF347.
- [9] Hoja de datos del módulo Smart GPS antenna A1035-D.
- [10] Hoja de datos del geófono Mark L4.