

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**DISEÑO DE UN REGISTRADOR SÍSMICO DIGITAL DE
ALTA RESOLUCIÓN - ADQUERES**

INFORME DE COMPETENCIA PROFESIONAL

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:

LAMBERTO ADOLFO INZA CALLUPE

**PROMOCIÓN
1992- II**

**LIMA – PERÚ
2007**

**DISEÑO DE UN REGISTRADOR SÍSMICO DIGITAL
DE ALTA RESOLUCIÓN**

SUMARIO

El registro de las ondas sísmicas que hacen vibrar el suelo es una parte fundamental de la sismología e ingeniería sísmica. El presente trabajo describe el diseño e implementación de un registrador sísmico digital de alta resolución, para el rango de frecuencias y rango dinámico de los sensores sísmicos más usados, ya sean estos sismómetros o acelerómetros. El desarrollo del diseño e implementación se llevo a cabo en el Laboratorio de Redes Geofísicas del Instituto Geofísico del Perú. El diseño se basó en la integración de módulos de desarrollo compatibles a la computadora personal con procesador INTEL, con especificaciones para funcionar en forma autónoma en situaciones severas y rudas.

Básicamente el hardware del diseño consiste en tres módulos: procesador central, convertidor análogo digital y reloj preciso basado en receptor GPS. El diseño fue implementado para ser un instrumento portátil y robusto, dado las condiciones ambientales de funcionamiento, se guardo una especial atención en el ensamblaje con la finalidad de lograr un instrumento a prueba de agua, con el código de protección IP67.

El estado de arte del Registrador Sísmico ADQREDES esta basado en los programas desarrollados con el propósito de obtener registros sísmicos digitales con precisión y exactitud. El sistema tiene implementado una aplicación TCP-IP mediante el cual el instrumento está en la capacidad de exportar sus datos hacia otros sistemas sísmicos en tiempo real. El registrador sísmico ADQREDES registra la señal en forma continua y detecta los eventos sísmicos automáticamente mediante el algoritmo STA/LTA.

INDICE

CAPITULO I

INTRODUCCION

CAPITULO II

CONSIDERACIONES DE DISEÑO

4

2.1 SENSORES SISMICOS

4

2.2 RED SISMICA

6

2.3 REGISTRADOR SISMICO

10

2.4 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL EGISTRADOR SISMICO

11

2.4.1 MODULO UNIDAD CENTRAL DE PROCESO – MODULO CPU.

12

2.4.2 MODULO CONVERTIDOR ANALOGO DIGITAL- MODULO ADC

14

2.4.3 TEOREMA DE MUESTREO

17

2.4.4 TIPOS DE ADC

19

2.4.5 BASE DE TIEMPO EN EL REGISTRADOR SISMICO

21

2.5 CODIGOS DE PROTECCION DEL INSTRUMENTO

29

CAPITULO III

DISEÑO DE IMPLEMENTACION

31

3.1 INTRODUCCION

31

3.2 SELECCION DE HADWARE

32

3.2.1 UNIDAD CENTRAL DE PROCESO – CPU

33

3.2.2 CONVERTIDOR ANALOGO DIGITAL – ADC

35

3.2.3 MODULO DE RECEPTOR GPS – TIEMPO UNIVERSAL

37

3.2.4 FUENTE DE ALIMENTACION

38

3.2.5 CAJA A PRUEBA DE AGUA CON PROTECCION IP67

39

3.3 IMPLEMENTACION DEL DISEÑO

40

3.4 CONFIGURACION DEL SISTEMA OPERATIVO

44

3.4.1 ARRANQUE AUTOMTICO

45

3.4.2 CONEXIÓN TCP – IP

46

3.5 PROGRAMAS A PRUEBA DE FALLAS

46

3.6 PROGRAMA DE SINCRONIZACION CON EL TIEMPO UNIVERSAL

47

3.7 PROGRAMA DE ADQUISICION

48

3.8 PROGRAMA DE DETECCION AUTOMATICA	54
3.8.1 PROPOSITO DEL ALGORITMO STA/LTA	56
3.8.2 COMO FUNCIONA EL ALGORITMO STA/LTA	56
3.8.3 PROGRAMA DE DETECCION AUTOMATICA	58
3.9 PROGRAMA DE COMUNICACIONES	61

CAPITULO IV

TEORIA DE OPERACIÓN

4.1 MODOS DE CONTROL EL REGISTRADOR SISMICO	63
4.2 ADQUISICION CONTINUA Y POR EVENTOS	65
4.3 IMPORTACIO DE LOS DATOS	66
4.4 ACCESO Y TRANSFERENCIA DE DATOS SISMICOS	69

CAPITULO V

RESULTADOS

5.1 ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL REGISTRADOR SISMICO DIGITAL ADQREDES	71
5.2 COMPARACION DEL ADQREDES CON OTROS INSTRUMENTOS	72
5.3 PRECISION DEL TIEMPO	76
5.4 REGISTROS SISMICOS	77
5.5 ANALISIS DE COSTOS	80
5.6 LIMITACIONES DEL REGISTRADOR ADQREDES	56

CONCLUSIONES	83
---------------------	-----------

ANEXOS	84
---------------	-----------

A.1 PROGRAMA DE ADQUISICION EN LABVIEW NI	
A.2 HOJA DE DATOS DEL CPU	
A.3 HOJA DE DATOS DE ADC	
A.4 HOJA DE DATOS DEL RECEPTOR GPS	
A.5 HOJA DE DATOS DEL DISCO DURO	

BIBLIOGRAFIA	93
---------------------	-----------

CAPÍTULO I

INTRODUCCION

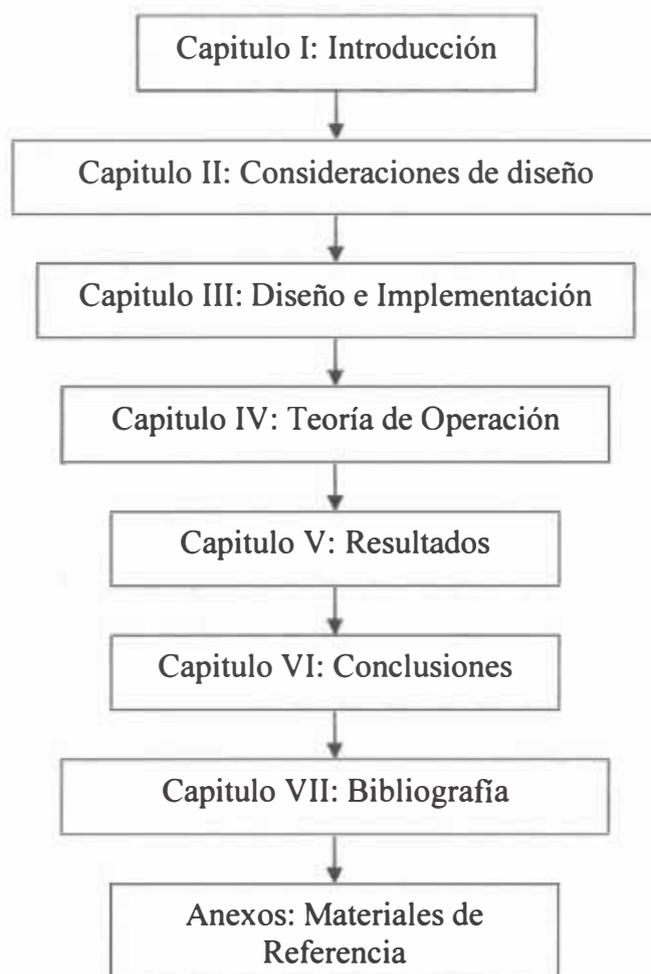
El presente trabajo describe el “Diseño e Implementación de un Registrador Sísmico Digital de Alta Resolución” denominado A-D-Q-REDES, este trabajo se llevo a cabo en el Laboratorio de Redes Geofísicas del IGP, el año 2003 se desarrolló un sistema de adquisición sísmica sobre computadoras portátiles, desde mediados del 2004 hasta fines del 2005 se implementaron quince registradores sísmicos con resolución de 16bits, cuyo rango dinámico es de 104.1dB. El 2006 se implementaron diecisiete registradores con resolución de 24bits con rango dinámico 134.2dB. El objetivo del presente desarrollo es mejorar la resolución de la Red Sísmica Nacional y Red de Acelerógrafos a un bajo costo incrementando en número de estaciones sísmicas, con las especificaciones técnicas exigidas a instrumentos geofísicos similares.

El diseño del Registrador Sísmico ADQREDES fue motivado por el IGP, por ser un instrumento vital para el desarrollo de la sismología e ingeniería sísmica, el costo exorbitante de estos instrumentos en el extranjero fue la base primordial para iniciar el diseño, con características de especificaciones de rango militar. Siendo nuestro territorio una zona sísmica muy activa, esquematizado en la figura 1.0 se puede observar la costa peruana es parte del “cinturón de fuego”, sin duda es un laboratorio natural para el desarrollo de la geofísica. Por consiguiente el diseño e implementación del registrador sísmico ADQREDES es una solución de bajo costo a las aplicaciones de geofísica y de esta manera contribuye al desarrollo de la ciencia e ingeniería sísmica.

El diseño e implementación del registrador sísmico digital ADQREDES es un desarrollo tecnológico enfocado a lograr un instrumento electrónico capaz de funcionar de manera autónoma, en situaciones ambientales adversas.

La arquitectura del registrador sísmico ADQREDES es básicamente la de una computadora personal con especificaciones mejoradas; la disponibilidad de los sistemas integrados compatibles a INTEL® han mejorado radicalmente logrando disminuir los costos y aumentar la eficiencia.

La estructura del presente trabajo está dividida en capítulos, como se muestra en el diagrama de flujo a continuación, con los cuales, se pretende exponer el diseño y la implementación del registrador sísmico digital de alta resolución – ADQREDES.



El capítulo II, trata de las consideraciones de diseño, se describen los componentes principales del sistema de registro sísmico como el sensor sísmico, adquisición de datos, sincronización con el tiempo universal e interfases de comunicación. En este capítulo se analiza el funcionamiento del sistema mediante un diagrama de bloques determina los parámetros de operación del registrador sísmico digital los cuales son relevantes para la elaboración de las especificaciones técnicas, también se muestran los fundamentos teóricos como las diferentes técnicas de adquisición de datos analógicos, la sincronización de equipos informáticos con el tiempo universal mediante receptor GPS, el código NMEA-0183 y la norma de protección del instrumento definido en IEC-60529.

En el capítulo III trata del diseño e implementación, a través del diagrama de bloques y especificaciones técnicas del hardware se muestra el resultado de la selección de los diferentes

CAPÍTULO II

CONSIDERACIONES DE DISEÑO

2.1 Sensores Sísmicos

Los transductores que convierten las vibraciones del suelo (ondas sísmicas) en señales eléctricas son los sensores sísmicos, tradicionalmente la definición de un sensor sísmico esta dada como un sistema electro-mecánico, en la figura 2.1 se esquematiza un sensor vertical pendular que consiste en una masa suspendida en el resorte y un mecanismo de amortiguamiento representada en la caja sombreada (izquierda), como un sistema lineal invariante en el tiempo (LTI). En la derecha de la figura 2.1 se esquematiza al sensor electromagnético, la masa magnética tiene adherida una bobina dentro de un campo magnético permanente, donde la oscilación induce corriente eléctrica. El sensor sísmico tiene una respuesta de un sistema lineal subamortiguado de segundo orden, cuyo factor de amortiguamiento es 0.707 y una frecuencia natural, que puede ser 1Hz. Los sensores sísmicos pueden ser horizontales, tiene el mismo mecanismo explicado. Estos son conocidos como sensores de periodo corto o periodo largo, dependiendo la frecuencia natural, de 1Hz a 5Hz son los de periodo corto, de 0.01 (100 segundos) a 0.1Hz son los de periodo largo.

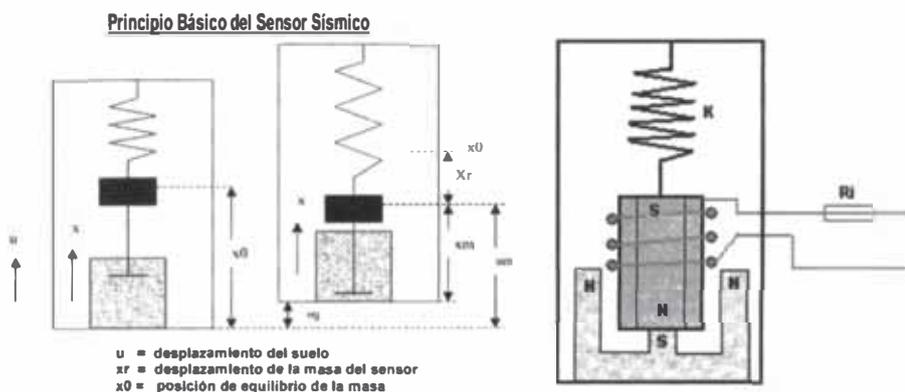


Figura 2.1: Sensor sísmico, sistema de segundo orden.

El última tecnología en sensores sísmicos son los llamados de banda ancha, la mayoría de estos instrumentos utilizan el sistema de fuerza de retroalimentación o sistemas de fuerza balanceada. Este sistema consiste de un circuito de retroalimentación negativo, el cual ejerce una fuerza proporcional al desplazamiento de la masa inercial para cancelar el movimiento relativo.

El transductor eléctrico convierte el movimiento de la masa en una señal eléctrica, la cual es una estimación de la fuerza de retroalimentación que debe ejercerse para anular el movimiento. La cantidad de fuerza que se debe ejercer para anular el movimiento del péndulo corresponde a la aceleración del suelo. Este sistema permite extender el ancho de banda y la linealidad de los sismómetros, porque no permite grandes movimientos de la masa que superen los límites de los resortes. La señal de salida de estos sistemas posee un gran rango dinámico debido a que los transductores electromagnéticos tienen un amplio rango dinámico, logrando detectar ondas sísmicas desde periodos largos, periodos cortos hasta alta frecuencia, la figura 2.2a esquematiza al sensor sísmico de banda ancha, tienen tres trayectorias: corriente proporcional a la deflexión (R1), a la primera derivada (C) y a la Integral (R2). La figura 2.2b muestra el sensor marca Guralp® 40T.

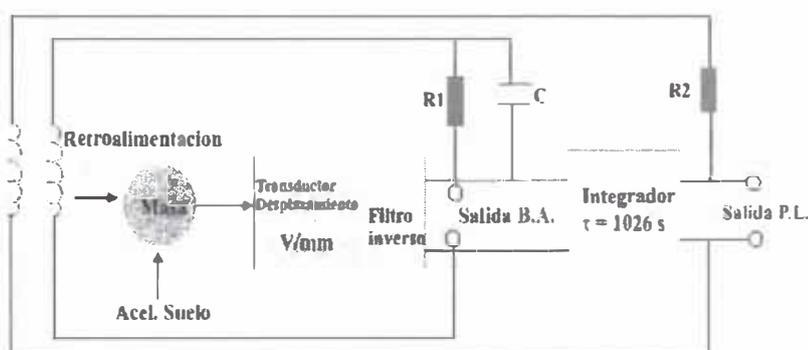


Figura 2.2a Circuito de retroalimentación (feed-back) del sensor sísmico de banda ancha

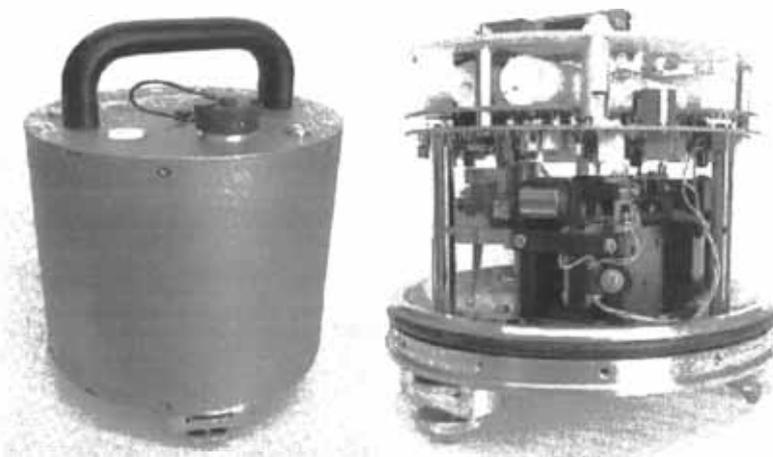


Figura 2.2b Foto de un sismómetro de banda ancha marca Guralp®

En general el sensor sísmico es muy sensible a oscilaciones muy pequeñas del suelo, esta en la capacidad de sentir variaciones terremotos ocurridos al otro lado del continente. El rango de frecuencias de las ondas sísmicas oscila desde ondas de periodo largo (periodo de 100 segundos) hasta alta frecuencia 100 Hz.

La sensibilidad de los sensores sísmicos esta determinada por un parámetro llamado rango dinámico, que es la relación del voltaje máximo y voltaje mínimos en decibeles. Los valores

típicos del rango dinámico, uno de banda ancha puede ser mayor de 115dB, con voltaje máximo en la salida de 10 voltios, tendrá señal de 2 microvoltios. La tabla 2.1 muestra las especificaciones técnicas del sensor sísmico marca Guralp® modelo 40T.

Parámetro	Valor	Comentario
Número de canales	3	Triaxial (vertical, longitudinal y transversal)
Tipo de salida	Diferencial	CMRR = 0
Rango dinámico	118dB	$RangoDinamico = 20 \times \log\left(\frac{V_{max}}{V_{min}}\right)$
Ancho de banda	30seg. – 50Hz	Banda ancha
Constante de motor	800 V/(m/s)	Constante de transducción
Voltaje de salida	+/-10Vp-p	
Temperatura	-20C a 85C	
Alimentación	12Vdc	Fuente de alimentación

Tabla 2.1 Especificaciones técnicas del sensor sísmico de banda ancha

2.2 Red Sísmica

Red sísmica es un conjunto de estaciones sísmicas ubicados estratégicamente en un área de interés con el propósito de realizar el monitoreo sísmico en forma permanente o por un tiempo limitado, tienen una configuración local o regional, guardando una geometría de tal manera se obtenga datos sísmicos suficientes para el estudio. Cada estación sísmica de la red está compuesta por los siguientes equipos: sensores sísmicos, registradores, sistema de comunicaciones y fuente ininterrumpida de potencia. La figura 2.3 muestra la red sísmica nacional del Instituto Geofísico del Perú, cuya finalidad es monitorear la actividad sísmica de nuestro territorio, el registrador sísmico debe estar en la capacidad de proveer información sísmica mediante algún medio de comunicaciones.

Las redes locales son un conjunto de estaciones sísmicas instaladas en un área reducida, su objetivo generalmente es para realizar estudios específicos, los datos son almacenados en el registrador sísmico, la capacidad de almacenamiento del registrador es importante en este caso.

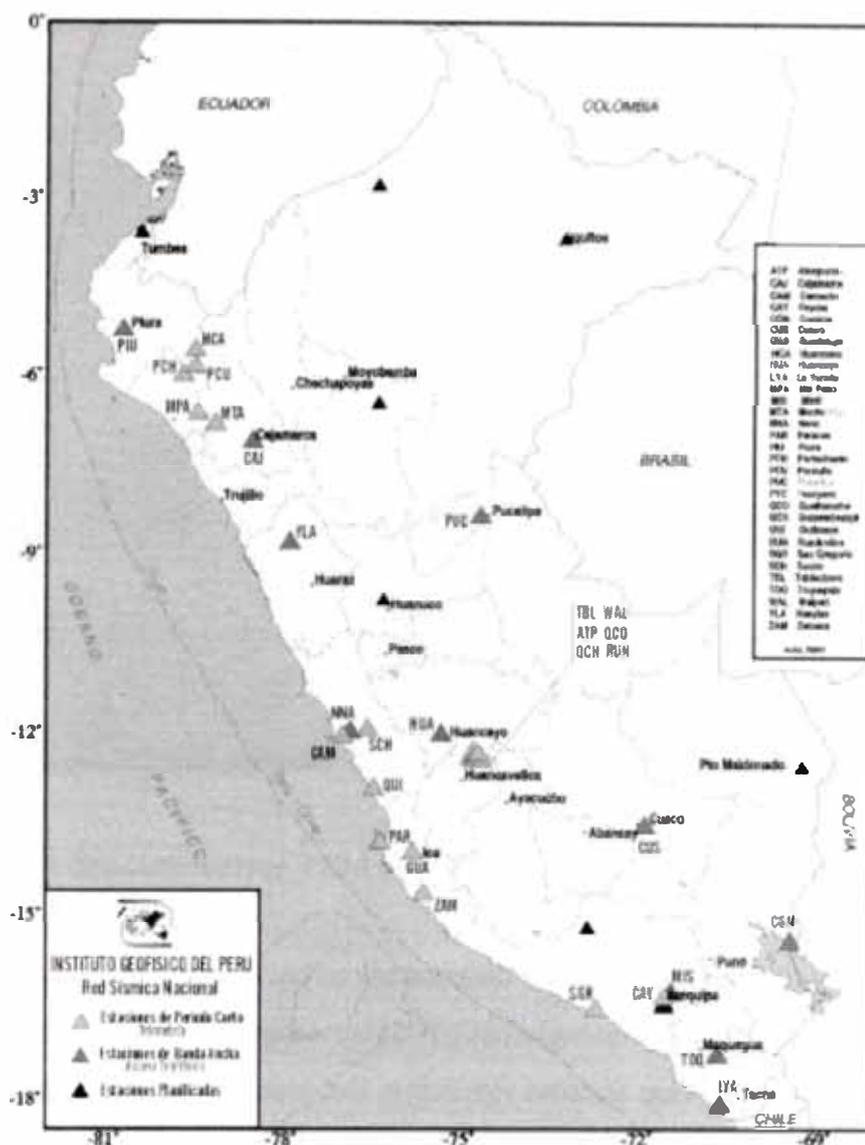


Figura 2.3 Red Sísmica Nacional del IGP

Las estaciones sísmicas instaladas en los puntos remotos proporcionan datos a la estación central del IGP utilizando diferentes medios de comunicación como la telemetría, Internet o el sistema telefonía, ya sea en tiempo real o tiempo diferido. Generalmente las estaciones sísmicas se encuentran instaladas en lugares de bajo ruido, lejos del ruido cultural. El sistema requiere un sistema ininterrumpido de potencia basado en baterías y paneles solares. La figura 2.4 muestra una de las estaciones sísmicas remotas del IGP, donde se observa el panel solar y las antenas de comunicaciones, los equipos se encuentran dentro de un túnel. Los equipos deben soportar las condiciones ambientales como la humedad y las variaciones extendidas de temperatura.



Figura 2.4 Estación sísmica TAM ubicado a 20Km de la ciudad del Cuzco

El dato sísmico registrado en una red es almacenado y luego procesado en los observatorios o en la estación central. El procesamiento exige requerimientos sobre los datos, por ejemplo la necesidad de datos sísmicos de al menos tres estaciones remotas para calcular el epicentro de un evento, es obvio que las señales tienen estampado el tiempo universal de alta precisión.

El registro sísmico es una serie de tiempo en forma continua donde la precisión del tiempo es imprescindible para el procesamiento, debido a que gran parte de los análisis se basa en los tiempos de arribo de la onda sísmica registrada. Por eso la mayoría de instrumentos de registro de datos geofísicos utilizan relojes de alta precisión como los relojes satelitales basados en GPS.

El fenómeno natural de los terremotos o resonancia en suelos inestables producen ondas sísmicas desde las profundidades del subsuelo, debido a diversos mecanismos de la misma dinámica de la tierra, movimiento de las placas, fallas activas u otros desarreglos geológicos donde se libera energía a través de las ondas sísmicas en todas las direcciones respecto al foco. Las ondas sísmicas son un conjunto de ondas elásticas, dentro de la clasificación nombramos las ondas longitudinales (ondas P) y las ondas transversales (ondas S), ya que estos son los más característicos en un registro sísmico, En la figura 2.5 se muestra el registro sísmico de un terremoto, la primera onda del evento sísmico corresponde a la onda P (fase P), pasado unos segundos se identifica la onda S (fase S) esto se explica a la velocidad de las ondas

longitudinales (P) son mayores de la onda transversal (S), en realidad el estudio de las fase es mucho mas complejo, que no es tratado aquí, las ondas sísmicas sufren cambios en su recorrido, al pasar por los diferentes medios del subsuelo hasta arribar a la estación sísmica.

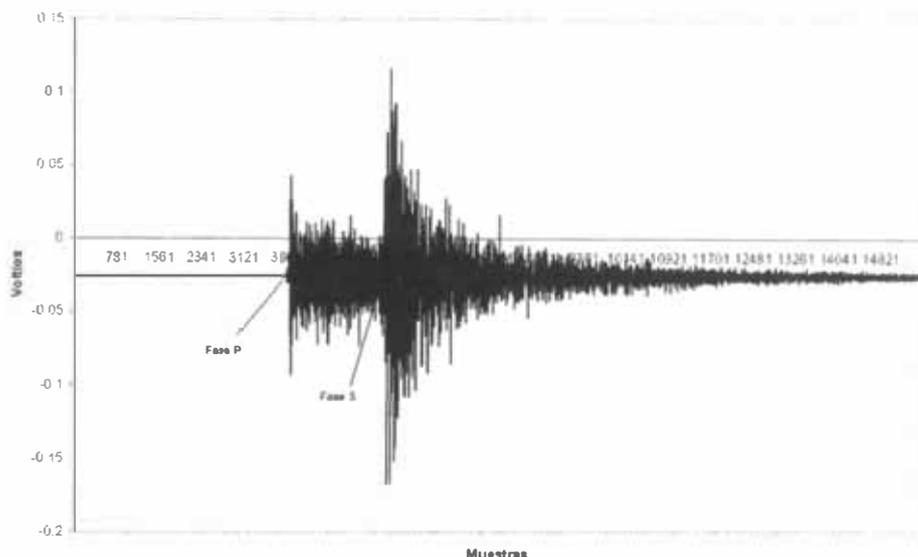


Figura 2.5 Forma de onda de un terremoto donde se identifican las fases P y S

La figura 2.6 muestra el registro sísmico de un evento, se nota el arribo de las ondas sísmicas a las diferentes estaciones de la red, en diferentes tiempos dependiendo la distancia con el epicentro.

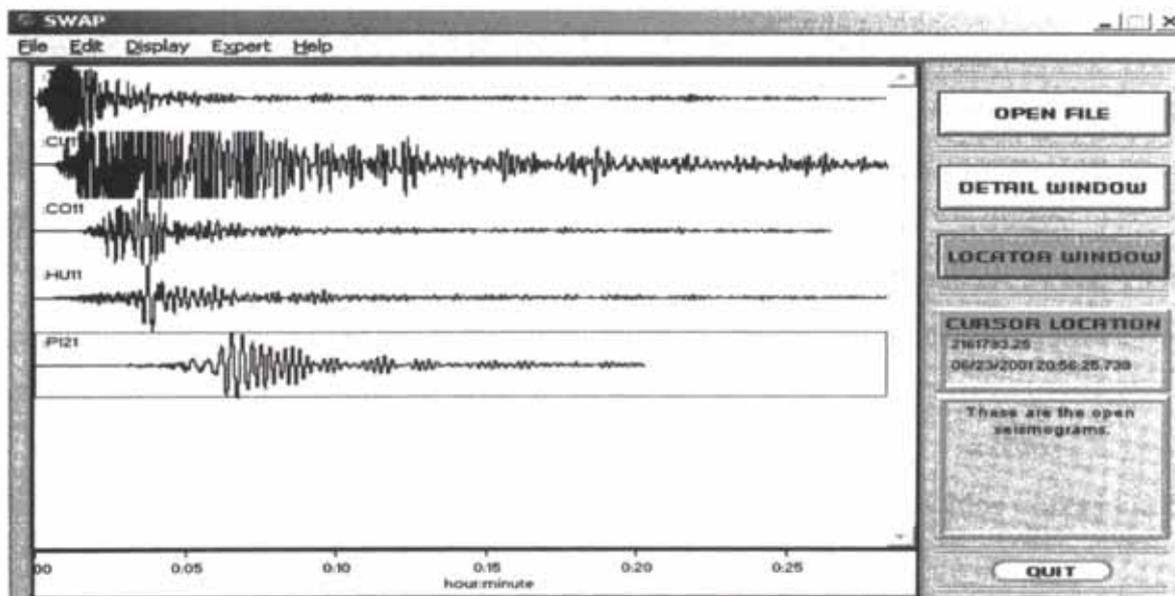


Figura 2.6 Formas de onda de un evento sísmico en una red sísmica

2.3 Registrador Sísmico

Es un instrumento electrónico que registra las señales del sensor sísmico en forma adecuada para ser interpretada en forma eficiente dentro de los análisis geofísicos, capaz de funcionar en la toma de datos en situaciones adversas, severas y rudas. Las características funcionales son las siguientes.

- Adquisición continua en tiempo prolongado
- Funcionamiento en entornos ambientales rudos y severos.
- Accesibilidad
- Portabilidad
- Escalabilidad
- Fácil expansión

El registrador sísmico debe funcionar permanentemente, cada segundo, día, mes, etc. almacenando, transmitiendo y procesando los datos sísmicos. La calidad de los componentes juega un papel importante para conseguir la estabilidad y robustez.

Propio del ambiente de trabajo del registrador sísmico, debe soportar la humedad, el polvo, las variaciones de temperatura, los componentes electrónicos deben estar diseñados para soportar un rango extendido de temperatura, de -20 C a 80 C.

Este tipo de instrumentos generalmente son instalados en lugares de difícil accesibilidad por lo tanto el peso liviano y la fortaleza del chasis con protección a prueba de agua son recomendados.

Las estaciones permanentes tienen un sistema ininterrumpido de potencia basado en batería y paneles solares, sin embargo las estaciones improvisadas deben funcionar con una o dos baterías, por lo que el bajo consumo del registrador sísmico es justificada y requiera.

Por otro lado, el manejo, la operación del equipo debe ser realizada en forma remota, la lógica del software debe ser tolerante a fallas, capaz de mantener su funcionamiento en tiempos prolongados de forma autónoma.

El equipo debe estar en la capacidad de actualizado en hardware y software, sin realizar cambios sustanciales, para ello las interfases estandarizadas y los protocolos conocidos deben estar implementados en el sistema.

El equipo debe tener la capacidad de incorporarse dentro de una red local de computadoras (LAN), la comunicación debe ser a través de aplicaciones TCP-IP, de esta manera el sistema puede ser controlado remotamente.

La protección del registrador sísmico juega un papel importante después de todo, las normas DIN VDE 0470 y DIN 40 050 establecen las características de protección de los equipos bajo unos códigos que será detallado más adelante.

El hardware del sistema debe estar ensamblado considerando los viajes prolongados y bruscos pueden afectar las conexiones internas, para ello debe contar con un sistema de acoplamiento entre las tarjetas electrónicas que permite la interconexión segura.

El bus **PC104** es un estándar de computadoras con chips empotrados que define el formato de la placa base (form factor) y el bus del sistema. A diferencia de la clásica arquitectura ATX y bus PCI que son usados en la mayoría de las computadoras personales, el PC104 está diseñado para aplicaciones específicas, como adquisición de datos o sistemas de control industrial. La arquitectura de la placa base no es la típica placa de circuitos integrados (backplane) en el que van insertados los componentes; en lugar de eso, los componentes se encuentran en módulos apilados unos encima de otros. El tamaño definido en el estándar es de 90.17mm × 95.89mm como se muestra en la figura 2.7. La altura depende del número de módulos conectados. Una instalación típica incluye una placa base, conversores analógico-digital y otros módulos como fuente de alimentación, interfases de entrada/salida. La última versión del bus PC104 agrupa al bus ISA y PCI de las computadoras tradicionales.

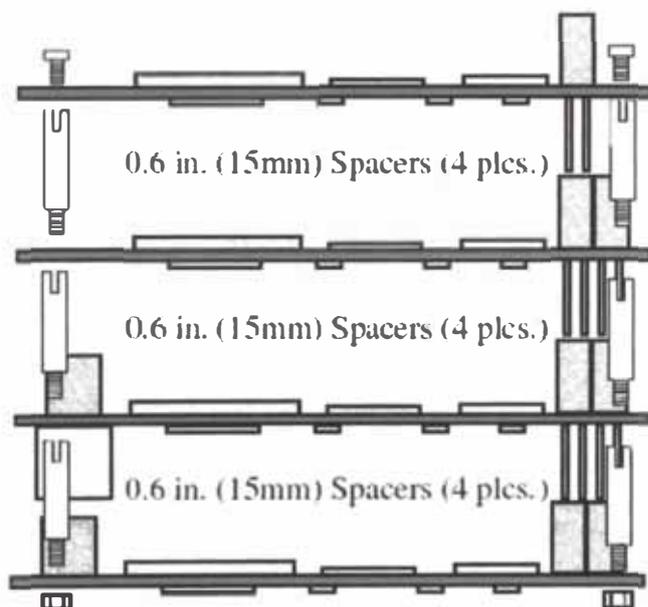


Figura 2.7 Acoplamiento de tarjetas electrónicas con bus PC104

2.4 Diagrama de Bloques del Registrador Sísmico

La figura 2.8 esquematiza el diagrama de bloques del registrador sísmico, los bloques que en adelante llamaremos módulos, se enumera como sigue:

1. Unidad central de proceso – Módulo CPU

2. Convertidor Analógico Digital – Módulo ADC
3. Base de tiempo basado en GPS – Módulo Receptor GPS
4. Almacenamiento – disco duro
5. Fuente de alimentación

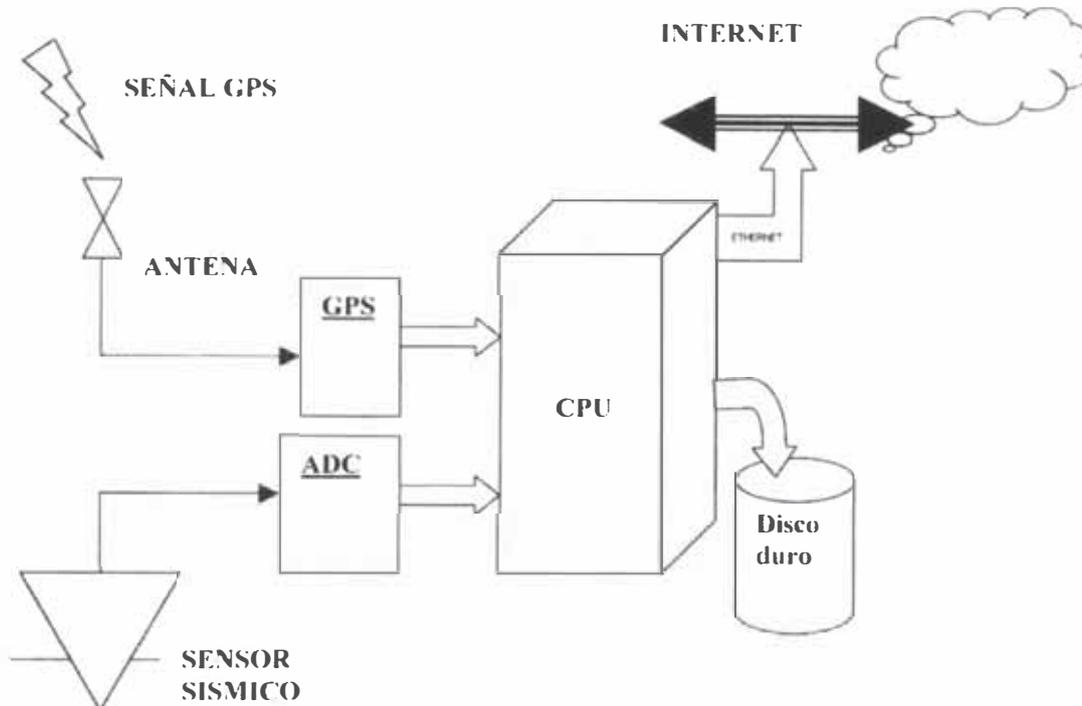


Figura 2.8 Diagrama de bloques de un registrador sísmico

2.4.1 Modulo Unidad Central de Proceso – Modulo CPU

El corazón del sistema es sin duda el módulo CPU, su propósito es controlar el funcionamiento del hardware y software del registrador sísmico. De acuerdo a los requerimientos del registrador sísmico es un tanto complicado determinar algún módulo CPU específico, los módulos existentes para este tipo de aplicaciones se encuentran en las versiones embebidas con bus PC104 los cuales soportan las condiciones ambientales adversas, componentes con rango extendido de temperatura y bajo consumo de potencia. Con la finalidad de encontrar el módulo adecuado no se debe dejar de mencionar la clasificación de los sistemas con CPU, los módulos CPU se clasifican por su arquitectura, en dos tipos: RISC (Reduced Instruction Set Computer) o CISC (Complex Instruction Set Computer).

Los sistema CISC son los procesadores Intel y Motorola, basado en la microprogramación que significa cada instrucción de máquina es interpretada por un micro programa localizada en una memoria en el circuito integrado del procesador. Las instrucciones compuestas son

decodificadas internamente y ejecutadas con una serie de microinstrucciones almacenadas en una ROM interna. Para esto se requieren de varios ciclos de reloj (al menos uno por microinstrucción) para ejecutar un instrucción.

La arquitectura RISC buscando aumentar la velocidad del procesamiento descubrió en base a experimentos que, con una determinada arquitectura de base, la ejecución de programas compilados directamente con microinstrucciones y residentes en memoria externa al circuito integrado resultaban ser mas eficientes, gracias a que el tiempo de acceso de las memorias fue reduciéndose conforme avanza la tecnología de encapsulado. Debido a que se tiene un conjunto de instrucciones simplificado, éstas se pueden implantar por hardware directamente al CPU, lo cual elimina el micro código y la necesidad de decodificar instrucciones complejas. Estos microprocesadores RISC siguen tomando como base el esquema moderno de Von Neumann, casi todas las instrucciones pueden ejecutarse dentro de un ciclo de reloj, base importante para la reorganización de la ejecución de instrucciones por medio de un compilador Pipeline (ejecución simultánea de varias instrucciones). La relativa sencillez de la arquitectura de los procesadores RISC conduce a ciclos de diseño más cortos cuando se desarrollan nuevas versiones, lo que posibilita siempre la aplicación de las más recientes tecnologías de semiconductores. Por ello, los procesadores RISC no solo tienden a ofrecer una capacidad de procesamiento del sistema de 2 a 4 veces mayor, sino que los saltos de capacidad que se producen de generación en generación son mucho mayores que en los CISC.

Sin embargo los procesadores Intel® (CISC) han acaparado el mercado y cuentan con el soporte de software y hardware en las diferentes aplicaciones científicas e industriales, un análisis de costo beneficio inclina la balanza para considerar un procesador CISC en el registrador sísmico. Los sistemas con procesadores Intel® están diversificados en casi todas las aplicaciones por lo consiguen optimizar las aplicaciones.

La velocidad del resultado de procesamiento de los datos digitalizados no afecta tanto a la operación del registrador sísmico, la adquisición no requiere grandes velocidades como las aplicaciones de audio e imágenes en simultáneo. Hay que tomar en cuenta que la velocidad del procesador está en proporción directa con el consumo de potencia, “mayor velocidad mayor consumo”, por lo que la velocidad del procesador no debe ser mayor de 400MHz, el sistema se optimiza aumentando la capacidad de memoria RAM a 256Mb. Las interfases requeridas en este tipo de equipos son: un puerto Ethernet, dos puertos RS232, dos puertos USB 1.1.

La tasa de muestreo de las señales sísmicas en concordancia con el teorema de muestreo (Nyquist) no es más allá de 200 muestras por segundo, asumiendo seis canales fluirían 1200 muestras por segundo, un ADC de 24bits requiere variables de 4 bytes (32 bits) para almacenar

los datos, entonces la cantidad de bytes en cada segundo será 4800, sin considerar compresión de datos, en el peor de los casos el flujo de datos en el sistema sería 4.8Kbytes/segundo. Una hora de datos almacenados aproximadamente requiere 17Mb de memoria interna FIFO (FIFO = primero en entrar, primero en salir), con una RAM de 256Mb puede almacenarse horas de datos sísmicos antes de transferir al disco.

Los módulos CPU para computadoras portátiles son los más adecuados para esta aplicación.

2.4.2 Modulo Convertidor Análogo Digital – Modulo ADC

El módulo ADC es el convertidor analógico digital del sistema; define los parámetros de sensibilidad y rango dinámico del registrador sísmico. Su función es digitalizar las señales analógicas del sensor sísmico. La sensibilidad del registrador sísmico depende de la resolución del ADC, esta dado por el mínimo nivel de voltaje que el registrador puede procesar en el bit menos significativo, dependiendo la aplicación este valor debe estar entre 98dB (ADC de 16 bits) hasta mas de 115dB, cuanto mayor sea este valor mayor sensibilidad tendrá el registrador sísmico.

$$\boxed{Sensibilidad = \frac{V_{m\acute{a}ximo}}{N_{bits} \times Amplicaci\acute{o}n}} \quad (2.1)$$

$V_{m\acute{a}ximo}$: Voltaje máximo especificado en la entrada del ADC

N_{bits} : Resolución en BITS.

La relación entre el voltaje de la señal aplicada en la entrada del ADC y el resultado en cuentas digitales es el resultado del proceso de digitalización de la señal analógica, esta determinada por la formula (2.2).

$$\boxed{Voltaje_entrada = Cuentas_bits \times Sensibilidad} \quad (2.2)$$

$Voltaje_entrada$: Voltaje de la señal analógica en la entrada

$Cuentas_bits$: Resultado de la digitalización.

En la figura 2.9 la entrada al sensor es el fenómeno físico (vibración) el cual es trasladado proporcionalmente a señal eléctrica. La señal eléctrica es la entrada al registrador el cual se convierte a cuentas digitales. En nuestro caso, las ondas sísmicas (vibraciones) aplicado al sensor produce voltaje, este es aplicado al digitalizador que produce cuentas o números (salida digital).

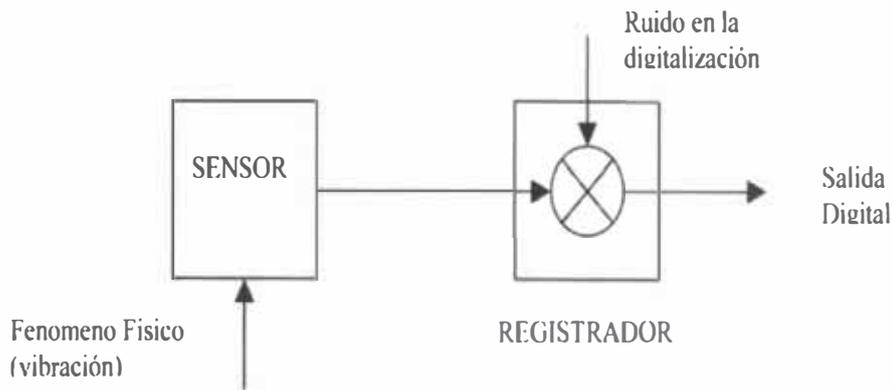


Figura 2.9 Diagrama del proceso de digitalización del ADC

El proceso de digitalización por el ADC adiciona ruido a la salida digital esto es propio de la resolución finita del convertidor análogo digital [ADC]. El mismo ruido de un perfecto digitalizador de N-bits de resolución, llamado también la cuenta más pequeña de ruido “Least-Count Noise” es calculado de la siguiente manera. Asumiendo el valor real de la señal que cae entre los niveles adyacentes de cuantización tiene una probabilidad uniforme que cae en algún lugar de $\pm 1/2$ cuenta. La varianza del ruido sumada por el proceso de digitalización es luego:

$$\text{Varianza} = \int_{-1/2}^{1/2} x^2 dx = \frac{1}{12} (\text{cuentas})^2 \quad (2.3)$$

y el ruido

$$\text{RMS (ruido)} = \sqrt{1/12} \quad (2.4)$$

El rango dinámico del sistema es definido como la razón de la raíz media cuadrática (RMS) de toda la escala [ET] y el RMS del ruido calculado anteriormente. Para una señal sinusoidal en la entrada:

$$\text{RangoDinamico} = \frac{ET \sqrt{2}}{\text{RMS(ruido)}} \quad (2.5)$$

Reemplazando la ecuación 2.4 en 2.5

$$\text{RangoDinamico} = \frac{ET \sqrt{2}}{\sqrt{1/12}} \quad (2.6)$$

$$\text{RangoDinamico} = \frac{\sqrt{6}}{2} \times ET \quad (2.7)$$

Esta cantidad es usualmente expresada en decibeles.

$$\boxed{RangoDinamicoDB = 20 \times \log\left(\frac{\sqrt{6}}{2} \times ET\right)} \quad (2.8)$$

$$\boxed{RangoDinamicoDB = 20 \times \log\left(\frac{\sqrt{6}}{2}\right) + 20 \times \log(ET)} \quad (2.9)$$

La escala total se entiende como el valor máximo en cuentas que puede registrarse con un ADC de n-bits.

$$\boxed{ET = 2^n - 1} \quad (2.10)$$

n = Resolución del ADC, número de bits efectivos

Para $n \gg 1$ la ecuación (2.10) puede ser expresado como:

$$\boxed{ET = 2^n} \quad (2.11)$$

Reemplazando (2.11) en (2.9) se tiene:

$$\boxed{RangoDinamicoDB = 1.8dB + 20 \times n \times \log(2)} \quad (2.12)$$

Finalmente se tiene:

$$\boxed{RangoDinamicoDB = (1.8 + 6.02 \times n)dB} \quad (2.13)$$

O recíprocamente de la ecuación (2.13) para un rango dinámico dado el número de bits efectivos es dado por:

$$\boxed{NúmeroDeBitsEfectivos(n) = \frac{(RangoDinámicoDB - 1.8)}{6.02}} \quad (2.14)$$

Se estima el rango dinámico de un registrador real, no importa cuantos BITS de palabra en la salida puede ser, el funcionamiento puede ser medido en términos de números de BITS efectivos desde la formula anterior.

Número de BITS efectivos	Rango Dinámico en DB	Voltios RMS, escala total +/-10v
16	98.1	8.81E-05
17	104.1	4.37E-05
18	110.2	2.17E-05
19	116.2	1.09E-05
20	122.2	5.45E-06
21	128.2	2.73E-06
22	134.2	1.35E-06
23	140.3	6.78E-07
24	146.3	3.39E-07

Tabla 2.2 Relación entre resolución, rango dinámico y peso de bit de un ADC

La primera columna muestra la resolución del ADC, la segunda el rango dinámico y finalmente el valor RMS del ruido teórico haciendo referencia a +/-10v que son de los sensores sísmicos.

El rango dinámico puede ser incrementado si la señal en la entrada es amplificada, adicionando la amplificación en decibelios al rango dinámico de la ecuación 1.14.

$$\boxed{\text{AmplificaciónDB} = 20 \times \log(\text{Amplificación})} \quad (2.15)$$

2.4.3 Teorema de Muestreo

El teorema de muestreo describe el efecto de la cuantización en tiempos discretos sobre la señal analógica. El teorema de muestreo o de Nyquist dice que la mínima frecuencia de muestreo requerida para digitalizar la señal analógica debe ser al menos el doble de la máxima frecuencia de la señal de interés, llamado también frecuencia de Nyquist. Un modelo simple es mediante un interruptor cerrando y abriendo periódicamente. Esto suena un poco simple, pero en realidad, este simple dispositivo es un modulador, realizando la multiplicación de dos señales, como muestra la figura 2.10, la señal de salida es la señal de control multiplicada por la señal de entrada. La señal de control es un tren de impulsos, por lo tanto esto es periódico y puede ser expresado por la serie de Fourier como se muestra en la ecuación 2.15.

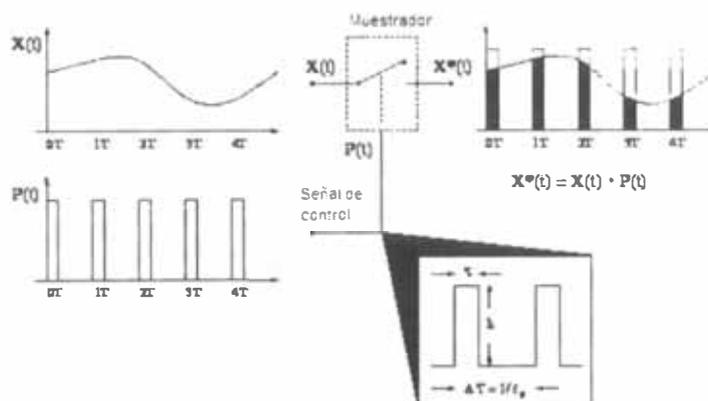


Figura 2.10 Representación del muestreo de una señal analógica

$$\boxed{P(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h \cdot \frac{\tau}{\Delta T} \cdot \frac{\sin(\pi n f_s \tau)}{\pi n f_s \tau} \cdot e^{i2\pi n f_s t}} \quad (2.15)$$

Las variables $h, \tau, \Delta T$ y f_s se detalla en la figura 2.10, y $\frac{\sin(\pi f_s \tau)}{\pi f_s \tau}$ de la ecuación (2.15) es la transformada de Fourier de la n -ésima pulso. Suponiendo al modulador como un dispositivo ideal, τ se aproxima a 0 y por lo tanto $\lim_{\tau \rightarrow 0} \frac{\sin(\pi f_s \tau)}{\pi f_s \tau} = 1$, también llamado impulso de Dirac.

La energía de un solo impulso es dado por $A = h \times \tau$, en la figura 2.10, la salida de la señal $X^*(t)$ está descrito por la ecuación (2.16)

$$X^*(t) = X(t) \cdot \underbrace{\frac{A}{\Delta T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{i2\pi n f_s t}}_{P(t)} \quad (2.16)$$

Debido al modulador de control se generan infinitos pulsos y continuos $P(t)$, se consigue un número infinito de respuesta de impulsos, separados por $\Delta T = \frac{1}{f_s}$, donde f_s es la frecuencia de muestreo. Este cambio del contenido de frecuencia de la señal medida y el espectro de la señal de entrada y salida no son idénticos. La transformada de Fourier de la señal de salida $X^*(t)$ se muestra en la ecuación 2.17

$$X^*(f) = \frac{A}{\Delta T} \int_{-\infty}^{\infty} (X(t) \cdot \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{i2\pi n f_s t}) \cdot e^{-i2\pi f t} dt \quad (2.17)$$

Resultando:

$$X^*(f) = \frac{A}{\Delta T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} X(f - n f_s) \quad (2.18)$$

En otras palabras, el espectro de la señal de entrada es transformada dentro de una secuencia de un infinito número de espectros, ecuación 2.18. Todos los espectros, excepto el de orden cero son llamados espectro ALIAS (ruido ALIAS) considerado señal indeseable que es eliminado generalmente por un filtro pasabajo llamado filtro ANTIALIAS. Este es instalado justo antes de la entrada del ADC.

En el mundo real, hay muchas fuentes de ruido entonces estos sistemas requieren un filtro pasa – bajo llamado filtro ANTIALIAS generalmente es un filtro del tipo BUTTERWORTH instalado justo antes de la entrada analógica del ADC.

2.4.4 Tipos de ADC

2.4.4.1 ADC por Aproximaciones Sucesivas

Los ADC por aproximaciones sucesivas son los más comúnmente usados, en el esquemático de la figura 2.11 un ADC digitaliza mas de un canal analógico en la entrada “Analog Input Channels”, un circuito multiplexor toma cada uno de los voltajes almacenados en el circuito “Sample & Hold” para alimentar a la etapa de comparador con la salida del DAC, el DAC es el convertidor digital análogo interno que calcula un valor analógico de acuerdo al voltaje de referencia V_{ref} . Para codificar una muestra se requiere como máximo N pulsos de reloj ($N = \text{resolución del ADC}$).

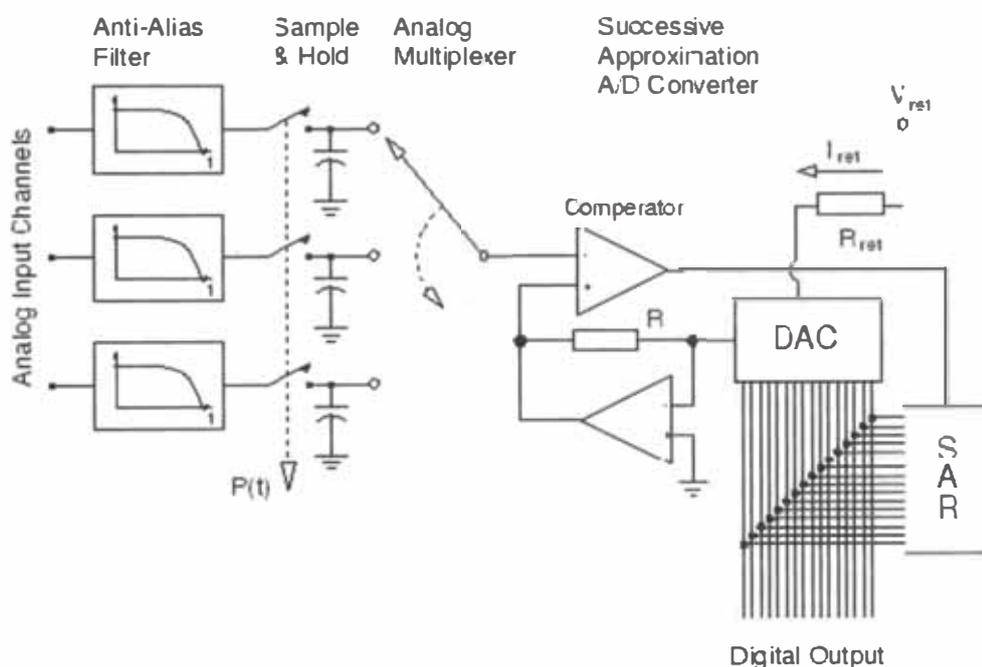


Figura 2.11 Diagrama de bloques del ADC por aproximaciones sucesivas

Para una muestra cualquiera el bit mas significativo se pone ‘1’, entonces la entrada al DAQ será 1000... dando la mitad del voltaje de referencia luego se compara con la entrada analógica y la salida del comparador ubicara el verdadero bit más significativo, así sucesivamente pasa con el siguiente bit. El diagrama de bloques de la figura 2.12 y la figura 2.13 muestran el desarrollo de un convertidor de tres bits, cada nivel es un pulso de reloj y en los tres niveles corresponden a tres pulsos.

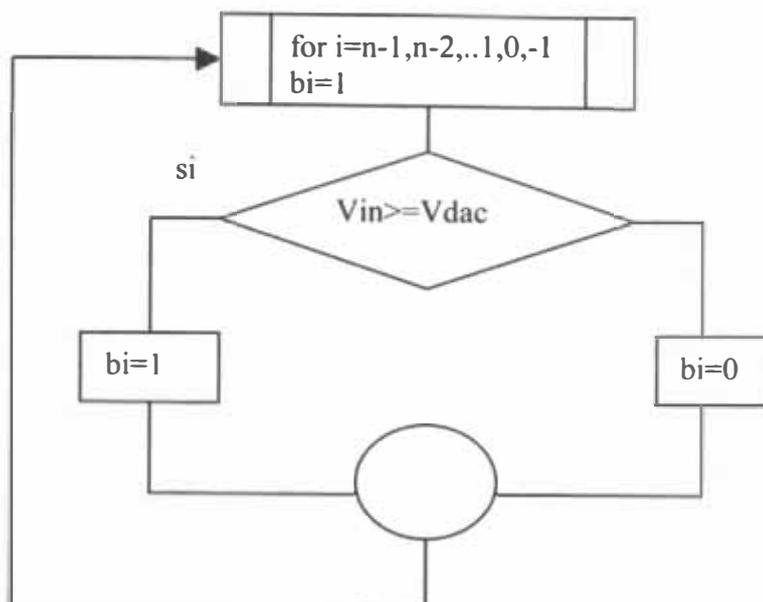


Figura 2.12 Algoritmo de control del ADC por aproximaciones sucesivas.

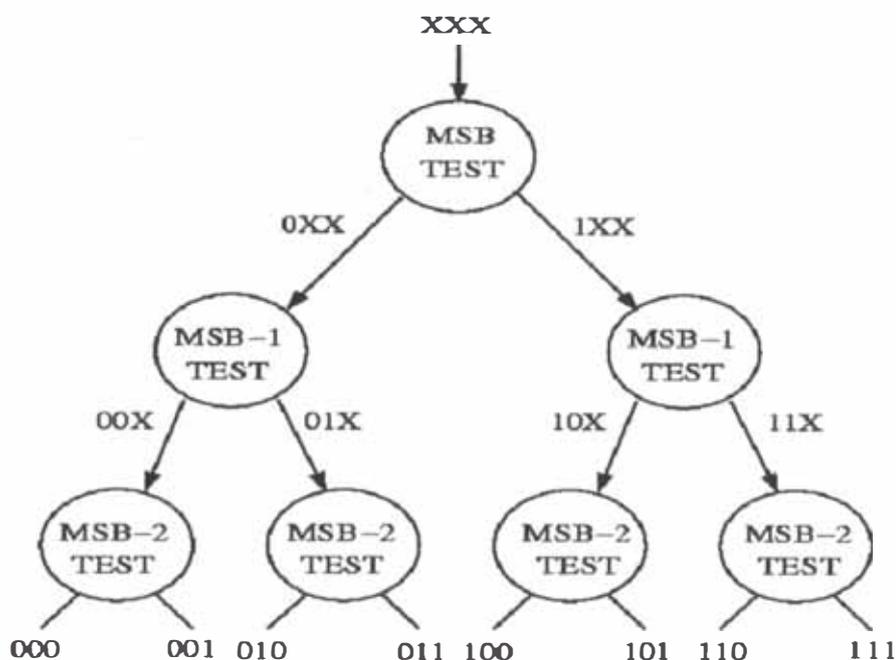


Figura 2.13 Codificación en un ADC por aproximaciones sucesivas

2.4.4.2 ADC DELTA – SIGMA

Un convertidor análogo digital ADC del tipo DELTA – SIGMA consiste en dos bloques: un modulador análogo y un filtro digital. El principio fundamental detrás del modulador está un ADC integrado de 1bit en el lazo realimentado negativamente de alta ganancia.

El proceso de digitalización delta sigma utiliza el modulador que recibe la señal analógica y convierte esto a un tren de pulsos digitales en serie, el modulador realiza la digitalización con una tasa de muestreo bastante alta puede ser 64 veces hasta 4096 veces la frecuencia de muestreo, mucho más grande de lo requerido, sobrepasa del ancho de banda de

interés y envía esta data al filtro digital pasa-bajo, produciendo un valor digital de acuerdo con la frecuencia de muestreo elegido.

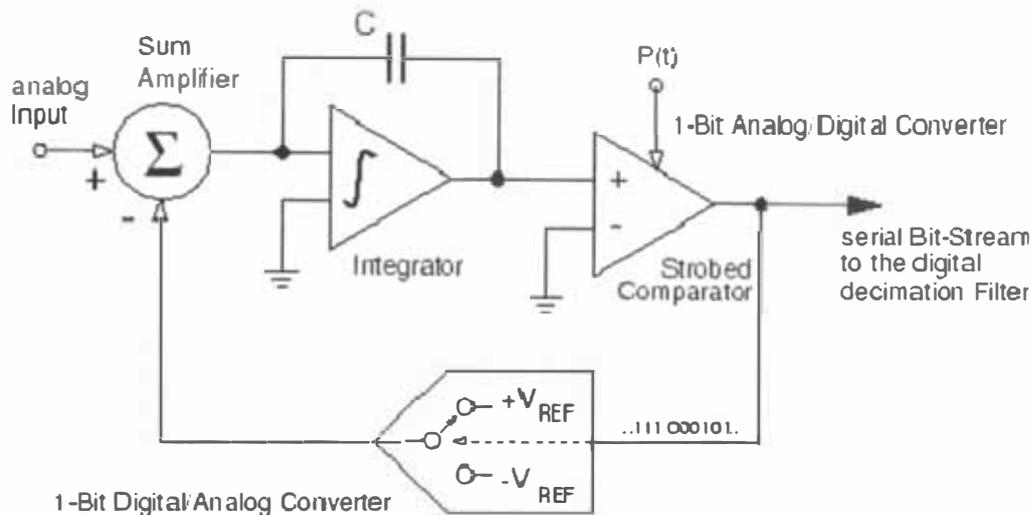


Figura 2.14 Diagrama de bloque de un ADQ Delta Sigma

Los principales elementos en el diagrama de bloques del esquemático en la figura 2.14 son:

1. Integrador
2. Convertidor análogo digital de 1-bit
3. Convertidor digital análogo de 1-bit
4. Sumador amplificador

La señal analógica ingresa al sistema y es sumado con la inversa de la salida del convertidor digital análogo de 1-bit. El resultado de esta diferencia es integrada y luego es cuantificado por el ADC 1-bit usando una frecuencia de muestreo en $P(t)$ la salida del cuantificador es un pulso de 1-bit formando una serie de pulsos en la salida. El pulso de 1-bit alimenta al lazo de realimentación DAC 1-bit. El sistema funciona como un lazo de realimentación negativa los cuales minimiza la señal de entrada. El integrador esta continuamente alimentado con la diferencia y no hay saltos en la entrada analógica. La información digital representa la señal analógica de entrada, esta es codificada en las polaridades del tren de pulsos. Esta salida puede ser acondicionada como una salida paralela aplicando un filtro digital pasa bajo. Con esta técnica se consigue ADC de 24 bits, permite convertir décimas de micro – voltios que se ajusta a las aplicaciones geofísicas.

2.4.5 Base de Tiempo en el Registrador Sísmico

La referencia de tiempo en el registrador sísmico debe ser el más preciso existente, actualmente se conoce el reloj atómico como el reloj más preciso, para un instrumento portátil es imposible contar con este tipo de reloj instalado, sin embargo la referencia de tiempo basado en

relojes atómicos tiene el sistema de posicionamiento global GPS, este sistema no solo provee información de posición, también tiene información de tiempo universal preciso, la precisión de estos relojes están dentro del milisegundo. Por lo tanto la referencia de tiempo del registrador sísmico está basada en receptores GPS.

2.4.5.1 Reloj en los Equipos Informáticos

El propósito del reloj de tiempo real en los sistemas informáticos es mantener la fecha y hora, independiente si uno apaga o no el equipo, pues tienen una batería exclusiva. El oscilador del reloj de tiempo real (cristal de cuarzo) de las computadoras tiene 32768Hz, idéntico a los usados en los relojes de mano. Este tipo de osciladores es óptimo en los equipos informáticos por sus dimensiones diminutas y operaciones de bajo consumo, pero el corrimiento de la frecuencia el cual genera inexactitud es debido a que este dispositivo electrónico es sensible a las variaciones de temperatura. La frecuencia de oscilación del cristal es calibrado aproximadamente a una temperatura de 25C. Este valor es conocido como la temperatura de calibración (TURNOVER TEMPERATURE) donde la frecuencia varía por encima o por debajo de este punto. La hoja técnica de este tipo de osciladores indica que la frecuencia de oscilación varía proporcionalmente al cuadrado del cambio de temperatura. Hay osciladores de mayor precisión para sistemas informáticos que requieren más precisión, utilizados en los sistemas de comunicación sincrónicos con una precisión de +/-20ppm, equivalente a +/-50 segundos por mes en una temperatura de ambiente estable, en peor de los casos este cristal debería correr a 225ppm, en -40 Celsius y 197ppm en 85 Celsius.

Los sistemas con microprocesador Intel® (computadoras personales compatibles a IBM) usan el circuito integrado MC146818 como Reloj de Tiempo Real. Este chip es considerado un periférico más del computador que proporciona información de tiempo, fecha, alarma, generador de onda cuadrada, etc. independiente de la tensión de alimentación del computador. El computador define al reloj de tiempo real en el BIOS, este tiene un oscilador de 32768Hz a un ritmo de 1024 interrupciones periódicas por segundo. El chip esta diseñado para ser conectado a un bus multiplexado, con apoyo del microprocesador se establece dos puertos de entrada/salida en las direcciones 70h y 71h, para leer o escribir. La salida IRQ del chip está conectado a IRQ8 (INT 70h) a través del segundo controlador de interrupciones. Desde la interrupción 1Ah, la BIOS implementa una serie de servicios para poder acceder al reloj de tiempo real y modificar sus registros con la finalidad de mantener el reloj de la computadora sincronizada con un reloj externo. De cualquier forma el reloj de tiempo real de los procesadores INTEL no es usado como

base de tiempo cuando el requerimiento es de alta precisión, por lo que se requiere una sincronización externa del reloj de tiempo real.

Existen una variedad de relojes precisos basados en el sistema GPS para sincronizar el tiempo del reloj de tiempo real de las computadoras, inclusive se han estandarizado el manejo del tiempo en las computadoras mediante el protocolo NTP (network time protocol), diseñado exclusivamente para sincronizar el tiempo de los sistemas informáticos. Actualmente hay servidores de tiempo, básicamente es una computadora con su reloj de tiempo real sincronizado por un reloj externo. Por ejemplo “Symmetricom” diseña tarjetas GPS para computadora con interfase PCI, que actúan como servidor de tiempo NTP, una aplicación cliente – servidor mantiene sincronizado el tiempo de las computadoras de una red local LAN. Los sistemas operativos Windows y Linux tienen implementado el protocolo NTP por defecto para colgarse de algún servidor de tiempo. La tabla 2.3 muestra una secuencia de código C, para sincronizar el reloj en la computadora.

Código que actualiza el RTC de la PC	
<pre>//Código Visual C++ #include <windows.h> SYSTEMTIME st; st.wYear = Año; st.wMonth = Mes; st.wDay = Día; st.wHour = Hora; st.wMinute = Minuto; st.wSecond = Segundo; st.wMilliseconds= Milisegundo; if(!SetSystemTime(&st)) { PrintError("Error:"); return FALSE; }</pre>	<p>SetSystemTime: es una función de visual C++ mediante el cual se modifica los registros de chip RTC, un equivalente en lenguaje ensamblador sería:</p> <pre>MOVE AH, 03H //Función 0x03 de la interrupción 0x1A MOVE CH, Hora //Hora BCD MOVE CL, Minuto //Minuto BCD MOVE DH, Segundo //Segundo BCD MOVE DL, OOH //Tiempo estandar INT 1AH //Pone el tiempo al RTC</pre>

Tabla 2.3 Código C para actualizar el chip RTC de la computadora

2.4.5.2 Precisión del Tiempo en los Sistemas de Registro

Mantener la precisión del tiempo ha sido un reto de la humanidad, desde la invención del péndulo en el siglo 17avo. Hace 100 años que se fundó el Instituto Nacional de Estándares y

Tecnologías [NIST] en USA para encargarse de la precisión del tiempo como uno de sus tareas más importantes, necesario para el desarrollo de la ciencia, en 1904 el reloj más preciso fue de péndulo, con técnicas de mecánica fina lograban precisiones de 10mseg por día pero ello requería de una calibración continua, en 1929 se reemplazo por otro reloj de péndulo logrando 1mseg por día. Hasta 1941 que fue reemplazado por los relojes de cuarzo con una precisión de 10ppm, hasta 1959 los relojes de cuarzo lograron 5×10^7 ppm de precisión con técnicas muy sofisticadas y costosas.

La señal de tiempo universal se estandarizo, se instalaron unos transmisores de onda corta para transmitir la señal de tiempo denominada WWV, esta fue emitida por la NIST desde 1923 hasta la fecha, en 1943 se instaló una estación adicional llamada WWVH ambos transmiten en la frecuencia de 5MHz, 10MHz y 15MHz, en el Perú se recibe dicha señal con una radio de onda corta.

Desde 1960 se experimentaron con los relojes atómicos, llegando a ser el reloj más preciso con su referencia de tiempo universal, el reloj atómico tiene 1.5×10^{11} ppm de resolución basados en la mecánica cuántica de los átomos, hasta la fecha son los relojes atómicos que dan la referencia del tiempo más exacto. Las oscilaciones del reloj atómico ocurren dentro de un campo electromagnético que causan las transiciones entre dos condiciones de la mecánica cuántica del átomo. Basado en el átomo de cesio (133 átomos) un segundo corresponde a 9.19 mil millones ciclos de la radiación, este fue construido en Inglaterra por Essen y Parry.

En 1974 se inicio el experimento de la transmisión de la señal de tiempo y otras variables estándares de la NOAA de los Estados Unidos (NATIONAL OCEANOGRAPHIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION) mediante dos satélites llamado GOES (GEOSTATIONARY OPERATIONAL ENVIRONMENTAL SATELLITE) con una cobertura de todo el continente americano, de norte a sur. Ello fue un experimento muy favorable donde la calidad de recepción era muy superior al transmitido por WWV, los receptores se hicieron comerciales, dicho servicio fue dado de baja el año 2002.

Entre tanto en 1980 se lanzó un sistema satelital llamado Sistema de Posicionamiento Global GPS – NAVSTAR, para brindar información geográfica de localización con fines militares, su función es proporcionar la ubicación geográfica precisa, el sistema GPS necesita de un tiempo altamente preciso para resolver la localización en tierra, por lo tanto la referencia de tiempo del sistema apago el servicio satelital GOES.

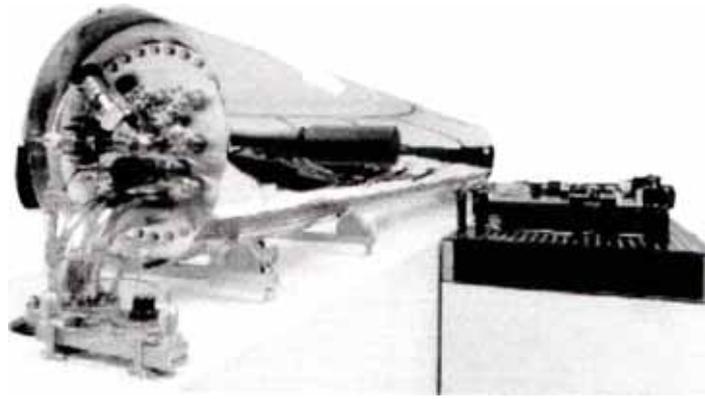


Figura 2.15 Reloj atómico NIST-7 del Instituto Nacional de Estandarización y Tecnología USA

2.4.5.3 Sincronización del Tiempo con Sistema Satelital GPS

El sistema GPS – NAVSTAR consiste de una constelación de 24 satélites sobre los planos de 6 órbitas, giran alrededor de aproximadamente 20200Km sobre la superficie de la tierra. Cada satélite transmite en forma continua más de dos portadoras, banda L1 1575.42MHz y banda L2, los cuales cubren el globo terráqueo transmitiendo información de posición y tiempo preciso, la información de tiempo preciso es transmitido en la banda L1. Actualmente diversos instrumentos electrónicos requieren alta precisión en el tiempo, como los equipos de comunicaciones (celulares), radares, sistema de medición geofísica, etc. Los GPS para aplicación de tiempo preciso tienen un receptor sintonizado a la portadora L1. La figura 2.16 muestra un receptor GPS utilizado para la sincronización de tiempo preciso en los instrumentos geofísicos. La referencia de tiempo en los sistemas geofísicos es el “tiempo universal” definido como el tiempo promedio del observatorio de Greenwich en Inglaterra establecido como el primer meridiano (longitud = 0 grados). Dado la creciente necesidad del tiempo preciso, la industria electrónica produce receptores GPS de una sola frecuencia con de alta integración y bajo costo, las tarjetas son de tamaño reducido.

Dichos receptores están en la capacidad de rastrear simultáneamente hasta 12 satélites, tienen una salida con señal de un pulso por segundo de alta precisión, y otra salida compatible al protocolo RS232 con información decodificada, de ubicación, tiempo y estado de la recepción de cada satélite. Para precisar el tiempo el sistema requiere información de al menos un satélite, para brindar un datos de ubicación requiere como mínimo información de tres satélites. En la figura 2.16 también se muestra la antena GPS que debe estar con visibilidad al espacio.



Figura 2.16 Sistema GPS (fuente: Universidad de Colorado).

La información de los receptores GPS vienen en forma continua de cadena de datos (streams), con un lenguaje estandarizado NMEA – 0183 (NATIONAL MARINE ELECTRONICS ASSOCIATION), básicamente consiste en una comunicación RS232 a 4800bps. La señal de pulso por segundo esta complementada por el código NMEA – 0183.

En la figura 2.17 se esquematiza la conexión de un receptor GPS y la interfase RS232, la señal de un pulso por segundo [1PPS] esta conectada a la entrada CD (detección de portadora) del puerto RS232C, el CI MAX232 en la figura 2.17 es para convertir los niveles TTL del receptor GPS a niveles del protocolo RS232

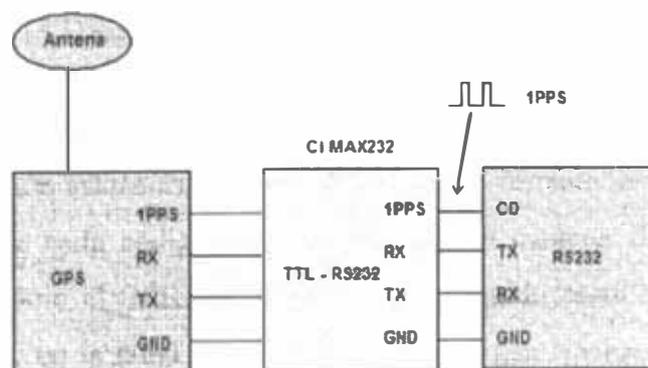


Figura 2.17 Conexión entre GPS y la computadora

El código NMEA – 0183 tiene la información codificada en un formato establecido que se detallará más adelante, la figura 2.18 muestra en diagrama de flujo para recuperar la información del puerto serial de la computadora, el programa se encierra en un lazo continuo, monitoreando el estado en la entrada CD (carries detect) donde se alimenta con los pulsos sincronizados a un segundo (1PPS), cuando el pulso pasa de 0 a 1 el programa detecta este cambio de estado, corresponde al cambio de segundo, entonces se procede a leer la información del puerto serial que se encuentra codificada, luego de discernir la información codificada NMEA – 0183 se conoce el segundo correspondiente de cada pulso y de esta manera el siguiente pulso por segundo actualizará el reloj de tiempo real de la computadora. La precisión obtenida con este método es menor a 0.1 milisegundo.

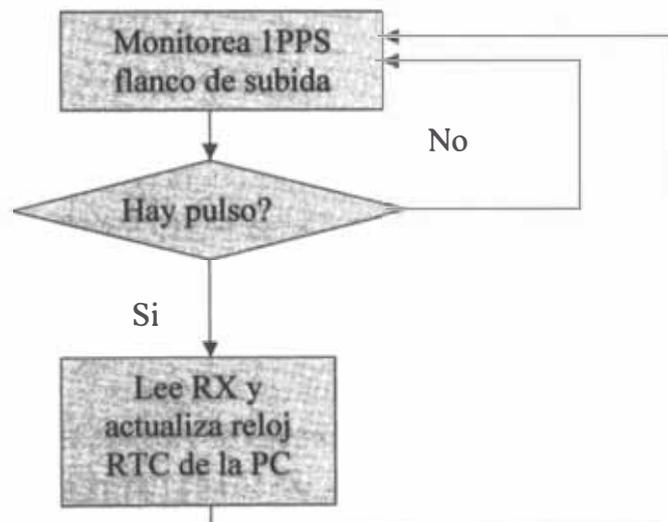


Figura 2.18 Diagrama de flujo de la sincronización mediante GPS

2.4.5.4 Código Estándar Nmea – 0183 del GPS

Es una información estandarizada del GPS viene en formato serial RS232 a 4800bps del tipo ASCII, el inicio de cada código está marcada por el carácter dólar "\$", luego viene la definición del código como el GPRMC, GPGGA, etc. seguido están la información que viene separado por comas ",", en la tabla 2.4 se detalla los códigos NMEA-0183, en la tabla 2.5 se muestra una porción de datos recuperados. .

	Código	Descripción
01	GPGGA	Información cada segundo de tiempo UTC, posición, número de satélites, calidad de los datos etc. Este código es generado una vez por segundo solo si la información de navegación y ubicación es válida.
02	GPGSA	Información de modo de operación, satélites usados para navegación y valores de DOP (Dilution of Precision). Presentado una vez por segundo.
03	GPGSV	Información una vez cada dos segundos de número de satélites en vista y otros parámetros de satélites en vista.
04	GPRMC	En el segundo campo muestra la validación de la información proporcionado por el receptor GPS: A=valido, V=no valido, Información cada segundo de tiempo UTC, curso, velocidad, fecha, etc.

Tabla 2.4 Códigos NMEA-0183

Código NMEA-0183
\$GPGGA,232805,1204.2300,S,07657.9936,W,1,09,1.04,142.3,M,8.6,M,,*45
\$GPGSA,A,3,10,07,02,27,18,13,24,04,08,,,,2.10,1.04,1.82*0F
\$GPGSV,3,1,12,02,71,125,47,10,56,227,47,13,44,142,47,08,42,180,46*7C
\$GPGSV,3,2,12,24,24,315,45,07,23,034,46,27,21,146,46,18,16,081,39*74
\$GPGSV,3,3,12,04,15,356,43,26,09,223,42,09,07,284,45,19,05,129,*73
\$GPRMC,232805,A,1204.2300,S,07657.9936,W,0.000,0.0,090200,0.8,E*74
\$PRWIZCH,10,7,07,7,02,7,27,7,18,7,13,7,24,7,19,2,26,6,04,7,09,6,08,7*4D
\$GPGGA,232806,1204.2300,S,07657.9936,W,1,09,1.04,142.8,M,8.6,M,,*4D
\$GPGSA,A,3,10,07,02,27,18,13,24,04,08,,,,2.10,1.04,1.82*0F
\$GPRMC,232806,A,1204.2300,S,07657.9936,W,0.000,0.0,090200,0.8,E*77
\$PRWIZCH,10,7,07,7,02,7,27,7,18,7,13,7,24,7,19,2,26,6,04,7,09,6,08,7*4D
\$GPGGA,232807,1204.2300,S,07657.9936,W,1,09,1.04,143.3,M,8.6,M,,*46
\$GPGSA,A,3,10,07,02,27,18,13,24,04,08,,,,2.10,1.04,1.82*0F
\$GPGSV,3,1,12,02,71,125,48,10,56,227,46,13,44,142,47,08,42,180,46*72
\$GPGSV,3,2,12,24,24,315,46,07,23,034,46,27,21,146,46,18,16,081,39*77
\$GPGSV,3,3,12,04,15,356,43,26,09,223,43,09,07,284,45,19,05,129,*72
\$GPRMC,232807,A,1204.2300,S,07657.9936,W,0.000,0.0,090200,0.8,E*76
\$PRWIZCH,10,7,07,7,02,7,27,7,18,7,13,7,24,7,19,2,26,6,04,7,09,6,08,7*4D
\$GPGGA,232808,1204.2300,S,07657.9936,W,1,09,1.04,143.7,M,8.6,M,,*4D
\$GPGSA,A,3,10,07,02,27,18,13,24,04,08,,,,2.10,1.04,1.82*0F
\$GPRMC,232808,A,1204.2300,S,07657.9936,W,0.0

Tabla 2.5 Código NMEA

2.5 Códigos de Protección del Instrumento

El grado de protección del instrumento esta definido dentro de los estándares internacionales a través de la comisión electrotécnica internacional con el código IEC-60529, con respecto a personas y protección contra sólidos, líquidos e impactos. No define la protección contra el riesgo de explosión, ni la protección ambiental. Específicamente en dos condiciones:

- a) La protección de personas al acceso de componentes peligrosos en el equipo y protección del equipo contra el ingreso de sólidos (polvo).
- b) Protección del ingreso de agua al equipo.

Los equipos geofísicos requieren la protección completa contra humedad, polvos y soportar inundaciones sin mucha presión es decir no muy profundas. La tabla 2.6 muestra la codificación de la norma para proteger los equipos, por lo que corresponde a un IP67.

Código de protección IP del IEC 60529			
	Primer dígito	Segundo dígito	Tercer dígito
	Contra contacto de personas	Contra sólidos (cuerpos extraños)	Contra líquidos
0	Sin protección	Sin protección	Sin protección
1	Contacto con áreas importantes del cuerpo	Objetos grandes mas de 50mm de diámetro	Gotas de agua cayendo verticalmente
2	Contacto con el dedo	Objetos medianos más de 12mm de diámetro	Rocíos directos de agua cayendo hasta 15° de la vertical
3	Cables y herramientas mas de 2.5mm de diámetro	Objetos sólidos pequeños más de 2.5mm de diámetro.	Rocíos directos de agua cayendo hasta 60° de la vertical
4	Cables y herramientas mas de 1mm de diámetro	Objetos sólidos redondos de mas de 1mm de diámetro	Rocíos directos de agua desde todas las direcciones
5	Completa	Depósitos de polvo	Chorros de agua a baja presión a todas las direcciones
6	Completa	Completa contra entrada de polvos	Fuertes chorros de agua de todas las direcciones (olas)
7			Cortos plazos de inmersión de 15cm a 1m
8			Largos periodos de inmersión bajo presión

Tabla 2.6 Códigos de protección IP del IEC 60529

	Código	Descripción
01	GPGGA	Información cada segundo de tiempo UTC, posición, número de satélites, calidad de los datos etc. Este código es generado una vez por segundo solo si la información de navegación y ubicación es válida.
02	GPGSA	Información de modo de operación, satélites usados para navegación y valores de DOP (Dilution of Precision). Presentado una vez por segundo.

CAPÍTULO III

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

3.1 Introducción

El objetivo es obtener un registrador sísmico digital de bajo costo con módulos electrónicos estándares, compatibles a sistemas con procesador Intel®, guardando las consideraciones técnicas requeridas explicadas en el capítulo anterior.

La arquitectura del hardware del sistema se esquematiza en el diagrama de bloques en la figura 2.8, las bases de la forma y fondo del diseño fueron dados en las consideraciones de diseño del capítulo anterior, con los cuales se realiza las especificaciones técnicas del hardware mostrado en la tabla 3.1, el hardware se divide en cuatro partes que son los siguientes:

- a. Modulo Convertidor Análogo Digital – Módulo ADC.
- b. Módulo Unidad de Procesador Central – Módulo CPU.
- c. Módulo Receptor GPS.
- d. Potencia y protección ambiental.

La caja donde se instalada el hardware del sistema tiene las siguientes dimensiones de: 41cm x 33cm, altura 18cm, de material de fibra de vidrio o metálico, esta debe tener especificaciones de protección IP67. Los conectores externos utilizados son seleccionados considerando especificaciones militares para mantener la protección IP67, dichos conectores debe mantener conectados a los dispositivos externos en forma segura y ser resistente a condiciones extremas.

El montaje de los módulos electrónicos deben ser de tal manera que puedan soportar el transporte rudo, los circuitos integrados de los diferentes módulos deben ser empotrados o embebidos a sus respectivas tarjetas, el bus del sistema definitivamente es el PC104 por su tamaño reducido y la forma como las tarjetas son instaladas a través de este bus. El color de la caja debe ser de color oscuro, de preferencia color negro para mantenerse camuflado en la intemperie.

Módulo Convertidor Análogo Digital – Módulo ADC		
01	Número de Canales	3 o 6 canales diferenciales
02	Rango de voltaje	+/-10 voltios pico – pico
02	Resolución	24bits
03	Rango dinámico	120db
04	Impedancia de entrada	100G ohmios
05	Amplificación	6dB, 20Db
06	Tipo	Delta – Sigma
07	Tasa de muestreo	5,10,20,40,100,200
Módulo Unidad Central de Proceso – Módulo CPU		
01	Tipo	Intel Celeron 400MHz embebido
02	Bus del sistema	PC104
03	Interfases de entrada/salida	2 RS232, 2 USB 1.1, 01 Ethernet
04	Capacidad de memoria RAM	256MBytes embebido
05	Capacidad de interfase de disco	01 IDE, 01 Compac Flash
06	Disco duro	IDE 30GBytes, bajo consumo
07	Tamaño	90.17mm × 95.89mm
Módulo Receptor GPS		
01	Sincronización del tiempo	Tiempo universal con receptor GPS
02	Precisión	0.1 milisegundos
Potencia y protección ambiental		
01	Voltaje de operación	9 a 18 voltios DC
02	Consumo de potencia	Máximo 12 vatios
03	Temperatura de operación	-20 a 85 Celsius
04	Protección	IP67 (a prueba de agua)

Tabla 3.1 Especificaciones Técnicas

3.2 Selección del Hardware

La búsqueda del hardware se basa en las especificaciones técnicas de la tabla 3.1, los parámetros de búsqueda consideradas en la selección fueron:

- Rango extendido de temperatura.
- Bajo consumo de potencia.
- Diseñado para aplicación tolerante a fallas.
- Resultados en otras aplicaciones.

Se encontró una variedad de módulos que satisfacían las especificaciones del sistema, por lo que se analizó cada uno de ellos, tomando como referencia, resultados en aplicaciones donde se consideran los parámetros nombrados arriba, situaciones extremas ambientales como el control electrónico de aeronaves o sistemas de control en equipos quirúrgicos.

La tabla 3.2 resume el resultado de la selección de los módulos que cumplen con las especificaciones del sistema.

	Hardware	Marca
01	Tarjeta madre con procesador Intel® ULV CELERON® 400MHz, RAM 256Mb	AMPRO
02	Convertidor Análogo Digital de 24bits, 04 canales - rango dinámico 146dB	DATA TRANSLATION
03	Receptor GPS, salidas de IPPS y NMEA-0183	TRIMBLE
04	Fuente DC – DC de 20 vatios	DATEL
05	Caja a prueba de agua con IP67	PELICAN

Tabla 3.2 Descripción del hardware seleccionado

La figura 3.2 muestra la arquitectura de bus PC104+, permite instalar los módulos con interfase PC104 de una forma óptima.

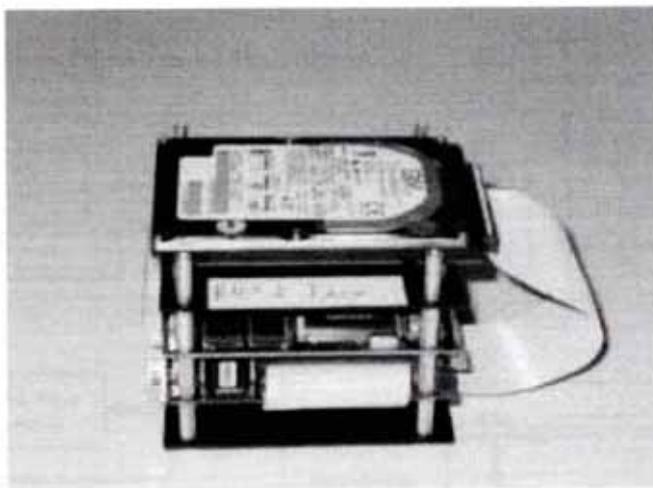


Figura 3.1 Conexión a través de la arquitectura de bus PC104

3.2.1 Unidad Central de Proceso – CPU

El módulo CPU seleccionado en este caso es la tarjeta marca AMPRO modelo COREMODULO 600 con procesador Pentium III de 400MHz y capacidad de memoria RAM de 256Mb, soporta temperaturas de operación entre -20C a 85C, la figura 3.2 esquematiza el diagrama de bloques del módulo seleccionado, se muestra los soportes en puertos entrada y salida, todo ello se encuentra en una tarjeta de tamaño 9.017cm × 9.589cm, tiene un peso de 108

gramos, esta diseñado con circuitos integrados empotrados (embebido), utilizados en aplicaciones de propósitos múltiples de adquisición de datos, en la tabla 3.3 se detalla las especificaciones.

Especificaciones	Marca AMPRO COREMODULE 600
CPU	Celeron 400 MHz Ultra Low Voltaje (Tualatin)
BUS	PC104+ (ISA + PCI)
Memoria	256Mb DRAM
Interfaces	1 LAN Ethernet 100BaseT 2 Serial RS232 2 USB Puerto PS-2 para teclado y Mouse 1 DB15 para video SVGA
Soporte de sistemas operativos	Windows Microsoft Linux
Temperatura de operación	-20 Celsius a 80 Celsius
Almacenamiento	Disco duro ó disco Compac Flash
Voltaje de operación	5Vdc, 5 vatios

Tabla 3.3 Especificaciones técnicas del sistema

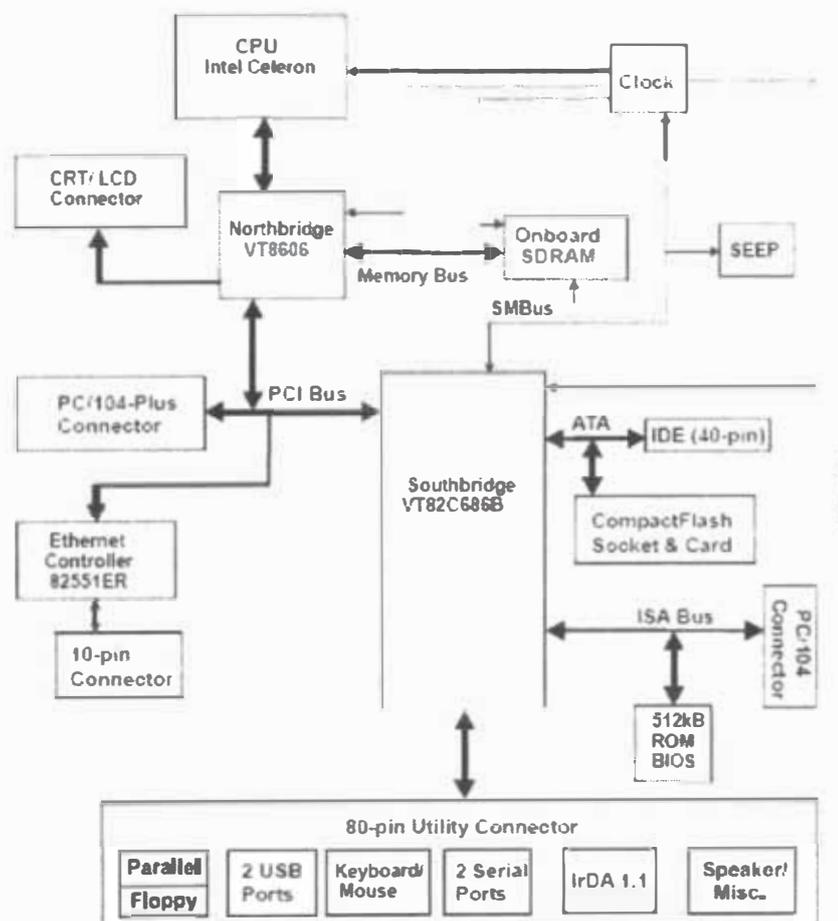


Figura 3.2a Diagrama de bloques del módulo CPU – AMPRO COREMODULE 600

El conexionado del módulo CPU se muestra en la figura 3.2b.

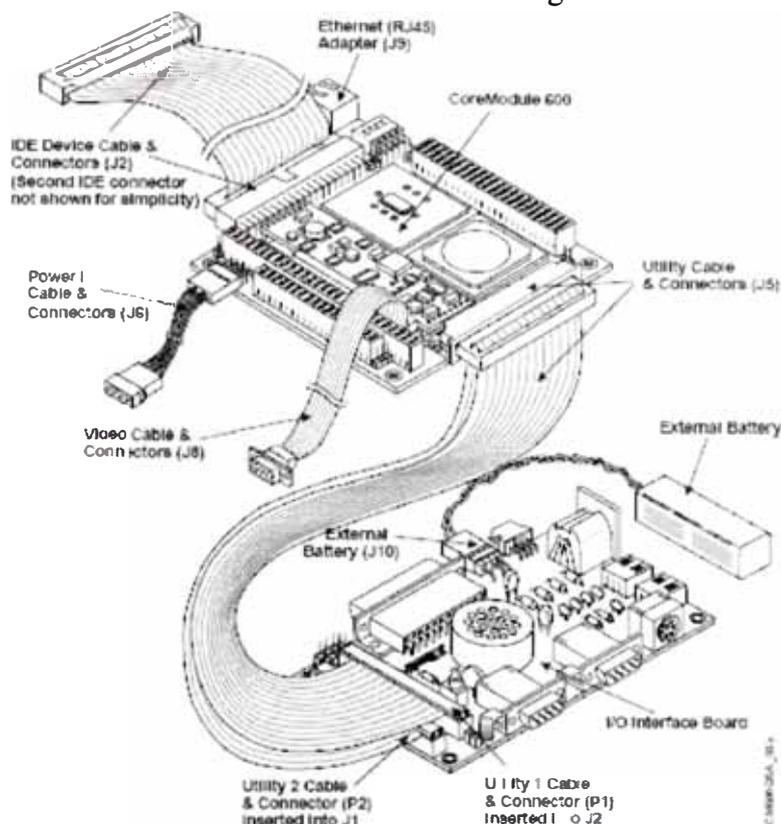


Figura 3.2b Conexionado del módulo CPU del sistema ADQREDES

El dispositivo de almacenamiento para el módulo CPU seleccionado es el disco duro de capacidad hasta 30Gb, marca HITACHI modelo ENDURASTAR J4K30 de 4200rpm, temperatura de operación de -20C a 85C, de 10cm x 7cm, altura 0.95cm, peso de 107 gramos. Tiene interfase IDE ATA-5 que son los estándares en computadoras personales.

3.2.2 Convertidor Análogo Digital – ADC

El módulo ADC seleccionado es una tarjeta marca DataTranslation® modelo DT9822 con resolución de 24bits, temperatura de operación de -20C a 85C, tamaño de 14.5cm x 10cm, peso 255 gramos, tiene una pantalla de aluminio para protegerse del ruido externo, figura 3.3a. El convertidor analógico digital seleccionado esta diseñada para aplicaciones de alta precisión con cuatro convertidores delta – sigma diferenciales independientes como se esquematiza en el diagrama de bloques de la figura 3.3b. La tabla 3.4 muestra las especificaciones del módulo ADC, cada canal puede ser muestreado hasta 1000 muestras por segundo. Las conexiones analógicas se realizan a través de un tarjeta con borneras que viene incluido con el ADC.

Especificaciones ADC	Marca DATATRANSLATION DT9822
Numero de Canales	4 diferenciales
Tipo	Delta – Sigma
Resolución	24 bits
Interfase	USB 1.1
Frecuencia de muestreo	5, 10, 20, 40, 50, 100 y 200 muestras por segundo
Voltaje de operación	5Vdc
Soporte de sistemas operativos	Windows Microsoft Linux
Temperatura de operación	-20 Celsius a 85 Celsius (rango extendido)
Memoria de datos	FIFO 512bytes

Tabla 3.4 Especificaciones del ADC

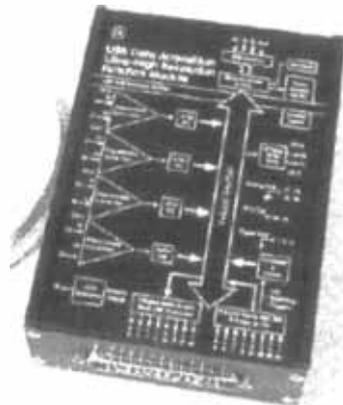


Figura 3.3a Módulo ADC DATATRANSLATION DT9822

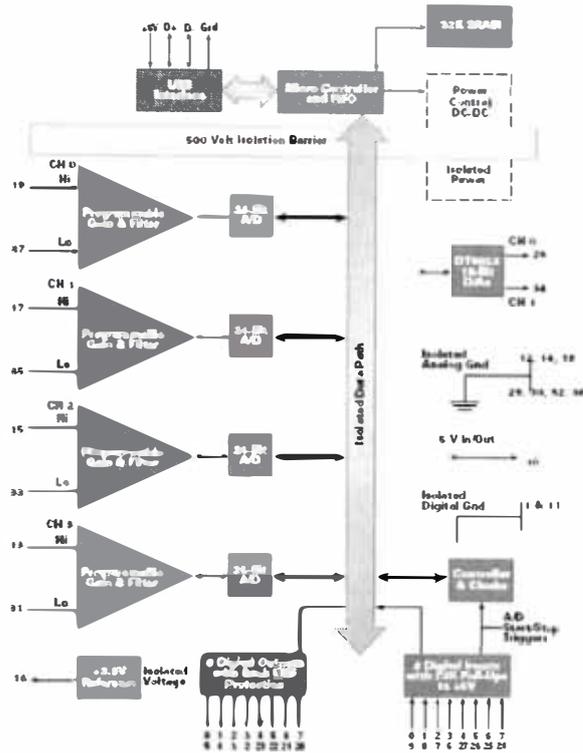


Figura 3.3b Diagrama de bloques del módulo ADC

3.2.3 Modulo Receptor GPS – Tiempo Universal

El módulo receptor GPS seleccionado es un receptor GPS marca TRIMBLE® modelo “resolution-T”, esta diseñado exclusivamente para aplicaciones de sincronización con el tiempo universal con una precisión de 15 nanosegundos, dicho receptor viene integrada en una tarjeta de soporte que convierte los niveles eléctricos de la salida del GPS a niveles del protocolo RS232, en la figura 3.4 se muestra el hardware del módulo GPS, cuyas especificaciones técnicas se encuentran en la tabla 3.5.

Especificaciones Reloj GPS	Marca TRIMBLE modelo RE SOLUTION-T
Número de canales de rastreo	12 canales en paralelo
Frecuencia del sistema GPS	L1 1575.42 MHz
Interfase	Serial
Protocolo de comunicaciones	NMEA-0183
Precisión	15 nanosegundos al tiempo universal
Antena	Activa 26dB, 5Vdc
Consumo	0.22 vatios
Voltaje de operación	12Vdc
Temperatura de operación	-20 Celsius a 85 Celsius

Tabla 3.5 Especificaciones del GPS

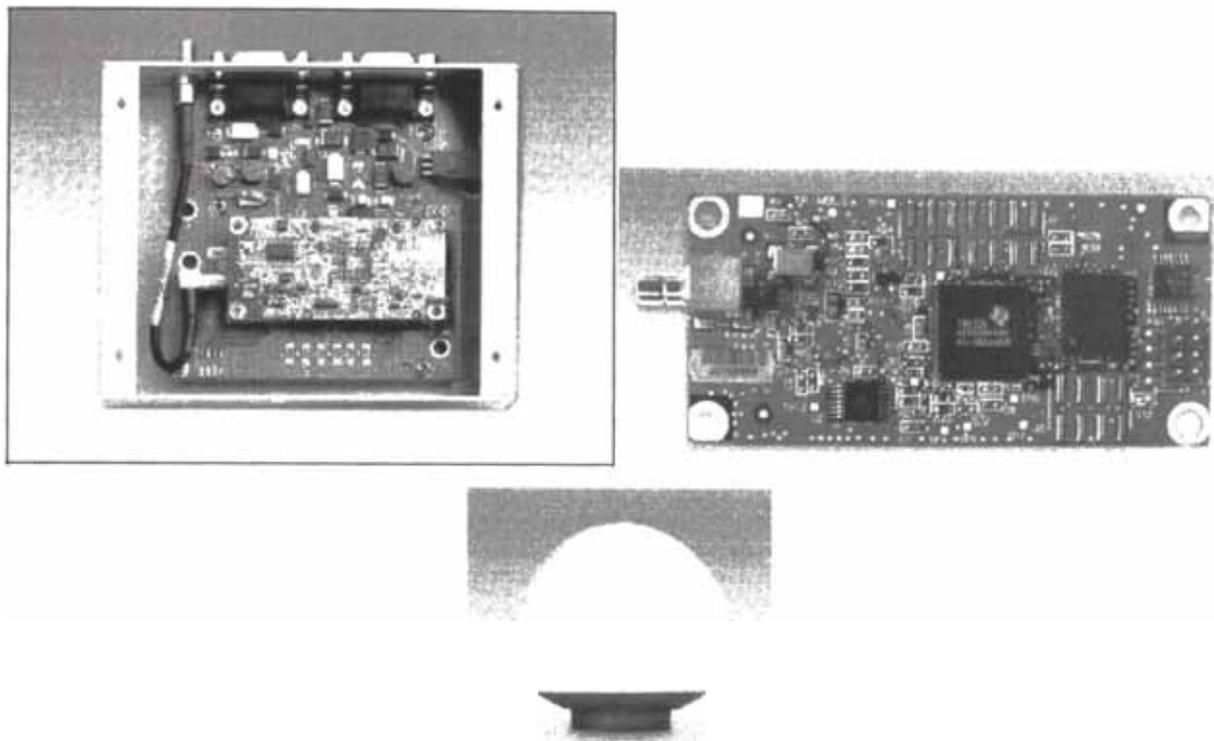


Figura 3.4 Receptor GPS TRIMBLE RESOLUTION-T y antenas para GPS

3.2.4 Fuente de Alimentación

La potencia requerida por el hardware del sistema se resume en la tabla 3.6, se necesitan 7.5 vatios para polarizar el sistema integro, mediante un regulador se provee de la tensión adecuada a cada uno de los módulos. Se considera que el nivel de voltaje en la entrada de la fuente de alimentación esta entre 9Vdc a 36Vdc.

	Hardware	Voltaje DC	Vatios
01	CPU	5	6
02	ADC	5	0.25
03	Receptor GPS	12	0.25
04	Sensor sismico	12	0.5
05	Disco duro	5	0.5
			7.5

Tabla 3.6 Distribución de potencia del sistema

La fuente de fuente de alimentación seleccionada es una tarjeta con interfase PC104 marca AAEON modelo PCM-P50, esta fuente tipo “switching” genera los voltajes necesarios vía el bus PC104 y tiene una bornera con los voltajes para los diferentes módulos. La tabla 3.7 muestra las especificaciones del módulo seleccionado, tiene una eficiencia de 90% y soporta una potencia de 50 vatios.

Especificaciones del Regulador	AAAFON
Voltaje de salida (voltios DC)	5, -5 12 y -12
Corriente de salida (amperios)	10, 0.4, 2 y 0.5
Voltaje en la entrada (voltios DC)	6 a 36
Potencia (vatios)	50
Eficiencia	90%

Tabla 3.7 Especificaciones del Regulador DC – DC



Figura 3.5 Módulo fuente de alimentación con bus PC104

3.2.5 Caja a Prueba de Agua con Protección IP67

El diseño de la caja determina la robustez del instrumento, el hardware del sistema se vería afectado si este no cuenta con una protección adecuada, dado las condiciones de trabajo definidas en este ámbito, consideradas como severas y rudas. La caja seleccionada para los módulos del hardware es una maleta marca Pelican® modelo 1450, con dimensiones de 37.1cm x 25.8cm x 15.2cm, peso 2.5Kg, cuenta con certificaciones de código de protección IP67, MIL C-4150J (pruebas de apilamiento, caída, inmersión y humedad) y Def Stan 81-41/STANAG 4280 (pruebas extremadamente exigentes de vibración, bajas temperaturas, calor seco e impacto). Esta caja garantiza protección total para los módulos de hardware del sistema, esta diseñada para un rango de temperatura desde -23C hasta 99C.

La protección IP67 (IP = ingress protection) soporta:

- Protección completa al contacto de personas, el instrumento esta fuera de peligro a las personas que lo manipulen.
- Protección completa contra entrada de polvo o algún sólido.
- Protección al agua, a fuertes chorros en todas las direcciones (lluvias torrenciales).

3.3 Implementación del Diseño

Los módulos fueron ensamblados sobre una plancha de aluminio de 37.1cm x 25.8cm, 2mm de espesor como se esquematiza en la figura 3.6, los módulos CPU y ADC son montados sobre unos soportes de aluminio con la finalidad de optimizar el espacio determinado, los módulos GPS y el disco duro son montados sobre el aluminio, usando sus respectivos tornillos, arandelas normales y de presión.

El detalle del conexionado se encuentra esquematizado en el diagrama general de conexiones mostrado en la figura 3.7, “SENSOR” se refiere al conector para el sensor sísmico, con sus respectivos contactos. Así mismo “COMUNICACIONES” para el conector de comunicaciones y “ALIMENTACION” para la fuente de alimentación externa. Las figuras 3.8, 3.9 y 3.10 esquematizan el detalle de conexión por separado.

Hay conexiones consideradas especiales como son los siguientes:

- Conexión interna entre el módulo CPU y el módulo GPS a través de un cable con conectores DB-9 al RS232-A del CPU.
- El conector de comunicaciones con cable serial al RS232-B del CPU.
- La conexión del ADC al módulo CPU a través del USB1 del CPU.
- El disco duro a través del puerto IDE del CPU.

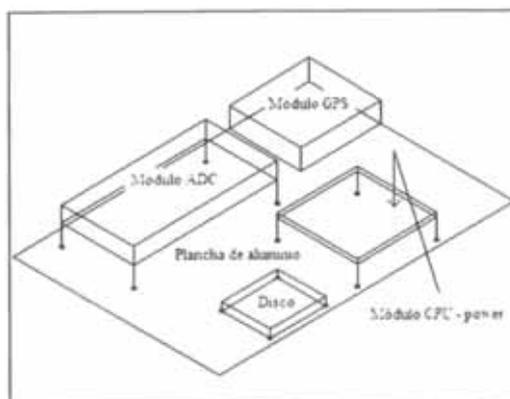




Figura 3.6 Distribución de los módulos sobre una plancha de aluminio

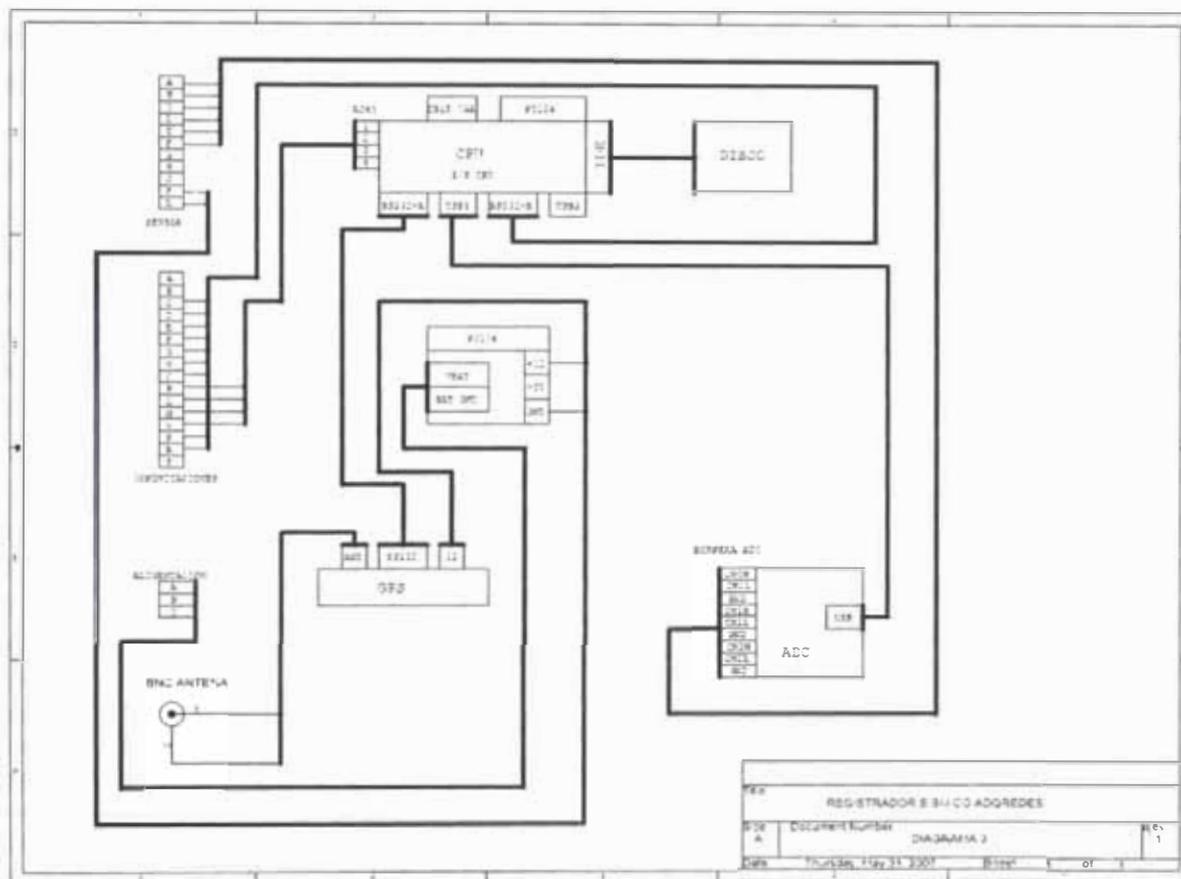


Figura 3.7 Diagrama de conexiones del sistema ADQREDES

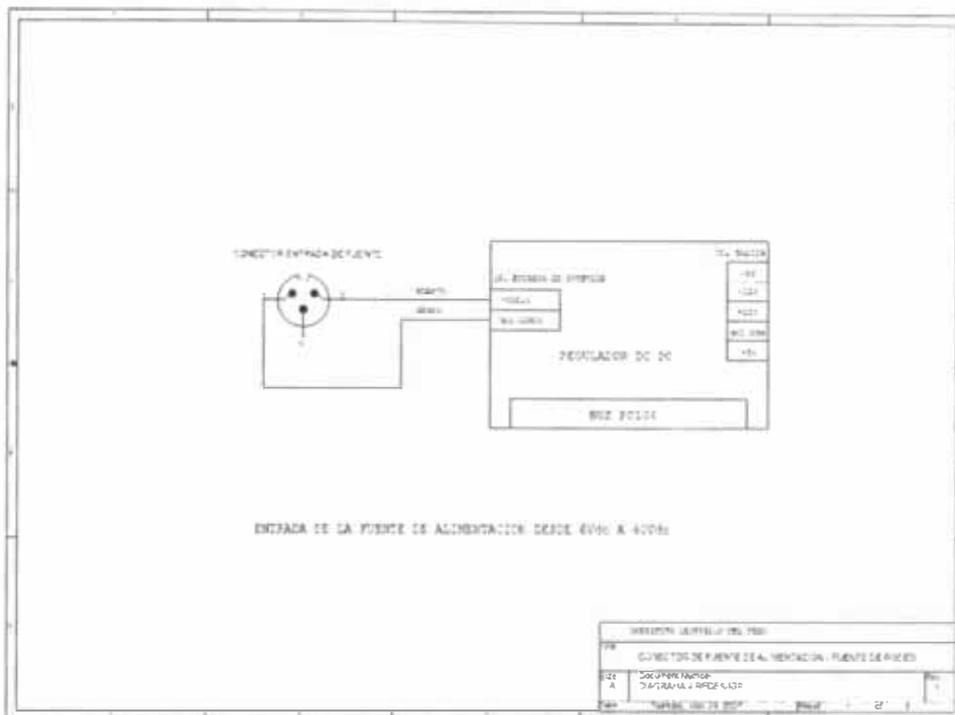


Figura 3.8 Diagrama de conexión de la fuente de potencia

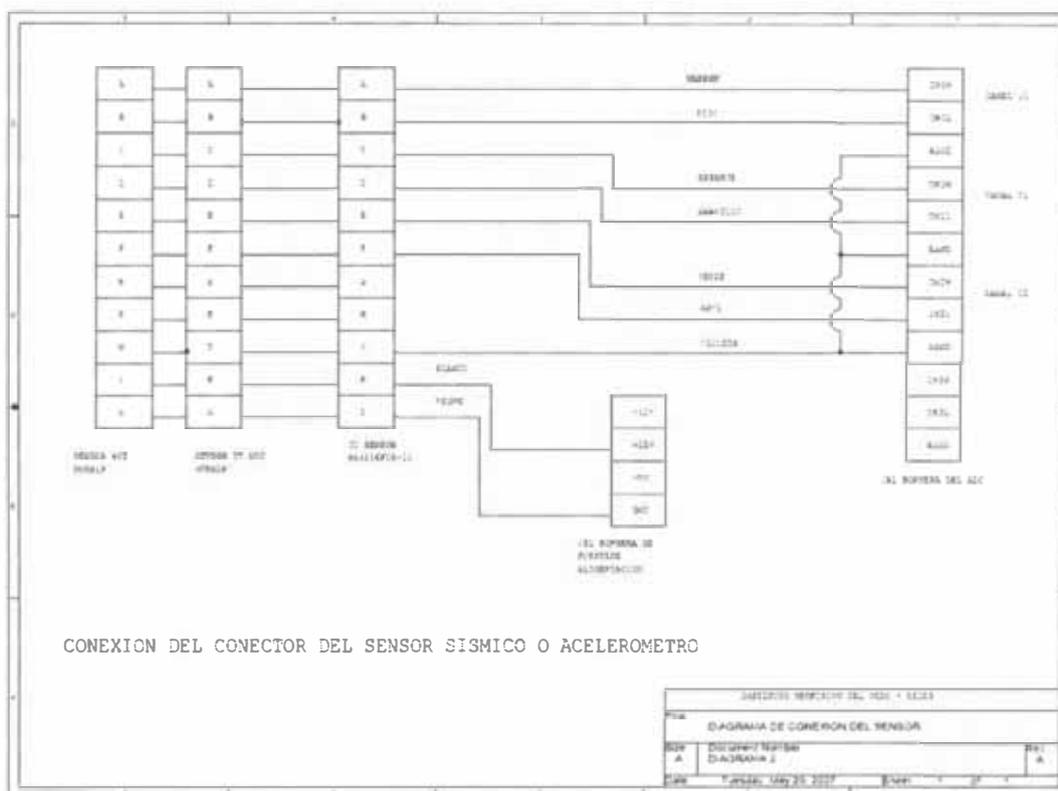


Figura 3.9 Diagrama de conexiones del conector del sensor sísmico

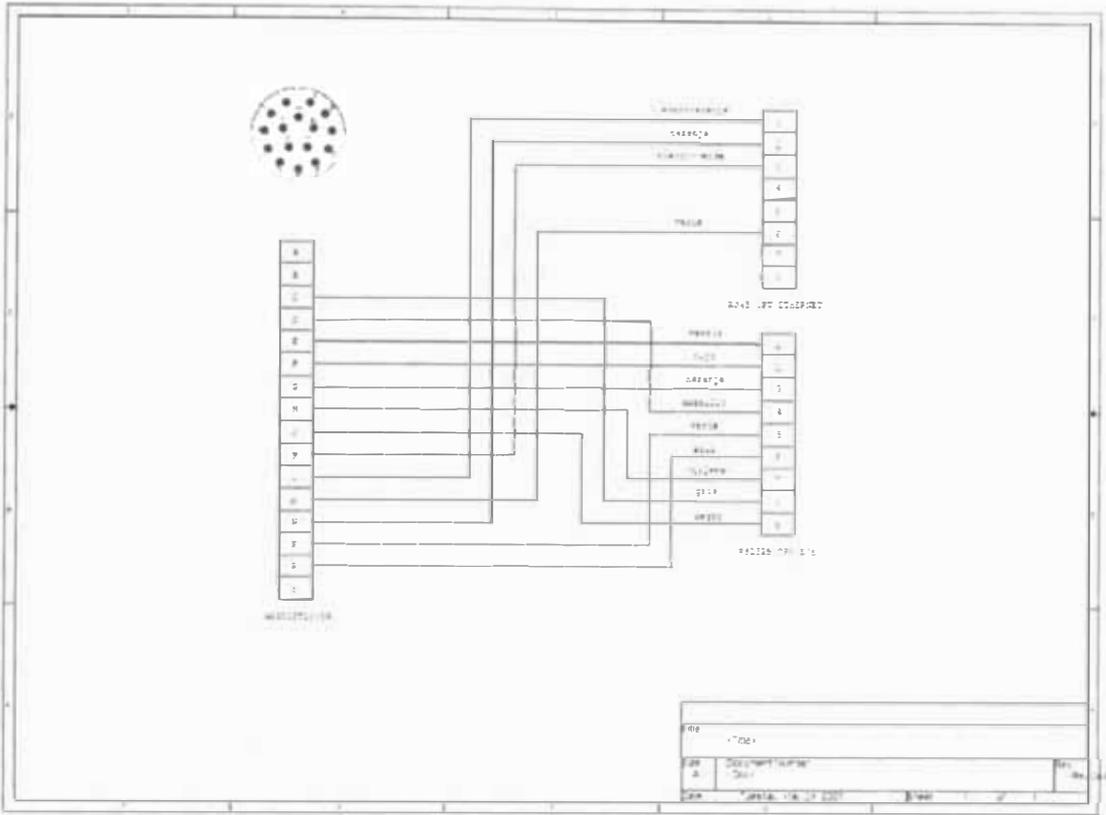


Figura 3.10 Diagrama de conexiones del conector de comunicaciones

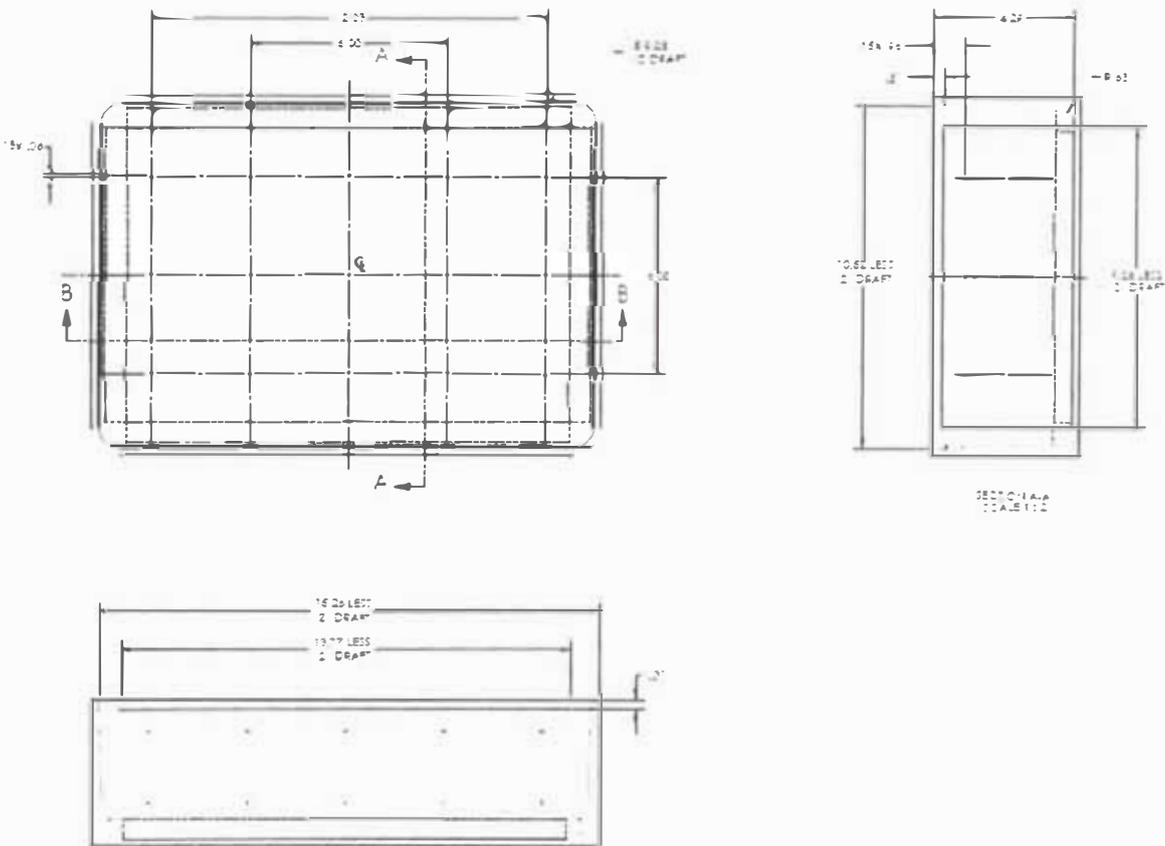


Figura 3.11 Vistas de la maleta Pelican® (en pulgadas)



Figura 3.12 Distribución del hardware y vista lateral del ADQREDES

Los conectores seleccionados en este caso son marca “Amphenol® MIL-C-26482”, la figura 3.12 muestra de izquierda a derecha los conectores correspondientes a:

- “SENSOR” para el sensor sísmico tiene código MS3116F18-11 (11 pines).
- “COMUNICACIONES” para el puerto de comunicaciones (interfases serial y Ethernet) con código MS3112E20-16S de 16 pines
- “ALIMENTACION” para la fuente de alimentación, con código MS3102R14S-7P de 3 pines.
- “ANT” para la antena GPS.

3.4 Configuración del Sistema Operativo

El sistema operativo instalado por defecto es el “Windows 2000® de Microsoft®” versión profesional, los módulos de hardware como el ADC y GPS tienen los controladores respectivos para este sistema operativo, y las librerías para desarrollar las aplicaciones. El sistema tiene partido el disco en dos, la unidad C: para los programas y la unidad D: para los datos y reportes.

La versatilidad del sistema operativo permite realizar modificaciones y configurar fácilmente el ambiente Windows para optimizar el funcionamiento como:

- Arranque automático a un cliente predeterminado.
- Configuración de los directorios esenciales del sistema de adquisición.
- Servidor de datos a través del protocolo FTP.

3.4.1 Arranque Automático

El registrador sísmico en condiciones normales no cuenta con los dispositivos de video, teclado y Mouse; entonces el sistema debe ser capaz de inicializarse directamente hacia un usuario y ejecutar los programas. A continuación se explica el detalle de la configuración de:

- a) Inicialización con el usuario: REDES.
- b) Arranque automático de los programas de adquisición.
- c) Configuración de la interfase LAN.

a) Configuración de inicialización automática del usuario REDES en el sistema operativo Windows 2000:

- Antes de debe crear un usuario con nombre “REDES” y contraseña “REDES”, con derechos de administrador, a continuación se describe paso a paso la configuración:

1. Ejecutar el programa “REGEDT32.EXE”.
2. En el lado izquierdo del menú, elegir HKEY_LOCAL_MACHINE.
3. En HKEY LOCAL MACHINE ubicar:
Software -> Microsoft -> WindowsNT -> CurrentVersion -> WinLogon
4. En el lado derecho de “WinLogon” si no existen crear las variables:

AutoAdminLogon	REG Z	1
DefaultUserName	REG Z	REDES
DefaultPassword	REG Z	REDES
5. Cerrar el programa REGEDT32.EXE

b) A continuación se describe los directorios respectivos para la operación del sistema:

- El directorio de ejecutables: C:\ADQSYS\BIN, este debe ser añadido a la variable de entorno %PATH. Es este directorio se encontraran los programas ejecutables que tienen que ver con la adquisición.
- El directorio de los datos: D:\DATOS, dentro de este directorio el programa de adquisición trabaja con los directorios D:\DATOS\LOG para reportar la operación del sistema y D:\DATOS\RAWDATA y D:\DATOS\EVENT para almacenar los registros sísmicos
- En la tabla 3.8 se muestra el directorio donde el sistema operativo Windows 2000 ejecuta automáticamente, ya sean los enlaces o programas ejecutables.

Función	Arranque automático de programas al iniciar Windows 2000
Directorio	C:\Documents and Settings\redes\Start Menu\Programs\Startup

Tabla 3.8 Directorio de arranque automático en Windows 2000

c) El sistema operativo Windows 2000® esta en la capacidad de convertirse en servidor Web a través del protocolo HTML y servidor de transferencia de datos a través del protocolo FTP, para ello el sistema cuenta con un servicio instalado llamado IIS (Internet Information Services) donde fácilmente se configura dichos servicios.

3.4.2 Conexión TCP-IP

La interfase principal de comunicación del sistema es a través del puerto Ethernet (puerto LAN), el instrumento utiliza este puerto para ser monitoreado y para transmitir datos. Por lo tanto el instrumento esta configurado con un número de identificación en la red de computadoras, número IP. Por ejemplo el número IP asignado puede ser:

IP	:	192.168.5.22
Puerta de enlace	:	192.168.5.1
Mascara	:	255.255.255.0.

3.5 Programas a Prueba de fallas

La tolerancia a fallas es la característica que permite un sistema continuar operando ante una falla. La perdida de datos sísmicos es muy costosa, para evitar esto, se ha diseñado un programa llamado MONITOR de tolerancia a fallas. El programa MONITOR recibe los “mensajes de existencia” procedente de los programas que tienen que ver con la generación de registros sísmicos, los mensajes vienen en forma repetitiva con una frecuencia predefinida, puede ser desde décimas de segundos. En nuestro caso el programa de adquisición envía “mensajes de existencia” cada 10 segundos, el programa de detección envía su mensaje cada 20 segundos. De esta manera el programa MONITOR conoce la operatividad de los diferentes programas en el transcurso del tiempo, si algún proceso no envía el respectivo mensaje, el programa MONITOR reinicia el proceso correspondiente. Los “mensajes de existencia” consisten en una cadena de caracteres con el tiempo correspondiente y número de identificación ID del programa, el sistema operativo asigna un único número a cada proceso que se inicie o ejecuta llamado número de identificación ID. Si el programa MONITOR no recibe “mensajes”

de mas de dos programas durante el tiempo establecido, puede iniciar una secuencia de inicialización de todo el sistema “reboot del sistema”.

3.6 Programa de Sincronización con el Tiempo Universal

El receptor GPS tiene una interfase RS232C el cual esta conectado al puerto serial RS232-A del módulo CPU, como se muestra en la diagrama general de conexiones, ver figura 3.6, el receptor genera dos señales imprescindibles para el funcionamiento del sistema, la primera señal es un pulso por segundo sincronizado al tic del tiempo universal UTC con una precisión de 0.01 milisegundo, y la otra señal que transmite un código NMEA-0183 (con la información correspondiente a dicho pulso). Dichas señales alimentan al módulo CPU a través del puerto serial, como se muestra en la figura 2.14 el pulso por segundo se encuentra conectado al pin 1 (CD, detección de portadora) y la otra señal con código NMEA-0183 al pin 2 (receptor).

El programa lee los datos procedentes del módulo receptor GPS por el puerto serial RS232-A, dicha información se encuentra codificado bajo el protocolo NMEA-0183, de los cuales dos paquetes de datos secuencial es interesante para el presente diseño, ellos son \$GPRMC y \$GPGGA, específicamente se detecta la información de estado de salud de los datos, el código \$GPRMC contiene la información de validación de los datos procesados por el módulo GPS, si dentro de la trama del \$GPRMC viene el carácter ‘A’ significa que los datos son válidos y si es una ‘V’ aún el receptor esta esperando información de los satélites para dar una buena información, por lo que el programa, mediante un bucle reintenta leer este código cada vez que viene el \$GPRMC (1 segundo). Si la validación es la correcta, es decir ‘A’, inmediatamente se espera la trama \$GPGGA que contiene la información de tiempo, información de ubicación en latitud, longitud y el número de satélites con el cual s procesado la información de tiempo. Luego de sincronizar el sistema (actualizar el reloj interno) genera un formato para el encabezado de los datos sísmicos.

El diagrama de flujo de la figura 3.12 muestra la sincronización del tiempo universal con la información del módulo GPS.

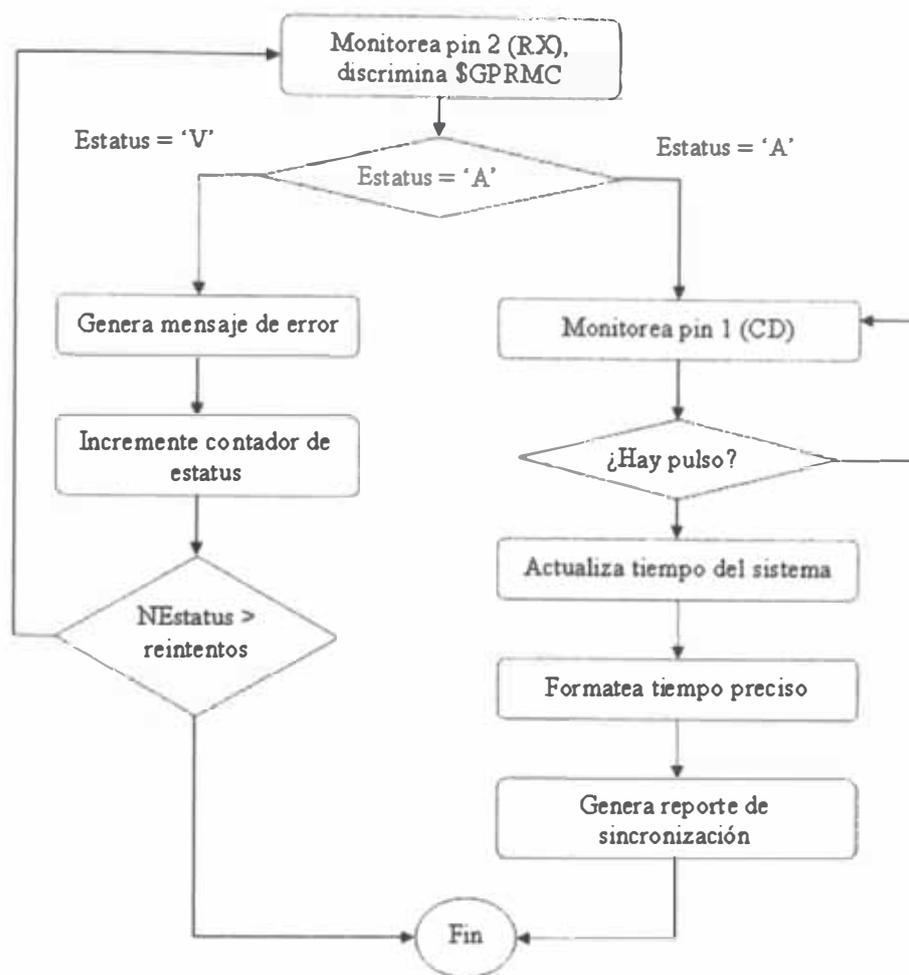


Figura 3.13 Diagrama de flujo de la sincronización con el tiempo universal

3.7 Programa de Adquisición

El desarrollo más importante del presente diseño es indudablemente el programa de adquisición. El diagrama de flujo del programa de adquisición se encuentra en la figura 3.14, el principal propósito del programa de adquisición es controlar la digitalización de las señales analógicas del sensor sísmico en forma continua, y mantener la sincronización con el tiempo universal. Se inicia la adquisición ejecutando el programa de sincronización, mediante el cual el reloj del sistema es actualizado con el tiempo universal, por otro lado se ejecuta una rutina que interpreta los parámetros desde el archivo de configuración. Los parámetros inicializan las variables con ello se configura el ADC apoyándose con las funciones del controlador del módulo ADC, una vez iniciada la digitalización, el módulo ADC digitaliza las señales analógicas en la entrada, generando paquetes de datos multiplexados en forma secuencial y de tipo FIFO (primer dato que ingresa primer dato que sale). El módulo ADC genera un evento (una interrupción) cada vez que tiene listo un paquete de datos, haciendo que el programa de adquisición los

transfiere a la variable global correspondiente. Las variables globales (de azul, figura 3.14) están definidas para compartir información en tiempo real con otros programas, hay cuatro variables globales definidas como globales: variable tipo matriz entera de 32 bits que contiene los datos multiplexados, variable tipo real que contiene el tiempo universal de la primera muestra de los datos, variable tipo cadena de caracteres que contiene información de cada canal de los datos (frecuencia de muestreo, nombre de canales, etc.) y variable tipo entero que contiene el contador que determina el flujo de datos en forma continua. La secuencia del bucle del programa esta determinado por la variable “latido”, dicha variable se encuentra en el archivo de configuración definido en un número de segundos, por lo general esta definido en 1 segundo, es decir los datos digitalizados del ADC esta en paquetes de datos correspondientes a un segundo de señal analógica, donde actualiza sus variables globales y es la velocidad que fluye los datos en el programa. El canal cuarto (4) del ADC esta alimentada con la señal de pulso por segundo del GPS, este es digitalizado simultáneamente con los otros canales que corresponde al del sensor, los datos digitalizados del pulso por segundo es una onda cuadrada con los cuales se afina la precisión con el tiempo de los datos antes de ser validada por el sistema.

Los datos sísmicos formateados y sincronizados con el tiempo universal son almacenados en forma secuencial tipo FIFO en una variable interna hasta completar la cantidad de datos correspondiente al parámetro “longitud de registro” definido en un número de segundos, si este esta marcado por 1200 segundos y la frecuencia de muestreo es 100 muestras/segundos, la variable interna tipo matriz será de tamaño $120000 \text{ muestras} \times 4 \text{ (cantidad de canales)} = 480000$ números de 32 bits $\approx 2\text{Mbytes}$ por segundo.

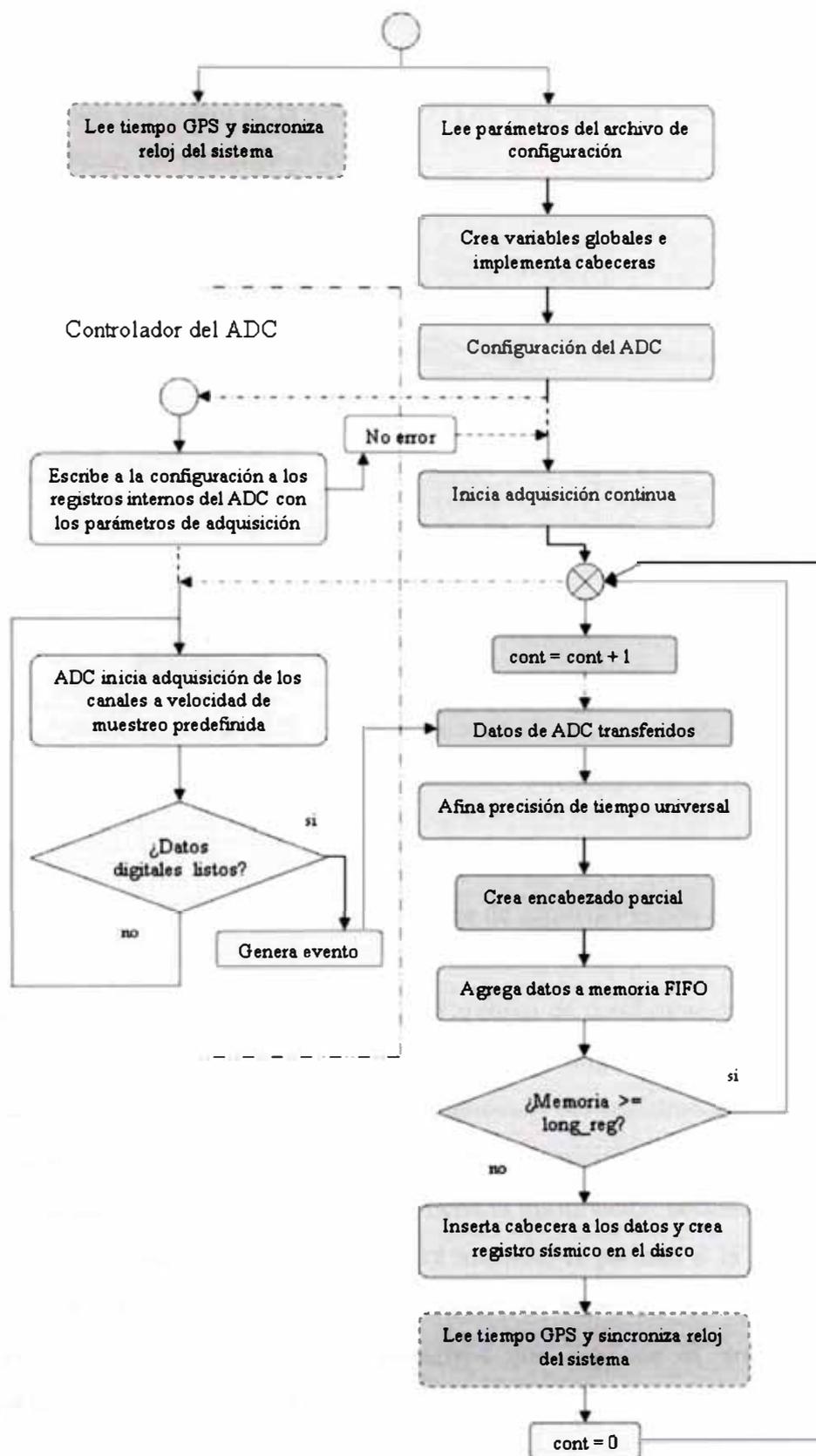


Figura 3.14 Diagrama de flujo del programa de adquisición

El programa de adquisición interactúa con otros programas como se muestra en la figura 3.15, la sincronización es el programa que se encarga de actualizar el reloj del sistema con el tiempo universal, explicado en la sección 3.5. Los programas de “detección”, “comunicación” y “importar” utilizan las variables globales.

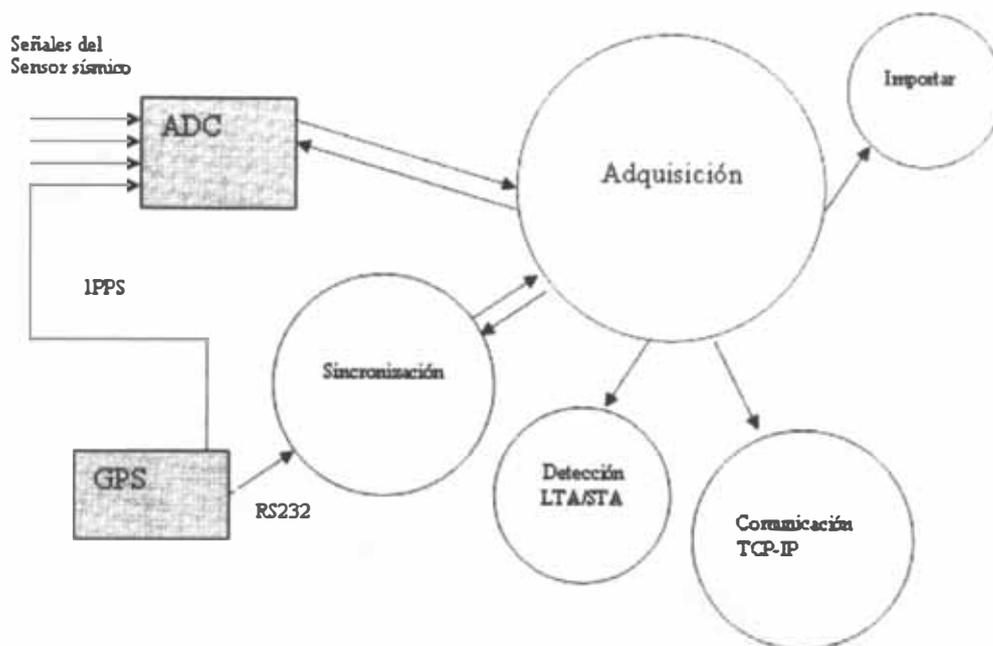


Figura 3.15 Interacción del programa de adquisición con otros programas

Los parámetros de inicialización en el archivo de configuración pueden ser modificados de acuerdo a las necesidades o requerimientos del investigador, los parámetros del archivo de configuración determinan la forma de funcionamiento del registrador sísmico en mención. Los registros sísmicos generados por el programa de adquisición, están compuestos de dos partes, encabezado y datos sísmicos, el encabezado tiene la información necesaria de los datos sísmicos, como el tiempo correspondiente a la primera muestra, el periodo o la frecuencia de muestreo, nombre que identifica a cada canal y descripción de los datos.

En la tabla 3.9 se detalla los parámetros que contiene el archivo de configuración “ADQ.PAR”.

Parámetros	Ejemplo	Observación
Definición de canales	0,1,2,3	Canales definidos en el ADC
Nombre de canales	ACZ, ACN, ACE, PPS	Usado en el formateo de datos
Nombre de estación	MARCA3	Usado en el formateo de datos
Velocidad de muestreo	100	Muestras por segundo
Latido en segundos	1	Tamaño de los paquetes de datos
Tipo de sensor	T4525	Identifica el sensor
Sincronización GPS	1	1 GPS, 0 reloj interno
Longitud de registro	1200	Graba archivos de 1200 segundos
Directorio de datos	D:\datos	Directorio principal
Programa externo	Serialn.exe com1	Monitoreo de receptor GPS
Directorio de reportes	D:\datos\log	Reportes del estado de operación
Ganancia	2	Ganancia= $\times 2$
Información de posición	-12.07 -77.34 620	Localización GPS
Grabación continua	1	1=Si, 0=No
Canales en continuo	0,1,2	canales 0,1,2

Tabla 3.9 Definición de los datos del archivo de configuración

- “definición de canales” y “nombre de canales” definen los canales que participarán en la adquisición y se asocia a cada una de ellas un nombre que los identifica. El programa de adquisición requiere este parámetro para digitalizar solamente los canales propuestos. Esta puede ser 0,1,2 para un sensor de tres componentes.
- “nombre de estación” define una característica del lugar donde se encuentra el registrado sísmico.
- “velocidad de muestreo” define la velocidad que tiene que muestrear el ADC. Esta puede ser 5, 20, 40, 100 ó 200 muestras por segundo.
- “latido” define el tamaño de paquete, en segundos, que el sistema puede compartir con otros programas. El programa de adquisición arma los paquetes con datos correspondientes a un segundo y los pone en las variables globales donde otros programas pueden tener acceso.
- “tipo de sensor” define una característica del sensor sísmico utilizado, este puede ser su número de serie. Cada sensor sísmico se caracteriza por tener su constante de motor, sus polos y ceros que determinan la función de transferencia, para el

procesamiento posterior es requeridos estos datos por lo que este parámetro mantiene identificado al sensor sísmico.

- “sincronización GPS” define si la referencia de tiempo del registrador es un GPS. A veces no es posible usar sincronización GPS en el sistema, si el registro es un túnel entonces el receptor que inhabilitado porque no hay señal de los satélites, en este caso se utiliza el reloj interno del sistema del módulo CPU.
- “longitud de registro” en segundos, define el tamaño de los registros sísmicos. Este parámetro determina el tamaño de archivos de registro continuo, en la tabla 3.9, longitud de registro = 1200 segundos equivale a tener archivos con registro sísmico de 20 minutos.
- “ganancia” determina la ganancia de la señal de entrada. Esta puede ser x2, x10, x100. A veces se requiere monitorear el ruido sísmico por lo que se requiere amplificar la señal del sensor. El módulo ADC tiene amplificadores de instrumentación para amplificar la señal con las ganancias mencionas.
- “información de posición” es la posición GPS del lugar donde esta instalado el registrador sísmico.
- “grabación continua” define si debe haber grabación continua, “1” significa que debe existir grabación continua de los canales definidos en “canales en continuo” si este parámetro no existe el sistema grabara en continuo todos los canales definidos en “definición de canales”.

La figura 3.16 muestra la forma como el sistema genera los registros sísmicos, la cabecera HD corresponde a una estática, es la misma para cada registro y HD es dinámica corresponde al tiempo universal que es diferente para cada registro. El encabezado estático HE se repite lo mismo, mientras el encabezado dinámico HD cambia para cada secuencia.

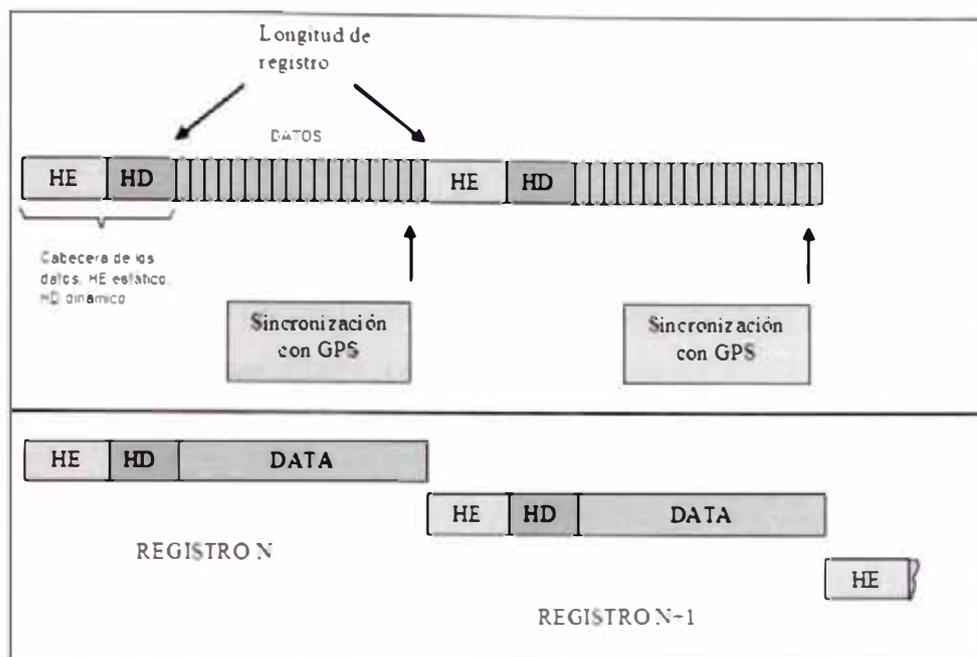


Figura 3.16 Registro sísmico generado por el sistema

A continuación se detalla la estructura de la cabecera del registro sísmico, en la tabla 3.10 de color azul se muestra la cabecera dinámica y color gris la cabecera estática, el tiempo universal es almacenado en una variable tipo doble real con una precisión al milésimo y el contador, indicador de la secuencia en una variable entera de 32 bits.

Encabezado	Ejemplo	Observación
Tiempo UTC	3259560428.776	Segundos desde 1904
Contador	1700	Número de paquetes adquiridos
Nombre de canales	ACZ,ACN,ACE,PPS	Usado en el formateo de datos
Nombre de estación	UBINAS	Usado en el formateo de datos
Frecuencia de muestreo	100	Muestras por segundo
Tipo de sensor	T4525	Identifica el sensor
Ganancia	2	Ganancia=x2
Información de posición	-12.07 -77.34 620	Localización GPS

Tabla 3.10 Estructura de la cabecera del registro sísmico

3.8 Programa de Detección Automática

Los registradores sísmicos funcionan en forma continua adquiriendo datos todo el tiempo, produciendo una cantidad enorme de datos que son a menudo difíciles de analizar en

tiempo real, localmente o incluso en el centro de sismología de una red sísmica. El sistema de detección automático tiene por objetivo advertir al sistema, al operador la ocurrencia de un evento sísmico en casi tiempo real, esta característica es sumamente importante para la operación de un centro sismológico, por ello se justificó la implementación de un programa de detección de eventos sísmicos utilizando un algoritmo de disparo automático. El programa de procesamiento con un algoritmo de disparo (detección de sismos) sirve para encontrar los eventos sísmicos en la señal del ruido sísmico en casi tiempo real.

En la práctica los algoritmos de disparo automático pierden algunos eventos sísmicos atenuados y por otro lado generan archivos con datos que no corresponden a un evento sísmico. A veces los eventos sísmicos con baja amplitud no resuelven los algoritmos de disparo, se confunde con el ruido sísmico y por consiguiente se pierde información, por otro lado, si el algoritmo de disparo puede dispararse con señales que no son sísmicos, más bien son ruidos producidos por alguna señal no sísmica, debido a las irregularidades del lugar donde se encuentra el sensor sísmico. Cualquiera sea el modo de disparo en el registrador sísmico se podría dañar la integridad de los datos sísmicos registrados y producir algún trabajo adicional al analizar. Por ello es imprescindible analizar los algoritmos de disparo y considerar el registro en ambos modos, por detección automático y en forma continua.

Hay muchos algoritmos de disparo que fueron probados y usados en el registro sísmico desde hace mucho, desde un simple detector de picos que sobrepasa un umbral hasta un sofisticado modelo de reconocimiento de eventos sísmicos basados en métodos adaptables, redes neuronales, walets, etc. Ellos están basados en el procesamiento digital de la amplitud, la envolvente, la potencia de la señal discreta en el dominio del tiempo, o en el dominio de la frecuencia del contenido de la señal sísmica discreta. Los algoritmos de detección de eventos sísmicos caen en un campo extenso de investigación que no se discutirá aquí, sin embargo, en la práctica, se han aceptado ampliamente sólo algoritmos del disparo relativamente simples y puede implementarse en el registrador sísmico.

El algoritmo del disparo más simple es el disparo de umbral de amplitud, descubre cualquier amplitud de la señal sísmica que excede un umbral simplemente prefijado. La grabación inicia siempre que se alcance este umbral. Este algoritmo raramente se usa en la sismología de movimientos débiles pero es un estándar para acelerómetros que requiere de movimientos fuertes y dónde la sensibilidad alta no es principalmente un problema y donde las amplitudes del ruido sísmico consecuentemente artificiales y naturales son más pequeñas que las señales con las que se supone que se activara el instrumento.

Otro algoritmo es el cálculo continuo de la raíz media cuadrático (RMS) en la señal y el disparo sucede cuando supere el umbral, similar al algoritmo de umbral de amplitud, sólo que el RMS de las amplitudes calculada corresponde a una ventana corta de tiempo. Es menos sensible al ruido de señal artificial, sin embargo raramente se usa en la práctica.

Después de muchos ensayos, a lo largo del desarrollo de la sismología, se incorporo el algoritmo STA/LTA que se adecua muy bien en la detección de señales débiles y fuertes, actualmente es utilizado en casi todos los instrumentos, el algoritmo consiste en el cálculo de la relación entre el promedio del cuadrado de las amplitudes de una ventana de tiempo corto y el promedio del cuadrado de las amplitudes de una ventana de tiempo largo. Matemáticamente el valor STA (SHORT TIME AVERAGE) es el promedio de los cuadrados de la señal discreta en una ventana corta de tiempo y LTA (LONG TIME AVERAGE) es lo mismo pero en una ventana de tiempo largo. El calculo continuo en tiempo real de la relación STA/LTA determina el umbral, si sobrepasa del valor prefijado inicia la grabación del registro sísmico.

El éxito del algoritmo depende de la configuración apropiada del tiempo de cada ventana. Para eventos muy locales las ventanas del STA y LTA pueden ser 0.5 segundos y 5 segundos respectivamente, para eventos regionales STA=2 segundos y LTA 40 segundos.

3.8.1 Propósito del Algoritmo Sta/Lta

El algoritmo STA/LTA, actualmente es utilizado en aplicaciones de detección de señales débiles, perceptibles solamente por el sensor sísmico, cuando se requiere registrar la mayor cantidad de eventos sísmicos como sea posible. Con este algoritmo significativamente mejora la grabación de eventos sísmicos, disminuye el registro de señales originados por otra fuente que no sea la sísmica, ya sea picos por golpes o ruidos artificiales.

3.8.2 Como Funciona el Algoritmo Sta/Lta

El algoritmo STA/LTA continuamente computa los cambios en la amplitud de la señal sísmica discreta y determina el nivel de ruido sísmico del lugar, cada lugar de estudio tiene un diferente nivel de ruido sísmico. Se realizan los cálculos en forma continua y en tiempo real de cada uno de los canales.

El algoritmo STA/LTA procesa señal discreta sísmica previamente se remueve el nivel DC de la señal discreta (offset) en dos ventanas en movimiento, STA calcula el promedio en una ventana de tiempo corto (STA) y LTA calcula promedio de una ventana de tiempo largo (LTA). En la ecuación 3.1 calcula el STA para la n ésima muestra, la cantidad de muestras se mantiene igual a "m" que la cantidad de muestras correspondiente a la ventana de tiempo definida para el

STA; la ecuación 3.2 representa el calculo del STA para la siguiente muestra al enésima, con estas dos ecuaciones puede implementarse una ecuación recursiva que se muestra en la ecuación 3.4. Para el cálculo del LTA se utiliza el mismo procedimiento con la cantidad de muestras representado por “q” correspondiente al tiempo de la ventana LTA, llegando a las ecuaciones 3.5 y 3.6.

$$STA_n = \frac{Y_n^2 + Y_{n-1}^2 + \dots + Y_{n-m+1}^2}{m} = \frac{\sum Y_n^2}{m} \quad 3.1$$

$$STA_{n+1} = \frac{Y_{n+1}^2 + Y_n^2 + Y_{n-1}^2 + \dots + Y_{n-m+2}^2}{m} = \frac{\sum Y_{n+1}^2}{m} \quad 3.2$$

$$m = tiempoSTA * Fs \quad 3.3$$

$$STA_{n+1} = STA_n + \frac{Y_{n+1}^2 - STA_n}{m} \quad 3.4$$

$$LTA_{n+1} = LTA_n + \frac{Y_{n+1}^2 - LTA_n}{q} \quad 3.5$$

$$q = tiempoLTA * Fs \quad 3.6$$

La relación STA/LTA se compara continuamente para cada muestra de cada uno de los canales, con el valor de umbral predefinido por el usuario. Si excede de este umbral se declara un disparo, este puede ser de cualquiera de los canales que esta siendo registrado. El instrumento sísmico tiene un mecanismo de elección de disparo construido, donde se define cuántos y qué canales tienen que estar en un estado activado para ser considerado el algoritmo. Para simplificar la explicación, en este caso se considera solo un canal.

El programa de detección usa el algoritmo para detectar un evento sísmico, se considera que el archivo sísmico debe tener datos sísmicos de un tiempo antes del disparo y tiempo después del fin de disparo. Es decir la duración de los datos en el registro sísmico se verán aumentado por un tiempo extra antes y después del disparo.

La figura 3.17 muestra cuatro gráficos de un evento local típico y la evolución del STA y LTA durante la duración del evento sísmico, la parte superior del gráfico muestra una señal sísmica continuo entrante (filtrado), el segundo gráfico muestra las variaciones del STA y LTA respectivamente, más abajo muestra la proporción de ambos STA/LTA, se observa el disparo en estado activo (el rectángulo de la línea sólido), En los rectángulos de línea discontinua se muestra el PEM y PET. PET es el tiempo considerado antes del disparo y PEM es el tiempo después del disparo. Finalmente en la figura 3.17 muestra el resultado del registro sísmico. Incluye la porción de señal con el evento sísmico más la señal pre-evento y señal post-evento.

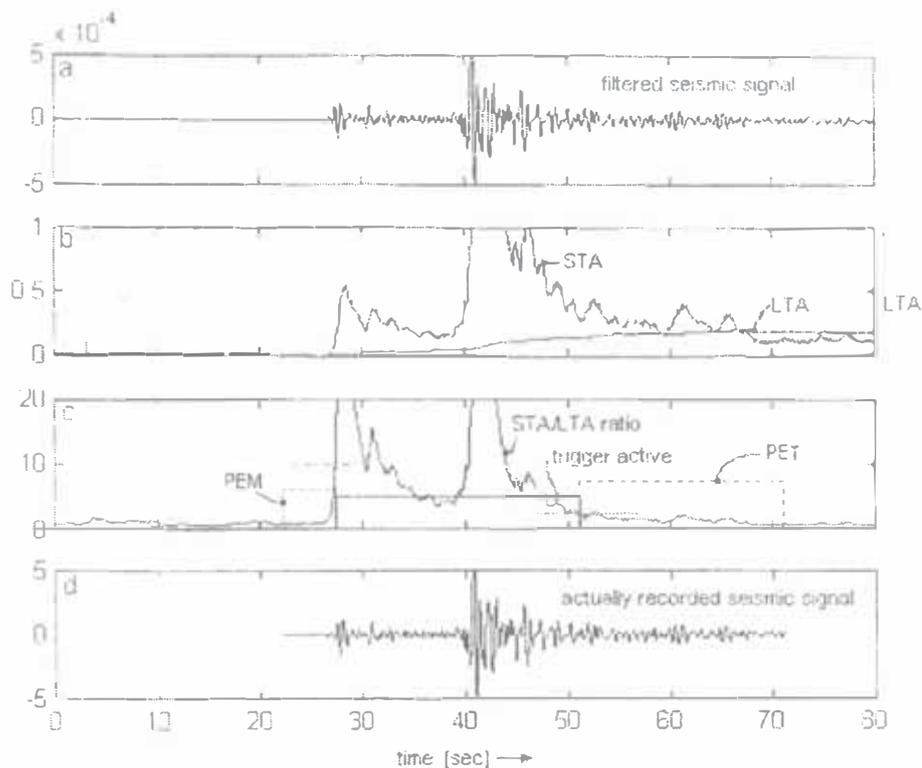


Figura 3.17 Evolución del algoritmo STA/LTA en la detección automática.

3.8.3 Programa de Detección Automática

La detección automática de eventos sísmicos en el presente desarrollo se basó en el algoritmo STA/LTA, implementado desde las ecuaciones 3.4 y 3.5. El programa lee los parámetros de inicialización desde un archivo creado por el usuario, la tabla 3.11 detalla los parámetros.

	Variable	Descripción	Valor predeterminado
1	TSTA	Tiempo de la ventana STA, en segundos	2
2	TLTA	Tiempo de la ventana LTA, en segundos	40
3	RATIO	Umbral para considerar un disparo	5
4	NRATIO	Umbral para considerar fin de disparo	2
5	TPEM	Tiempo de pre-evento, en segundos	15
6	TPET	Tiempo de pos-evento, en segundos	15
7	FLTA	LTA fijo justo después del disparo, V=verdadero o F=falso	V

Tabla 3.11 Parámetros utilizados por el programa de detección automática

El propósito del programa es registrar un evento sísmico detectado por el algoritmo STA/LTA considerando un tramo antes y después, (PEM, PET) ver figura 3.18 diagrama de flujo de la detección automática. Por ello en los parámetros se sitúa el parámetro tiempo pre-evento TPEM y tiempo post-evento TPET.

El programa establece la conexión con las variables globales del programa de adquisición, en donde fluyen los datos en forma de paquetes y formateados con la información respectiva. Dentro de las variables globales hay un indicador de nuevos datos, mediante el cual el programa se entera la presencia de la secuencia de datos en el sistema.

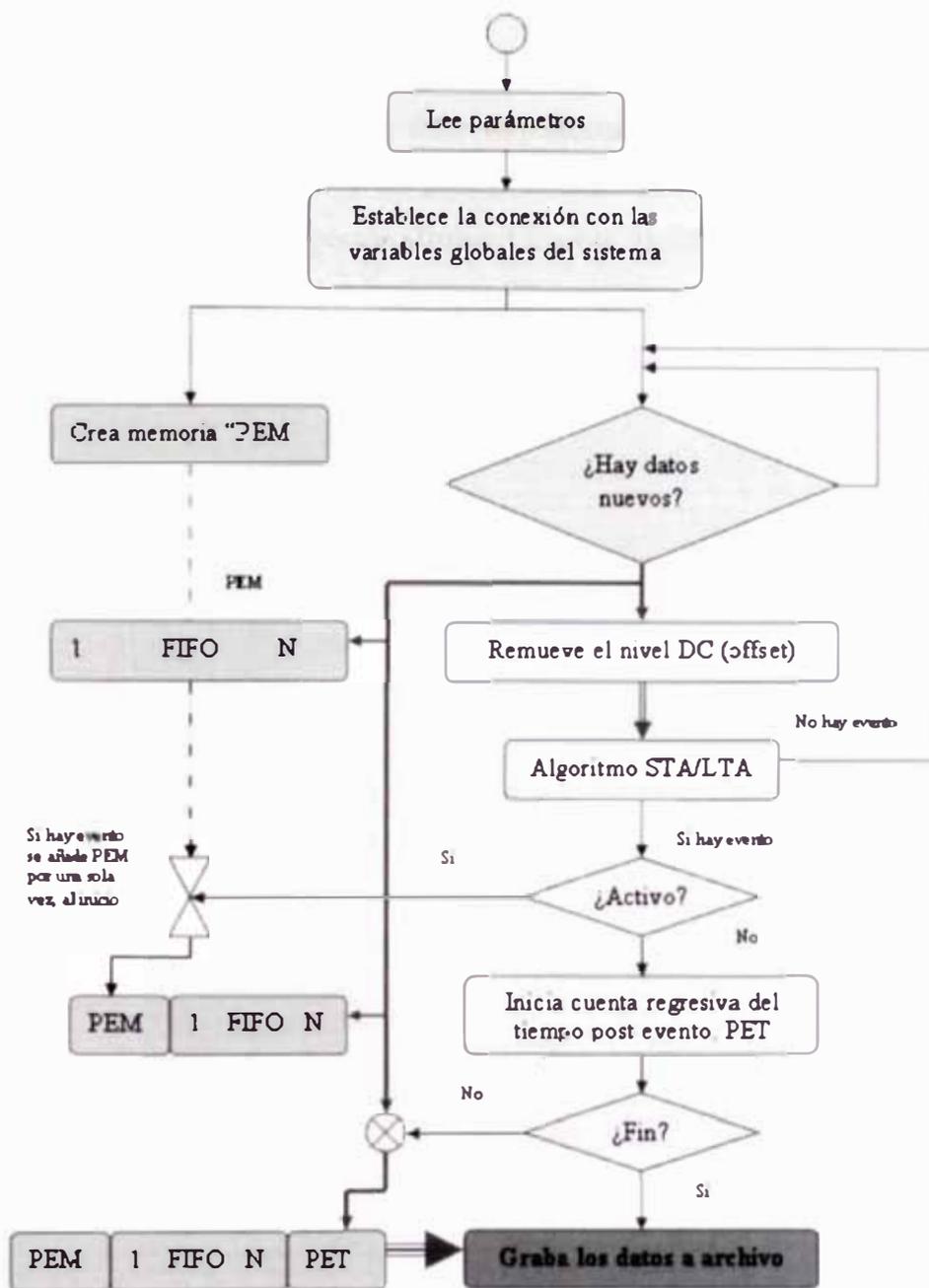


Figura 3.18 Diagrama de flujo del programa de detección automática.

La memoria PEM es de tipo FIFO donde se almacenan los datos pre-evento, esta siendo actualizado con los nuevos datos hasta que el algoritmo STA/LTA detecta un evento, a partir de ello se inicia la creación del registro sísmico del evento, cuando el algoritmo informa que el evento ha finalizado, “Activo” = OFF, el programa inicia la cuenta regresiva para considerar los datos pos-evento, de esta manera el programa crea un registro sísmico completo del evento.

3.9 Programa de Comunicaciones

El registrador sísmico esta en la capacidad de transmitir datos sísmicos a otros sistemas mediante el programa de comunicación, tiene implementado una aplicación cliente servidor a través de una dirección de Internet y un puerto TCP/IP. Los clientes hacen una solicitud de conexión y el servidor de datos responde afirmativamente transfiriendo los datos sísmicos de las variables globales del programa de adquisición. El programa usa las funciones estándares de comunicación sobre TCP-IP

CAPÍTULO IV

TEORIA DE OPERACIÓN

El registrador sísmico ADQREDES es un instrumento electrónico autónomo que requiere de los siguientes elementos mostrados en la figura 4.1 para funcionar.

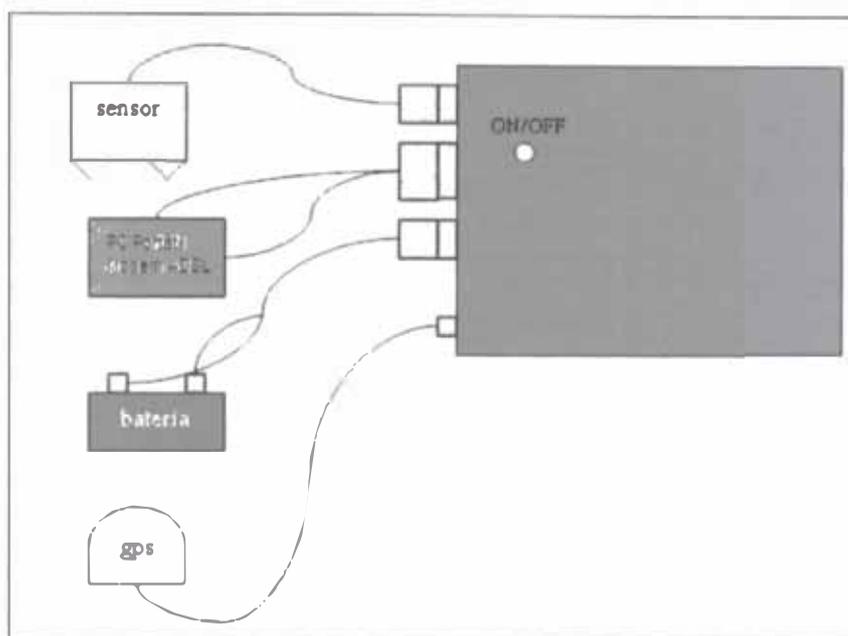


Figura 4.1 Conexión básica del sistema ADQREDES

La fuente de alimentación del sistema puede ser una batería estándar de 12 voltios o una fuente regulada de corriente continua que puede variar desde 9Vdc hasta 36Vdc, con capacidad de 10 vatios. El sensor sísmico (sensor) y antena GPS (gps) son considerados elementos indispensables para el funcionamiento del instrumento. La antena del receptor GPS debe estar con línea de vista al cielo para captar las señales de satélite del sistema GPS; la PC portátil o MODEM ADSL es el dispositivo mediante el cual el instrumento puede ser controlado en forma local o remota a través de una red de área local o Internet.

Una vez conectado el sensor sísmico, la antena GPS como se muestra la figura 4.2 se puede conectar la fuente de alimentación, el instrumento necesita más o menos 2 minutos para inicializar los programas que intervienen en la adquisición.

4.1 Modos de Controlar el Registrador Sísmico

A través de una computadora externa, como se muestra la figura 4.2, el registrador sísmico puede ser controlado, realizando acciones que faciliten la operación como por ejemplo: parando la adquisición, recuperando la información sísmica, etc. Por defecto el registrador inicia la adquisición con los parámetros de la última adquisición realizada. Los parámetros pueden ser modificados mediante el programa PARAMS.EXE desde la computadora externa conectado a través del puerto ethernet.

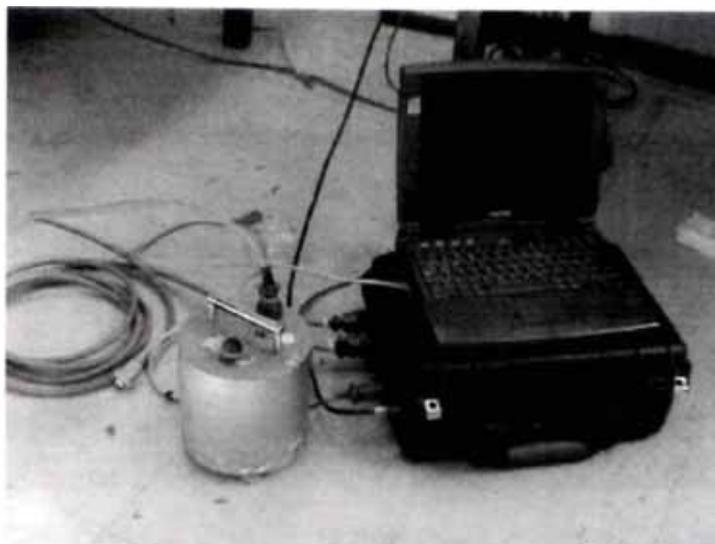


Figura 4.2 Conexión típica del registrador ADQREDES

El registrador sísmico y la computadora externa puede conectarse a través de un cable UTP, el registrador sísmico reconoce automáticamente si esta conectado a una red local (LAN) o directamente al interfase de red (ethernet) de la computadora externa. Hay un programa básico que interactúa con el registrador sísmico, dicho programa fue desarrollado exclusivamente para configurar el funcionamiento del registrador sísmico, la ventana del programa PARAMS.EXE se muestra en la figura 4.3, cada registrador sísmico tiene asignado un número IP de clase C que es identificado en la red con el protocolo IP.

El usuario debe tener una copia del programa PARAMS.EXE, el número IP del instrumento esta etiquetado en la tapa interior, el ultimo octeto coincide con el número de serie del instrumento, por lo que el usuario debe llenar este número IP en el campo correspondiente ADQ_IP, luego iniciar el programa pulsando la tecla de funciones F5, mediante el cual se obtiene la configuración en curso. Dicha configuración puede ser cambiada de acuerdo a las

necesidades del usuario, la frecuencia de muestreo puede variar desde 5mps hasta 200mps, el nombre de estación puede variarse para identificar el lugar, el tipo de sensor sísmico y otros datos que son información preponderante para el análisis. Si se ha realizado cambio en algún parámetro, se transfiere las modificaciones al registrador sísmico con la opción “Escribir parámetros” en “SELECCIONAR”. El sistema al recibir el archivo con las modificaciones iniciara nuevamente el programa de adquisición con los nuevos parámetros.

Los cuadrados amarillos y verdes con indicares “NO” y “SI” permite al usuario habilitar los canales, luego poner nombre a cada uno de estos canales, en un sensor triaxial los canales pueden ser “VERTICAL”, NORTE” y “SUR”, luego mediante la habilitación en la sección “RegContinuo” puede decidir que canales se registran en continuo. Como se observa todos los parámetros son determinantes en la toma de datos, el nombre que identifica la estación “ESTACION”, si hay sincronización GPS, muchas veces se tiene que registrar en un tunel donde no hay recepción de señal GPS por lo que se deshabilita el GPS; el tamaño en segundos de cada uno de los registros sísmicos en continuo está dada por “LenDeRegistro”; la amplificación esta dada por “MaxEscala”; velocidad de muestreo “FrecM”, el número de sensor “NroSensor”. El programa es muy útil para personalizar el registro sísmico. El programa PARAMS.EXE crea y/o modifica el archivo de configuración ADQ.PAR, luego transfiere al registrador.

El programa también puede configurar remotamente a más de un instrumento si ellos forman parte de una red local (LAN).

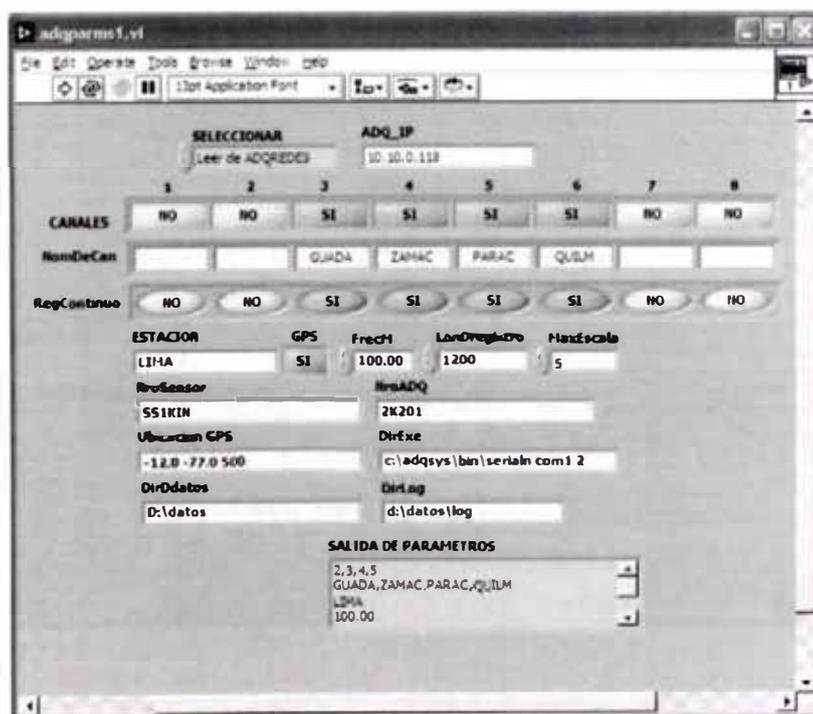


Figura 4.3 Programa PARAMS.EXE

El registrador tiene habilitado un servicio de Windows Microsoft "Terminal Server", permite emular el video, teclado y Mouse del instrumento, mediante el cual el usuario tiene control total. Este servicio permite configurar, verificar las diferentes ventanas del sistema.

4.2 Adquisición Continua y por Eventos

El programa de adquisición inicia la operación leyendo el archivo ADQ.PAR, luego con estos parámetros inicia la adquisición generando los datos formateados en una memoria circular tipo FIFO, de esta memoria el programa de adquisición toma los datos equivalente a la longitud de registro establecida para generar los datos secuenciales en forma continua. El archivo de parámetros ADQ.PAR esta detallado en la tabla 3.8. La figura 4.4 muestra el programa de adquisición en funcionamiento, el lado izquierdo muestra los parámetros de inicio del archivo ADQ.PAR en la derecha hay cuadros que reportan los resultados de la adquisición. Si hay alguna falla en el sistema, el programa reporta los errores a un directorio visible por el usuario. El reporte de funcionamiento se encuentran en el directorio LOG, cada reporte es un archivo de nombre fecha y hora, en formato texto.



Figura 4.4 Programa principal de adquisición

El programa de detección de eventos sísmicos se ejecuta conjuntamente con la de adquisición. La figura 4.5 muestra las características del programa de detección automática de eventos en el sistema, en donde el operador puede realizar ciertos ajustes. Como desactivar los canales para no ser consideradas en el algoritmo STA/LTA, por defecto se hizo que todos los canales estén activos, en la figura de abajo, los botones indicando ON pueden ser puestos a OFF para desactivarlos. También el operador puede establecer el número mínimo de canales para determinar un disparo, en la figura 4.3 en "ChanNum" se muestra el número 2, significa que tiene que haber por lo menos dos señales que activen el algoritmo para iniciar una grabación. Los recuadros que están marcados con OFF muestra el resultado del algoritmo STA/LTA, cuando un canal del sensor detecta una señal sísmica este recuadro se pone en ON, y si hay mas de dos, se inicia el proceso de registro sísmico generando un archivo de datos.

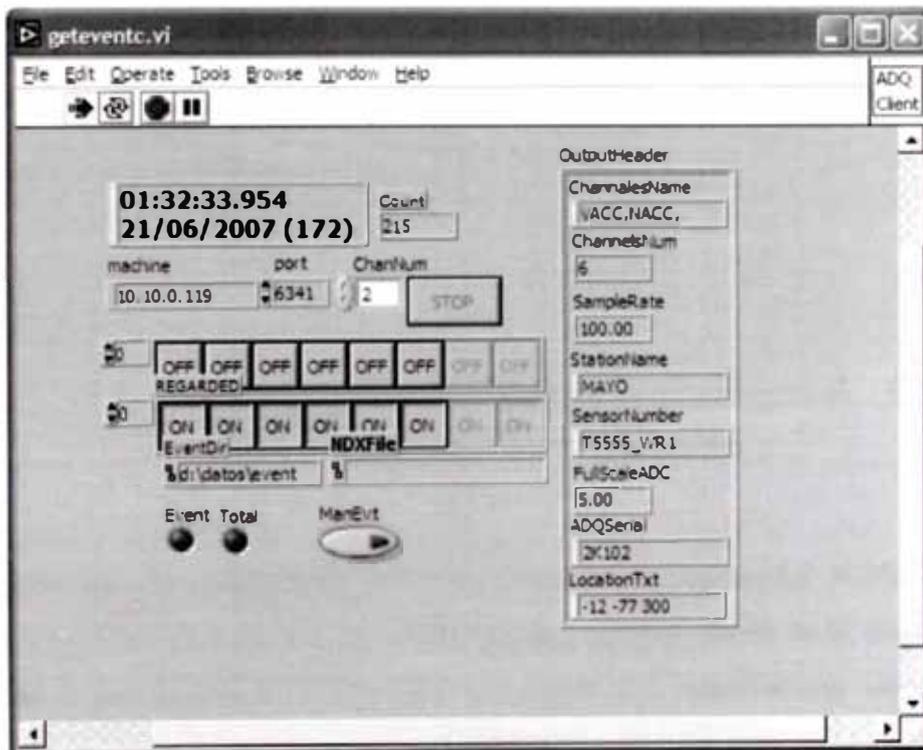


Figura 4.5 Vista del programa de detección automática

4.3 Importación de los Datos

El sistema importa los datos a través de una conexión TCP-IP, luego de iniciar la adquisición el sistema levanta una aplicación con el propósito de transmitir los paquetes con datos sísmicos en forma secuencial. Esta es una aplicación de servidor de datos. Una aplicación de servidor escucha por encima de todas las interfaces de red instalada en un puerto conocido.

Un cliente generalmente inicia comunicación de un interfaz específico desde cualquier puerto disponible, en este caso el puerto 6341 de TCP-IP es utilizado para establecer la comunicación de los clientes al servidor de datos. Más de un cliente puede conectarse al sistema solicitando datos, la aplicación fue programada hasta un máximo de diez usuarios. La figura 4.6 muestra la aplicación TCP-IP en el servidor de datos, el puerto 6341 puede ser cambiado en esta ventana, por otro lado se observa el tiempo del paquete de datos que está enviando y la secuencia, también el número de conexiones indica que dos clientes que están recibiendo datos del registrador sísmico.

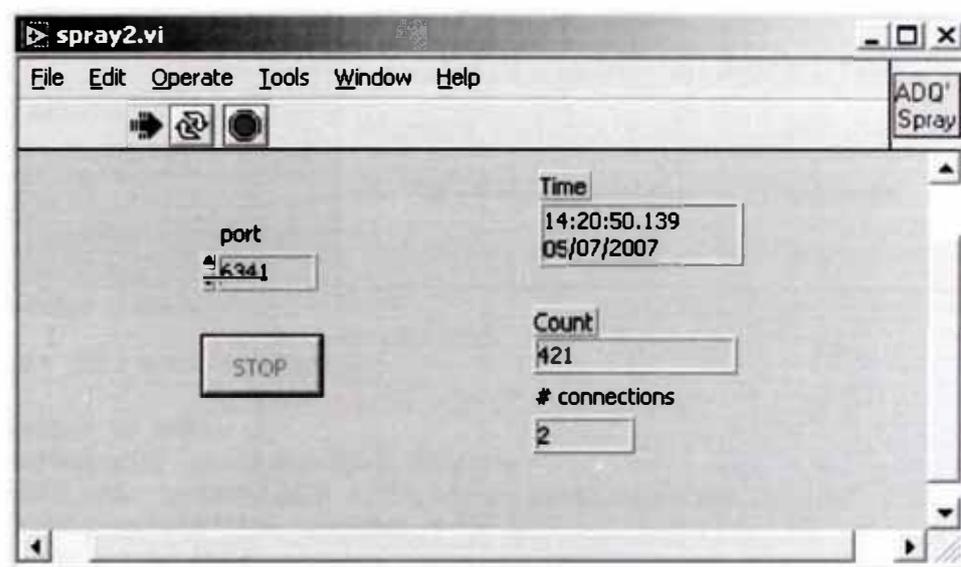


Figura 4.6 Programa de comunicaciones

El cliente que ha establecido una conexión con el registrador sísmico ADQREDES recibirá los datos en casi tiempo real, los cuales pueden ser registrados en el disco del cliente, en forma continua o por detección automática. La figura 4.7 muestra una ventana del cliente recibiendo datos donde se observa la onda sísmica, en la derecha reporta el tiempo del paquete de datos recibidos y el encabezado. El programa cliente requiere el número IP en el registrador sísmico para establecer una conexión. La tabla 4.1 muestra la estructura del formato de tiempo y del encabezado que recibe el cliente, también muestra parte del código donde el cliente establece la comunicación.

Estructura en la aplicación TCP-IP	Comentarios
<pre>Struct ADQ_TIME { unsigned int year; unsigned int julian; unsigned int month; unsigned int day; unsigned int hour; unsigned int minute; unsigned int sec; unsigned int msec;};</pre>	<p>Formato del tiempo en los paquetes de datos recibidos por el Cliente. Ejemplo 2007 186 07 05 22 05 11 914, corresponde al 05 de julio 2007, día juliano 186, a las 22:05:11.914 en tiempo universal.</p>
<pre>Struct ADQ_HDR { int MagicNum; struct ADQ_TIME at; int dataLen; char ch_name[256]; int ch_num; float sample_rate; char stname[8]; char sensornum[64]; float full_scale; char adq_serial[16]; char st_location[256];};</pre>	<p>Formato del encabezado que fluye en la red. La secuencia es: número mágico, tiempo, longitud de datos, nombre de canales, número de canales, velocidad de muestreo, nombre de estación, número de sensor, factor de escala (amplificación), número del registrador y ubicación del registrador.</p>
<pre>printf("\n\nADQSys v1.0\n"); if (argc > 2) { // Creamos el socket s = socket(A*_INET,SOCK_STREAM,0); if (s != -1) { bs.sin_family = AF_INET; bs.sin_port=htons(0); // se asigna un puerto disponible bs.sin_addr.s_addr = htonl(INADDR_ANY); //Asigna una IP del servidor if(bind(s,(struct sockaddr*)&bs, sizeof(bs)) != -1) { des.sin_family = AF_INET; des.sin_addr.s_addr = inet_addr(argv[1]); des.sin_port = htons(atoi(argv[2])); //Establece la conexión con la máquina remota connect(s,(struct sockaddr*)&des,sizeof(des)); while(1) { offset=0; nbytes = recv(s,resp,4 ,0); ConvInt(resp,&hsize); //SizeData(&hsize, resp); bzero(resp,strlen(resp)); nbytes = recv(s,resp, hsize,0); temBuf = (char *)malloc(hsize*sizeof(char) + 10); bzero(temBuf,hsize + 1); ProcesarDatos(&tempBuf, struct Encabezado, &data) } } } else { printf("ERROR: El socket no se ha creado correctamente!\n"); } }</pre>	

Tabla 4.1 Estructura de los datos recibidos por el cliente

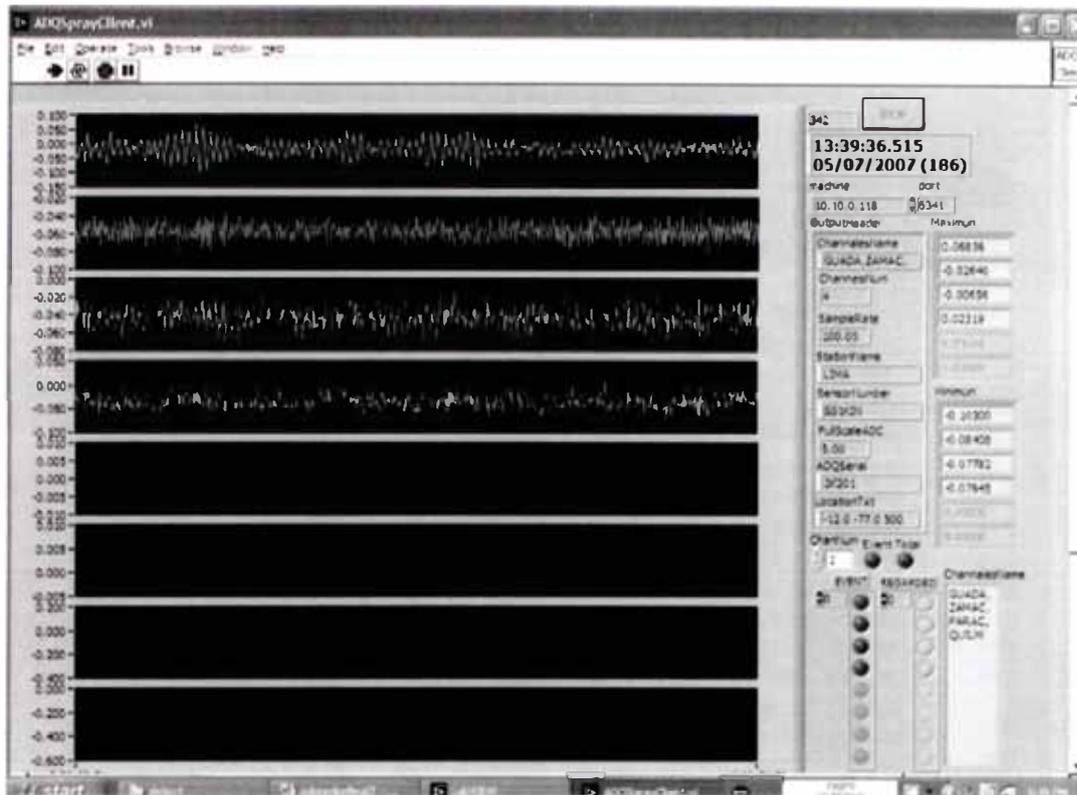


Figura 4.7 Ventana del programa cliente

4.4 Acceso y Transferencia de Datos Sísmicos

Los datos del registrador sísmico esta organizado bajo tres directorios como se muestra en la tabla 4.2.

Item	Directorio	Lcalización
1	Directorio Principal	Datos
2	Directorio de eventos	Datos\event
3	Directorio de reportes	Datos\log
4	Directorio de los datos	Datos\rawdata
5	Directorio de gráficos	Datos\tambor

Tabla 4.2 Directorio de los datos sísmicos

El directorio "Datos" en el registrador sísmico es el directorio principal del servicio con el protocolo de transferencia de archivos FTP que el registrador sísmico tiene instalado, mediante el cual el usuario esta en posibilidad de transferir la información registrada. Los archivos del registro continuo están organizados como se muestra en la figura 4.8, se genera un directorio por día indicando el año y día correspondiente, luego los archivos contienen datos

sísmicos correspondiente a 20 minutos, el nombre de estos archivos esta asociado al día juliano, la hora y minuto.

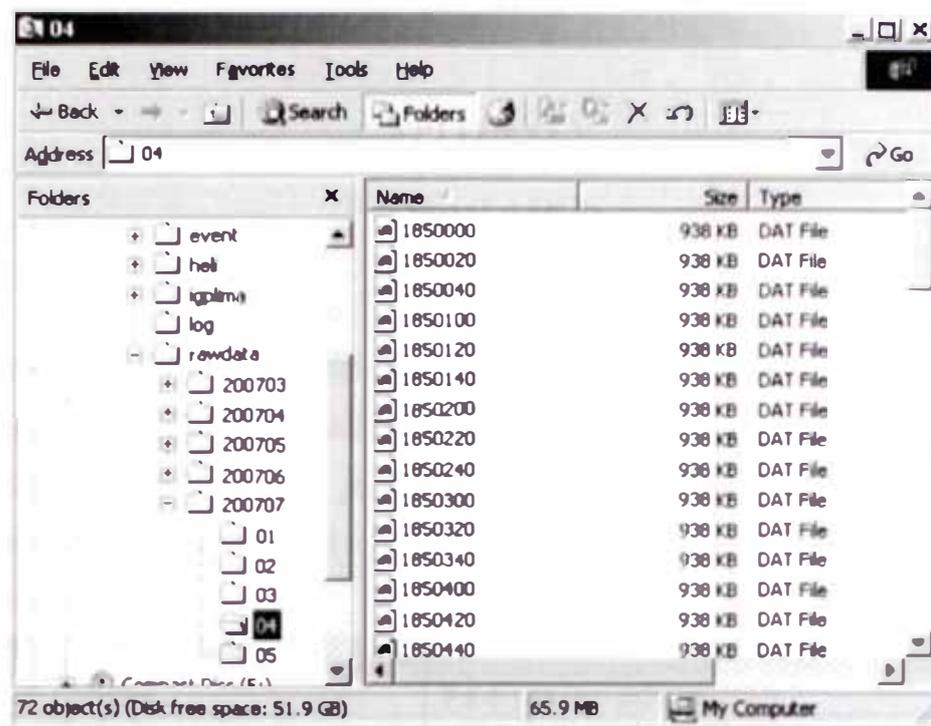


Figura 4.8 Distribución de los datos en el registrador

CAPITULO V

RESULTADOS

5.1 Especificaciones Técnicas del Registrador Sísmico Digital Adqredes

La tabla 5.1 muestra las especificaciones técnicas del Registrador Sísmico Digital. El equipo por defecto tiene 3 canales, puede agregarse un módulo ADC para incrementar a 6 canales sin hacer cambios sustanciales en el software. La figura 5.1 muestra el resultado final del diseño e implementación.

	Entrada de señal	
01	Número de Canales	3 a 6 canales diferenciales
02	Rango de voltaje	+/-10 voltios pico – pico
03	Impedancia de entrada	100G ohmios
04	Amplificación	x1 , x2, x4 y x8
	Digitalizador	
01	Tipo	Delta – Sigma
02	Velocidad de muestreo	5,10,20,40,50,100,200 muestras por segundo
03	Resolución	24bits
04	Formato	ADQ, SAC
05	Tipo de registro	Continuo, por disparo STA/LTA
06	Capacidad de almacenamiento	Disco duro 30Gb, compac flash 4Gb
07	Interfaz	RJ45 ethernet RS232 serial
08	Comunicación	TCP-IP, Serial PPP
09	Bus de expansión	PC104+
	Base de tiempo	
01	Sincronización del tiempo	Tiempo universal con receptor GPS
02	Precisión	0.1 milisegundos
	Potencia y protección ambiental	
01	Voltaje de operación	9 a 18 voltios DC
02	Consumo de potencia	11 vatios a 12Vdc
03	Temperatura de operación	-20 a 85 Celsius
04	Resistencia	IP67 (a prueba de agua)

Tabla 5.1 Especificaciones Técnicas del registrador sísmico digital ADQREDES

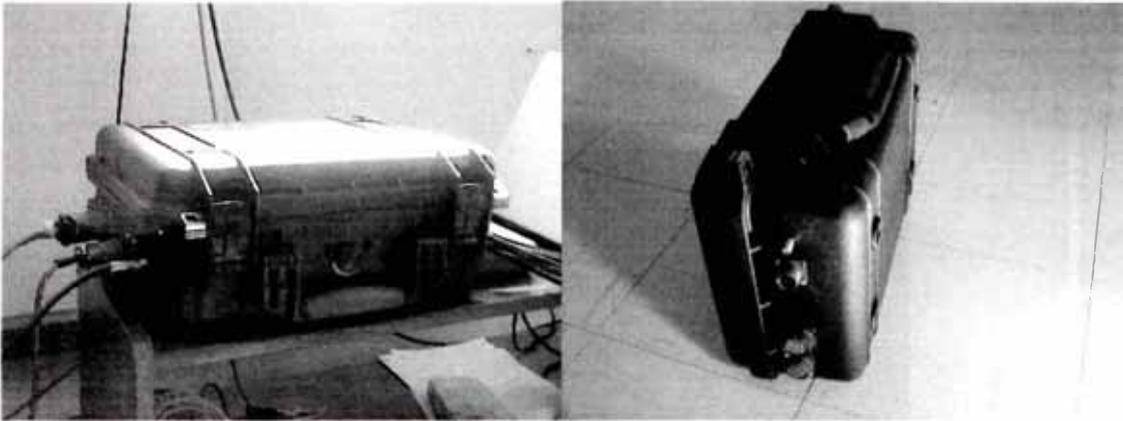


Figura 5.1 Registrador sísmico digital ADQREDES

5.2 Comparación del Adqredes con otros Instrumentos

El registrador sísmico digital ADQREDES fue comparado con otros registradores sísmicos de fabricación USA. Para ello se instaló en el Laboratorio Central del IGP diversos acelerógrafos, mostrado en la tabla 5.2, en la espera de un evento sísmico. En la figura 5.2 se muestran los equipos instalados para la prueba, todos fueron puestos a 200 muestras/segundo. El 02 de Julio 2003, a las 15horas 30minutos, sucedió un evento sísmico de magnitud 4.5MI, sentido en la ciudad de Lima con una intensidad de grado III-IV Mercalli modificada.

Equipo	Registrador/Res.	Sensor	Sensibilidad sensor
TERRA	GSR-12	FBA	0.5G
KINEMATRICS	ALTUS	FBA-23	1G
ADQ-IGP	ADQREDES	GURALP 5T	1G

Tabla 5.2 muestra los diversos instrumentos utilizados en la prueba.

El Registrador TERRA GSR-12 de tecnología americana, tiene una resolución de 12bits sensibilidad máxima 0.5G, tiene capacidad de almacenamiento reducido de 250Kbytes. El registrador Kinematics ALTUS, 18bits de resolución, registra por eventos, tiene memoria limitado de 10Mb. El registrador ADQREDES resolución 24bits, sensor GURALP 5T registra por eventos y en continuo debido a la alta capacidad de almacenamiento 20Gb. El registrador ADQREDES está en la posibilidad de ser usados en monitoreo continuo debido a la alta capacidad de almacenamiento que tiene.



Figura 5.2 Instrumentos utilizados la prueba del registrador ADQREDES

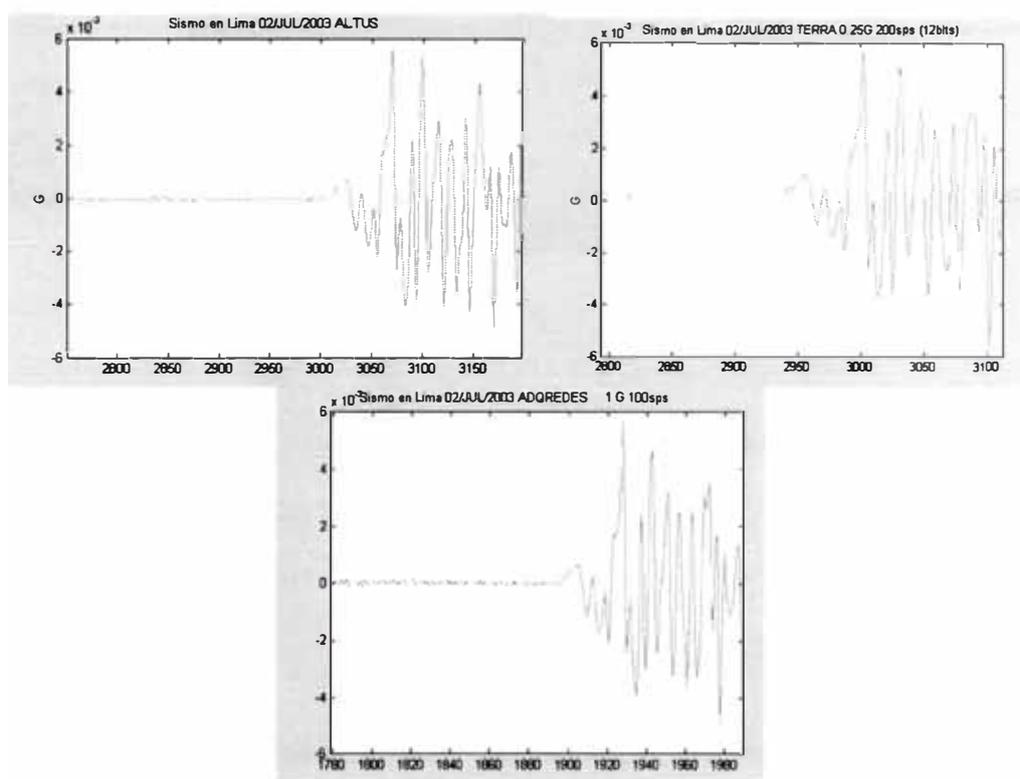


Figura 5.3 Registro de un evento sísmico con distintos registradores

Una parte de la señal del evento sísmico registrado por los tres instrumentos se muestra en la figura 5.3, en este caso la ventana de tiempo corresponde a 2 segundos, se presenta de esta manera para observar el detalle de la forma de onda, la señal de la izquierda corresponde al instrumento ALTUS, la señal de la derecha corresponde al instrumento TERRA, en la parte inferior se muestra la señal del registrador ADQREDES. Como se puede observar los tres

registros tienen la misma forma de onda, guardan relación de similitud, la señal sísmica no procesada es decir no hay filtros, la señal registrada por el registrador TERRA muestra el primer arribo parecido a unas gradas, debido a la resolución de 12bits.

En la figura 5.4 se muestra la forma de onda total, Mientras los registros del ALTUS ni del ADQREDES muestran esta anomalía. En el figura 5.4 la amplitud G es la aceleración de la gravedad, unidades de los sensores de aceleración.

Los registros fueron detectados en forma automática por los tres instrumentos, en la figura 5.4 se muestra los datos del registro de aceleración del evento en su totalidad.

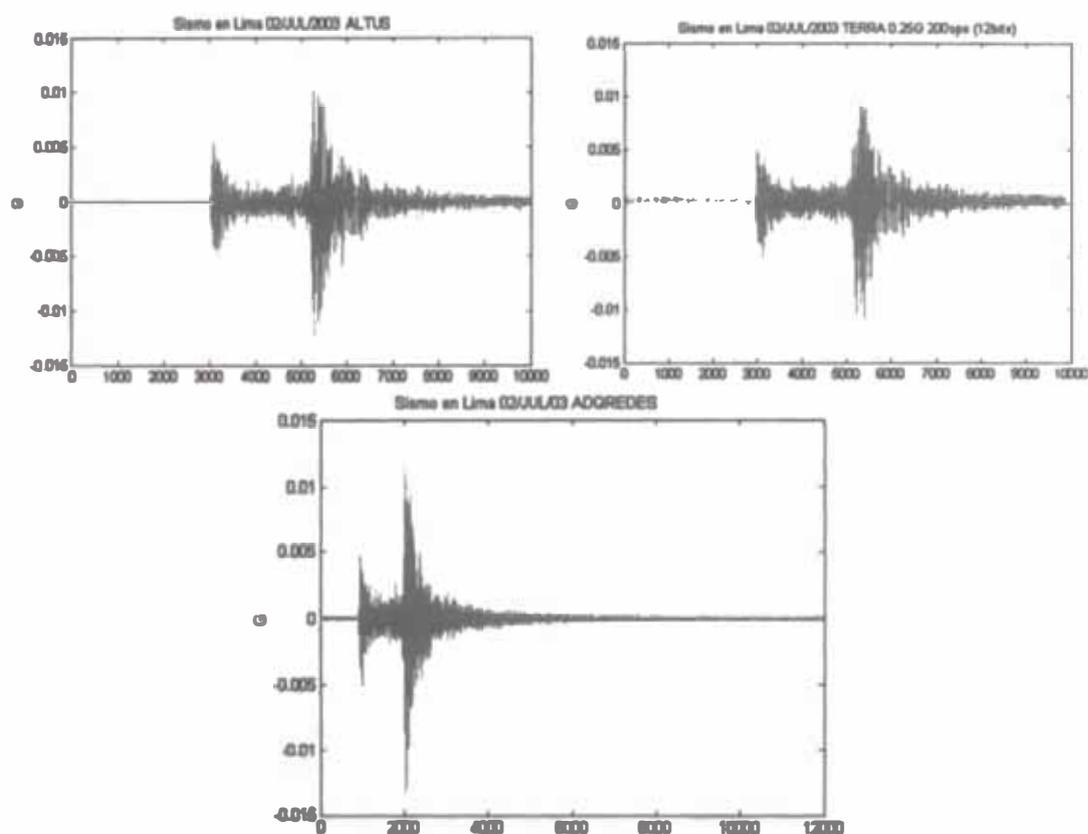


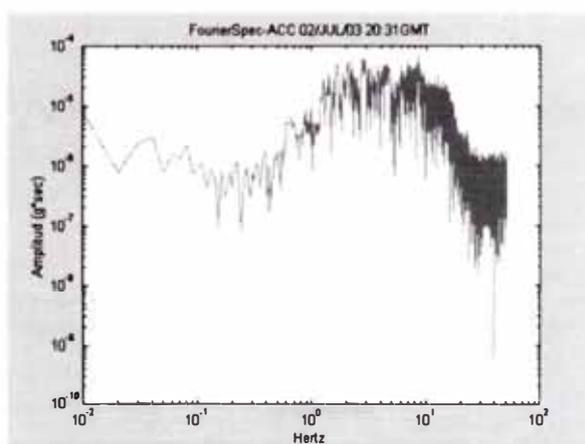
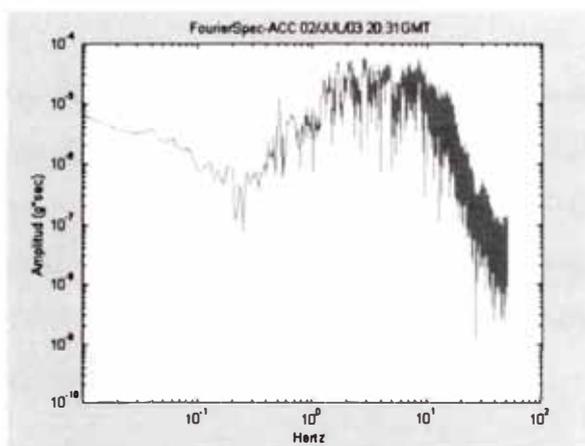
Figura 5.4 Registro sísmico completo de diferentes instrumentos.

Las amplitudes máximas de la señal se muestran en la tabla 5.3, este resultado muestra que los tres instrumentos tienen la misma amplitud en unidades de G considerando la milésima parte, pero en unidades de “gal” se observa que los datos del ALTUS y ADQREDES se aproximan con una diferencia de 0.029 gals. Las amplitudes tienen resultados congruentes por que es satisfactorio el resultado del registrador sísmico ADQREDES.

Instrumento	Aceleración en G	Aceleración en gal
ALTUS	0.01310g	12.8380
TERRA	0.01298g	12.7204
ADQREDES	0.01307g	12.8086

Tabla 5.3 Resultado del evento sísmico en diferentes instrumentos

La figura 5.5 muestra el resultado del espectro de Fourier calculado de las señales de la figura 5.3, el mismo sentido, gráfico de la derecha corresponde al espectro del instrumento ALTUS y la izquierda al instrumento TERRA y en parte baja al instrumento ADQREDES. Se observa que la señal tiene una frecuencia dominante entre 2Hz y 7Hz. En baja frecuencia se observa una diferencia en los espectros, ello es debido al rango dinámico del sensor sísmico.



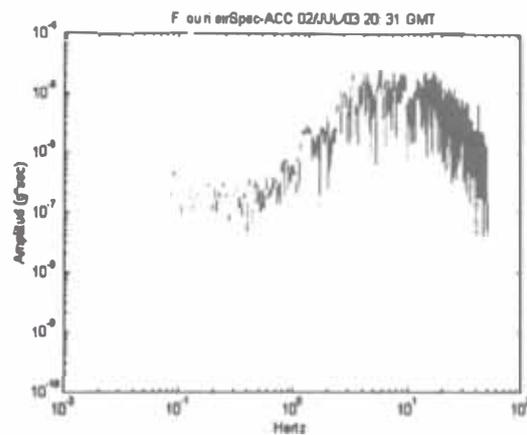


Figura 5.5 Espectro de Fourier del evento con diferentes instrumentos

5.3 Precisión del Tiempo

El reloj del sistema GPS mantiene actualizado el tiempo del instrumento, cada veinte minutos (1200 segundos) se realiza una actualización al reloj del CPU, la figura 5.6 muestra las fluctuaciones del reloj del CPU respecto al tiempo preciso del GPS durante un día (86400 segundos), se observa que el reloj del CPU tiene un corrimiento negativo de 0.025mseg en la mayoría del tiempo y 0.035mseg en otro caso. Por lo que se demuestra que el instrumento tiene una base de tiempo preciso y consistente durante el tiempo.

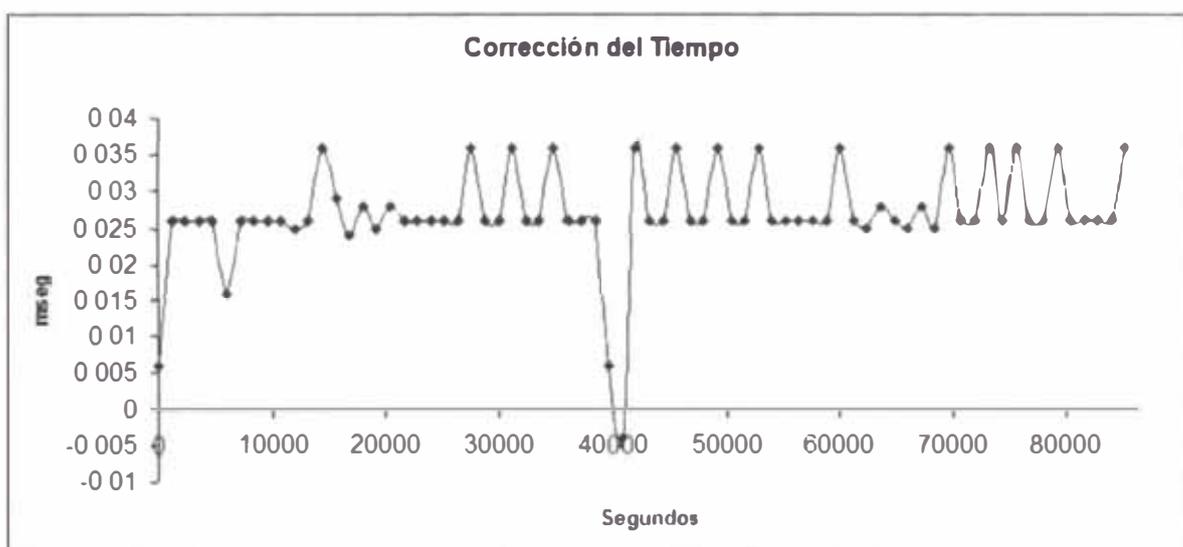
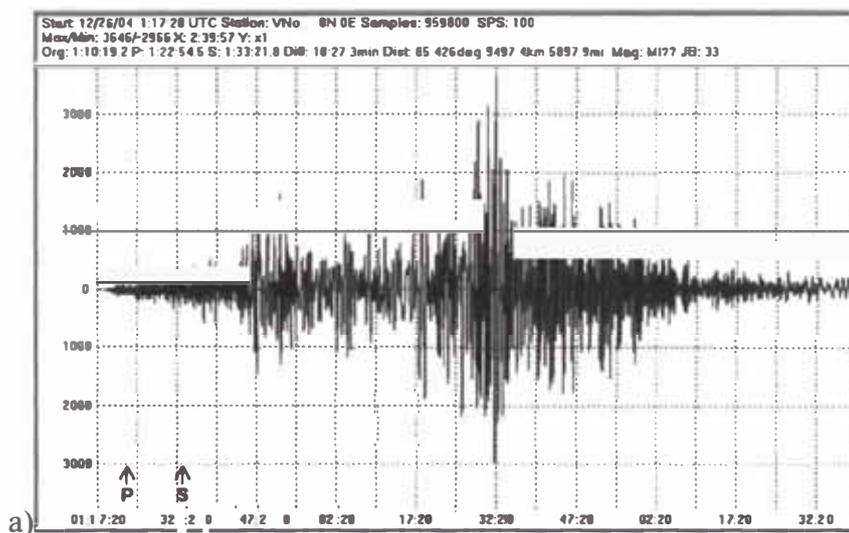


Figura 5.6 Corrección del tiempo del sistema

El tiempo es imprescindible para incorporar los datos a un centro sismológico de recepción de señales de estaciones remotas, con los cuales calculan los epicentros y demás parámetros de un evento sísmico en casi tiempo real. El parámetro en común de los registros sísmicos es el tiempo universal.

5.4 Registros Sísmicos

El registro sísmico digital generado por el sistema ADQREDES tiene un encabezado con parámetros correspondientes a la toma de datos, como la frecuencia de muestreo, el código de la estación remota con el cual puede ser identificado, características del sensor sísmico, tipo de orientación del sensor y datos referenciales donde se adquirió los datos. La sensibilidad del registrador cubre el rango dinámico del sensor sísmico de banda ancha Guralp 40T (115dB), capaz de captar ondas sísmicas muy pequeñas, y rango dinámico del módulo ADC de 140dB. En la figura 5.7 se muestra la forma de onda de 2 horas 40 minutos del terremoto ocurrido al otro lado del continente, cerca de las costas de Sumatra, magnitud 9.0, el 25 de diciembre 2004 a las 20:17 hora local, el registro sísmico fue recuperado del registrador sísmico ADQREDES. La figura 5.7b muestra el inicio de la onda del terremoto, la figura 5.7c muestra el espectro FFT de la serie de tiempo representado en el registro sísmico, se observa que el contenido de frecuencia se encuentra entre 0.01Hz (100 segundos) hasta 0.05Hz (20 segundos), típico en telesismos.



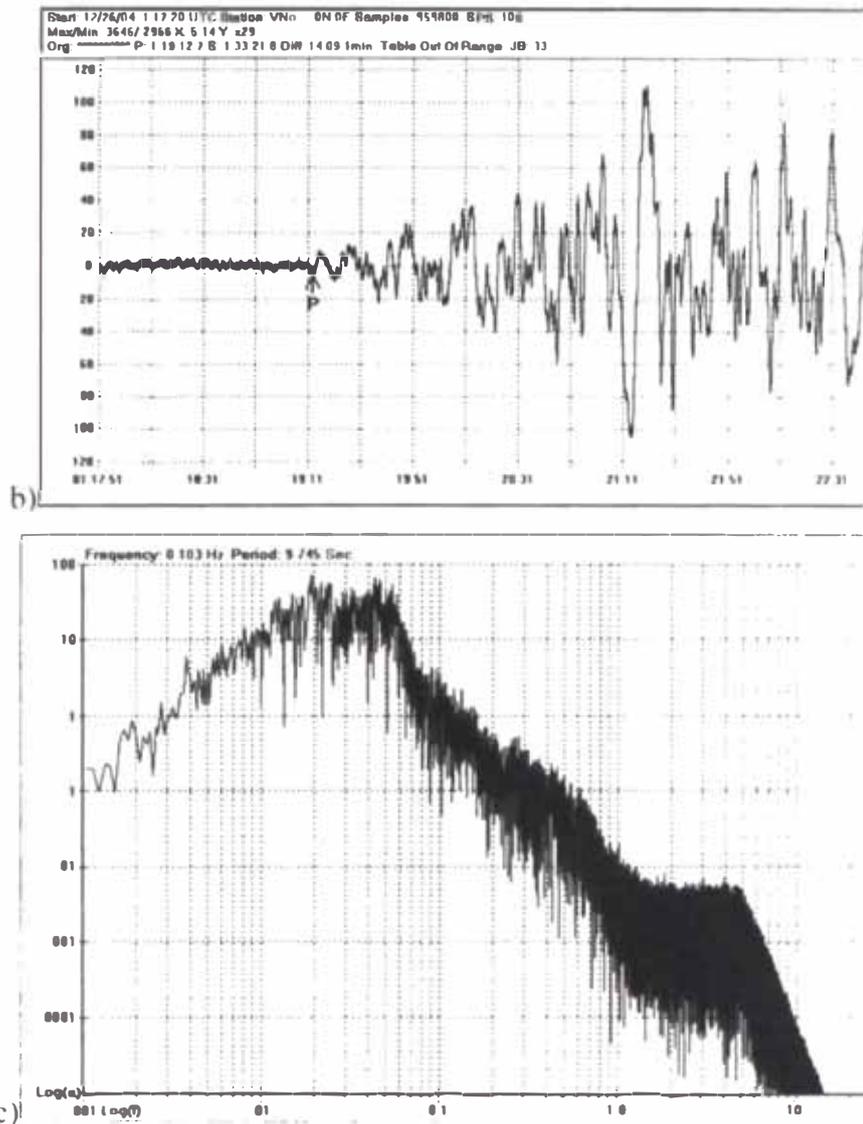


Figura 5.7 Registro sísmico registrado por el sistema ADQREDES

La figura 5.8 muestra el registro sísmico de una señal sísmica local recuperado del registrador sísmico ADQREDES, la fuente del evento sísmico es relativamente cercana como puede observarse el espectro FFT, el contenido de frecuencia está por 2Hz, a diferencia de un sísmo de fuente lejana este tiene componentes de más alta la frecuencia.

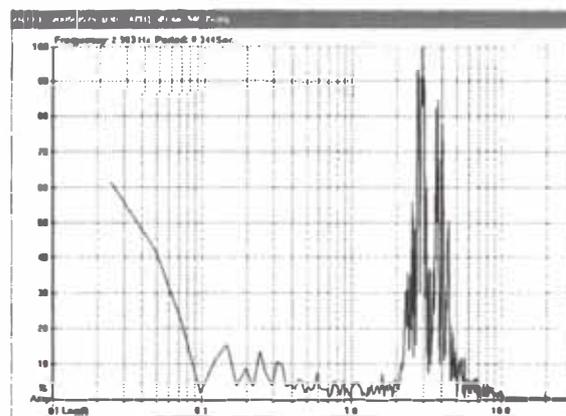
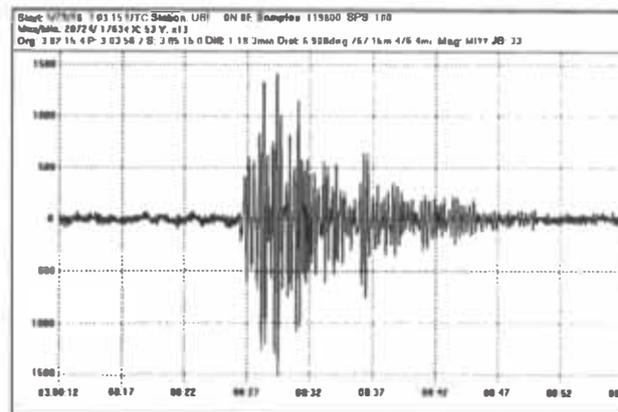


Figura 5.7 Registro sísmico de un evento sísmico cercano

Los datos sísmicos producidos por el registrador ADQREDES son procesados por diferentes programas de análisis, la figura 5.9 a) y b) muestra el resultado del procesamiento de una señal sísmica de origen volcánico con diversos programas.

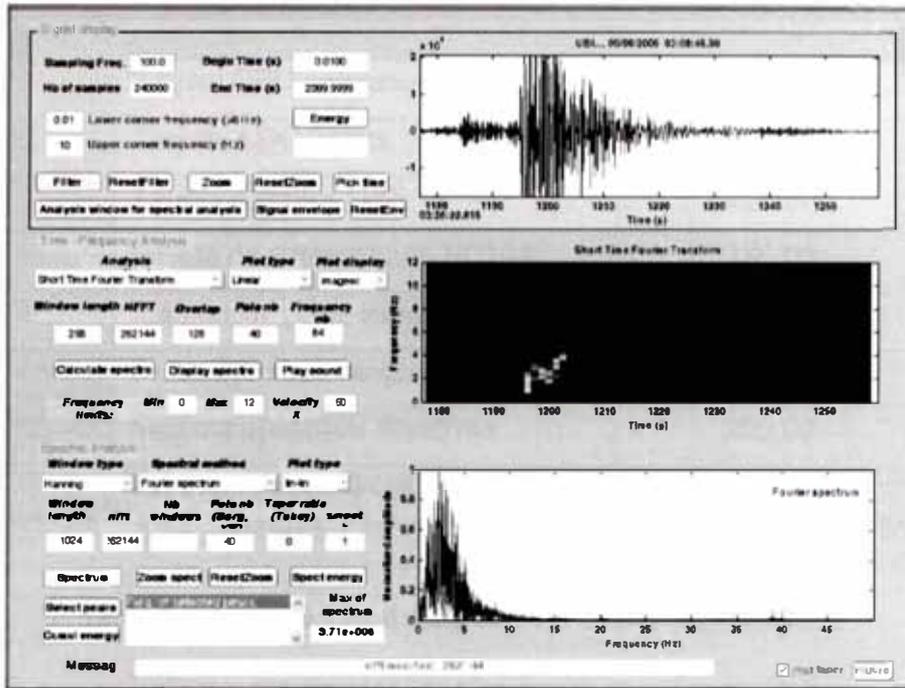


Figura 5.8 a) Programas de análisis con los datos de los registros del ADQREDES

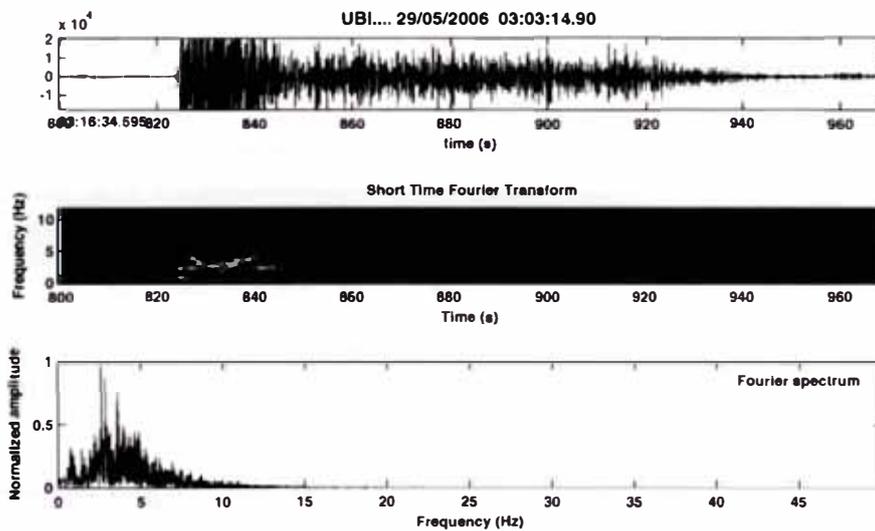


Figura 5.8 b) Resultado de análisis de sismos volcánicos

5.5 Análisis de Costos

Los costos del hardware y software utilizados en el desarrollo del registrador ADQREDES se encuentran detallados en la tabla 5.4.

Ítem	Descripción	Costo en dólares
01	Tarjeta CPU con rango extendido	1000.00
02	Tarjeta ADC 24bits	1150.00
03	Tarjeta receptor GPS	120.00
04	Fuente de alimentación PC104	180.00
05	Maleta con protección IP67	70.00
06	Disco duro con rango extendido	200.00
06	Sistema operativo Windows	200.00
	TOTAL Precio FOB	2920.00

Tabla 5.4 Costo del hardware del registrador ADQREDES

El costo son calculados con precios en el mercado americano, la importación de dichos componentes suman un exceso de 40%, gastos por impuestos y otros gastos. Por lo tanto el costo del hardware del instrumento asciende a 4088.00 dólares, a ello hay que añadir el costo de los materiales usados durante la implementación, como aluminio, tornillos adicionales, acabados suman 200.00 dólares; siendo el costo final 4288.00 dólares. En la tabla 5.5 se muestra el costo de instrumentos similares en el mercado americano. En conclusión el registrador sísmico ADQREDES cuesta 65% menos. Fuente de los costos fueron obtenidos de <http://www.iris.edu/USArrav/dataacquisition.htm>

Ítem	Descripción	Costo en US Dólares	Costo en Perú Dólares (+ 40%)
01	Registrador sísmico REFTEK 130	9000.00	12600.00
02	Registrador sísmico Quanterra Q330	10000.00	14000.00

Tabla 5.5 Costo de instrumentos similares para importación

5.6 Limitaciones del Registrador Adqredes

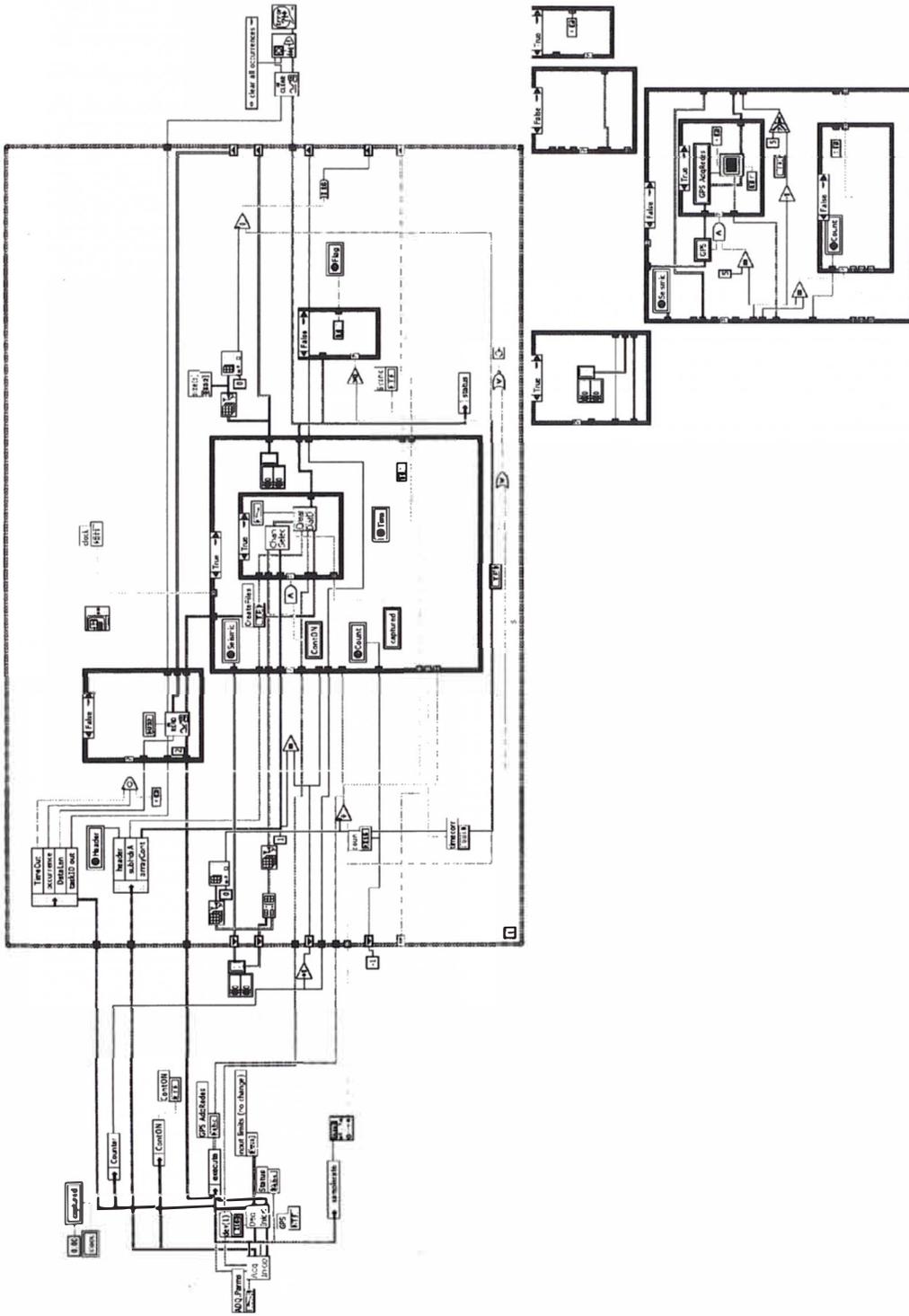
El registrador sísmico ADQREDES energizado con una batería estándar de 12 voltios marca DELCO modelo S2000 funciona por un cinco días registrando en forma continua. Comparado con otros registradores de tecnología extranjera, el ADQREDES consume un 50% más, esto debido al hardware utilizado son diseñados para propósito general, y el hardware de los registradores importados son diseñados específicamente para adquirir datos sísmicos. El consumo del registrador sísmico ADQREDES esta alrededor de 9 vatios, con un voltaje de 12 voltios, la corriente es 0.75 amperios, más el consumo de un sensor sísmico y equipos de

comunicaciones el consumo de un sistema completo asciende a un amperio, por lo que el consumo por día es 24 amperios-hora. Los paneles solares utilizados son de 75 vatios con una eficiencia de 25%, de la hoja de datos del panel solar marca SHELL modelo SQ75 la corriente promedio en la mayoría de zonas del Perú es 1.5 amperios durante 8 horas, esto equivale a una carga de 12 amperios – hora, por lo tanto dos paneles solares en paralelo son necesarios para mantener un sistema sísmico con registrador ADQREDES y telemetría digital.

El registrador ADQREDES tiene ventajas sobre los otros registradores, por lo mismo que tiene tarjetas compatible de una computadora tiene implementado el soporte en comunicación remota. Mientras los registradores sísmicos importados requieren de equipamiento adicional para contar acceso remoto de los datos sísmicos.

A N E X O S

A.1 PROGRAMA DE ADQUISICION EN LABVIEW NI

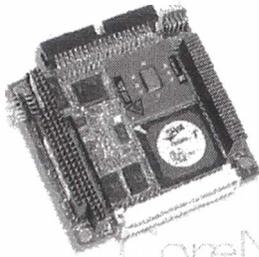


A.2 HOJA DE DATOS DEL CPU

PC/104 Products



Ampro CoreModule™ 600 Celeron® PC/104-Plus Single Board Computer Highly Integrated, High Performance, RoHS-Compliant



CoreModule 600

Choose Ampro CoreModule™ 600 for...

Embedded applications that need high performance in a compact size and RoHS compliance.

Description

Ampro CoreModule™ 600 offers ultra low-power Celeron® performance with advanced networking, high-performance graphics and all of the PC-compatible component subsystems.

(Not recommended for new designs.)



- 10/100 Ethernet
- 2 Serial, 2 USB ports
- PC/104-Plus expansion

Ordering Information

MODEL	DESCRIPTION
CM3-600-K-02	400MHz QuickStart Kit (H-02 SBC, 256MB DRAM, Cable Kit, Software, Documentation)
CM3-600-R-01	400MHz ULV Celeron® CPU, PC/104-Plus Ethernet, Video, 2 COM, 128MB DRAM
CM3-600-R-02	400MHz ULV Celeron® CPU, PC/104-Plus Ethernet, Video, 2 COM, 256MB DRAM
CM3-600-W-01	Cable Kit

Specifications

PROCESSOR

- 400MHz Ultra Low Voltage Celeron®
- Cache – 256kB Level 2
- Chipset – Via Twister-T
- FSB – 100MHz
- System Controllers – PC-compatible DMA and Interrupt controllers and timers
- Real Time Clock – Battery-backed RTC/CMOS
- Watchdog Timer
- Powerfail Reset – Triggers when key voltage drops below predetermined threshold

MEMORY

- DRAM – Up to 256MB soldered SDRAM

BUS INTERFACE

- PC/104-Plus (ISA and PCI)

I/O

- IDE – Single PCI-bus Enhanced Ultra DMA 33/66/100 synchronous IDE interface supports up to two hard drives
- Compact Flash Socket on primary IDE
- Serial – 2 ports, one is RS232/422/485
- Parallel – EPP/ECP bidirectional port
- Floppy – Supports 1 or 2 drives, shared with parallel
- USB – 2 USB 1.1 ports (two root hubs)
- Keyboard/Mouse – PS/2 interface

NETWORK INTERFACE

- Ethernet – Intel 82551ER 10/100BaseT

VIDEO INTERFACE

- Controller – Integrated S3 Savage ACP 4X
 - DVD Multimedia Accelerator
 - Supports resolutions to 1600x1200
 - Up to 32MB UMA Frame Buffer
 - Supports TTL and STN LCDs and digital panels
 - Supports 3.3V, 5V flat panels

SOFTWARE

- OS Support – Linux® 2.4, 18, VxWorks® v5.5, QNX® v6.3, Windows® CE 5.0, XP, XPe (See Web site for details)
- BIOS – General Software 5.2 with Ampro extensions

MECHANICAL

- Size – 90x96mm (3.6x3.8"); PC/104-Plus form factor
- Power Requirements – (with 128MB RAM, 100% Unloaded)
 - 1.8A @ 5V
- Temperature (100 CFM system airflow)
 - Standard: –20° to +70°C
 - Optional: –40° to +85°C
 - Storage: –65° to +85°C
- Board Thickness – .093" (2.3mm)

For more information, pricing, and details on volume discounts, please call us at 1.800.966.5200 or +1.408.360.0200. We'll immediately connect you to your local distributor.

Don't see the product you need? Contact us at 1.800.966.5200 or +1.408.360.0200 for information about our semi-custom and custom solutions.

Get Started Today. Order a QuickStart Kit Now.



AMPRO

2515 Hellyer Ave., Ste. 110, San Jose, CA 95138 Tel. 408.360.0200 Fax 408.360.0222 sales@ampro.com

JAN.07

A.3 HOJA DE DATOS DEL ADC

DT9820 Series

BUS: USB

Type: Ultra-High Resolution Multifunction

DT9820 Series

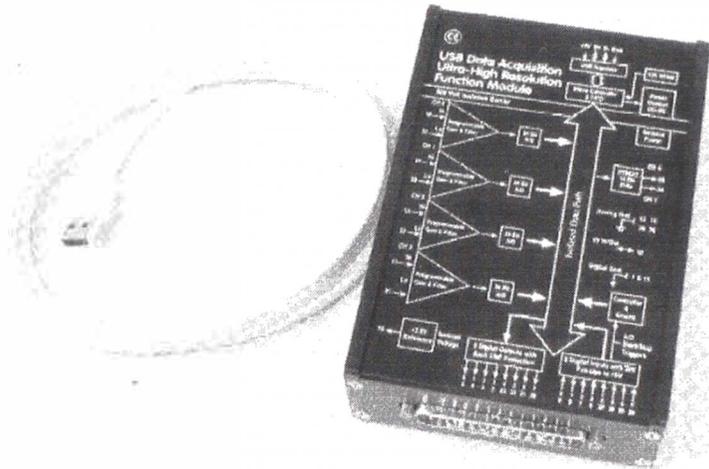
Ultra-High Resolution USB Module.

Isolated 24-Bit at 7.5 Hz to 16-Bit at 960 Hz.

Simultaneous Acquisition of up to Four Channels All Powered on USB.

Key Features

- Four separate 24-bit A/D converters.
- Time base independent channels.
- Variable resolution is set based on sample rate.
- 16-bit analog output (DT9822).
- 16 Digital TTL input/output signals (8 in and 8 out).
- External start/stop control lines for each A/D converter.
- Simultaneous subsystem supported to write/read from all subsystems independently.
- True plug-and-play:
 - One cable supplies both power and all connections to the USB module.
 - All connections are external so you do not need to open the PC chassis for installation.
- Hot-swapping capability lets you plug and unplug while your PC is on; no rebooting is required.
- 500 V Isolation prevents ground loops and protects your computer.
- Fully compatible with USB 2.0 and 1.1.
- Supported by DT Measure Foundry, test and measurement application builder software that lets you easily create complex measurement applications.
- Ships with DT-Open Layers for .NET Class Library, ready-to-run applications, DT Measure Foundry evaluation, and much more.



The DT9820 Series is a family of ultra-high resolution USB function modules. Featuring four independent 24-bit A/D channels that can measure extremely tiny signals to 60ppb while protected against unwanted voltage levels of more than 500V.

Overview

The DT9820 Series modules are multifunction ultra-high resolution data acquisition modules for the Universal Serial Bus. The Series offers four 24-bit A/D converters for applications that require the highest level of accuracy. The channels are able to start/stop independently of each other, allowing individual channels to be added or removed from the scan list while the ADC is running to support industry standard time base independence.

24-Bit Resolution Separates Minute Traces

The boards can electronically resolve 1 part in 16,777,216 (at 24 bits; equivalent to 60 ppb, or 0.13µV-s) from your transducers. Resolution is variable on each integrator, letting you sample at a higher speed where less resolution is needed — from 7.5 samples per second at 24 bits to 960 samples per second at 16 (1 part in 65,536).

Features Summary

Product Name	Analog Inputs	Input Resolutions	Sample* Rate	Analog Outputs	Output Speed	Output Resolution	Digital I/O (TTL)
DT9821	4 Independent DI	24-bit Variable	6.25 S/s - 960 S/s	-	-	-	8-8
DT9822	4 Independent DI	24-bit Variable	6.25 S/s - 960 S/s	2	1 kHz**	16	8-8

* Throughput is related to resolution.

** System dependent.

Analog Inputs

The DT9820 Series has 4 simultaneous independent differential inputs that can run at a sampling range of 6.25 S/s to 960 S/s based on resolution. Software selectable gain settings of 1, 2, 4, 8, 16, 32 and 64 are available, resulting in bipolar input ranges of +/- 2.5, 1.25, .625, .3125, .15625, .078125, and .039062 volts, input ranges of 0 +/- 2.5, 1.25, .625, .3125, .15625, .078125, .0390625 volts, and an offset unipolar custom input range (see the analog input specifications). The custom input range can be useful for some chromatography application. The analog input subsection features software calibration for pot-less operation.

Time Based Independence

The DT9820 Series allows for independent channel acquisition with up to four input channels. You can start a "run" at any time you want, regardless of the other channels' operations. You arm the channel in software and start the "run" via a hardware switch (trigger). A typical run might have channel 1, 2, and 3 set to take 50 samples/s for 10 minutes. While this is running, another user can set up the fourth channel to do a twenty-five minute run and start that at anytime via a hardware switch enable. At the same time, the software has access to all the data that has been collected.

500 V Isolation Protects Your Data

Because they reside outside the computer, USB modules are susceptible to ground-spikes. These spikes can cause system crashes and may even cause permanent damage to your computer. The DT9820 Series features 500 V optical and galvanic isolation that protects your computer from groundspikes and ensures a reliable stream of data.

Acquisition Modes

DT9820 Series modules can acquire a single value from any channel or a number of samples from multiple channels. To acquire data from multiple channels, DT9820 Series modules provide two scan modes: continuously paced and

triggered scan mode. Using continuously paced mode, the board scans the channel-gain list continuously and acquires data until you stop the operation or until a specific number of samples is acquired.

Trigger Inputs and Modes

Internal Triggers:

- Software Trigger
- Triggered Scan Counter

External Trigger:

- External TTL Trigger Input — each channel (independent start) has four separate hardware start trigger inputs and four separate hardware stop trigger inputs.

Clocking

The analog input section uses an internal clock. The internal clock runs in a range from 6.25 Hz to 960 Hz (see chart). If slower rates are desired you can use the Windows timer or do single value operations.

Analog Outputs

The DT9822 module features two DC-level analog outputs. The analog outputs can be updated through programmed I/O (actual speed is dependent on the computer). The resolution is 16 bits with ± 5 V range.

Digital I/O

All DT9820 Series modules feature 16 digital I/O lines. These lines are divided into the following 8-bit ports:

- Port A, input
- Port B, output

The digital outputs have sufficient current capability to drive external solid-state relay modules (sink 12 mA and source 1 mA).

Input Filter

A software-configurable single-pole RC filter is available on any or all four inputs. (200 Hz cut off for 30 db down at 60 Hz).

User Connections

All I/O is brought out to a standard 37 pin connector to be connected to a STP9820. A single USB cable, shipped with each DT9820 Series module, provides both power and connections from your PC. No external power or battery is required.

USB 2.0 Compatibility

The DT9820 Series is fully compatible with USB 2.0 and USB 1.1. USB 2.0 is both forward and backward compatible with USB 1.1, resulting in a seamless transition process for the user. In fact, USB 2.0 uses the same cables and connectors as USB 1.1.

Expansion Capabilities

The DT9820 Series modules are expandable by using additional USB ports.

Cross-Series Compatibility Saves Programming Time, Protects Your Investment

Virtually all Data Translation data acquisition boards, including the DT9820 Series, are compatible with the DT-Open Layers for .NET Class Library software standard. This means that if your application was developed with one of Data Translation's software products, you can easily upgrade to a new Data Translation board, now or in the future. Little or no reprogramming is needed.

DT9820 Series User's Manual

This manual is provided in electronic (PDF) format on the CD-ROM provided with the board. You can also purchase a hard copy of this manual.

DIN-RAIL Mounting Kit for USB

This kit provides a simple, standard-method for mounting equipment to walls, cabinets, or machinery. The kit contains everything you need to fit it directly on the back of the USB function module housing.

Technical Support

As you develop your application, technical support is available when you need it. Extensive information is available 24 hours a day on our web site at www.datatranslation.com, including drivers, example code, pinouts, a searchable KnowledgeBase, and much more.

Support is also available from your point of purchase. You can also request complimentary support via e-mail or fax any time.

Analog Inputs

DT9821:DT9822

Number of analog input channels	
Differential:	4
Resolution	24 bits
Channel-gain list	4 independent channels/gain
Input FIFO size	512 samples
Input gains	1, 2, 4, 8, 16, 32, and 64
Input range	
Bipolar:	± 0.0390625 , ± 0.078125 , ± 0.15625 , ± 0.3125 , ± 0.625 , ± 1.25 , ± 2.50 V
Unipolar:	0 to 0.0390625, 0 to 0.078125, 0 to 0.15625, 0 to 0.3125, 0 to 0.625, 0 to 1.25, 0 to 2.50 V
Input range	
Offset Unipolar:	-0.015625 to 0.0390625, -0.03125 to 0.078125, -0.0625 to 0.15625, -0.125 to 0.3125, -0.25 to 0.625, -0.50 to 1.25, -1 to 2.50 V
Drift	
Zero Drift:	± 100 nV + (± 5 nV * Gain)/°C
Gain Drift:	± 30 ppm/°C
Input impedance	>100 M Ohm, 3.0 K in Series with 4.700 pF
Input bias current	± 10 nA
Common mode voltage	± 3 V maximum (operational)
Maximum input voltage	± 40 V maximum (protection)
Common mode rejection	>72 db
DC Accuracy	
Nonlinearity (integral)	± 1.0 LSB
Differential nonlinearity	± 0.5 LSB (no missing codes)
A/D converter noise typ.	1.0 LSB rms
Channel-to-channel offset	± 200 μ V
AC Accuracy	
Total harmonic distortion (THD)	-120 dB typical
Channel crosstalk	-120 dB @ 1 kHz
Clocking and trigger input	
Maximum A/D master clock	
Single analog input throughput	960 Hz
Multiple analog input throughput	960 Hz
Maximum frequency (analog inputs):	960 Hz per A/D subsystem (4 subsystems)
External digital (TTL) trigger	
High-level input voltage:	2.4 V minimum
Low-level input voltage:	0.8 V maximum
Minimum pulse width:	600 ns (high); 600 ns (low)
Software selectable oscillator operation.	
Internal Oscillators for A/D 4.9152 MHz 60 Hz Operation	

A/D sample rates (A/Ds must use the same oscillator)

Word Rate (60 Hz)	Word Rate (50 Hz)	Noise Free Resolution*
Oscillator 4.9152 MHz	Oscillator 4.0960 MHz	
960 Hz	800 Hz	16.5
480 Hz	400 Hz	17.0
240 Hz	200 Hz	17.5
120 Hz	100 Hz	20.9
60 Hz	50 Hz	21.4
30 Hz	25 Hz	21.9
15 Hz	12.5 Hz	22.4
7.5 Hz	6.25 Hz	22.9

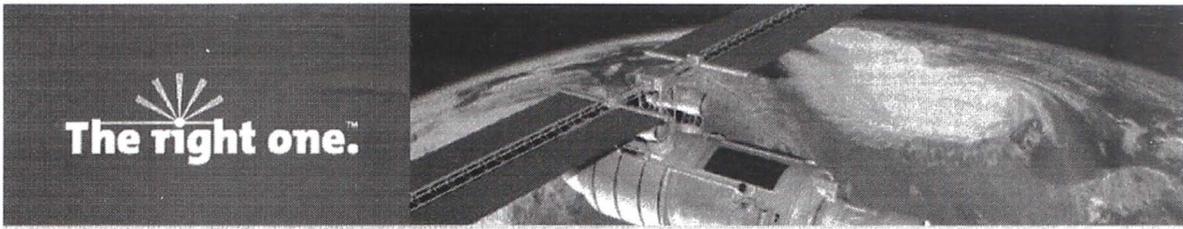
* 24 bits resolution at all rates

Analog Outputs

DT9822

Number of analog output channels	
2 (voltage output)	
Resolution	16 bits
Output range	± 5 V
Output speed	1 kHz (system dependent)
Error	
Gain:	± 6 LSB + Reference
Zero:	Software adjustable to 0
Current output	± 2.5 mA minimum
Output impedance	0.3 Ohm typical
Capacitive drive capability	0.001 μ F (no oscillators)
Nonlinearity (integral)	± 4 LSB
Differential linearity	± 1 LSB (mon to nc)
Protection	Short circuit to Analog Common
Power-on voltage	0 V \pm 10 mV maximum
Settling time to 0.01% of FSR	50 μ s, 10 V step; 10.0 μ s, 100 mV step
Slew rate	2 V/ μ s

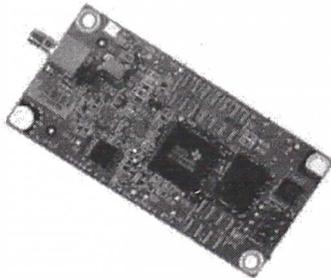
A.4 HOJA DE DATOS DEL RECEPTOR GPS



RESOLUTION T

KEY FEATURES

- Automatic self-survey for improved timing accuracy.
- Extremely accurate 1 PPS output, synchronized to GPS or UTC within 15 ns (one sigma)
- Cable delay compensation removes time delay due to cable distance between antenna and receiver
- TRAIM - Timing Receiver Autonomous Integrity Monitoring assures high PPS integrity
- Quantization Error Reporting can further improve native accuracy
- Supports 3 V or 5 V Antennas
- RoHS compliant (Pb free)



FULL-FEATURED, LOW-COST, EMBEDDED GPS TIMING RECEIVER

The Trimble® Resolution™ T GPS Timing Receiver delivers precise timing where you need it all-in-view, 12-channel, parallel-tracking, embeddable GPS receiver designed to provide precise GPS or UTC time and synchronization for many static timing applications. The timing accuracy provides for your current needs with plenty of headroom for future requirements.

This low-cost, yet highly accurate and reliable receiver allows the system integrator to put precise timing and synchronization into locations where cost or size is a limitation. Rather than sharing time from a single timing source, with the resultant delays and loss of accuracy, you now can have precise time (synchronization) at every location regardless of how isolated or remote.

Features Flexibility with Software

The Resolution T receiver can be updated easily in the field with new features as they become available. The modular design also allows for both reduced integration time and low implementation risk.

The Resolution T receiver outputs a 1 Pulse-per-second (PPS) timing signal accurate to within 15 nanoseconds of GPS or UTC (1 sigma) when using an overdetermined solution in a stationary mode.

3 or 5 Volt Antenna Compatible

The receiver is designed for 3.3 V DC prime power, but provides a separate pin on the I/O connector for powering the antenna with a user-supplied voltage from 3.0 to 5.5 V DC.

Starter Kit

The Resolution T Starter Kit provides everything you need to start integrating the module into your application. The kit includes an active, external 5 V DC Bullet-style antenna, 50 feet of RG-59 cable, and an AC/DC power adapter. The starter kit enclosure includes a mother board that provides serial output, and a USB interface cable.

RESOLUTION T

PERFORMANCE SPECIFICATIONS

General L1 (1575.42 MHz) Frequency, C/A Code, 12-channel, parallel-tracking receiver, DSP-based

Update Rate TSIP @ 1 Hz NMEA @ 1 Hz

Accuracy Horizontal Position: <6 meters (50%), <9 meters (90%)
Altitude Position: <11 meters (50%), <18 meters (90%)
Velocity: 0.06 m/sec
PPS: within 15 ns to GPS/UTC (1 Sigma)
<5 ns with quantization error removed

Acquisition Reacquisition: <2 sec. (90%)
Hot Start: <14 sec (50%), <18 sec (90%)
Warm Start: <41 sec (50%), <45 sec (90%)
Cold Start: <46 sec (50%), <50 sec (90%)
Cold start requires no initialization. Warm start implies last position, time and almanac are saved by backup power. Hot start implies ephemeris also saved. Hot and Warm are shown for comparison purposes and are not used in timing applications.

Sensitivity Acquisition -136 dBm
Tracking -141 dBm

Operational (COCOM) Limits* Altitude 18,000 m
Velocity 515 m/s

*Either limit may be exceeded, but not both

PHYSICAL CHARACTERISTICS

Dimensions 66.3 mm L x 32.1 mm W x 8.5 mm H
(2.6" L x 1.3" W x 0.33" H)

Weight approximately 12.5 grams (0.4 ounce)

ENVIRONMENTAL SPECIFICATIONS

Operating Temperature -40 °C to +85 °C

Storage Temperature -55 °C to +105 °C

Vibration 0.008 g/2/Hz 5 Hz to 20 Hz
0.05 g/2/Hz 20 Hz to 100 Hz
-3 dB/octave 100 Hz to 900 Hz

Operating Humidity 5% to 95% R.H. non-condensing, at +60 °C

Altitude -400 to 18,000 m max

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Prime Power +3.3 V DC ±0.3 V DC

Power Consumption GPS board only: 350 mW @ 3.3 V

Ripple Noise Max 50 mV, peak to peak from 1 Hz to 1 MHz

Antenna Fault Protection . . Short-circuit/Open detection and protection

INTERFACE CHARACTERISTICS

Connectors I/O: 8-pin (2x4) 2 mm Male Header
RF: Right-angle SMB (SMA optional)

Serial Port 1 serial port (transmit/receive)

PPS 3.3 V CMOS-compatible TTL-level pulse, once per second
Rising edge of the pulse synchronized with GPS/UTC

Protocols TSIP @ 9600 baud, 8 bits
NMEA 0183 v3.0 @ 4800 baud, 8 bits

NMEA Messages GGA, VTG, GLL, ZDA, GSA, GSV and RMC
Messages selectable by TSIP command
Selection stored in flash memory

ANTENNAS

Antenna Bullet™ III, TNC (F) 3.3 V DC with 30 dB gain.
or Bullet III, F 5 V DC with 35 dB gain

ORDERING INFORMATION & ACCESSORIES

Please go to www.trimble.com/timing for updated information, part numbers and ordering information.

Trimble has relied on representations made by its suppliers in certifying this product as RoHS compliant.

Specifications subject to change without notice.

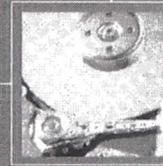
Trimble Navigation Limited is not responsible for the operation or failure of operation of GPS satellites or the availability of GPS satellite signals.

A.5 HOJA DE DATOS DEL DISCO DURO

HITACHI
Inspire the Next

Hitachi Endurastar® J4K30 and N4K30

HARD DISK DRIVES



30GB and 20GB | 4200 RPM | ATA-5

Extreme hard drives for extreme environments

Highlights

- 30GB and 20GB capacity in a 2.5-inch form factor
- Operating temperature range from -20°C to +85°C
- Built-in shock sensor enhances data integrity
- Enhanced moisture control system ensures corrosion control in extreme environments

Turn up the Heat

Hitachi delivers a 50-percent storage capacity increase in its line of "extreme" hard disk drives. The Endurastar J4K30 and Endurastar N4K30 are both offered in capacities of up to 30GB, and are designed specifically to perform in extreme temperature environments. With an operating temperature range as wide as -20°C to +85°C, the new Endurastar models are built to perform in the harshest environments—from the desert heat to the Antarctic chill.

Applications

- Automotive
- GPS navigation systems
- Applications running in hot and humid climates

Features and Benefits

	Feature / Function	Benefits
Capacity	30GB maximum capacity 20GB also available	* 7,500 4-minute MP3 songs, or * 2.7 hours of DV25 video, or * 15 interactive games
Acoustics	Fluid Dynamic Bearing (FDB) motors	Quiet operation
Reliability	-20°C to +85°C operating temperature (J4K30)	Performs well in extreme temperature environments
	load/unload technology	Reduces disk wear and helps protect user data
	Built-in shock sensor	Enhances data integrity

* Actual storage capacity may vary depending on compression rates for stored media

Ideal for Automotive Applications

Endurastar hard drives are the preferred solution for automotive applications or other environments which require high robustness and wider operating temperatures than standard hard drive applications. In fact, the Endurastar J4K30 is already being used in car entertainment and navigation applications—and 30GBs of storage means users can store more than 5,000 audio files, four hours of MPEG2 video and enough navigation data to cover the entire planet!

Reliability and Performance

The new Endurastar models feature glass media and load/unload technology in addition to shock sensor technology which cushions the drive in less than ideal shock or vibration conditions. Endurastar drives incorporate fluid dynamic bearings (FDB) in the spindle motor, allowing the same quiet operations and improved shock characteristics as with PC models, but offers even higher reliability for automotive environments. These features enable the Endurastar drives to employ a non-operating shock tolerance of 800G/1ms and an operating shock tolerance of 250G/2ms.

Hitachi Quality and Service

Hitachi drives are backed by an array of technical support and services, which may include customer and integration assistance.

Hitachi is dedicated to provide a breadth of hard disk drive solutions to satisfy all of today's demanding computing needs.

www.hitachigst.com

Hitachi Endurastar® J4K30 and N4K30

Hitachi Global Storage Technologies

Product Model names	Endurastar J4K30 HEJ423030F9AT00 HEJ423020F9AT00	Endurastar N4K30 HEN423030F9AT00 HEN423020F9AT00
Specifications		
Configuration		
Interface	ATA-5 (IDE)	←
Capacity (GB) ¹	30 / 20	←
Sector size (bytes)	512	←
Recording zones	16	←
Data heads	2	←
Disks	1	←
Max. areal density (Gbits/sq. inch)	56.6	←
Performance		
Data buffer (MB) ²	8	←
Rotational speed (rpm)	4172	←
Latency (average ms)	7.19	←
Max. media transfer rate (MB/sec)	36.1	←
Max. interface transfer rate (MB/sec)	100MB/sec Ultra DMA mode-5 16.8MB/sec PIO mode-4	←
Seek time (ms)		
Average (typical)	13	←
Maximum (typical)	24	←
Minimum (typical)	3	←
Reliability		
Error rate (non-recoverable)	< 1 per 10 ¹³ bits transferred	←
Load/unload cycle	300,000	←
Power (@ 25° C)		
Requirement	+5VDC (±5%)	←
Startup (max. peak)	6.50 W	←
Seek (average)	2.40 W	←
Read (average)	2.15 W	←
Write (average)	2.15 W	←
Low power idle (average)	0.60 W	←
Standby (average)	0.15 W	←
Sleep	0.10 W	←
Physical Size		
Height (mm)	9.5	←
Width (mm)	70	←
Depth (mm)	100	←
Weight (g)	107	←
Environmental Characteristics		
Operating		
Ambient temperature	-20° to 85° C	0° to 60° C
Relative humidity (non-condensing)	5% - 90%	←
Maximum wet bulb (non-condensing)	40° C	←
Shock (half sine wave)	250G/2ms	←
Vibration (sine wave)	1.0G (22 - 500Hz)	←
Non-operating		
Ambient temp	-40° to 85° C	←
Relative humidity (non-condensing)	5% - 95%	←
Maximum wet bulb (non-condensing)	40° C	←
Shock (half sine wave)	800G/1ms	←
Vibration (sine wave)	5.0G (22 - 500Hz)	←
Acoustics (A-Weighted Sound Power (dBs))		
Idle (typical)	2.4	←
Op (typical)	3.0	←



For more information:

Internet:

- www.hitachigt.com (Main Web Site)
- www.hitachigt.com/ftp (Reseller Web Site)

Technical Support E-mail:

- support_usa@hgst.com (N. America)
- support_ap@hgst.com (Asia Pacific)
- support_uk@hgst.com (EMEA and UK)

Technical Support Phone Numbers:

- 1 888 426-5214 (N. America)
- 65 6840 9595 (Asia Pacific)
- 44 20 7133 0032 (EMEA and UK)
- 49 69 29 993601 (Germany)

How to Read the Endurastar Model Number

Example:
HEJ423030F9AT00 = 30GB
H = Hitachi
E = Endurastar
J = J4K30 model, N = N4K30
42 = 4200 RPM
30 = full capacity = 30GB
30 = model capacity = 30GB
F = generation code
9 = 9.5mm height
AT = ATA interface
0 = feature code
0 = reserved

© 2004 Hitachi Global Storage Technologies

Hitachi Global Storage Technologies
5600 v. Cambridge
San Jose, CA 95123

Produced in the United States 12/04
All rights reserved.

Endurastar® is a trademark of Hitachi Global Storage Technologies. References in this publication to Hitachi Global Storage Technologies products, programs or services do not imply that Hitachi Global Storage Technologies intends to make those available in all countries in which it operates.

Product information is provided for information purposes only, and does not constitute a warranty. Information is true as of the date of publication and is subject to change. Actual results may vary. This publication is for general guidance only. Photographs may show design models.

¹ GB equals one billion bytes when referring to hard drive capacity; accessible capacity may be less.
² Space reserved for firmware.

CONCLUSIONES

1. Por los resultados obtenidos el registrador sísmico digital ADQREDES cumple con los requerimientos de un equipo geofísico, es portátil y robusto, soporta un rango de temperatura extendida y posee una protección IP67.
2. La alta resolución de la digitalización en 24bits permite registrar señales de sensores de banda ancha y acelerómetros muy sensibles, con precisión del tiempo universal menor a 0.1 milisegundos.
3. Las diferentes formas de conectividad hace al registrador sísmico digital ADQREDES muy versátil, puede conectarse por telemetría digital, con líneas telefónicas estándares a través de un modem o Internet.
4. El costo del registrador sísmico ADQREDES es comparativamente menor respecto al costo de otros equipos similares importados en 65%.
5. El diseño e implementación es satisfactorio porque se cumple con el objetivo de desarrollar un instrumento de calidad a un bajo costo.

BIBLIOGRAFIA

1. SCHERBAUM, Frank.(1996).Of Poles and Zeros.Kluwer Academic Publishers.Cap. 9, paginas 132-166.
2. Lewis Napper Tech yourself VISUAL C++5.0 ISBN 1-55828-554-7
3. A Robust Method of Magnitude Estimation Suitable for Digital Seismic Networks. Paginas 46-64.
4. CMG –40T Broadband Seismometer. Operators Guide (1995).
5. BHARAM SHAHIAN & MICHAEL HASSUL,(1993).Control System Design Using MATLAB.Prentice Hall.p1-350.
6. PROAKIS JOHN & DIMITRIS MANOLAKIS. Tratamiento Digital de Señales.Prentice Hall .p 6-9.
7. Evolución Espacial de los periodos de resonancia y aplicaciones en el análisis mecánico de suelos, Lic. Luis Vilcapoma, 2005, Tesis de grado UNMSM,
8. <http://www.eng.uwaterloo.ca/~che100/chapter2.pdf>. Universidad de Waterloo Canada. Presentation and Interpretation of Engineering Data.
9. <http://www.egr.msu.edu/decs/facilities/software/matlab/matlabses7.pdf>
Matlab Training Session VII. Basic Signal Processing.
10. REFTEK Technical Introduction to the 72A series Data Acquisition Systems, 200p.
11. Ralf Brown & INTERRUPTS ISBN 0-201-62485-0 Jim Kyle.
12. Manual Labview Data Acquisition – National Instruments
13. <http://www.egr.msu.edu/decs/facilities/software/matlab/matlabses6.pdf> Basic control theory.
14. <http://earthquake.usgs.gov/learning/glossary.php> Glosario de términos en sismología.
15. <http://www.ujaen.es/investiga/mnm217/glosario.htm> Glosario de terminología sísmica.
16. <http://www.elgps.com/documentos/comofuncionagps/comofuncionagps.html>
Funcionamiento del sistema GPS.
17. http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html Universidad de Colorado - USA.