

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA ESTACIONES SISMOLOGICAS**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por la Br. González E., Eileen M.  
Para optar al Título de  
Ingeniero Electricista

Caracas, 2011

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA ESTACIONES SISMOLOGICAS**

**Prof. Guía:** Ing. Rafael Rivero.

**Tutor Industrial:** Ing. Ana María Pérez

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por la Br. González E., Eileen M.  
Para optar al Título de  
Ingeniero Electricista

Caracas, 2011

## CONSTANCIA DE APROBACION

Caracas, 21 de noviembre de 2011

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller Eileen Marian González Esculpi, titulado:

### “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA ESTACIONES SISMOLOGICAS”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al título de Ingeniero Electricista en la mención Electrónica, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por la autora, lo declaran APROBADO.

  
Prof. Pedro Pinto

Jurado

  
Prof. Simon Morales

Jurado

  
Prof. Rafael Rivero

Profesor Guía.

## **DEDICATORIA**

A la memoria de mis abuelos Enrique González y Carmen García.

## **RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS**

A mis padres Carlos González y María Esculpi, por su apoyo incondicional, paciencia y comprensión a lo largo del desarrollo de este trabajo.

A mi hermano Alejandro González.

A Joao Nunes, Rafael Rivero, Servando Álvarez, Carlos Di Yorio, Haygas Kalustian, Iván Márquez, Lorena Núñez, Ana María Pérez, Diógenes Santander y Raquel Finol.

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela.

A la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) .

**González E., Eileen M.**

## **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO DE ADQUICISIÓN DE DATOS PARA ESTACIONES SISMOLÓGICAS**

**Prof. Guía: Ing. Rafael Rivero. Tutor Industrial: Ing. Ana Pérez. Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Ingeniero Electricista. Opción: Electrónica. Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas. 2011. 91h. +anexos.**

**Palabras clave:** Digitalizador - ADC; Adquisición de Datos; Estaciones Sismológicas; Sismómetro; CMG-40T1; Secure Digital; SD; Global Positioning System; GPS; USB.

**Resumen:** Este proyecto se plantea el diseño e implementación del prototipo de un Dispositivo de Adquisición de Datos (DAD) compatible con el sismómetro CMG-40T1, para ser usado en estaciones sismológicas a cargo de la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS). Dicho digitalizador es un dispositivo portátil, capaz de trabajar en tiempo real, comunicarse vía USB y RS232 usando un protocolo específicamente diseñado para tal fin, almacenar datos en memorias SD. El DAD diseñado consta de 6 etapas definidas como: Etapa de Comunicaciones, Etapa de Almacenamiento Masivo, Etapa de Sincronización, Etapa de Adquisición de Datos, Etapa de Acondicionamiento de Señales y Etapa de Alimentación. Dichas etapas se encuentran controladas por un micro-controlador utilizado como maestro, el cual se comunica con cada etapa por medio de un bus SPI. Para la etapa de adquisición de datos se utilizó un segundo micro-controlador, dedicado a gestionar la conversión analógica a digital, para la cual se utiliza un convertidor externo, con 4 canales analógicos diferenciales. De los 4 canales, 3 son utilizados para las 3 salidas diferenciales del sismómetro, correspondientes a los ejes “Este/Oeste”, “Norte/Sur” y “Vertical”.

## INDICE GENERAL

<b>CONSTANCIA DE APROBACION</b> .....	iii
<b>DEDICATORIA</b> .....	iv
<b>RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS</b> .....	v
<b>RESUMEN</b> .....	vi
<b>INDICE GENERAL</b> .....	vii
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	x
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	xi
<b>SIGLAS</b> .....	xiii
<b>ACRÓNIMOS</b> .....	xiv
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPITULO I DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO</b> .....	2
1.1 Planteamiento del Problema.....	2
1.2 Justificación.....	3
1.3 Objetivo General .....	4
1.4 Objetivos Especificos .....	4
<b>CAPITULO II DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO</b> .....	5
2.1 Marco Teorico .....	5
2.1.1 Espectro Típico en Eventos Sísmicos.....	6
2.1.2 Red Sismológica Nacional.....	7
2.1.3 Instrumentación Sismológica.....	8
2.1.4 Sistemas de Adquisición de Datos.....	9
2.1.5 Convertidores Analógico Digital y Referencias de Tensión .....	10
2.1.6 Convertidores Sigma Delta.....	13
2.1.7 Comunicación SPI .....	14

2.1.9 El Formato Fat .....	16
2.2 Definición del Hardware .....	18
2.2.1 Canales de Entrada .....	18
2.2.2 Ubicación Geográfica y Tiempo Real .....	18
2.2.3 Temporización Mediante RTC Interno.....	19
2.2.4 Transmisión de Datos .....	19
2.2.5 Capacidad de Almacenamiento Masivo .....	19
2.2.6 Autonomía Energética .....	19
2.3 Descripción del Hardware del Equipo.....	19
2.3.1 Módulo de Comunicaciones .....	21
2.3.2 Módulo de Adquisición de Datos .....	25
2.3.3 Módulo de Sincronización.....	35
2.3.4 Fuente de Alimentación.....	36
2.4 Definición del Firmware .....	38
2.4.1 Firmware del Microcontrolador A.....	38
2.4.2 Firmware del Micro-Controlador B.....	38
2.5 Descripción del Firmware .....	38
2.5.1 Descripción del Firmware del Microcontrolador A.....	39
2.5.2 Descripción del Firmware del Microcontrolador B.....	42
2.5.3 El Protocolo PTDF V1.0.....	49
2.6 Definición del Software.....	54
2.7 Descripción del Software .....	54
<b>CAPITULO III VALIDACIÓN DEL EQUIPO.....</b>	<b>56</b>
3.1 Pruebas Funcionales por Módulo. ....	57



3.1.1	Pruebas del Módulo de Acondicionamiento de Señales .....	57
3.1.2	Pruebas del Módulo de Adquisición de Datos .....	59
3.1.3	Pruebas del Módulo de Sincronización.....	60
3.1.4	Prueba del Módulo de Comunicaciones.....	61
3.2	Pruebas de Funcionamiento del Equipo Ensamblado. ....	63
3.2.1	Pruebas de Calibración del Equipo .....	63
3.2.2	Verificación del Funcionamiento de los Canales Mediante El Uso de Una Señal Periódica Proveniente de un Generador de Señales HP 33120A Certificado .....	77
3.2.3	Prueba de Comparación del Digitalizador Diseñado con una Tarjeta de Adquisición de Datos Comercial Ni-USB6009.....	81
3.2.3	Prueba de Funcionamiento del Equipo con el Sismometro CMG40T1 ...	84
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	87
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	88
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b> .....	89
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	91
	<b>ANEXOS</b> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Definición de los Modos de Comunicación SPI.....	15
Tabla 2. Ejemplo Little Endian de 16bits.....	16
Tabla 3. Campos de una Trama GPRMC.....	46
Tabla 4. Significado del Campo H y F.....	51
Tabla 5. Significado del Campo TM.....	51
Tabla 6. Resultados Obtenidos de las Mediciones de las Tensiones de Alimentación del Módulo de Acondicionamiento de Señales.....	57
Tabla 7. . Resultados de las Pruebas de Funcionamiento del Módulo de Adquisición de Datos.....	60
Tabla 8. Resultados Obtenidos con el Multímetro HP34401A y su Incertidumbre....	65
Tabla 9. Resultados obtenidos en el Canal Este-Oeste del digitalizador (Media de cada Punto y Desviación Estándar de la Media).....	66
Tabla 10. Resultados Obtenidos para el Canal Norte Sur. (Media de cada Punto de Calibración y Desviación Estándar de la Media).....	66
Tabla 11. Resultados Obtenidos para el Canal Vertical. (Media de cada Punto de Calibración y Desviación Estándar de la Media).....	66
Tabla 12. Incertidumbre Combinada del Canal E-O pare cada Punto de Calibración Obtenidas para 10 Adquisiciones Promediadas.....	76
Tabla 13. Incertidumbre Combinada del Canal N-S pare cada Punto de Calibración Obtenidas para 10 Adquisiciones Promediadas.....	76
Tabla 14. Incertidumbre Combinada del Canal Vertical pare cada Punto de Calibración Obtenidas para 10 Adquisiciones Promediadas.....	76

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. A) Capas de La Tierra. B) Propagación de las Ondas Sísmicas.[1] .....	5
Figura 2. Señal Sismológica Registrada en la Estación ERM el 2/10/2007 a las 18:00. [2].....	6
Figura 3. Funciones de Transferencia Ideal y Real con Error de Ganancia y Offset de un ADC de 3bit. [4] .....	10
Figura 4. ADC Sigma-Delta de Primer Orden. [5] .....	13
Figura 5. Conexión Típica de un Bus SPI con un Único Esclavo.....	14
Figura 6. Diagrama de Tiempo de Los Modos SPI. [6].....	15
Figura 7. Diagrama de Bloques del DES v1.0. ....	20
Figura 8. Diagrama de Bloques del Módulo de Comunicaciones.....	21
Figura 9. Conexión del Sub-Módulo USB.....	23
Figura 10. Archivo Generado en el Digitalizador Construido. ....	24
Figura 11. Distribución de Conexiones de una Memoria SD. ....	25
Figura 12. Diagrama de Bloques del Integrado AD8295.[8].....	27
Figura 13. Esquemático del Circuito del Modulo de Acondicionamiento de Señales. .....	28
Figura 14. Diagramas de Bode en Magnitud y Fase para el Modulo de Acondicionamiento de Señales.....	31
Figura 15. Fuente de Alimentación de +12V y -12V DC. ....	37
Figura 16. Diagrama de Flujo de la Rutina Principal del Micro-controlador A. ....	40
Figura 17. Diagrama de Flujo de Interrupción por <i>Timer1</i> . ....	41
Figura 18. Diagrama de Bloques de Interrupción de Recepción Rx del Micro- Controlador A.....	42
Figura 19. Diagrama de Flujo del Programa Principal del Micro-Controlador B. ....	43
Figura 20. Diagrama de Flujo de Interrupción RDA1 del Micro-controlador B. ....	44
Figura 21. Diagrama de Flujo de la Función Tiempo_GPS.....	48
Figura 22. Diagrama de Flujo de Interrupción RDA2. ....	49
Figura 23. Ventana del Programa de Interfaz Usuario.....	55
Figura 24. Diagrama de Conexiones para la Determinación de la Respuesta en Frecuencia del Filtro Diseñado para el Módulo de Acondicionamiento de Señales.....	58
Figura 25. Respuesta en Frecuencia del Módulo de Acondicionamiento de Señales, Determinada Empíricamente.....	59
Figura 26. Señal en la Salida SQRT del Módulo RTC. ....	61
Figura 27. Datos de la Memoria SD Vistos en el Programa WINHEX.....	62
Figura 28. Diagrama de Conexiones para el Ensayo de Calibración. ....	64

Figura 29. Gráfica de Dispersión para Valores de Tensión de Referencia en Función de los Valores de Tensión Digitalizados para el Canal E-O. Se Muestra la Curva de Ajuste Obtenida Mediante Mínimos Cuadrados.....	68
Figura 30. Gráfica de Dispersión para Valores de Tensión de Referencia en Función de Los Valores de Tensión Digitalizados para el Canal N-S. Se Muestra la Curva de Ajuste Obtenida Mediante Mínimos Cuadrados.....	69
Figura 31. Gráfica de Dispersión para Valores de Tensión de Referencia en Función de Los Valores de Tensión Digitalizados para el Canal Vertical. ....	70
Figura 32. Histograma de Los Valores Obtenidos para el Punto de Calibración de 2V en el Eje E-O Tomando los Valores sin Promediar (31 Valores).. ....	71
Figura 33. La Gráfica de Caja, Muestra la Dispersión de los Valores Digitalizados para los Siete Puntos de Calibración Seleccionados .....	72
Figura 34. Diagrama de Conexiones, del Ensayo de Verificación del Funcionamiento del Equipo ante Señales Periódicas.....	77
Figura 35. Gráfica de la Señal Adquirida en el Canal Este-Oeste del Digitalizador. .	78
Figura 36. Espectro en Frecuencia de la Señal Adquirida en el Canal Este-Oeste.....	78
Figura 37. Gráfica de la Señal Adquirida en el Canal Norte-Sur del Digitalizador....	79
Figura 38. Espectro en Frecuencia de la Señal Adquirida en el Canal Norte-Sur. ....	79
Figura 39. Gráfica de la Señal Adquirida en el Canal Vertical del Digitalizador.....	80
Figura 40. Espectro en Frecuencia de la Señal Adquirida en el Canal Vertical. ....	80
Figura 41. Comparación de la Respuesta del Digitalizador con una Tarjeta de Adquisición de Datos Comercial.....	82
Figura 42. Comparación de las Señales Capturadas por el Digitalizador Diseñado y La Tarjeta de Adquisición de Datos Comercial.....	83
Figura 43. Señal Obtenida en el Canal Este-Oeste del Digitalizador al Conectar el Sismómetro y Excitarlo con la Vibración de un Resorte, y Abajo Señal Filtrada Digitalmente.....	85
Figura 44. Señal Obtenida En el Canal Este-Oeste del Digitalizador al Conectar el Sismómetro y Excitarlo con la Vibración de un Resorte, y Abajo Señal Filtrada Digitalmente.....	85

## **SIGLAS**

FUNVISIS: Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas.

IRIS: Incorporated Research Institutions for Seismology.

NMEA: National Marine Electronics Association.

## ACRÓNIMOS

ADC: Analog to Digital Converter. Convertidor analógico digital.

ASCII: American Standard Code for Information Interchange

EMI: Electromagnetic Interference. Interferencia Electromagnética.

ENOB: Effective Number of Bits.

EUSART: Enhanced USART.

GPS: Global Positioning System. Sistema de Posicionamiento Global.

MMC: Multi Media Card.

MSSP: Master Synchronous Serial Port.

RTC: Real Time Clock. Reloj de Tiempo Real.

SD: Secure Digital.

SPI: Serial Peripheral Interface.

USB: Universal Serial Bus. Bus Serial Universal.

UTC: Coordinated Universal Time. Tiempo Universal Coordinado.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen redes de estaciones sismológicas en todas partes del mundo, con el propósito de determinar con exactitud cuando ocurren los terremotos u otros movimientos súbitos, su ubicación e intensidad. Para poder hacer esto las estaciones sismológicas cuentan con diversos tipos de instrumentos especializados para la captura y almacenamiento de las señales sísmicas. Dependiendo de las características de las señales que se deseen estudiar se usan distintos tipos de transductores, tales como los sismómetros y acelerómetros. Para registrar las señales analógicas provenientes de los transductores, es necesario convertir estas señales, en señales digitales, para lo cual se utiliza un equipo denominado digitalizador, el cual además de digitalizar los datos tiene la capacidad de almacenarlos para su posterior transmisión.

Con el fin de apoyar la red sismológica nacional e incentivar el desarrollo tecnológico en el país, con este proyecto se propone el diseño de un prototipo de digitalizador para estaciones sismológicas, específicamente para ser usado con sismómetros. Dicho proyecto ha sido llevado a cabo en conjunto con la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) y la Universidad Central de Venezuela.

El prototipo de digitalizador diseñado, consta de tres canales para la recopilación de datos de los ejes este-oeste, norte-sur y vertical del sismómetro, tiene la capacidad de almacenar y transmitir los datos recolectados en tiempo real, cuenta con una fuente de alimentación externa y tiene la opción de ser alimentado mediante dos baterías de 12V, del tipo utilizadas en motocicletas. En este trabajo se explica el diseño, construcción y funcionamiento de dicho digitalizador.

# **CAPITULO I DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

## **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Debido al movimiento relativo entre las placas del Caribe y de Sudamérica, los sismos representan una de las amenazas naturales más importante en las poblaciones al norte de Venezuela, en las cuales se encuentra la mayor densidad poblacional, aproximadamente un 80% de la población [1], por lo que los eventos sísmicos representan uno de los mayores riesgos potenciales en cuanto a pérdidas humanas y económicas. Es por ello, que resulta de suma importancia la recolección de datos sismológicos para la realización de investigaciones y estudios que ayuden a entender mejor el comportamiento de los sismos en Venezuela.

Aunque en la actualidad las estaciones sismológicas en Venezuela se encuentran bien equipadas desde el punto de vista instrumental, se tiene la desventaja que los equipos de instrumentación con los que se cuentan son importados y esto, inevitablemente, crea una dependencia económica y tecnológica que afectan los más altos intereses de la nación. Con este proyecto se busca desarrollar recursos sobre los cuales se tengan dominio pleno, para apoyar la red sismológica nacional. Además, este tipo de proyecto puede servir de incentivo para el desarrollo endógeno en otras áreas.



## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

Dada la importancia de contribuir con el desarrollo nacional y disminuir la dependencia tecnológica, se hace imperativo el desarrollo de este tipo de proyectos, ya que para lograr una verdadera independencia tecnológica se debe adquirir dominio de la tecnología tanto de hardware como de software, puesto que sólo de esta forma se podrán hacer modificaciones y actualizaciones para adaptarse a las nuevas necesidades del país, así como reparaciones a los equipos, sin la necesidad de recurrir a un soporte técnico extranjero o tener que adquirir un nuevo equipo, evitando de esta forma comprometer la red sismológica nacional con cualquier conflicto de intereses económicos o políticos que pueda existir con los países de donde son originarios. Es por ello que con la realización de este proyecto, se beneficiará la red sismológica nacional. La experiencia planteada también puede proyectarse hacia otras disciplinas.

Por otra parte el desarrollo de tecnología en el país ofrece oportunidades de empleo, además de incentivar al desarrollo industrial e inclusive impulsar la economía, ya que con la continuación del proyecto y la obtención de un producto final se podría exportar esta tecnología a otros países.

### **1.3 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar e implementar un Digitalizador portátil para ser usado con un sismómetro CMG-40T1.

### **1.4 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Diseñar e implementar un digitalizador de 96dB de rango dinámico y tres canales para la recopilación de datos en los ejes “Este/Oeste”, “Norte/Sur” y “Vertical” capaz de almacenar y transmitir los datos recolectados en tiempo real y de sincronizar la adquisición con una señal externa.
- Diseñar un módulo de comunicación, para el digitalizador, capaz de transmitir datos vía serial bajo el estándar RS232, USB ó vía Ethernet. Dicho módulo de comunicación funcionará bajo un protocolo abierto.
- Diseñar e implementar una fuente DC de +12V y -12V, 1A para la alimentación del equipo.
- Adaptar el equipo para que pueda ser alimentado con dos baterías de +12V.
- Diseñar e implementar un módulo de temporización que mantenga actualizado, mediante un receptor de Sistema de Posicionamiento Global (GPS), a un Reloj de Tiempo Real (RTC), el cual será el encargado de llevar la hora y la fecha para asociar a cada bloque de datos adquiridos.
- Diseñar e implementar un módulo de almacenamiento masivo no volátil, mediante dos memorias de tipo SD (Security Digital).
- Diseñar e implementar el software de configuración y prueba del equipo.
- Elaboración del manual de operación del dispositivo.

## CAPITULO II DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

### 2.1 MARCO TEORICO

Un sismo es un movimiento súbito de una parte de la corteza terrestre, ocasionado por la liberación de energía acumulada que produce ondas elásticas (ondas sísmicas), causando vibraciones y oscilaciones mientras se transmiten a través de las rocas sólidas del manto y la litosfera hasta llegar a la superficie terrestre (ver figura 1). Los sismos pueden ser de origen tectónico, cuando son producidos por el desplazamiento de bloques de la litosfera, o volcánico, cuando se deben a la extrusión de magma. [1]

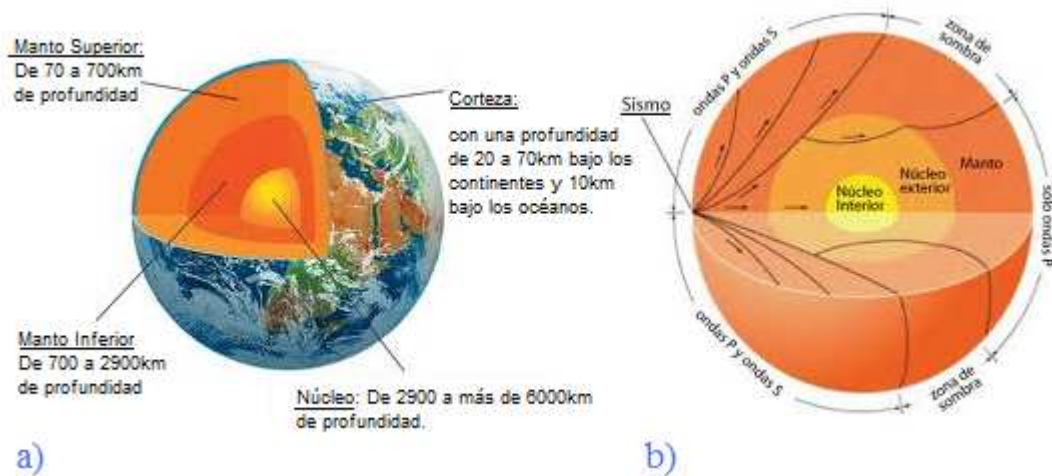


Figura 1. a) Capas de la Tierra. b) Propagación de las Ondas Sísmicas.[1]

En la actualidad se sabe de la existencia de distintos tipos de ondas sísmicas, que no son más que oscilaciones que se propagan desde un foco llamado hipocentro a través de un medio material elástico. Las ondas sísmicas se clasifican en:

- a) Corpóreas: las cuales son transmitidas en el interior de la tierra y se clasifican en Primarias (P) y Secundarias (S). Las ondas P son las primeras en alcanzar la superficie terrestre, se desplazan a través de la roca sólida y líquidos, sus vibraciones son longitudinales. Las ondas S

viajan más lento que las P, producen movimientos de las partículas sólidas en dirección perpendicular al sentido de propagación, son las responsables de los daños estructurales y no se propagan en los líquidos.[1]

- b) Superficiales: se desplazan por la superficie terrestre y se dividen en Ondas Love (L) y Ondas Rayleigh (R). Las ondas L tienen un movimiento similar a las ondas S, la diferencia es que este es restringido a los intervalos de interacción entre las distintas capas de la superficie terrestre. Las ondas R, son más lentas que las L y tienen una trayectoria elíptica en el plano vertical, orientado en la dirección en que viajan las ondas.[1]

En la figura 2 se muestra una señal sismológica registrada en la estación global ERM, en la cual se reconocen los distintos tipos de ondas explicados.

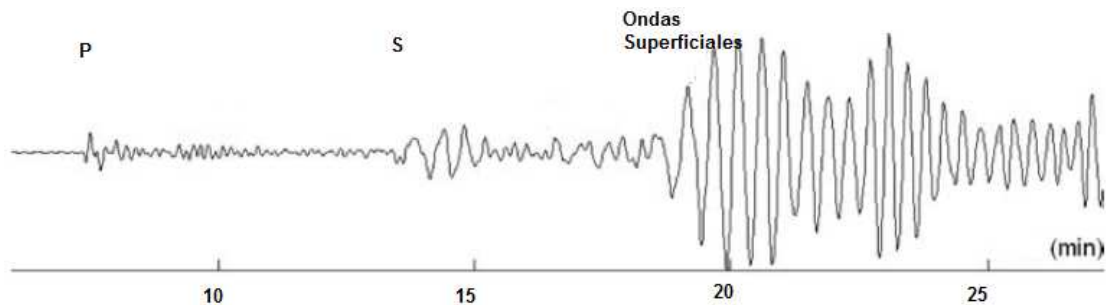


Figura 2. Señal sismológica registrada en la estación ERM el 2/10/2007 a las 18:00.

[2]

### 2.1.1 Espectro Típico en Eventos Sísmicos.

Los eventos sísmicos pueden dividirse en Locales, Regionales y Tele-sísmicos, dependiendo de la distancia del hipocentro al sitio de medición.

Los Eventos Locales, son aquellos registrados a decenas de kilómetros de la fuente. La frecuencia típica de este tipo de evento va desde 0,1Hz a 100Hz, concentrándose la mayor parte de la energía entre 1 y 10Hz.[3]

Los Eventos Tele-sísmicos, son aquellos registrados a grandes distancias, con un umbral definido de 1000km desde la fuente. La visco-elasticidad de la tierra da lugar a la dispersión física y temporal, lo que significa que las ondas superficiales tienden a ser detectadas solamente a frecuencias muy bajas, desde 1mHz a 1Hz. A frecuencias aún más bajas, de 0,3mHz a 5mHz, ocurren oscilaciones libres de la tierra.[3]

Los Eventos Regionales, son aquellos detectados a distancias entre las regionales y las tele-sísmicas desde la fuente.

### **2.1.2 Red Sismológica Nacional**

Las redes sismológicas están conformadas por un conjunto de estaciones que se encargan de reportar los datos detectados por los sismómetros a una estación central para su registro y análisis, en función del área de cobertura estas pueden clasificarse en mundiales, nacionales o locales.

Actualmente en Venezuela la red sismológica se encuentra soportada por dos subredes: la telemétrica y la satelital. Se cuenta con 26 estaciones satelitales y 8 estaciones asociadas a la telemétrica, las cuales transmiten la señal sísmica modulada en la banda de VHF a la estación central del Llanito, además FUNVISIS cuenta con 3 estaciones más que a diferencia de las otras envían directamente los sismogramas y el análisis de datos a la estación central, esto lo hacen vía telefónica o fax y una estación de banda ancha localizada en Santo Domingo (estado Mérida) asociada a la Red Mundial IRIS. Por otra parte, la Resvac (Red de Estaciones Sismológicas de Apertura Continental) posee una estación central ubicada en la sede de FUNVISIS, en el Llanito, donde se concentra la información proveniente de todas las estaciones sismológicas con el fin de determinar las características del sismo. Además existen otras redes locales en el país, manejadas por otras instituciones como: La Universidad de Los Andes, La Universidad de Oriente, Edelca y PDVSA. [1]

### 2.1.3 Instrumentación Sismológica

Dependiendo de las características de las señales a medir se utilizan sismómetros o acelerómetros. Los sismómetros son sensores capaces de medir velocidad de desplazamiento de una superficie, estos pueden clasificarse según su ancho de banda en:

- Corto plazo o corto periodo: usualmente diseñados para responder a frecuencias entre 1Hz y 10Hz. Estos sensores son comúnmente utilizados en la medición de eventos locales y ondas P provenientes de tele-seísmos.
- Banda ancha: usualmente diseñados para responder a frecuencias entre 0,01Hz y 50Hz, poseen mayor sensibilidad y un mayor rango dinámico que los sismómetros de corto plazo. Este tipo de sismómetro es comúnmente utilizado para registrar eventos regionales y tele-sísmicos.

Tanto los sismómetros como los acelerómetros pueden medir señales en uno, dos o tres sentidos ortogonalmente distintos denominados componentes (vertical, norte-sur y este-oeste).

Las señales provenientes de los sensores son enviadas a equipos llamados digitalizadores, con el fin de realizar la conversión analógico a digital para la posterior transmisión y almacenamiento de la señal.

#### **2.1.4 Sistemas de Adquisición de Datos**

Como su nombre lo indica los sistemas de adquisición de datos son sistemas que recolectan información para su análisis y almacenamiento, con el fin de estudiar un determinado fenómeno.

En su forma más simple un sistema de adquisición de datos consiste en los siguientes bloques:

- a) Transductor.
- b) Acondicionador de Señales.
- c) Convertidor Analógico-Digital.
- d) Unidad de Almacenamiento Masivo.

El transductor o detector primario corresponde al elemento o grupo de elementos dedicados a responder ante la cantidad física a ser medida, en general convierten una forma de energía a otra, en particular en la instrumentación se le da particular importancia a los transductores que convierten campos físicos o formas de energía en señales eléctricas.

El acondicionador de señales corresponde a un conjunto de elementos encargado de recibir las señales provenientes del transductor, con el fin de prepararla, bien sea amplificando, filtrando o atenuando, para su posterior manipulación en el sistema.

El convertidor analógico digital como su nombre lo indica, convierte una señal analógica en una señal digital, en la sección 2.1.5 se explicará con más detalle los convertidores A/D.

La unidad de almacenamiento se encarga de guardar los datos recolectados para su posterior estudio.

### 2.1.5 Convertidores Analógico Digitales y Referencias de Tensión

Cuando el diseño de un dispositivo implica convertidores analógico digitales (ADC, Analog to Digital Converter por sus siglas en ingles), resulta fundamental la comprensión de cómo estos dispositivos interactúan con las referencias de tensión, así como de las características de funcionamiento de los mismos, ya que tienen gran repercusión en la precisión y la exactitud de la medida.

Como se explico anteriormente un ADC convierte una señal de voltaje analógica a un código digital: La precisión y exactitud del equipo en general, dependerán de la efectividad con la que el convertidor ejecuta dicho proceso. La exactitud de la conversión puede ser definida por características estáticas y la precisión por características dinámicas. En general las características estáticas de un convertidor ADC corresponden a la tensión de offset, error de ganancia, y el ruido de cuantización. Las características dinámicas del ADC son el SNR (Signal to Noise Ratio), la distorsión armónica total (THD), el rango dinámico SFDR [4]. En la figura 3 se observa una función de transferencia ideal y otra no ideal para un convertidor ADC de 3bit.

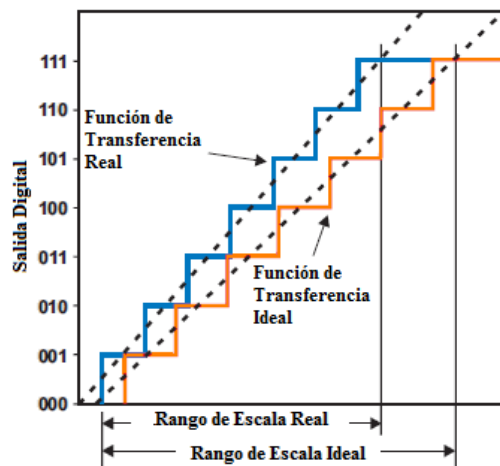


Figura 3. Funciones de transferencia Ideal y Real con error de ganancia y offset de un ADC de 3bit. [4]



La función de transferencia no ideal presenta un offset y un error de ganancia. En general se tiene que la función de transferencia ideal de un ADC viene dada por la ecuación 1.

$$Salida_{ADC} = V_{IN} \times \frac{2^n}{V_{REF}} \quad (1)$$

Donde:

$Salida_{ADC}$ : es la salida digital del ADC.

$V_{IN}$ : es la entrada analógica en volt.

$V_{REF}$ : es la tensión de referencia en volt.

$n$ : es la resolución del convertidor expresada en bits.

Si se toma en cuenta el error DC de un convertidor ADC no ideal, correspondiente a la tensión de offset de entrada ( $V_{OS_{ADC}}$ ) y al error de ganancia ( $GE_{ADC}$ ), el cual viene dado por la ecuación 2, se obtiene la expresión de la ecuación 3, donde se observa que el error DC causado por el ruido introducido por la referencia de tensión repercute inversamente en la exactitud de la ganancia del convertidor ADC. [4]

$$GE_{ADC} = \frac{\text{Ganancia no ideal} - \text{Ganancia Ideal}}{\text{Ganancia no ideal}} \quad (2)$$

$$Salida_{ADC} = (V_{IN} - V_{OS_{ADC}}) \times \frac{2^n}{V_{REF}(1-GE_{ADC})} \quad (3)$$

En cuanto al ruido de transición de un ADC, este tiene un efecto directo en el SNR del convertidor.

Para el estudio del desempeño dinámico de un ADC, se puede utilizar el espectro en frecuencia de la salida del convertidor, el cual se puede hallar a partir de una serie de datos de salida del ADC sincronizados por un reloj. Del espectro

en frecuencia se puede hallar la relación señal a ruido (SNR, Signal to Noise Ratio, por sus siglas en ingles) y el SFDR (Spurious Free Dynamic Range, por sus siglas en ingles). EL SNR obtenido del espectro en frecuencia es una combinación de varias fuentes de ruido que podrían incluir al ruido de cuantización, y el ruido interno del ADC. Externamente la referencia de tensión y los drivers que se puedan utilizar, contribuyen al ruido del sistema. Teóricamente el límite del SNR es igual a  $6.02n+1.76\text{dB}$ , donde  $n$  corresponde al número de bits de resolución del convertidor. En cuanto a la distorsión armónica total (THD, Total Harmonic Distortion, por sus siglas en ingles), esta cuantifica la cantidad de distorsión en el sistema, viene dada por la relación mostrada en la ecuación 4 [4]. Por lo general los fabricantes utilizan de seis a nueve componentes del espectro en frecuencia para dicho cálculo.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_2^{\infty} P_i^2}}{P_1} \quad (4)$$

La combinación del THD y el SNR se utiliza para el cálculo del SINAD (Signal to Noise and Distortion) del dispositivo, que tiene gran importancia puesto que con él puede calcularse la cantidad de bits efectivos (ENOB) que pueden obtenerse. El cálculo del SINAD se puede observar en la ecuación 5 y el cálculo del ENOB en la ecuación 6.

$$SINAD(dB) = -20\log\sqrt{10^{-SNR/10} + 10^{THD/10}} \quad (5)$$

$$ENOB = \frac{SINAD-1.76dB}{6.02dB} \quad (6)$$

### 2.1.6 Convertidores Sigma Delta

Los convertidores Sigma Delta ( $\Sigma\Delta$ ) son ideales para la conversión de señales dentro de un amplio rango de frecuencias, desde DC hasta MHz con resultados de muy alta resolución. En un ADC  $\Sigma\Delta$ , la señal de entrada es sobremuestreada y luego filtrada digitalmente. En su forma más simple, un convertidor  $\Sigma\Delta$  consiste en un modulador de 1bit, utilizado para convertir a la señal de entrada en un flujo de datos seriales de alta frecuencia  $V_O$ , seguido por un decimador/filtro digital para convertir dicho flujo en una secuencia de palabras de  $n$  bits de valor binario fraccional  $D_O$ , a una velocidad más baja de  $f_s$  palabras por segundo. El filtro digital de los convertidores  $\Sigma\Delta$  contribuye a la mejoría de la resolución. [5]. En la figura 4 se observa el diagrama de bloques de un convertidor sigma delta en su forma más simple.

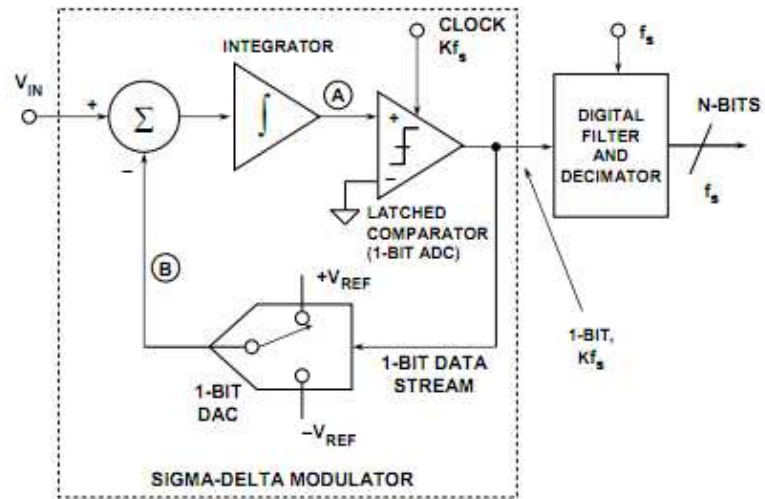


Figura 4. ADC Sigma-Delta de primer orden. [5]

### 2.1.7 Comunicación SPI

La Interfaz Periférica Serial (SPI) es un protocolo de comunicación desarrollado originalmente por la casa Motorola, que ha sido ampliamente aceptado por distintas casas, tales como Texas Instrument, Microchip, Intersil, Maxim Dallas, entre otras, sin embargo, este protocolo no se encuentra estandarizado por ningún organismo internacional, por lo que sus especificaciones pueden variar entre las distintas literaturas encontradas sobre el mismo. Para el desarrollo de este trabajo se acogieron las especificaciones de Motorola, las cuales serán expuestas más adelante.

El SPI, es un protocolo de comunicación síncrono de 3 ó 4 hilos, utilizado principalmente en aplicaciones donde hay pocas líneas de entrada/salida, múltiples periféricos y además se requiere que la comunicación sea rápida. Para su funcionamiento requiere generalmente de dos líneas de control denominadas CS (Chip Select) y SCK (Serial Clock) y dos líneas de datos denominadas SDO (Serial Data Out) y SDI (Serial Data In). La señal de control CS es obligatoria siempre que haya más de un esclavo en el sistema, en algunos casos puede omitirse. En la figura 5 se puede observar la conexión típica de un bus SPI.

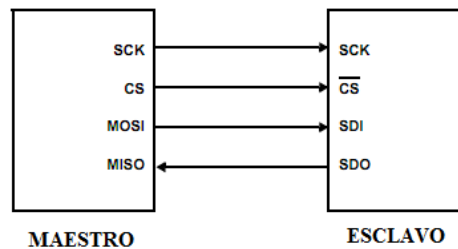


Figura 5. Conexión típica de un BUS SPI con un único esclavo.

Con un nivel lógico bajo en CS, se selecciona al esclavo con el cual el maestro iniciará la comunicación. El maestro se encarga de proveer la señal de reloj (SCK) para todos los dispositivos conectados en un mismo BUS SPI. Con la señal SCK además se controla cuando la data puede cambiar y cuando es válida para leer.

Dependiendo de la polaridad (CPOL) y la fase (CPHA) de la señal de reloj, se pueden definir cuatro modos de comunicación SPI, denominados modo 0, 1, 2 y 3. En la tabla 1 se muestra como se definen dichos modos.

Tabla 1. Definición de los modos de comunicación SPI.

MODO SPI	CPOL	CPHA
0	0	0
1	0	1
2	1	0
3	1	1

En los modos 0 y 3, los datos son enviados en los flancos de subida de SCK, mientras que en los modos 1 y 2 los datos son enviados en los flancos de bajada de SCK. En la figura 6 se puede apreciar la diferencia entre los modos con el diagrama de tiempo correspondiente a cada uno.

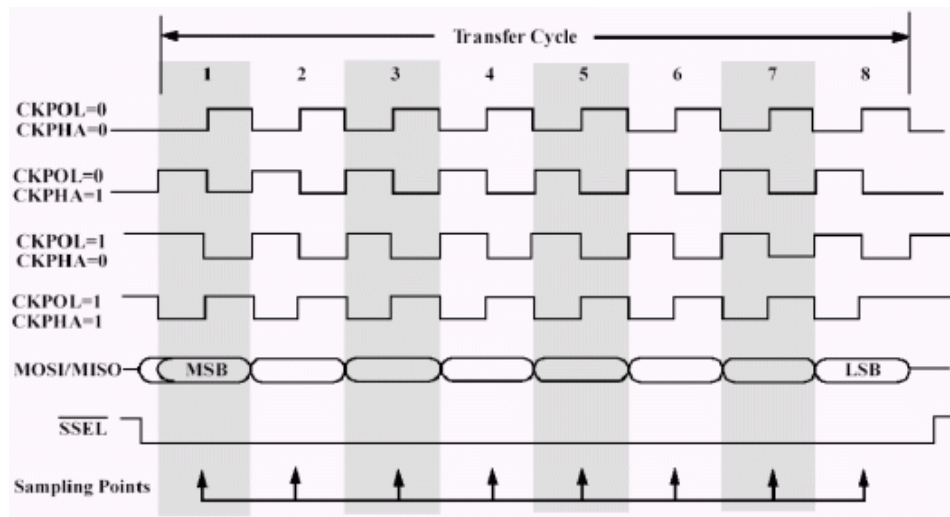


Figura 6. Diagrama de tiempo de los modos SPI. [6]

### 2.1.9 El Formato FAT

El formato FAT (File Allocation Table) es un sistema de archivos para computadoras, propietario de Microsoft, que apareció por primera vez en el año 1980 con FAT12, posteriormente en 1984 fue introducido FAT16 y en 1995 el formato FAT32, diferenciados básicamente por el tamaño, en bits, de las entradas en la estructura FAT en el disco [7]. Hoy en día este formato es ampliamente utilizado en memorias tipo flash, tales como las tarjetas SD, MMC y pendrives. Debido a la relativa simplicidad de este formato y su compatibilidad con los sistemas operativos para computadoras de hoy en día, su aplicación en sistemas embebidos que requieran almacenamiento de datos, como cámaras digitales, reproductores de *mp3* y dispositivos de adquisición de datos, entre otros, resulta viable y beneficiosa, es por ello que para el desarrollo de este trabajo se acogió el formato FAT16 para el registro de los datos adquiridos por el digitalizador construido.

Los sistemas de archivo FAT (FAT12, FAT16 y FAT32) fueron pensados originalmente para la arquitectura de IBM PC, que utiliza estructuras de datos en formato *Little Endian*, donde el byte menos significativo de una palabra se almacena en la dirección más baja de memoria y el byte más significativo en la más alta [4]. Por ejemplo si se tiene como entrada el número 7FAAh de 2 bytes, se tendría:

Tabla 2. Ejemplo Little Endian de 16bits.

Dirección 1 → Byte 01	Dirección 0 → Byte 00
7F	AA

Un volumen con sistema de archivo FAT está dividido en cuatro zonas básicas, que se encuentran en el siguiente orden:

0 → Zona Reservada (Reserved Region).

1 → Zona de la FAT (FAT Region).

2→ Zona del Directorio Raíz. (No existe en FAT32).

3→ Zona de Datos de Directorios y Archivos.

La primera estructura importante del un volumen con FAT corresponde al BIOS Parameter Block (BPB), encontrada en el primer sector del disco dentro de la zona reservada. El BPB de todos los sistemas de archivo FAT coincide exactamente hasta el campo BPB\_TotSec32 [7]. En el anexo 2 se encuentra la descripción detallada de los campos comunes a todas las FAT y los específicos de FAT16, en base a los cuales se desarrollo el firmware explicado en las secciones 2.4 y 2.5 de este capítulo.

## **2.2 DEFINICIÓN DEL HARDWARE**

El prototipo a desarrollar, en base a las necesidades de FUNVISIS debe ser un dispositivo portátil compatible con la salida del sismómetro CMG-40T1, específicamente debe contar con las siguientes características:

- a) Tres canales de entrada analógica.
- b) Conocimiento de ubicación geográfica y tiempo real.
- c) Temporización mediante RTC interno.
- d) Transmitir datos vía RS232 y USB.
- e) Capacidad de almacenamiento masivo.
- f) Autonomía energética.

### **2.2.1 Canales de Entrada**

Como se mencionó anteriormente, el equipo debe ser compatible con la salida del sismómetro CMG-40T1, el cual posee las siguientes características:

- Respuesta del sensor: 1 – 100Hz.
- Salida Diferencial:  $\pm 10V$  (20Vpp)
- Tensión de Alimentación: 10 – 36V DC.
- Impedancia de Salida:  $47\Omega$
- Corriente a 12V DC: 38mA.

Es por ello que la entrada del equipo estará compuesta por 3 canales diferenciales capaces de tolerar 24V diferenciales.

### **2.2.2 Ubicación Geográfica y Tiempo Real**

Para que el equipo tenga conocimiento de su ubicación geográfica se incluye en el equipo un GPS, el cual además se utilizará para sincronizar el RTC del equipo con la hora oficial obtenida de los satélites.



### **2.2.3 Temporización Mediante RTC Interno**

Para identificar la fecha y hora en que se adquirieron los datos registrados por el equipo, se utiliza un módulo RTC.

### **2.2.4 Transmisión de Datos**

Para fines de transmisión de datos y configuración, el equipo cuenta con dos puertos USB y un puerto RS232, utilizando un protocolo desarrollado en este trabajo, el cual se explicará a fondo en las secciones 2.4 y 2.5.

### **2.2.5 Capacidad de Almacenamiento Masivo**

Para almacenar la data capturada se utiliza una memoria SD (Secure Digital) de 128MB, sin embargo el equipo tiene la capacidad de utilizar memorias de hasta 2GB. Los datos guardados en esta memoria vienen acompañados de la hora y fecha a la que ocurrieron, de forma que el usuario pueda llevar un registro de eventos por día. Para guardar los datos se utilizará el formato propietario de Microsoft, FAT16.

### **2.2.6 Autonomía Energética**

El sistema se podrá alimentar con dos baterías de plomo-ácido de 12V, que podrán ser cargadas con los cargadores de batería modelo ProStar-30 de Morning Star Corporation, con los que se cuenta en FUNVISIS.

## **2.3 DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE DEL EQUIPO**

Basándose en los objetivos específicos planteados y las definiciones de la sección 2.2, se procedió al diseño del Digitalizador para Estaciones Sismológicas, al cual se referirá de ahora en adelante como el DES v1.0.

El desarrollo del hardware se realizó de forma modular, quedando el equipo conformado por los siguientes módulos y sub-módulos (en la figura 7 se observa el diagrama de bloques del sistema diseñado):

- Módulo de Adquisición de Datos.
  - Sub-módulo de Acondicionamiento de Señales.
- Módulo de Comunicaciones.
  - Sub-módulo RS232.
  - Sub-módulo USB.
  - Sub-módulo de Almacenamiento Masivo.
- Módulo de Sincronización.
  - Sub-módulo RTC.
  - Sub-módulo GPS.
- Fuente de Alimentación.

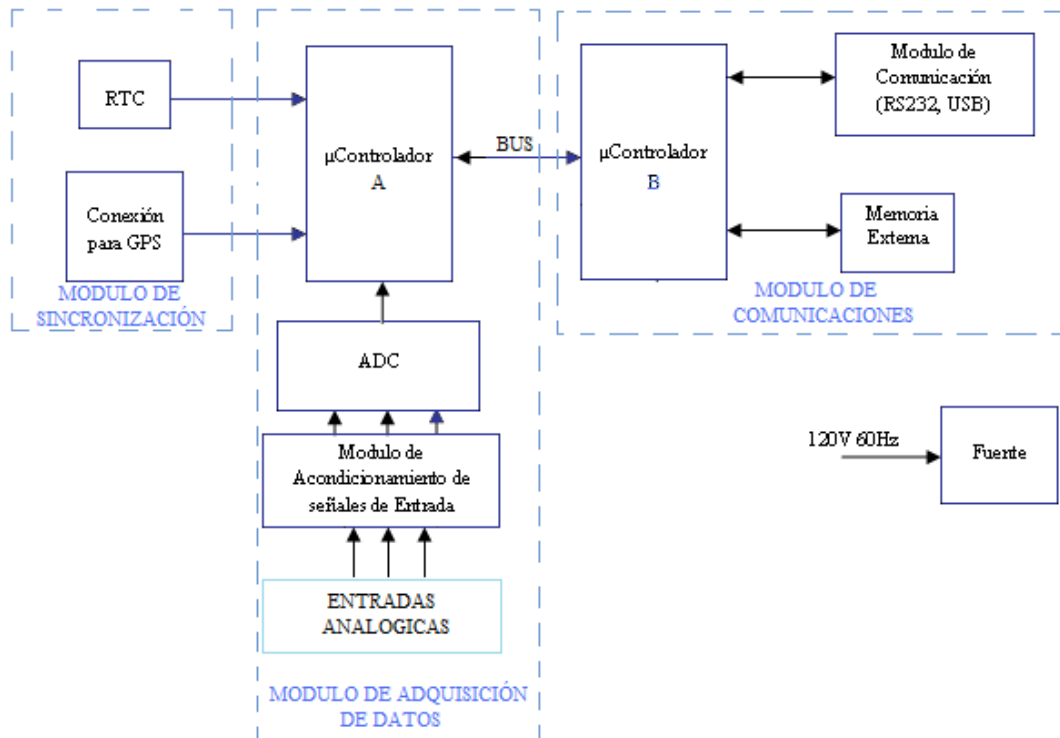


Figura 7. Diagrama de Bloques del DES.

El equipo queda conformado por 9 tarjetas PCB, correspondientes a los sub-módulos mencionados anteriormente incluyendo la fuente de alimentación DC. Las cuales se describen a continuación:

### 2.3.1 Módulo de Comunicaciones

La función principal de este módulo es empaquetar los datos provenientes del Módulo de Adquisición de Datos bajo el protocolo desarrollado como parte de este trabajo, el cual se explicará en las secciones 2.4 y 2.5, denominado PTDF v1.0 (Protocolo de Transmisión de Datos para FUNVISIS versión 1.0) para su posterior almacenamiento en la memoria SD bajo el formato FAT16, además este módulo se encarga de gestionar la transmisión de datos entre el equipo y un computador para fines de configuración, envío de datos capturados y detección de errores. Con el fin de facilitar al usuario las posibilidades de conectividad al equipo, el DES fue diseñado para tener la capacidad de comunicarse vía USB y RS232, es por ello que este módulo consta de un puerto USB denominado USB1 y un puerto RS232 denominado COM1. Para una mejor comprensión, en la figura 8 se puede observar un diagrama de bloques detallado de este módulo.

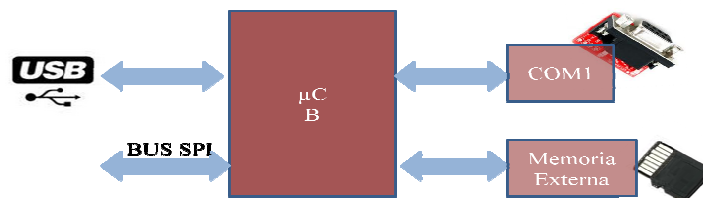


Figura 8. Diagrama de bloques del módulo de comunicaciones.

Para controlar el módulo de comunicaciones se optó por la utilización de un micro-controlador PIC18F8527, de la casa Microchip, el cual consta de 2 EUSART, utilizados para el control de los sub-módulos USB y RS232; 2 MSSP, utilizados para gestionar el módulo de almacenamiento masivo y la comunicación con la tarjeta de adquisición de datos. Además, cabe destacar, que se dejó contemplado en el diseño de

este módulo la posibilidad de agregar a futuro un sub-módulo para establecer comunicación Ethernet, utilizando un circuito integrado ENC28J60 de la casa Microchip, el cual puede conectarse al módulo de comunicaciones a través de un *bus* SPI.

El módulo de comunicaciones en su totalidad, consta de tres tarjetas PCB, correspondientes a:

- La Tarjeta Controladora, conformada por el PIC18F8527, el sub-módulo de almacenamiento masivo, terminales para conectarse al socket de la memoria SD, sub-módulo RS232, USB y al módulo de adquisición de datos. Para su debido funcionamiento, esta tarjeta consta de una entrada de alimentación DC de 5V y un regulador de 3,3V LM3940 dedicado para la alimentación de la memoria SD (ver sección 2.3.1.3).
- Sub-módulo RS232 (explicado en la sección 2.3.1.2)
- Sub-módulo USB (explicado en la sección 2.3.1.1)

En los anexos 5 y 6 se observan el diagrama de conexiones de la tarjeta controladora del módulo de comunicaciones y el diseño del PCB.

### **2.3.1.1 Sub-módulo USB**

Para la implementación de este sub-módulo se optó por la utilización del integrado FT232RL de la casa Future Technologies Devices International (FTDI chip), el cual corresponde a una interface *USB a Serial UART*. Se utilizó éste integrado debido a su menor costo en relación con integrados USB-SPI, su sencilla implementación y a que dicho integrado se consigue fácilmente en el país.

En la figura 9 se puede observar cómo se conectó el integrado FT232RL para la construcción del módulo USB, puede observarse que para alimentar al integrado se aprovecha la tensión de  $5V_{DC}$  proveniente del puerto USB del

computador, por lo cual debió colocarse un *bead* de ferrita (L1) en la línea de alimentación para filtrar interferencias electromagnéticas (ruido EMI).

Como se mencionó anteriormente este módulo corresponde al puerto USB1 del digitalizador, destinado para comunicarse con una PC para fines de configuración del equipo, descarga de la memoria, obtención de datos en tiempo real y detección de errores.

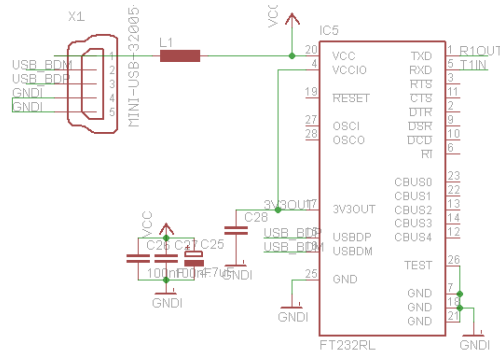


Figura 9. Conexión del Sub-módulo USB.

### 2.3.1.2 Sub-módulo RS232

Este sub-módulo está constituido por un integrado MAX232 con el fin de realizar la conversión de tensión de niveles de tensión TTL provenientes del PIC a los niveles de tensión requeridos por los puertos seriales bajo estándar RS232. En este sub-módulo como se mencionó anteriormente, reside el puerto COM1, utilizado para configurar el equipo desde el computador, descargar la memoria SD y obtener datos en tiempo real.

### 2.3.1.3 Sub-módulo de Almacenamiento Masivo

La función de este sub-módulo es almacenar los datos provenientes del ADC en conjunto con la hora exacta de adquisición de cada dato y las coordenadas de la localización de la estación sismológica, es por ello, que esta etapa se apoya en el módulo de Sincronización, el cual se explicará más adelante en este capítulo. Como

se mencionó anteriormente, este módulo consta de un socket para una memoria externa tipo SD y tiene la posibilidad de usar memorias de hasta 2GB, los datos son guardados en formato FAT16, en archivos de texto (.txt), con el fin que la memoria pueda ser extraída del equipo y descargada directamente en los computadores de FUNVISIS para el posterior tratamiento de datos.

La estructura de los archivos consiste en:

- Primera línea: encabezado con la identificación del equipo.
- Segunda línea: número de canales.
- Las líneas consecutivas corresponden a los datos, estructurados según el protocolo PTDF v1.0 (ver sección 2.5.3.3). En la figura 10 se muestra un archivo generado por el digitalizador.

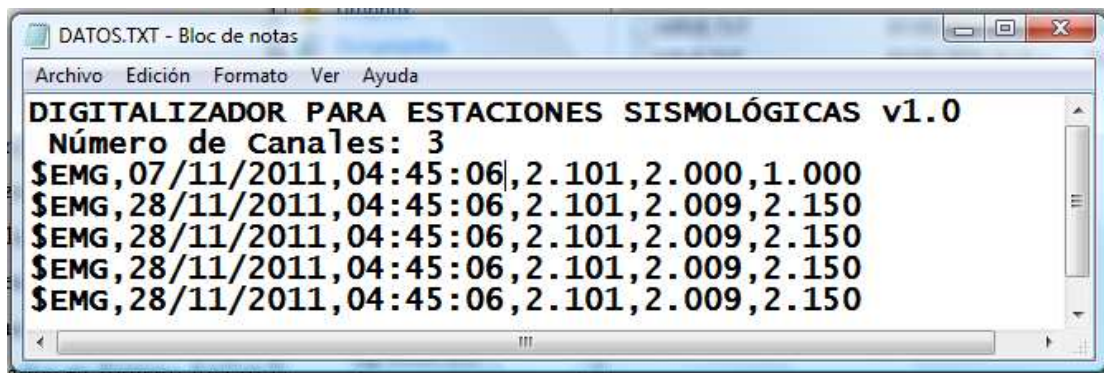


Figura 10. Archivo Generado en el Digitalizador Construido.

Para poder establecer la comunicación entre el PIC y la memoria SD, se utilizó la memoria en modo SPI, por lo que las definiciones de los pines de la SD para realizar las conexiones debieron tomarse como se muestra en la figura 11. Utilizar la memoria SD en modo SPI permite su implementación en sistemas embebidos que no cuenten con un host nativo, como es el caso del digitalizador desarrollado.

Debido a que el PIC18F8527, utilizado para el control de este sub-módulo, se encuentra alimentado a 5V, los niveles lógicos del *bus* SPI son TTL, y por lo tanto no son tolerados por la memoria SD, que opera con niveles CMOS de 3,3V, es por ello que fue necesario colocar una interfaz entre las líneas de datos del PIC y las de la memoria SD (SDO, SDI, SCK y CS). Como interfaz se utilizó un divisor de tensión con resistencias de 1,8k $\Omega$  y 3,3k $\Omega$ , cuya conexión se muestra en el anexo 5. Además se agregaron conexiones a los pines CD (Card Detect) y WP (Write Protect) de la memoria SD, para poder detectar por software si no hay una memoria colocada en el socket y si está protegida contra escritura, en cuyos casos no se ejecutarían las funciones para almacenar datos en la misma. Cabe destacar, que debido a que las memorias SD requieren de una tensión de alimentación estable de 3,3V para su debido funcionamiento, fue necesario colocar un regulador de 3,3V de baja caída (*low dropout*) LM3940 de la casa National Instrument, en dicho módulo.

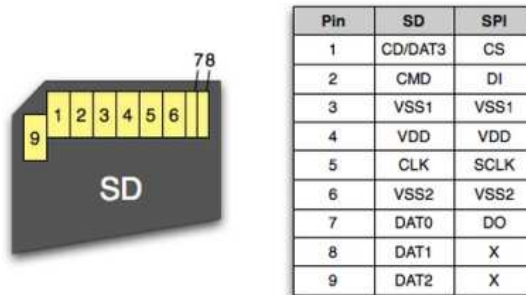


Figura 11. Distribución de conexiones de una memoria SD.

### 2.3.2 Módulo de Adquisición de Datos

Esta tarjeta se encuentra desarrollada alrededor de un micro-controlador PIC18F97J60 dedicado al control del ADC y del módulo de sincronización. Además a esta tarjeta se le agregó un puerto USB que se definió como puerto consola, con el fin de acceder directamente al convertidor ADC para mantenimiento y depuración, para ciertos modos de configuración y calibración del equipo. El puerto consola se

implemento con la misma topología mostrada en la figura 9 para el puerto USB1 del Módulo de Comunicaciones.

Para la conversión A/D se escogió utilizar un convertidor ADS1274 de la casa Burr Brown, este convertidor tiene una resolución de 24 bits con salida complemento a 2 y se comunica vía SPI en formato TDM (Time Division Multiplexing, por sus siglas en inglés) o discreto con el micro-controlador.

Se escogió la utilización de un convertidor de 24 bits puesto que los objetivos específicos de este trabajo contemplan conseguir al menos 96dB de rango dinámico, utilizando dicho convertidor junto con las referencias de tensión debidamente escogidas y la posterior calibración por software permite el cumplimiento de dicho objetivo.

Para la referencia de tensión se escogió el integrado REF5025, correspondiente a una referencia de tensión de 2,5V con una exactitud de 0,05% y estabilidad de 5ppm/1000h y además puede acotarse que esta referencia de tensión cuenta con un sensor de temperatura integrado para funciones de calibración por corrimiento de temperatura. Dadas las características de estabilidad que tiene la referencia de tensión REF5025, se puede compensar el corrimiento de 0,05% de la referencia, calibrando el equipo. (En el capítulo III se explicará la calibración del equipo). En el anexo 3 se puede observar el diagrama de conexiones de dicho módulo.

### **2.3.2.1 Sub-módulo de Acondicionamiento de Señales**

Para el acondicionamiento de la señal de entrada al equipo, se tiene que las salidas del sismómetro son de  $\pm 10V$  y que las entradas analógicas del ADC manejan máximo  $\pm 5,1V$ , por lo que la señal debe ser atenuada antes de realizar la conversión. Además es conveniente filtrar la señal de entrada antes de realizar la conversión analógico digital, con el fin de evitar ruido de alta frecuencia que pudiera acoplarse a la señal y ocasionar una medición incorrecta de la señal emitida por el sismómetro.



Para implementar el modulo de acondicionamiento de señales se decidió utilizar una etapa de acondicionamiento de los niveles de tensión, constituida por un divisor de tensión implementado con resistencias de película de metal de 1% de tolerancia, seguida de un amplificador instrumental de ganancia unitaria, el cual se colocó con el fin de mejorar el CMRR del circuito, para implementar el amplificador instrumental se utilizó el integrado AD8295, que corresponde a un amplificador instrumental integrado de ganancia variable junto con dos amplificadores operacionales adicionales, en la figura 12 se muestra el diagrama de bloques de dicho integrado.

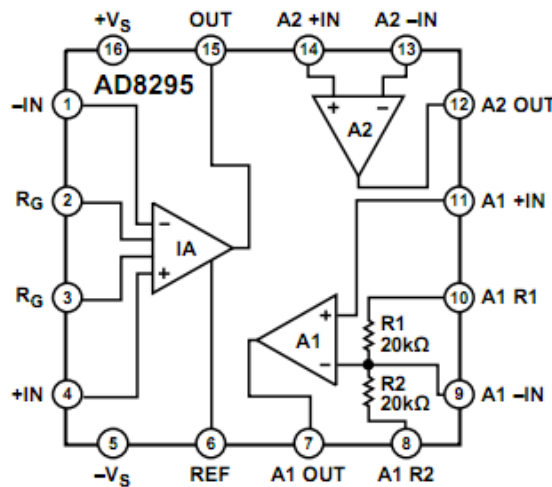


Figura 12. Diagrama de Bloques del integrado AD8295.[8]

A la salida del instrumental se implemento un filtro activo pasa bajos de segundo orden, con topología Sallen-Key, diseñado para una frecuencia de corte de 100Hz y ganancia unitaria. Se fijo la frecuencia de corte en 100Hz debido a que las señales sismológicas se encuentran por lo general entre 0,1Hz y 10Hz, diseñando una década por encima de la banda de interés se fija la frecuencia de corte. En la figura 13 se muestra el esquemático del circuito correspondiente a las etapas de atenuación y filtrado del modulo de acondicionamiento de señales, en el anexo 9 se muestra el diseño del PCB correspondiente a dicho circuito.

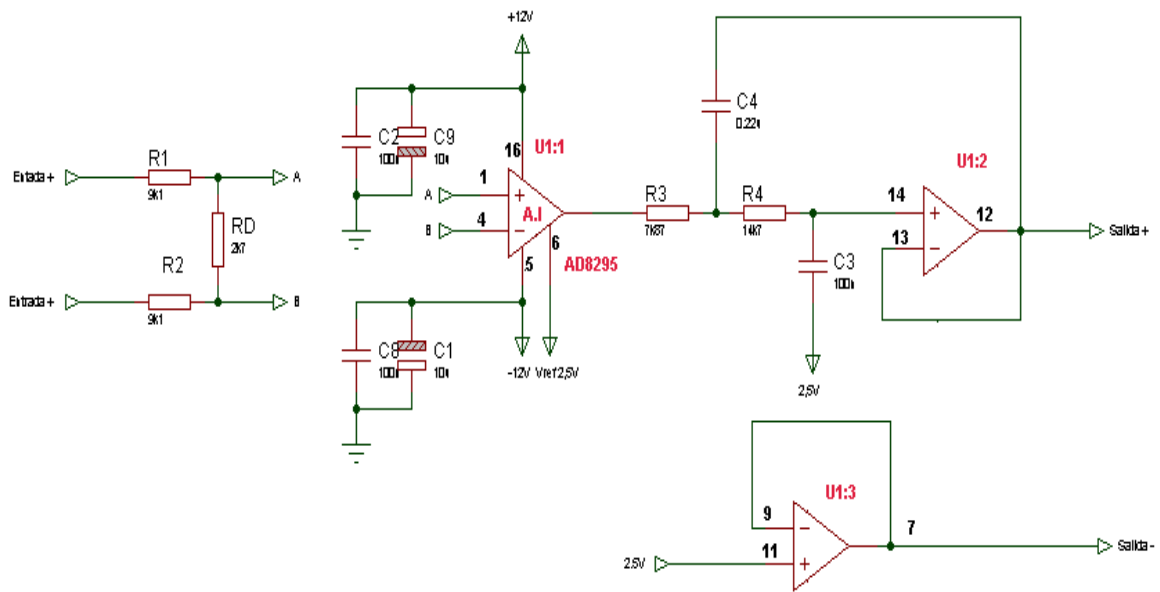


Figura 13. Esquemático del Circuito del Módulo de Acondicionamiento de Señales.

Para el diseño del filtro se fijó el factor de calidad  $Q$  en 0,7; ( $\zeta=0,707$  aproximadamente); la frecuencia de corte  $f_c=100\text{Hz}$  y la ganancia unitaria. Se decidió implementar un filtro Butterworth, debido a que estos filtros presentan la respuesta más plana en su banda pasante, y utilizar la topología Sallen-Key mostrada en la figura 13, debido a que esta garantiza la ganancia unitaria sin depender de las magnitudes de las resistencias y condensadores, además de que hace uso de un número reducido de componentes para implementar un filtro de 2<sup>do</sup> orden. Una vez determinada la topología del filtro a implementar se fijaron los valores de los condensadores. Se fijó el valor del condensador C3 en  $0,1\mu\text{F}$  que es un valor que se consigue fácilmente en el mercado y se tomó como criterio fijar el condensador C4 en aproximadamente el doble del valor de C3, quedando el valor comercial de C4 en  $0,22\mu\text{F}$ . Como tecnología de los condensadores se decidió utilizar condensadores plásticos debido al coeficiente térmico de este tipo de condensadores. Para determinar los valores de las resistencias R3 y R4, se utilizaron las siguientes ecuaciones, resultantes del análisis circuital de la topología Sallen-Key mostrada en la figura 13:

$$A = \frac{1}{R_3 \cdot R_4 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot \left( s^2 + s \cdot \left( \frac{1}{R_3 \cdot C_4} + \frac{1}{R_4 \cdot C_4} \right) + \frac{1}{R_3 \cdot R_4 \cdot C_3 \cdot C_4} \right)} \quad (7)$$

$$Q = \frac{\sqrt{R_3 R_4 C_4 C_3}}{(R_3 + R_4) \cdot C_3} \quad (8)$$

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{R_3 \cdot R_4 \cdot C_4 \cdot C_3}} \quad (9)$$

Al resolver el sistema de ecuaciones de 2 variables compuesto por las ecuaciones 8 y 9 se obtuvo  $R_3 = 7,61k\Omega$  y  $R_4 = 15,1k\Omega$ , siendo los valores comerciales más cercanos de la serie E96 del 1% de tolerancia  $7,68 k\Omega$  y  $15,4k\Omega$ . Por razones de disponibilidad en el mercado local finalmente se utilizaron resistencias de  $7,87k\Omega$  y  $14,7k\Omega$ , con las cuales evaluando las ecuaciones 8 y 9 se obtendría un factor de calidad  $Q=0,7068$  y una frecuencia de corte de  $f_c=99,8Hz$ . Adicionalmente, se determinó la incertidumbre del factor de calidad  $Q$  y la frecuencia de corte  $f_c$  con los valores y tolerancias de los componentes finalmente utilizados dichos cálculos se muestran en el anexo 17. Para determinar la incertidumbre se utilizó la expresión mostrada en la ecuación 10 [14].

$$u_c(f) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 (x_i \cdot \Delta x_i)^2} \quad (10)$$

Donde:

$u_c(f)$ : Incertidumbre de la función  $f(x_1, \dots, x_N)$

$x_i$ : Variables independientes.

$i$ : Índice de la sumatoria.

N: Número de variables independientes.

Aplicando la definición de incertidumbre mostrada en la ecuación 10 para las funciones de  $Q$  y  $f_c$ , se obtienen las expresiones 11 y 12 mostradas a continuación:

$$\Delta f_c = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{\Delta R_4^2}{R_3 \cdot R_4 \cdot C_4 \cdot C_3 \cdot \pi^2} + \frac{\Delta R_3^2}{R_3 \cdot R_4 \cdot C_4 \cdot C_3 \cdot \pi^2} + \frac{\Delta C_3^2}{R_3 \cdot R_4 \cdot C_4 \cdot C_3 \cdot \pi^2} + \frac{\Delta C_4^2}{R_3 \cdot R_4 \cdot C_4 \cdot C_3 \cdot \pi^2}} \quad (11)$$

$$\Delta Q = \frac{1}{2} \left( \left( 4 \left( \frac{C_4 \cdot R_3}{2\sqrt{C_3 C_4 R_3 R_4 (R_3 + R_4)}} - \frac{\sqrt{C_3 C_4 R_3 R_4}}{(R_3 + R_4)^2 C_3} \right)^2 R_4^2 \Delta R_4 \right) + 4 \left( \frac{C_4 R_4}{2\sqrt{C_3 C_4 R_3 R_4 (R_3 + R_4)}} - \frac{\sqrt{C_3 C_4 R_3 R_4}}{(R_3 + R_4)^2 C_3} \right)^2 R_3^2 \Delta R_3^2 + \frac{C_4 R_3 R_4 \Delta C_4}{C_3 (R_3 + R_4)^2} + 4 \left( \frac{C_4 R_3 R_4}{2\sqrt{C_3 C_4 R_3 R_4 (R_3 + R_4)} C_3} - \frac{\sqrt{C_3 C_4 R_3 R_4}}{(R_3 + R_4) C_3^2} \right)^2 C_3^2 \Delta C_3^2 \right)^{1/2} \quad (12)$$

Evaluando las expresiones 11 y 12 para  $R_3=7,87k\Omega$ ,  $R_4=14,7k\Omega$ ,  $C_3=100nF$ ,  $C_4=220nF$  y  $\Delta R_3=0,01$ ;  $\Delta R_4=0,01$ ;  $\Delta C_3=0,05$  y  $\Delta C_4=0,05$  se obtiene:

$$\Delta f_c = 4Hz \text{ y } \Delta Q = 0,03$$

Siendo  $Q=0,71 \pm 0,03$  y  $f_c=100 \pm 4Hz$  resultados admisibles para la aplicación.

Una vez fijados los valores de los componentes a utilizar, utilizando el programa MATLAB se determino la respuesta en frecuencia del módulo de acondicionamiento de señales. En la figura 14 se muestran los diagramas de bode de fase y magnitud obtenidos.

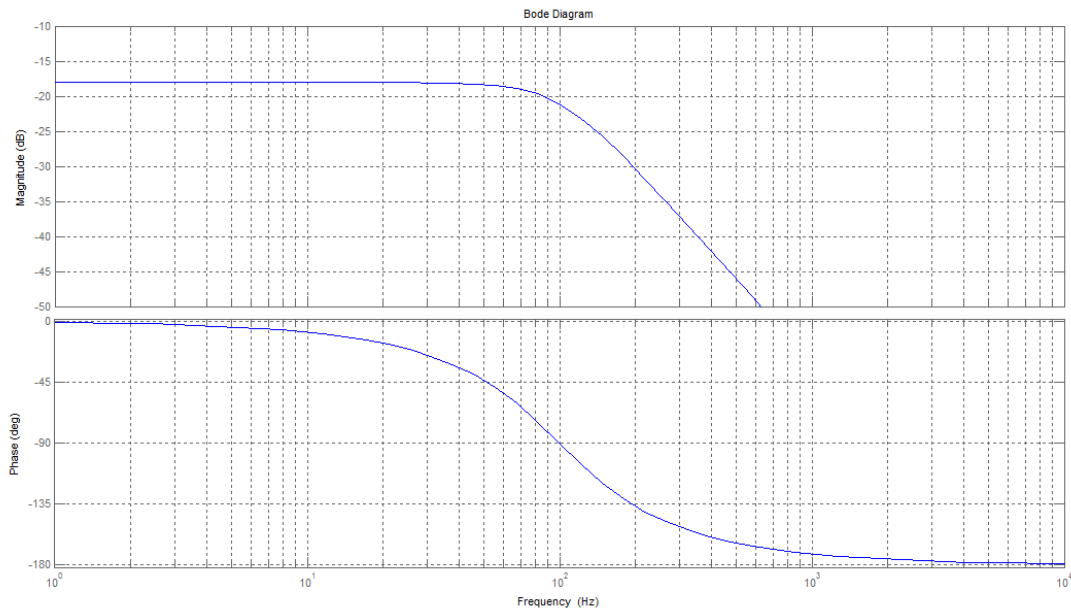


Figura 14. Diagramas de Bode en Magnitud y Fase para el Modulo de Acondicionamiento de Señales

Finalmente el modulo de acondicionamiento de señales queda constituido por 3 tarjetas PCB idénticas, cuyo diseño corresponde al mostrado en el anexo 9.

### 2.3.2.1.1 Comportamiento Térmico del Modulo de Acondicionamiento de Señales

Adicionalmente, se realizó el análisis teórico del comportamiento térmico del modulo de acondicionamiento de señales.

Partiendo de que el coeficiente térmico para una función de red viene dado por la expresión 13, se determinó como varían respecto a los cambios de temperatura, el factor de calidad  $Q$  y la frecuencia de corte  $f_c$ , debido a los coeficientes térmicos de los componentes encontrados para la implementación de dicho módulo.

$$CT = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\partial f(x, \Delta T)}{\partial x_i} \cdot x_i \cdot \Delta CT_i}{f(x, \Delta T)} \Big|_{\Delta T=0}^{x=x_0} \quad (13)$$

Donde:

$CT$ : Coeficiente de Temperatura.

$\Delta T$ : Incremento de Temperatura relativo a  $T_0$  ( $T_0$  es la temperatura ambiente).

$x_i$ : Valor de los elementos de la red a  $T_0$

$f(x, \Delta T)$ : Valor de la Función de Red.

Conocido el coeficiente térmico de las resistencias R4 y R3 de compuesto de carbón, denotado como  $CT_R = -600 \text{ppm}/^\circ\text{C}$ , y conocido el coeficiente térmico de los condensadores NPO utilizados, denotado como  $CT_C = 30 \text{ppm}/^\circ\text{C}$ , se determinaron  $\Delta CT_Q$  y  $\Delta CT_{f_c}$  (ver anexo 16), obteniendo:

$$CT_Q = -80 \cdot 10^{-9} \text{ppm}/^\circ\text{C}$$

$$CT_{f_c} = 570 \text{ppm}/^\circ\text{C}$$

De los resultados obtenidos, se observa que el coeficiente térmico del Factor de Calidad Q, es despreciable, para la aplicación realizada.

Posteriormente se realizó el estudio de ruido del filtro Sallen-Key, para lo cual se determinó el ruido térmico debido a las resistencias R<sub>3</sub> y R<sub>4</sub>, el ruido en exceso para un tiempo de operación del equipo de una semana, la contribución del ruido térmico del amplificador operacional y la corriente de ruido a la entrada. Los cálculos realizados se muestran en el anexo 18.

Para determinar el ruido térmico  $V_{TH}$  debido a las resistencias, se partió de la expresión 14, tomando  $R=R_3+R_4$ .

$$V_{TH} = 2 \cdot \sqrt{k \cdot T \cdot R \cdot B} \quad (14)$$

Donde:

$k$ : Corresponde a la constante de Boltzmann  $1,38 \times 10^{-23} \text{J/K}$ .

$T$ : Temperatura absoluta en Kelvin.

$B$ : Ancho de banda de ruido en hertz [Hz]

$R$ : Resistencia óhmica de entrada en ohm [ $\Omega$ ].

Para un filtro de segundo orden, se tiene que  $B=1,22 \cdot f_c$ , Evaluando la expresión 11, se obtiene:

$$V_{TH}=0,21 \mu V$$

Para determinar la contribución de ruido térmico y de exceso del amplificador operacional, se extrajo de la hoja de datos del AD8295 que la densidad espectral de potencia de ruido a 10Hz es de  $65 \text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$  aproximadamente y la corriente de ruido en la entrada del amplificador operacional es de 6pA. Puesto que a esta frecuencia contribuye tanto el ruido térmico de densidad espectral de potencia constante  $S_2(f)= 40 \text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$  [8] como el ruido en exceso, con densidad espectral de potencia de ruido  $S_1(f)=K_o/f$ , se tiene que la densidad espectral de potencia de ruido debida al amplificador operacional, vendrá dada por la siguiente expresión:

$$S(f) = \sqrt{S_1(f)^2 + S_2(f)^2} \quad (15)$$

Donde:

$S(f)$ : Densidad espectral de potencia de ruido.

$f$ : Frecuencia.

$S_2(f)$ : Densidad espectral de potencia del ruido térmico.

$S_1(f)$ : Densidad espectral de potencia del ruido en exceso.

Partiendo de la expresión 15, se obtiene la siguiente ecuación, de donde se despeja la constante  $K_o$ , para utilizarla en el cálculo del ruido de exceso, definido por la ecuación 16.

$$(65 \cdot 10^{-9})^2 = \sqrt{\left(\frac{K_o}{10}\right)^2 + (40 \cdot 10^{-9})^4} \quad (15)$$

Obteniéndose  $K_o = 0,39 \cdot 10^{-13}$

$$V_r = K_o \cdot \ln\left(\frac{f_2}{f_1}\right) \quad (16)$$

Donde:

$V_r$ : Tensión de Ruido de exceso. [V]

$K_o$ : Constante.

$f_2$ : Ancho de banda de ruido. [Hz]

$f_1$ : ciclo/(tiempo de operación en segundos). [Hz]

Evaluando la expresión 16 se obtiene que el ruido de exceso viene dado por:

$$V_{r1} = 0,84 \mu V$$

La contribución del ruido térmico viene dada por:

$$V_{r2} = 40 \cdot 10^{-9} \cdot \sqrt{122} = 0,44 \mu V$$

La contribución del ruido total aportado por el amplificador operacional viene dada por la expresión 17 mostrada a continuación:

$$V_R = \sqrt{V_{r1}^2 + V_{r2}^2} \quad (17)$$

Evaluando la expresión 17 se obtiene  $V_R = 0,95 \mu V$

A continuación se determinó la corriente de ruido a la entrada, definida por la expresión 18:



$$I_R = I_r \cdot \sqrt{B} \quad (18)$$

Donde:

$I_r$ : es la corriente de ruido a la entrada del amplificador operacional dada por el fabricante.

$B$ : es el ancho de banda del ruido.

Con lo que se obtuvo  $I_R=6,6nA$

Finalmente se determinó la tensión de ruido total presente en la entrada del filtro, la cual viene dada por la expresión 18.

$$V_{TRI} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{V_T^2 + V_R^2 + (I_R R)^2} \quad (18)$$

Donde:

$V_{TRI}$ : Tensión de ruido total presente en la entrada.

$V_T$ : Ruido térmico generado por las resistencias.

$V_R$ : Tensión de Ruido térmico total contribuido por el amplificador operacional.

$I_R$ : Corriente de ruido a la entrada.

$R$ : Resistencia en la entrada.

Sustituyendo en la expresión 18 se obtiene que  $V_{TRI}=1,8\mu V$

### 2.3.3 Módulo de Sincronización

Este módulo está constituido por el sub-módulo RTC y el sub-módulo GPS, como se explicó anteriormente, el RTC se encargará de mantener actualizada con precisión la hora y fecha del sistema, con el fin de conocer la hora y fecha en la que

fue realizada cada adquisición. Para la implementación del RTC se escogió la utilización del integrado DS1307, el cual se comunica vía I<sup>2</sup>C y posee 1s de resolución, los mili segundos se generaran por software en el PIC del módulo de adquisición de datos.

Para la configuración del DS1307 con la hora exacta, se empleará un GPS (Global Positioning System) modelo GPS Minimod de la casa Sparkfun, el cual envía datos vía serial, utilizando el protocolo NMEA 0183. Además se obtendrá la posición en términos de coordenadas geográficas y con resoluciones estándar (+/-100m) con el fin de registrar la ubicación del equipo en los datos a almacenar en la memoria externa.

#### **2.3.4 Fuente de Alimentación**

La fuente diseñada corresponde a una fuente regulada de +12V y -12V con una corriente máxima de 1A. Fue necesario incluir -12V para poder alimentar al módulo de acondicionamiento de señales diseñado. Además de alimentar al digitalizador, con esta fuente se alimenta al sismómetro CMG-40T1.

Para la construcción de la fuente se utilizó un transformador de 30V<sub>RMS</sub> 2A con toma central y para proteger al equipo del ruido EMI producido por el transformador, se decidió construir la fuente externa al equipo, dejándolo con una entrada de alimentación DC. Para dicha entrada de alimentación se utilizó un conector Amphenol DIN5, debido a que es un conector robusto y fácil de conseguir en el mercado venezolano. Para la rectificación de la señal AC proveniente del transformador se utilizaron diodos 1N4001 y para obtener los niveles de tensión de +12V y -12V se utilizaron los reguladores LM7812 y LM7912 respectivamente. En la figura 15 se puede observar la conexión de la fuente.

Para obtener los niveles de tensión de 5V y 3,3V requeridos por el equipo, se optó por colocar 2 reguladores LM7805 y 2 reguladores LM3940 dentro del equipo.

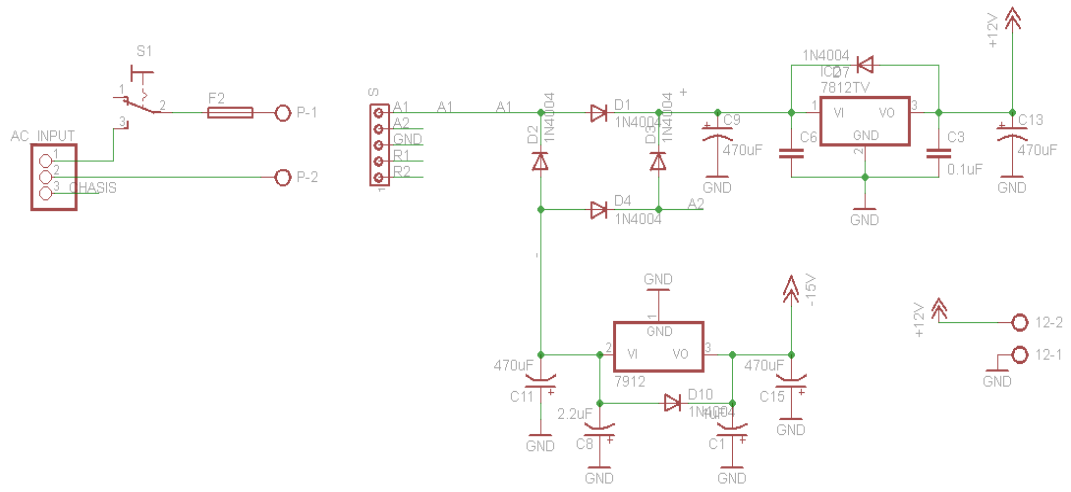


Figura 15. Fuente de Alimentación de +12 y -12V DC.

## **2.4 DEFINICIÓN DEL FIRMWARE**

Debido a las características del hardware del equipo, para su correcto funcionamiento es necesario el desarrollo de dos programas (que en lo adelante serán llamados firmware), uno para el micro-controlador A y otro para el micro-controlador B, a continuación se definirá cada uno de estos programas.

### **2.4.1 Firmware del Micro-controlador A**

El firmware del micro-controlador A consta de todas las funciones necesarias para el manejo del ADS1274, el RTC, el GPS; las rutinas pertinentes para la comunicación con el módulo de comunicaciones; creación de los paquetes de datos con los resultados de la conversión A/D, la hora de captura y la localización del equipo; comunicación por el puerto consola, el cual es utilizado en casos de que falle la tarjeta de comunicaciones para poder acceder directamente al convertidor, para la configuración del tiempo de muestreo y forzar configuración del RTC.

### **2.4.2 Firmware del Micro-controlador B**

El firmware del micro-controlador B consta de todas las rutinas necesarias para el almacenamiento de los paquetes de datos recibidos del micro-controlador A en la memoria SD; comunicación a través de los EUSART 1 y 2 con el PC con el fin de adquirir datos, descargar la memoria; comunicación con periféricos vía SPI o I<sup>2</sup>C.

## **2.5 DESCRIPCIÓN DEL FIRMWARE**

El firmware para ambos micro-controladores fue desarrollado en el entorno de desarrollo de CCS de la casa Custom Computer Services Inc. A pesar que el CCS consta de un amplio repertorio de librerías para el control de distintos periféricos.

Para el desarrollo del firmware del equipo, fue necesaria la creación de librerías para la utilización del ADS1274, el DS1307, GPS y memoria SD, las cuales serán descritas más adelante.

### 2.5.1 DESCRIPCIÓN DEL FIRMWARE DEL MICROCONTROLADOR A

El firmware del micro-controlador A se encuentra conformado por un programa principal denominado *main*, en la cual se realiza la configuración del Timer1 para que se desborde cada 1ms, se inicializan el RTC y el ADC, se habilitan las interrupciones de *Timer1* y recepción serial por el *EUSART 1*, y se envían los datos adquiridos por el ADC al módulo de comunicaciones (micro-controlador B) una vez que esté lleno un arreglo de datos tipo byte de longitud 256, denominado *buffer* de envío de datos. En la figura 16 se puede observar el diagrama de flujo la rutina principal.

En la interrupción de *Timer1* se adquieren los datos provenientes del ADS1274 y se almacenan en un arreglo de datos tipo byte (al cual en lo adelante se le llamará *buffer*), de 256 byte de longitud, una vez que se llena el *buffer* se activa una bandera para indicar en el *main* que se pueden enviar los datos, además en esta interrupción se leen los datos provenientes del RTC, éstos se almacenan en un segundo *buffer* definido como BUFH de 256 byte de longitud. En la figura 17 se puede observar el diagrama de flujo de la interrupción por timer1.

En la interrupción de recepción se modifica el valor del *Timer1* para cambiar el tiempo de muestreo del sistema, en caso que se haya recibido un comando de cambio de tiempo de muestreo *\$EMG\_TM,XX,#\r\n* , se modifica la configuración de hora y fecha del RTC en caso que se haya recibido un comando de configuración de RTC, *\$EMG\_TR,HHMMSSmm,DDMMAA,#\r\n* . En la figura 18 se observa el diagrama de flujo de esta interrupción.

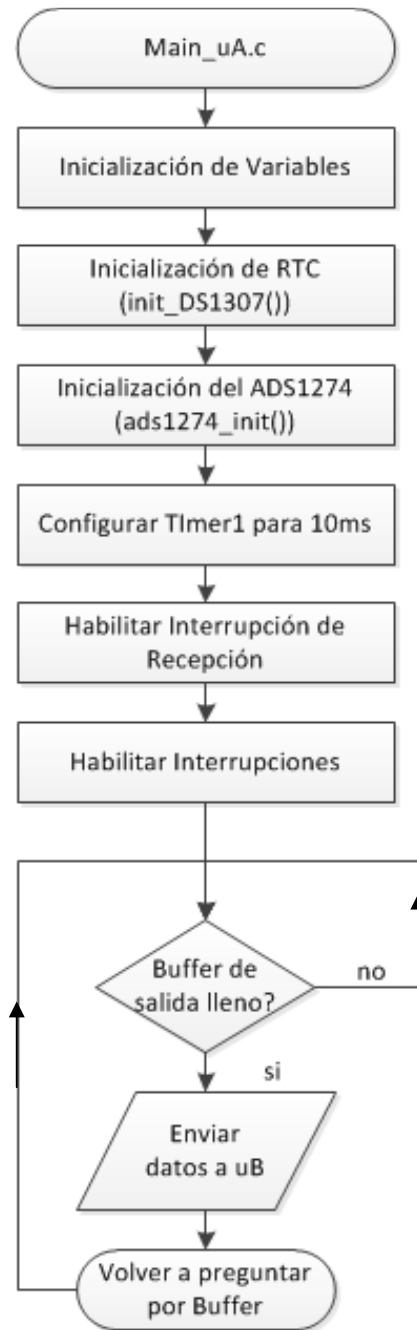


Figura 16. Diagrama de Flujo de la Rutina Principal del Micro-controlador A.

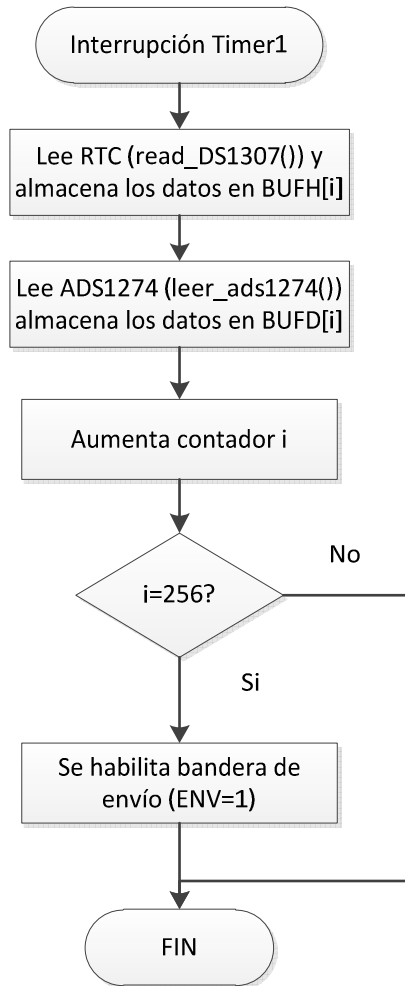


Figura 17. Diagrama de Flujo de Interrupción por *Timer1*.

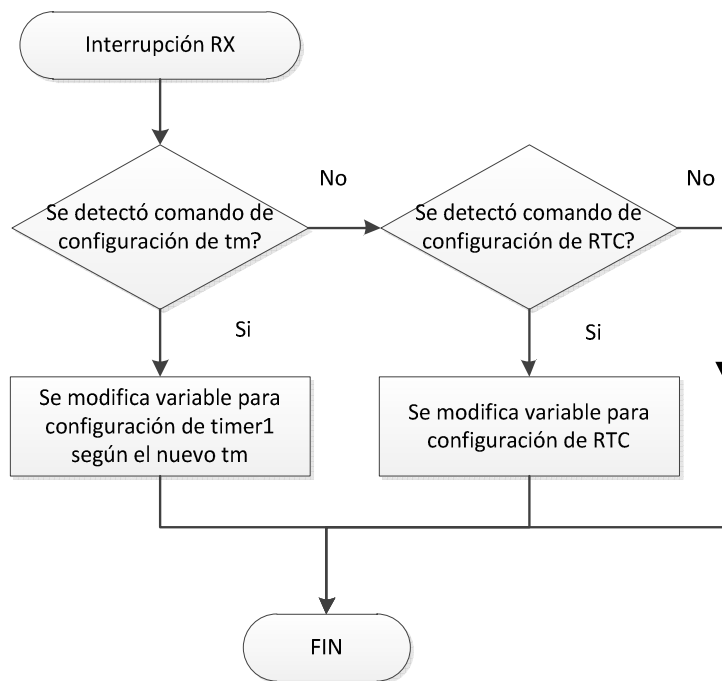


Figura 18. Diagrama de Bloques de Interrupción de Recepción RX del Micro-controlador A

### 2.5.2 DESCRIPCIÓN DEL FIRMWARE DEL MICROCONTROLADOR B

El firmware del micro-controlador B se encuentra conformado por un programa principal denominado *main\_uCB* (ver figura 19) en la cual se configuran y habilitan las interrupciones de recepción de datos por los *EUSART1* y *EUSART2*, denominadas *RDA1* y *RDA2* respectivamente, habilita la interrupción por el *MSSP* (Master Synchronous Serial Port, por sus siglas en inglés), se almacenan los datos provenientes del micro-controlador A en la memoria SD, bajo formato FAT16, cada vez que se habilita la bandera de almacenamiento masivo ( $BAM=1$ ) y además de estar habilitada la conexión a un computador y ser requerido por el usuario se descargan los datos de la conversión, fecha, hora y ubicación.



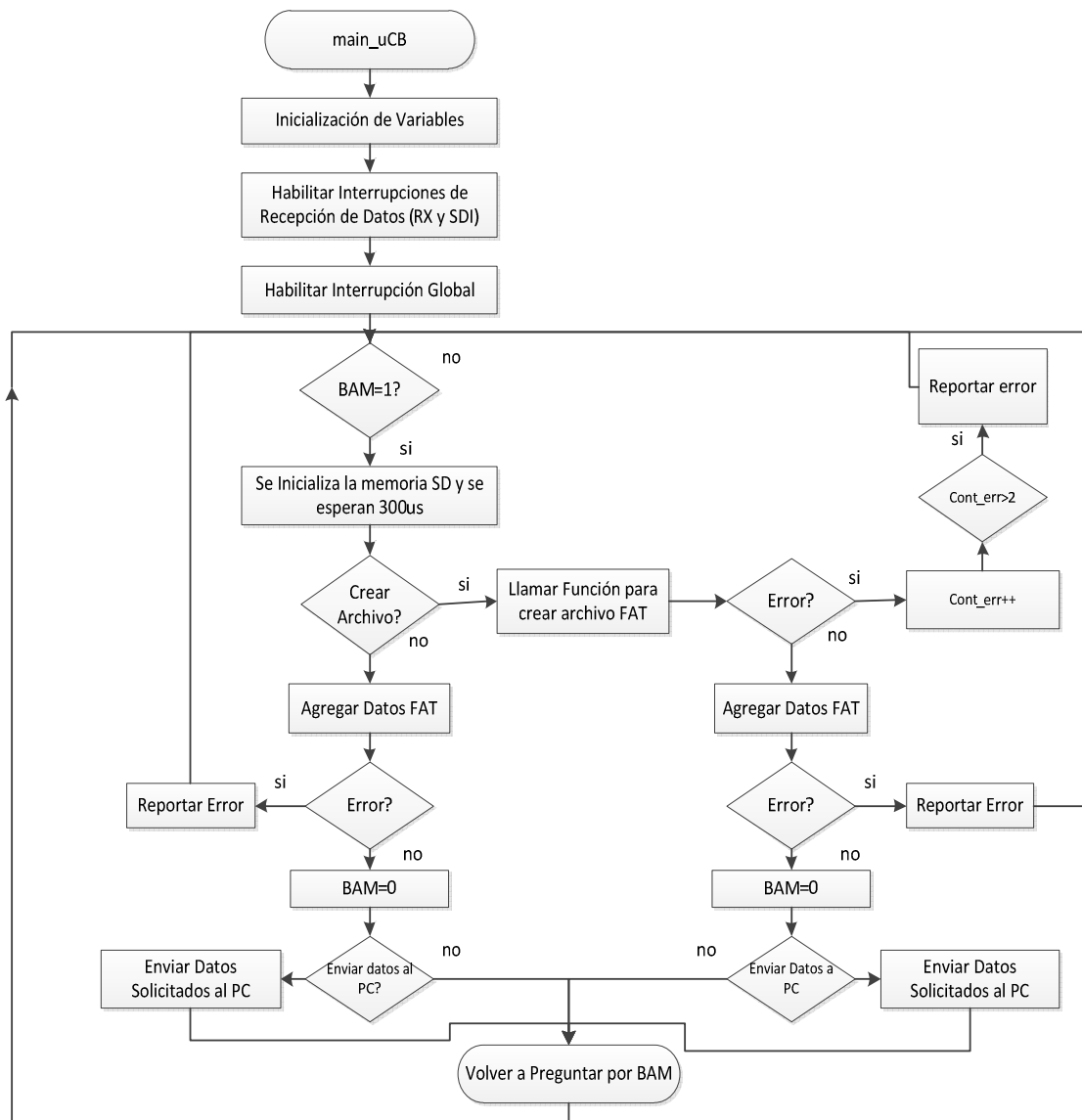


Figura 19. Diagrama de Flujo del Programa Principal del Micro-controlador B.

En la figura 20 se muestra el diagrama de flujo de la interrupción de recepción serial *RDAI* del micro-controlador B. Esta interrupción tiene la función de determinar qué información está solicitando el usuario o que acción desea realizar, como extraer la memoria SD del equipo.

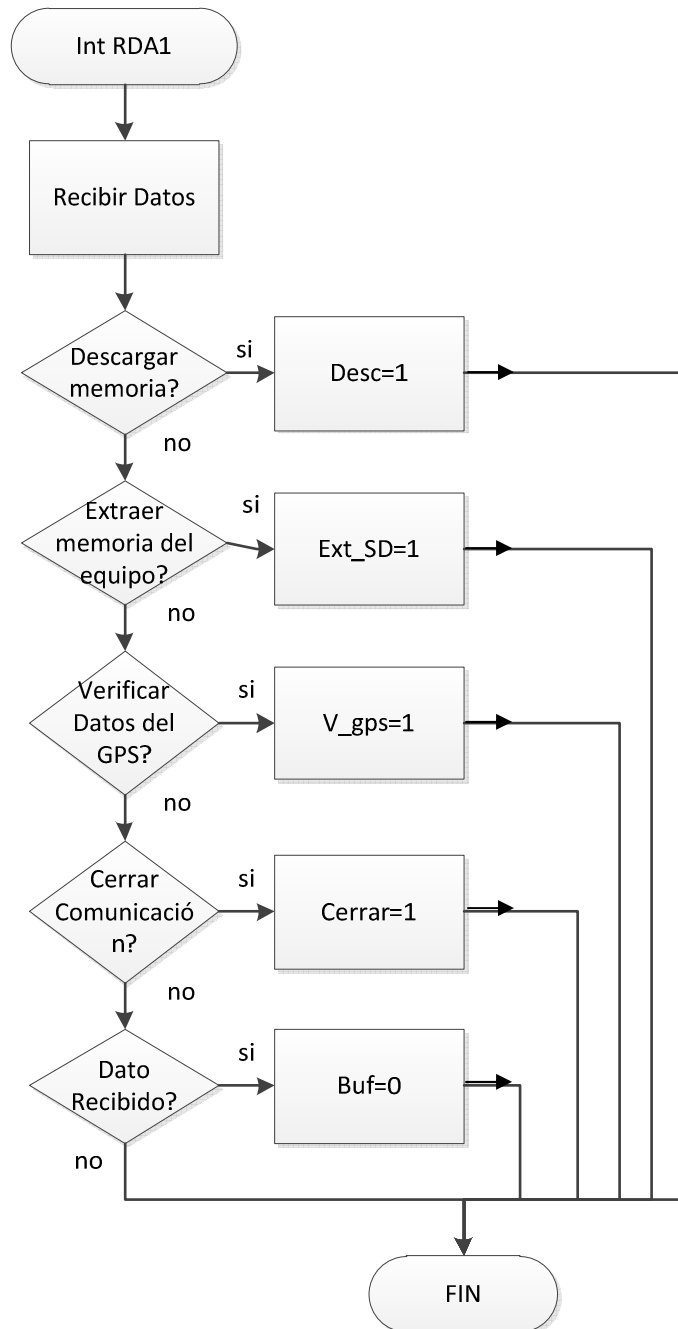


Figura 20. Diagrama de Flujo de Interrupción RDA1 del Micro-controlador B.

La interrupción *RDA2* de recepción se utiliza para adquirir los datos del GPS para funciones de sincronización y conocimiento de la localización del equipo.

El GPS se comunica con el micro-controlador B mediante el estándar NMEA 0183, el cual hace uso de un protocolo serial con las siguientes especificaciones para la transmisión de datos:

- 4800baud.
- Bits de Datos: 8.
- Bits de Parada:1.
- Paridad: Ninguna.
- Control de Flujo: Ninguno.

En la capa de aplicación el estándar NMEA 0183 define el contenido que debe tener cada mensaje, dichos mensajes son enviados en código ASCII y tienen la siguiente estructura:

- Cada mensaje comienza con el símbolo “\$”.
- Los siguientes 2 caracteres identifican al emisor (GP en el caso de que sea un GPS) y los siguientes 3 caracteres a continuación identifican el tipo de mensaje.
- El resto de los campos de datos se encuentran delimitados por comas “,”.
- Cuando un dato no se encuentra disponible, el campo correspondiente contendrá el código ASCII <NULL>.
- El penúltimo carácter del mensaje corresponde a un asterisco “\*”, el cual es seguido por el valor del checksum, representado por un número hexadecimal de 2 cifras. Dicho checksum corresponde a la operación lógica XOR de todos los caracteres entre el símbolo “\$” y el “\*”.
- El mensaje termina con <CR><LF> (Carriage return y Line Feed por sus siglas en ingles, retorno de carro y salto de línea).

Como se menciono anteriormente el protocolo NMEA envía distintos tipos de mensajes. En este trabajo sólo se tratan los mensajes tipo GPRMC (Recommended Minimum Specific GPS/Transit data, por sus siglas en ingles) los cuales contienen los datos específicos mínimos para el conocimiento de la posición. En la tabla 3 se muestra como se encuentra constituida una trama GPRMC, posteriormente se explican las funciones realizadas en el micro-controlador B para extraer los datos correspondientes a la fecha, hora, latitud y longitud a ser usados en el equipo (ver figuras 21 y 22).

*\$GPRMC,hhmmss.ss,A,lll.ll,a,yyyyy.yy,a,x.x,x.x,ddmmyy,x.x,a\*hh\r\n*

Tabla 3. Campos de una trama GPRMC.

\$GPRMC	hhmmss.ss	A	lll.ll	a	yyyyy.yy	a	x.x	x.x	ddmmyy	x.x	a*hh
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11 12

- 1: Hora UTC (Tiempo Universal Coordinado).
- 2: Validación de Datos (A=dato valido, V=no valido),
- 3: Latitud.
- 4: Norte o Sur
- 5: Longitud.
- 6: Este u Oeste.
- 7: Velocidad en Nudos.
- 8: Curso verdadero.
- 9: Fecha UT (Universal Time).
- 10: Grados de variación magnética.
- 11: Este u Oeste.
- 12: Checksum.

Para extraer los datos de fecha, hora, latitud y longitud se creó una función booleana llamada tiempo\_gps, la cual utiliza como argumentos de entrada 4 arreglos para guardar la información de la hora, fecha, latitud y longitud y un puntero para guardar la información del campo de validación de datos de la trama GPRMC. Si el

carácter de validación corresponde a la letra “A” esta función retorna 1, de lo contrario retorna 0. La función trabaja de la siguiente forma: Primero se verifica que el encabezado de la trama leída coincida con el encabezado de la trama GPRMC (\$GPRMC), de ser así se procede a almacenar la hora (hhmmss.ss) que correspondería al siguiente dato después de la identificación de la trama, posteriormente se almacena el carácter de validación, la latitud, longitud y finalmente la fecha. En la figura 20 se muestra el diagrama de flujo de esta función.

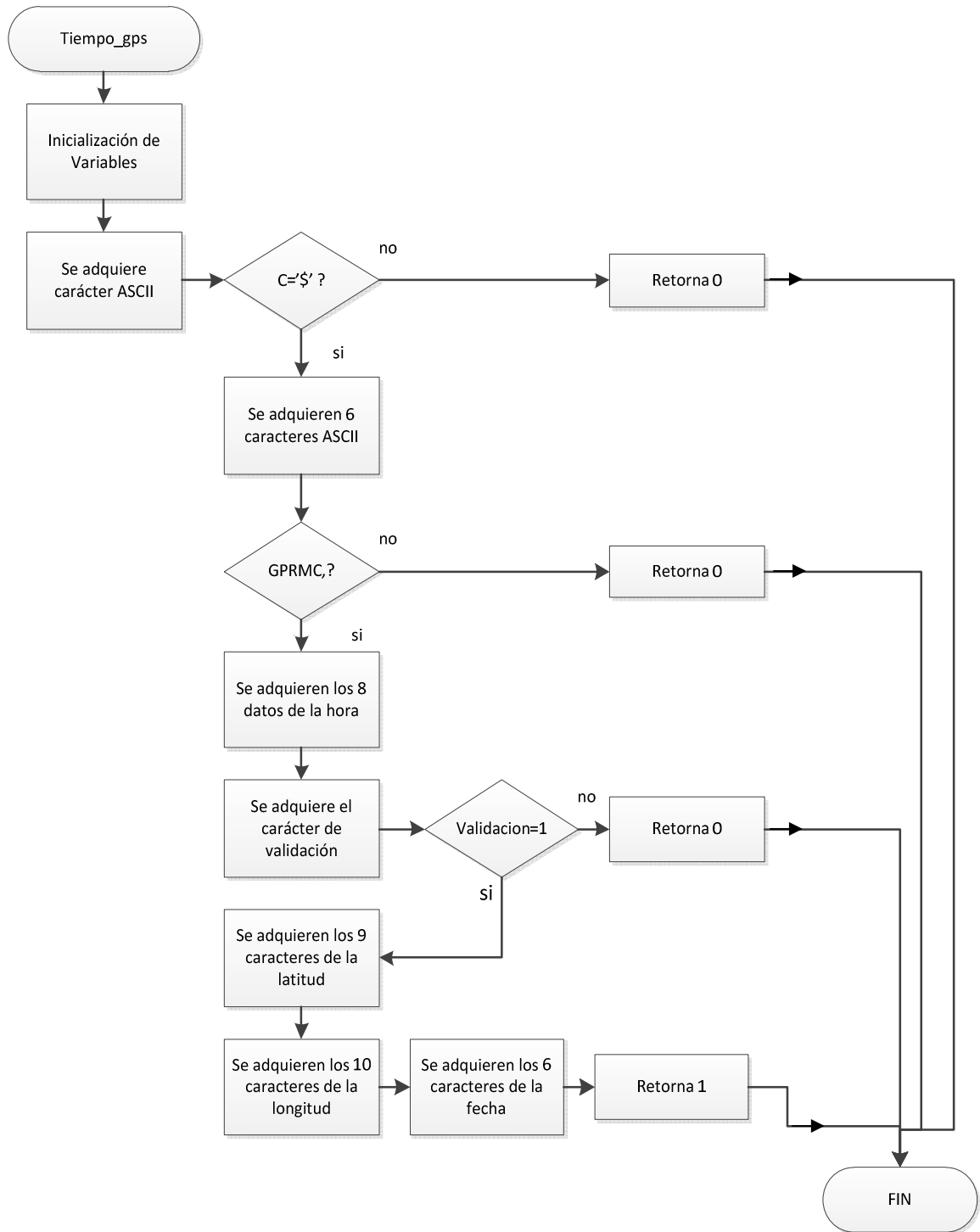


Figura 21. Diagrama de Flujo de la función tiempo\_gps.

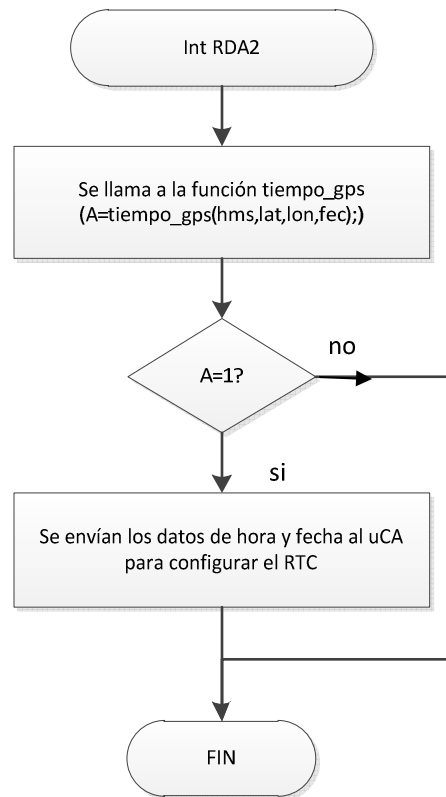


Figura 22. Diagrama de Flujo de Interrupción RDA2.

### 2.5.3 EL PROTOCOLO PTDF v1.0

Debido a que uno de los requerimientos realizados en FUNVISIS era que los datos que llegaran al computador fueran en formato ASCII, para después poder tratar los datos en un futuro con los programas de análisis de señales sísmológicas con los que se cuentan, se decidió implementar un protocolo similar al NMEA 0183 previamente explicado, con la diferencia que en la capa de aplicación se definen nuevos tipos de mensajes para la configuración del equipo, reporte de errores y envío de datos.

### 2.5.3.1 ESTRUCTURA DE DATOS

Como se mencionó anteriormente el protocolo PTDF v1.0 (Protocolo de Transferencia de Datos para Funvisis v1.0) es similar al NMEA 0183, con algunas diferencias en la capa de aplicación. La estructura de los datos enviados del PTDF v1.0 posee las siguientes características:

- Cada mensaje comienza con el símbolo “\$”.
- Los siguientes 3 caracteres identifican al emisor y los siguientes 2 caracteres a continuación identifican el tipo de mensaje.
- El resto de los campos de datos se encuentran delimitados por comas “,”.
- Cuando un dato no se encuentra disponible, el campo correspondiente contendrá un espacio.
- El penúltimo carácter del mensaje corresponde a un asterisco “\*”.
- El mensaje termina con <CR><LF>.

### 2.5.3.2 MENSAJES DE CONFIGURACIÓN DEL EQUIPO

Existen 2 mensajes de configuración del equipo, correspondientes a:

- Configuración de fecha y hora.
- Configuración de Tiempo de Muestreo.

El mensaje de la configuración de fecha y hora tiene la siguiente estructura:

***\$EMGCH,H,F,hmmss,ddmmaa,\*\r\n***

Donde los campos H y F pueden tomar el valor 0 o 1 para indicar si se desea configurar la hora y la fecha respectivamente. En la tabla 4 se explica el uso de estos campos.



Tabla 4. Significado del Campo H y F.

<b>H</b>	<b>F</b>	<b>Significado</b>
0	1	Configurar Fecha
1	0	Configurar Hora
1	1	Configurar Fecha y Hora

En el campo *hhmmss* se coloca la hora militar para la configuración.

En el campo *ddmmaa* se coloca la fecha a configurar.

El último campo al igual que en el protocolo NMEA 0183 corresponde al checksum de todos los campos comprendidos entre el símbolo \$ y el \*. Cabe destacar que la utilización de este campo es opcional.

El mensaje de configuración de tiempo de muestreo tiene la siguiente estructura:

***\$EMGTM, TM, \*XX\r\n***

Donde TM tiene el significado mostrado en la tabla 5.

Tabla 5. Significado del Campo TM.

TM	Tiempo de Muestreo
0	Default
2	10ms
3	1s

### 2.5.3.3 MENSAJES DE ENVIÓ DE DATOS

Existen seis tipos de mensajes de envío de datos, destinados para distintas funcionalidades del equipo, dichos mensajes corresponden a:

- Mensaje Completo.
- Mensaje Canal Este-Oeste.
- Mensaje Canal Norte-Sur.
- Mensaje Canal Vertical.
- Mensaje RTC.
- Mensaje GPS.

El mensaje completo contiene los datos referentes a la hora a la que se adquirieron los datos enviados en dicho paquete, la fecha y los 3 datos obtenidos del convertidor analógico a digital. La estructura de dicho mensaje se muestra a continuación:

***\$EMGFL,dd/mm/aa,HH:mm:ss:hh,CH\_V,CH\_NS,CH\_EO,\*xx\r\n***

Donde el primer campo corresponde a la fecha, el segundo campo a la hora, el tercer campo al dato del canal vertical, el cuarto campo al dato del canal norte sur, el quinto campo al canal este oeste y por último el checksum (opcional). Cada dato correspondiente a cada canal es enviado con 7 cifras significativas.

El mensaje Canal Este-Oeste, contiene solamente la información de dicho canal, posee la misma estructura que los mensajes Canal Norte-Sur y Canal Vertical, los cuales contienen los datos de los canales norte sur y vertical respectivamente.

Por cada dato adquirido con el ADC se envían siete cifras significativas. A continuación se muestra la estructura de estos mensajes.

***\$EMGEO,x.xxxxxx,\*cc\r\n***

***\$EMGNS, x.xxxxxx,\*cc\r\n***

***\$EMGVE,x.xxxxxx,\*cc\r\n***

El mensaje RTC contiene únicamente la información del RTC. La estructura es la siguiente:

***\$EMGRT,hhmmss,ddmmaa,\*xx\r\n***

El mensaje GPS contiene la información extraída de la trama GPRMC del GPS, correspondiente a la fecha, hora, latitud, longitud y carácter de validación. La estructura de este mensaje se muestra a continuación:

***\$EMGGP,HHmmssh,A,lll.ll,a,yyyy.yy,a,ddmmaa,\*xx\r\n***

Cuyos campos corresponden a Hora UTC, carácter de validación, latitud, norte o sur, longitud, este u oeste, fecha, checksum(opcional).

#### **2.5.3.4 MENSAJES DE REPORTE DE ERRORES**

Existe un mensaje de reporte de errores, con el cual se pueden reportar al computador los siguientes errores:

- Error de Inicialización de Memoria SD: \$EMG
- Error creando archivo en memoria SD.
- Error agregando datos en memoria SD.

La estructura del mensaje de errores se muestra a continuación:

***\$EMGER,IMSD,CASD,ADSD,\*xx\r\n***

Donde cada campo tiene el siguiente significado:

- IMSD: Informa si se produjo un error de inicialización en la memoria SD tomando cualquier valor distinto de 0, si vale cero no se produjo dicho error.

- CASD: Informa si se produjo un error creando un archivo en la memoria SD tomando cualquier valor distinto de 0, si vale cero no se produjo dicho error.
- ADSD: Informa si se produjo un error agregando datos a la memoria SD tomando cualquier valor distinto de 0, si vale cero no se produjo dicho error.

## **2.6 DEFINICION DEL SOFTWARE**

El software de configuración del Digitalizador para Estaciones Sismológicas es una interfaz gráfica sencilla, mediante la cual el usuario podrá realizar las siguientes acciones:

- a) Configurar tiempo de muestreo del digitalizador.
- b) Forzar configuración del RTC interno del equipo.
- c) Visualizar datos en tiempo real de los 3 canales del equipo.
- d) Descargar los datos de la memoria del equipo al computador.
- e) Visualizar los datos descargados de la memoria.
- f) Visualizar fecha y hora actual.
- g) Diagnosticar fallas del equipo.

## **2.7 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE**

El software de configuración del equipo fue desarrollado utilizando la herramienta GUI del programa MATLAB.

El software es una interfaz gráfica conformada por una única ventana (ver figura 23) en la cual el usuario podrá visualizar la fecha en la esquina superior izquierda, la hora en la esquina superior derecha, los datos de los 3 ejes del sismómetro (V, E/O, N/S), configurar el RTC y modificar el tiempo de muestreo. Además esta ventana cuenta con una barra menú con las siguientes opciones:

- Opciones: En esta opción del menú se despliega un sub-menú que le permite al usuario escoger entre extraer la memoria del equipo o descargar los datos de la misma al computador.
- Conectar: En esta opción se despliega un sub-menú que le da al usuario la opción de conectarse al equipo por el puerto consola, el puerto USB1 o el RS232.
- Desconectar: Al pulsar esta opción se termina la comunicación con el digitalizador.
- Ayuda.

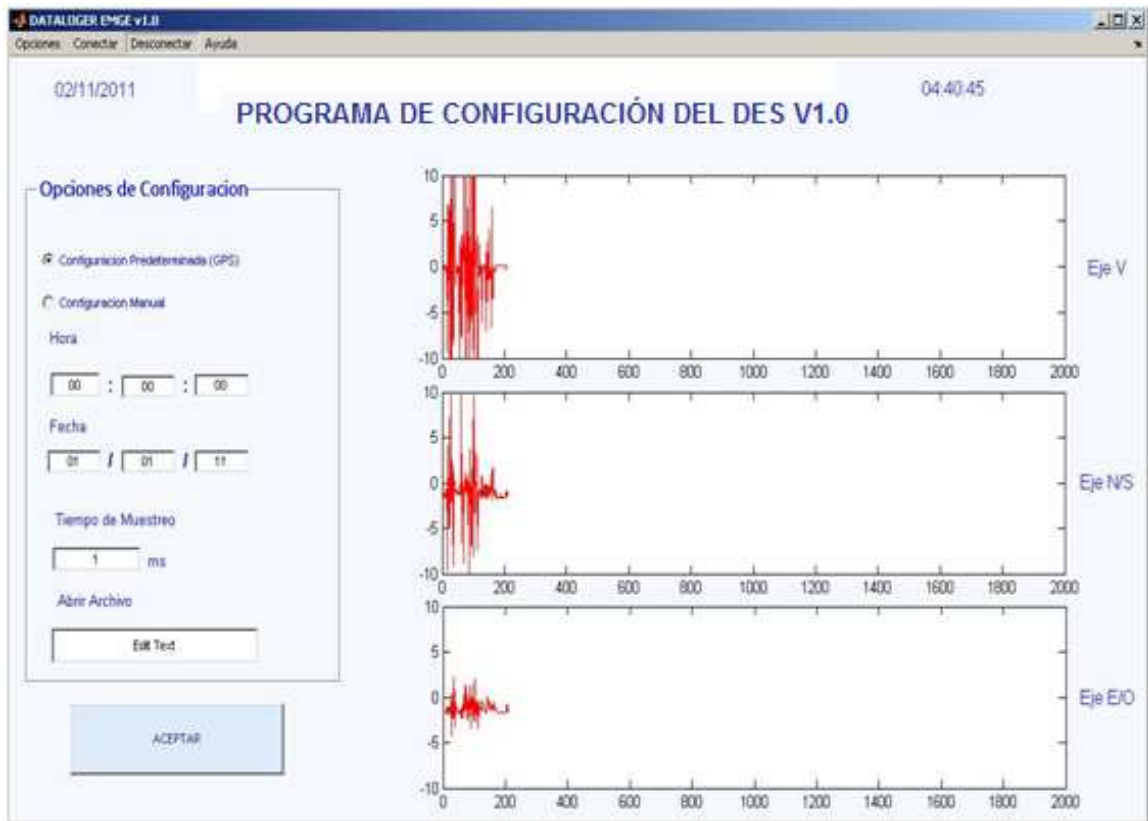


Figura 23. Ventana del Programa de Interfaz Usuario.

## CAPITULO III VALIDACIÓN DEL EQUIPO

Para la validación del equipo se realizaron una serie de pruebas funcionales, con el fin de verificar que el equipo estuviese operando correctamente. Dichas pruebas se clasificaron de la siguiente manera:

- **Pruebas Funcionales por Módulo:** correspondientes a las pruebas realizadas para verificar el funcionamiento de cada uno de los módulos que conforman el digitalizador, antes de ensamblar el equipo. A todos los módulos se le realiza una verificación de la tensión de alimentación y posteriormente se verifica que se encuentren operando de acuerdo a las especificaciones de diseño expuestas en el Capítulo II.
- **Pruebas de Funcionamiento del Equipo Ensamblado:** correspondientes a los ensayos realizados después de haber corroborado el funcionamiento de cada módulo, con el fin de verificar que el equipo se encuentre operando correctamente, una vez que se encuentran integrados todos los módulos que lo conforman. Utilizando el puerto consola se verifica que la información contenida en los paquetes de datos generados en el microcontrolador A contenga los datos de digitalización, fecha y hora, y que el equipo responda a los comandos de configuración generados en el software de interfaz usuario. Posteriormente se verifica que los datos guardados en la memoria SD correspondan a los datos provenientes del módulo de adquisición de datos. Una vez verificado esto se procede a la calibración del equipo, para la cual primero se realiza una calibración inicial, se realiza el ajuste en base a los resultados obtenidos y se realiza una calibración final. Por último se prueba el equipo calibrado con el sismómetro CMG40T-1.

En las secciones 3.1 y 3.2 se explicaran a fondo el conjunto de pruebas realizadas tanto por módulo como de funcionamiento del equipo.

### 3.1 Pruebas Funcionales por Módulo.

#### 3.1.1 Pruebas del Módulo de Acondicionamiento de Señales

Para probar el funcionamiento de este módulo primero se verificaron las tensiones de alimentación de  $+12V_{DC}$ ,  $-12 V_{DC}$  y  $+5 V_{DC}$  y el valor de la referencia de tensión REF5025, para lo cual se utilizó un multímetro HP, modelo HP34401A de 6½ dígitos de resolución, certificado por la empresa ENINSEL, bajo el certificado número 3010-179. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Resultados Obtenidos de las mediciones de las tensiones de alimentación del módulo de acondicionamiento de señales.

<b>Nombre de la Prueba</b>	<b>Rango de Tensión Permitido [V]</b>	<b>Resultado Obtenido [V]</b>
Medición de Tensión de $+12V_{dc}$	11,5-12,5 [9]	11,9
Medición de Tensión de $-12V_{dc}$	-11,5; -12,5 [10]	-11,9
Medición de $+5V_{dc}$	4,75-5,25 [9]	5,10
Medición de Tensión de Referencia	2,375-2,625 [11]	2,570

#### Determinación de la respuesta en frecuencia de cada filtro (Diagramas de Bode de Magnitud y Fase)

Para determinar la respuesta en frecuencia de módulo de acondicionamiento de señales, se realizó un ensayo de barrido en frecuencia de 1Hz a 457Hz, utilizando a la entrada del filtro una señal sinusoidal de 22Vpp, offset= 0V. Los equipos utilizados fueron los siguientes:

- Medidor Vectorial de Ganancia y Fase. Marca: Hewlett Packard, Modelo: HP 3575A Gain Phase Meter 1Hz-13MHz. Serial: 274150 .
- Frecuencímetro. Marca: Leader. Modelo: LDC-822A Digital Counter. Serial: 0427368.

- Generador de señales. Marca: 4M Industries inc. Modelo: 4MFG-2210. Serial: 60828035.
- Osciloscopio. Marca: LG. Modelo OS-5020.

En la figura 24 puede observarse como se conectaron los equipos mencionados para realizar la medición de ganancia, fase y frecuencia. En el anexo 14 se muestran se exponen los datos obtenidos de la prueba y en la figura 25 se observan los diagramas de bode en magnitud y fase obtenidos a partir de los datos recolectados, Para graficar se utilizó el programa MATLAB.

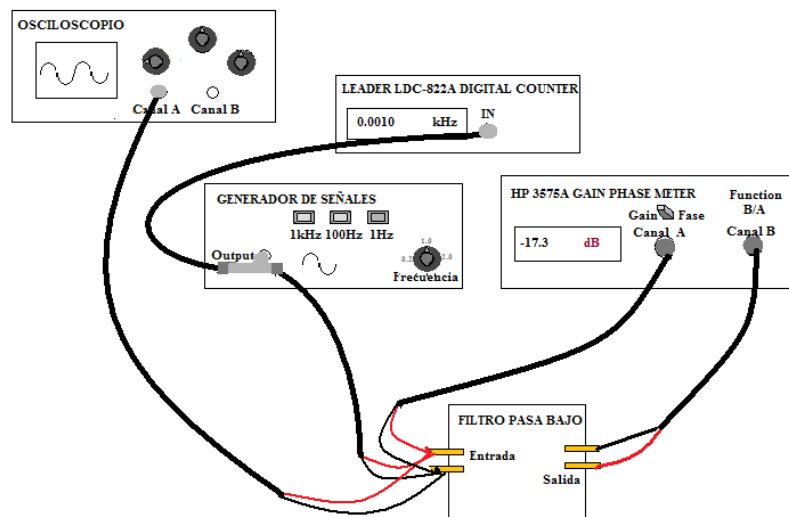


Figura 24. Diagrama de Conexiones para la determinación de la respuesta en frecuencia del filtro diseñado para el módulo de acondicionamiento de señales.

Para determinar la frecuencia de corte del filtro, se buscó en los datos obtenidos (ver anexo 14) el punto en el cual la ganancia decayera en 3dB, lo que corresponde a un decaimiento hasta el 70,7% de la amplitud de la señal en la banda pasante del filtro. Basándose en los datos recolectados se determinó que la frecuencia de corte del filtro se encuentra entre 99,4Hz y 109Hz. Adicionalmente, al terminar este ensayo se realizó otra prueba para corroborar la frecuencia de corte del filtro, para lo cual se conectó el canal A del osciloscopio a la salida del filtro y se procedió a variar la frecuencia (Partiendo de 1Hz) hasta que la amplitud de la señal



correspondiera al 70,7% aprox. de la amplitud en la banda pasante, con lo que se encontró que la frecuencia de corte está en los 101Hz aprox (ver anexo 12), lo que es un resultado consistente con el ensayo explicado anteriormente y se encuentra dentro de los parámetros de diseño ( $f_c=100\pm 4\text{Hz}$ ).

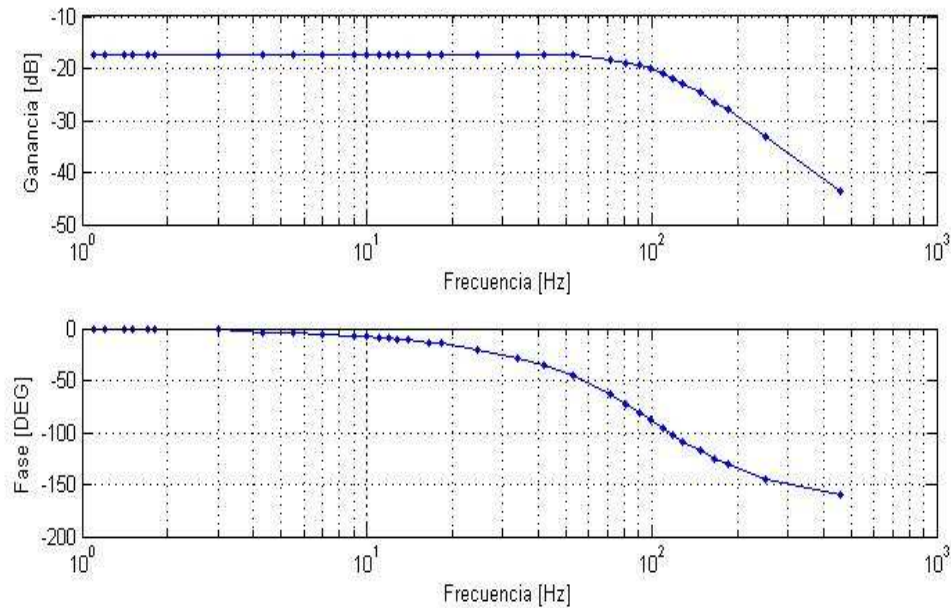


Figura 25. Respuesta en Frecuencia del Módulo de Acondicionamiento de Señales, determinada empíricamente, la incertidumbre de la medición corresponde a 0,1dB para la magnitud y 0,1° para la fase.

### 3.1.2 Pruebas del Módulo de Adquisición de Datos

Para probar el funcionamiento del módulo de adquisición de datos primero se verificaron los niveles de tensión de las fuentes de alimentación de 5V; 1,8V y 3,3V necesarias para el correcto funcionamiento del módulo. Posteriormente se procedió a medir la tensión de la referencia REF5025, para lo cual se hizo uso de un voltímetro digital de 6½ dígitos de resolución, marca Hewlett.Packard, modelo 34401A, esta medición se repitió 10 veces, y con el promedio aritmético de dichas mediciones se ajusto por software el valor de la referencia de tensión utilizado para

obtener el valor en volt de los datos obtenidos del convertidor ADS1274, los valores registrados de estas pruebas pueden observarse en la tabla 5.

Tabla 7. . Resultados de las Pruebas de Funcionamiento del Módulo de Adquisición de Datos.

<b>Nombre de la Prueba</b>	<b>Rango de Tensión Permitido [V]</b>	<b>Resultado Obtenido [V]</b>
Medición de Tensión de 5Vdc	4,75-5,25 [9]	5,04
Medición de Tensión de 3,3Vdc	3,20-3,40	3,28
Medición de Tensión de 1,8V	1,782-1,818	1,800
Medición de Tensión de Referencia	2,375-2,625 [11]	2,560

Una vez realizadas las pruebas de verificación de los niveles de tensión en la alimentación y la referencia, se procedió a verificar el funcionamiento del Puerto Consola (USB), para lo cual se utilizó el programa Hyper Terminal de Windows configurado para conectarse por el puerto COM asignado al FT232RL a 9600 baudios 8bits, bits de parada 1. Se verificó que el computador recibiera la trama PTDF esperada como respuesta del módulo de adquisición de datos, con lo que además se verificó que el convertidor ADS1274 estuviera enviando datos.

### **3.1.3 Pruebas del Módulo de Sincronización**

Para probar el funcionamiento del módulo de sincronización se verificó con un osciloscopio que hubiera una señal de clock de 1Hz en la salida SQRT del módulo RTC (ver figura 26), se conectó el sub-módulo RTC al módulo de adquisición de datos y se verificaron las funciones de configuración de hora y fecha utilizando el software de configuración desarrollado, obteniéndose el resultado deseado.

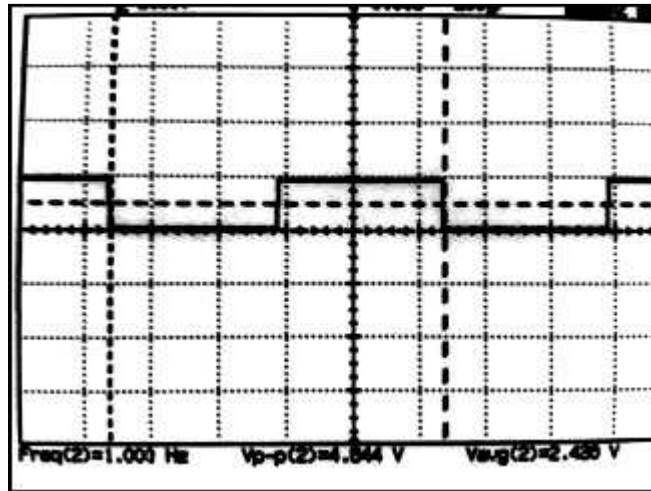


Figura 26. Señal en la salida SQRT del Módulo RTC.

### 3.1.4 Prueba del Módulo de Comunicaciones

Para probar el correcto funcionamiento del módulo de comunicaciones antes de ensamblar el equipo se realizaron las siguientes pruebas:

- a) Grabación de datos predeterminados en la memoria SD: Para realizar esta prueba se modificó el firmware del micro-controlador B para crear un archivo llamado EJEVE.txt en el directorio raíz con los siguientes datos: \$EMG,07/11/2011,04:45:06,2.101,2.000,1.000,#\r\n (ver figura 27). Con lo que se demostró que las librerías desarrolladas para guardar en formato FAT16 eran funcionales.

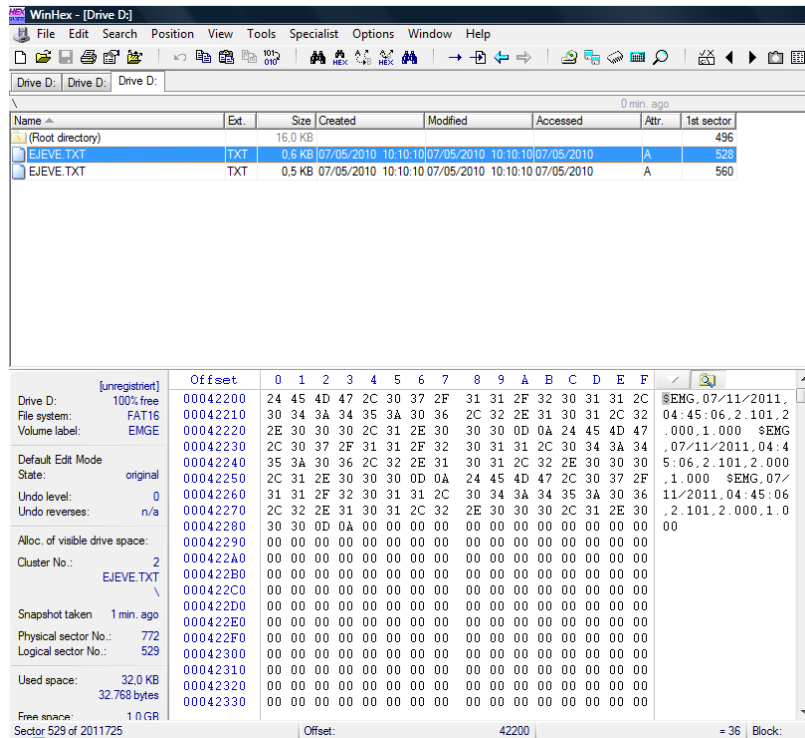


Figura 27. Datos de la memoria SD vistos en el programa WINHEX

- b) Comunicación con el computador a través del puerto USB1: Se conectó el módulo de comunicaciones al computador utilizando el puerto USB1 y se verificó el reconocimiento de la tarjeta y la correcta transmisión de datos. Se enviaron correctamente 100 mensajes en un minuto con la estructura de datos EMGFL explicada en el capítulo 2.
- c) Comunicación con el computador a través del puerto COM1: Se realizó la misma prueba explicada anteriormente pero conectándose al computador con el puerto COM1 del módulo de comunicaciones.

## **3.2 Pruebas de Funcionamiento del Equipo Ensamblado.**

Una vez verificado el correcto funcionamiento de cada módulo por separado se procedió a ensamblar el equipo y realizar las pruebas pertinentes a la calibración, determinación de la resolución del equipo. Estas pruebas se explican a detalle en las secciones 3.2.1; 3.2.2; 3.2.3.

### **3.2.1 Pruebas de Calibración del Equipo**

Para calibrar el equipo se siguió el procedimiento expuesto en la norma EUROMET EM/cg/15 versión 2.0, para calibrar voltímetros digitales de más de 5½ dígitos de resolución.

Las pruebas se realizaron a una temperatura de 23,3°C y humedad relativa de 52,8%.

El montaje realizado para realizar los ensayos de calibración consistió en un divisor de tensión conformado por 7 resistencias (5 de 200  $\Omega$  y 2 de 100 $\Omega$ ) alimentado por 2 baterías de plomo ácido de 12V, marca Duncan modelo R1212 de 12Ah, conectadas en serie. En la figura 28 se muestra el diagrama de conexiones del montaje realizado. Se decidió utilizar baterías para el ensayo debido a que estas presentan menor variación de tensión que las fuentes con las que se contaba. Este ensayo fue repetido para cada canal del digitalizador.

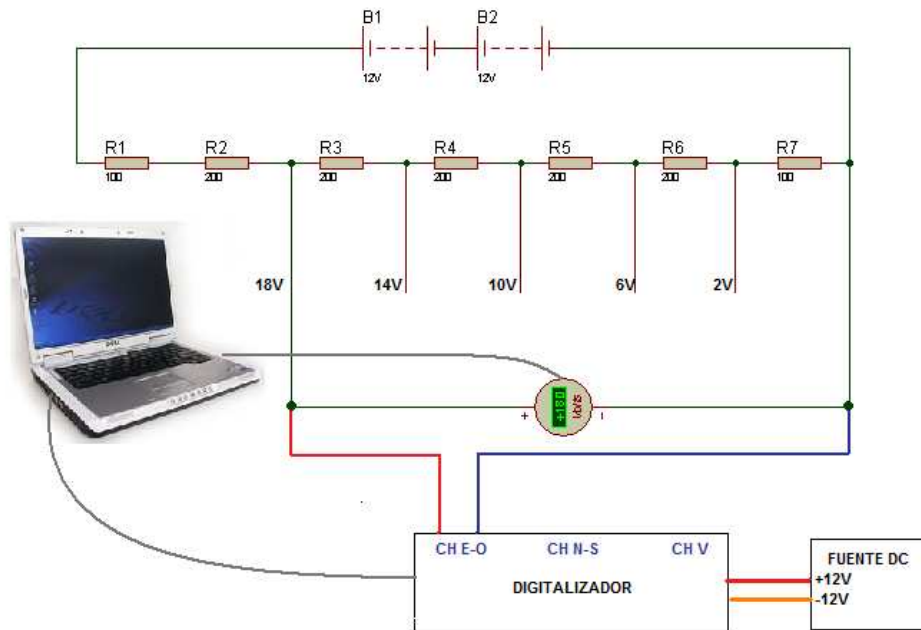


Figura 28. Diagrama de Conexiones para el Ensayo de Calibración.

Se definieron los siguientes puntos de medición para hallar la curva de calibración del equipo:

- Punto #1: 18V.
- Punto #2: 14V
- Punto #3: 10V.
- Punto #4: 6V.
- Punto #5: 2V.
- Punto #6: -18V.
- Punto #7: -2V.

Los cuales corresponden al 90%, 70%, 50%,30%, 10%,-90% y -10% de 20V. Por cada punto se realizaron 10 mediciones bajo las mismas condiciones, con el digitalizador desarrollado y el multímetro de 6½ dígitos de resolución HP 34401A (ver certificado de calibración en el anexo 11). En el anexo 13 se muestran las

mediciones realizadas con el digitalizador. Posteriormente se determinó la desviación estándar de la media de las medidas correspondientes a cada punto de calibración (ver ecuación 19) utilizando un factor de cobertura  $k=2,32$  correspondiente a un nivel de confianza del 95,45% para nueve grados de libertad [13]; en las tablas 9 y 10, 11 y 12 se observan los resultados obtenidos.

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (19)$$

Donde:

$n$ : corresponde al número de mediciones de un mismo mesurando.

$x_i$ : corresponde al resultado de la  $i$ -ésima medición y  $\bar{x}$  a la media aritmética de las  $n$  mediciones realizadas. [12]

$i$  : corresponde al índice de la sumatoria.

Tabla 8. Resultados Obtenidos con el Multímetro HP34401A y su Incertidumbre.

Multímetro (Referencia) [V]	Incertidumbre [V]
2,08232	1,0E-5
6,21827	1,0E-5
10,2461	1,0E-4
14,3094	1,0E-4
18,43042	1,0E-4
-2,08249	1,0E-5
-18,4301	1,0E-4

La incertidumbre del multímetro se determinó utilizando los datos del certificado de calibración y las expresiones expuestas en el manual de usuario del multímetro.

Tabla 9. Resultados obtenidos en el Canal Este-Oeste del digitalizador (Media de cada punto y desviación estándar de la media).

Multímetro (Referencia) [V]	Canal EO [V]	Desv.Est [V]
2,08232	2,0930	0,0007
6,21827	6,2186	0,0009
10,2461	10,3396	0,0007
14,3094	14,2963	0,0007
18,43042	18,44	0,02
-2,08249	-2,0823	0,0005
-18,4301	-18,319	0,02

Tabla 10. Resultados Obtenidos para el Canal Norte Sur. (Media de cada punto de calibración y desviación estándar de la media)

Multímetro (Referencia) [V]	Canal NS [V]	Desv.Est. [V]
2,08232	2,10866	0,00002
6,21747	6,2760	0,0003
10,2432	10,3501	0,0003
14,30984	14,09	0,03
18,42831	18,23	0,03
-2,08249	-2,22	0,01
-18,4301	-17,90	0,07

Tabla 11. Resultados Obtenidos para el Canal Vertical. (Media de cada punto de calibración y desviación estándar de la media)

Multímetro (Referencia) [V]	Canal Vert [V]	Desv. Est. [V]
2,08233	2,16280	0,00005
6,21859	6,5036	0,0007
10,2634	10,7080	0,0007
14,3098	14,44	0,07
18,4279	18,30	0,07
-2,08227	-2,36	0,02
-18,4301	-18,8	0,2



Partiendo de los resultados obtenidos para cada canal del digitalizador se procedió a determinar el ajuste lineal por mínimos cuadrados de los datos de referencia (eje Y de la gráfica de la figura 29, mediciones con el multímetro) en función de los datos digitalizados (eje X de la gráfica de la figura 29), para ello se utilizó el programa Maple, obteniéndose los siguientes resultados por canal:

**Canal E-O:**

$$y = 0,036 + 0,991 \cdot x \quad (20)$$

Donde:

$x$ : corresponde a los valores digitalizados

Utilizando el programa Maple se obtuvo que los errores estándar (desviación estándar de la media de los coeficientes del ajuste, obtenidos mediante sub muestreo de los puntos experimentales) con un nivel de confianza de 95%, corresponden a: 0,025 y 0,002 respectivamente.

Para el coeficiente de determinación de la aproximación lineal de los resultados obtenidos en el canal este oeste, se obtuvo  $R^2 = 0,997$ . Lo cual indica que el modelo lineal obtenido, es satisfactorio para describir el comportamiento del equipo, además denota que los datos digitalizados, una vez hecha la corrección del modelo, se corresponden a las medidas de referencia, dentro del error experimental.

En la figura 29 se muestra la gráfica de dispersión para valores de tensión de referencia en función de los valores de tensión digitalizados en el canal E-O, junto con la curva de ajuste obtenida.

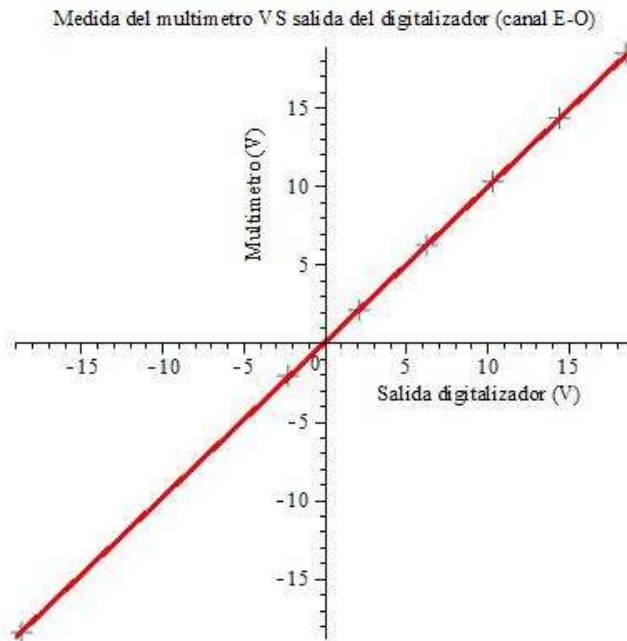


Figura 29. Gráfica de dispersión para valores de tensión de referencia en función de los valores de tensión digitalizados para el canal E-O. Se muestra la curva de ajuste obtenida mediante mínimos cuadrados. El tamaño del símbolo no refleja la incertidumbre de los valores, ya que estos son menores a mV.

**Canal N-S:**

$$y = -0,087 + 1,019 \cdot x \quad (21)$$

Donde x corresponde al valor digitalizado sin corregir y y al dato corregido.

Los valores de los errores estándar con un nivel de confianza de 95% corresponden a 0,08 y 0,0064 respectivamente.

Para esta aproximación lineal, se obtuvo un coeficiente de determinación  $R^2=0,990$ . Lo que indica que el modelo lineal obtenido es adecuado para describir el comportamiento del equipo.

En la figura 30 se muestra la gráfica obtenida.

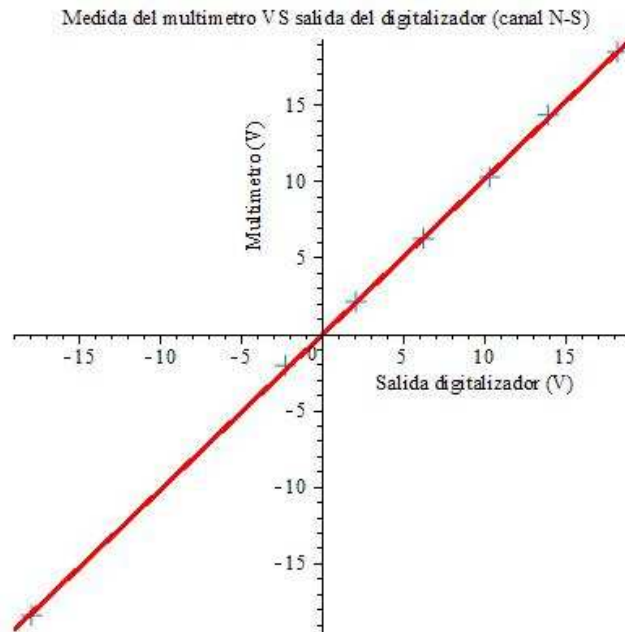


Figura 30. Gráfica de dispersión para valores de tensión de referencia en función de los valores de tensión digitalizados para el canal N-S. Se muestra la curva de ajuste obtenida mediante mínimos cuadrados. El tamaño del símbolo no refleja la incertidumbre de los valores, ya que esta es del orden de los mV.

### Canal VE

$$y = 0,025 + 0,9872 \cdot x$$

(22)

En la figura 31 se muestra la gráfica obtenida.

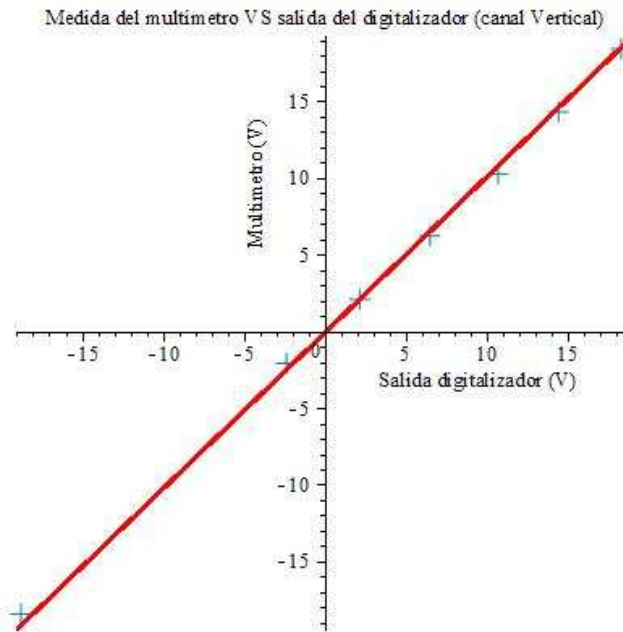


Figura 31. Gráfica de dispersión para valores de tensión de referencia en función de los valores de tensión digitalizados para el canal Vertical. Se muestra la curva de ajuste obtenida mediante mínimos cuadrados en rojo. El tamaño del símbolo no refleja la incertidumbre de los valores, ya que esta es del orden de los mV.

Para este canal se obtuvo un  $R^2=0,97$ . Se observa que este fue el canal que presentó un coeficiente de determinación menor, la cual se puede atribuir a la presencia de mayor perturbación de ruido durante las mediciones. Sin embargo, sigue siendo un resultado satisfactorio.

Adicionalmente se realizó un histograma de los valores obtenidos con el digitalizador para un punto de calibración particular (ver figura 32), con el fin de verificar el comportamiento de las mediciones obtenidas por el convertidor ADC. Para realizar la gráfica se utilizaron los valores obtenidos en el canal E-O para el punto de calibración de 2V. En el histograma de la figura 32 se observa una distribución aproximadamente uniforme.

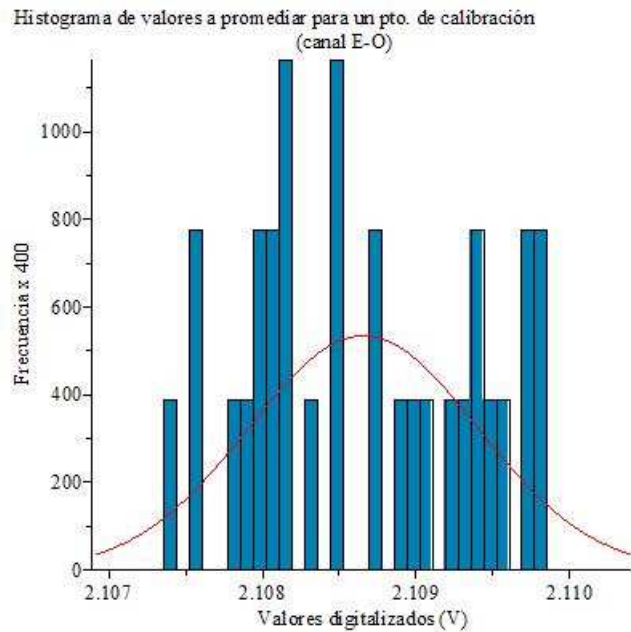


Figura 32. Histograma de los valores obtenidos para el punto de calibración de 2V en el eje E-O tomando los valores sin promediar (31 valores). La curva continua corresponde a la Distribución Normal con la misma media y desviación estándar de los datos digitalizados. El factor de escala vertical es tal, que las áreas bajo la curva continua y de las barras son iguales.

Para mostrar la dispersión de los valores digitalizados para los diversos puntos de calibración, se realizó un diagrama de caja (ver figura 33), en el cual se visualiza, para cada punto, los valores extremos, la media, la mediana y las distancias entre el primer y tercer cuartil. Se observa que los valores negativos presentaron una dispersión mayor a la presentada por los valores positivos.

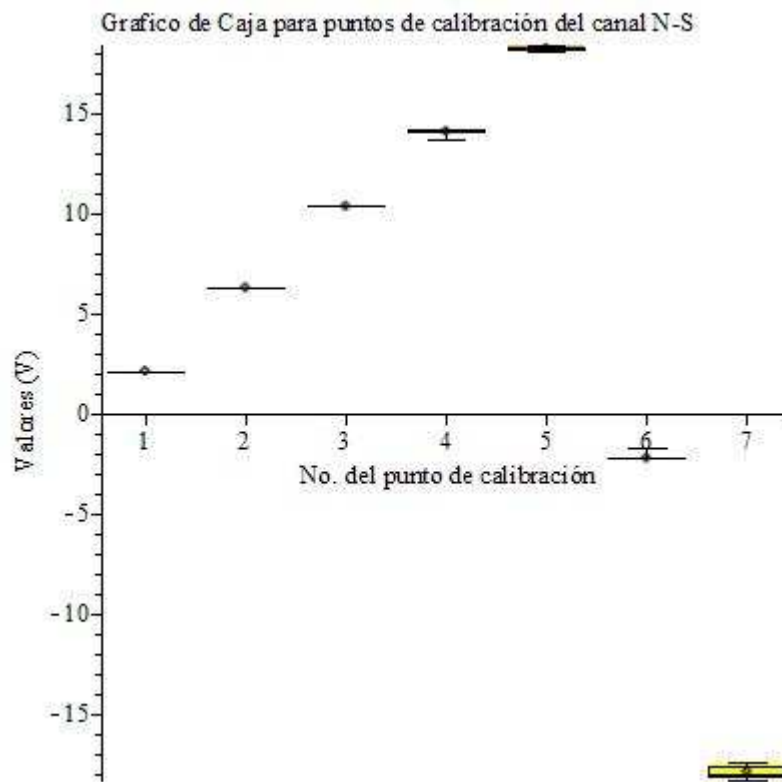


Figura 33. La gráfica de Caja, muestra la dispersión de los valores digitalizados para los siete puntos de calibración seleccionados (2, 4, 10, 14, 18, -2 y -18 V). En algunos casos la dispersión de los datos es tan pequeña, que no se aprecia en el diagrama.

Finalmente, utilizando las expresiones 9, 10 y 11 correspondientes al ajuste por mínimos cuadrados para cada canal, se realiza el ajuste por software del equipo.

### 3.2.1.1. CALCULO DE INCERTIDUMBRES

Una vez determinadas las desviaciones estándar de la media, para cada una de las medidas se procedió a realizar el cálculo de las incertidumbres en cada punto de calibración, para lo cual se consideraron las siguientes componentes de incertidumbre:

a) Incertidumbre debida a la falta de repetibilidad del digitalizador,  $u(X_M)$  : Que corresponde al cálculo de la desviación estándar en cada punto de calibración.

b) Incertidumbre asociada a la resolución del digitalizador bajo prueba,  $u(\delta_{EM}) = \frac{E}{2\sqrt{3}}$  (16)

donde E corresponde a la resolución nominal (23 bits) del equipo [12].

c) Componente de incertidumbre debida a la variación de temperatura durante el proceso de calibración del equipo:

$$u(\delta_{TM}) = \frac{\alpha_M \cdot \Delta T}{\sqrt{3}} \quad (23)$$

Donde:

$\alpha_M$  corresponde al coeficiente de temperatura del digitalizador.

$\Delta T$ : es la variación de temperatura registrada durante la prueba [12].

d) Componente de incertidumbre de la medida del multímetro utilizado, extraída del certificado de calibración.

e) Componente de incertidumbre debida a la falta de linealidad del calibrador.

f) Componente de incertidumbre debida a la corrección de temperatura del multímetro utilizado.

g) Incertidumbre debida a la corrección por fuerzas electromotrices, que dependerá de los conectores utilizados y de los gradientes de

temperatura, considerando una distribución uniforme, la incertidumbre asociada viene dada por [12]:

$$u(\delta_{FEM}) = \frac{V_{FEM}}{\sqrt{3}} \quad (24)$$

De acuerdo a los resultados experimentales y a las especificaciones tanto del digitalizador como del multímetro, se obtuvieron los siguientes resultados numéricos para los literales a-g como se indica a continuación:

- a) De acuerdo a la Tabla 10 las desviaciones estándar de la media, de las medidas efectuadas con el digitalizador, están comprendidas entre 0,00002V y 0,01V dependiendo del valor medido. Estos valores los utilizaremos para el cálculo de la incertidumbre combinada.
- b) La contribución debida al nivel de digitalización corresponde a la desviación estándar de una distribución uniforme de ancho E. Como se trata del valor nominal del nivel de digitalización, está dado por:

$$E = \frac{20V}{2^{23}-1} = 2,4\mu V$$

Donde se tomó en cuenta el rango efectivo del digitalizador.

- c) En cuanto a la variación de temperatura el manual del multímetro establece que no es necesario efectuar corrección alguna si se trabaja en el rango de 18-28°C. Las medidas se realizaron a bajo condiciones controladas de temperatura y humedad relativa (23±2°C y 52%)
- d) La incertidumbre de calibración del multímetro, para el rango de 10V es de 47μV (utilizando un factor de cobertura k=2 ó 95% de confiabilidad) de acuerdo al certificado de calibración. La incertidumbre de una medición en el mismo rango, para un valor cercano a los 10V es de 150μV (k=2) de acuerdo al manual del equipo.
- e) Los datos sobre no linealidad del multímetro no figuran en las especificaciones del mismo.



- f) Para el multímetro, como se indicó en (c), no se requiere corrección de temperatura. En cuanto al digitalizador, las especificaciones establecen un corrimiento de ganancia de  $1,3 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$  y un offset de  $8\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ .
- g) En cuanto a las FEM no compensadas, el montaje experimental se realizó con conductores de cobre y se utilizó la sonda original del voltímetro. Se procuró utilizar conductores de cobre ya que en las uniones cobre – cobre se desarrolla una FEM de contacto del orden de  $0,3\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$  [15], la cual es pequeña con respecto a la desarrollada entre otros materiales. Aunque el multímetro mostró tensiones del orden de  $30\mu\text{V}$  cuando la corriente en el divisor de tensión era cero, no se realizaron las correcciones, porque se espera que en el lazo del equipo a calibrar se desarrollen tensiones del mismo orden.

La incertidumbre combinada se calcula mediante la suma de cuadrados de las desviaciones o de las incertidumbres divididas entre el factor  $k$  respectivo. Luego se extrae la raíz cuadrada.

Combinando los valores establecidos en los literales (a-g) se obtiene una incertidumbre combinada que varía, dependiendo del valor de la medida, entre  $80\mu\text{V}$  y  $0,01\text{V}$  calculadas al nivel de confianza de una desviación estándar ( $k=1$ ). La manera de mejorar estos resultados es aumentar el número de adquisiciones a promediar. En este caso se promediaron 10 adquisiciones. Aumentando a 100 el número de digitalizaciones a promediar, la desviación estándar de la media disminuye en un factor 10.

A continuación se muestran los resultados de incertidumbre para cada punto de calibración y para cada canal en las tablas 13, 14 y 15.

Tabla 12. Incertidumbre combinada del Canal E-O para cada punto de calibración obtenidas para 10 adquisiciones promediadas.

Canal E-O [V]	Desv.Est [V]	Incertidumbre ( $\mu$ V)
2,0930	0,0003	400
6,2186	0,0004	500
10,3396	0,0003	400
14,2963	0,0003	400
18,44	0,01	10000
-2,0823	0,0002	300
-18,319	0,008	10000

Tabla 13. Incertidumbre combinada del Canal N-S para cada punto de calibración obtenidas para 10 adquisiciones promediadas.

Canal N-S [V]	Desv.Est. [V]	Incertidumbre $\mu$ V
2,10866	0,00002	80
6,2760	0,0003	400
10,3501	0,0003	400
14,09	0,03	30000
18,23	0,03	30000
-2,22	0,01	10000
-17,90	0,07	70000

Tabla 14. Incertidumbre combinada del Canal Vertical para cada punto de calibración obtenidas para 10 adquisiciones promediadas.

Canal Vert [V]	Desv. Est. [V]	Incerti-dumbre $\mu$ V
2,1628	0,0002	300
6,5036	0,0002	300
10,708	0,009	9000
14,44	0,05	50000
18,30	0,08	80000
-2,3596	0,0002	300
-18,75	0,06	60000

### 3.2.2 VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS CANALES MEDIANTE EL USO DE UNA SEÑAL PERIÓDICA PROVENIENTE DE UN GENERADOR DE SEÑALES HP 33120A CERTIFICADO

Una vez calibrado el equipo se realizó un ensayo para verificar el desempeño del mismo ante señales periódicas. El ensayo consistió en inyectar a la entrada del digitalizador diseñado, una señal sinusoidal de características conocidas (Amplitud  $20V_{p-p}$ , frecuencia 1Hz, offset=0V), registrar los datos y verificar utilizando el programa MATLAB que las características de la señal de entrada coincidan con la señal generada con los datos adquiridos con el digitalizador.

En la realización de este ensayo se utilizaron los siguientes equipos:

- Generador de Señales, Marca HP, Modelo 33120A, Serial: US34011344, Certificado 4010178 de ENINSEL.
- Digitalizador diseñado DES v1.0.
- Osciloscopio, Marca Tektronix, Modelo TDS210, Serial: B059229.
- Computador DELL XPS.

En la figura 34 se muestra el diagrama de conexiones del ensayo realizado.

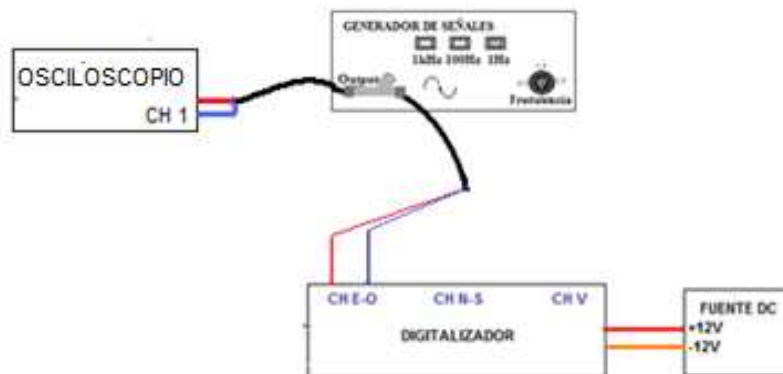


Figura 34. Diagrama de conexiones, del ensayo de verificación del funcionamiento del equipo ante señales periódicas.

Al realizar este ensayo se obtuvieron los resultados mostrados en la figura 35, 36, 37, 38, 39 y 40, correspondientes a las señales capturadas y su respectivo espectro en frecuencia para cada canal. Cabe destacar que la tasa de muestreo utilizada fue de 480s/s.

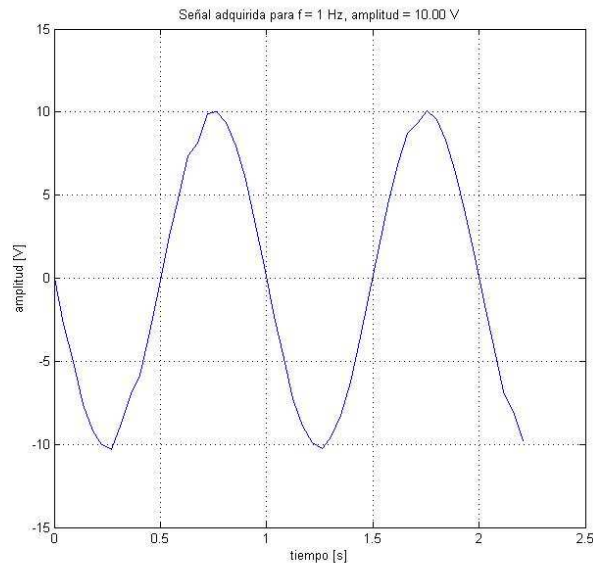


Figura 35. Gráfica de la señal adquirida en el canal Este-Oeste del digitalizador.

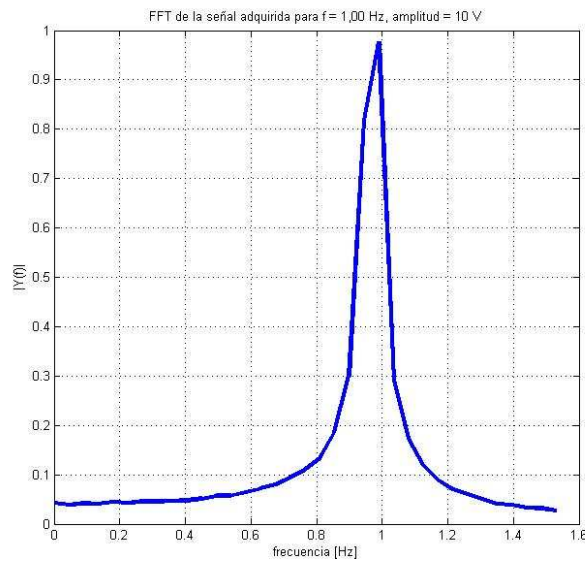


Figura 36. Espectro en frecuencia de la señal adquirida en el Canal Este-Oeste.

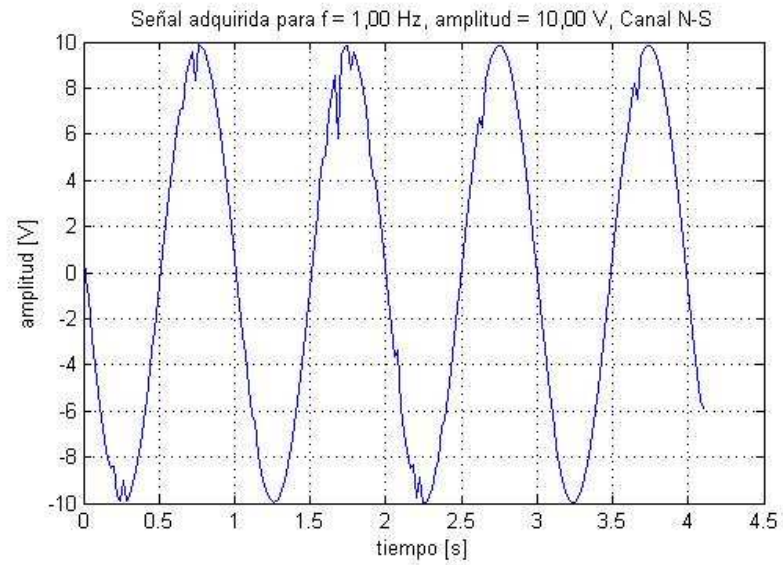


Figura 37. Gráfica de la señal adquirida en el Canal Norte-Sur del digitalizador.

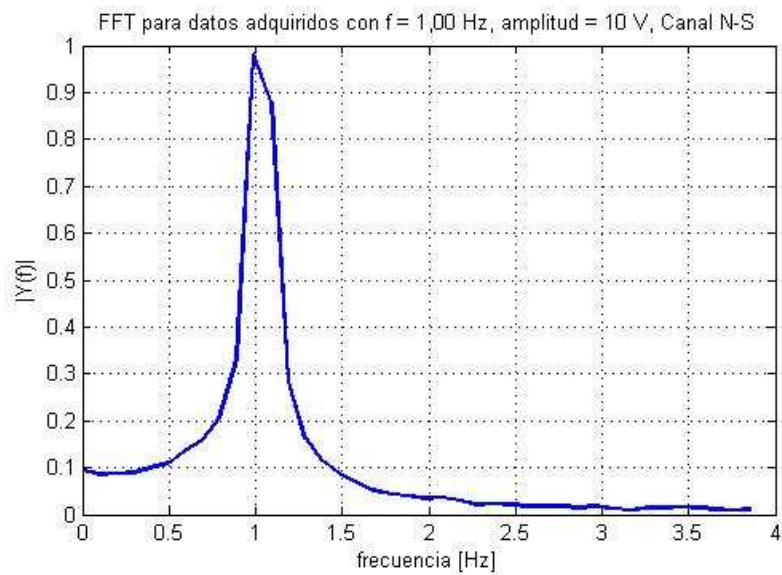


Figura 38. Espectro en frecuencia de la señal adquirida en el Canal Norte-Sur.

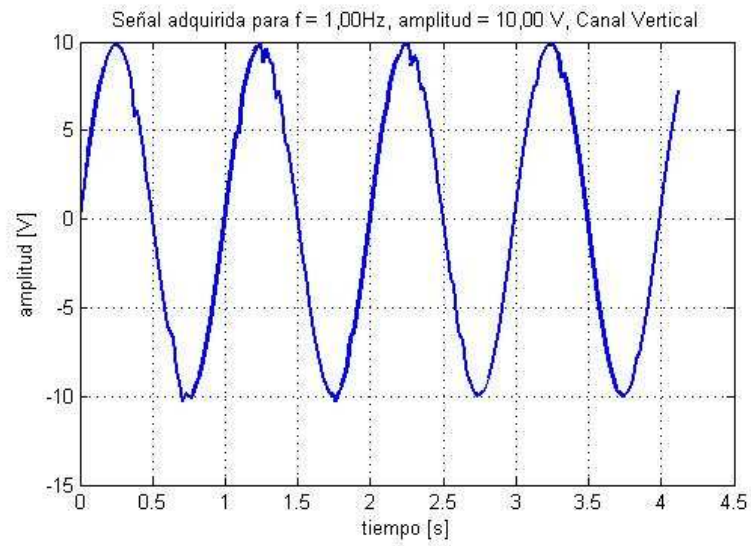


Figura 39. Gráfica de la señal adquirida en el Canal Vertical del digitalizador.

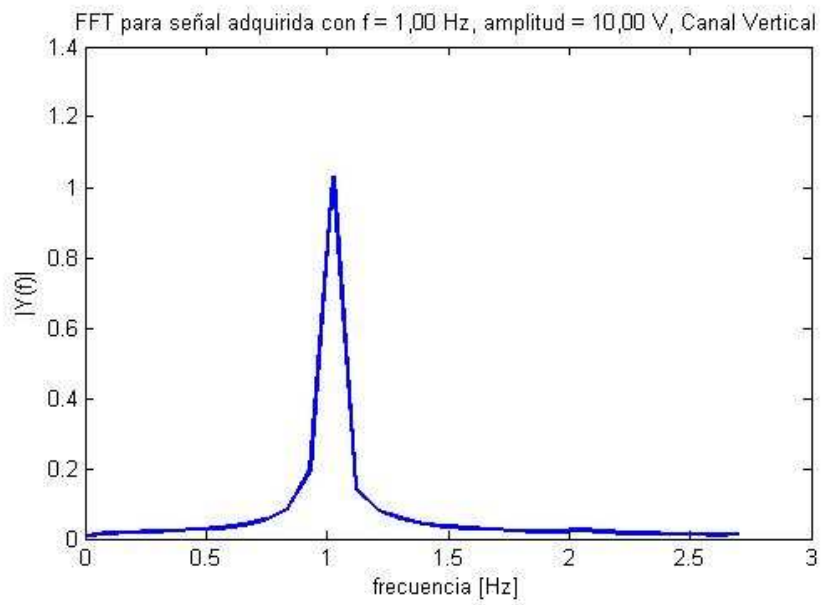


Figura 40. Espectro en frecuencia de la señal adquirida en el Canal Vertical.

De los resultados obtenidos se observa que los tres canales tienen un comportamiento similar. En las tres señales adquiridas, que se muestran en las figuras 35, 36 y 37 se observa que tanto la frecuencia como la amplitud son consistentes con las características de la señal de entrada, sin embargo, se observan errores en la digitalización. Estos errores pueden ser depurados aumentando la cantidad de datos adquiridos promediados en el firmware del micro-controlador A, y agregando un filtro digital robusto, tal como un filtro FIR o un IIR entre otros. En la sección 3.2.4 se muestra como puede mejorar la señal de salida del digitalizador un filtro FIR sencillo diseñado con la herramienta fdatool de MATLAB, quedará para desarrollos futuros la depuración del filtrado digital.

### **3.2.3 PRUEBA DE COMPARACIÓN DEL DIGITALIZADOR DISEÑADO CON UNA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS COMERCIAL NI-USB6009**

Una vez calibrado el equipo se realizó un ensayo para verificar el desempeño del mismo ante señales periódicas. Para ello se comparó la respuesta de una tarjeta de adquisición de datos comercial con la respuesta del digitalizador diseñado, ante una onda sinusoidal de frecuencia y amplitud conocidas.

En la realización del ensayo se utilizaron los siguientes equipos:

- Tarjeta de Adquisición de Datos. Marca: National Instruments, Modelo: NI-USB6009, Serial 13E46CE.
- Generador de Señales, Marca: Hewlett Packard, Modelo: 33120A, Serial: US34011344. Certificado por ENINSEL N° 4010-178 del 11/10/2010.
- Digitalizador DES v1.0.
- Computador.
- Osciloscopio. Marca: Hewlett Packard, Modelo: 54603B, Serial: US35060808.

En la figura 34 se muestra el diagrama de conexiones del ensayo realizado.

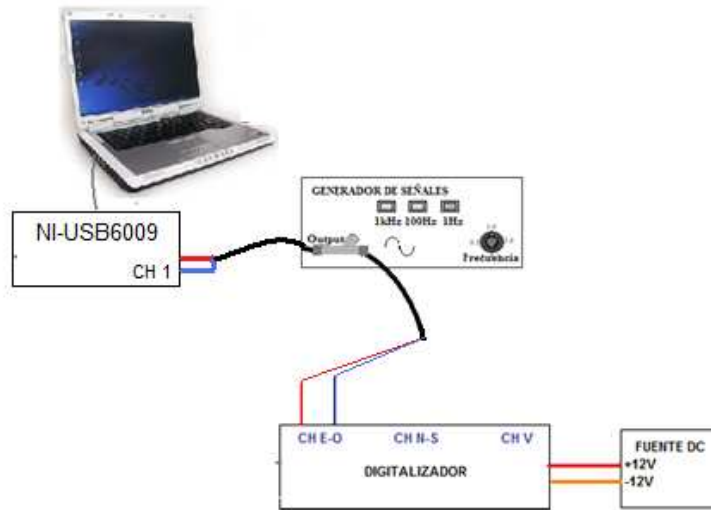


Figura 41. Comparación de la respuesta del digitalizador con una tarjeta de adquisición de datos comercial.

Para realizar el ensayo, se fijó a la salida del generador de señales una senoide de amplitud  $10V_{p-p}$  y frecuencia  $0,5Hz$ . Se utilizó el osciloscopio para verificar las características de la señal. Posteriormente se conectaron los equipos como se muestra en la figura 41 y se procedió a adquirir datos tanto con el digitalizador diseñado como con la tarjeta de adquisición de datos comercial. Las señales obtenidas se muestran en la figura 42. La tabla de los resultados obtenidos se muestra en el anexo 15.



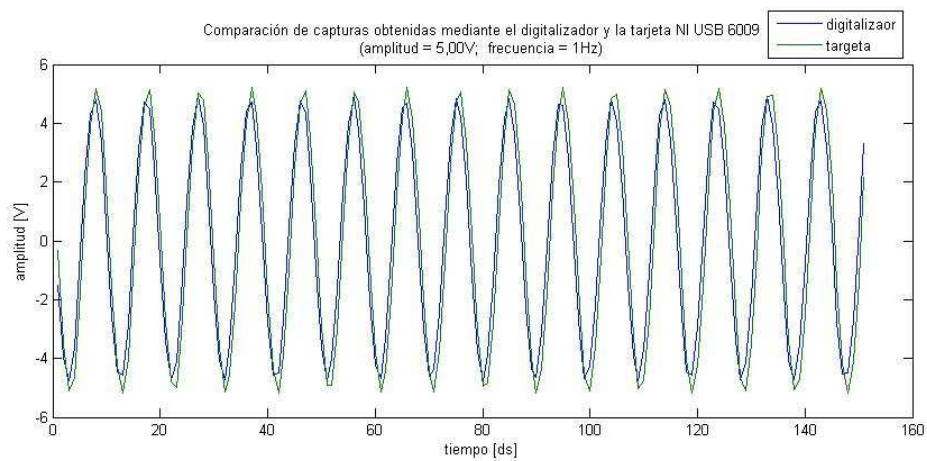


Figura 42. Comparación de las señales capturadas por el digitalizador diseñado y la tarjeta de adquisición de datos comercial.

Para determinar el grado de asociación entre las mediciones realizadas con el digitalizador construido y la tarjeta de adquisición de datos comercial, se determinó el coeficiente de correlación cruzada  $\phi_{xy}$  entre las dos señales obtenidas, utilizando el programa MATLAB, obteniéndose como resultado:

$$\phi_{xy} = 0,99$$

El cual se puede considerar satisfactorio, puesto que demuestra que hay una correspondencia entre las mediciones arrojadas por el digitalizador y la tarjeta de adquisición de datos comercial.

### **3.2.3 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO CON EL SISMOMETRO CMG40T1**

Una vez calibrado el equipo y verificado su funcionamiento se realizaron las pruebas finales con el sismómetro CMG40T1. Para esta prueba se conectó a la entrada del digitalizador el sismómetro CMG40T1 y se registraron 2min de datos. Inicialmente se pretendía comparar la salida del digitalizador diseñado con un digitalizador comercial modelo Trident de Nanometrics, pero debido a las características del formato de archivo generado por dicho digitalizador y problemas con el software suministrado por FUNVISIS, no fue posible realizar la comparación, quedará para investigaciones futuras que cuenten con los recursos necesarios realizar una prueba comparativa con un digitalizador comercial específicamente diseñado para estaciones sismológicas. Sin embargo, las pruebas realizadas con el generador de señales certificado y las pruebas realizadas en corriente continua, verifican el correcto funcionamiento del digitalizador.

Utilizando el resorte de un sujetador de cautín aferrado a la mesa donde se encontraba el sismómetro se generó la señal medida, cuyas componentes en el eje este-oeste y vertical, se muestran en las figuras 43 y 44 respectivamente, no se pudo obtener la señal del canal norte-sur, debido a que el sismómetro con el cual se contaba para hacer pruebas en el laboratorio tenía dicha componente dañada. Los datos fueron capturados a una tasa de muestreo de 480s/s.

A continuación se muestran los resultados obtenidos.

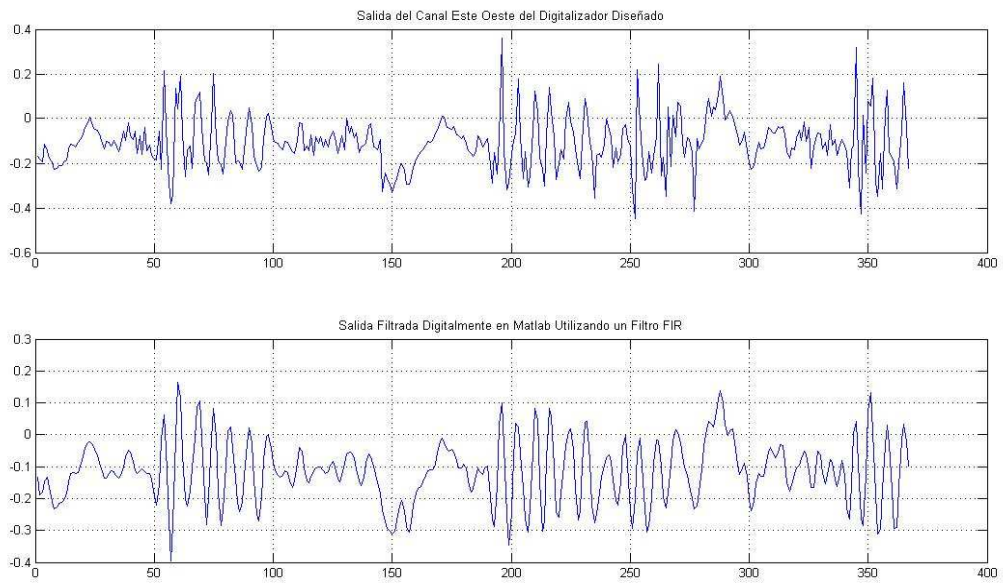


Figura 43. Señal obtenida en el Canal Este-Oeste del digitalizador al conectar el sismómetro y excitarlo con la vibración de un resorte, y abajo Señal filtrada digitalmente.

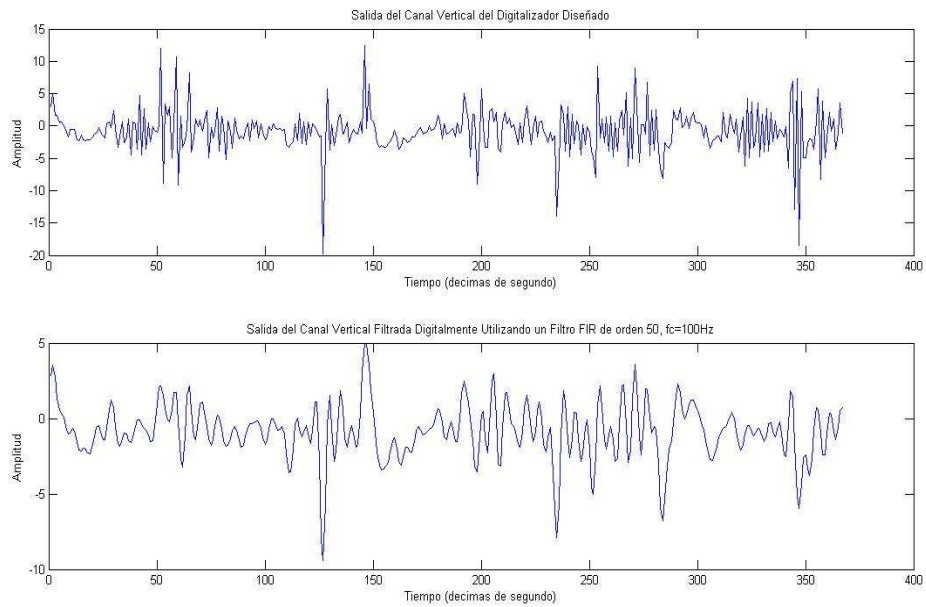


Figura 44. Señal obtenida en el Canal Este-Oeste del digitalizador al conectar el sismómetro y excitarlo con la vibración de un resorte, y abajo Señal filtrada digitalmente.

En la señal adquirida se observa ruido de una frecuencia mayor a la de la señal de interés distorsionando la señal, lo que se puede depurar implementando alguna técnica de filtrado digital. Utilizando la herramienta *fdatool* de MATLAB se diseña un filtro FIR de frecuencia de corte  $f_c=100\text{Hz}$ , cuyos coeficientes se muestran en el anexo 20 junto con su respectiva respuesta en frecuencia.

Al aplicar el filtro diseñado se observa una reducción importante en las componentes de alta frecuencia que distorsionaban la señal.

## CONCLUSIONES

Se logró construir un digitalizador de 3 canales con capacidad de almacenar datos en una memoria SD, transmitir datos en tiempo real, comunicarse vía USB con un computador ó vía RS232 de ser requerido por el usuario.

Se logró incluir en el digitalizador un modulo interno de sincronización, conformado por un RTC configurable internamente haciendo uso del GPS o utilizando datos fijados por el usuario en el software de configuración.

Además se pudo desarrollar un programa de interfaz usuario amigable y sencillo, que permite tanto la configuración del equipo como la visualización de los datos capturados tanto en tiempo real como de los archivos de la memoria SD.

Aplicando otras técnicas adicionales a la promediación de los datos capturados, tales como la implementación de filtros FIR, se logró mejorar la respuesta del equipo.

El diseño modular del equipo desarrollado permite la fácil sustitución de cada modulo en caso de fallas, adaptación del equipo a otra aplicación o que se desee utilizar alguno de los módulos en otro proyecto de la línea de investigación. Sin embargo, en caso que se desee mejorar la resolución del equipo y/o producirlo en masa, es conveniente integrar los módulos de forma de reducir el número de conexiones con cables, con el fin de minimizar los niveles de ruido.

## RECOMENDACIONES

Para mejorar la resolución del equipo diseñado se propone fundamentalmente integrar el módulo de acondicionamiento de señales en la misma tarjeta donde se encuentra el convertidor analógico digital, colocando la salida del filtro lo más cercana posible a las entradas analógicas del convertidor.

Se sugiere implementar los filtros de los canales de entrada del digitalizador utilizando amplificadores operacionales con salida diferencial, con el fin de mejorar el rechazo de las señales de modo común.

Se propone realizar el montaje del equipo con resistencias de película de metal, con el fin de reducir el ruido térmico introducido por las resistencias de película de carbón que se utilizaron en el montaje debido a la disponibilidad de resistencias en el mercado nacional.

Otra técnica que se propone para mejorar la resolución sería aumentar el número de muestras a promediar internamente en el equipo, actualmente el firmware del micro-controlador A promedia 10 muestras antes de enviar el dato al módulo de comunicaciones.

El desarrollo de un proyecto de esta magnitud, requiere de la disposición de una mayor cantidad de recursos, tanto desde el punto de vista económico como de ambientes de laboratorio adecuados para realizar los ensayos en las mejores condiciones posibles, esto es, temperatura controlada, equipos en buen estado, y contar con el software necesario.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Pereira Zoraida. *La Investigación Sismologica en Venezuela*, (Libro).— Caracas:Venezuela: Ed. Impresos Lauper, 2002. p.172.
- [2] Jens Havskov. *Routine Data Processing in Earthquake Seismology*. (Libro).— Bergen: Noruega: Ed. Springer.2010. p.2.
- [3] Nanometrics. *Typical Events Magnitude*. [en línea]. <<http://www.nanometrics.ca/node/67>>. [Consulta: 2010]
- [4] Texas Instrument Incorporated. *How the Voltage Reference Affects ADC performance*. [en línea]. <<http://www.ti.com/lit/an/slyt331/slyt331.pdf>>. [Consulta: 2011]
- [5] Sergio Franco. *Diseño con Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Analógicos*, (Libro).—D.F: Mexico: Ed. McGraw Hill. p.680.
- [6] Maxim [en línea]. <<http://www.maxim-ic.com/app-notes/index.mvp/id/3078>> [Consulta: 2010]
- [7] Microsoft Extensible Firmware Initiative, FAT32 File System Specification [en línea]. <<http://msdn.microsoft.com/es-es/windows/hardware/gg463084>> [Consulta: 2011]
- [8] Analog Devices. *Precision Instrumentation Amplifier with Signal Processing Amplifiers AD8295*. [en línea] <[http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/AD8295.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD8295.pdf)> [Consulta: 2010].
- [9] Fairchild Semiconductor. *LM78XX/LM78XXA 3 Terminal 1A Positive Voltage Regulator*. [en línea]. <<http://fairchildsemi.com>> [Consulta 2010].
- [10] National Semiconductor. *LM79XX Series 3 Terminal Negative Regulators*. [en línea]. <<http://www>> [Consulta 2010].
- [11] Texas Instrument. *Low Noise, Very Low Drift, Precision Voltage Reference*. [en línea]. <<http://www.ti.com>>. [Consulta 2010].
- [12] Centro Español de Metrología. Procedimiento EL-020 Para la calibración de Multímetros Digitales con más de 5½ Dígitos de Resolución. [en línea] <<http://www.cem.es/divulgacion/otros-documentos-de-interes>> [Consulta 2011].

- [13] JCGM, Centro Español de Metrología. *Guía para la expresión de la Incertidumbre de Medida (Traducción de la GUM 2008)*. (Libro). España: Madrid. Ed. Digital CEM.
- [14] Barry N Taylor. *NIST Technical Note 1297 :Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results*. USA: NIST Press.
- [15] Hewlett Packard Co. *HP34401A Multimeter User's Guide*. (Manual) USA. Ed HP.



## BIBLIOGRAFÍA

Centro Español de Metrología. Procedimiento EL-020 Para la calibración de Multímetros Digitales con más de 5½ Dígitos de Resolución. [en línea] <<http://www.cem.es/divulgacion/otros-documentos-de-interes>> [Consulta 2011].

Charles Kitchin. A designer's Guide to Instrument Amplifiers. Analog Devices. USA. 2004.

Jens Havskov y Gerardo Alguacil. Instrumentation in Earthquake Seismology. Noruega. Bergen: Editorial Springer, 2004.

Jens Havskov y Lars Ottemoller. Routine Data Processing in Earthquake Seismology. Noruega. Bergen: Editorial Springer. 2010.

Multi Media Card Association (MMCA), [en línea]. <<http://mmca.org/home>>. [Consulta: 2010].

Pereira Zoraida. La Investigación Sismologica en Venezuela, [Libro].— Caracas:Venezuela: Ed. Impresos Lauper, 2002. p.172.

Van Valkenburg. Analog Filter Design. Reino Unido: Editorial Oxford University Press. 1995.

Lattice Semiconductor. Analog Layout and Grounding

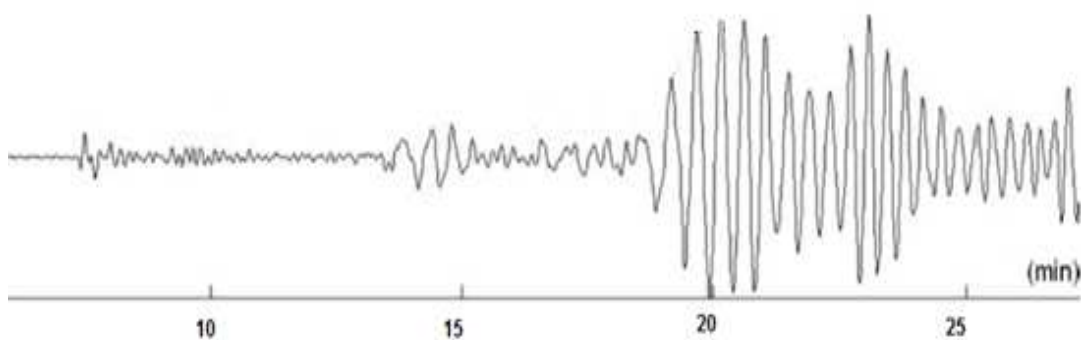
## **ANEXOS**

**[ANEXO N° 1]**

[Manual de Operación del Dispositivo de Adquisición de Datos para Estaciones  
Sismológicas DADES]



# MANUAL DE USUARIO DEL DIGITALIZADOR PARA ESTACIONES SISMOLOGICAS DES v1.0



Universidad Central de Venezuela  
Caracas, Venezuela

2011

## Contenido

CAPITULO 1.....	3
Introducción.....	3
1.1 Características Generales.....	3
1.1.1 Características Eléctricas.....	4
1.1.1.1 Fuente Externa.....	4
1.1.1.2 Digitalizador.....	4
1.1.2 Características Físicas.....	5
1.2 Accesorios.....	5
CAPITULO 2.....	6
Iniciando.....	6
2.1 Instalación del Equipo.....	6
2.2 Instalación del Software del Equipo.....	6
2.3 Configuración del Equipo.....	6
2.3.1 Configuración Utilizando el DES Config v1.0.....	6
2.3.2 Configuración Utilizando un Emulador de Puerto Serial.....	7
2.4 Adquiriendo Datos.....	9

# CAPITULO 1

## Introducción

Este manual ha sido concebido con el fin de darle soporte al usuario en la instalación y operación del equipo DES v1.0 y en la instalación y utilización del software de configuración y visualización DES CONFIG v1.0.

Antes de manipular el equipo se le recomienda al usuario leer cuidadosamente este manual para evitar problemas en la instalación del equipo que puedan conducir a daños físicos de la unidad.

### 1.1 Características Generales.

El equipo DES v1.0 es un dispositivo digitalizador portátil, especialmente diseñado para trabajar con un sismómetro.

Entre sus características más relevantes se encuentran:

- a) Tres canales de entrada analógica.
- b) Temporización mediante RTC (Reloj de Tiempo Real) interno.
- c) GPS interno.
- d) Un puerto de comunicación serial RS232.
- e) Dos puertos de comunicación serial USB.
- f) Capacidad de almacenamiento masivo (Memoria SD de 1GB expandible a 2GB).

- g) Compatible con sismómetros de banda ancha y banda angosta.
- h) Configurable a través de una interfaz gráfica compatible con los sistemas operativos Windows XP, Windows Vista y Windows 7.
- i) Alimentación de  $\pm 12V_{DC}$

El Digitalizador DES v1.0 incluye una fuente DC externa de +12 y -12V para utilizar el equipo sin las baterías.

### **1.1.1 Características Eléctricas.**

#### **1.1.1.1 Fuente Externa**

Prueba realizada a  $T=23^{\circ}C$ ,  $V_{in}=120V_{AC}$  60Hz

Símbolo	Parámetro	min	Típica	max	Unidades
$+V_o$	Tensión de Salida Positiva	11,5	11,9	12,5	V
$-V_o$	Tensión de Salida Negativa	-11,5	-11,9	-12,5	V
$I_o$	Corriente de Salida	-	-	1	A

#### **1.1.1.2 Digitalizador**

- Tensión de Alimentación:  $+12V/-12V_{DC}$ .
- Número de Canales: 3.
- Tiempo de Muestreo: 1ms.
- Salida: USB y RS232.
- Entrada: Terminal DB15.
- Capacidad de Memoria 1GB (expandible a 2GB).

### 1.1.2 Características Físicas.

- Largo: 25cm.
- Ancho: 22cm.
- Alto: 10,3cm.
- Peso: 200g.



Figura 1. Imagen del Digitalizador DES v1.0

### 1.2 Accesorios.

El DES v1.0 viene acompañado de los siguientes accesorios:

- Una Fuente de Alimentación Externa de  $\pm 12V_{DC}$ .
- Un Cable de Alimentación para Utilizar Baterías R-1212.
- Un Cable para conexión al sensor.



## CAPITULO 2

### Iniciando

#### 2.1 Instalación del Equipo

Para instalar el equipo sólo es necesario conectarlo bien sea a la alimentación externa o al banco de baterías de 12V. Utilizando los cables de alimentación que vienen con el equipo.

Si se van a utilizar baterías para alimentar el equipo, deben colocarse dos baterías de 12V en serie, conectadas para obtener +12 y -12V.

#### 2.2 Instalación del Software del Equipo

El software de configuración DES Config v1.0, es una interfaz gráfica desarrollada en el programa MATLAB. Para instalar el programa solo debe copiar el ejecutable *DES\_Cv1.exe* en el directorio deseado y ya estará listo para usar.

#### 2.3 Configuración del Equipo

El equipo DES v1.0 permite la configuración por el usuario del tiempo de muestreo, pudiendo ser configurado para 1ms, 10ms o 1s y la configuración de la fecha y hora del RTC interno.

Para configurar el equipo se puede utilizar el software de configuración *DES\_Cv1.exe* o algún programa emulador de puerto serial, a continuación se explicará el procedimiento en cada caso.

##### 2.3.1 Configuración Utilizando el DES Config v1.0

Para configurar la unidad DES v1.0 utilizando el software de configuración DES Config v1.0, sólo debe seleccionar en la ventana principal del programa el *radiobutton* correspondiente a Configuración Manual (ver figura 2), fijar los parámetros que desea configurar (hora, fecha y tiempo de muestreo) y hacer clic en el botón *Aceptar*.

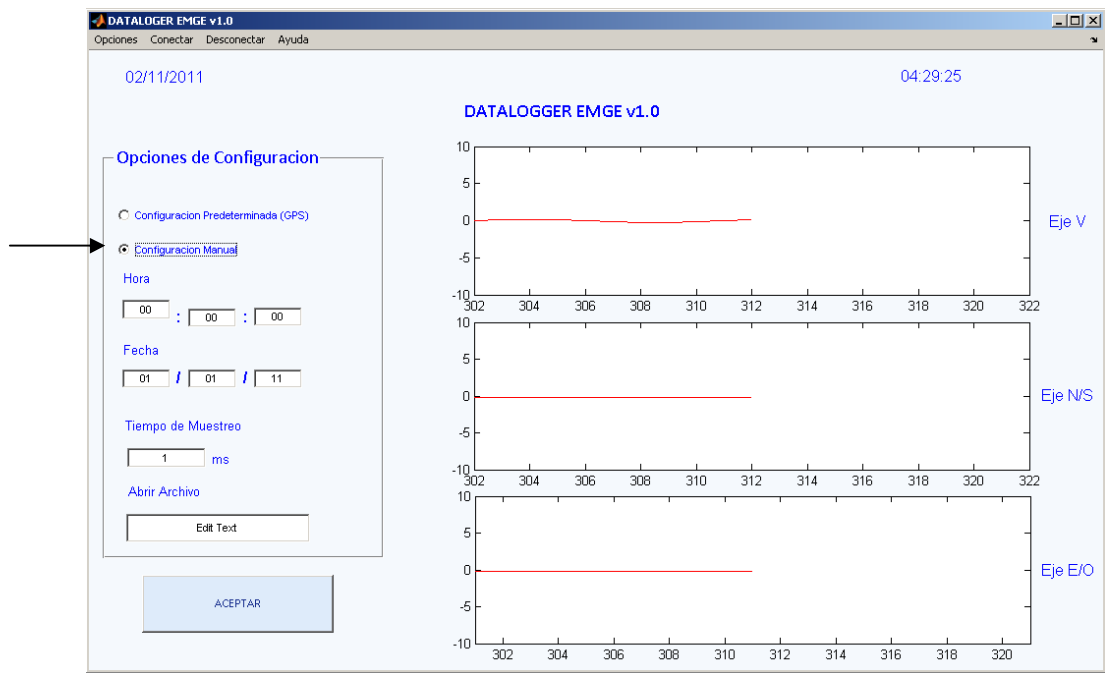


Figura 2. Seleccionando Modo de Configuración Manual.

### 2.3.2 Configuración Utilizando un Emulador de Puerto Serial

Para configurar la unidad DES v1.0 utilizando un emulador de puerto serial se deben seguir los siguientes pasos:

1. Conecte el puerto consola del DES v1.0 al computador.
2. Inicialice el programa emulador de puerto serial de su preferencia. El puerto asignado al puerto consola generalmente corresponde al COM23, esto se puede verificar

en el Administrador de Dispositivos de Windows->Puertos COM (ver figura 3).

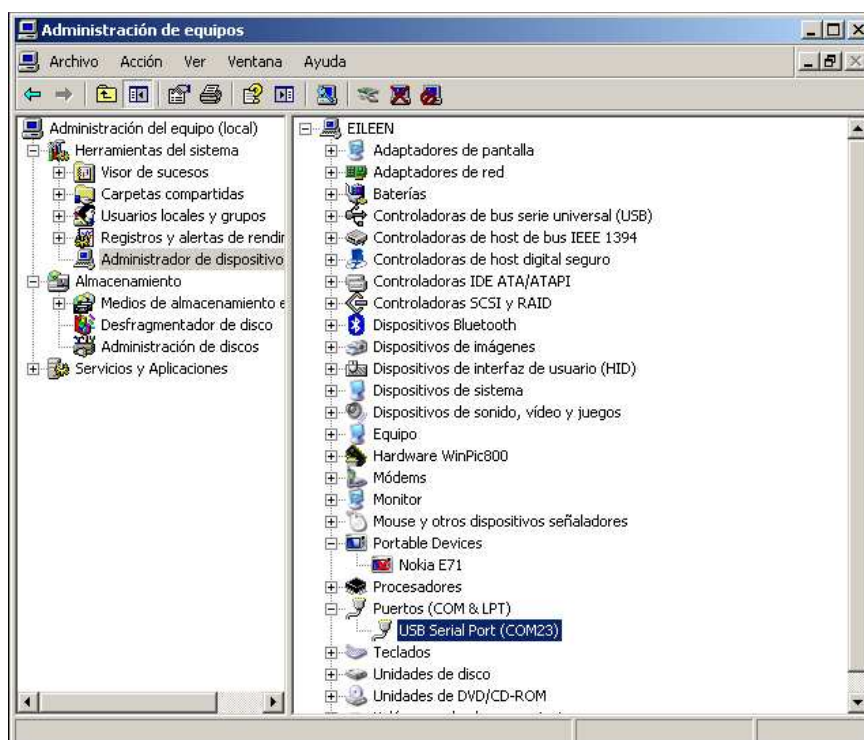


Figura 3. Verificando el Puerto COM asignado al DES v1.0 en el Administrador de Dispositivos de Windows.

4. En el emulador de Puerto Serial debe configurar la comunicación en el puerto COM asignado al equipo, de la siguiente manera:

- Bits por segundo: 9600
- Paridad: Ninguna.
- Bits de Parada: 1.
- Control de Flujo: Ninguno.

5. Una vez establecida la comunicación con el equipo se puede hacer uso de los comandos de configuración mostrados en la tabla 2.

Tabla 2. Comandos de configuración del DES v1.0

<b>Comando</b>	<b>Observación</b>
*IDN?	El equipo envía su identificación.
\$EMGCH,H,F,hhmmss,ddmmaa,*\r\n	Configura la hora y fecha del RTC interno.(H=1 para configurar hora y F=1 para configurar Fecha)
\$EMGTM,TM,*XX\r\n	Configura el tiempo de muestreo. TM=0 Default, TM=1, 10ms y Tm=2, 1s

## 2.4 Adquiriendo Datos

Una vez encendido el equipo, debe iniciarse automáticamente la adquisición de datos. Para visualizar los datos capturados puede extraerse la memoria SD o conectar el equipo al computador utilizando alguno de los tres puertos de comunicación serial.

## [ANEXO N°2]

### [Campos del Formato FAT]

#### Boot Sector and BPB Structure

Name	Offset (byte)	Size (bytes)	Description
BS_jmpBoot	0	3	<p>Jump instruction to boot code. This field has two allowed forms:</p> <p><b>jmpBoot[0] = 0xEB, jmpBoot[1] = 0x??, jmpBoot[2] = 0x90</b></p> <p>and</p> <p><b>jmpBoot[0] = 0xE9, jmpBoot[1] = 0x??, jmpBoot[2] = 0x??</b></p> <p><b>0x??</b> indicates that any 8-bit value is allowed in that byte. What this forms is a three-byte Intel x86 unconditional branch (jump) instruction that jumps to the start of the operating system bootstrap code. This code typically occupies the rest of sector 0 of the volume following the BPB and possibly other sectors. Either of these forms is acceptable. <b>JmpBoot[0] = 0xEB</b> is the more frequently used format.</p>
BS_OEMName	3	8	<p>“MSWIN4.1” There are many misconceptions about this field. It is only a name string. Microsoft operating systems don’t pay any attention to this field. Some FAT drivers do. This is the reason that the indicated string, “MSWIN4.1”, is the recommended setting, because it is the setting least likely to cause compatibility problems. If you want to put something else in here, that is your option, but the result may be that some FAT drivers might not recognize the volume. Typically this is some indication of what system formatted the volume.</p>
BPB_BytsPerSec	11	2	<p>Count of bytes per sector. This value may take on only the following values: 512, 1024, 2048 or 4096. If maximum compatibility with old implementations is desired, only the value 512 should be used. There is a lot of FAT code in the world that is basically “hard wired” to 512 bytes per sector and doesn’t bother to check this field to make sure it is 512. Microsoft operating systems will properly support 1024, 2048, and 4096.</p> <p><b>Note:</b> Do not misinterpret these statements about maximum compatibility. If the media being recorded has a physical sector size N, you must use N and this must still be less than or equal to 4096. Maximum compatibility is achieved by only using media with specific sector sizes.</p>

BPB_SecPerClus	13	1	Number of sectors per allocation unit. This value must be a power of 2 that is greater than 0. The legal values are 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, and 128. Note however, that a value should never be used that results in a “bytes per cluster” value (BPB_BytsPerSec * BPB_SecPerClus) greater than 32K (32 * 1024). There is a misconception that values greater than this are OK. Values that cause a cluster size greater than 32K bytes do not work properly; do not try to define one. Some versions of some systems allow 64K bytes per cluster value. Many application setup programs will not work correctly on such a FAT volume.
BPB_RsvdSecCnt	14	2	Number of reserved sectors in the Reserved region of the volume starting at the first sector of the volume. This field must not be 0. For FAT12 and FAT16 volumes, this value should never be anything other than 1. For FAT32 volumes, this value is typically 32. There is a lot of FAT code in the world “hard wired” to 1 reserved sector for FAT12 and FAT16 volumes and that doesn’t bother to check this field to make sure it is 1. Microsoft operating systems will properly support any non-zero value in this field.
BPB_NumFATs	16	1	<p>The count of FAT data structures on the volume. This field should always contain the value 2 for any FAT volume of any type. Although any value greater than or equal to 1 is perfectly valid, many software programs and a few operating systems’ FAT file system drivers may not function properly if the value is something other than 2. All Microsoft file system drivers will support a value other than 2, but it is still highly recommended that no value other than 2 be used in this field.</p> <p>The reason the standard value for this field is 2 is to provide redundancy for the FAT data structure so that if a sector goes bad in one of the FATs, that data is not lost because it is duplicated in the other FAT. On non-disk-based media, such as FLASH memory cards, where such redundancy is a useless feature, a value of 1 may be used to save the space that a second copy of the FAT uses, but some FAT file system drivers might not recognize such a volume properly.</p>
BPB_RootEntCnt	17	2	For FAT12 and FAT16 volumes, this field contains the count of 32-byte directory entries in the root directory. For FAT32 volumes, this field must be set to 0. For FAT12 and FAT16 volumes, this value should always specify a count that when multiplied by 32 results in an even multiple of BPB_BytsPerSec. For maximum compatibility, FAT16 volumes should use the value 512.

BPB_TotSec16	19	2	This field is the old 16-bit total count of sectors on the volume. This count includes the count of all sectors in all four regions of the volume. This field can be 0; if it is 0, then BPB_TotSec32 must be non-zero. For FAT32 volumes, this field must be 0. For FAT12 and FAT16 volumes, this field contains the sector count, and BPB_TotSec32 is 0 if the total sector count “fits” (is less than 0x10000).
BPB_Media	21	1	0xF8 is the standard value for “fixed” (non-removable) media. For removable media, 0xF0 is frequently used. The legal values for this field are 0xF0, 0xF8, 0xF9, 0xFA, 0xFB, 0xFC, 0xFD, 0xFE, and 0xFF. The only other important point is that whatever value is put in here must also be put in the low byte of the FAT[0] entry. This dates back to the old MS-DOS 1.x media determination noted earlier and is no longer usually used for anything.
BPB_FATSz16	22	2	This field is the FAT12/FAT16 16-bit count of sectors occupied by ONE FAT. On FAT32 volumes this field must be 0, and BPB_FATSz32 contains the FAT size count.
BPB_SecPerTrk	24	2	Sectors per track for interrupt 0x13. This field is only relevant for media that have a geometry (volume is broken down into tracks by multiple heads and cylinders) and are visible on interrupt 0x13. This field contains the “sectors per track” geometry value.
BPB_NumHeads	26	2	Number of heads for interrupt 0x13. This field is relevant as discussed earlier for BPB_SecPerTrk. This field contains the one based “count of heads”. For example, on a 1.44 MB 3.5-inch floppy drive this value is 2.
BPB_HiddSec	28	4	Count of hidden sectors preceding the partition that contains this FAT volume. This field is generally only relevant for media visible on interrupt 0x13. This field should always be zero on media that are not partitioned. Exactly what value is appropriate is operating system specific.
BPB_TotSec32	32	4	This field is the new 32-bit total count of sectors on the volume. This count includes the count of all sectors in all four regions of the volume. This field can be 0; if it is 0, then BPB_TotSec16 must be non-zero. For FAT32 volumes, this field must be non-zero. For FAT12/FAT16 volumes, this field contains the sector count if BPB_TotSec16 is 0 (count is greater than or equal to 0x10000).

At this point, the BPB/boot sector for FAT12 and FAT16 differs from the BPB/boot sector for FAT32. The first table shows the structure for FAT12 and FAT16 starting at offset 36 of the boot sector.

### Fat12 and Fat16 Structure Starting at Offset 36

Name	Offset (byte)	Size (bytes)	Description
BS_DrvNum	36	1	Int 0x13 drive number (e.g. 0x80). This field supports MS-DOS bootstrap and is set to the INT 0x13 drive number of the media (0x00 for floppy disks, 0x80 for hard disks). <b>NOTE:</b> This field is actually operating system specific.
BS_Reserved1	37	1	Reserved (used by Windows NT). Code that formats FAT volumes should always set this byte to 0.
BS_BootSig	38	1	Extended boot signature (0x29). This is a signature byte that indicates that the following three fields in the boot sector are present.
BS_VolID	39	4	Volume serial number. This field, together with BS_VolLab, supports volume tracking on removable media. These values allow FAT file system drivers to detect that the wrong disk is inserted in a removable drive. This ID is usually generated by simply combining the current date and time into a 32-bit value.
BS_VolLab	43	11	Volume label. This field matches the 11-byte volume label recorded in the root directory. <b>NOTE:</b> FAT file system drivers should make sure that they update this field when the volume label file in the root directory has its name changed or created. The setting for this field when there is no volume label is the string " <b>NO NAME</b> ".
BS_FilSysType	54	8	One of the strings " <b>FAT12</b> ", " <b>FAT16</b> ", or " <b>FAT</b> ". <b>NOTE:</b> Many people think that the string in this field has something to do with the determination of what type of FAT—FAT12, FAT16, or FAT32—that the volume has. This is not true. You will note from its name that this field is not actually part of the BPB. This string is informational only and is not used by Microsoft file system drivers to determine FAT type because it is frequently not set correctly or is not present. See the FAT Type Determination section of this document. This string should be set based on the FAT type though, because some non-Microsoft FAT file system drivers do look at it.



**[ANEXO N°3]**

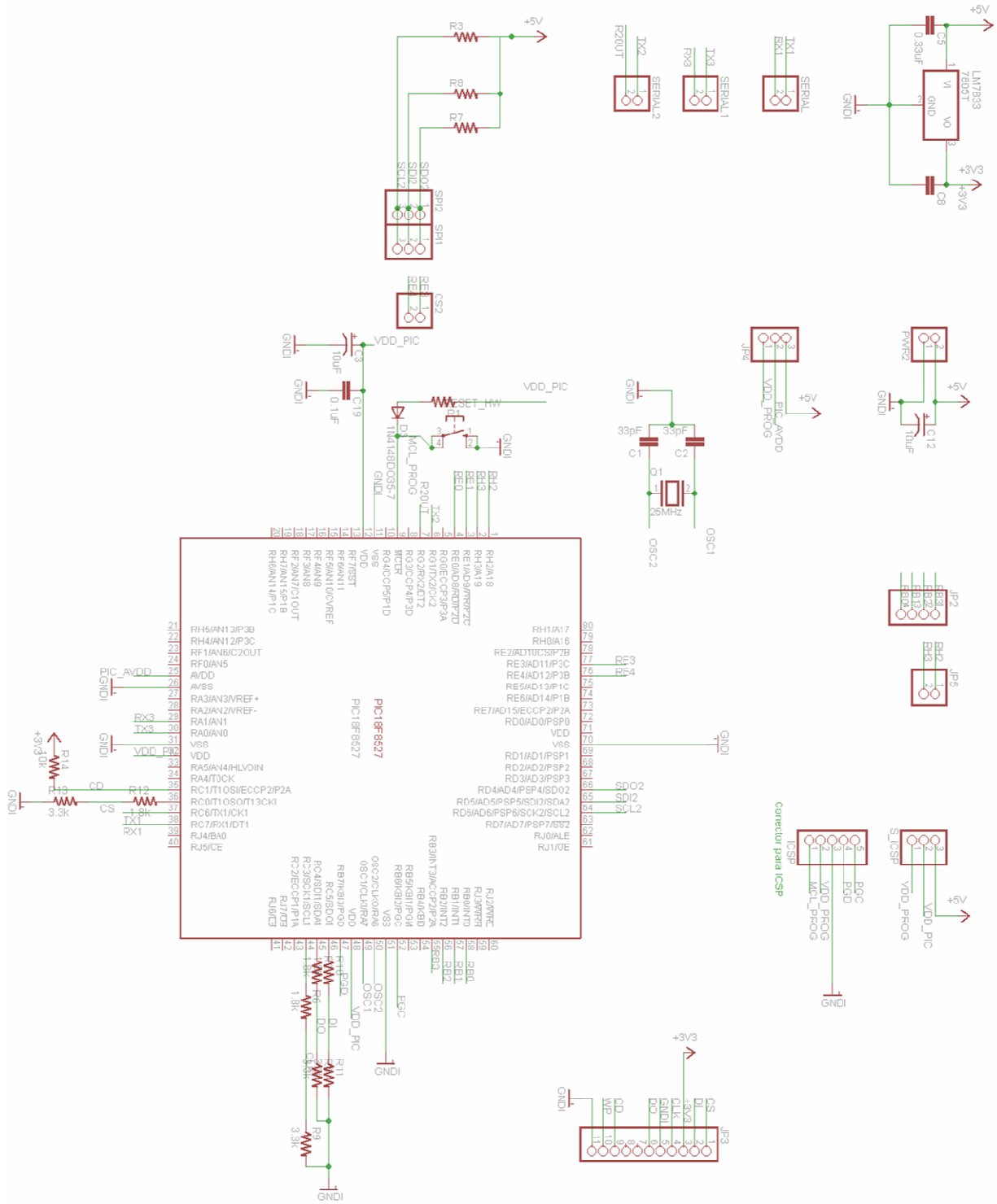
[Esquemático del Módulo de Adquisición de Datos]





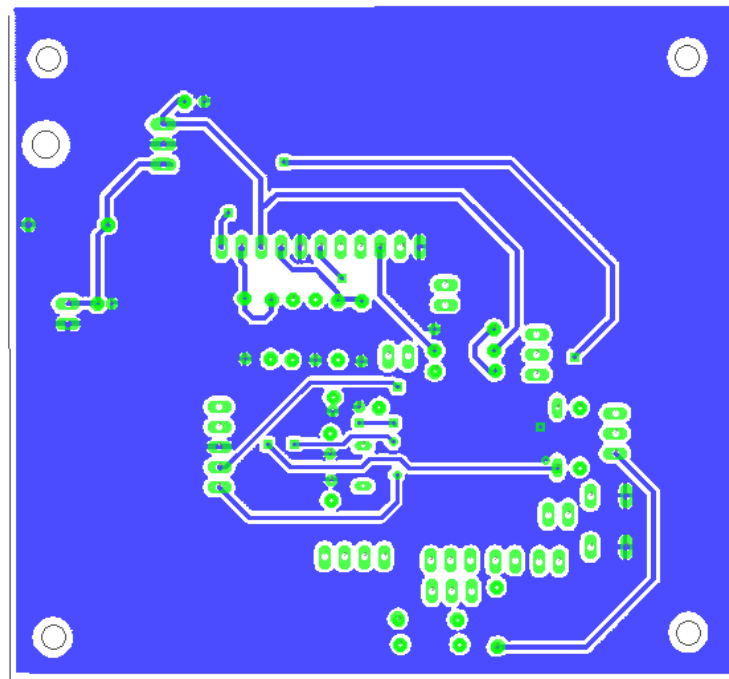
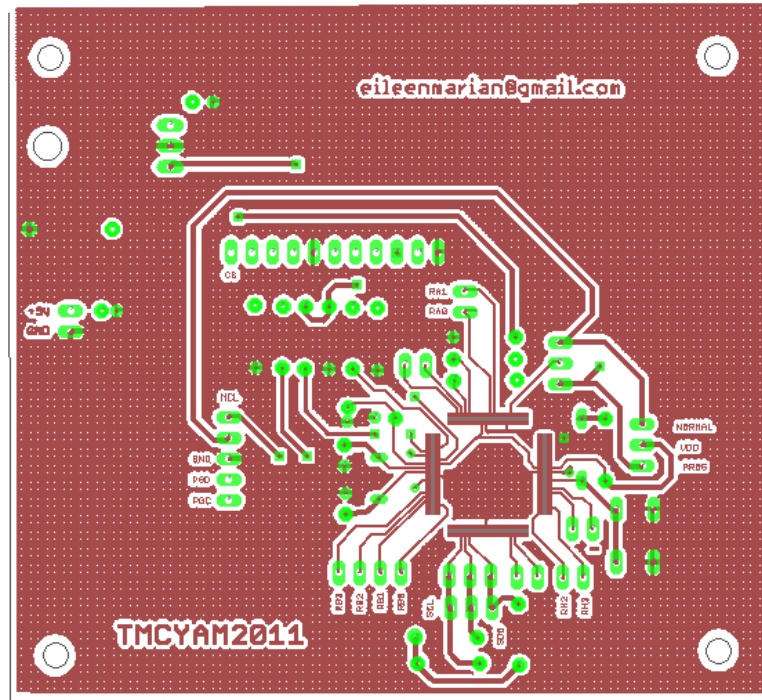
# [ANEXO N°5]

## [Esquemático del Módulo de Comunicaciones]



[ANEXO N°6]

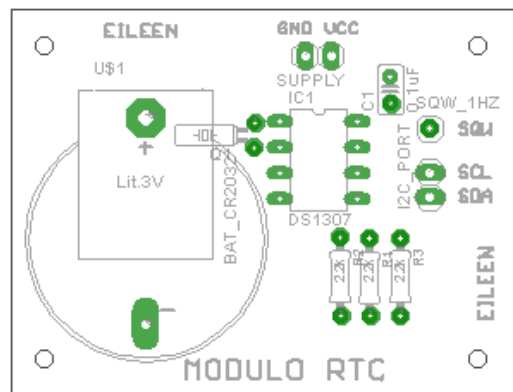
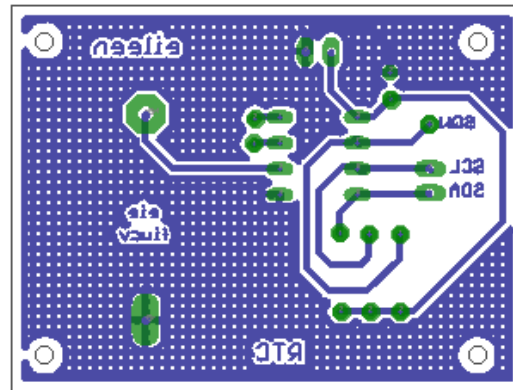
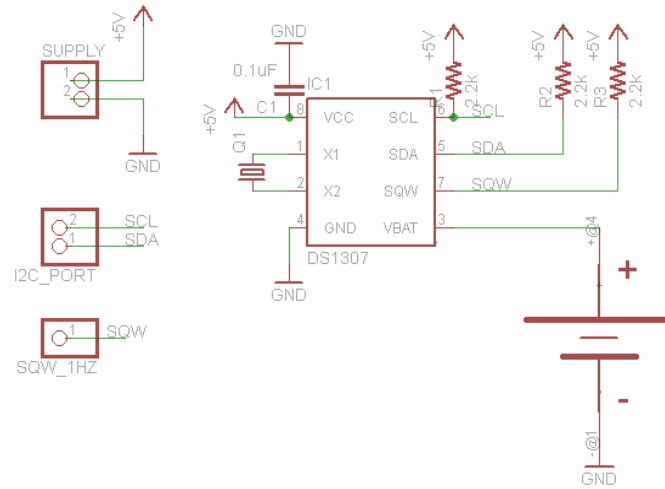
[PCB (2 Caras) del Módulo de Comunicaciones]



(Cara superior del PCB en rojo y cara inferior en azul)

## [ANEXO N°7]

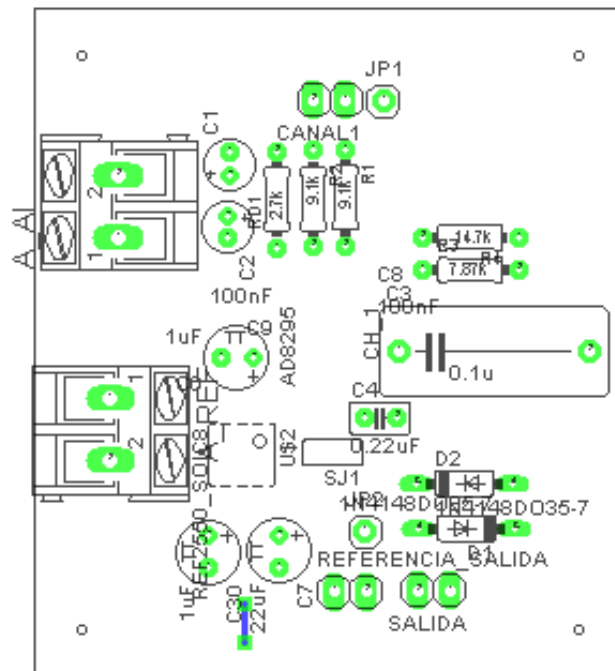
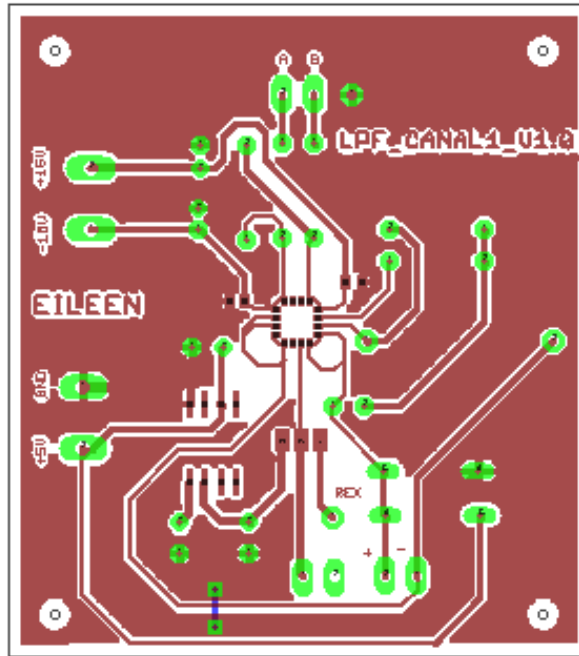
[Esquemático y PCB (Cara Inferior y SilkScreen) del Módulo RTC ]





[ANEXO N°9]

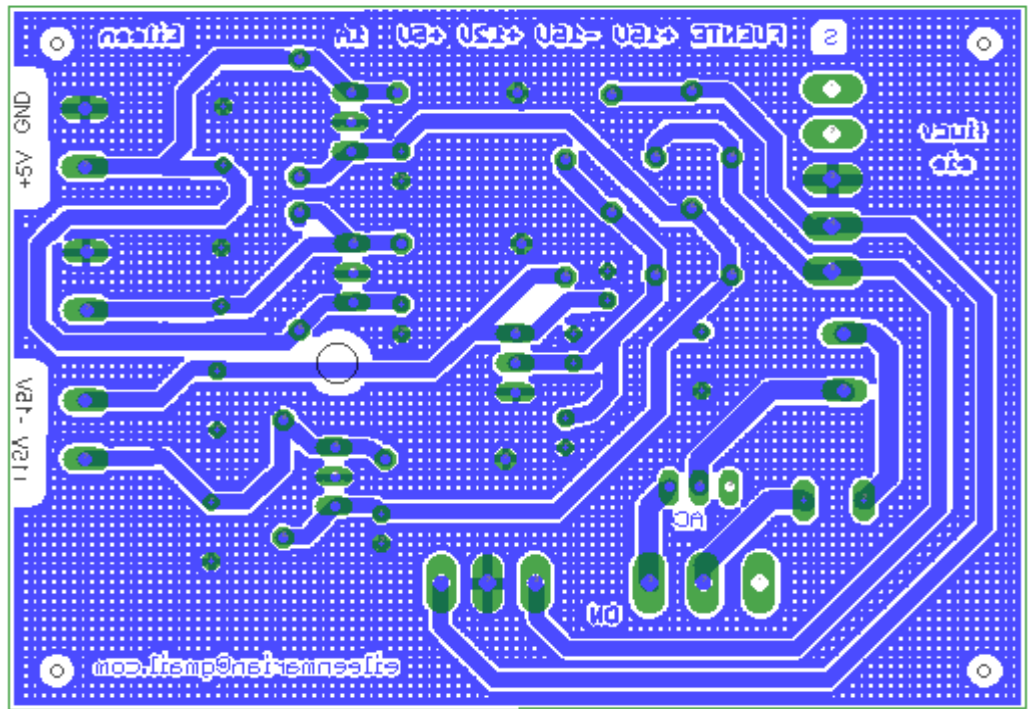
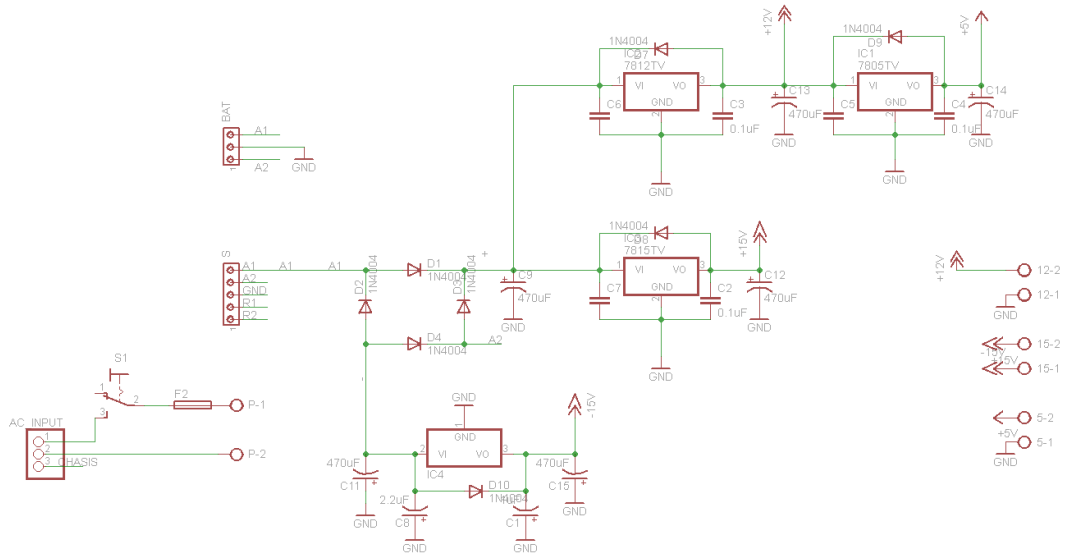
[PCB del Módulo de Acondicionamiento de Señales]





# [ANEXO N°10]

## [Esquemático y PCB de la Fuente]



**[ANEXO N°11]**

[Certificado de Calibración del Multímetro Digital HP34401A]



Laboratorio de Calibración Metrológica

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**

N° de Certificado

3010-179

**Equipo calibrado** Multímetro digital  
**Marca - Modelo** HEWLETT PACKARD 34401A  
**Serial** 3146A42898  
**Cliente** POSTGRADO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS - FACULTAD DE ING. - UCV  
**N° Inv. ENINSEL** 08-39903  
**Fecha de la calibración** 15 de Octubre de 2.010

**INFORMACIÓN SOBRE LA CALIBRACIÓN**

**Intervalo de recalibración sugerido:** 12 MESES  
**Procedimiento de Calibración:** HP 34401A (IEEE):CAL/5520

**Patron(es) utilizado(s) en la calibración**

N° Inventario	Fabricante	Modelo	Descripción	Fech. Cal.	Fech. Recal
FLUKE 5520A	FLUKE	5520A	Calibrador alta exactitud	2010-06-25	2012-12-25

Los patrones utilizados están trazados a patrones primarios del CENAM y/o NIST, los cuales realizan las unidades de medición de acuerdo al Sistema Internacional de Unidades (SI).

**Lugar de calibración:** ENINSEL - Sección de calibración.

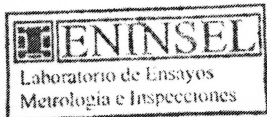
**Incertidumbre de las mediciones:** Las incertidumbres de medición están reportadas con un factor de cobertura de  $k = 2$ , correspondiente a un intervalo de confianza de aproximadamente 95%, mediante el procedimiento descrito en el documento PEENINSEL 008/LME

**Condiciones ambientales:** La calibración fue efectuada bajo un ambiente de  $(22,5 \pm 3,5) ^\circ\text{C}$  y  $(42,5 \pm 27,5) \%$  humedad relativa.

**Resultados de la calibración:** Refiérase al reporte de calibración.

Este certificado y su reporte de calibración sólo pueden ser reproducidos de manera íntegra, nunca por secciones. Los certificados y reportes de calibración sin firma no son válidos.

Director de ENINSEL



Luis Rodríguez Quiroz

Coordinador del Laboratorio  
de Metrología Eléctrica

Carlos E. Rosi L.

Persona que realizó  
la calibración

Carlos Rosi

# Reporte de Calibración

F.E 3043/08-99 Rev.2

## ENINSEL

EBP: HEWLETT PACKARD 34401A  
 Multímetro digital  
 Serial: 3146A42898  
 N# Inv.: 08-39903

N° DE CERTIFICADO: 3010-179

Calibración realizada por: Carlos Rosi  
 Efectuado el: 2010-10-15 a las 13:21:42

Cond. Ambiente: Temp. 23,6°C  
 Humed. 53 %

Empresa: POSTGRADO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS - FACULTAD DE ING. - UCV

Teléfono:

Notas:

### Patron(es) Usado(s)

Inventario	Fabricante	Modelo	Descripción	Fech. Cal.	Fech. Rec.
FLUKE 5520A	FLUKE	5520A	Calibrador alta exactitud	2010-06-25	2012-12-25

### Datos Calibración

VALOR PATRON	VALOR REAL	----- EQUIPO BAJO PRUEBA ----- LECTURA TOLERANCIA ERROR EBP			ERROR % Tol	NOTIF. USUA.
-----------------	---------------	--	--	--	----------------	-----------------

Método de calibración = medición directa

SELF-TEST  
 Self-Test

SI

#### VOLTAJE DC

Rango 100 mV

100,0000 mV

99,9986 8,5 µV -1,367 µV 16

Incertidumbre de la medición = 0,002 1 mV

Rango 1 V

1,000000 V

0,999976 47 µV -23,66 µV 50

Incertidumbre de la medición = 0,015 mV

Rango 10 V

10,00000 V

9,99981 400 µV -186,2 µV 47

Incertidumbre de la medición = 0,11 mV

Rango 10 V

-10,00000 V

-9,99983 400 µV 169,1 µV 42

Incertidumbre de la medición = 0,11 mV

Rango 100 V

100,0000 V

99,9963 5,1 mV -3,671 mV 72 M

Incertidumbre de la medición = 1,1 mV

Rango 1000 V

1000,000 V

999,964 55 mV -35,74 mV 65

Incertidumbre de la medición = 0,015 V

#### VOLTAJE AC

Rango 100 mV

100,0000 mV - 1 kHz

99,9173 100 µV -82,684 µV 83 M

Incertidumbre de la medición = 0,025 mV

100,0000 mV - 50 kHz

100,0264 170 µV 26,37 µV 16

HEWLETT PACKARD 34401A N# Inv.: 08-39903 Serial: 3146A42898

VALOR PATRON	VALOR REAL	----- EQUIPO BAJO PRUEBA -----			ERROR % Tol	NOTIF. USUA.
		LECTURA	TOLERANCIA	ERROR EBP		
Incertidumbre de la medición = 0,055 mV						
Rango 1 V						
1,000000 V - 1 kHz		1,000000	900 µV	0 V	0	
Incertidumbre de la medición = 0,25 mV						
1,000000 V - 50 kHz		0,999917	1,7 mV	-83,41 µV	5	
Incertidumbre de la medición = 0,55 mV						
1,000000 V - 100 kHz		1,000919	6,8 mV	918,5 µV	14	
Incertidumbre de la medición = 1,55 mV						
1,000000 V - 300 kHz		1,004901	45 mV	4,9012 mV	11	
Incertidumbre de la medición = 0,011 mV						
Rango 10 V						
10,00000 V - 1 kHz		9,99198	9 mV	-8,0168 mV	89	M
Incertidumbre de la medición = 2,1 mV						
10,00000 V - 50 kHz		9,99909	17 mV	-912,6 µV	5	
Incertidumbre de la medición = 0,002 5 V						
10,00000 V - 10 Hz		9,98999	9 mV	-10,0109 mV	111	###
Incertidumbre de la medición = 0,001 3 V						
Rango 100 V						
100,0000 V - 1 kHz		99,9858	90 mV	-14,21 mV	16	
Incertidumbre de la medición = 0,025 V						
100,0000 V - 50 kHz		99,9431	170 mV	-56,904 mV	33	
Incertidumbre de la medición = 0,015 V						
Rango 750 V						
750,000 V - 1 kHz		750,033	675 mV	32,51 mV	5	
Incertidumbre de la medición = 0,15 V						
300,000 V - 50 kHz		299,848	735 mV	-152,04 mV	21	
Incertidumbre de la medición = 0,22 V						
RESPUESTA EN FRECUENCIA						
1,000000 V - 20 Hz		0,998905	2,4 mV	-1,09455 mV	46	
Incertidumbre de la medición = 0,33 mV						
1,000000 V - 20 kHz		0,999393	800 µV	-606,68 µV	76	M
Incertidumbre de la medición = 0,11 mV						
1,000000 V - 100 kHz		1,001033	6,8 mV	1,0331 mV	15	
Incertidumbre de la medición = 1,5 mV						
1,000000 V - 300 kHz		1,005028	45 mV	5,0284 mV	11	
Incertidumbre de la medición = 0,11 mV						
LINEALIDAD						
1,00000 V - 1 kHz		0,99912	3,5 mV	-883,3 µV	25	
Incertidumbre de la medición = 0,11 mV						
0,10000 V - 1 kHz		0,10066	13 mV	660,1 µV	5	
Incertidumbre de la medición = 0,15 mV						
CORRIENTE DC						
Rango 10 mA						
10,00000 mA		10,01391	7 µA	13,915 µA	199	###

VALOR PATRON	VALOR REAL	----- EQUIPO BAJO PRUEBA -----			ERROR % Tol	NOTIF. USUA.
		LECTURA	TOLERANCIA	ERROR EBP		
Incertidumbre de la medición = 0,001 1 mA						
Rango 100 mA						
100,0000 mA		100,1330	55 µA	133,02 µA	242	###
Incertidumbre de la medición = 0,013 mA						
Rango 1 A						
1,000000 A		1,001792	1,1 mA	1,7924 mA	163	###
Incertidumbre de la medición = 0,13 mA						
Rango 3 A						
2,000000 A		2,003592	4,2 mA	3,592 mA	86	M
Incertidumbre de la medición = 0,55 mA						
CORRIENTE AC						
Rango 1 A						
1,000000 A - 1 kHz		1,001134	1,4 mA	1,1341 mA	81	M
Incertidumbre de la medición = 0,11 mA						
Rango 3 A						
2,000000 A - 1 kHz		2,001008	4,8 mA	1,0077 mA	21	
Incertidumbre de la medición = 1,3 mA						
4W OHM						
Rango 100 ohm						
100,0000 ohm		99,9908	14 mohm	-9,195 mohm	66	
Incertidumbre de la medición = 4,1 mohm						
Rango 1 kohm						
1,000000 kohm		0,999877	110 mohm	-123,42 mohm	112	###
Incertidumbre de la medición = 0,000 015 kohm						
Rango 10 kohm						
10,00000 kohm		9,99832	1,1 ohm	-1,6838 ohm	153	###
Incertidumbre de la medición = 0,000 15 kohm						
Rango 100 kohm						
100,0000 kohm		99,9860	11 ohm	-14,019 ohm	127	###
Incertidumbre de la medición = 0,001 5 kohm						
Rango 1 Mohm						
1,000000 Mohm		0,999827	110 ohm	-172,57 ohm	157	###
Incertidumbre de la medición = 0,000 015 Mohm						
Rango 10 Mohm						
10,00000 Mohm		9,99835	4,1 kohm	-1,6502 kohm	40	
Incertidumbre de la medición = 0,000 13 Mohm						
Rango 100 Mohm						
100,0000 Mohm		99,2984	810 kohm	-701,605 kohm	87	M
Incertidumbre de la medición = 0,15 Mohm						
2-WIRE OHMS						
Rango 100 ohm						
100,0000 ohm		99,9854	14 mohm	-14,64 mohm	105	###
Incertidumbre de la medición = 0,004 mohm						
Rango 1 kohm						
1,000000 kohm		0,999873	110 mohm	-126,9 mohm	115	###
Incertidumbre de la medición = 0,000 015 kohm						
Rango 10 kohm						

VALOR PATRON	VALOR REAL	----- EQUIPO BAJO PRUEBA -----			ERROR % Tol	NOTIF. USUA.
		LECTURA	TOLERANCIA	ERROR EBP		
10,00000 kohm		9,99830	1,1 ohm	-1,7 ohm	155	###
Incertidumbre de la medición = 0,000 15 kohm						
Rango 100 kohm						
100,0000 kohm		99,9876	11 ohm	-12,44 ohm	113	###
Incertidumbre de la medición = 0,001 5 kohm						
Rango 1 Mohm						
1,000000 Mohm		0,999815	110 ohm	-184,8 ohm	168	###
Incertidumbre de la medición = 0,000 015 Mohm						
Rango 10 Mohm						
10,00000 Mohm		9,99820	4,1 kohm	-1,797 kohm	44	
Incertidumbre de la medición = 0,001 3 Mohm						
Rango 100 Mohm						
100,0000 Mohm		99,2228	810 kohm	-777,17 kohm	96	M
Incertidumbre de la medición = 0,15 Mohm						
FRECUENCIA						
100,0000 Hz - 100 mV		100,0091	100 mHz	9,1 mHz	9	
Incertidumbre de la medición = 0,002 5 Hz						
100,0000 kHz - 1 V		100,0005	10 Hz	500 mHz	5	
Incertidumbre de la medición = 0,001 5 Hz						

---

**Fin Resultados Calibracion**

---



## INSTRUCTIVO

Al calibrar un equipo, ENINSEL emite un documento compuesto de dos partes: El certificado de calibración (primera pagina) y el reporte de calibración. Este folleto pretende ser una guía explicativa de los significados y aplicaciones de la información contenida en dicho documento.

### Certificado de Calibración

- **N° de Certificado:** Es el número asignado por ENINSEL para dicho certificado.
- **Equipo calibrado, Marca - Modelo:** Descripción somera del equipo al que se le emite el certificado.
- **Serial:** Corresponde al número serial asignado al equipo por el fabricante del mismo. En caso que el instrumento no posea un número serial de fábrica, ENINSEL le asignará uno para poder identificarlo unívocamente en su base de datos. Este número estará escrito en una etiqueta de color amarillo, la cual no debe ser removida bajo ningún concepto.
- **Cliente:** Nombre de la empresa propietaria del equipo, la cual solicitó los servicios de calibración de ENINSEL.
- **N° Inv. ENINSEL:** Es el número de identificación asignado por ENINSEL para su base de datos interna. Este número es igual al asignado por la empresa por su sistema de codificación interna. En caso de que la empresa no le coloque un número de identificación, ENINSEL tomara el serial del equipo como número de inventario.
- **Fecha de la calibración:** Indica el día, mes y el año en el cual se realizó la calibración del equipo.
- **Intervalo de recalibración sugerido:** Muestra el intervalo sugerido por ENINSEL para la recalibración del equipo, basándose en las especificaciones técnicas dadas por el fabricante y/o el uso dado al equipo por el cliente.
- **Procedimiento de calibración:** Señala el nombre del procedimiento utilizado para calibrar el equipo.
- **Patrón(es) Utilizado(s) en la calibración:** A este campo se le asigna el N° Inventario, fabricante, modelo, descripción, Fecha de calibración y fecha de recalibración del(los) patrón(es) utilizados por ENINSEL en la calibración del equipo.

### Reporte de calibración

- **EBP:** Estas siglas corresponden a la abreviatura de Equipo Bajo Prueba. Aquí se coloca la información correspondiente al equipo calibrado: marca, modelo, descripción, serial y N° de inventario.
- **Empresa:** Nombre de la empresa propietaria del equipo.
- **Teléfono:** Teléfono de contacto con la empresa propietaria del equipo.
- **Notas:** Campo destinado a comentarios relativos al equipo que puedan ser de importancia para la empresa, como por ejemplo falta de fusibles, fusibles no adecuados, baterías, rangos o conectores dañados, equipos auxiliares, etc.
- **Efectuado el:** Indica la fecha y la hora en la cual se realizó la calibración del equipo.
- **Calibración realizada por:** Muestra el nombre de la persona que realizó la calibración del equipo.
- **Cond. Ambiente:** Muestra los valores de Temperatura y Humedad Relativa del laboratorio al momento de la calibración.
- **Patrón(es) Usado(s):** Se coloca el N° Inventario, fabricante, modelo, descripción, fecha de calibración y fecha de recalibración del(los) patrón(es) utilizados por ENINSEL en la calibración del equipo.

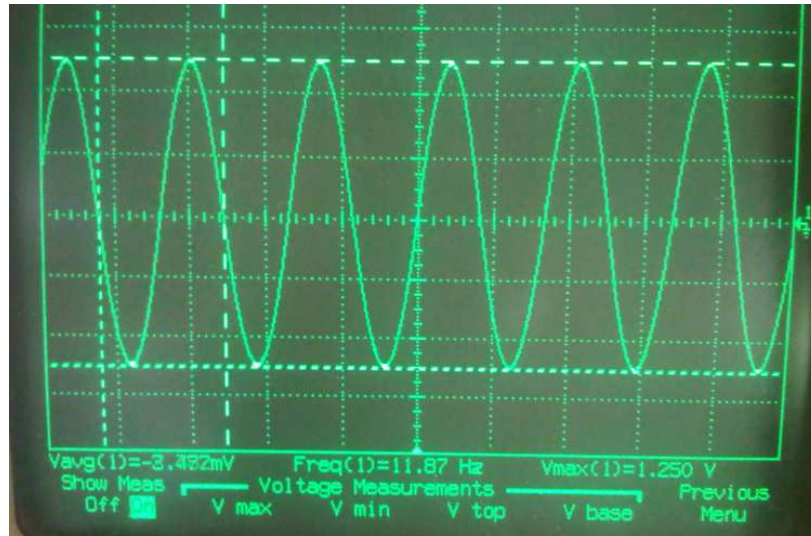
En la sección **DATOS DE CALIBRACIÓN** aparecen 7 columnas que contienen la información pertinente al procedimiento de calibración.

- **Valor patrón:** En esta columna se especifica la magnitud y valor del parámetro aplicado al **EBP**. Por ejemplo, cuando en esta columna aparezca **350,0mV - 60Hz**, indica que al equipo se le está suministrando un voltaje AC de 350,0 milivoltios a 60 hertz. En esta columna se especifica también la información correspondiente a la magnitud que está siendo calibrada y el rango del equipo que está siendo utilizado en ese momento. En la calibración de un equipo pueden aparecer dos tipos de ensayos:
  1. Los de verificación de una función específica tales como **Continuidad** o **Prueba de display**, en las cuales la respuesta del equipo no involucra una medición intrínseca de un parámetro, sino una verificación de funcionamiento correcto; en estos casos el ensayo se dice que es del tipo **pasa-no pasa**. Para este tipo de ensayos no se calcula incertidumbre de medición.
  2. Los de medición de una magnitud específica tal como **voltaje AC**, en estos ensayos si se calcula la incertidumbre de medición mediante el procedimiento especificado en la guía de cálculo de incertidumbre. Esta incertidumbre aparece expresada en la línea siguiente al ensayo y la misma corresponde a la **incertidumbre combinada expandida relativa** (cuando se reporta una cantidad sin unidades y con el símbolo %) o a la **incertidumbre combinada expandida** (cuando se reporta con unidades).
- **Valor real:** Cuando se hacen correcciones al **Valor patrón** (caso típico de una resistencia), el **Valor real** muestra el verdadero valor de la magnitud aplicada al equipo. Por ejemplo, podría darse el caso de estar aplicando una resistencia de 10,000  $\Omega$  (**Valor patrón**) y que su **valor real** fuera 10,002  $\Omega$ . Nótese que esta columna no muestra unidades porque se asume que son las mismas de la primera columna.
- **Lectura:** Aquí se coloca la lectura realizada por el **EBP** al serle aplicada la magnitud indicada en **Valor patrón** (o, si es el caso, **Valor real**). Al igual que la columna **Valor real**, se asume que esta columna tiene las mismas unidades que **Valor patrón**.
- **Tolerancia:** Representa el valor del **Error Máximo Permitido (EMP)** según las especificaciones dadas por el fabricante del **EBP** para esa medición particular.
- **Error EBP:** Muestra el error presentado por el Equipo Bajo Prueba al serle aplicado el **Valor patrón** (o, si es el caso, **Valor real**), este se calcula de la siguiente manera: **Error EBP = Lectura - Valor patrón**.
- **Error en % de Tol.:** En esta columna se expresa el error como un porcentaje de la **Tolerancia**. Se calcula de la siguiente manera: **Error en % de Tol = (Error EBP / Tolerancia)\*100**. Este campo es usado para controlar cuando el equipo está cerca de sobrepasar el valor de 100%, lo cual indicaría que no cumpliría con las especificaciones del fabricante. Esto es útil para estimar cuando es conveniente un ajuste del equipo. Cuando el ensayo es del tipo **pasa-no pasa**, no aparece ningún valor numérico, en su lugar se observan las palabras **Pasó o Falló**.
- **Notif. Usua.:** Si en esta columna no aparece ningún símbolo, indica que el ensayo fue aprobado, si aparece una "**M**" indica que el ensayo fue aprobado en calidad de marginal (es decir que el **Error en % de Tol** está comprendido entre 80% y 100%), el símbolo "**###**" indica que el ensayo no fue aprobado (lo cual significa que el **Error en % de Tol** fue mayor que 100%).

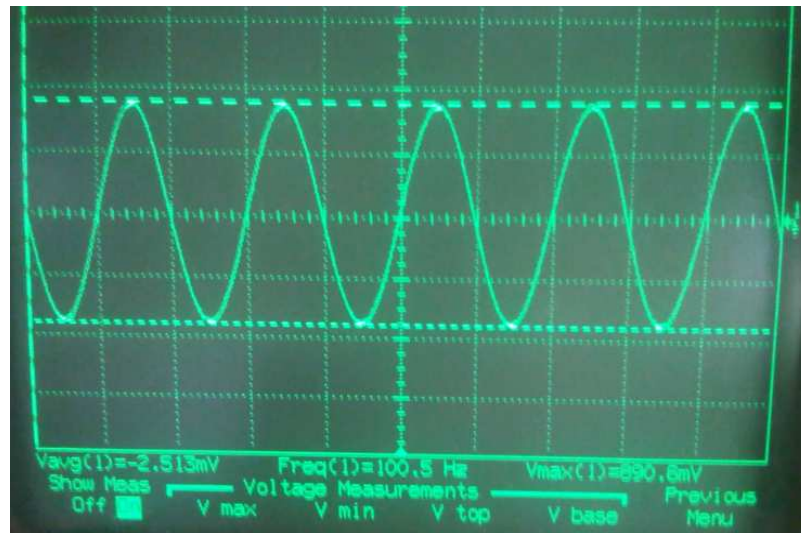


## [ANEXO N°12]

[Fotos del Ensayo para determinar la frecuencia de corte del filtro del módulo de acondicionamiento de señales utilizando un osciloscopio digital]



Banda Pasante (Amplitud Máxima 1,250V) Entrada: Señal de 20Vpp.



Atenuación de 3dB (Amplitud Máxima 890mV) Frecuencia de la señal  
100,5Hz

**[ANEXO N°13]**

[Mediciones Realizadas para la Calibración]

## EJEVE\_M1\_18V

- 2. 264733
- 2. 264758
- 2. 264338
- 2. 264755
- 2. 263981
- 2. 264795
- 2. 264744
- 2. 264504
- 2. 264775
- 2. 264032
- 2. 264740
- 2. 242189
- 2. 264759
- 2. 264285
- 2. 264727
- 2. 264399
- 2. 264644
- 2. 175127
- 2. 264653
- 2. 254940
- 2. 264155
- 2. 264506
- 2. 264711

EJEVE\_M4\_2V

0. 255280  
0. 266144  
0. 200333  
0. 272519  
0. 089168  
0. 271614  
0. 267596  
0. 238811  
0. 276251  
0. 144658  
0. 270001  
0. 238299  
0. 235596

EJEVE\_M7\_\_16

- 1. 813969
- 2. 120054
- 2. 117447
- 2. 116337
- 2. 132231
- 1. 996860
- 2. 131734
- 1. 991532
- 2. 131751
- 1. 991056
- 2. 132414

EJEVE\_M2\_14V

- 1. 390054
- 1. 881465
- 1. 846702
- 1. 677926
- 1. 846418
- 1. 187289
- 1. 845697
- 1. 846804
- 1. 846816
- 1. 845926
- 1. 846646
- 1. 845647
- 1. 846754
- 1. 846829
- 1. 845445
- 1. 846643
- 1. 856377
- 1. 846241
- 1. 846754
- 1. 874631
- 1. 199597
- 1. 797316
- 1. 865783

EJEVE\_M5\_\_2V

-0.209903  
-0.287212  
-0.285114  
-0.223895  
-0.286073  
-0.141068  
-0.288195  
-0.260535  
-0.285681

## EJEVE\_M3\_10V

1. 316856  
1. 315609  
1. 313737  
1. 115264  
1. 326583  
0. 403539  
1. 347991  
1. 413396  
0. 912504  
1. 333326  
0. 825208  
1. 310481  
1. 317775



EJEVE\_M6\_\_10

-1. 368337  
-0. 688971  
-1. 363654  
-1. 202981  
-1. 303635  
-1. 336710  
-1. 125718  
-1. 340794  
-0. 829110  
-1. 348058  
-0. 456521

### [ANEXO N°14]

[Mediciones Realizadas con el Medidor Vectorial de Ganancia y Fase para Determinar la Respuesta en frecuencia del Módulo de Acondicionamiento de Señales (Incertidumbre de la Ganancia 0,1dB; Incertidumbre de la Fase 0,1°)]

N°	Ganancia [dB]	Fase [DEG]	Frecuencia [Hz]
1	-17,3	-0,7	1,1
2	-17,3	-0,7	1,2
3	-17,3	-0,8	1,4
4	-17,3	-0,9	1,5
5	-17,3	-1,1	1,7
6	-17,3	-1,2	1,8
7	-17,3	-1,6	3,0
8	-17,3	-3,3	4,3
9	-17,3	-4,0	5,5
10	-17,3	-5,4	7,0
11	-17,3	-7,0	9,0
12	-17,3	-7,8	10,0
13	-17,3	-8,6	11,1
14	-17,3	-9,3	11,9
15	-17,3	-10,1	12,7
16	-17,3	-10,9	13,9
17	-17,3	-13,2	16,6
18	-17,3	-14,6	18,2
19	-17,3	-19,7	24,4
20	-17,3	-28,0	33,8
21	-17,3	-35,2	41,8

N°	Ganancia [dB]	Fase [DEG]	Frecuencia [Hz]
22	-17,5	-45,3	52,8
23	-18,3	-63,2	71,3
24	-18,9	-72,3	80,9
25	-19,4	-81,0	90,6
<b>26</b>	<b>-20,1</b>	<b>-88,3</b>	<b>99,4</b>
<b>27</b>	<b>-21,0</b>	<b>-96,2</b>	<b>109,9</b>
28	-21,9	-101,7	117,9
29	-22,8	-108,2	128,7
30	-24,6	-117,8	147,6
31	-26,4	-125,2	166,6
32	-28,0	-130,8	184,5
33	-33,1	-144,4	251,5
34	-43,6	-160,6	457,3

## **ANEXO 15**

[Resultados de la Prueba de Comparación del Digitalizador Diseñado con  
una Tarjeta de Adquisición de datos Comercial]

---

yns =

Columns 1 through 8

-150.4384 -150.5139 -150.4704 -150.4843 -150.4969 -150.5139 -150.5473 -150.5285

Columns 9 through 16

-150.5518 -150.5536 -150.5491 -150.5465 -150.5680 -150.6167 -150.6207 -150.6083

Columns 17 through 24

-150.6119 -150.6242 -150.6239 -150.6294 -150.6164 -150.6233 -150.6281 -150.6260

Columns 25 through 32

-150.6451 -150.6312 -150.6307 -150.6419 -150.6317 -150.6478 -150.6337 -150.6368

Columns 33 through 40

-150.6384 -150.6410 -150.6483 -150.6365 -150.6412 -150.6482 -150.6434 -150.6441

Columns 41 through 48

-150.6363 -150.6498 -150.6526 -150.6431 -150.6583 -150.6460 -150.6481 -150.6579

Columns 49 through 56

-150.6551 -150.6429 -150.6471 -150.5823 -150.4479 -150.5474 -150.5142 -150.4905

Columns 57 through 64

-150.5156 -150.5331 -150.5911 -150.5535 -150.5872 -150.5183 -150.5989 -150.5945

Columns 65 through 72

-150.5831 -150.6335 -150.5725 -150.5888 -150.6204 -150.6227 -150.6182 -150.6148

Columns 73 through 80

-150.6297 -150.5937 -150.6009 -150.6279 -150.6176 -150.6262 -150.6260 -150.6220

Columns 81 through 88

-150.6313 -150.6287 -150.6403 -150.6464 -150.6334 -150.6411 -150.6352 -150.6403

Columns 89 through 96

-150.6244 -150.6271 -150.6375 -150.6303 -150.6355 -150.6326 -150.6306 -150.6357

Columns 97 through 104

---

-150.6348 -150.6356 -150.6394 -150.6391 -150.6595 -150.6388 -150.6609 -150.6419

Columns 105 through 112

-150.6521 -150.6549 -150.6444 -150.6581 -150.6501 -150.6408 -150.6306 -150.6491

Columns 113 through 120

-150.6443 -150.6408 -150.6530 -150.6486 -150.6564 -150.6493 -150.6455 -150.6452

Columns 121 through 128

-150.6433 -150.6518 -150.6502 -150.6372 -150.6497 -150.6463 -150.6222 -150.6291

Columns 129 through 136

-150.6351 -150.6360 -150.6369 -150.6548 -150.6446 -150.6409 -150.6485 -150.6461

Columns 137 through 144

-150.6523 -150.6400 -150.6472 -150.6437 -150.6419 -150.6495 -150.6431 -150.6506

Columns 145 through 152

-150.6508 -150.6040 -150.4160 -150.3977 -150.3691 -150.3751 -150.3936 -150.3823

Columns 153 through 160

-150.4228 -150.4691 -150.4743 -150.4676 -150.4800 -150.4575 -150.5169 -150.4986

Columns 161 through 168

-150.5140 -150.5093 -150.5356 -150.5491 -150.5812 -150.5845 -150.5876 -150.6159

Columns 169 through 176

-150.5916 -150.5950 -150.6222 -150.6236 -150.6284 -150.6236 -150.6338 -150.6327

Columns 177 through 184

-150.6344 -150.6334 -150.6315 -150.6319 -150.6411 -150.6292 -150.6383 -150.6386

Columns 185 through 192

-150.6445 -150.6431 -150.6419 -150.6447 -150.6555 -150.6512 -150.6496 -150.4523

Columns 193 through 200

-150.5511 -150.4894 -150.5601 -150.5225 -150.5293 -150.5757 -150.5710 -150.5532

Columns 201 through 208

---

-150.5816 -150.5498 -150.6005 -150.6096 -150.5837 -150.6264 -150.5447 -150.5958

Columns 209 through 216

-150.6177 -150.6202 -150.5746 -150.6096 -150.6213 -150.5874 -150.6282 -150.6027

Columns 217 through 224

-150.6128 -150.6333 -150.6266 -150.6359 -150.6242 -150.6371 -150.6333 -150.6201

Columns 225 through 232

-150.6307 -150.6349 -150.6356 -150.6308 -150.6277 -150.6228 -150.6182 -150.6266

Columns 233 through 240

-150.6390 -150.6418 -150.5863 -150.6296 -150.6382 -150.6484 -150.6468 -150.6357

Columns 241 through 248

-150.6393 -150.6366 -150.6487 -150.6427 -150.6304 -150.6343 -150.6371 -150.6415

Columns 249 through 256

-150.6477 -150.6071 -150.7764 -150.4532 -150.4563 -150.5647 -150.5479 -150.5116

Columns 257 through 264

-150.5073 -150.5907 -150.5511 -150.5653 -150.5358 -150.5526 -150.5839 -150.5277

Columns 265 through 272

-150.5820 -150.5822 -150.5897 -150.6333 -150.5936 -150.6091 -150.6176 -150.6260

Columns 273 through 280

-150.6405 -150.6429 -150.6447 -150.6434 -150.6006 -150.6933 -150.3230 -150.3093

Columns 281 through 288

-150.3232 -150.3198 -150.3682 -150.3877 -150.3894 -150.4396 -150.4333 -150.4705

Columns 289 through 296

-150.4611 -150.4352 -150.4872 -150.4867 -150.5176 -150.4899 -150.5350 -150.5300

Columns 297 through 304

-150.5724 -150.5942 -150.5543 -150.5770 -150.5923 -150.5903 -150.6183 -150.6228

Columns 305 through 312

---

-150.6149 -150.6285 -150.6256 -150.6260 -150.6354 -150.6330 -150.6360 -150.6412

Columns 313 through 320

-150.6357 -150.6362 -150.6367 -150.6393 -150.6410 -150.6415 -150.6427 -150.6407

Columns 321 through 328

-150.6363 -150.6479 -150.6487 -150.6449 -150.6446 -150.6560 -150.6446 -150.6393

Columns 329 through 336

-150.6440 -150.6414 -150.6431 -150.6507 -150.6432 -150.6384 -150.6397 -150.6419

Columns 337 through 344

-150.6498 -150.6424 -150.6410 -150.6515 -150.6444 -150.6420 -150.3776 -150.4739

Columns 345 through 352

-150.5206 -150.4493 -150.5226 -150.5499 -150.5568 -150.5620 -150.5306 -150.5397

Columns 353 through 360

-150.5857 -150.5425 -150.6065 -150.5479 -150.5767 -150.6153 -150.5859 -150.6246

Columns 361 through 367

-150.6268 -150.5823 -150.6268 -150.6247 -150.5819 -150.6091 -150.6147



## **ANEXO 16**

[Cálculos de los coeficientes térmicos de  $Q$  y  $f_c$ ]

> Q:=sqrt(R3\*R4\*C3\*C4)/((R3+R4)\*C3);

$$Q := \frac{\sqrt{R3 R4 C3 C4}}{(R3 + R4) C3} \quad (1)$$

> fc:=(1/(2\*Pi))\*sqrt(1/(R3\*R4\*C3\*C4));

$$fc := \frac{1}{2} \frac{\sqrt{\frac{1}{R3 R4 C3 C4}}}{\pi} \quad (2)$$

> D(Q\_):=(diff(Q,R4))\*R4\*Delta[CTR4]+(diff(Q,R3))\*R3\*Delta[CTR3]+  
(diff(Q,C4))\*C4\*Delta[CTC4]+(diff(Q,C3))\*C3\*Delta[CTC3];

$$\begin{aligned} D(Q_-) := & \left( \frac{1}{2} \frac{R3 C4}{\sqrt{R3 R4 C3 C4} (R3 + R4)} - \frac{\sqrt{R3 R4 C3 C4}}{(R3 + R4)^2 C3} \right) R4 \Delta_{CTR4} \\ & + \left( \frac{1}{2} \frac{R4 C4}{\sqrt{R3 R4 C3 C4} (R3 + R4)} - \frac{\sqrt{R3 R4 C3 C4}}{(R3 + R4)^2 C3} \right) R3 \Delta_{CTR3} \\ & + \frac{1}{2} \frac{R3 R4 C4 \Delta_{CTC4}}{\sqrt{R3 R4 C3 C4} (R3 + R4)} + \left( \frac{1}{2} \frac{R3 R4 C4}{\sqrt{R3 R4 C3 C4} (R3 + R4) C3} \right. \\ & \left. - \frac{\sqrt{R3 R4 C3 C4}}{(R3 + R4) C3^2} \right) C3 \Delta_{CTC3} \end{aligned} \quad (3)$$

> D(CT\_Q):=D(Q\_)/Q;

$$\begin{aligned} D(CT_Q) := & \frac{1}{\sqrt{R3 R4 C3 C4}} \left( \left( \left( \frac{1}{2} \frac{R3 C4}{\sqrt{R3 R4 C3 C4} (R3 + R4)} \right. \right. \right. \\ & \left. \left. - \frac{\sqrt{R3 R4 C3 C4}}{(R3 + R4)^2 C3} \right) R4 \Delta_{CTR4} + \left( \frac{1}{2} \frac{R4 C4}{\sqrt{R3 R4 C3 C4} (R3 + R4)} \right. \right. \\ & \left. \left. - \frac{\sqrt{R3 R4 C3 C4}}{(R3 + R4)^2 C3} \right) R3 \Delta_{CTR3} + \frac{1}{2} \frac{R3 R4 C4 \Delta_{CTC4}}{\sqrt{R3 R4 C3 C4} (R3 + R4)} \right. \\ & \left. + \left( \frac{1}{2} \frac{R3 R4 C4}{\sqrt{R3 R4 C3 C4} (R3 + R4) C3} - \frac{\sqrt{R3 R4 C3 C4}}{(R3 + R4) C3^2} \right) C3 \Delta_{CTC3} \right) (R3 + R4) C3 \end{aligned} \quad (4)$$

> d(fc\_):=(diff(fc,R4))\*R4\*Delta[CTR4]+(diff(fc,R3))\*R3\*Delta  
[CTR3]+(diff(fc,C4))\*C4\*Delta[CTC4]+(diff(fc,C3))\*C3\*Delta[CTC3]  
;

$$d(fc_-) := -\frac{1}{4} \frac{\Delta_{CTR4}}{\pi \sqrt{\frac{1}{R3 R4 C3 C4}} R3 R4 C3 C4} - \frac{1}{4} \frac{\Delta_{CTR3}}{\pi \sqrt{\frac{1}{R3 R4 C3 C4}} R3 R4 C3 C4} \quad (5)$$

$$-\frac{1}{4} \frac{\Delta_{CTC4}}{\pi \sqrt{\frac{1}{R3 R4 C3 C4}} R3 R4 C3 C4} - \frac{1}{4} \frac{\Delta_{CTC3}}{\pi \sqrt{\frac{1}{R3 R4 C3 C4}} R3 R4 C3 C4}$$

> (CT\_fc):=d(fc\_)/fc;

$$CT\_fc := \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R3 R4 C3 C4}}} \left( 2 \left( -\frac{1}{4} \frac{\Delta_{CTR4}}{\pi \sqrt{\frac{1}{R3 R4 C3 C4}} R3 R4 C3 C4} \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{1}{4} \frac{\Delta_{CTR3}}{\pi \sqrt{\frac{1}{R3 R4 C3 C4}} R3 R4 C3 C4} - \frac{1}{4} \frac{\Delta_{CTC4}}{\pi \sqrt{\frac{1}{R3 R4 C3 C4}} R3 R4 C3 C4} \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{1}{4} \frac{\Delta_{CTC3}}{\pi \sqrt{\frac{1}{R3 R4 C3 C4}} R3 R4 C3 C4} \right) \pi \right) \quad (6)$$

> val:={Delta[CTR3]=-0.0006,Delta[CTR4]=-0.0006,Delta[CTC3]=0.00003,Delta[CTC4]=0.000030,R4=14.7e3,R3=7.87e3,C4=0.22e-6,C3=0.1e-6};

$$val := \{C3 = 1.10^{-7}, C4 = 2.2 \cdot 10^{-7}, R3 = 7870., R4 = 14700., \Delta_{CTC3} = 0.00003, \Delta_{CTC4} = 0.000030, \Delta_{CTR3} = -0.0006, \Delta_{CTR4} = -0.0006\} \quad (7)$$

> D\_CT\_Q:=eval(D(CT\_Q),val);

$$D\_CT\_Q := -8.488392158 \cdot 10^{-14} \quad (8)$$

> CT\_fc:=eval((CT\_fc),val);

$$CT\_fc := 0.0005700000004 \quad (9)$$

> restart;

> Rdiv:=x\*.5/(R1+.5\*x);

$$Rdiv := \frac{0.5 x}{R1 + 0.5 x} \quad (10)$$

> Delta(Rdiv\_):=(abs(diff(Rdiv,x))\*x\*Delta[CTx]+abs(diff(Rdiv,R1))\*R1\*Delta[CTR1])/Rdiv;

$$\Delta(Rdiv_) := \frac{1}{x} \left( 2.000000000 \left( \left| \frac{0.5}{R1 + 0.5 x} - \frac{0.25 x}{(R1 + 0.5 x)^2} \right| x \Delta_{CTx} \right. \right. \\ \left. \left. + 0.5 \left| \frac{x}{(R1 + 0.5 x)^2} \right| R1 \Delta_{CTR1} \right) (R1 + 0.5 x) \right) \quad (11)$$

> val2:={R1=14.7e3,x=4200,Delta[CTx]=-0.000600,Delta[CTR1]=-0.000600};

(12)

$$val2 := \{RI = 14700., x = 4200, \Delta_{CTx} = -0.000600, \Delta_{CTRI} = -0.000600\} \quad (12)$$

```
> Deta_Rdiv:=eval(Delta(Rdiv_),val2);  
Deta_Rdiv := -0.001050000000
```

 (13)

```
> restart:
```

## **ANEXO 17**

**[Cálculo de incertidumbre del factor de calidad y de la frecuencia de corte del filtro Sallen Key]**

CALCULO DE INCERTIDUMBRE

[ METODO GRUESO:

```
[ > restart;
> dift:=proc(f) var:=sort(indets(f));
  add((abs(diff(f,op(i,var)))*op(i,var)*Delta[op(i,var)]),i=1..nops(
  indets(f))) end proc;
```

Warning, `var` is implicitly declared local to procedure `dift`

```
dift := proc(f)
local var;
  var := sort(indets(f));
  add(abs(diff(f, op(i, var)))*op(i, var)*Delta[op(i, var)], i = 1 .. nops(indets(f)))
end proc
```

```
[ > Delta(Q_):=dift(Q);
```

Error, (in dift) invalid input: diff received (C3\*C4\*R3\*R4)^(1/2), which is not valid for its 2nd argument

```
[ > Delta(Q_):=abs(diff(Q,R4))*R4*Delta[R4]+abs(diff(Q,R3))*R3*Delta[R
3]+abs(diff(Q,C4))*C4*Delta[C4]+abs(diff(Q,C3))*C3*Delta[C3];
```

$$\Delta(Q_):= \left| \frac{C4 R3}{2\sqrt{C3 C4 R3 R4} (R3 + R4)} - \frac{\sqrt{C3 C4 R3 R4}}{(R3 + R4)^2 C3} \right| R4 \Delta_{R4}$$

$$+ \left| \frac{C4 R4}{2\sqrt{C3 C4 R3 R4} (R3 + R4)} - \frac{\sqrt{C3 C4 R3 R4}}{(R3 + R4)^2 C3} \right| R3 \Delta_{R3}$$

$$+ \frac{1}{2} \left| \frac{R3 R4}{\sqrt{C3 C4 R3 R4} (R3 + R4)} \right| C4 \Delta_{C4}$$

$$+ \left| \frac{C4 R3 R4}{2\sqrt{C3 C4 R3 R4} (R3 + R4) C3} - \frac{\sqrt{C3 C4 R3 R4}}{(R3 + R4) C3^2} \right| C3 \Delta_{C3}$$

```
[ > Delta(fc_):=abs(diff(fc,R4))*R4*Delta[R4]+abs(diff(fc,R3))*R3*Delta[R
3]+abs(diff(fc,C4))*C4*Delta[C4]+abs(diff(fc,C3))*C3*Delta[C3];
```

[ >

$$\Delta(fc_):= \frac{1}{4} \frac{\left| \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R3 R4 C3 C4}} R3 R4^2 C3 C4} \right| R4 \Delta_{R4}}{\pi}$$

$$+ \frac{1}{4} \frac{\left| \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R3 R4 C3 C4}} R3^2 R4 C3 C4} \right| R3 \Delta_{R3}}{\pi}$$

$$+ \frac{1}{4} \frac{\left| \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R_3 R_4 C_3 C_4}}} \right| C_4 \Delta_{C_4}}{\pi}$$

$$+ \frac{1}{4} \frac{\left| \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R_3 R_4 C_3^2 C_4}}} \right| C_3 \Delta_{C_3}}{\pi}$$

> valores := {Delta[R3]=0.01, Delta[R4]=0.01, Delta[C3]=0.05, Delta[C4]=0.05, R4=14.7e3, R3=7.87e3, C3=100e-9, C4=220e-9};

valores := {C3 = 0.100 10<sup>-6</sup>, C4 = 0.220 10<sup>-6</sup>, R3 = 7870., R4 = 14700., Δ<sub>C3</sub> = 0.05, Δ<sub>C4</sub> = 0.05, Δ<sub>R3</sub> = 0.01, Δ<sub>R4</sub> = 0.01}

> Delta\_Q\_ := eval(Delta(Q\_), valores);

Delta\_Q\_ := 0.03748140278

> Delta\_fc := eval(Delta(fc\_), valores);

Delta\_fc :=  $\frac{18.80459052}{\pi}$

> Delta\_fc := evalf(%);

Delta\_fc := 5.985687067

METODO FINO:

CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE POR RAIZ DE SUMA DE CUADRADOS

> Delta(fc\_) := sqrt((diff(fc, R4)\*R4\*Delta[R4])^2 + (diff(fc, R3)\*R3\*Delta[R3])^2 + (diff(fc, C4)\*C4\*Delta[C4])^2 + (diff(fc, C3)\*C3\*Delta[C3])^2);

$$\Delta(fc_) := \frac{1}{4} \sqrt{\frac{\Delta_{R4}^2}{R_3 R_4 C_3 C_4 \pi^2} + \frac{\Delta_{R3}^2}{R_3 R_4 C_3 C_4 \pi^2} + \frac{\Delta_{C4}^2}{R_3 R_4 C_3 C_4 \pi^2} + \frac{\Delta_{C3}^2}{R_3 R_4 C_3 C_4 \pi^2}}$$

> Delta(Q\_) := sqrt((diff(Q, R4)\*R4\*Delta[R4])^2 + (diff(Q, R3)\*R3\*Delta[R3])^2 + (diff(Q, C4)\*C4\*Delta[C4])^2 + (diff(Q, C3)\*C3\*Delta[C3])^2);

$$\Delta(Q_) := \frac{1}{2} \left[ 4 \left( \frac{C_4 R_3}{2 \sqrt{C_3 C_4 R_3 R_4} (R_3 + R_4)} - \frac{\sqrt{C_3 C_4 R_3 R_4}}{(R_3 + R_4)^2 C_3} \right)^2 R_4^2 \Delta_{R4}^2 \right. \\ \left. + 4 \left( \frac{C_4 R_4}{2 \sqrt{C_3 C_4 R_3 R_4} (R_3 + R_4)} - \frac{\sqrt{C_3 C_4 R_3 R_4}}{(R_3 + R_4)^2 C_3} \right)^2 R_3^2 \Delta_{R3}^2 + \frac{C_4 R_3 R_4 \Delta_{C4}^2}{C_3 (R_3 + R_4)^2} \right]$$

$$+ 4 \left( \frac{C4 R3 R4}{2 \sqrt{C3 C4 R3 R4} (R3 + R4) C3} - \frac{\sqrt{C3 C4 R3 R4}}{(R3 + R4) C3^2} \right)^2 C3^2 \Delta_{C3}^2 \Big)^{(1/2)}$$

```
> Delta_Q_:=eval(Delta(Q_),valores);
```

```
Delta_Q_:=0.02503656715
```

```
> Delta_fc_:=eval(Delta(fc_),valores);
```

```
Delta_fc_:=11.30015255 \sqrt{\frac{1}{\pi^2}}
```

```
> Delta_fc_:=evalf(%);
```

```
Delta_fc_:=3.596950271
```



## **ANEXO 18**

[Cálculos del Ruido del Filtro Sallen-key diseñado]

## CALCULO DE RUIDO

El ruido térmico viene dado por la siguiente expresión:

> **Eth:=sqrt(4\*k\*T\*R\*B);**

$$Eth := 2 \sqrt{k T R B}$$

> **Ith:=sqrt(4\*k\*T\*B/R);**

$$Ith := 2 \sqrt{\frac{k T B}{R}}$$

El ruido de exceso viene dado por:

> **Vr:=sqrt(Ko\*ln(f2/f1));**

$$Vr := \sqrt{Ko \ln\left(\frac{f2}{f1}\right)}$$

La corriente de ruido de disparo viene dada por:

> **Ish:=sqrt(2\*q\*Idc\*B);**

$$Ish := \sqrt{2} \sqrt{q I_{dc} B}$$

> **re:=k\*T/(q\*Idc);**

$$re := \frac{k T}{q I_{dc}}$$

> **datos\_2:={Vn\_ai=8e-9,In\_ai=6e-12,S\_ai10hz=100e-9,Vn\_op=2.2e-6,Sn\_op=40e-9,Sn\_op10hz=65e-9,R3=7.87e3,R4=14.7e3,fc\_=100,B=1.22\*100,T=300, k=1.38e-23};**

datos\_2 := { B = 122.00, R3 = 7870., R4 = 14700., T = 300, fc\_ = 100, k = 0.138 10<sup>-22</sup>,  
In\_ai = 0.6 10<sup>-11</sup>, Sn\_op = 0.40 10<sup>-7</sup>, Vn\_ai = 0.8 10<sup>-8</sup>, Vn\_op = 0.22 10<sup>-5</sup>,  
S\_ai10hz = 0.100 10<sup>-6</sup>, Sn\_op10hz = 0.65 10<sup>-7</sup> }

>

Para el AI, se tiene de la grafica 26 de la hoja de datos que la densidad espectral de potencia de ruido a 10Hz es de 100nV/sqrt(Hz) aprox

Para los OP se observa en la grafica 47 de la hoja de datos del AD8295 que la densidad espectral de ruido a 10Hz es de 65nV/sqrt(Hz) aprox

> **ec10:=(65e-9)^2=sqrt((Ko/10)^2+(40e-9)^4);**

$$ec10 := 0.4225 \cdot 10^{-14} = \sqrt{\frac{Ko^2}{100} + 0.2560000 \cdot 10^{-29}}$$

> **Ko\_op:=solve(ec10,Ko);**

$$Ko\_op := -0.3910322877 \cdot 10^{-13}, 0.3910322877 \cdot 10^{-13}$$

> **Ko\_op:=0.391e-13;**

$$Ko\_op := 0.391 \cdot 10^{-13}$$

A baja frecuencia se tiene la contribución tanto de ruido de exceso como ruido térmico, para el cálculo de ruido de exceso se asume que el equipo estará en operación por 1semana, equivalente a 604800s

> **f1:=1/604.8e3;**

```

[                                     f1 := 0.1653439153 10-5
[ > f2:=1.22*100;                                     f2 := 122.00
[                                     Ko := 0.391 10-13
[ > Ko:=Ko_op;
[                                     Vr_ := 0.8416424177 10-6
[ > Vr_:=eval(Vr,datos_2);                             R := 22570.
[ > R:=14.7e3+7.87e3;
[                                     >
[ Para la contribución del ruido térmico se tiene.
[ > Vtho:=evalf(40e-9*sqrt(100*1.22));
[                                     Vtho := 0.4418144408 10-6
[ > Vr_op:=evalf(sqrt(Vr_^2+Vtho^2));
[                                     Vr_op := 0.9505587617 10-6
[ Para la contribución del ruido termico generado por las resistencias se tiene:
[ > Vth_:=eval(Eth,datos_2);
[                                     Vth_ := 0.2135383394 10-6
[ >
[ >
[ >
[ > Ir:=evalf(6e-12*sqrt(100*1.22));
[                                     Ir := 0.6627216612 10-10
[ La tensión de ruido total del filtro
[ viene dada por:
[ > Vr_op_total:=sqrt(Vth_^2+Vr_op^2+(Ir*R)^2);
[                                     Vr_op_total := 0.1785067759 10-5

```

## **ANEXO 19**

[Librerías creadas para los firmwares en el entorno de desarrollo CCS]

C:\Users\eileen\Desktop\TESIS\_COMPU\_DELL\ads1274.c

```
1: // #include "ads1274.c"
2: // #include <ads1274.h>
3:
4: // #ifndef ADS1274_C
5: // #define ADS1274_C
6:
7: #define DOUT1    PIN_C4
8: #define DOUT2    PIN_H0
9: #define DOUT3    PIN_H1
10: #define DOUT4    PIN_H2
11: #define SYNC     PIN_H7
12: #define DRDY     PIN_G5
13: #define FSYNC    DRDY
14: //DEFINICIÒN DE FUNCIONES PARA ADS1274.H POR EILEEN GONZALEZ
15: /*****
16: FUNCIÒN:      sinc_ads1274()
17: PROPOSITO:    Sincroniza al ads1274
18: *****/
19: void sinc_ads1274()
20: {
21:   output_low(SYNC);
22:   delay_us(10); //Delay de 11us
23:   output_high(SYNC);
24: }
25: /*****
26: FUNCIÒN:      bus_spi_conf()
27: PROPOSITO:    Configura el Bus SPI para utilizar el ads1274
28: *****/
29: void bus_spi_conf()
30: {
31:   /*TRISGbits.TRISG5=1; //DRDY
32:   TRISHbits.TRISH7=0; //SYNC
33:   TRISCbits.TRISC4=1; //DOUT1 (SDI)
34:   TRISCbits.TRISC3=0; //SCLK
35:   TRISCbits.TRISC5=0; //SDO
36:   TRISFbits.TRISF7=0; //SS1
37:   Delay10KTCYx(7);
38:   SYNC=1;
39:   OpenSPI1(SPI_FOSC_16,MODE_01,SMPMID); //Configuraciòn de SPI1*/
40:   output_high(SYNC);
41:   setup_spi(SPI_MASTER|SPI_L_TO_H|SPI_CLK_DIV_16);
42: }
43: /*****
44: FUNCIÒN:      ads1274_init()
45: PROPOSITO:    Inicializa el ads1274 para su utilizaciòn
46: *****/
47: void ads1274_init()
48: {
49:   bus_spi_conf();
50:   delay_us(10);
51:   sinc_ads1274();
52:   //SS1=0;
53: }
54: /*****
55: FUNCIÒN:      leer_ads1274()
56: PROPOSITO:    Lee la data del ads1274
57: *****/
58: float leer_ads1274()
59: {
60:   float ftemp;
61:   int32 temp;
62:   unsigned char i, signo;
63:   int8 d[3];
```

```

64:
65:   for (i = 0 ; i < 3; i++)
66:   {
67:       d[i]=spi_read(0);
68:   }
69:
70: temp=(d[0] * 65536 + d[1] * 256 + d[2]) ;
71: if(temp<=0x7FFFFFFF)
72: ftemp=(temp/8388607.0)*2.5;
73: else
74: {
75: temp=((~d[0])+1)*65536+((~d[1])+1)*256+((~d[2])+1);
76: ftemp=-((temp/8388607.0)*2.5);
77: }
78:   return (ftemp);
79: }
80:
81: /*****
82: FUNCIÓN:   lee_conv_adc()
83: PROPOSITO: Lee la data del ads1274 y la convierte
84: *****/
85: void lee_adc(int8 d[3])
86: {
87:   unsigned char i;
88:   for (i = 0 ; i < 3; i++)
89:   {
90:       d[i]=spi_read(0);
91:   }
92: }
93:
94: /*****
95: FUNCIÓN:   espera_DRDY()
96: PROPOSITO: Espera que el DRDY se coloque en bajo
97: *****/
98: void espera_DRDY()
99: {
100:   while(DRDY);
101: }
102:
103: //endif
104:

```

```

1: /*****
2: LIBRERIA PARA MANEJAR EL RTC DS1307
3: ELABORADA POR: EILEEN GONZALEZ
4: FECHA: 15/01/2011
5: *****/
6: /*****
7: DEFINICIÓN DE PINES DE COMUNICACION I2C
8: *****/
9: #define DS1307_SDA PIN_C4 //Para PIC18F97J60 COLOCAR PIN_D5 otro PIN_C4
10: #define DS1307_SCL PIN_C3 // " " COLOCAR PIN_D6 otro PIN_C3
11: #use i2c(master, sda=DS1307_SDA, scl=DS1307_SCL)
12: /*****
13: FUNCIÓN:      init_DS1307()
14: PROPOSITO:   Inicializar el DS1307
15: *****/
16: void init_DS1307()
17: {
18:     output_float(DS1307_SCL);
19:     output_float(DS1307_SDA);
20: }
21: /*****
22: FUNCIÓN:      write_DS1307(byte address, byte data)
23: PROPOSITO:   Escribe un byte de datos
24: *****/
25: void write_DS1307(byte address, BYTE data)
26: {
27:     short int status;
28:     i2c_start();
29:     i2c_write(0xd0);
30:     i2c_write(address);
31:     i2c_write(data);
32:     i2c_stop();
33:     i2c_start();
34:     status=i2c_write(0xd0);
35:     while(status==1)
36:     {
37:         i2c_start();
38:         status=i2c_write(0xd0);
39:     }
40: }
41: /*****
42: FUNCIÓN:      read_DS1307(byte address)
43: PROPOSITO:   Lee un byte de datos del DS1307
44: *****/
45: BYTE read_DS1307(byte address)
46: {
47:     BYTE data;
48:     i2c_start();
49:     i2c_write(0xd0);
50:     i2c_write(address);
51:     i2c_start();
52:     i2c_write(0xd1);
53:     data=i2c_read(0);
54:     i2c_stop();
55:     return(data);
56: }
57: /*****
58: FUNCIÓN:      hex2bcd(byte x)
59: PROPOSITO:   Convierte la entrada x de hexadecimal a bcd
60: *****/
61: BYTE hex2bcd (BYTE x)
62: {
63:     BYTE y;

```

```

C:\Program Files\PICC\Drivers\ds1307_I2C.c
64:     y = (x / 10) << 4;
65:     y = y | (x % 10);
66:     return (y);
67: }
68: /*****
69: FUNCIÒN:      ds1307_set_date_time(BYTE day, BYTE mth, BYTE year, BYTE dow
70: PROPOSITO:    Configurar el DS1307 (fecha, hora)
71: *****/
72: void ds1307_set_date_time(BYTE day, BYTE mth, BYTE year, BYTE dow, BYTE h
73: {
74:     //sec &= 0x7F;
75:     //hr &= 0x3F;
76:
77:     i2c_start();
78:     i2c_write(0xD0);           // I2C write address
79:     i2c_write(0x00);           // Empieza en REG 0 - Segundos
80:     i2c_write(hex2bcd(sec));   // REG 0
81:     i2c_write(hex2bcd(min));   // REG 1
82:     i2c_write(hex2bcd(hr));   // REG 2
83:     i2c_write(hex2bcd(dow));  // REG 3
84:     i2c_write(hex2bcd(day));  // REG 4
85:     i2c_write(hex2bcd(mth));  // REG 5
86:     i2c_write(hex2bcd(year)); // REG 6
87:     i2c_write(0x80);           // REG 7 - Desactiva salda del PIN SQRT
88:     i2c_stop();
89: }
90: /*****
91: FUNCIÒN:      leer_rtc(BYTE *sec, BYTE *min, BYTE *hora, BYTE *dia, BYTE *
92: PROPOSITO:    Leer datos de hora y fecha del rtc
93: *****/
94: void leer_rtc(BYTE *sec, BYTE *min, BYTE *hora, BYTE *dia, BYTE *fecha, BY
95: {
96: *sec=read_ds1307(0);
97: *min=read_ds1307(1);
98: *hora=read_ds1307(2);
99: *dia=read_ds1307(3); // Lee el día
100: *fecha=read_ds1307(4); // Lee la fecha
101: *mes=read_ds1307(5); // Lee el mes
102: *agno=read_ds1307(6); // Lee el año
103: }

```