REPÚBLICA DEL ECUADOR
Escuela Politécnica Nacional
"PER SCIENTIA HOMINIS SALUS"

La versión digital de esta tesis está protegida por la Ley de Derechos de Autor del Ecuador.

Los derechos de autor han sido entregados a la "ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL" bajo el libre consentimiento del (los) autor(es).

Al consultar esta tesis deberá acatar con las disposiciones de la Ley y las siguientes condiciones de uso:

- Cualquier uso que haga de estos documentos o imágenes deben ser sólo para efectos de investigación o estudio académico, y usted no puede ponerlos a disposición de otra persona.
- Usted deberá reconocer el derecho del autor a ser identificado y citado como el autor de esta tesis.
- No se podrá obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

El Libre Acceso a la información, promueve el reconocimiento de la originalidad de las ideas de los demás, respetando las normas de presentación y de citación de autores con el fin de no incurrir en actos ilegítimos de copiar y hacer pasar como propias las creaciones de terceras personas.

Respeto hacia si mismo y hacia los demás.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO DE UN SISTEMA DIGITAL PARA MONITOREO DE DEFORMACIÓN VOLCÁNICA PARA EL INSTITUTO GEOFÍSICO DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y CONTROL

JUA VIVAR SANDRO ETHELWOLDO
ethelwoldojua@hotmail.com

DIRECTOR: DR. LUIS ANÍBAL CORRALES PAUCAR
luisco5049@yahoo.com

Quito, Diciembre 2009

DECLARACIÓN

Yo Sandro Ethelwoldo Jua Vivar, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

_____

Sandro Jua V.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Sandro Jua V., bajo mi supervisión.

_____

Dr. Luis Corrales P.
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A mis padres
Hermanos
A mi director de tesis
Compañeros de trabajo

DEDICATORIA

A Mónica Mediavilla

CONTENIDO

RESUMEN viii
PRESENTACIÓN ix

CAPÍTULO 1 1
SUSTENTACIÓN TEÓRICA 1
1.1 INTRODUCCIÓN 1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 1
1.3 LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA 2
1.4 TÉCNICAS DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN 3
1.4.1 DISTANCIÓMETRO ELECTRÓNICO 3
1.4.2 MÉTODO CON GPS 5
1.4.3 LA INTERFEROMETRÍA InSAR 6
1.4.4 MEDIDAS DE INCLINACIÓN 8
1.5 EL INCLINÓMETRO ELECTRÓNICO 10
1.5.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO 11
1.5.2 UNIDAD DE MEDIDA 12
1.6 CONCEPTUALIZACIÓN 13
1.6.1 ESTACIÓN REMOTA 14
1.6.2 ESTACIÓN BASE 14
1.6.3 COMUNICACIÓN DEL SISTEMA 15

CAPÍTULO 2 17
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO 17
2.1 DISEÑO DEL HARDWARE 17
2.1.1 EL SENSOR DE INCLINACIÓN 18
2.1.1.1 Características Principales 18
2.1.1.2 Ejes de Referencia 19
2.1.2 ACONDICIONAMIENTO DEL INCLINÓMETRO 19
2.1.2.1 Sensor de Temperatura 21
2.1.3 CONVERSOR DE SEÑAL ANALÓGICA A DIGITAL 23
2.1.4 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA 25
2.1.5 VISUALIZACIÓN DE DATOS 27
2.1.6 PUERTO DE COMUNICACIÓN 29

2.1.7 LECTURA DEL NIVEL DE BATERÍA 30
2.1.8 CONEXIÓN DEL RELÉ 31
2.1.9 CONEXIÓN DE LED 32
2.1.10 FUENTES DE ALIMENTACIÓN 32
2.2 CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO 33
2.2.1 SELECCIÓN DE LA CAJA Y CONECTORES 33
2.2.2 CONEXIÓN DEL HARDWARE AL INCLINÓMETRO 35
2.2.3 CONEXIÓN DEL HARDWARE AL RADIO MODEM 36
2.2.4 CONEXIÓN DEL HARDWARE A LA BATERÍA Y RADIO 36

CAPÍTULO 3 38
DESARROLLO DEL SOFTWARE DE SOPORTE 38
3.1 CONSIDERACIONES PARA LA PROGRAMACIÓN 38
3.2 ESTRUCTURA DEL PROGRAMA PRINCIPAL 39
3.2.1 RUTINA DE INICIO 39
3.2.2 TRANSMISIÓN DE DATOS 43
3.2.2.1 Adquirir Datos de Variables de Entrada 44
3.2.2.2 Actualizar Variables de Salida 45
3.2.2.3 Encerar Inclinómetro 48
3.2.2.4 Estado de la Batería 48
3.2.2.5 Empaquetado y Transmisión de Datos 49
3.2.3 MOSTRAR MENSAJES EN LA LCD 52
3.2.4 ACTUALIZAR CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA 53
3.3 INTERRUPCIONES 53
3.3.1 INTERRUPCIÓN DE TIMER 1 54
3.3.2 INTERRUPCIÓN EXTERNA 55

CAPÍTULO 4 57
PRUEBAS Y RESULTADOS 57
4.1 ENCENDIDO DEL EQUIPO 57
4.2 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA 59
4.3 VISUALIZACIÓN DE DATOS 60
4.4 ENCERAMIENTO DEL SENSOR 61
4.5 SOFTWARE DE RECEPCIÓN DE DATOS 62

4.5.1 SENSOR 63
4.5.2 CONFIGURACIÓN 63
4.5.3 ESTACIÓN 64
4.5.4 ADQUISICIÓN 65
4.6 INSTALACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE PRUEBA 66
4.7 RESULTADOS DE ESTACIONES EN EL TUNGURAHUA 70

CAPÍTULO 5 74
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 74
5.1 CONCLUSIONES 74
5.2 RECOMENDACIONES 76

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 77

ANEXOS 80
ANEXO A 81
ESQUEMÁTICOS DEL EQUIPO INCLINO 2.1 81
ANEXO B 84
LAMINAS PCB DEL EQUIPO INCLINO 2.1 84
ANEXO C 87
FOTOGRAFÍAS DEL EQUIPO 87
ANEXO D 93
HOJA DE DATOS D-1 94
INCLINÓMETRO ELECTRÓNICO 701-2(4X) 94
HOJA DE DATOS D-2 96
MICROCONTROLADOR PIC16F877 96
HOJA DE DATOS D-3 98
CONVERSOR DE SEÑAL ANALÓGICA A DIGITAL AD7710 98
HOJA DE DATOS D-4 107
AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN AD620 107
HOJA DE DATOS D-5 109
CHIP PARA INTERFACE SERIAL RS-232 109
HOJA DE DATOS D-6 111
INVERSOR DE VOLTAJE ICL7662 111

RESUMEN

En este proyecto se diseña un sistema que permite transmitir a una estación de control central, la deformación del suelo provocada por el movimiento del magma dentro del volcán que, al ejercer presión sobre las paredes internas, produce cambios en la pendiente superficial del suelo. Estas deformaciones serán detectadas por un Inclinómetro Electrónico.

Con este objetivo se diseña y construye un circuito que acondiciona y digitaliza la señal entregada por un inclinómetro electrónico. Los valores capturados son convertidos a micro-radianes; que son las unidades de la deformación. Los datos son transmitidos al “Observatorio Volcán Tungurahua”; ubicado a unos 15 Km del volcán. La recopilación de los datos es realizada mediante un programa de código abierto desarrollado en Java, denominado SAMI, y con ayuda de Excel o Matlab es posible generar reportes diarios de la inflación o deflación que sufre el volcán.

Las estaciones de inclinometría fueron construidas teniendo en consideración las condiciones atmosféricas adversas que se encuentran sobre el volcán a grandes alturas, lo que implica exposición a la lluvia, bajas temperaturas, polvo, residuos de explosiones volcánicas, corrosión e incluso a golpes.

Los datos adquiridos por el sistema posibilitan predecir cambios anormales en el volcán. De los datos también es posible cuantificar la deformación, en el orden de las decenas y centenas de micro-radian. De esta forma se obtiene información rápida y confiable que ayuda a corroborar datos de otras formas de vigilancia volcánica.

PRESENTACIÓN

Este proyecto de titulación fue desarrollado para suplir la necesidad de dar soporte a las redes de medida de la deformación volcánica con que cuenta el Instituto Geofísico. Aquí, se diseña un sistema digital para el monitoreo de la deformación volcánica, en base a un inclinómetro electrónico y microcontrolador. El sistema transmite a un observatorio la información de la deformación del suelo volcánico. Los datos son recopilado con un software computacional llamado SAMI y el procesamiento de los mismos es realizado con Matlab o Excel.

Procurando lograr el objetivo indicado, este trabajo se dividió en cinco capítulos: El primer capítulo se dedica a un estudio de los métodos frecuentemente empleados para medir la deformación volcánica. Además, se realiza una conceptualización del sistema a diseñarse.

En el segundo capítulo se diseña un sistema micro-procesado a partir del inclinómetro electrónico. El diseño se realiza empleando un conversor de señal analógica a digital de alta resolución. Además se agregan periféricos para la configuración del hardware y visualización de los datos in situ.

El tercer capítulo explica la elaboración del programa para el microcontrolador. Se presentan las características principales del software que da soporte al microcontrolador. Se realizan los diagramas de flujo y se describe en lenguaje estructurado las rutinas que conforman el software principal del microcontrolador.

El cuarto capítulo se refiera a las pruebas de funcionamiento que se realizan al sistema. Se presentan las gráficas de la deformación del volcán Cayambe del experimento preliminar del equipo diseñado, y además, se presentan los datos procesados por el Instituto Geofísico de las estaciones instaladas en el volcán Tungurahua.

En el quinto capítulo se agrupan las conclusiones y recomendaciones del proyecto efectuado. También se presentan los anexos tales como: Los diagramas circuitales de las conexiones con el microcontrolador, el circuito impreso de la tarjeta diseñada y las fotos del equipo construido.

CAPÍTULO 1
SUSTENTACIÓN TEÓRICA

1.1 INTRODUCCIÓN

La vigilancia volcánica es importante especialmente cuando se tienen poblaciones aledañas a un volcán activo. Cada volcán tiene su propio comportamiento y el monitoreo continuo ayuda a caracterizarlo, y a definir líneas bases en los diferentes parámetros que se estudian: sismicidad, geoquímica de las emisiones de gases en las fumarolas, geoquímica de las fuentes termales, y especialmente la deformación. Así como también, permite detectar los momentos cuando se producen anomalías y de esta forma contar con los datos para elaborar los pronósticos de actividad volcánica.

Una parte importante dentro de la vigilancia volcánica es la deformación del suelo. El monitoreo de este parámetro ha facilitado a varios científicos a predecir erupciones volcánicas; como es el caso de las erupciones producidas en 1981 y 1982 del Monte Santa Elena (Brantley and Topinka, eds. 1984).

Una de las formas más comunes para medir la deformación es el empleo del inclinómetro electrónico, instrumento muy sensible a los cambios de pendiente de la superficie donde ha sido montado. También existen otros métodos basados en el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), pero tienen un costo elevado.

Conociendo la importancia de la vigilancia de la deformación emprendida por el Departamento de Geofísica, se buscó la manera de diseñar y construir un sistema digital micro-procesado, basado en el empleo del inclinómetro electrónico para la vigilancia de la deformación volcánica.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El monitoreo de la deformación que realiza el Instituto Geofísico, en un principio, se realizaba con equipos donados por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, del inglés: United States Geological Survey). Luego se adquirieron

sensores de deformación para ser empleados conjuntamente con los digitalizadores de la misma institución. Las estaciones están funcionando varios años y con buenos resultados, pero sus tiempos de vida útil disminuyen. De este modo, se determinó que en algún momento sería necesario adquirir equipos nuevos y fiables, que funcionen adecuadamente con los sensores de deformación ya adquiridos.

Como alternativa se pensó en diseñar y construir un sistema digital para el monitoreo de la deformación volcánica, tomando como base a sensores de deformación adquiridos por el Instituto Geofísico, modelo 701-2A (4X) y similares de Applied Geomechanics.

1.3 LA DEFORMACIÓN VOLCÁNICA

La deformación del suelo debido a la intrusión del magma volcánico, es reconocida como un importante precursor de la erupción de un volcán en actividad. Antes de que ocurra la erupción, generalmente la superficie de la tierra se expande debido al aumento de la presión dentro de la cámara magmática, que es causada por los movimientos ascendentes del magma que se encuentra bajo el volcán. La tendencia expansiva se invierte después de que el magma es liberado de la cámara, provocando una deflación de los flancos del volcán (ver la Figura. 1.1).

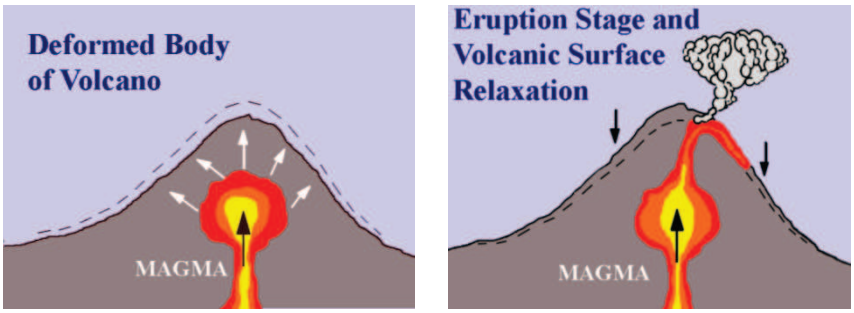


Figura 1.1 Deformación del suelo causada por la actividad magmática (Abidin 1998).

El patrón y la tasa de desplazamiento superficial revelan la profundidad y la relación de incremento de presión dentro de la cámara de magma subterránea (Dvorak & Dzurisin 1997), dando así una importante información acerca del

estado del volcán. Como la deformación del suelo tiende a preceder las erupciones por periodos de horas a meses; la vigilancia geodésica es una herramienta eficaz para mitigar los peligros.

Usando la teoría de la elasticidad y con datos de varios casos de estudio, Mogi (1958) desarrolló un modelo matemático para determinar la posición y la profundidad de una fuente de magma en base a mediciones de la deformación del terreno y la ubicación de los instrumentos. Se supone que la deformación del suelo es causada por una fuente esférica (la cámara de magma), ubicada debajo del edificio volcánico, y que ejerce una presión hidrostática ascendente hacia la superficie del suelo. Mogi propone que la corteza de la tierra se comporta de forma elástica en el momento de la erupción, mientras que, durante períodos largos de deformación después de la erupción, la corteza se comporta como un medio viscoso - elástico. Este sencillo modelo ha demostrado ser muy eficaz y sigue siendo ampliamente utilizado en la actualidad para estimar la ubicación de la fuente de magma.

1.4 TÉCNICAS DE MONITOREO DE LA DEFORMACIÓN

Los métodos más empleados para la medida de la deformación se fundamentan en detectar alteraciones en la topografía del edificio volcánico; relacionando el ascenso o descenso, y el volumen de la cámara magmática. Entre las técnicas comúnmente utilizadas están: la medida de la distancia horizontal, con el empleo de instrumentos electrónicos de medida de distancia; la medida del desplazamiento del suelo, mediante GPS[1]; la técnica en base a la interferometría de radar de apertura sintética (InSAR); y la medida de los cambios en la pendiente del cono volcánico.

1.4.1 DISTANCIÓMETRO ELECTRÓNICO

Esta técnica se basa en medir la distancia horizontal entre una base fija y un punto reflector ubicado en la pared del edificio volcánico. Los cambios en la distancia horizontal son medidos utilizando instrumentos electrónicos medidores

[1]GPS, del inglés: Global Positioning System

de distancia conocidos como EDM (del inglés: Electronic Distance Measurement); que básicamente emplean un rayo laser que apunta a un prisma.

Dependiendo de la distancia entre la estación de medición de EDM y un reflector fijo o prisma, la longitud de onda de la señal reflejada cambia de fase con respecto a la señal transmitida. El instrumento compara la forma de onda del rayo de luz transmitido con el rayo de retorno reflejado y convierte esa diferencia a una medida de inclinación. La magnitud y dirección de los cambio en la distancia horizontal son calculados para cada estación de una red de medida EDM. Los desplazamientos son relativos a uno o más puntos de referencia que están fijos en la pared del volcán. El cálculo de los vectores de desplazamiento es representado gráficamente en mapas para localizar el foco de la deformación. La precisión de los datos del EDM es de +/- 6 mm con una incertidumbre adicional de +/-1 mm por cada kilómetro de distancia.

Figura 1.2 Científico de la USGS toma medidas con el EDM en el Observatorio Johnston Ridge (Washington - USA). Fotografía de la USGS, fue tomada el 3 de Octubre de 2004, por: Gene Iwatsubo.

La ventaja de este sistema es que se tiene gran cobertura espacial. Los puntos de observación y medida pueden estar separados por varios kilómetros de distancia. Este método permite realizar las medidas de la deformación en áreas peligrosas con mínimo riesgo para el investigador.

Las medidas de la distancia horizontal, pueden ser alteradas por efecto de la temperatura, humedad y presión (altura). Para una buena toma de medidas se

requiere que el clima esté claro, la base para el EMD sea fija e inmóvil, y los prismas en las paredes del volcán estén visibles.

1.4.2 MÉTODO CON GPS

Los receptores GPS son una herramienta de navegación que calcula la posición de un punto determinado sobre el globo terrestre. Cuentan con señales emitidas de 24 satélites que giran alrededor de la Tierra a una altitud de 20.000 km. Los satélites están equipados con relojes atómicos, por lo tanto, son muy precisos y transmiten la hora y su posición por medio de radio enlace. Con la información recibida de tres satélites, se pueden calcular las posiciones en el espacio por triangulación. Los receptores modernos trabajan hasta con 12 satélites simultáneamente; esto facilita los cálculos para localizaciones más precisas. La incertidumbre en la determinación de las posiciones, se derivan de las influencias meteorológicas y estratosféricas, que varían por refracción de la trayectoria lineal de la señal, alargando ligeramente su tiempo de recorrido e induciendo errores.

Figura 1.3 Unidad de GPS montado sobre el flanco oeste del Monte St. Helens. Fotografía de la USGS, fue tomada el 28 de Septiembre de 2004, por Mike Poland y Dan Dzurisin.

Para el seguimiento de las deformaciones de un volcán, tanto a largo plazo (varios meses) como durante las intrusiones magmáticas (varios minutos u horas) son necesarios datos más precisos. Para obtener medidas más exactas, se utiliza el “GPS diferencial”. Para ello, se instala un segundo receptor GPS sobre un

punto de referencia conocido; muy alejado del área de estudio, donde las deformaciones del suelo sean relativamente nulas respecto a los generados por el volcán. Si las distancias entre el receptor GPS de referencia y el montado sobre el volcán no superan centenas de kilómetros, se asume que las influencias meteorológicas son idénticas para los dos receptores. A partir de los datos del segundo GPS y utilizando programas informáticos, se pueden corregir los datos del primer GPS y determinar posiciones in situ con precisión de menos de un centímetro, en relación al punto de referencia tanto para la longitud, latitud, así como la altitud.

De esta forma se pueden dar seguimiento de los movimientos instantáneos del volcán gracias a receptores GPS permanentes, o seguir la evolución del cono efectuando mediciones regulares. Para este último caso, se miden las posiciones de los puntos de referencia del suelo volcánico, en intervalos de tiempo regulares o después de cada erupción (IPGP, Institut de Physique du Globe de Paris).

El GPS es adecuado para la vigilancia de la deformación de un volcán porque proporciona medidas tridimensionales de la posición con exactitud en el orden de los milímetros o centímetros. Es independiente de las condiciones climáticas y opera las 24 horas del día. Se tiene buena visibilidad entre las estaciones de una red de GPS con los satélites. Las mediciones se pueden hacer en áreas pequeñas (a escala de volcán), hasta áreas muy grandes (placas tectónicas). El GPS, por lo tanto, tiene muchas ventajas sobre las técnicas convencionales de tipo geodésicas, especialmente considerando que muchos volcanes del mundo son altos y propensos a nubosidad frecuente. El sistema de GPS opera de forma continua, y no requiere de presencia humana (excepto para visitas de mantenimiento).

1.4.3 LA INTERFEROMETRÍA InSAR

Los científicos utilizan una nueva herramienta innovadora para detectar, medir y monitorear los cambios sutiles en la forma o la posición relativa de la superficie de la Tierra. El método se basa en el rebote de las señales de un satélite radar y observando las diferencias entre las imágenes tomadas por el satélite. La

interferometría de radar de apertura sintética (InSAR) puede detectar pequeñas diferencias en la distancia entre su posición y la Tierra. La superficie terrestre se mueve, ya sea hacia arriba, abajo, o de lado. El InSAR muestra patrones espaciales de la deformación en gran detalle, y en combinación con los sistemas de monitoreo convencionales, los científicos pueden tener una visión más clara y precisa de los fenómenos en estudio.

Para detectar la deformación de la superficie de la Tierra mediante InSAR, se requiere de dos imágenes de radar tomadas desde el espacio y del mismo lugar, aproximadamente. Las tomas deben ser de un área específica de la superficie de la Tierra, pero en dos momentos diferentes. En la Figura 1.4, la señal de radar se muestra como una onda, y los segmentos son marcados con diferentes colores para hacer hincapié al desplazamiento de la posición de la onda reflejada.

La elevación de la superficie del suelo se ha producido entre la primera y la segunda pasada del satélite. Así, la longitud total de la señal de retorno para la segunda toma de imagen, es ligeramente más corta que para la primera toma.

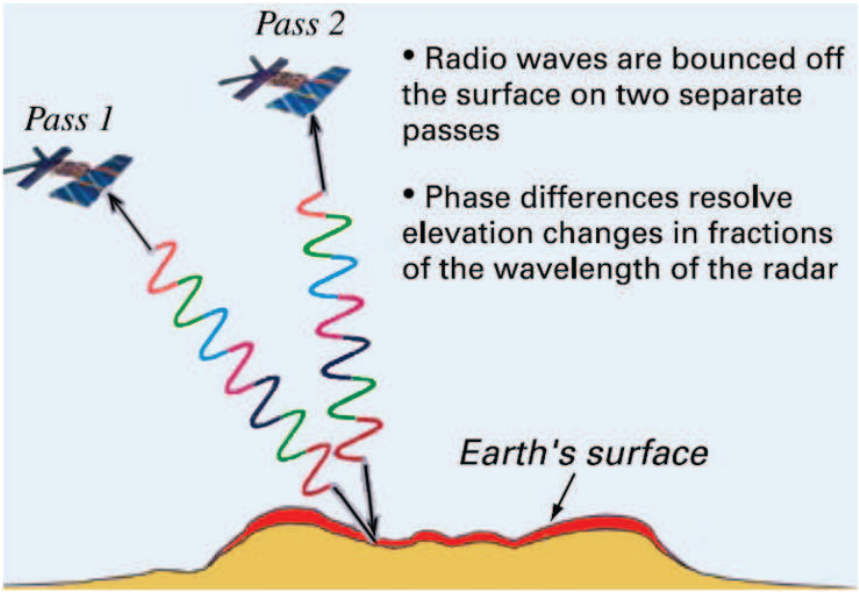


Figura 1.4 El diagrama es un ejemplo de cómo la interferometría de radar detecta la elevación de la superficie de la Tierra. Para mayor claridad, la distancia entre las posiciones del satélite y la cantidad de elevación (capa roja) son exageradas. Modificado de Zhong Lu, USGS 2004.

El InSAR es una técnica de mapeo de la deformación del suelo, que utiliza imágenes de radar de los satélites en órbita. El InSAR amplía enormemente la

capacidad de los científicos para vigilar los volcanes. A diferencia de otras técnicas que se basan en mediciones de algunos puntos, InSAR produce un mapa completo del espacio de la superficie de deformación con una precisión de centímetros. Con esta técnica los científicos no se someten a las condiciones adversas del suelo y del volcán. Debido a que el área cubierta por las imágenes de radar es generalmente un cuadrado de 50 ó 100 kilómetros de lado, este método permite a los científicos estudiar la deformación en gran escala.

1.4.4 MEDIDAS DE INCLINACIÓN

Medir cambios mínimos en el ángulo de una pendiente o inclinación de la superficie de un volcán, es uno de los métodos más antiguos de monitoreo de la deformación volcánica.

La inclinación del suelo ha sido utilizada para cuantificar la deformación del volcán desde 1912, cuando Thomas A. Jaggar, fundador del Observatorio de Volcanes de Hawái (HVO, del inglés: Hawaiian Volcano Observatory), notó una desviación en el péndulo, con relación a su posición media de un sismómetro de péndulo horizontal; equipo instalado en el Volcán Kilauea. Jaggar reconoció que estas desviaciones indicaban la inclinación de la superficie del suelo causada por la inflación y la deflación del volcán.

Una variedad de técnicas se han desarrollado posteriormente para cuantificar la inclinación del suelo, incluyendo: 1) nivelación de montaje único, que utiliza la inspección tradicional, con equipos de nivelación para calcular las diferencias de elevación con una serie de puntos de referencia para determinar inclinaciones locales del suelo. 2) Nivel de agua, es un arreglo simple de dos recipientes conectadas por un tubo largo y lleno de agua, cualquier variación en el nivel del líquido está relaciona con la inclinación del terreno, 3) medida electrónica de inclinación, en el cual un sensor montado sobre una superficie, mide la inclinación del suelo de forma continua, y 4) medida electrónica de la inclinación de una perforación, aquí un sensor, similar al anterior, es instalado en una perforación para medir la inclinación del suelo. La inclinación de las perforaciones es la herramienta que actualmente es empleada para el monitoreo continuo de la

inclinación del suelo; este método minimiza los ruidos causados principalmente por las variaciones de temperatura superficiales.

El Observatorio de Volcanes de Hawái, desde mediados de 1950 ha mantenido un inclinómetro de tubo de agua cerca de la cima del volcán Kilauea. La Figura 1.5, muestra una gráfica de la componente radial de inclinación (componente dirigida al centro de la caldera Kilauea) medidos por un inclinómetro de tubo de agua del HVO. Los datos son tomados desde 1957 hasta finales del 2008. Los cambios de inclinación positivos indican inflación de la cumbre, y los cambios de inclinación negativa indican deflación. Los cambios rápidos de inclinación corresponden a intrusiones magmáticas, erupciones volcánicas, y temblores fuertes o terremotos. Desde 1983, cuando comenzó la erupción de forma continua y mantenida en la zona de ruptura, al este del Kilauea, la cumbre del volcán ha experimentado una deflación casi constante. La única desviación significativa de esa tendencia, inició por el año 2005.

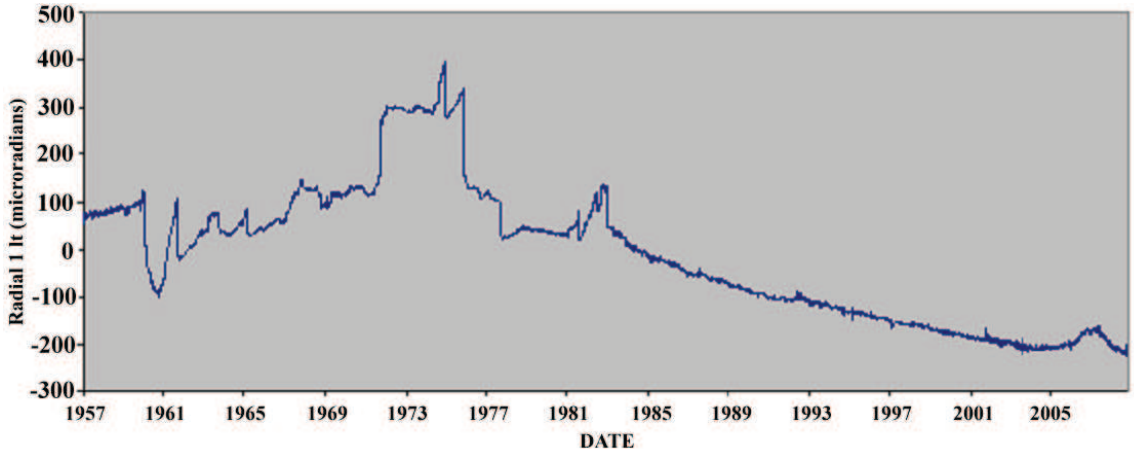


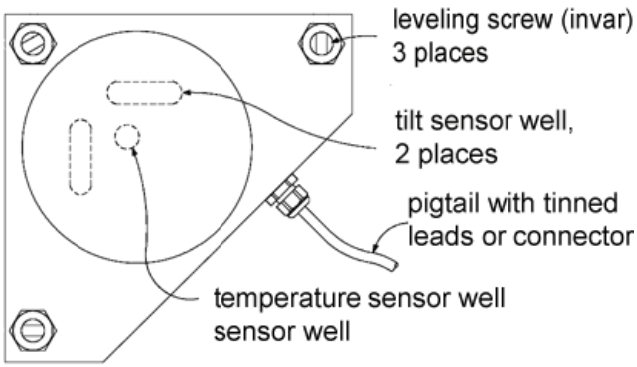
Figura 1.5 Medidas del inclinómetro de tubo de agua del Observatorio de Volcanes de Hawái. Tomado desde 1957 hasta 2008.

El monitoreo de la Inclinación es una técnica sencilla de emplear y los resultados son fáciles de interpretar, puesto que los datos no requieren ningún o poco procesamiento. Por esta razón, la vigilancia de la inclinación es una excelente herramienta para la detección temprana de la activación volcánica

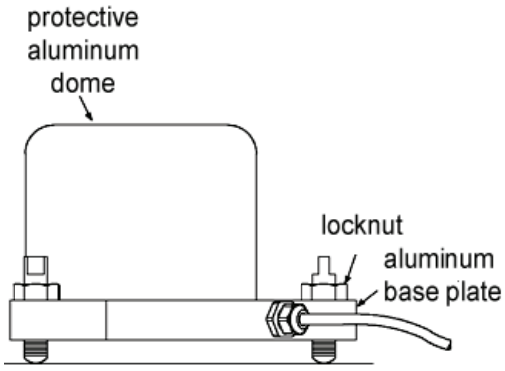
Un método comúnmente utilizado para el monitoreo de la deformación volcánica mediante la medida de la Inclinación, es el uso del inclinómetro electrónico, que se menciona en los siguientes párrafos.

1.5 EL INCLINÓMETRO ELECTRÓNICO

El inclinómetro es un instrumento diseñado para medir cambios muy pequeños del plano horizontal, ya sea sobre terrenos o en estructuras. Los inclinómetros se utilizan ampliamente para el seguimiento de la actividad de los volcanes; en el estudio de la respuesta de las represas ante el llenado; para monitoreo de pequeños movimientos ante potenciales deslizamientos de tierra; en estudios de la orientación y el volumen de las fracturas hidráulicas; la respuesta de las estructuras a diversas influencias tales como la carga y compresiones; también se puede citar como aplicación, la alineación de telescopios, el monitoreo de puentes y pozos petroleros.



(a)



(b)

Figura 1.6 Diagrama del inclinómetro electrónico modelo 701-2A (Applied Geomechanics Inc, http://www.geomechanics.com). (a) Vista superior, (b) vista frontal.

El inclinómetro electrónico es un instrumento de alta sensibilidad, tiene salida analógica y es de bajo consumo de energía. Posee una plataforma horizontal en forma triangular de aluminio o acero inoxidable, sobre la cual se acoplan dos

sensores electrolíticos de tal forma que estén paralelos a los lados del triángulo y ortogonales entre sí. Cerca de los sensores electrolíticos se encuentra un sensor de temperatura. Posee una tarjeta electrónica para el acondicionamiento de la señal de los sensores y filtro. Contiene una tapa de aluminio o acero inoxidable que se acopla a la plataforma para proteger los sensores y la tarjeta electrónica. La plataforma está provista de 3 tornillos para la nivelación del inclinómetro sobre una superficie.

Los cambios de inclinación del terreno se detectan por los cambios de resistencia eléctrica como respuesta a la rotación del sensor electrolítico y se registran en la tarjeta electrónica a través de cambios de voltaje, los cuales son convertidos en ángulos de inclinación. Simultáneamente, la lectura de voltaje del sensor de temperatura es convertida a grados Celsius. La información que proporciona el inclinómetro puede ser recolectada directamente en el campo por medio de un equipo portátil, o ser transmitida por radio al observatorio, donde la información es recibida por otro radio conectado al computador.

1.5.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

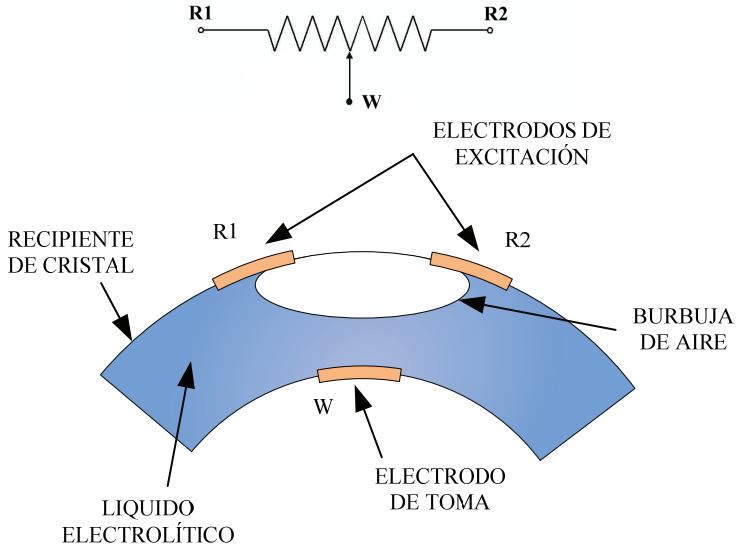


Figura 1.7 Esquema simplificado del sensor de inclinación.

Al igual que el nivel de un carpintero, un inclinómetro electrónico utiliza un pequeño recipiente lleno de un líquido electrolítico y una “burbuja” para medir un cambio en la pendiente. Electrodos de platino son colocados en el líquido y en la

burbuja para determinar la posición de la misma. La salida de voltaje de los electrodos cambia, de modo que se relaciona con la cantidad de inclinación que causa el movimiento de la burbuja.

Mientras el sensor se encuentra “nivelado”, las impedancias eléctricas formadas por el electrodo de toma y cada uno de los electrodos de excitación, son iguales. Al mover el sensor de su posición de reposo, se perturba su estado de equilibrio y las impedancias cambian en proporción al ángulo de inclinación. El contenedor con los electrodos puede inclinarse, pero el centro de gravedad del volumen de líquido se mantiene fijo.

Si se aplican Voltajes en corriente directa (DC) entre los electrodos, tendría lugar a una galvanoplastia[2], y se producirán daños en el sensor. Para evitar estos daños se aplica un voltaje de excitación en corriente alterna (AC), que por lo general van desde 0.5 a 5.0 V. La forma de la señal puede ser triangular o sinusoidal y el rango de frecuencias está entre 0.02 y 20 KHz. El nivel de la corriente del circuito depende de la impedancia del sensor, que normalmente varia alrededor de 1 a 10 KΩ y las corrientes de AC están en el rango de 0.5 a 1 mA.

Mediante la medición de los cambios en la resistencia, el inclinómetro electrónico determina el movimiento angular con gran precisión. El rango angular del sensor es función de la longitud de los electrodos de excitación y el radio de curvatura del recipiente.

1.5.2 UNIDAD DE MEDIDA

Las pendientes son medidas en grados o radianes (1 radián (Rad) = 180/π ≈57.296 grados), pero los cambios de pendiente causados por la deformación volcánica son alrededor de un millón de veces más pequeños que un radián. Por lo tanto, los científicos frecuentemente utilizan unidades de micro-radianes (1’000.000 μRad = 1 Rad), para representar las mediciones de inclinación o deformación volcánica.

---

[2] Galvanoplastia: Técnica consistente en la producción o reproducción de objetos metálicos por deposición electrolítica.

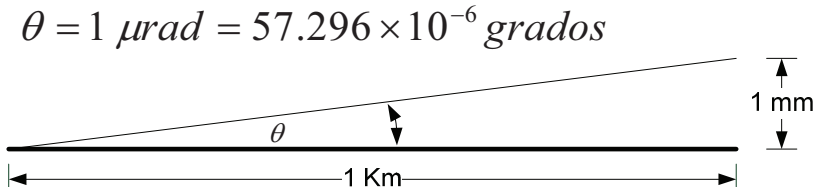


Figura 1.8 Definición de micro-radián. El gráfico esta exagerado para propósito de explicación.

Los inclinómetros electrónicos miden la cantidad de inclinación en micro-radianes (μRad), que es el ángulo generado al levantar el ancho de una moneda de diez centavos a un extremo de una vara de un kilómetro de largo (equivalente a 0.00006 grados). También se lo define como el ángulo generado al levantar 1 milímetro el extremo de una vara de 1 Km de longitud.

1.6 CONCEPTUALIZACIÓN

El sistema se basa principalmente en la estación remota y en la estación base de control u observatorio. Como se puede ver en la Figura 1.9, la estación remota está ubicada en el volcán y el sensor generalmente está montado sobre roca. Los sitos para las estaciones remotas son designados por los vulcanólogos o científicos.

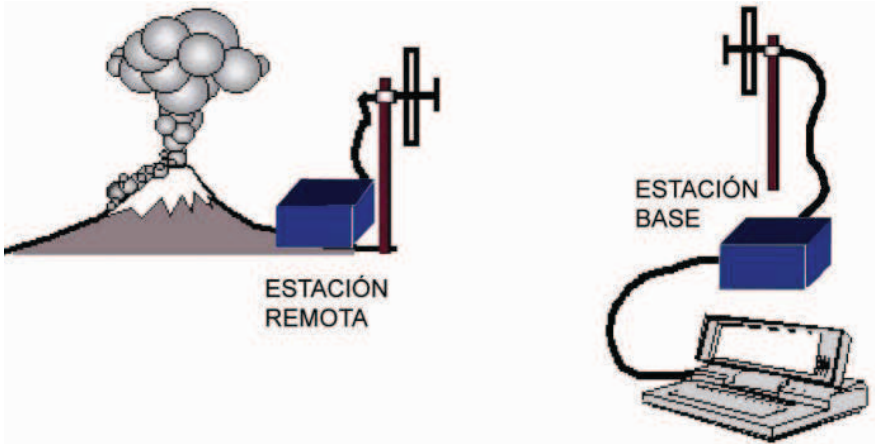


Figura 1.9 Sistema de detección de deformación. Localización de la estación base y remota (Gráfico modificado del libro de Instrumentación en Volcanología de Ramón Ortiz).

La estación base son los observatorios de los volcanes, es el lugar donde se recopilan los datos de la deformación, que son enviados por las estaciones

remotas de medición. Están ubicadas lejos del volcán, en lugares estratégicos y que pueden servir en algunos casos como refugios.

1.6.1 ESTACIÓN REMOTA

La estación remota cuenta básicamente con un sensor, que es el inclinómetro electrónico; un digitalizador, en base a un conversor de señal analógica a digital y microcontrolador; y un radio digital, para la transmisión de los datos. El lugar donde se monta la estación remota no cuenta con energía eléctrica de la Red Nacional y para suplir esta necesidad se utilizan paneles solares y baterías. Estos componentes hacen que la estación sea autónoma y pueda operar por largos periodos sin necesidad de mantenimiento (ver la Figura 1.10).

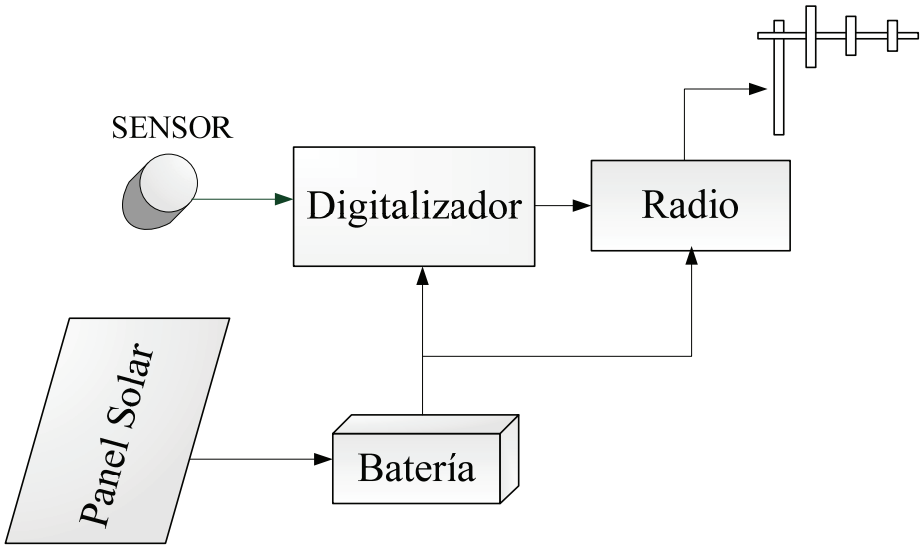


Figura 1.10 Diagrama de bloques de las partes constitutivas de una estación remota para el sistema de detección de deformación.

1.6.2 ESTACIÓN BASE

En la estación base se ubican un radio receptor digital y una computadora para el almacenamiento y análisis de datos. La información es almacenada en la computadora utilizando el software SAMI3 (Sistema de adquisición y Monitoreo Integrado), un programa desarrollado en Java por el Instituto Geofísico y de código abierto. Las gráficas de la deformación y el análisis se realizan mediante la herramienta de cálculo Excel. Actualmente, para el procesamiento de los datos se

utiliza el Matlab; que es un software matemático que facilita la aplicación de modelos de deformación a los mismos.

1.6.3 COMUNICACIÓN DEL SISTEMA

Existen varias posibilidades, aunque no todas son aplicables debido a las distintas regulaciones del espectro radio-eléctrico. Entre las posibilidades existe la utilización de un radio-módem o de un enlace spread-spectrum, presentando ambas soluciones el problema de requerir de una potencia considerable y costos elevados.

Otra posibilidad es utilizar enlaces de radio en VHF o UHF de baja potencia desde la estación a un punto situado en las proximidades del volcán donde se dispone el centro de registro y comunicaciones. Este tipo de enlaces son utilizados para comunicación con estaciones sísmicas y laháricas[3] en nuestro país, es fácil de implementar en los volcanes activos, puesto que son zonas poco habitadas y el espectro no está saturado.

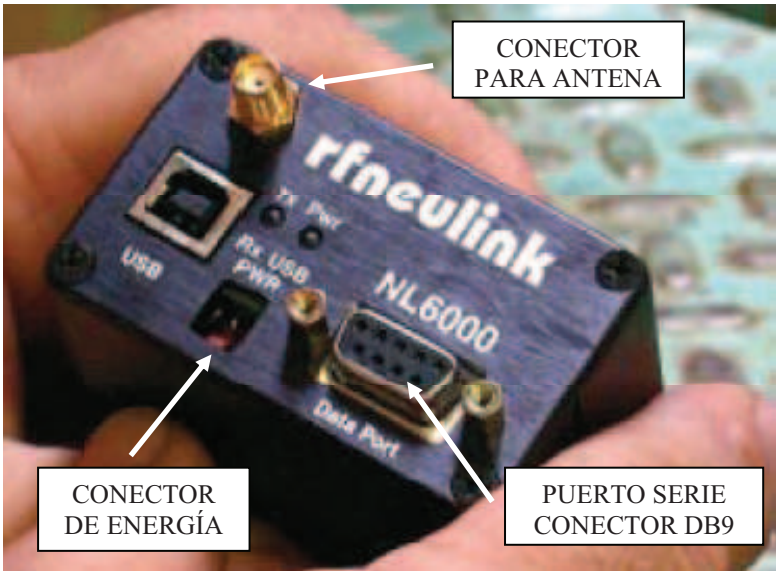


Figura 1.11 Radio módem con puerto serial RS-232. Radios adquiridos por el Instituto Geofísico para la comunicación de sus estaciones de monitoreo.

[3] Lahar: Son flujos de barro que re movilizan gran parte de material desde las laderas de los volcanes

De esta manera, es conveniente emplear un radio módem en VHF o UHF para la comunicación del sistema. El Instituto Geofísico posee radios módems similares al que se muestra en la Figura 1.11, ellos presentan características convenientes para el sistema que aquí se diseña.

Estos radios digitales permiten crear una configuración punto a punto y punto a multipunto, lo cual da la posibilidad de instalar varias estaciones de monitoreo sobre el mismo volcán. En caso de no tener línea de vista, los radios permiten ser configurados como repetidoras, facilitando la comunicación entre la estación remota y la estación base.

En el presente capítulo se realizó un estudio de los métodos empleados para la medida de la deformación volcánica. Se encontró que los métodos más comúnmente empleados son: los medidores electrónicos de distancia, los basados en GPS, la interferometría inSAR y las medidas de inclinación. También se realizó una conceptualización del sistema que se ha implementado.

En el siguiente capítulo se diseñará un sistema micro-procesado a partir del inclinómetro electrónico. El diseño se realizará empleando un conversor de señal analógica a digital de alta resolución que se controlará por medio del PIC16F877. Se agregarán periféricos como: una pantalla LCD, pulsadores, interruptores DIP y LEDs. Además se agregará un puerto serie RS-232 para la comunicación con una computadora o radio módem.

CAPÍTULO 2
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO

En este capítulo se presentan el diseño del hardware y la construcción del equipo que se implementó para resolver el problema propuesto. Para cada circuito presentado se hace una breve explicación, y el equipo se ensambla de acuerdo al esquema de la estación remota de monitoreo (presentado en el capítulo anterior).

2.1 DISEÑO DEL HARDWARE

El diseño del hardware (o tarjeta de adquisición de datos) se basa en el empleo de un inclinómetro electrónico modelo 701-2 (4X) descrito en la Sección 1.5 del capítulo anterior. El sensor de deformación presenta los datos de forma analógica, y por consiguiente, se emplea un conversor de señal analógica a digital para la digitalización de los datos. Los datos convertidos a digital son transmitidos a una computadora por medio de la interfaz RS-232. También se pueden visualizar la información de la deformación, la temperatura y la configuración del sistema en una pantalla de 2x16 caracteres. La lectura y el control de todos los periféricos se realizan con el microcontrolador PIC16F877 (de Microchip Technology Inc.).

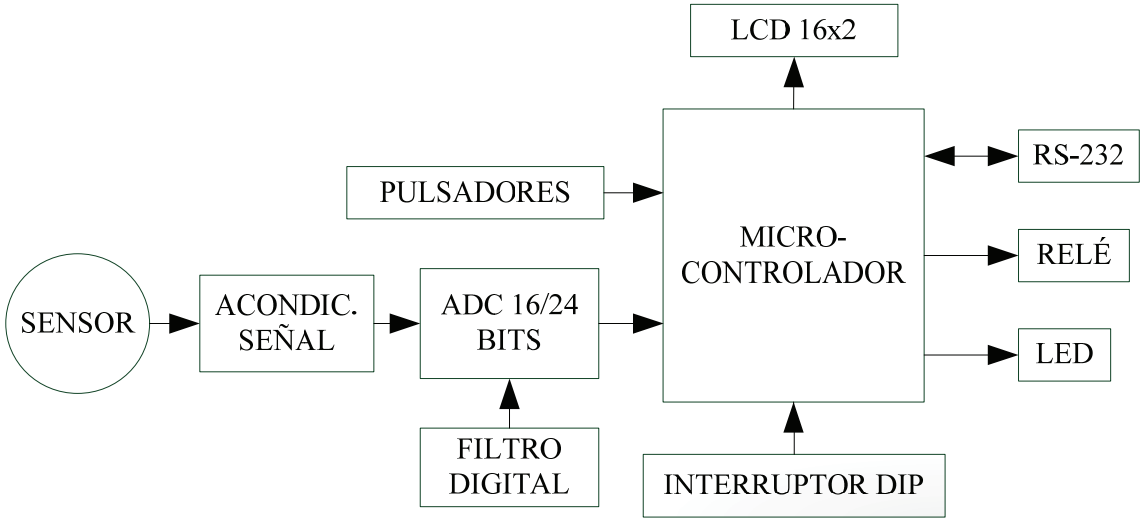


Figura 2.1 Diagrama de bloques del hardware o tarjeta de adquisición de datos para el sistema de monitoreo de deformación volcánica.

A continuación se detallan cada una de las partes que conforman el hardware o tarjeta de adquisición de datos del sistema de monitoreo de deformación volcánica.

2.1.1 EL SENSOR DE INCLINACIÓN

Se utiliza el inclinómetro electrónico modelo 701-2 (4X), es biaxial, impermeable, NEMA 4X, que significa que no es afectado por la exposición continua a la humedad, ni a la lluvia. El instrumento tiene revestimiento resistente a la corrosión. Contiene tres tornillos ajustables para el encerado del sensor. El inclinómetro también mide la temperatura de sí mismo.

Figura 2.2 Fotografía de un inclinómetro electrónico modelo 701-2A (4X) de Applied Geomechanics.

2.1.1.1 Características Principales

- Rango angular: ± 8000 µrad
- Factor de escala: 1 µrad/mV
- Resolución: 1 µrad
- Repetitividad: 2 µrad
- Linealidad: 1%
- Salida de Inclinación: ±8 VDC
- Impedancia del Sensor: 270 Ω

- Rango de operación (temperatura): −25° a +70°C
- Salida del sensor de temperatura: 0.1 °C/mV
- Rango del sensor de temperatura: −40° a +100°C
- Exactitud del sensor de temperatura: ± 0.75 °C
- Alimentación del Inclinómetro: ±11 to ±15 VDC @ +11 and −6 mA

2.1.1.2 Ejes de Referencia

El sensor mide la deformación en dos direcciones ortogonales entre sí que se alinean a los ejes radial y tangencial de la estructura del volcán (ver la Figura 2.3). El eje *X* del inclinómetro electrónico apunta al cráter del volcán, recibiendo el nombre de eje radial, y el eje *Y* viene a ser el tangencial.

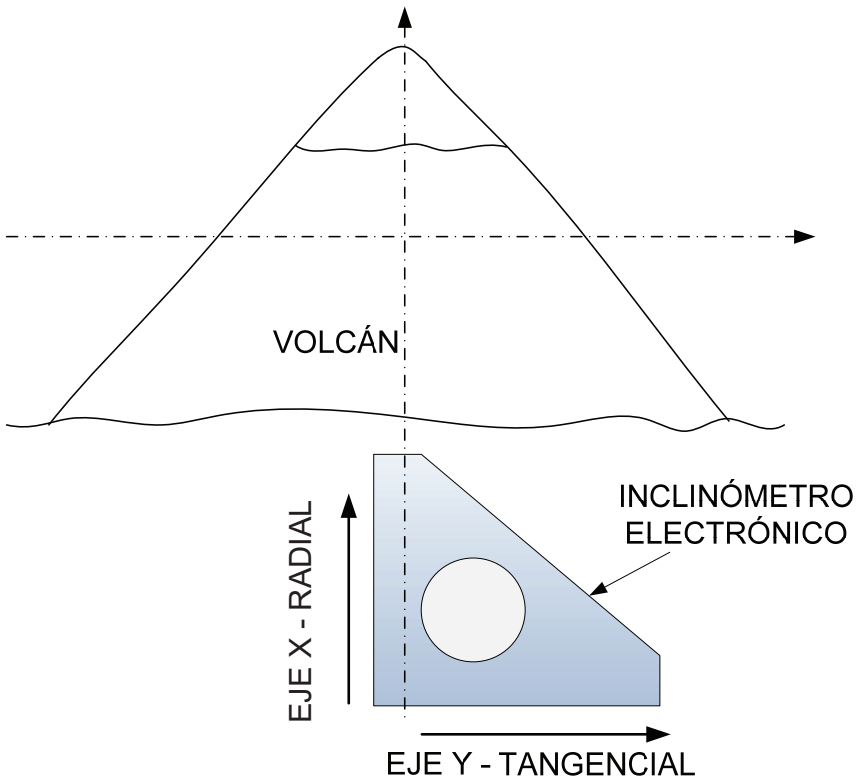


Figura 2.3 Alineación del inclinómetro electrónico al momento de ser montado sobre roca en el volcán.

2.1.2 ACONDICIONAMIENTO DEL INCLINÓMETRO

El acondicionamiento de la señal se realiza con amplificadores de instrumentación (AI) los AD620 (U5 y U6 de la Figura 2.4) de ganancia unitaria. Tienen una alta

impedancia de entrada y un alto factor de rechazo en modo común que los hacen adecuados para este propósito. Con ellos también se aseguran el acople de las impedancias entre el sensor y la tarjeta de adquisición de datos.

El cable del sensor tiene varios metros de longitud y puede hacer las veces de una antena, y para evitar que se dé este caso, se implementa un filtro para atenuar la interferencia por radio frecuencia (RFI). En la Figura 2.4, el filtro RFI para el eje radial está formado por: R12, R13, C13, C14, y C15 implementado a la entrada del AD620 (U5). Mientras que, para el eje tangencial el filtro RFI está formado por: R16, R17, C21, C22, y C23 acoplado a otro AD620 (U6).

El filtro RFI implementado con los valores de resistencia y capacitores es tomado del libro: A Designer's Guide to Instrumentation Amplifiers, 3ra edición, pág. 5-15. Autores: Charles Kitchin y Lew Counts (http://www.analog.com).

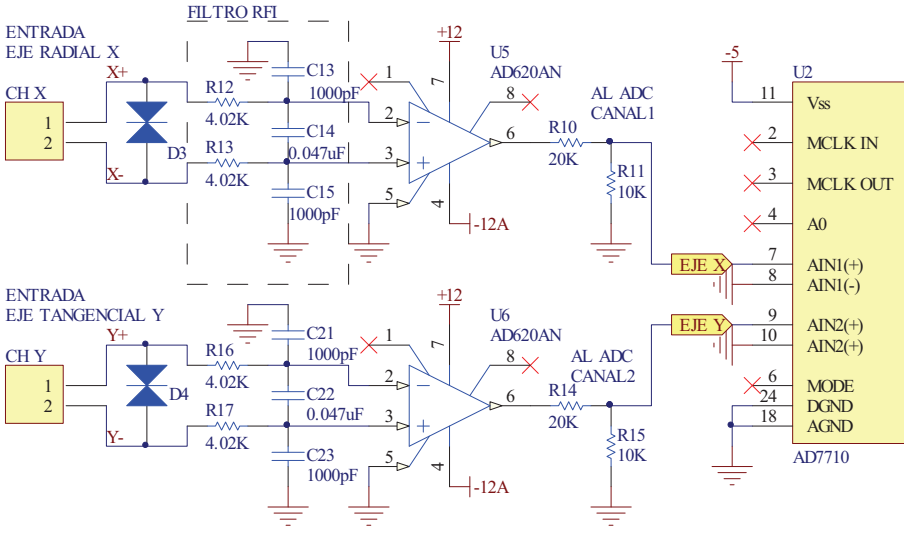


Figura 2.4 Acondicionamiento de la señal de deformación y filtro para la interferencia de radio frecuencia. Ejes radial y tangencial conectados al AD7710.

Experimentalmente, el voltaje de salida máximo medido en el inclinómetro electrónico modelo 701-2 (4X) es de 7.491 V. Este valor debe ser leído por un ADC con un rango de entrada similar a la salida del inclinómetro electrónico. Uno apropiado para este propósito es el AD7732 que posee dos entradas de señal analógicas con un rango de 0 a +/- 10 V. Pero el alto consumo de corriente y la necesidad de agregar un chip adicional para la referencia del AD7732, se ha

decidido por utilizar otro ADC, de bajo consumo de energía y que además posee una salida de voltaje de referencia de 2.5 VDC, que reduce los espacios de diseño y costos; el AD7710.

El ADC que aquí se emplea solo acepta valores hasta +/- 2.5 VDC. Por esta razón se diseña un divisor de voltaje (a la salida del AI) para cada eje de deformación. En la Figura 2.4, los divisores de voltaje están formados por las resistencias: R10 y R11 para el eje radial, y para el eje tangencial por las resistencias R14 y R15.

Tomando el caso del eje radial X, el voltaje máximo en la resistencia $\boldsymbol{R11}$ debe ser de 2.5 VDC, cuando en el pin #6 del AD620 se tenga 7.5 VDC.

$$\boldsymbol{V_{R11} = V_{ENT} \cdot \frac{R11}{R10 + R11}} \qquad \text{(Ec. 2.1)}$$

Utilizando la Ec. 2.1 y reemplazando los valores de: $\boldsymbol{R11 = 10K\Omega}$, $\boldsymbol{V_{R11} = 2.5V}$ y $\boldsymbol{V_{ENT} = 7.5\, V_{DC}}$, se encuentra que el valor de la resistencia R10 es de 20KΩ. De esta manera los valores de las resistencias de los divisores de voltaje son los siguientes: $\boldsymbol{R10 = R14 = 20K\Omega}$ y $\boldsymbol{R11 = R15 = 10K\Omega}$.

Para evitar daños a los componentes electrónicos como consecuencia de los transitorios de voltaje, se utilizan los “tranzorb” o diodos supresores de transitorios de voltaje, representados por D3 y D4 en la Figura 2.4. Estos dispositivos recortarán los picos de voltaje que se pueden encontrar al conectar el sensor de deformación con la tarjeta de adquisición de datos. El valor nominal de los “tranzorbs” utilizados en este diseño son de 7.5 V bidireccional (1.5KE7.5CA).

2.1.2.1 Sensor de Temperatura

El sensor de temperatura que contiene el inclinómetro electrónico es capaz de cubrir un rango de -40°C a 100°C. Dadas las condiciones ambientales en las que funcionará el inclinómetro, se realiza el acondicionamiento de la señal del sensor de temperatura para cubrir medidas de 0 a 50 °C.

La digitalización de la temperatura se realiza utilizando el ADC de 10 bits de resolución del microcontrolador PIC16F877. Cuando se alcanza el valor máximo

de temperatura en el rango seleccionado, el acondicionador debe proporcionar 2.5 VDC, debido a que la referencia del ADC es de este valor (ver la Figura 2.5).

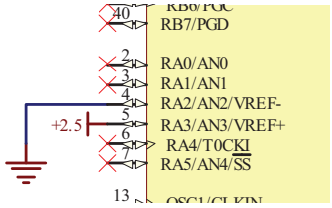


Figura 2.5 Conexión del voltaje de referencia al ADC de 10 bits del PIC16F877. El pin #5 etiquetado como VREF+ se conecta a 2.5 VDC y el pin #4 nombrado como VREF- se conecta a tierra.

Se conoce que el inclinómetro electrónico proporciona 10 mV por cada 1°C y a 0°C se tiene 0 mV. En base a estos datos se realizan los cálculos para determinar la ganancia de un amplificador de instrumentación utilizado para acondicionar la salida de temperatura.

A los 50 °C el sensor proporciona la cantidad de 500 mV, Este voltaje se amplifica para obtener 2.5 VDC a la salida del acondicionador. Aprovechando la Ec. 2.2, se encuentra que la ganancia de ser de 5 veces la señal de entrada.

$$\boldsymbol{V_{SAL}} = \boldsymbol{V_{ENT}} \times \boldsymbol{G} \qquad \text{(Ec. 2.2)}$$

Donde:

$\boldsymbol{V_{SAL}}$, es el voltaje de salida del amplificador

$\boldsymbol{V_{ENT}}$, es el voltaje de entrada al amplificador

$\boldsymbol{G}$, es la ganancia

Conforme a la ganancia obtenida para el acondicionador de temperatura, a continuación se calcula la resistencia de ganancia que se debe conectar al AI.

$$R_G = \frac{49.4k\Omega}{G-1} \qquad \text{(Ec. 2.3)}$$

Se recurre a la Ec. 2.3 y se reemplaza el valore de $\boldsymbol{G}$ por 5. De esta manera se obtiene una resistencia de ganancia $\boldsymbol{R_G}$ de $\boldsymbol{12.53k\Omega}$.

La resistencia R_G calculada es la resistencia variable R8 en la Figura 2.6 y se utiliza un potenciómetro de 20 KΩ para ser ajustado hasta obtener el valor de

12.53 KΩ. También se puede observar en la misma figura, la implementación de un filtro RFI a la señal del sensor de temperatura.

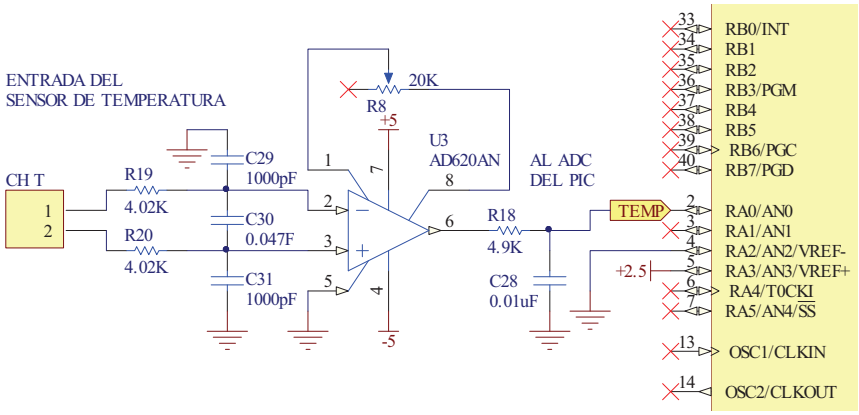


Figura 2.6 Acondicionamiento para el sensor de temperatura del inclinómetro electrónico. La señal de temperatura es digitalizada con el ADC de 10 bits del microcontrolador.

Un filtro RC pasa bajos es conectado entre el AD620 y el PIC17F877 formado por las resistencias R18 y C28 (ver la Figura 2.6). La frecuencia de corte (fc) del filtro es de 300Hz y para el cálculo de la resistencia se asume un capacitor de 100 nF.

$$\boldsymbol{R = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot fc \cdot C}} \qquad \text{(Ec. 2.4)}$$

Utilizando la Ec. 2.4 se encuentra que el valor de la resistencia es de $\mathbf{5305.16}\ \Omega$. Este valor de resistencia puede ser reemplazado por un valor estándar de 4.9 KΩ ó 5.1 KΩ.

2.1.3 CONVERSOR DE SEÑAL ANALÓGICA A DIGITAL

Las características del sensor de deformación afirman que por cada 1 mV se tiene un 1 μrad, y la resolución es de 1 μrad o mejor. Los cálculos para determinar el número de bits del ADC más conveniente para la digitalización del sensor de deformación se realiza empleando la Ec. 2.5.

$$\boldsymbol{n \geq \frac{ln|Rango| - ln|CSMP|}{ln2}} \qquad \text{(Ec. 2.5)}$$

Donde:

$\boldsymbol{n}$, es el número de bits

$\boldsymbol{Rango}$, son los valores que acepta el ADC que van de -2.5 a +2.5 V

$\boldsymbol{CSMP}$, es el cambio de señal más pequeña que debe detectar el ADC

El $\boldsymbol{CSMP}$ debe ser menor a 1 mV de acuerdo a la aplicación que se le da en este proyecto. Estos valores reemplazados en la Ec. 2.5 dan como resultado $\boldsymbol{n \geq 12.3}$. El valor de $\boldsymbol{n}$ calculado se aproxima a 13 bits y se concluye que la resolución del conversor de señal analógica a digital para la digitalización del sensor de deformación debe ser mayor a 13 bits.

De acuerdo al estudio anterior se puede recurrir al empleo del AD7710 (de Analog Devices, Inc.) que es configurable a 16 ó 24 bits de resolución. Tiene dos entradas de señal analógica, que son apropiadas para los ejes radial y tangencial del inclinómetro electrónico. Permite elegir la frecuencia de muestreo de 10 a 1000 muestras por segundo. Además, cuenta con: un filtro digital, un amplificador de ganancia programable de 0 a 42 dB y una interface de comunicación serial sincrónica bidireccional.

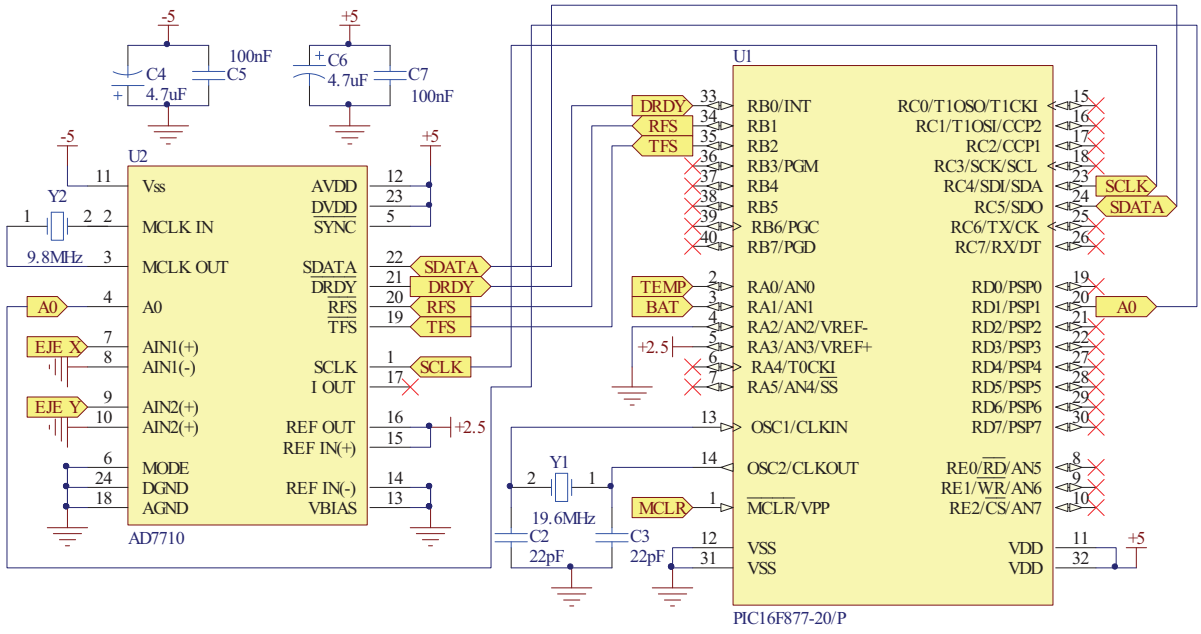


Figura 2.7 Conexión del AD7710 con el microcontrolador. El AD7710 es empleado para digitalizar los dos componentes radial y tangencial del sensor de deformación.

Al utilizar el AD7710 configurado a 16 bits, y aplicando la Ec. 2.6 se tiene que la resolución del conversor es de $\boldsymbol{76.29\ \mu V}$. Con esta resolución, teóricamente se podrá medir hasta la décima parte de un μrad de inclinación.

$$Resolucion = \frac{Rango}{2^n} \qquad \text{(Ec. 2.6)}$$

Las características antes mencionadas hacen del AD7710 el más apropiado para la digitalización de la señal de salida del inclinómetro electrónico.

2.1.4 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA

Para realizar estudios de la deformación en un volcán, es necesario instalar más de una estación remota, siendo necesario asignar un número a cada estación de monitoreo. La asignación del número de estación es por medio del programa del microcontrolador, y otra alternativa es emplear interruptores DIP[1] para que el usuario pueda fijar cualquier número desde el sitio mismo de la instalación.

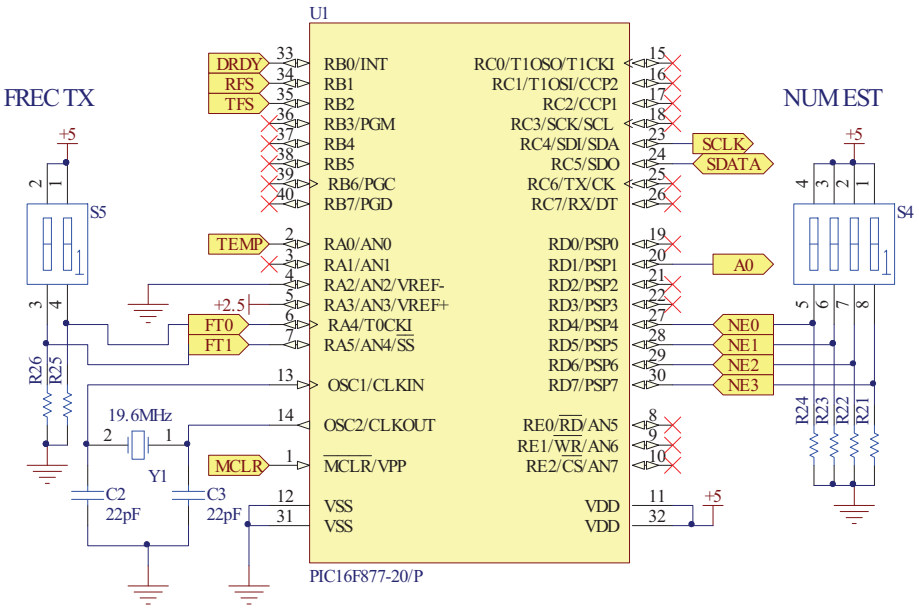


Figura 2.9 Conexión de los interruptores DIP al microcontrolador para: la selección del número de estación (S4), y el intervalo de transmisión de datos (S5).

También, cada estación debe transmitir sus datos al observatorio en ciertos intervalos de tiempos. Se pueden transmitir cada segundo, cada minuto, horas e incluso cada día; pero la decisión en los tiempos de transmisión está dada por los investigadores.

[1] Interruptor DIP: viene del inglés "dual in-line package", se trata de un conjunto de interruptores eléctricos que se presenta en un formato encapsulado

Para establecer el número de estación se emplea un interruptor DIP de cuatro posiciones. De esta manera se da la posibilidad de instalar en una misma red hasta 16 estaciones de monitoreo de la deformación volcánica.

Así mismo, la forma de fijar el intervalo de transmisión de datos se realiza por medio de un interruptor DIP de 2 posiciones. En la Tabla 2.1 se presentan las alternativas de intervalos de tiempo (más comúnmente utilizados) que se pueden escoger para la transmisión de datos.

Tabla 2.1 Selección de intervalos para la transmisión de datos.

S1	S2	Intervalo
0	0	05 SEG
0	1	01 MIN
1	0	05 MIN
1	1	10 MIN

La parte complementaria de la configuración del sistema son los pulsadores de acción momentánea.

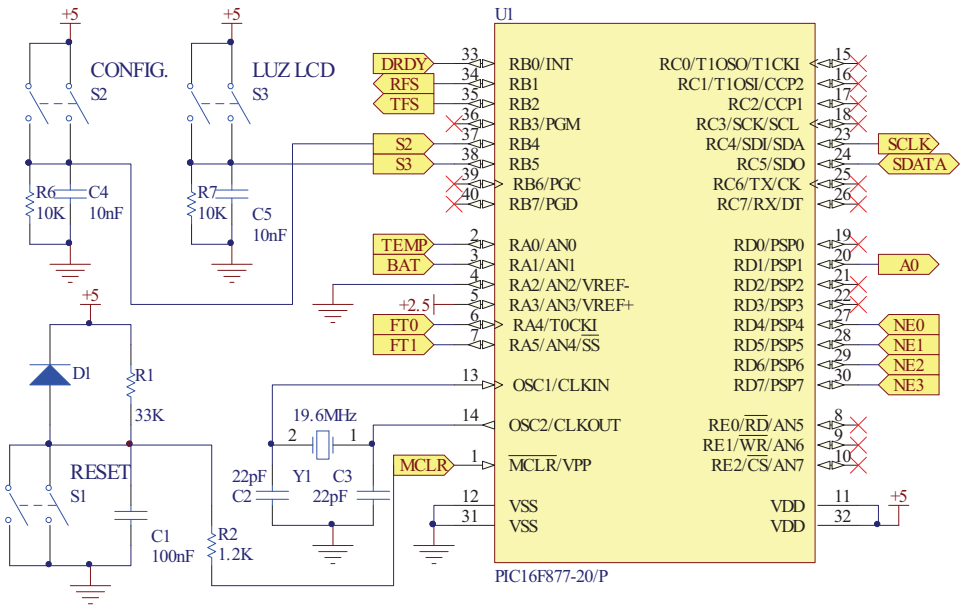


Figura 2.10 Conexión de pulsadores: S1, para el reset del microcontrolador; S2, para el almacenamiento de la configuración; y S3, para el encendido de la luz del LCD.

En la Figura 2.10 se han conectado tres pulsadores al microcontrolador PIC16F877 etiquetados como: RESET, para reiniciar el programa del microcontrolador; CONFIG, para guardar la configuración del hardware en la memoria EEPROM; y el pulsador LUZ_LCD, para encender el LED backlight y poder observar los valores en lugares de escaza luz.

2.1.5 VISUALIZACIÓN DE DATOS

Con la finalidad de realizar la tarea de enceramiento del sensor, se conecta al microcontrolador una pantalla para mostrar los datos digitalizados. En base a los datos presentados se conoce el estado del sensor, y con ello se realizan los respectivos ajustes a los tornillos para su nivelación. En la Figura 2.2 se pueden apreciar los tres tornillos que tiene el inclinómetro electrónico para su enceramiento.

Se realiza la conexión de una pantalla de cristal líquido (LCD) de 2x16 caracteres para visualizar la configuración del hardware y presentar los valores de deformación de los ejes radial y tangencial, voltaje de batería y temperatura del sensor. La configuración del sistema comprende el número de estación asignado y el intervalo de tiempo de transmisión de datos.

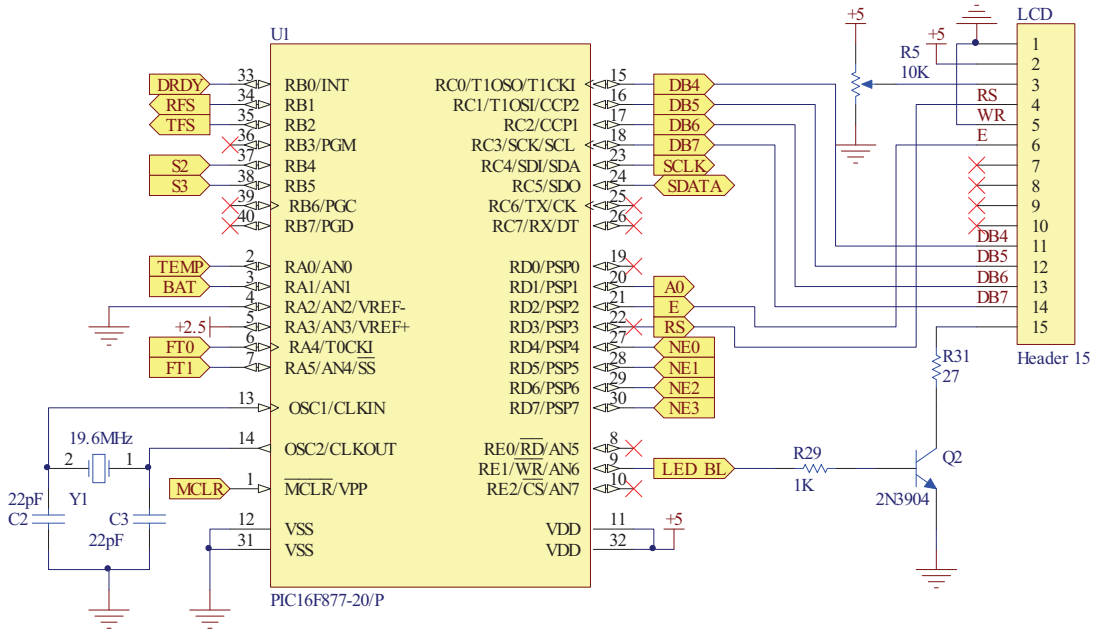


Figura 2.8 Diagrama de conexiones de la pantalla de cristal líquido de 2x16 caracteres con el microcontrolador PIC16F877.

La pantalla LCD puede operar en modo de 4 u 8 bits de datos; en modo de 8 bits se puede conseguir un acceso rápido a la pantalla y con 4 bits se tienen retardos en la presentación de datos. El retardo generado en el modo de 4 bits es debido a que primero se envían los bits más significativos y luego los menos significativos. La ventaja de emplear un bus de 4 bits de datos, a diferencia del modo de 8 bits, es la disponibilidad de 4 pines adicionales en el microcontrolador; pines que pueden ser ocupados en otros propósitos.

La energía para la LCD y el encendido del LED de backlight[2] se toma de la fuente de 5 V. El contraste de la pantalla es controlado con un potenciómetro de 10 KΩ (R5 en la Figura 2.8), donde, el terminal variable es conectado al pin 3 de la LCD.

El encendido y apagado del LED de backlight se realiza mediante un transistor que es activado por una salida digital del microcontrolador. El transistor Q2 es configurado como interruptor, para que opere en corte y saturación.

Los cálculos para la resistencia de base y colector del transistor son realizados de acuerdo al requerimiento de corriente (corriente de colector $\boldsymbol{I_C = 50\,mA}$) necesaria para encender el LED backlight. En las hojas de datos del transistor 2N3904 se encuentra lo siguientes: $\boldsymbol{I_C = 50\,mA}$, $\boldsymbol{V_{CE} = 0.3\,V}$, $\boldsymbol{V_B = 5\,V}$, $\boldsymbol{h_{FE} = 10}$ y $\boldsymbol{V_{BE} = 0.95}$. Reemplazando estos valores en las ecuaciones Ec. 2.7 y Ec. 2.8 se obtiene que $\boldsymbol{R_B = 810\Omega}$, éste valor se reemplaza por una resistencia estándar de 1KΩ (R29 en la Figura 2.4).

$$\boldsymbol{I_C = h_{FE} \cdot I_B} \qquad \text{(Ec. 2.7)}$$

$$\boldsymbol{R_B = \frac{V_B - V_{BE}}{I_B}} \qquad \text{(Ec. 2.8)}$$

La resistencia de colector (R31 en la Figura 2.8) se calcula considerando que el voltaje mínimo que requiere el LED backlight es de 3.8 V y como por la misma resistencia debe circular una corriente de 50 mA. Estos valores se aplican a la Ec. 2.9 y se obtiene una resistencia de 18 que se la reemplaza por una de 27 Ohmios.

[2]El LED backlight, es un tipo de iluminación de pantallas LCD, que consta de diodos emisores de luz (LED, por sus siglas en inglés)

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{LED\ backlight} - V_{CE}}{I_C} \qquad \text{(Ec. 2.9)}$$

Donde:

R_C, es la resistencia del colector

I_C, es la corriente en el colector

V_{CC}, es el voltaje de alimentación

$V_{LED\ backlight}$, es el voltaje en el LED backlight

V_{CE}, es el voltaje entre el colector y el emisor

2.1.6 PUERTO DE COMUNICACIÓN

La conexión de la tarjeta de adquisición de datos con la computadora se realiza utilizando el puerto serie, las mismas que emplean tres líneas de comunicación conocidas como: transmisión, recepción, y la referencia o tierra (Tx, Rx y GND respectivamente).

La computadora utiliza el estándar RS-232, por lo que los niveles de voltaje en los pines de Tx y Rx del conector están comprendidos entre +15 y -15 V. EL microcontrolador habitualmente trabaja con niveles TTL (0 y 5 V), por ello es necesario intercalar un circuito que adapte los niveles.

El circuito adaptador de niveles es precisamente un chip, que en el caso de la tarjeta de adquisición de datos, se trata del chip DS275, y las conexiones al microcontrolador y el conector se presentan en la Figura 2.9.

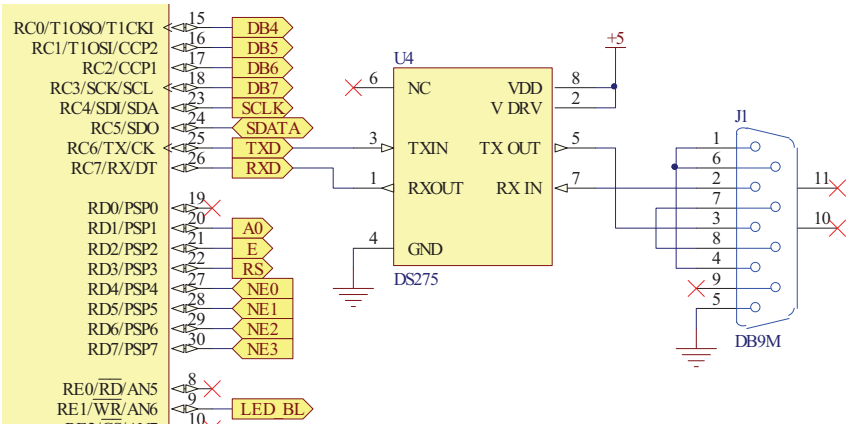


Figura 2.9 Conexión del puerto de comunicación serial RS-232 implementado al microcontrolador con el uso del transmisor DS275.

A través del puerto serie, es posible conectar el equipo directamente a la computadora. Ayudando así, a verificar el funcionamiento del sistema y a recopilar los datos. Con el empleo de un par de radios digitales es posible transmitir la información desde la estación remota al observatorio.

2.1.7 LECTURA DEL NIVEL DE BATERÍA

En varias ocasiones el mantenimiento de una estación de monitorea ha consistido en cambiar las baterías únicamente. Como consecuencia de climas nublados en las altitudes donde se encuentran las estaciones, las baterías no son cargadas suficientemente por los paneles solares, y poco a poco disminuyen su carga.

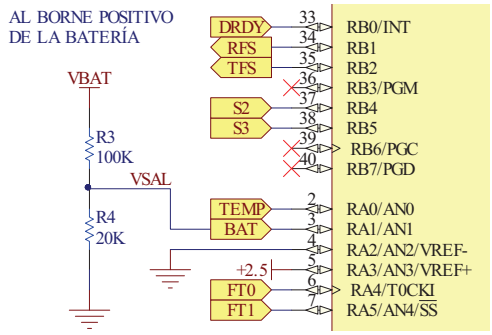


Figura 2.10 Conexiones para la medida del nivel de voltaje de la batería. El divisor de voltaje es conectado a una entrada del ADC de 10 bits del PIC16F877.

Los reguladores de voltaje empleados en las estaciones sísmicas e inclinométricas toman la energía de los paneles solares, que en días muy soleados alcanzan valores de alrededor de 20 VDC. La energía entregada por el panel solar es ingresada a un regulador para cargar la batería y para la operación normal del equipo electrónico. Los reguladores empleados son de 12 VDC nominales, pero cuando se dan altos valores en los paneles solares, los reguladores entregan un voltaje máximo de 14 VDC.

Para medir el voltaje de batería por medio del ADC del microcontrolador, previamente debe ser escalado a un valor menor y ser adecuado para medir en el rango de 7 a 15 VDC, aproximadamente. Una forma de implementar el medidor de batería, es tomar la señal directamente del borne positivo de la batería por medio de un divisor de voltaje.

En la Figura 2.10 se presenta un divisor de voltaje formado por las resistencias R3 y R4 conectado al microcontrolador. Para los cálculos se considera un voltaje máximo en la batería de 15 VDC, y para esta cantidad, el voltaje en la resistencia R4 debe ser de 2.5 VDC. Con los valores mencionados y tomando una resistencia de 20KΩ para R4, se busca el valor de R3 en una ecuación similar a la Ec. 2.1. Se encontró que el valor de la Resistencia R3 es de 100 KΩ.

Para los cálculos del acondicionador del voltaje de batería, se asumió que el valor de voltaje de la batería es de 15 VDC, aunque en el regulador del panel solar solo alcanza un valor máximo de 14 VDC. Con el valor anterior asumido se adquiere una holgura de 1 VDC aproximadamente y así se trata de evitar que el canal de entrada analógica se deteriore.

2.1.8 CONEXIÓN DEL RELÉ

Puesto que el sistema utiliza radios módems digitales, se diseña una alternativa para proporcionar energía al radio modem empleado en la estación remota. Pensando en el ahorro de energía de la estación, se optó por utilizar un relé de contactos normalmente abierto. El relé es activado mediante un transistor, el mismo que es configurado para que opere en corte y saturación, y de este modo se proporcione la corriente mínima para lograr el funcionamiento de los contactos.

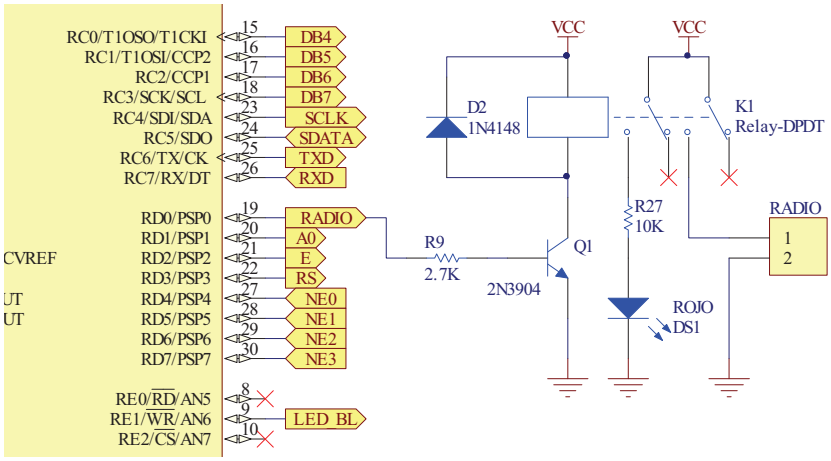


Figura 2.11 Conexiones de un relé al microcontrolador y activado por medio de un transistor.

De acuerdo a la hoja de datos se tienen que la bobina del relé requiere de una corriente de 16.7 mA ($\boldsymbol{I_C = 16.7\,mA}$). Este valor, y tomando en cuenta los datos

para el transistor 2N3904 considerados en la sección 2.1.5, se calcula la resistencia de base utilizando las ecuaciones Ec. 2.7 y Ec. 2.8. La resistencia calculada es de 2425.1 Ω, el cual se reemplaza por un valor estándar de resistencia cuyo valor es 2.7KΩ

2.1.9 CONEXIÓN DE LED

En total dos LEDs son utilizados en esta tarjeta de adquisición de datos: un LED rojo (Ver la Figura 2.11), que se mantiene encendido mientras se proporciona la energía al radio desde la batería; y un LED verde (Ver la Figura 2.12), que se enciende y apaga para indicar que el programa del PIC está ejecutándose.

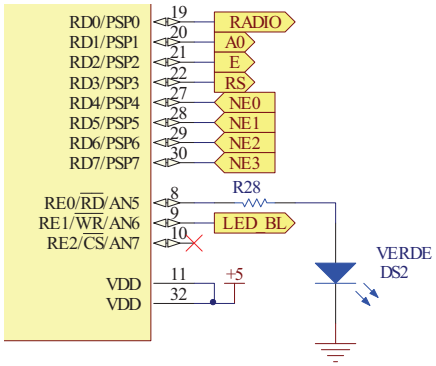


Figura 2.12 Conexión del LED al microcontrolador.

Para el caso del LED rojo, se conecta en paralelo a la alimentación del radio y en serie con la resistencia R27 de 10 KΩ (Figura 2.11) para limitar la corriente a 1.2 mA. Para el LED verde de la Figura 2.12 se conecta en seria con una resistencia de 4.7KΩ para limitar la corriente a 1.1 mA.

2.1.10 FUENTES DE ALIMENTACIÓN

La tarjeta de adquisición de datos diseñada requiere de fuentes de voltaje de diferentes valores. Para el caso de la alimentación general se necesita de +5 VDC, pero el ADC de 16/24 bits requiere también una fuente de -5 VDC. El amplificador de instrumentación es alimentado por una fuente de +12 VDC y -12VDC, siendo el caso similar para el inclinómetro electrónico.

La inversión de los voltajes se realiza empleando tres circuitos integrados: el MAX7660 para la fuente inversa del AD7710, y dos ICL7662 para el amplificador

de instrumentación y el sensor de deformación. La fuente de 5 VDC es obtenida mediante el circuito integrado LM7805 y la fuente de +12 VDC es la que se obtiene directamente de la batería.

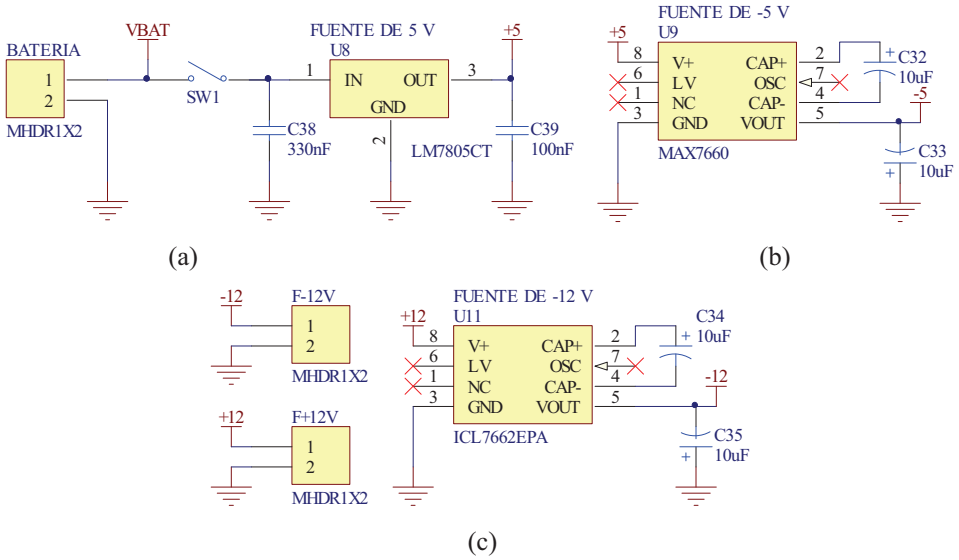


Figura 2.13 Reguladores de voltaje, (a) alimentación general de la tarjeta de adquisición de datos, (b) fuente para el AD7710, (c) fuente para el inclinómetro electrónico y amplificador de instrumentación.

2.2 CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO

Para la construcción del equipo es imprescindible considerar las condiciones adversas del lugar como: la humedad, el polvo, la lluvia, etc., en los cuales va a ser montada la estación de monitoreo de deformación. También se debe considerar como va a ser ensamblada la estación, los conectores de alimentación, entrada del sensor y conector para la antena del radio modem digital.

2.2.1 SELECCIÓN DE LA CAJA Y CONECTORES

De las observaciones indicadas anteriormente, se decidió utilizar una caja hermética de plástico y resistente a los golpes, de tamaño apropiado para que pueda contener el radio modem, la tarjeta de adquisición de datos y los conectores. El material de la caja facilitó efectuar las perforaciones para montar conectores que den las siguientes prestaciones: conexión con el inclinómetro electrónico, entrada de energía (conexión a la batería), conexión a la antena del radio modem, y la conexión a tierra.

Los conectores empleados en la fabricación del equipo se seleccionaron para que soporten condiciones ambientales extremas. En las siguientes figuras se presentan la caja seleccionada, la ubicación de los conectores y las conexiones que se deben realizar con el inclinómetro y el radio modem.

En la Figura 2.14 se presenta una fotografía de la caja (Pilican, www.pelican.com) construida con un material conocido como copolímero de polipropileno; que es ligero en peso, duradero y resistente a ciertos químicos.

Figura 2.14 Caja utilizada para la construcción del equipo. Contiene la tarjeta de adquisición de datos, el radio modem y los respectivos conectores.

Para el radio módem se ha utilizado un conector de antena tipo N hembra, para el inclinómetro uno de 10 terminales hembra y otra de 5 terminales hembra para la entrada de energía.

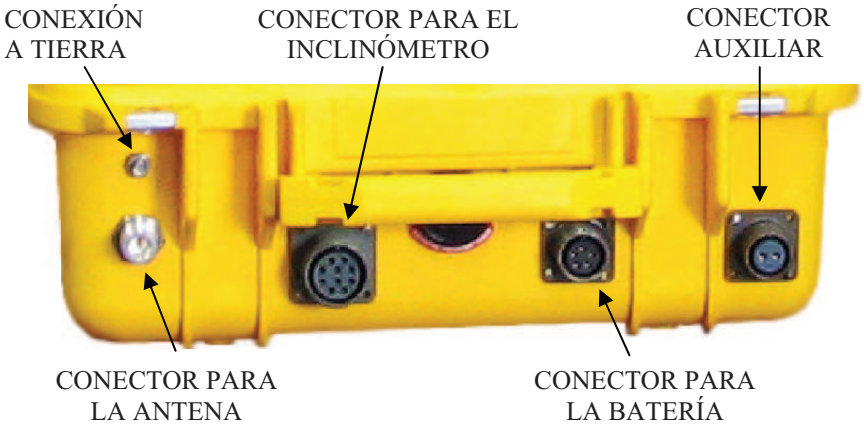


Figura 2.15 Distribución de los conectores en la caja.

2.2.2 CONEXIÓN DEL HARDWARE AL INCLINÓMETRO

Para la conexión entre el inclinómetro electrónico y la tarjeta de adquisición de datos se emplea un conector hembra de 10 pines que va acoplado en la caja del equipo como se muestra en la Figura 2.15. A continuación, en la Figura 2.16 se muestran las entradas para el sensor de deformación en la tarjeta de adquisición de datos.

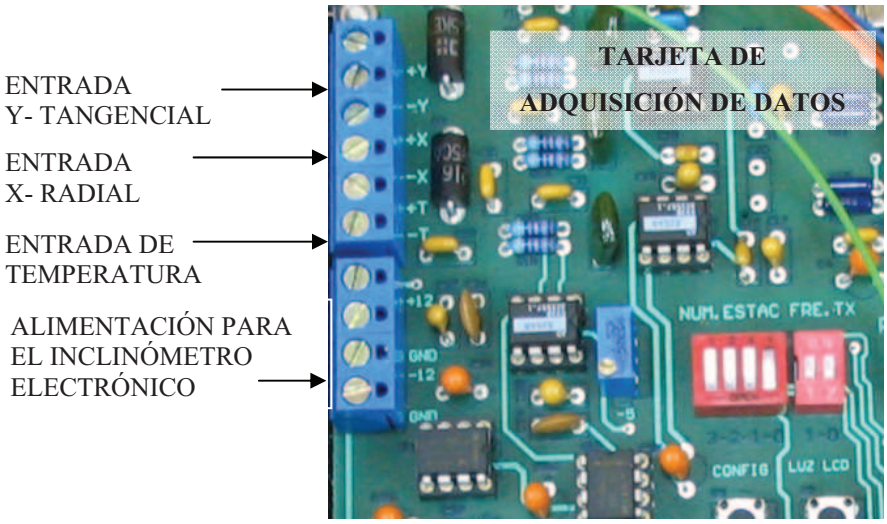


Figura 2.16 Identificación de los terminales de entrada para el inclinómetro electrónico en la tarjeta de adquisición de datos.

En la misma Figura 2.16 se identifican los terminales de entrada para realizar la conexión con el inclinómetro electrónico. Cada terminal de entrada está etiquetado de acuerdo a la Tabla 2.2 que facilita realizar el cableado con el conector del inclinómetro.

Tabla 2.2 Descripción del conector del inclinómetro electrónico y código de colores del cable.

Pin	Color	Descripción
H	Red	+11 to +15 VDC in
A	Black	Power Groud
B	Violet	-11 to -15 VDC in
G	Blue	+Y out

K	Brown	-Y out
J	Gray	-X out
C	Green	+X out
F*	-	Earth Ground
E	White	Signal Ground
D	Yellow	Temperature out

2.2.3 CONEXIÓN DEL HARDWARE AL RADIO MODEM

Tanto el hardware diseñado como el radio modem poseen un puerto de comunicación serial RS-232, los cuales se conectan entre sí por medio de un cable null modem. En la Figura 2.17 se presentan las conexiones del cable null modem que se construyó de acuerdo a la Tabla 2.3.

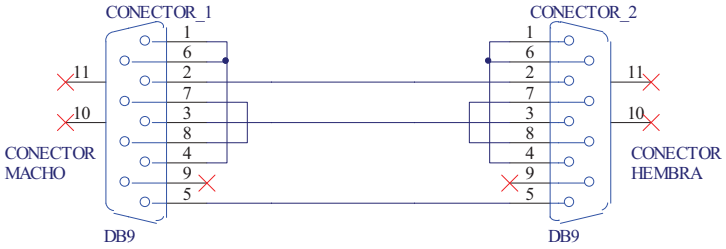


Figura 2.17 Cableado entre dos conectores DB9 para la fabricación del cable null modem sin protocolo.

Tabla 2.3 Pines empleado del conector DB9 para el cable null modem.

Conector 1	Conector 2	Función
2	3	Rx ← Tx
3	2	Tx → Tx
5	5	Señal de referencia

2.2.4 CONEXIÓN DEL HARDWARE A LA BATERÍA Y RADIO

Para energizar la tarjeta de adquisición de datos se utiliza una bornera de dos contactos que por medio de un par de cables es conectada directamente a la batería o al regulador de panel solar. El radio también se energiza desde la misma

fuente, pero el paso de la energía es controlada por un relé de dos contactos normalmente abiertos.

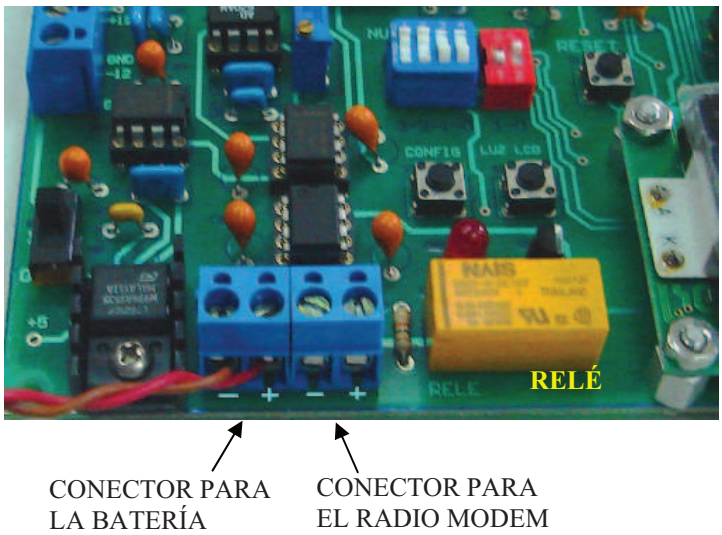


Figura 2.18 Ubicación de los terminales para la conexión del hardware al radio modem y a la batería

Con esto se da por terminado el presente capítulo en el que se ha descrito cómo se ha diseñado un sistema micro-procesado a partir del inclinómetro electrónico. El diseño del hardware se realizó empleando un conversor de señal analógica a digital de alta resolución. Además se agregaron periféricos para la configuración del hardware y visualización de los datos in situ. Para la comunicación del equipo se agregó un puerto de comunicación serial RS-232.

En el siguiente capítulo se realizará una descripción del software desarrollado para dar soporte al hardware diseñado. Se presentarán diagramas de flujos y se detallarán en lenguaje estructurado las tareas desarrolladas por el programa del PIC.

CAPÍTULO 3
DESARROLLO DEL SOFTWARE DE SOPORTE

En el presente capítulo se realiza la descripción del software que se desarrolló para dar soporte a la tarjeta de adquisición de datos diseñada (detallada en el capítulo anterior). Se listan las tareas principales que debe realizar el microcontrolador para el funcionamiento apropiado de la tarjeta de adquisición de datos. Se presentan los diagramas de flujo para el programa principal y las subrutinas con sus respectivos complementos en lenguaje estructurado.

3.1 CONSIDERACIONES PARA LA PROGRAMACIÓN

La programación del microcontrolador se realiza de acuerdo al diagrama de bloques presentado en la Figura 2.1. Se implementan funciones y tareas para que el microcontrolador integre todos los periféricos conectados a él, y de esta manera obtener la funcionalidad requerida en la tarjeta de adquisición de datos. Para tal propósito, en las siguientes líneas se listan las características principales que debe cumplir el software a desarrollarse para el microcontrolador:

- Digitalizar las señales de entrada analógicas con los ADCs disponibles:
  - La deformación radial y tangencial con el AD7710.
  - La temperatura y el voltaje de la batería con el ADC del PIC.
- Realizar el escalamiento de las señales digitalizadas:
  - Convertir a unidades de deformación, temperatura y voltaje.
  - Definir rangos.
- Desplegar mensajes en la pantalla LCD.
- Leer los interruptores DIP:
  - Que determinen el intervalo de transmisión de datos y
  - El número de estación.
- Controlar periféricos:
  - Radio modem.
- Empaquetar datos y transmitir la información al observatorio.
- Coordinar subrutinas para la integración del programa principal.

3.2 ESTRUCTURA DEL PROGRAMA PRINCIPAL

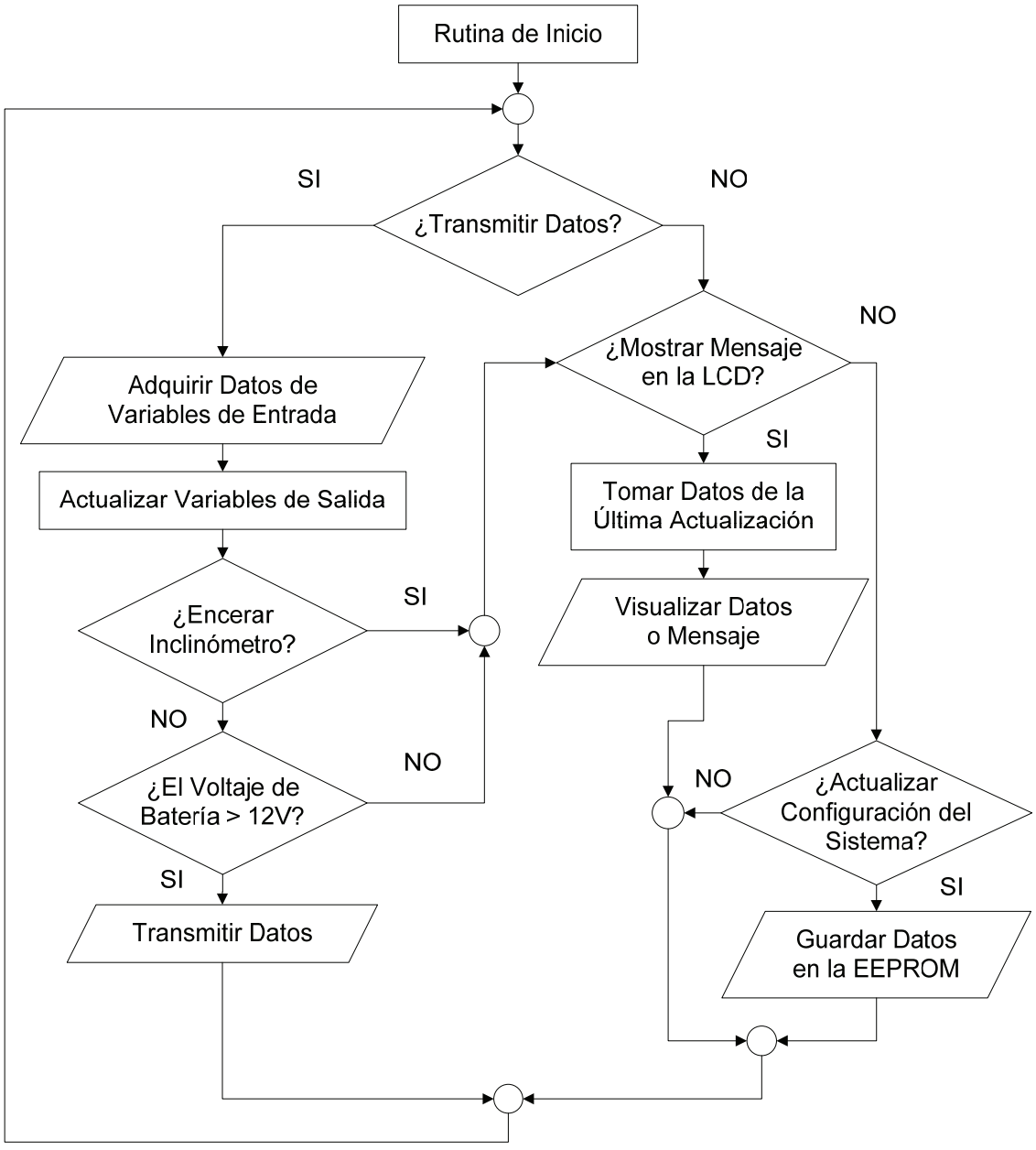


Figura 3.1 Diagrama de flujo del programa principal del PIC para la tarjeta de adquisición de datos.

3.2.1 RUTINA DE INICIO

La rutina de inicio se cumple cada vez que se energiza la tarjeta de adquisición de datos o cuando se realiza un reset. En la misma se llevan a cabo tareas como: Asignar entradas y salidas digitales, inicializar LCD, lectura de la memoria EEPROM, configurar temporizador, configurar el puerto serie, definir las interrupciones y configurar los ADCs.

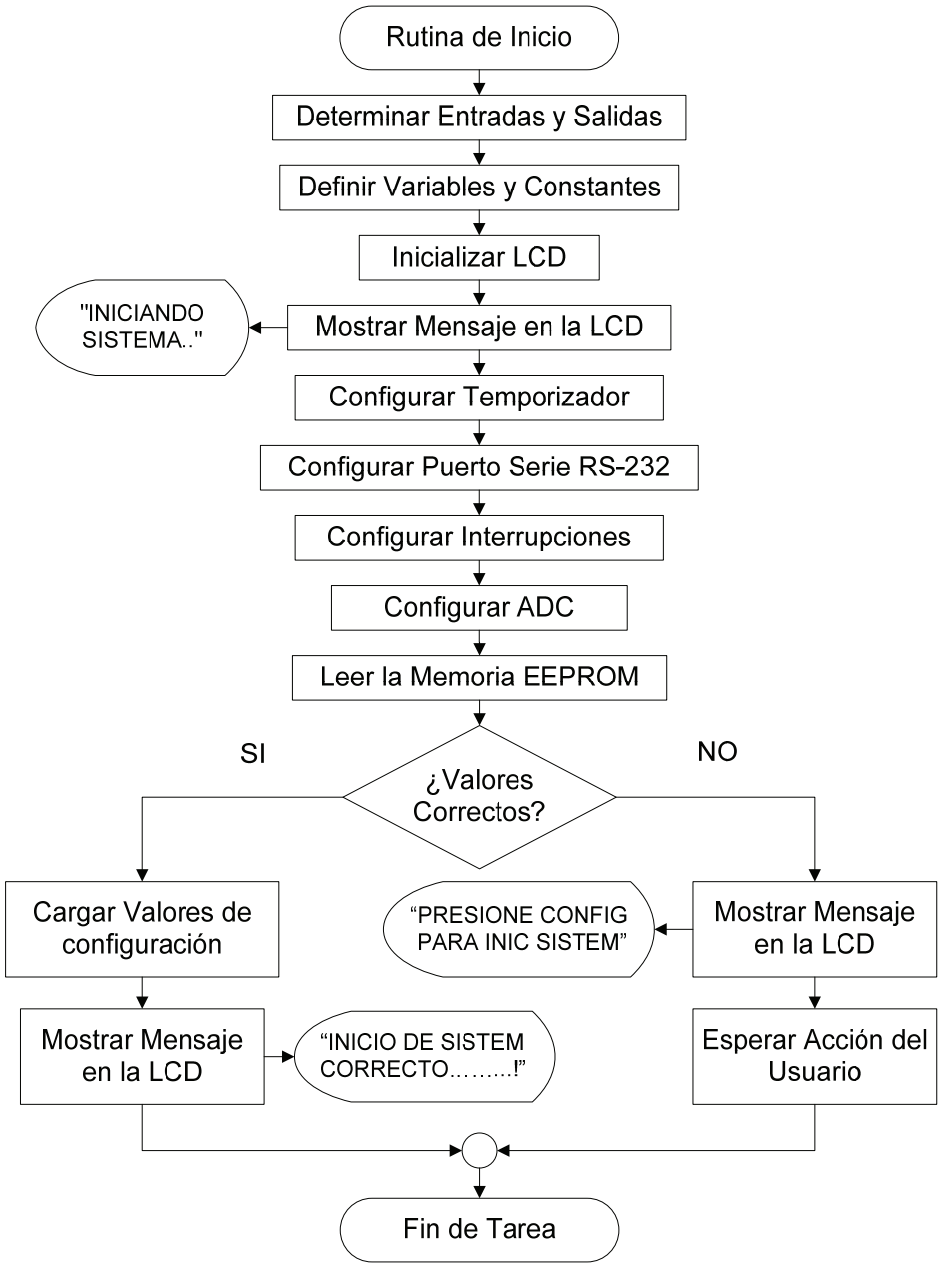


Figura 3.2. Diagrama de Flujo de Rutina de Inicio

En las siguientes líneas se realiza una descripción en lenguaje estructurado de la rutina de inicio presentada en la Figura 3.2.

Determinar Entradas y Salidas Digitales

Asignar salidas digitales.

Asignar entradas digitales.

Asignar entradas analógicas.

Fin de Tarea

Definir Variables y Constantes

Definir direcciones en la memoria EEPROM.

Definir límites de la ventana de histéresis para control del radio.

Definir constantes para los intervalos de transmisión de datos

Definir enumeración para el control de tareas.

Definir constantes para el empaquetado de datos.

Definir Buffer para el paquete de datos.

Definir variables para la entrada y salida de datos.

Definir variables para la representación ASCII de los datos de salida.

Fin de Tarea

Inicializar LCD

Configurar en modo de 4 líneas.

Encender pantalla y cursor.

Configurar la LCD en modo de entrada.

Fin de Tarea

Mostrar Mensaje en la LCD

"INICIANDO SISTEMA.."

Esperar tres segundos.

Fin de Tarea

Configurar Temporizador

Configurar intervalo para la transmisión de datos.

Configurar intervalo para mostrar mensajes en la LCD.

Configurar tiempo de espera de inicialización del radio modem.

Configurar tiempo de espera para apagar el radio modem.

Configurar intervalo de parpadeo del LED.

Fin de Tarea

Configurar Puerto Serie RS-232

Asignar velocidad de transmisión a 9600 bits por segundo.

Configurar a 8 bits de datos.

Configurar sin paridad.

Configura a un bit de parada.

Fin de Tarea

Configurar Interrupciones

Configurar interrupción externa:

Cambio de estado en puerto B.

Interrupción externa en el pin RB0.

Configurar interrupción del temporizador.

Fin de Tarea

Configurar ADC

Configurar AD7710:

Configurar auto calibración.

Configurar ganancia unitaria.

Configurar a 16 bits la resolución del conversor.

Configurar modo de entrada diferencial.

Configurar frecuencia de muestres a 10 Hz y filtro digital a 2.62 Hz.

Configurar ADC de 10 bit del PIC:

Configurar reloj de conversión.

Configurar el formato del resultado de la conversión.

Configurar el número de entradas analógicas.

Configurar el tipo de referencia para el ADC.

Fin de Tarea

Leer la Memoria EEPROM

Leer valores almacenados en la EEPROM:

Numero de estación

Intervalo de transmisión de datos

¿Número de estación está entre 0 y 15, y el intervalo de transmisión de datos está entre 0 y 3?

SI

Cargar el número de estación a una variable.

Si el intervalo de transmisión de datos es:

0, asignar temporizador de 5 segundos.

1, asignar temporizador de 1 minuto.

2, asignar temporizador de 5 minutos.

0, asignar temporizador de 10 minutos.

Mostrar mensaje en la LCD:

"INICIO DE SISTEMA

CORRECTO…….....!"

NO

Mostrar mensaje en la LCD:

"PRESIONE CONFIG

PARA INIC SISTEM"

Fin de Tarea

Al revisar el diagrama de flujo de la Figura 3.1 se observa que, luego de la rutina de inicio, se continúa con tres bloques de toma de decisión a saber: ¿Transmitir Datos?, ¿Mostrar Mensaje en la LCD?, y ¿Actualizar Configuración del Sistema?

El control de acceso a estos bloques es mediante "banderas de control de acceso" que son activadas cuando el temporizador cumple con el tiempo configurado para el primer y el segundo caso, y por interrupción externa para el tercer bloque.

En las siguientes secciones se detallan los bloques de toma de decisión del diagrama de flujo de la Figura 3.1.

3.2.2 TRANSMISIÓN DE DATOS

La transmisión de datos ocurre cada vez que el temporizador cumple con el tiempo asignado en la selección del intervalo de transmisión de datos. Habilitando de esa manera la digitalización de las señales procedentes del inclinómetro y, como consecuencia, permitiendo la realización de una serie de tareas para conseguir la transmisión de los parámetros de deformación.

A continuación se realiza una descripción en lenguaje estructurado de las rutinas necesarias para realizar la transmisión de datos (ver la Figura 3.1).

3.2.2.1 Adquirir Datos de Variables de Entrada

La subrutina se basa en la digitalización de las señales analógicas entregadas por el inclinómetro electrónico y un acondicionador del voltaje de la batería, a saber: deformación radial, deformación tangencial, temperatura y voltaje de batería, respectivamente. Con el AD7710 se muestrean la deformación y con el ADC del PIC la temperatura y el voltaje de la batería.

En la Figura 3.3 se presenta el diagrama de flujo del proceso de adquirir datos de variables de entrada, realizada por la tarea: Adquirir Datos.

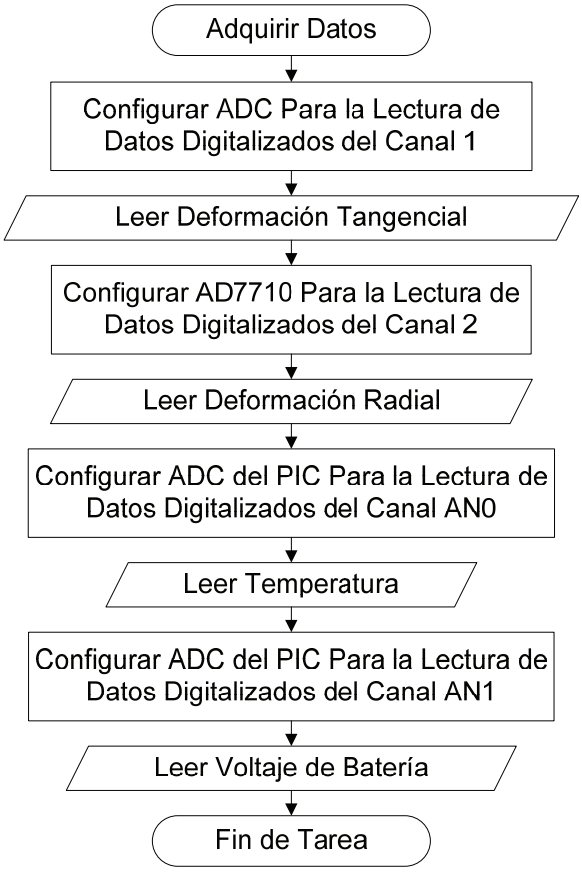


Figura 3.3. Diagrama de flujo de la tarea Adquirir Datos.

La representación en lenguaje estructurado de la tarea de Adquirir datos de variables de entrada es la siguiente:

Adquirir Datos de Variables de Entrada

Configurar AD7710 para la lectura de la deformación tangencial.

Realizar varias lecturas de la deformación.

Tomar el valor promedio de la deformación tangencial.

Configurar AD7710 para la lectura de la deformación radial.

Realizar varias lecturas de la deformación

Tomar el valor promedio de las medidas de la deformación radial.

Configurar ADC del PIC para la lectura de la temperatura (canal AN0).

Realizar varias lecturas del canal AN0.

Tomar el valor promedio de las medidas de temperatura.

Configurar ADC del PIC para la lectura del voltaje de batería (canal AN1).

Realizar varias lecturas del canal AN1.

Tomar el valor promedio de las medidas de voltaje de batería.

Fin de Tarea

3.2.2.2 Actualizar Variables de Salida

Antes de proseguir con la tarea: "Actualizar Variables de Salida", se da una breve explicación del escalamiento realizado a las señales digitalizadas.

Para los valores de deformación se utiliza la ecuación Ec. 3.1 que se obtiene de la gráfica de escalamiento representada en la Figura 3.4; la variable de salida esta expresada en micro radianes.

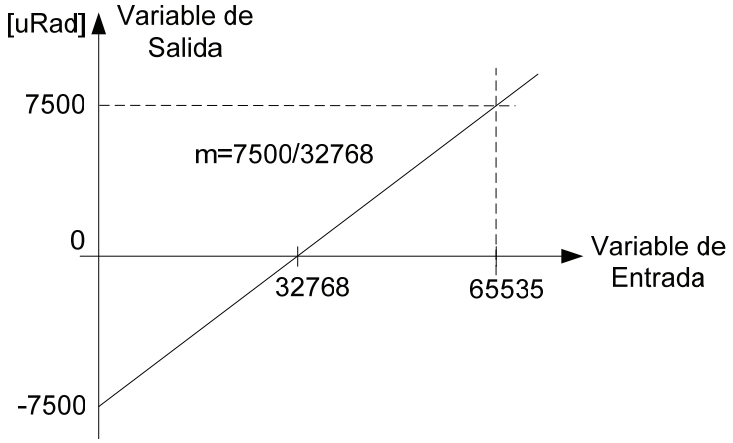


Figura 3.4 Escalamiento de la señal de deformación.

$$\boldsymbol{Variable_Salida = Variable_Entrada \cdot \frac{7500}{32768} - 7500} \qquad \text{(Ec. 3.1)}$$

Para los valores de temperatura se utiliza la recta Ec. 3.2 y se obtiene de la gráfica de escalamiento presentado en la Figura 3.5; la variable de salida esta expresada en grados Celsius.

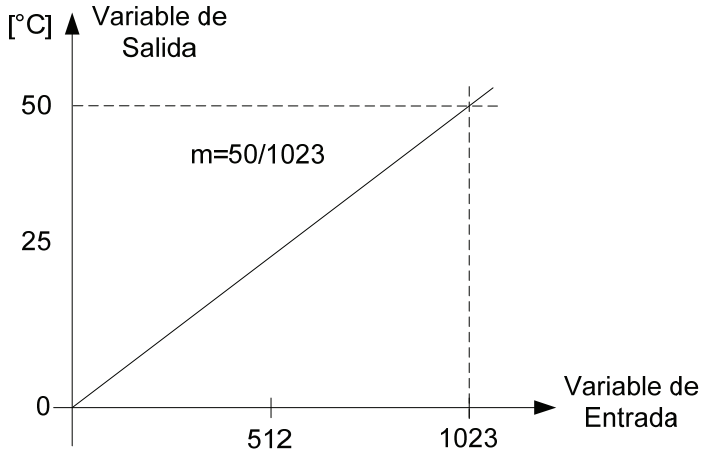


Figura 3.5 Escalamiento de la temperatura.

$$\boldsymbol{Variable_Salida = Variable_Entrada \cdot \frac{50}{1023}} \qquad \text{(Ec. 3.2)}$$

Para los valores del voltaje de batería se utiliza la recta Ec. 3.3 y se obtiene de la gráfica de escalamiento presentado en la Figura 3.6; la variable de salida esta expresada en voltios.

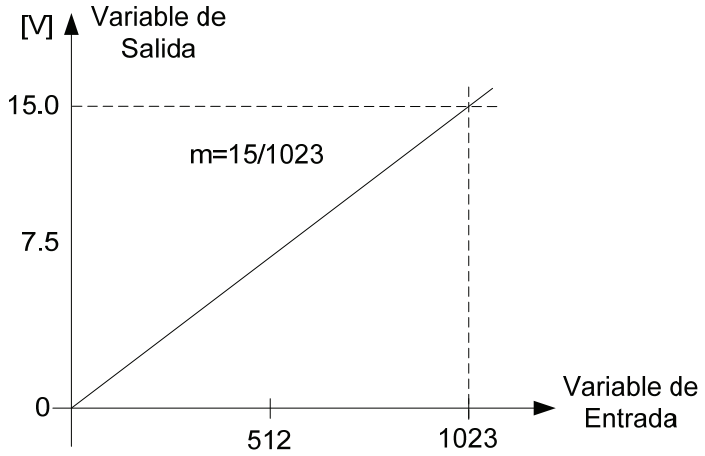


Figura 3.6 Escalamiento del voltaje de batería.

$$\boldsymbol{Variable_Salida = Variable_Entrada \cdot \frac{15}{1023}} \qquad \text{(Ec. 3.3)}$$

La subrutina: “Actualizar Variables de Salida” es realizada por la tarea “Actualizar Datos” que se presenta en la Figura 3.7.

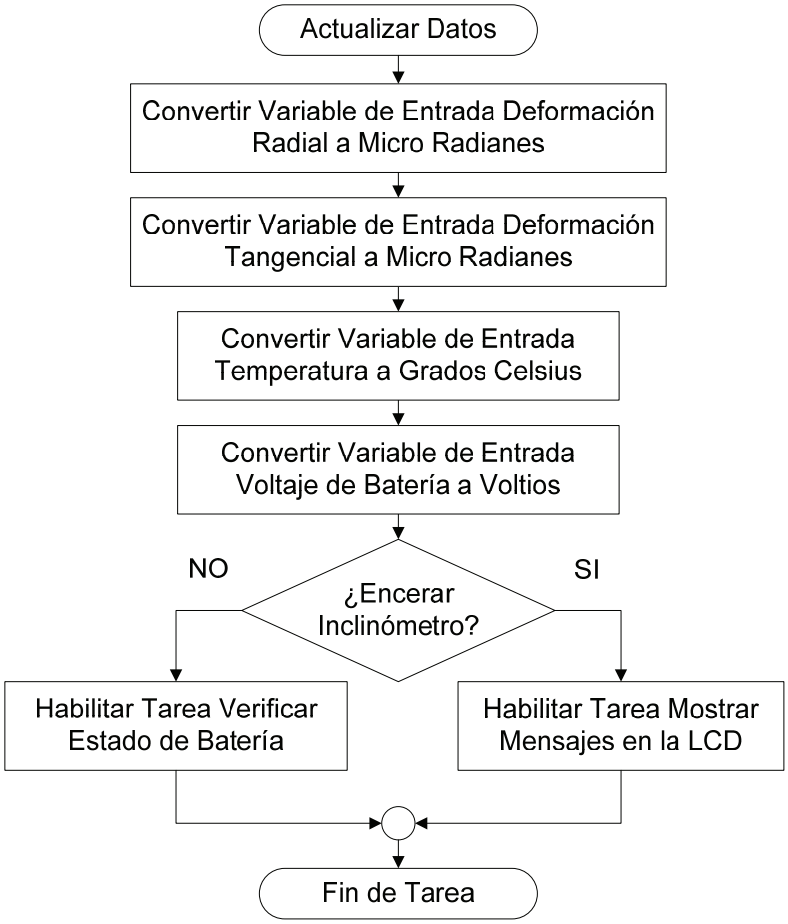


Figura 3.7 Diagrama de flujo de la tarea Actualizar Datos.

Las variables de salidas quedan expresadas en sus respectivas unidades y el procedimiento para el escalamiento se expresa en el siguiente lenguaje estructurado.

Actualizar Variables de Salida

Transformar las variables de entrada de deformación a micro radianes.

Transformar las variables de entrada de temperatura a grados Celsius.

Transformar las variables de entrada de voltaje de batería a voltios.

Fin de Tarea

El diagrama de la Figura 3.7 contiene un bloque de toma de decisión que se analiza en la siguiente sección: 3.2.2.3.

3.2.2.3 Encerar Inclinómetro

Esta tarea permite verificar si el intervalo de transmisión de datos es de cinco segundos. En caso de ser verdadera la comparación, se procede a habilitar la tarea de presentar datos en la pantalla LCD; caso contrario, se continúa con el proceso de transmisión de datos (ver Figura 3.7).

¿Encerar Inclinómetro?

SI

Habilitar la tarea de presentar datos en la pantalla LCD.

NO

Verificar nivel de voltaje de la batería.

Fin de Tarea

3.2.2.4 Estado de la Batería

Debido a que el radio modem consume alrededor de seis veces más corriente que el inclinómetro electrónico y la tarjeta de adquisición juntos, y alrededor de treinta veces cuando transmite, se verifica el nivel de voltaje de la batería para proceder a encender el radio y transmitir, o esperar a que los paneles solares carguen la batería.

Se ha implementado un algoritmo que verifica el voltaje de la batería con una ventana de histéresis de 0.5V. El algoritmo habilita el encendido del radio transmisor cuando el voltaje en la batería es mayor a 12 V. Si el voltaje de la batería es menor a 11.5 V el circuito está diseñado para que la batería se cargue. En el intervalo de 11.5 a 12.0 V, se mantiene cargando la batería si antes ésta estuvo bajo los 11.5 V. Pero si antes de entrar al intervalo estuvo sobre los 12 V el algoritmo habilita el encendido del radio. Esta lógica de funcionamiento se describe a continuación en lenguaje estructurado.

Chequear el Estado de la Batería

¿El Voltaje de Batería es menor que 11.5V?

SI

Mostrar mensaje de advertencia en la LCD.

Poner en ‘cero’ la bandera de histéresis.

NO

Continuar con el análisis del voltaje medido.

¿El Voltaje de la Batería Está Entre 11.5 y 12V?

SI

¿Está en ‘uno’ la bandera de histéresis?

SI

Habilitar tarea para el encendido del radio.

Habilitar tarea de empaquetamiento de datos.

NO

Continuar con el análisis del voltaje medido.

NO

Continuar con el análisis del voltaje medido.

¿El Voltaje de Batería es mayor que 12V?

SI

Habilitar tarea para el encendido del radio.

Habilitar tarea de empaquetamiento de datos.

Poner en ‘uno’ la bandera de histéresis.

NO

Fin del análisis del voltaje medido.

Fin de Tarea

3.2.2.5 Empaquetado y Transmisión de Datos

Los datos que envía la estación remota son recibidos en el observatorio utilizando un radio modem compatible con el de la estación de monitoreo. El radio modem es conectado a la computadora y los parámetros de deformación son visualizados en la aplicación llamada SAMI3 (Sistema de Adquisición y Monitoreo Integrado, tercera versión).

Para que el software instalado en la computadora pueda reconocer los parámetros de deformación recibida de la estación de monitoreo, debe realizarse un empaquetado de datos como se puede observar en la Figura 3.6.

El paquete o trama de datos es formado por el software del microcontrolador de la tarjeta de adquisición de datos.

DIR.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		CAMPO INFORMACIÓN (10 Bytes)									
DESCRIPCIÓN	inicio	longitud	reservado	reservado	reservado	reservado	reservado	tipo de estación	No. estación	reservado	identificador de red
EJEMPLO	126	28	0	0	0	0	0	1	3	0	1

(a)

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
CAMPO DATOS (Variable)																														
Deformación Radial							Deformación Tangencial							Temperatura							Voltaje de Batería							cks	cks	fin
+	0	0	0	0	.	0	+	0	0	0	0	.	0	+	0	0	0	0	.	0	+	0	0	0	0	.	0	x	x	126

(b)

Figura 3.6 Ejemplo de paquete de datos enviada por la estación remota: (a) Campo de información, (b) campo de datos.

En la parte (a) de la Figura 3.6, se observa que el empaquetado consiste de un numero de inicio dado por el numero decimal 126 o el hexadecimal 7E. Continuando, se tiene el campo de información, en el se tienen: la longitud del campo de datos, espacios reservados, tipo de estación, el número de la estación y el identificador de red.

La longitud del campo de datos es un número que expresa la cantidad de bytes que contiene el campo; se pueden tener máximo de 255 bytes. El tipo de estación se asigna de acuerdo a la Tabla 3.1, en el ejemplo de la Figura 3.6 parte (a), se ha establecido tipo inclinométrica.

Tabla 3.1. Tipo de estación.

Tipo	**Valor**
0	Pluviometría
1	Inclinometría
2	Sísmica
3	Climatológica

El identificador de la red se determina de acuerdo a la Tabla 3.2 y pueden ser la red del volcán Cotopaxi, red volcán Tungurahua, etc.

Tabla 3.2. Identificador de red

Tipo	Valor
0	Cotopaxi
1	Tungurahua
2	Cayambe
3	Imbabura
4	Reventador
5	Guagua Pichincha

En la Figura 3.6 parte (b), se tienen: el campo de datos, la suma de verificación y el fin de la trama. El campo de datos contiene la información en el siguiente orden: deformación radial, deformación tangencial, temperatura y el voltaje de batería. Cada sub-campo de datos contiene 7 bytes: un byte para el signo, 4 bytes para el valor entero y un byte para el valor decimal, separados por un punto.

En la misma parte se tiene la suma de verificación y es un espacio de 2 bytes. La suma de verificación consiste en la operación OR exclusiva de los bytes comprendidos entre las direcciones 1 y 38 para este caso particular (ver la primera fila de la Figura 3.6). Finalmente se tiene el número de fin de trama que consiste en el número 7E en hexadecimal o el 126 en decimal.

Luego de las tareas de adquirir datos de variables de entrada y actualizar las variables de salida, se procede con la tarea de transmitir los parámetros de deformación; siempre y cuando el voltaje de la batería supere los 12 VDC.

La representación en lenguaje estructurado de la subrutina “Transmitir datos” se expresa del siguiente modo:

Transmitir Datos

Encender radio modem

Empaquetar datos hasta la dirección 28.
Calcular la suma de verificación.
Agregar la suma de verificación y finalizar empaquetado de datos.
Habilitar bandera de transmisión de datos.
Esperar inicialización del radio modem.
Transmitir paquete de datos.
Habilitar bandera de espera antes de apagar el radio.
Espera cinco segundos antes de apagar radio modem.
Apagar radio modem.

Fin de Tarea

3.2.3 MOSTRAR MENSAJES EN LA LCD

El despliegue de datos o mensajes en la pantalla de cristal líquido, ocurre cada vez que el temporizador cumple con el tiempo asignado, que para este caso se estableció en 3 segundos. Se tienen tres tipos de mensajes que se presentan continuamente y de forma alternada: configuración de hardware, donde se presenta el número de la estación y el intervalo de transmisión de datos; mensaje de unidades, en la primera fila van las unidades de la deformación y en la segunda fila grados Celsius y voltios; mensaje de datos, aquí se ubican los valores de la deformación, la temperatura y el voltaje de la batería.

En el momento de verificar el estado de la batería y de acuerdo al análisis, si se encuentra que está bajo los 11.5 voltios, se presenta un mensaje que advierte al usuario que no se puede transmitir los datos; esta opción es deshabilitada en modo de enceramiento del sensor. Cuando entra en modo de enceramiento del inclinómetro electrónico, en la pantalla solo se presenta el mensaje datos y es actualizada cada 5 segundos.

Los mensajes: “presione CONFIG para iniciar sistema”, “configuración guardada” y “batería baja no se puede transmitir” son de advertencia e información al usuario. Mientras que los mensajes: “iniciando sistema” e “inicio de sistema correcto” son visualizados cuando se está inicializando el sistema.

A continuación se presenta una descripción en lenguaje estructurado de la rutina "Mostrar Mensajes en la LCD" (ver Figura 3.1):

¿Mostrar Mensajes en la LCD?

SI

Tomar datos de la última actualización.

Verificar tipo de mensaje.

Desplegar mensaje o datos.

Fin de Tarea

3.2.4 ACTUALIZAR CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA

Esta tarea se realiza cada vez que se presiona el pulsador CONFIG conectado al puerto B del microcontrolador. Tal acción conlleva a la verificación de la bandera de interrupción de cambio de estado en el puerto y de ser verdadera, proceder a habilitar la tarea "Actualizar Configuración del Sistema". La subrutina es la siguiente:

¿Actualizar Configuración del Sistema?

SI

Leer interruptor DIP de cuatro posiciones: numero de estación.

Leer interruptor DIP de dos posiciones: intervalo de transmisión.

Guardar las lecturas en la memoria EEPROM.

NO

N/A.

Fin de Tarea.

3.3 INTERRUPCIONES

Cuatro tipos de interrupciones son manejadas en el software del microcontrolador, a saber: interrupción por desbordamiento del Timer 1, interrupción externa en RB0, interrupción por cambio de estado en el puerto B (bits del 3 al 7) y la interrupción por recepción serial.

3.3.1 INTERRUPCIÓN DE TIMER 1

La interrupción por desbordamiento del Timer 1 y con ayuda de variables que se incrementan en cada desbordamiento, son empleados para generar los diferentes tiempos de realización de tareas. Los tiempos configurados son los siguientes:

- 12 segundos, tiempo de espera antes de transmitir datos.
- 5 segundos, tiempo de espera antes de proceder a apagar el radio modem.
- 3 segundos, intervalo de cambio de mensajes en la LCD.
- 500 ms, intervalo de parpadeo del LED.
- Definido por el usuario por medio del interruptor DIP de dos posiciones, intervalo en el cual se realiza la adquisición de datos y transmisión de los mismos.

La representación en lenguaje estructurado es la siguiente:

Atención a Interrupción por Desbordamiento del Timer 1

Incrementar contadores en uno.
¿Es Momento de Transmitir Datos?
SI
Habilitar Tarea para Adquirir Datos de Variables de Entrada.
Hacer cero el contador de tarea adquirir datos.
¿Tiempo de Parpadeo del LED?
SI
Encender o Apagar LED.
Hacer cero el contador de parpadeo de LED.
¿Momento de presentar mensajes en la LCD?
SI
Habilitar tarea para mostrar mensajes en la LCD.
Hacer cero el contador de tarea mostrar mensajes en la LCD.
¿Se cumplió el intervalo esperar inicialización del radio?
SI
Hacer cero el contador de tarea inicialización del radio.

¿Está habilitada la bandera de transmisión de datos?

SI

Habilitar tarea para transmitir datos.

¿Se cumplió el intervalo de espera antes de apagar el radio?

SI

Hacer cero el contador de la tarea.

¿Está habilitada la bandera de espera antes de apagar el radio?

SI

Habilitar tarea para apagar el radio modem

NO

N/A.

NO

N/A.

Fin de Tarea

3.3.2 INTERRUPCIÓN EXTERNA

Este tipo de interrupción ocurre cuando son presionados cualquiera de los dos pulsadores: CONFIG o LUZ_LCD. El lenguaje estructurado para la subrutina es la siguiente:

Atención a Interrupción Externa

¿Pulsador CONFIG presionado?

SI

Habilitar tarea para guardar la configuración del sistema.

NO

N/A.

¿Pulsador LUZ_LCD presionado?

SI

Encender o apagar el LED de backlight.

NO

N/A.

Fin de Tarea

Otra interrupción externa es la generada en RB0, que se dispara cada vez que el AD7710 tiene datos listos para ser leídos. Si bien esta interrupción no es habilitada; sin embargo, la bandera de ésta interrupción es leída dentro de la tarea de adquisición de datos y no dentro de la tarea de atención a interrupciones.

En el presente capítulo se realizó una descripción del software desarrollado para dar soporte a la tarjeta de adquisición diseñada. Se listó las características principales que debe cumplir el software del microcontrolador. Se presentó diagramas de flujo y se describieron en lenguaje estructurado las rutinas que conforman el software principal del microcontrolador.

En el siguiente capítulo se detallarán los experimentos diseñados para comprobar el comportamiento del equipo. Como prueba de funcionamiento del sistema se presentarán los datos adquiridos de una estación instalada en el volcán Cayambe. Finalmente se presentarán las gráficas de datos adquiridos del volcán Tungurahua.

CAPÍTULO 4
PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se probará el comportamiento del equipo al ser conectado a la energía por primera vez, y se procederá a realizar un ejemplo de configuración del hardware. Se presentarán los datos recopilados de las pruebas de una estación instalada en el volcán Cayambe y como resultado final se presentarán las gráficas de deformación del volcán Tungurahua realizadas por el Instituto Geofísico.

4.1 ENCENDIDO DEL EQUIPO

Luego de haber terminado con el ensamblado de la tarjeta de adquisición de datos y verificada la continuidad entre las diferentes pistas que conectan a los dispositivos con el microcontrolador, se procede a realizar la conexión del hardware a la batería de 12 V. El interruptor de encendido del equipo se muestra en la Figura 4.1, donde en la placa se observa un 0 para el apagado y un 1 para el encendido. El primer mensaje que muestra la pantalla LCD luego de haber encendido el equipo, se presenta en la misma gráfica.

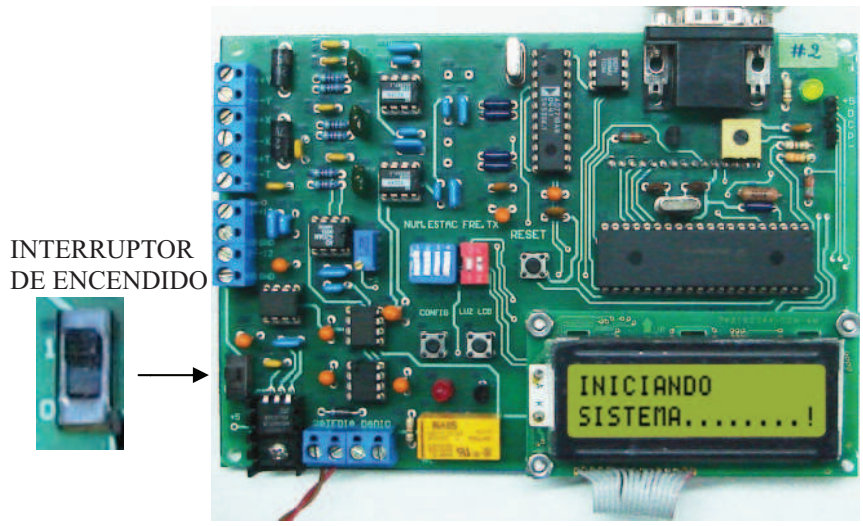


Figura 4.1 Mensaje inicial en la pantalla LCD luego de haber procedido con el encendido del equipo.

Si el equipo se ha inicializado correctamente, se presenta el mensaje de: “inicio de sistema correcto”, que se visualiza en la Figura 4.2. Pero, si al inicializarse el sistema, el PIC no ha encontrado datos de configuración en la memoria, se

observará el siguiente mensaje: “presione CONFIG para inicializar el sistema” (ver la Figura 4.3).

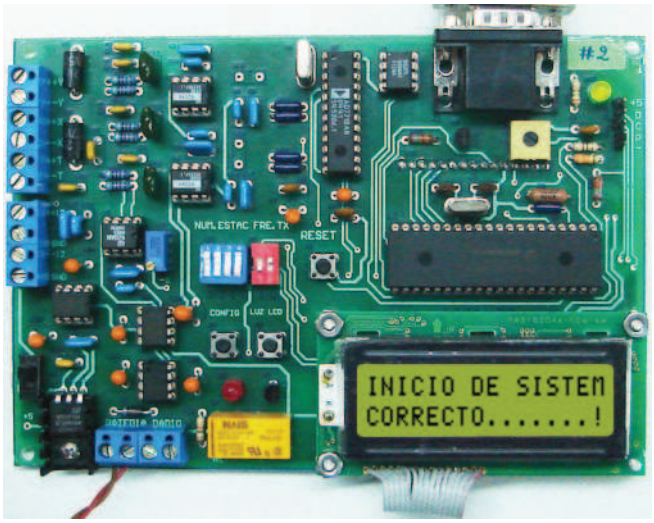


Figura 4.2 Mensaje de confirmación de que el sistema se ha iniciado correctamente.

Cuando es la primera vez que se energiza al equipo y no tiene parámetros de configuración almacenados en la memoria EEPROM, el equipo procede a presentar un mensaje de petición al usuario para que presione el pulsador CONFIG. Esta acción hace que se tomen los datos fijados en los interruptores DIP, tanto del número de estación como del intervalo de transmisión de datos.

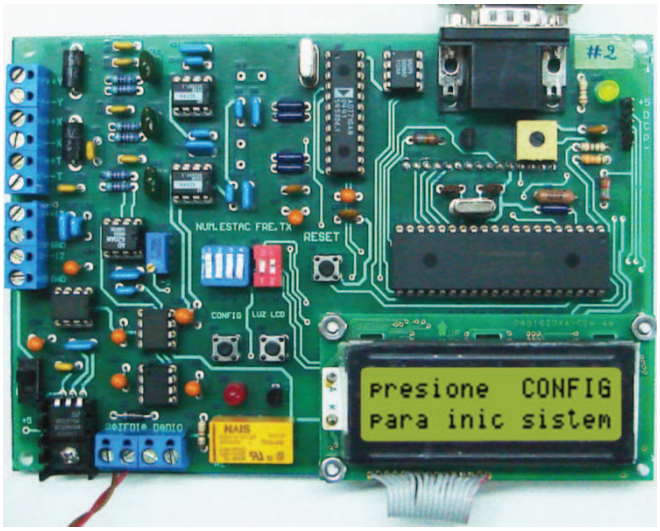


Figura 4.3 Mensaje de petición al usuario que presione el pulsador CONFIG.

Otro mensaje que presenta la pantalla del equipo, se produce al momento en que la batería está en un nivel bajo de 11.5V. En esta situación, el equipo no enciende el radio ni transmite los datos hasta que la batería supere los 12V (ver Figura 4.4).

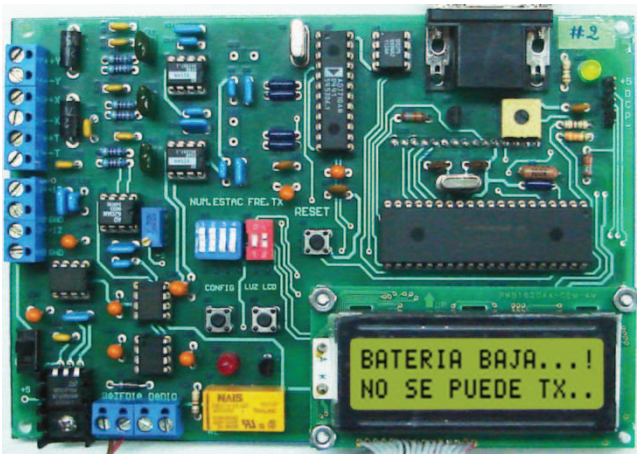


Figura 4.4 Mensaje que se genera cuando la batería esta bajo 11.5 V. El equipo no enciende el radio ni transmite los parámetros de deformación.

4.2 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA

Como ejemplo se parte de la Figura 4.3, cuando el equipo solicita que se presione el pulsador CONFIG. Utilizando el interruptor DIP de cuatro posiciones (color celeste en la Figura 4.5), se procede a elegir el número de estación en binario de 0 a 15 (en el orden: $2^3+2^2+2^1+2^0$). De forma similar se fija un número en binario de 0 a 4 (en el orden: 2^1+2^0), usando el interruptor DIP de dos posiciones (color rojo en la misma Figura 4.5).

Luego de haber asignado los números en los interruptores DIP, se procede a presionar el pulsador CONFIG el cual causa el siguiente mensaje: “configuración guardada pulse RESET”.

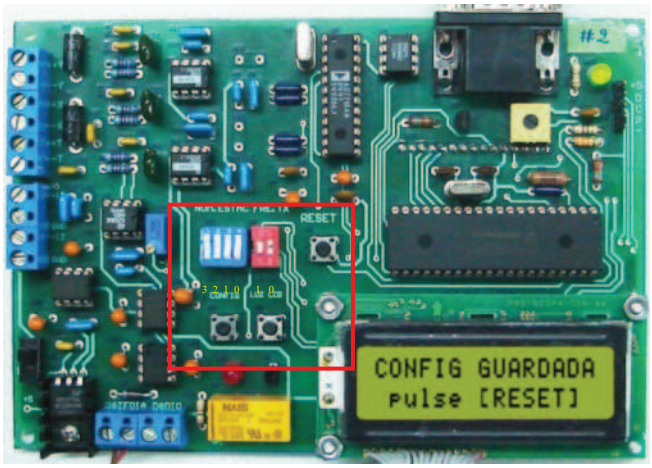


Figura 4.5 Mensaje de confirmación de que los valores leído en los interruptores DIP han sido almacenados en la memoria EEPROM. En el marco rojo se encuentran los interruptores DIP, pulsador CONFIG y RESET.

La siguiente Figura 4.6, presenta un mensaje en la pantalla LCD que permite verificar los valores asignados mediante los interruptores DIP y se presentan como datos de configuración del hardware.

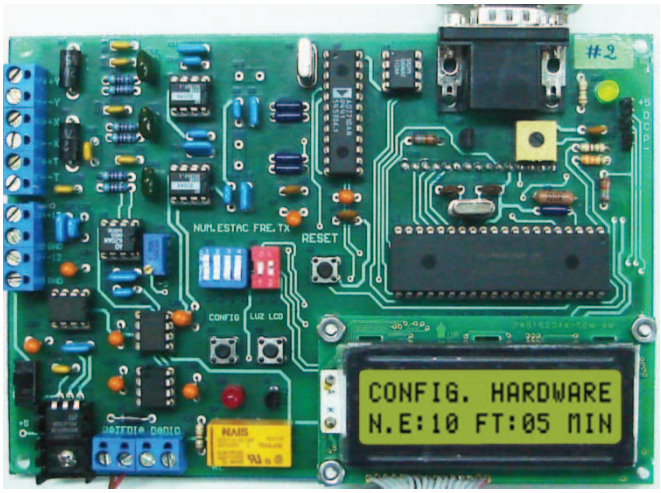


Figura 4.6 Mensaje de configuración del sistema. Como ejemplo, ha sido asignado como número de estación 10 y como intervalo de transmisión de datos: cada 5 minutos.

4.3 DESPLIEGUE DE DATOS

Los datos que presenta el equipo son: la deformación, la temperatura y el voltaje de la batería. Este proceso se realiza en dos mensajes consecutivos que se observarán en las siguientes figuras. La Figura 4.7 presenta las ubicaciones de cada variable, y sus respectivas unidades entre corchetes.

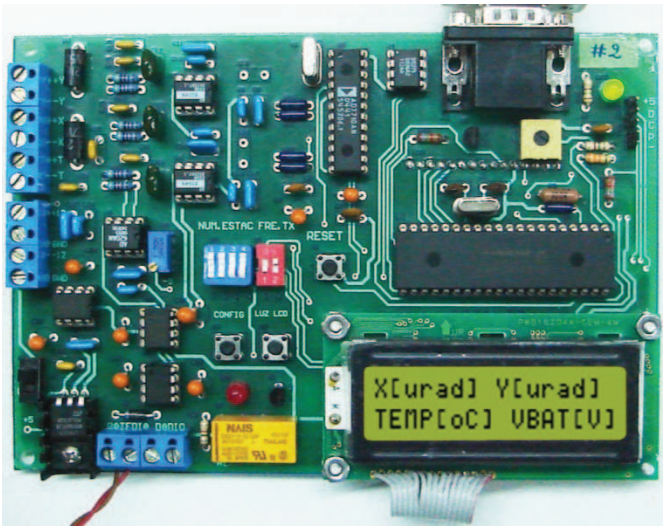


Figura 4.7 Mensaje de unidades de los datos y su ubicación donde serán visualizados.

Las unidades de deformación se encuentran en la primera fila, mientras que la de temperatura y voltaje de batería están ubicadas en la segunda fila de la LCD.

En la Figura 4.8 se presentan los valores digitalizados sin dígitos decimales para la deformación y con un dígito decimal para la temperatura y el voltaje de la batería. El mensaje que se presenta, indica una deformación prácticamente nula en sus ejes y una temperatura de 0 grados Celsius, debido a que no ha sido conectado el inclinómetro electrónico.

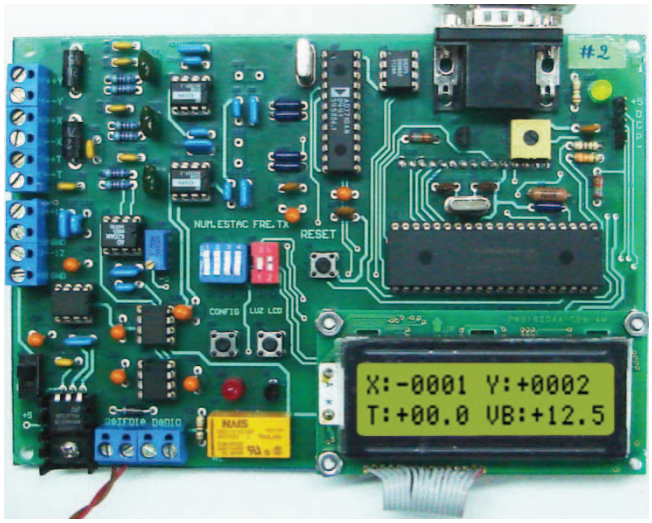


Figura 4.8 Presentación de los valores digitalizados en la LCD.

4.4 ENCERAMIENTO DEL SENSOR

El proceso de encerado se realiza una sola vez y en el momento en el cual la estación es montada. Encerar al inclinómetro permite que las lecturas posteriores utilicen todo el rango dinámico disponible.

La tarea consiste en ajustar los tornillos de nivelación (leveling screws, Figura 1.6), girándolos suavemente en secuencia mientras se observa las lecturas hasta obtener el nivel. Al obtener en las lecturas valores aproximados a 0 micro-radianes tanto en el eje radial X como en el eje tangencial Y, el proceso de enceramiento estará completo.

Para visualizar los valores en la LCD de forma continua en el proceso de encerado del sensor, se debe elegir mediante el interruptor DIP la opción de: 5

segundos de intervalo de transmisión de datos; esto corresponde al número cero según la Tabla 2.1. Con esta elección el equipo actualiza los datos continuamente y el usuario puede verificar la inclinación de cada eje mientras se encuentre buscando el equilibrio en el sensor.

4.5 SOFTWARE DE RECEPCIÓN DE DATOS

En la estación base u observatorio se ubican un radio receptor digital y una computadora para el almacenamiento y análisis de datos. Mientras que en la estación remota se encuentran: el inclinómetro electrónico, la tarjeta de adquisición de datos y el radio transmisor entre otros.

Los datos recibidos en el observatorio son almacenados en la computadora mediante el software SAMI3, desarrollado por el Instituto Geofísico; que es una aplicación creada en Java y de código abierto. Las gráficas de la deformación se pueden realizar mediante la herramienta de cálculo Microsoft Excel, aunque actualmente se utiliza el Matlab para el procesamiento y análisis de los datos.

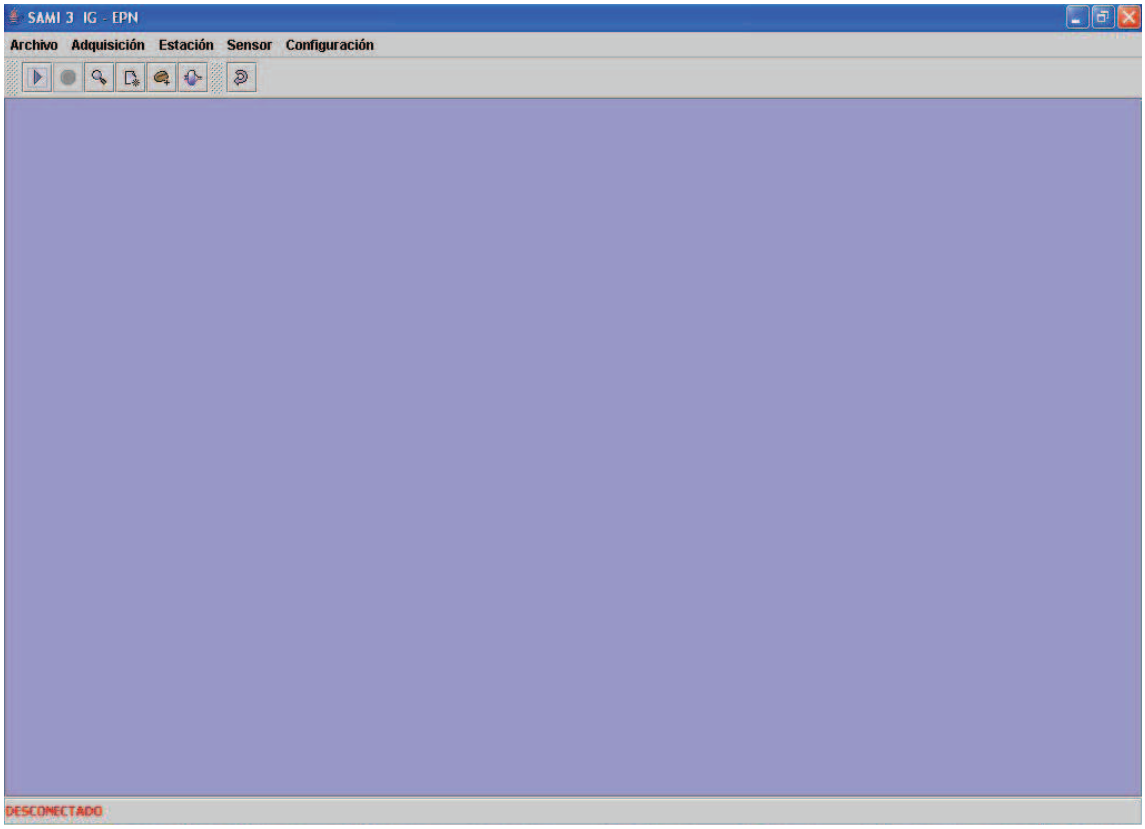
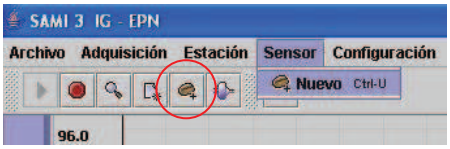


Figura 4.9 Ventana principal de la aplicación SAMI (Autor: Pablo Marcillo).

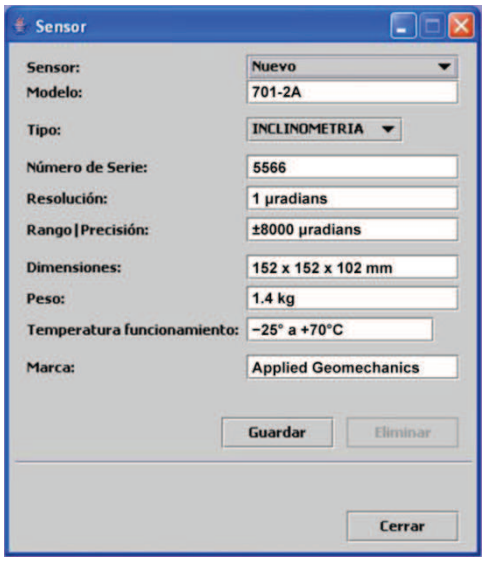
SAMI3 cuenta básicamente con menús que facilitan la creación de sesiones para cada tipo de estación de monitoreo. El menú consta de las siguientes herramientas: archivo, adquisición, estación, sensor y configuración. También contiene la barra de estados que informa si la aplicación se encuentra conectada y la configuración de la conexión. En las siguientes secciones se detalla el contenido del menú de herramientas de la aplicación SAMI3.

4.5.1 SELECCIÓN DEL SENSOR

Esta herramienta permite ingresar los datos del inclinómetro electrónico que se utilice en la estación de monitoreo. La forma de ingresar a esta herramienta es presionando las teclas Ctrl + U simultáneamente, o como se muestra en la Figura 4.10; haciendo un clic en el icono encerrado el círculo rojo.



(a)

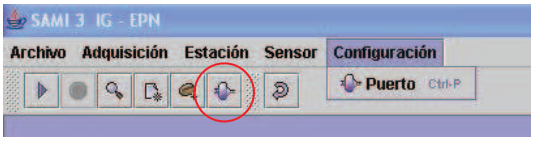


(b)

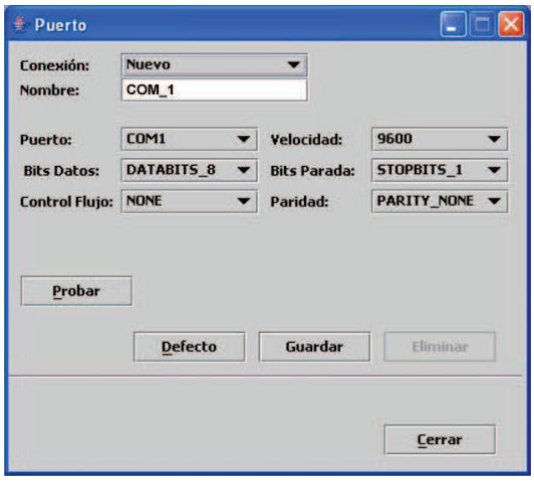
Figura 4.10 Herramienta: Sensor. (a) Modo de ingresar a la herramienta, (b) ventana para ingresar los datos del sensor, aquí se presentan las características principales del inclinómetro.

4.5.2 CONFIGURACIÓN

La herramienta configuración consiste en seleccionar el número de puerto serial y su velocidad de transmisión. La configuración del puerto es la siguiente: puerto de comunicación 1, 8 bits de datos, 9600 bit por segundo, un bit de parada, no control de flujo y no paridad. Se puede ingresar a la herramienta pulsando las teclas Ctrl + P, simultáneamente.



(a)



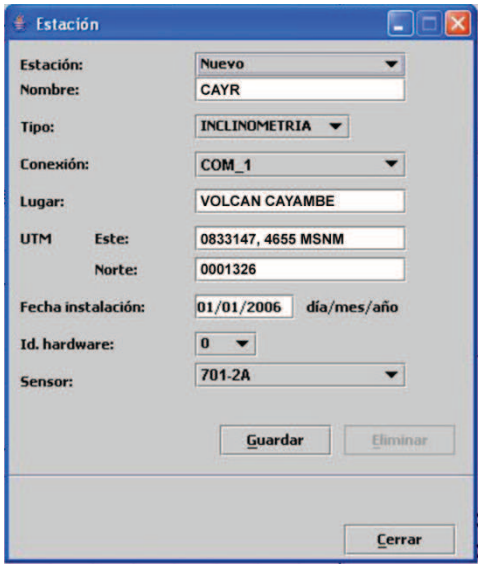
(b)

Figura 4.11 Herramienta: Configuración. (a) Modo de ingreso a configuración, (b) ventana puerto. El nombre de la conexión del ejemplo es: COM_1.

4.5.3 SELECCIÓN DE LA ESTACIÓN

La herramienta: Estación, crea una sesión con la estación de monitoreo instalada, es decir, da el nombre a la estación tomando en cuenta el número de hardware asignado. También se seleccionan: el tipo de estación, el nombre de la conexión, el lugar, coordenadas del sitio, la fecha de instalación y el modelo del sensor. Un ejemplo de creación de una estación utilizando el software SAMI3 se presenta en la Figura 4.12.

(a)



(b)

Figura 4.12 Herramienta: Estación. (a) Modo de ingreso a la herramienta estación, (b) ventana estación, aquí se presentan los parámetros que se requieren para crear una estación de inclinometría.

En la Figura 4.12 se observa que el nombre dado a la estación es “CAYR” para hacer referencia a la estación instalada en el volcán Cayambe por el sector del refugio. De acuerdo al gráfico, el tipo de estación seleccionada es inclinometría y el nombre de la conexión es COM_1 (visto en la Figura 4.11). En el área de “UTM” se han escrito las coordenadas del lugar y su altura sobre el nivel del mar. En la fecha de instalación, se debe escribir la fecha en que se realizó el montaje de la estación sobre el volcán. El “Id. Hardware” es el que se asignó a la tarjeta de adquisición al momento de realizar la instalación de los equipos. Finalmente, el área “sensor” es donde se selecciona el tipo de instrumento de medida que se emplea en la estación de monitoreo.

4.5.4 ADQUISICIÓN

En la herramienta “Estación” se observan las opciones de: nuevo y abrir. “Nuevo” despliega una ventana similar a la presentada en la Figura 4.12 y “Abrir” presenta una lista de los tipos de estaciones instaladas y que pueden ser abiertas para proceder a conectarse con la estación de monitoreo y comenzar la recopilación de los datos.

Una vez abierta la estación de interés del modo explicado en el párrafo anterior o siguiendo los pasos gráficos presentados en la Figura 4.12, se procede a presionar las teclas Ctrl + E, simultáneamente.

Figura 4.13 Herramienta Empezar. Permite iniciar con el almacenamiento de los datos que recibe de la estación remota.

La herramienta “Archivo” permite abrir el contenido de los archivos donde están almacenados los parámetros de deformación recolectados de las estaciones de monitoreo.

Los archivos de datos se crean automáticamente a diario con nombres que el programa SAMI3 asigna. Por ejemplo: 2009-08-19.tvs, es un archivo creado el 19 de agosto de 2009 que contendrá los datos de una estación de monitoreo, y para el próximo día se generará otro archivo con terminación 20 y así sucesivamente.

En la siguiente Figura 4.14 se presenta un ejemplo de la recopilación de datos en tiempo real, de la estación de monitoreo de deformación volcánica "CAYR" correspondiente al volcán Cayambe, sector el refugio.

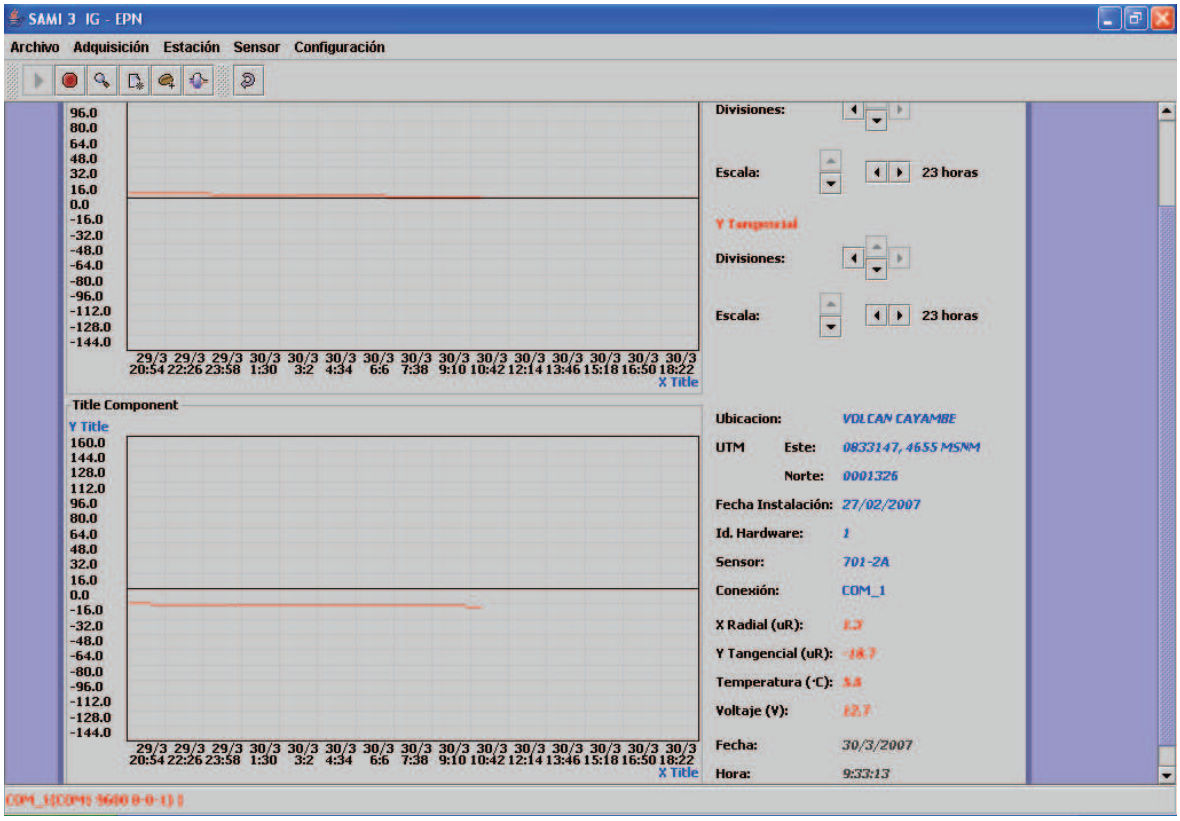


Figura 4.14 SAMI3 en modo de adquisición. El software recopila datos de la estación CAYR ubicada en el volcán Cayambe (Autor: Pablo Marcillo).

4.6 INSTALACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE PRUEBA

Para las pruebas de funcionamiento se instaló una estación de monitoreo de la deformación en el volcán Cayambe por el sector del refugio, en una cueva sobre roca (ver Figura 4.15) que fue acondicionada para albergar una inclinómetro electrónico y los equipos necesarios que requiere este tipo de estación. La estación de monitoreo (remota) fue construida de forma similar a la presentada en la Figura 1.10.

(a)

(b)

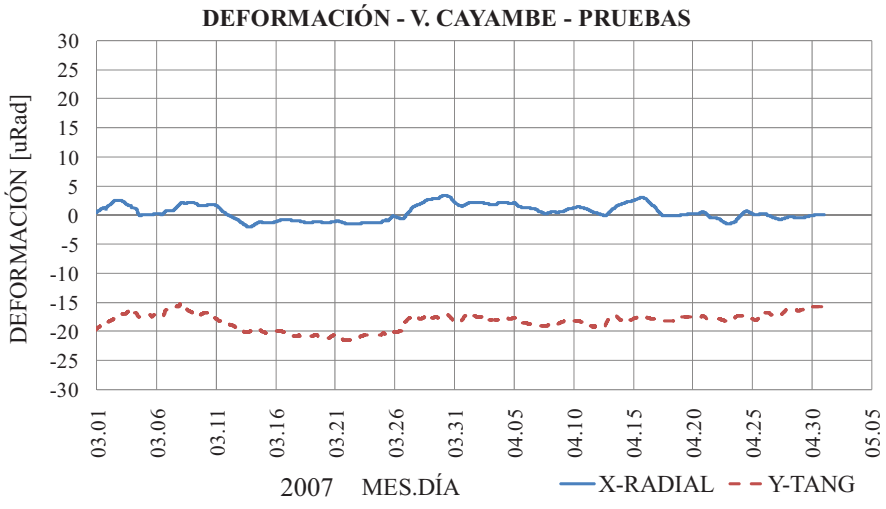
(c)

(d)

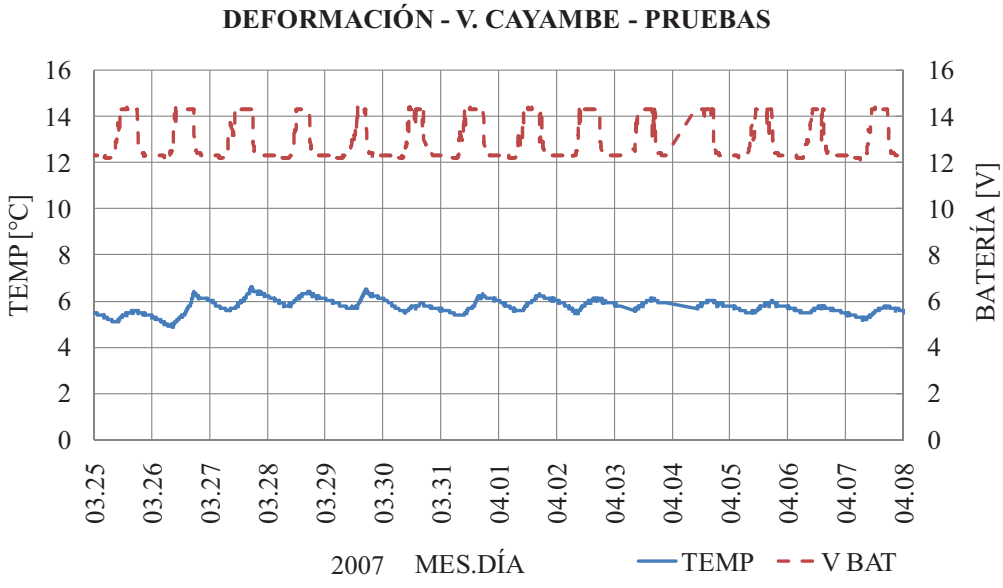
Figura 4.15 Instalación de una estación de prueba de monitoreo de la deformación del volcán Cayambe. (a) Fotografía del sector de la instalación de la estación, (b) equipo de inclinometría y batería, (c) ubicación del inclinómetro electrónico en la estación, (d) antena y panel solar de la estación.

Los datos fueron recopilados utilizando el programa SAMI3 durante tres meses aproximadamente (ver la Figura 4.16). Estas pruebas se realizaron para probar la estabilidad en la adquisición de los datos por medio del conversor AD7710 y el ADC del microcontrolador. La opción de enceramiento del sensor y control del encendido del radio no fueron habilitados.

A continuación se presentan las gráficas de la deformación radial y tangencial del volcán Cayambe de las pruebas preliminares:



(a)



(b)

Figura 4.16 (a) Gráficas de la deformación en los ejes X-Radial y Y-Tangencial, (b) Gráficas de la temperatura del inclinómetro electrónico y el nivel de voltaje de la batería del sistema.

4.7 RESULTADOS DE ESTACIONES EN EL TUNGURAHUA

El primer equipo terminado se instaló en el sector de Juive. Aquí se reemplazó al equipo analógico de la USGS por la nueva diseñada en el Instituto Geofísico, a la que se la llamó Inclino 2.1. El inclinómetro electrónico empleado no requirió de enceramiento debido a que ya se encontraba operando desde el año 2000.

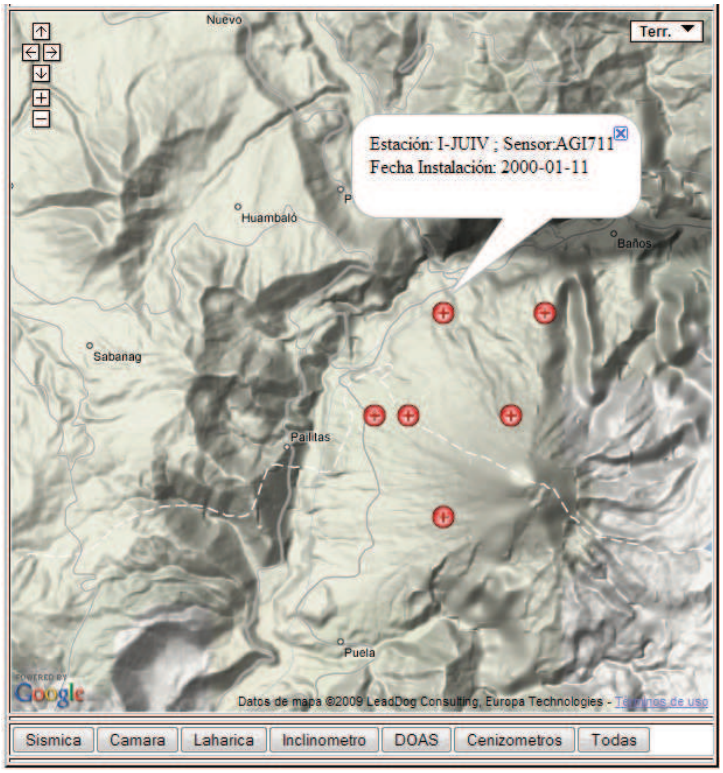


Figura 4.17 Sector de instalación del primer equipo terminado de monitoreo de la deformación volcánica. Volcán Tungurahua. Fuente: http://www.igepn.edu.ec.

En el sector de Juive la estación de monitoreo de la deformación volcánica funcionó sin problemas. Se configuró para que transmitiera los parámetros de deformación cada 5 minutos. La recepción fue montada en el sector de Guadalupe donde se ubica el Observatorio Volcán Tungurahua (OVT). La estación fue quitada del sitio luego de que el lugar sufrió un derrumbe.

Posteriormente se instaló en el sector de Pondoa y finalmente en el sector de Bilbao. Las datos de las dos estaciones son recibidas en el OVT por medio de un radio modem similar al de la estación remota y una computadora que contiene el programa SAMI3.

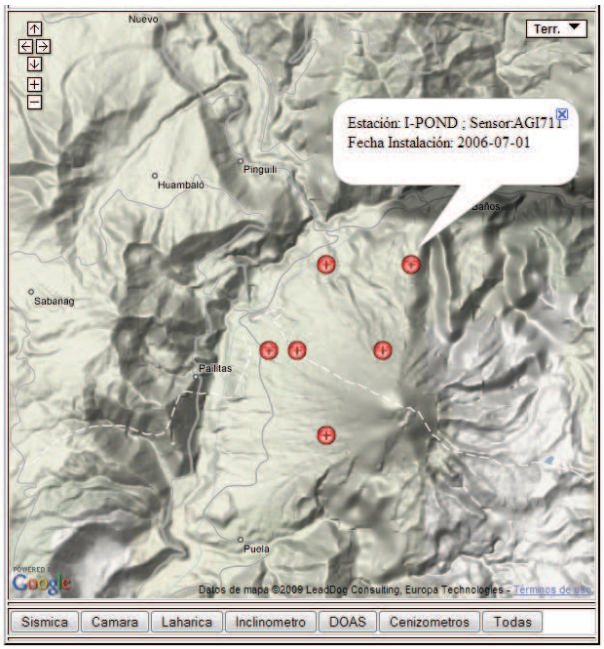


Figura 4.18 Sector de instalación del equipo: Pondoa.

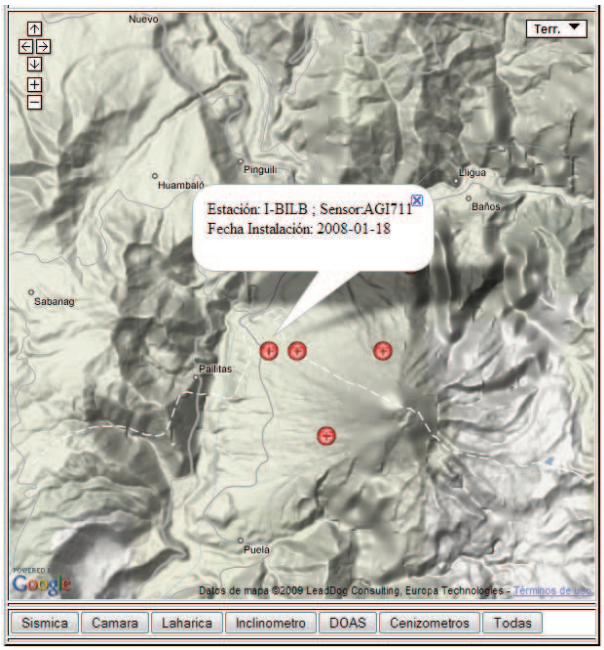


Figura 4.19 Sector de instalación del equipo: Bilbao.

En las siguientes gráficas se presenta el análisis de los datos de deformación del V. Tungurahua realizados por el Instituto Geofísico (IG). Las estaciones utilizadas para el análisis por parte del IG son: Pondoa, Bilbao y Retu. La estación Retu utiliza un equipo de una versión anterior a la que se presenta en este proyecto.

Fuente: http://www.igepen.edu.ec

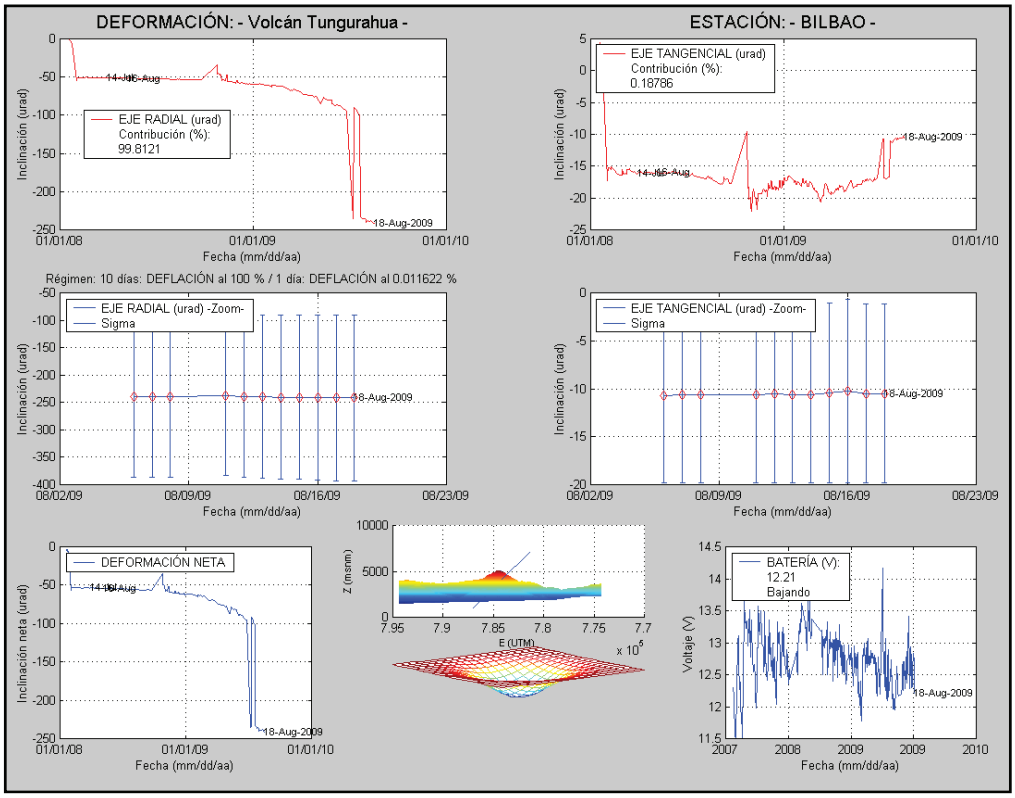


Figura 4.20 Gráficas de la deformación del V. Tungurahua de la estación: Bilbao. Datos recopilados utilizando el equipo Inclino 2.1.

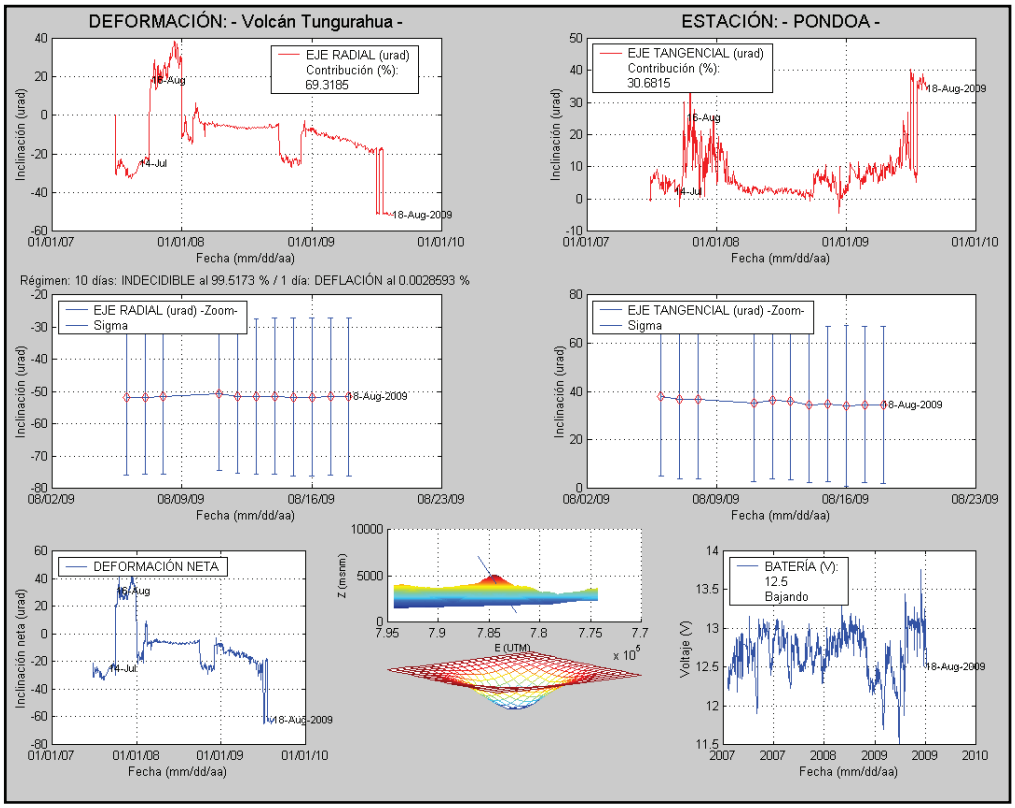


Figura 4.21 Gráficas de la deformación del V. Tungurahua de la estación: Pondoa. Datos recopilados utilizando el equipo Inclino 2.1.

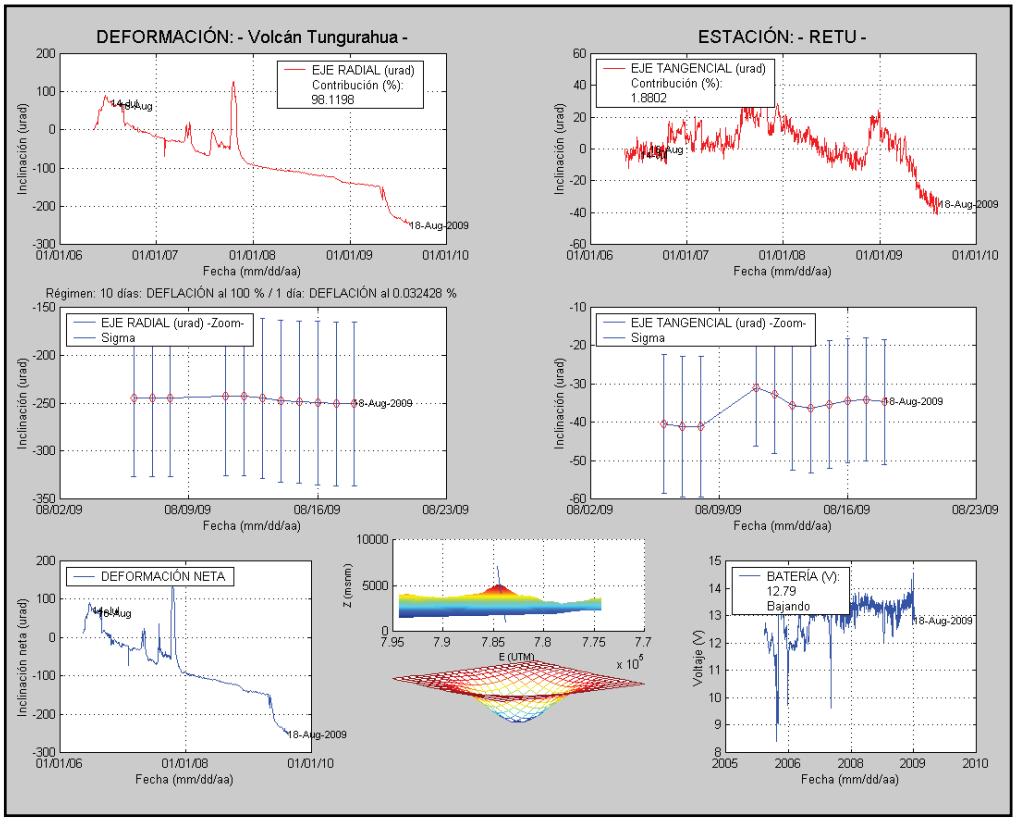


Figura 4.22 Gráficas de la deformación del V. Tungurahua de la estación: RETU. Datos recopilados utilizando el equipo Inclino 1.0.

En este capítulo se realizó las pruebas de funcionamiento del equipo diseñado al que se le llamó Inclino 2.1. Se realizaron las gráficas de la deformación del V. Cayambe como prueba de funcionamiento preliminar del equipo diseñado y finalmente se presentó los datos procesados por el Instituto Geofísico de las estaciones instaladas en el volcán Tungurahua.

En el siguiente capítulo se presentarán las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se agrupan las conclusiones y recomendaciones trascendentales del proyecto efectuado. Las recomendaciones surgen de la experiencia adquirida durante la implementación del proyecto, esto es, el diseño del hardware, y en construcción, instalación de las estaciones y funcionamiento del sistema. De los resultados obtenidos se pueden extraer las conclusiones siguientes:

5.1 CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos y presentados en el capítulo 4, se concluye que el sistema diseñado trabaja en óptimas condiciones y puede ser empleado para la vigilancia de cualquier volcán o lugar en que se requiera la medida de la deformación.

El análisis de los datos del sistema de monitoreo de deformación volcánica, posibilitan predecir cambios anormales del mismo, y además corroboran la información de otros sistemas de monitoreo volcánico para la toma de decisiones, como es la generación las alertas tempranas de evacuación.

El sistema diseñado e instalado es práctico y confiable, de fácil configuración, pues omite el uso de una laptop o Hand Held para el enceramiento del sensor, debido a que tiene una pantalla LCD para visualizar los datos in situ. En los equipos anteriores era necesario el empleo de un equipo adicional que ayude con el enceramiento del inclinómetro electrónico.

Al conectar el inclinómetro electrónico modelo 701-2A (4X) de forma bipolar a la tarjeta diseñada, el Inclino 2.1, se obtiene un rango de: 0 a +/- 3750 µrad, y al conectarlo de forma unipolar de: 0 a +/- 7500 µrad. Para las pruebas de funcionamiento y posterior instalación de las estaciones con el equipo diseñado, era conveniente configurarlo de forma unipolar.

Aunque los inclinómetros electrónicos son capaces de medir hasta una décima parte de un µRad; el monitoreo de la deformación de un volcán muy cerca al

cráter es menos precisa, limitándose de 5 a 10 μRad, debido a los efectos térmicos de la superficie.

La posibilidad de variar la amplificación por software, su alta resolución, entrada bipolar, el bajo consumo de energía y la reducción del espacio de diseño debido a que cuenta con una referencia interna de precisión de 2.5 VDC, permiten concluir que el AD7710 es una de las mejores opciones para desarrollar sistemas de adquisición de datos en bajas frecuencias de muestreo.

El consumo de corriente del equipo, conectado el Inclinómetro electrónico y el radio módem, es de 215 mA. Durante la transmisión de datos el equipo consume 996 mA (pico que dura alrededor de 45 ms). Pero al controlar el paso de energía al radio módem se logra reducir el consumo a 35 mA, siendo de esta forma un equipo apropiado para utilizarlo en lugares donde la energía es crítica.

Se obtuvo excelentes resultados en las pruebas con los equipos instalados en el volcán Cayambe y volcán Tungurahua especialmente en el sector de Juive. Para el caso de la estación de monitoreo en el sector de Pondoa (V. Tungurahua), el control del radio módem por medio del relé no fue tan regular. Por ello, para la instalación de la estación de Bilbao (V. Tungurahua), fue necesario hacer modificaciones al software del microcontrolador para omitir el control del radio y conectarlo directamente a la fuente.

El temporizador se implementó mediante el manejo de la interrupción del timer1. Las interrupciones que generan el ADC y los pulsadores, fueron deshabilitadas debido a que hacían inestable al microcontrolador. Sin embargo, en cada atención a la interrupción del timer1, se verifican los estados de las banderas de las interrupciones que se generan por los pulsadores y el ADC, y de este modo el programa se volvió estable.

Los métodos más comúnmente empleados para la medida de la deformación volcánica en la actualidad son: GPS, interferometría inSAR, inclinómetros electrónicos y los medidores electrónicos de distancia. Los resultados permiten concluir que se tomó la decisión de medir en base a inclinómetros electrónicos, práctica que es empleada frecuentemente en otros países.

5.2 RECOMENDACIONES

Una tarea importante que se debe realizar cuando se instala una estación de monitoreo de deformación volcánica, es el enceramiento del inclinómetro electrónico. Esta labor es realizada por personas con conocimiento previo del funcionamiento y utilización de los inclinómetros electrónicos en el campo de la vigilancia volcánica.

La elección del lugar de montaje de una estación de monitoreo de la deformación volcánica debe ser realizada por los investigadores o geólogos especializados en el tema de la vigilancia volcánica.

El equipo es compatible con otros modelos de sensores de la misma casa fabricante (Applied Geomechanics Inc.), especialmente con aquellos que tienen salidas analógicas de señal de datos y por lo tanto pueden ser empleados con inclinómetros de salida analógica modelos 711 que también posee el Instituto Geofísico.

Es muy útil el empleo del LED Backlight durante el proceso de enceramiento del inclinómetro electrónico. Dependiendo del clima, cuando la visibilidad no es buena o en lugares cerrados donde hay poca luz, en estas situaciones se recurre a encender la luz de la LCD.

Al código del programa del microcontrolador fue agregada la interrupción por recepción serial RS-232. Las instrucciones hacían que mediante la computadora se presionara la tecla ENTER para devolver por el puerto serie un texto informativo de la versión de software y los autores del proyecto. Pero debido a la extensión del programa no fue posible y se dejó al código como comentario para que al emplear otro microcontrolador de mayor capacidad sea viable implementarlo.

Para una nueva versión: “Inclino 2.2”, se recomienda reemplazar al relé por un transistor o MOSFET. Habilitar una interrupción para implementar la entrada de un pluviómetro que permita medir la precipitación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ORTIZ, Ramón; GARCÍA, Alicia; ASTIZ, Mar. Instrumentación en Volcanología. Primera Edición. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid - España. 1994.

[2] PARK, Jhon; MACKAY, Steve. Practical Data Acquisition for Instrumentation and Control Systems. ELSEVIER. Oxford. 2003.

[3] KITCHIN, Charles; COUNTS, Lew. A Designer's Guide to Instrumentation Amplifiers,Tercera Edición. Analog Devices, Inc. U.S.A. 2006.

[4] BRANTLEY, Steven; TOPINKA, Lyn, Volcanic Studies at the U.S. Geological Survey's David A. Johnston Cascades Volcano Observatory. Earthquake Information Bulletin. Vol. 16, No. 2, Pag. 84. Vancouver, Whashintong. March - April, 1984.

[5] DZURISIN, Daniel, Electronic Tiltmeters for Volcano Monitoring: Lessons from Mount St. Helens, in Ewert, and Swanson, D.A. (eds.), 1992, Monitoring Volcanoes: Techniques and Strategies Used by the Staff of the Cascades Volcano Observatory, 1980-90, USGS Bulletin 1966, Pag. 125-134. 1992.

[6] MURRAY, T. L.; EWERT, J. W.; LOCKHART, A. B.; LAHUSEN, R. G., The integrated mobile volcano-monitoring system used by the Volcano Disaster Assistance Program (VDAP), in Scarpa, R. and Tilling, R.I. (eds), Monitoring and mitigation of volcano hazards, Springer-Verlag Berlin, Pag. 315-362. 1996.

[7] VOIGHT, B.; HOBLITT, R. P.; CLARKE, A. B.; LOCKHART, A. B.; MILLER, A. D.; LYNCH, L.; MCMAHON, J. Remarkable Cyclic Ground Deformation Monitored in Real-Time on Montserrat, and its Use in Eruption Forecasting. Geophysical Research Letters. Vol. 25, No. 18, Pag. 3405-3408. September, 1998.

[8] MARCILLO, O.; JUA, E.; MARCILLO, P.; MOTHES, P. Design of a Digital Telemetered Deformation Monitoring System at Cayambe Volcano. Cities on Volcanoes 4. Quito - Ecuador. January, 2006.

[9] SAMANIEGO, Pablo; EISSEN, Jean - Philippe; LE PENNEC, Jean. Instituto Geofísico de La Escuela Politécnica Nacional, Institut de Recherche Pour le Développement, Los peligros volcánicos: Asociados con el Tungurahua. Primera Edición. Corporación Editora Nacional. Quito - Ecuador. Julio, 2003.

[10] DVORAK, J.; DZURISIN, D. Volcano Geodesy: The Search for Magma Reservoirs and the Formation of Eruptive Vents, Rev. Geophys., Vol. 35, Pag. 343–384. 1997.

[11] HELIKER, C.; GRIGGS, R.; TAKAHASHI, T.; WRIGHT, T., Volcano Monitoring at the U.S.Geological Survey's Hawaiian Volcano Observatory, Earthquake Information Bulletin, Vol.18, No. 1. 1986.

[12] CISNEROS, Christian; MARCILLO, Omar; ENRÍQUEZ, Wilson, Calibrador Digital de Sensores Sísmicos. XIX Jornadas en Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica Nacional, Vol. 19. Noviembre, 2005.

[13] Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional.

http://www.igepn.edu.ec

[14] Applied Geomechanics Inc. Model 701-2(4X) Weatherproof Platform Tiltmeter (fixed gain and filter).

http://www.geomechanics.com/dspproduct.cfm?prid=40.

[15] Microchip Technology Inc. PIC16F877 Datasheet.

http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/30292c.pdf

[16] Analog Devices, Inc. AD7710 Datasheet.
http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD7710.pdf

[17] Analog Devices, Inc. AD620 Datasheet.
http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD620.pdf

[18] Tinsharp Electronics. LCD 16x2, TC1602A-54 Datasheet.
http://www.tinsharp.com/en/displayproduct.html?proID=2420931.

[19] United States Geological Survey (USGS).
http://www.usgs.gov/

[20] Volcano Deformation Monitoring Using GPS.
http://eprints.utas.edu.au/817/1/janssen_JSpSc_2007.pdf.

ANEXOS

ANEXO A
ESQUEMÁTICOS DEL EQUIPO INCLINO 2.1

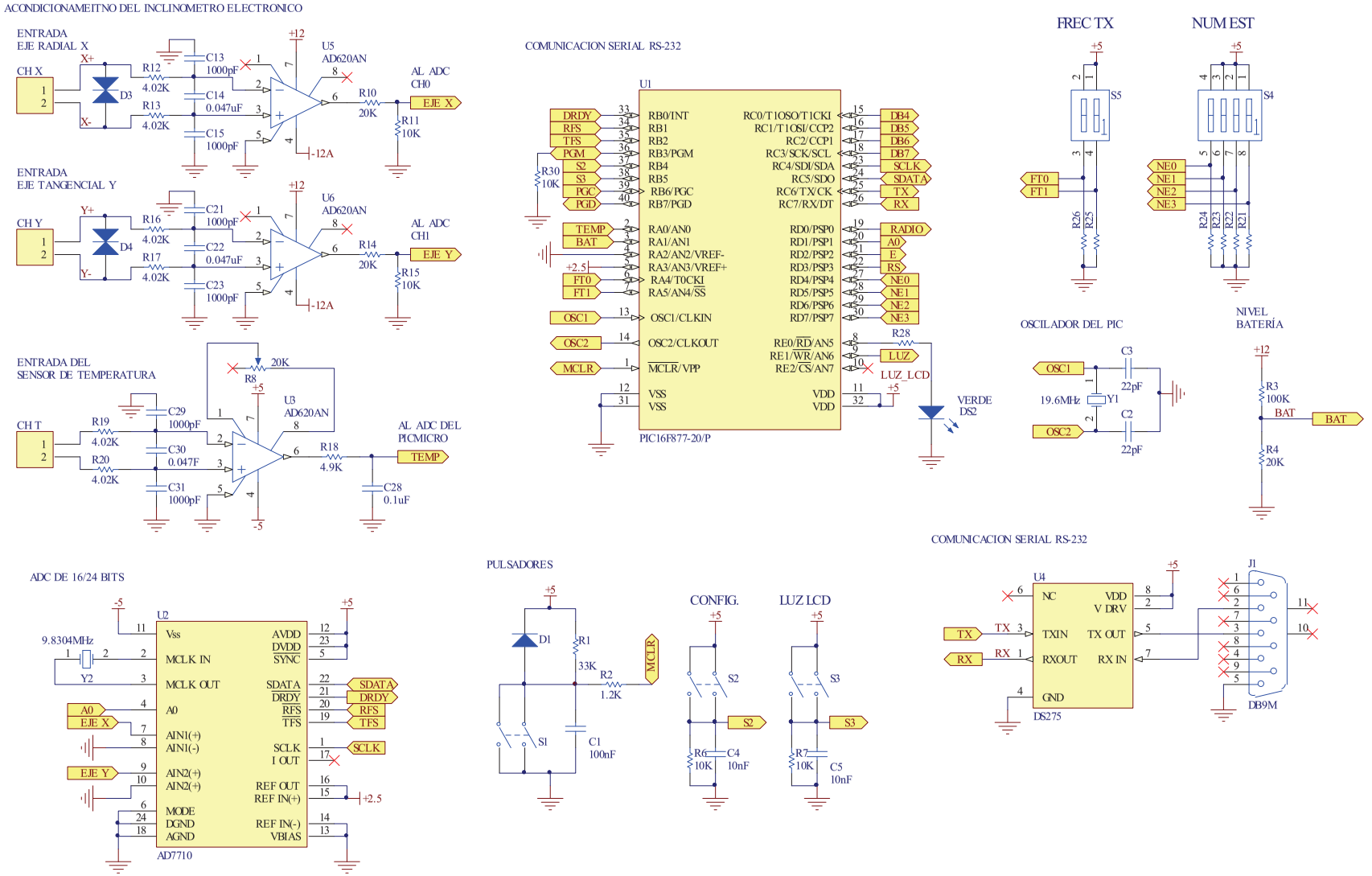


Gráfico A-1 Acondicionadores de señal, AD7710, PIC16F877, pulsadores, intrruptores DIP y puerto RS-232.

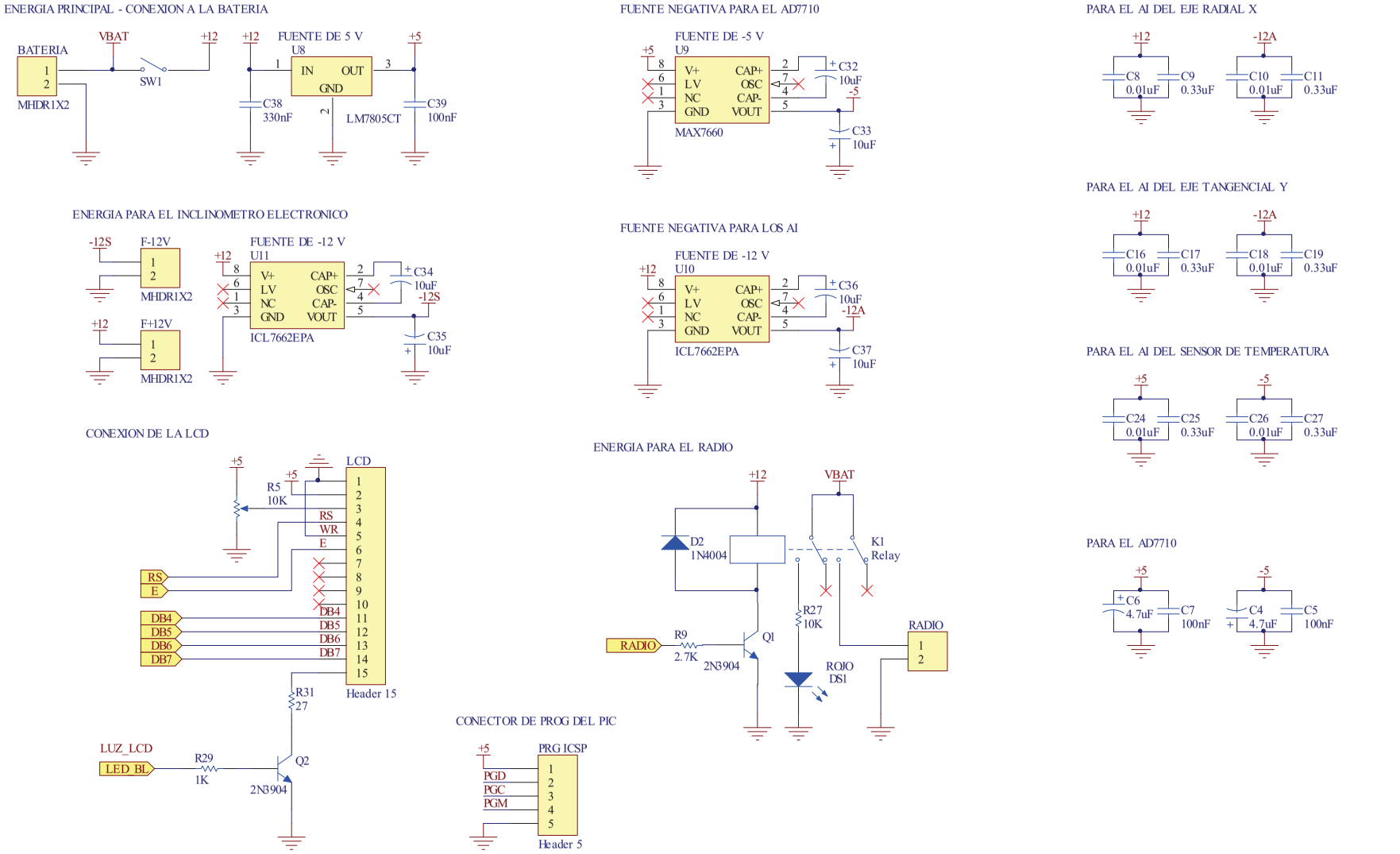


Gráfico A-2 Voltajes regulados e invertidos: 5V, -5 y -12V. Terminales para conexión a la batería, conector para la LCD, Relé, y capacitores para aislamiento de fuentes.

ANEXO B

LAMINAS PCB DEL EQUIPO INCLINO 2.1

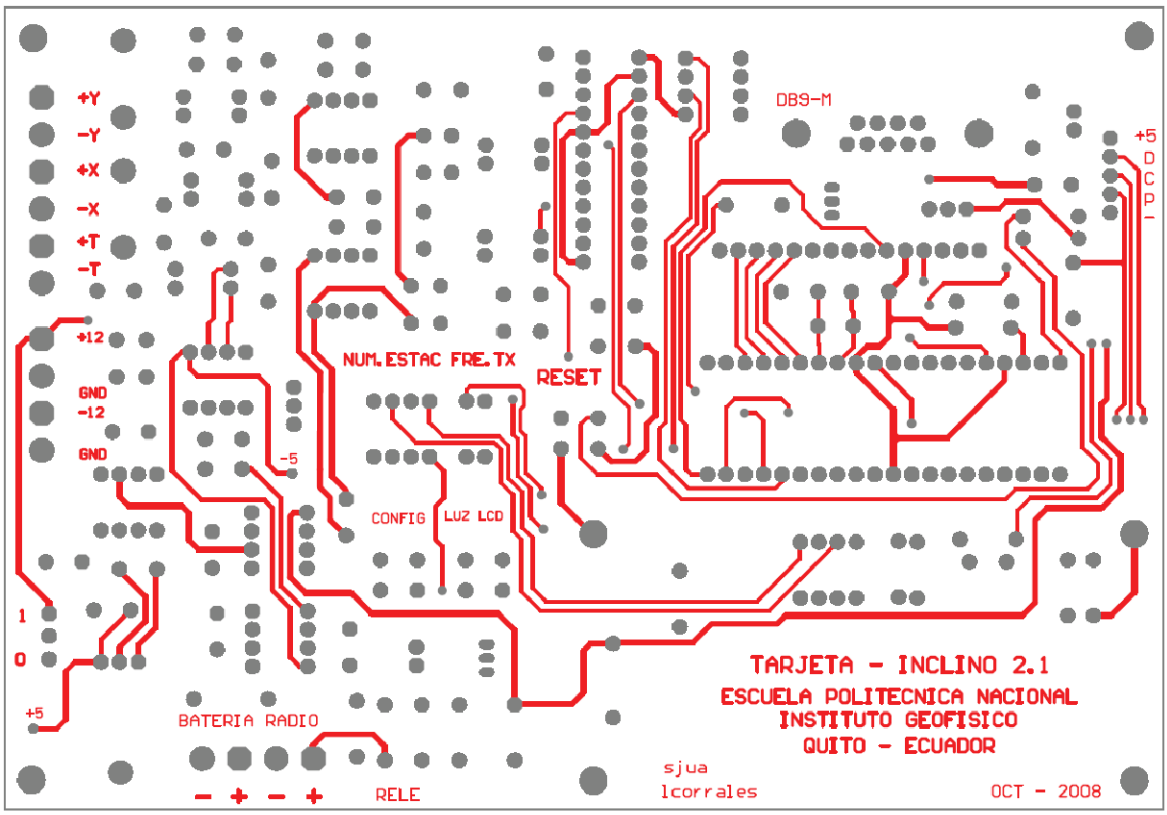


Gráfico B-1 Capa superior.

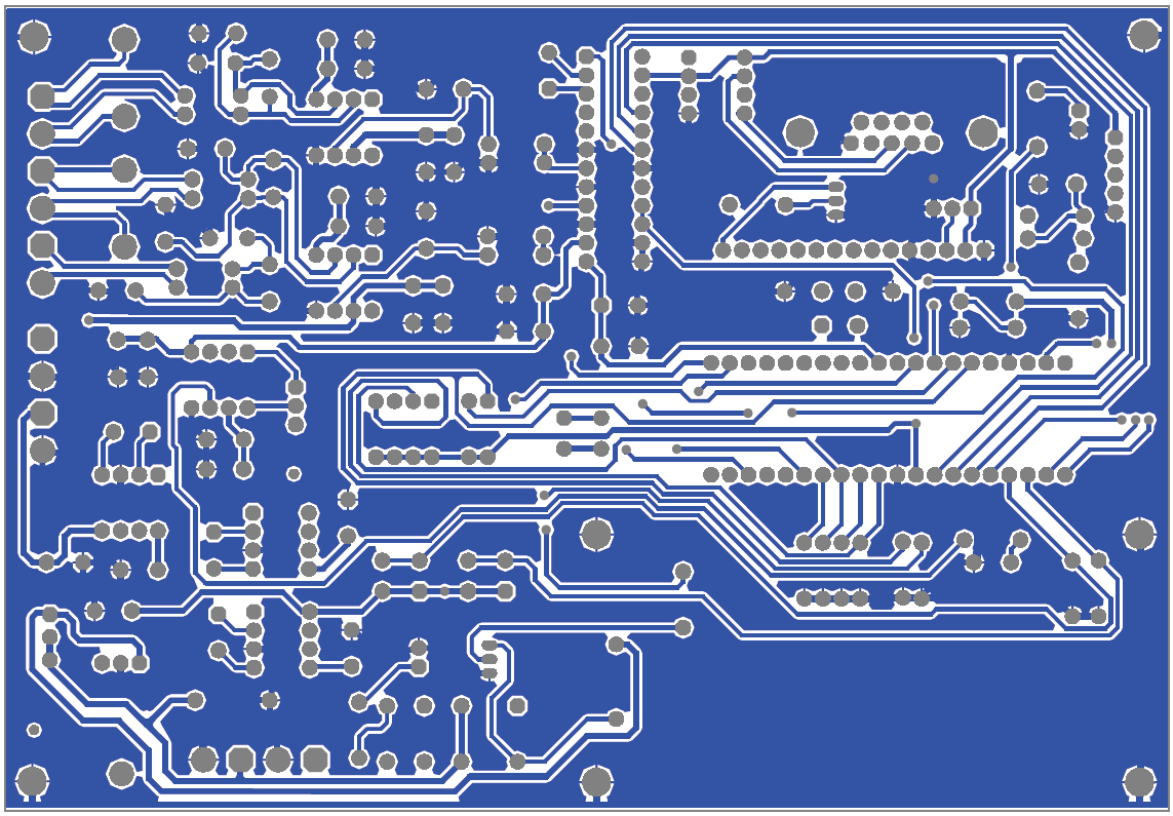


Gráfico B-2 Capa inferior.

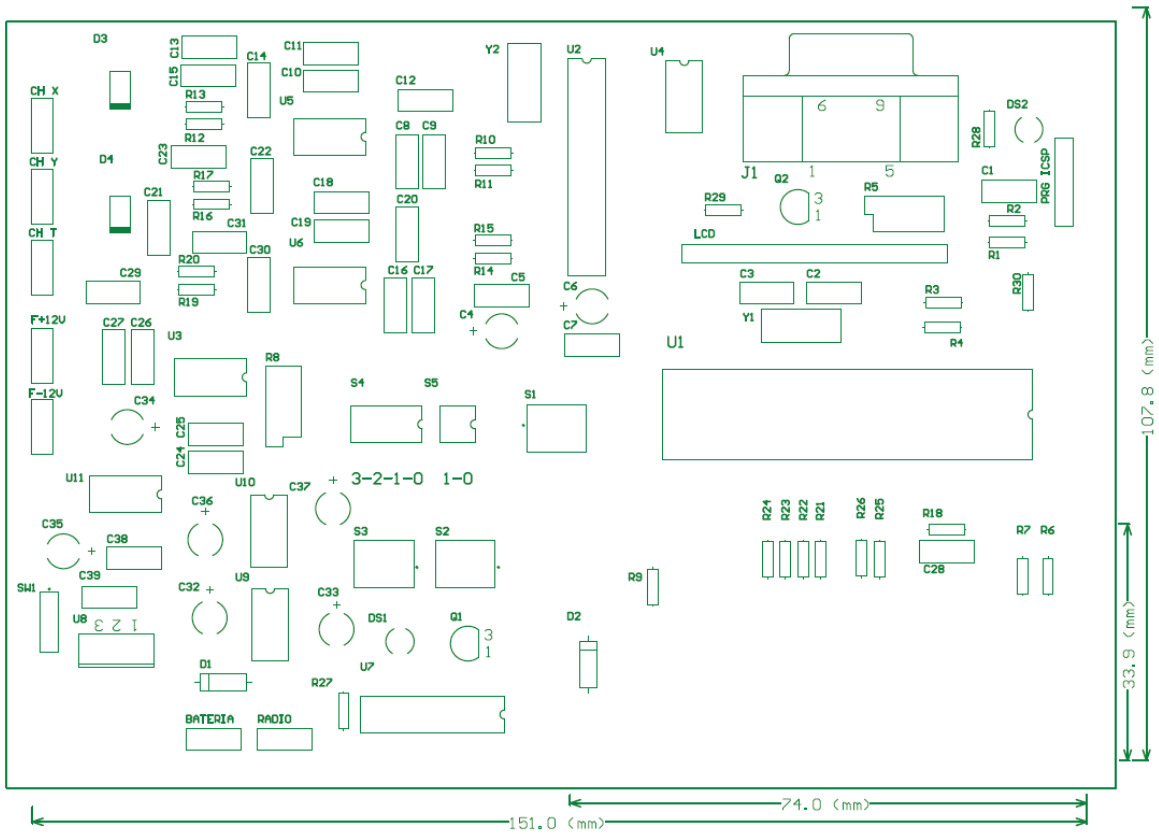


Gráfico B-3 Texto de la capa superior.

ANEXO C
FOTOGRAFÍAS DEL EQUIPO

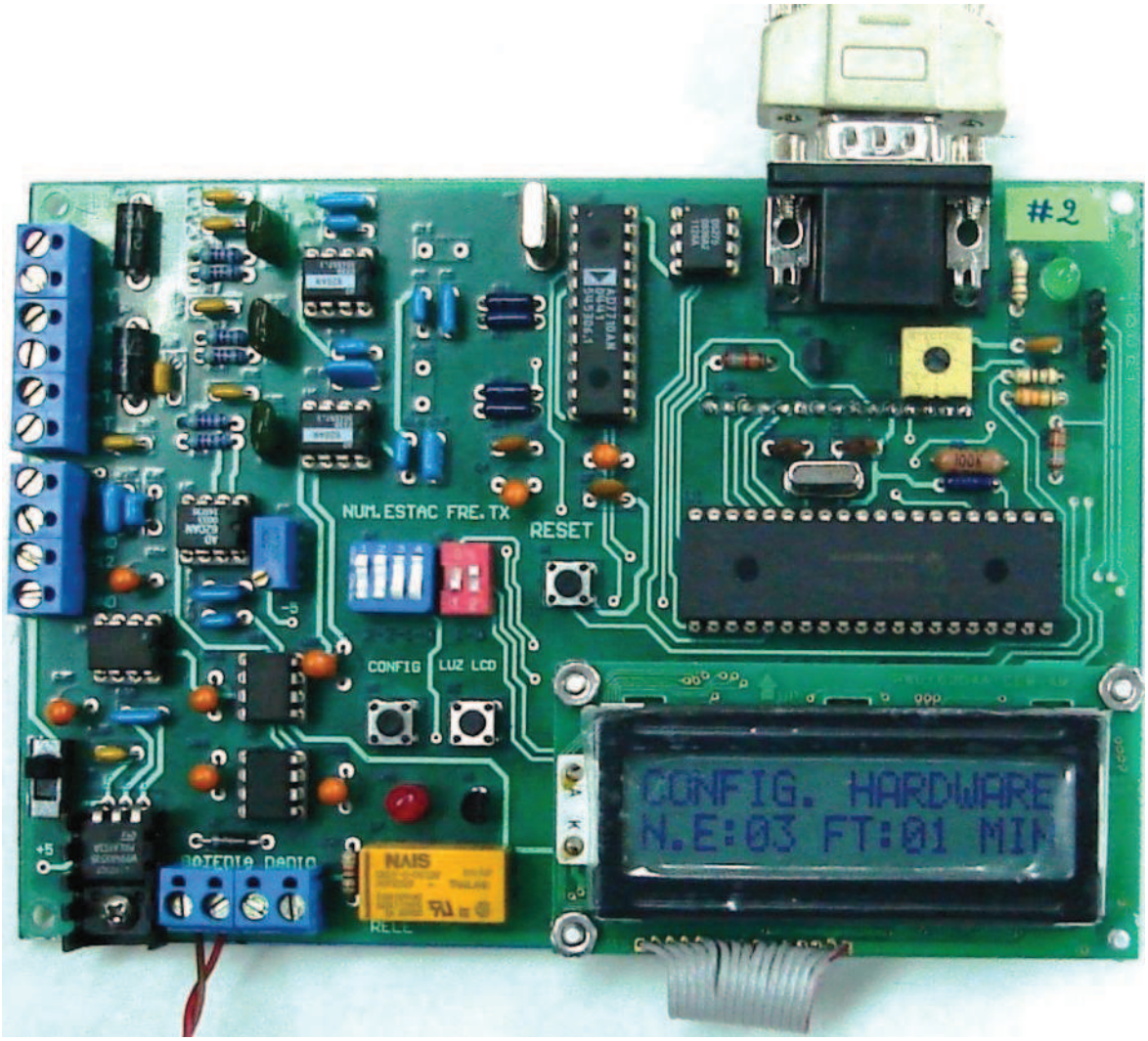


Gráfico C-1 Vista superior equipo Inclino 2.1.

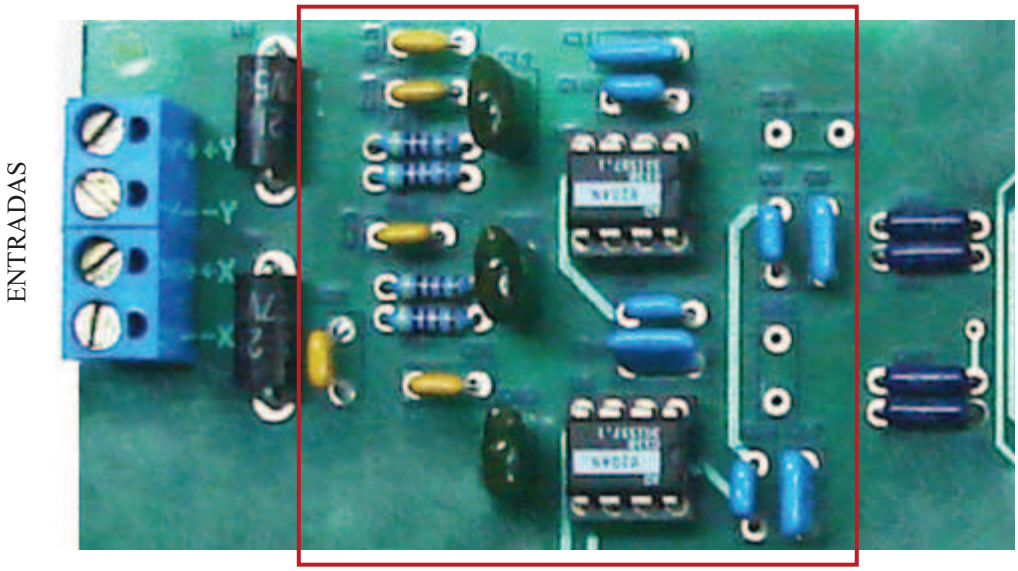


Gráfico C-2 Acondicionador de los ejes radial y tangencial. En el recuadro rojo se muestra el filtro de atenuación de radiofrecuencia.

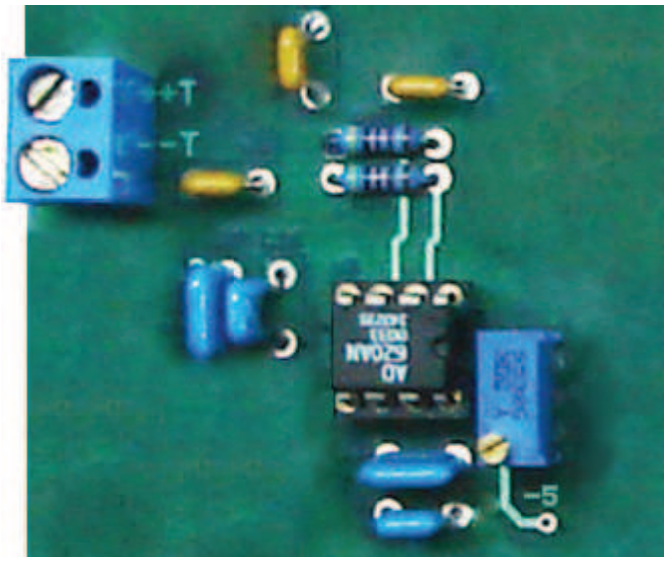


Gráfico C-3 Acondicionador de temperatura.

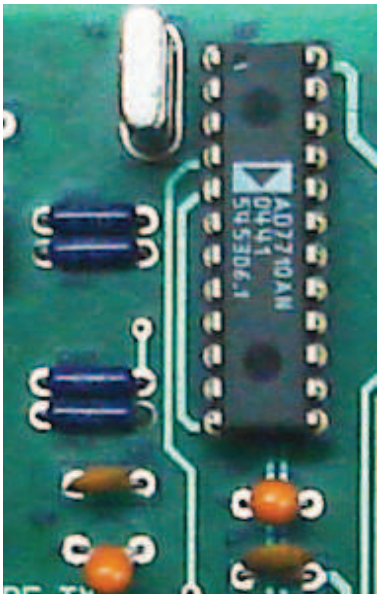


Gráfico C-4 Conversor de señal analógica a digital de 16/24 bits AD7710.

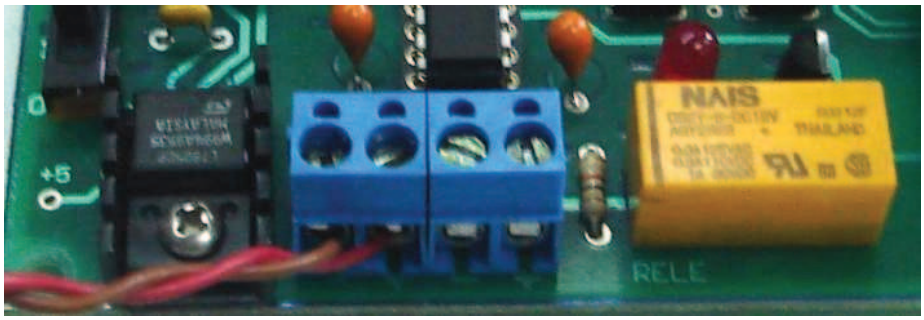


Gráfico C-4 Regulador de 5V, conector para conexión a batería y radio (Azul), relé (Amarillo).

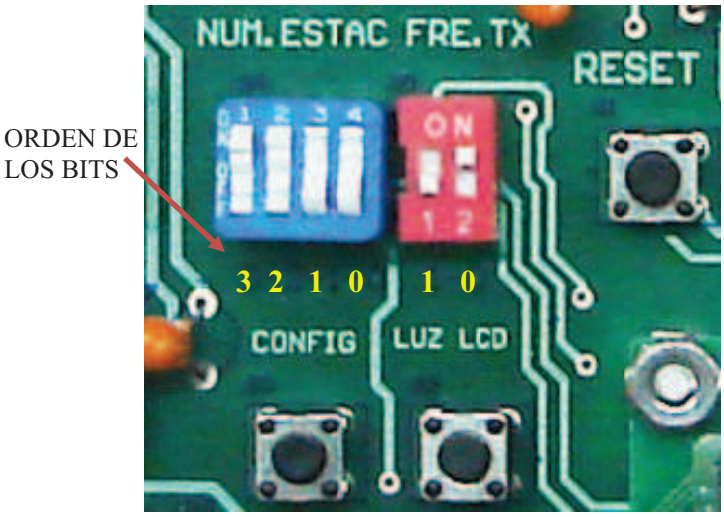


Gráfico C-5 Interruptor DIP de cuatro posiciones para asignar el número de estación, interruptor DIP de dos posiciones para asignar el intervalo de transmisión y pulsadores: CONFIG, LUZ LCD y RESET.

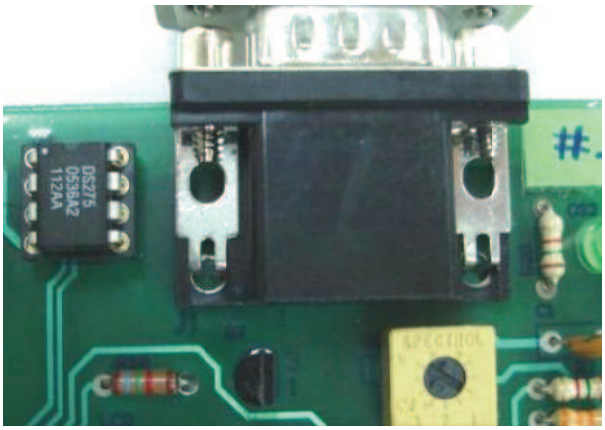


Gráfico C-5 DS275 y conector de puerto RS-232 DB9.

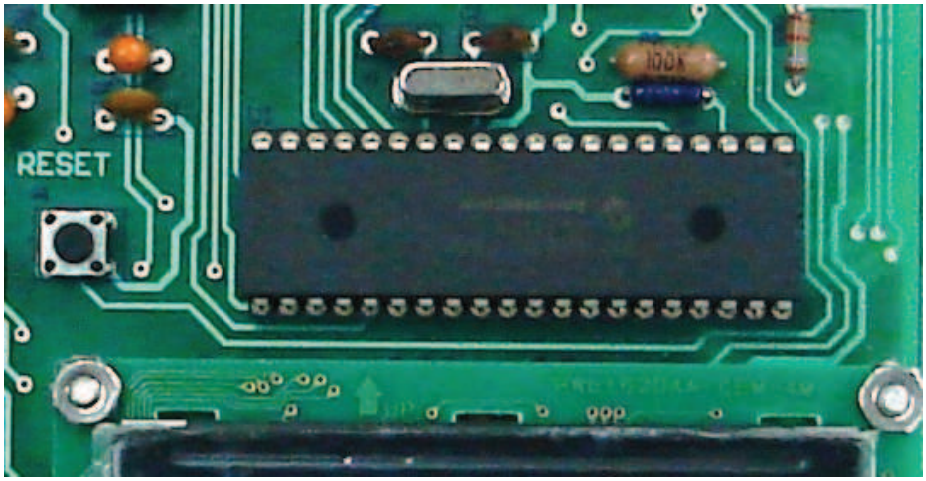


Gráfico C-6 Pulsador RESET y microcontrolador PIC16F877.

Gráfico C-7 Pulsador para el control del LED Backlight y pantalla de cristal liquida.

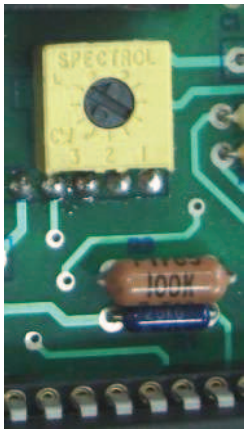


Gráfico C-8 Potenciómetro para regular el contraste de la LCD y resistencias de precisión para el acondicionamiento de la señal del voltaje de la batería.

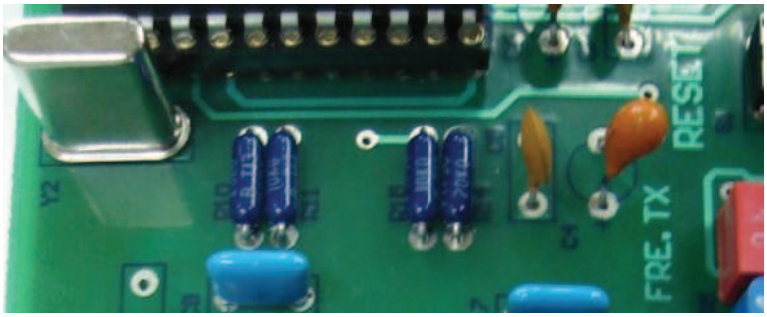


Gráfico C-9 Resistencias de precisión (color azul) del acondicionador de la señal de deformación.

Gráfico C-10 Equipo inclino 2.1 en proceso de construcción.

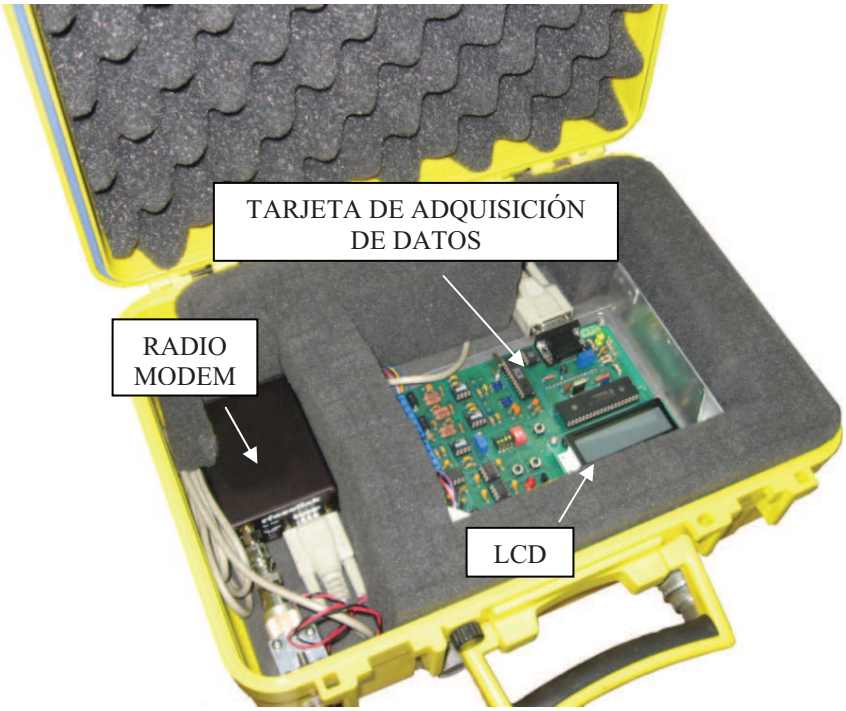


Gráfico C-11 Equipo para el monitoreo de la deformación volcánica: Inclino 2.1. Contiene: Tarjeta de adquisicion de datos, radio modem, supresor de rayos y conectores.

ANEXOS D
HOJAS DE DATOS

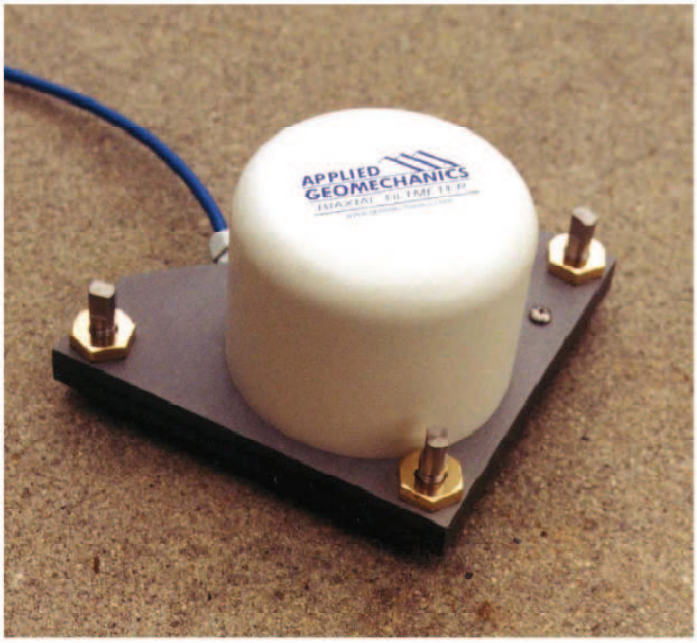
HOJA DE DATOS D-1
INCLINÓMETRO ELECTRÓNICO 701-2(4X)

APPLIED GEOMECHANICS

Model 701-2(4X) Weatherproof Platform Tiltmeter (Biaxial)

This precision biaxial tiltmeter is a weatherproof version of our popular Model 701-2 Platform Tiltmeter. Its NEMA 4X designation (IP65 for our international customers) means that it is unaffected by continuous exposure to moisture and wet weather. Also, its anodized aluminum and epoxy-coated housing resists corrosion that can occur on the side of a volcano or wherever it is operated. With its adjustable invar legs, you can install and level Model 701-2(4X) within minutes. The tiltmeter also measures temperature, and the internal electronics will drive tilt and temperature signals over cable lengths greater than 1000m.

Applications for Model 701-2(4X) include volcano monitoring; telescope, antenna and platform leveling; structural testing and monitoring; and any other demanding application that requires top performance under harsh operating conditions.



	Model 701-2A(4X) High-Gain Version	Model 701-2B(4X) Mid-Range Version
ANGULAR RANGE	±8000 μradians* (±0.46 degree)	±8 degrees
SCALE FACTOR†	1 μradian/mV	1 degree/Volt
RESOLUTION	0.1 μradian or better	1 μradian or better
REPEATABILITY	1 μradian (static)	2 μradians (static)
LINEARITY	2% of full span	1.5% of full span
TIME CONSTANT	0.5 second	0.4 second
TEMPERATURE COEF.	Scale factor: K_S = +0.05%/°C typical Zero shift: K_Z = ±3 μradians/°C typical	K_S = +0.05%/°C typical K_Z = ±0.001 degree/°C typical
TILT OUTPUT	Each axis: ±8 Volts DC (single-ended) and ±16 Volts DC (differential)	
TEMPERATURE OUTPUT	0.1°C/mV (single-ended), –40° to +100°C, ±0.75°C accuracy, 0°C = 0 mV	
OUTPUT IMPEDANCE	270 Ohms, short circuit and surge protected	
POWER REQ'TS.	±11 to ±15 VDC @ +11 and –6 mA, 250 mV peak-to-peak ripple maximum, reverse polarity protected	
ENVIRONMENTAL	–25° to +70° C operation, –30° to +100° C storage; Rated NEMA 4X (IP65) for continuous operation at 100% humidity, Withstands exposure to rainfall and spray	
MOUNTING	Tiltmeter stands on three adjustable invar legs	
MATERIALS	Anodized and epoxy-coated aluminum, invar legs, brass nuts	
CABLE	3m (10 ft) multiconductor cable + overall shield, PVC jacket, connectors included	
SIZE & WEIGHT	152 x 152 x 102 mm (6 x 6 x 4 inches), 1.4 kg (3 lb)	

* 1 degree = 3600 arc seconds = 17453 μradians (microradians)

† Single-ended outputs; divide by 2 for differential scale factors.

1336 Bronmmer Street, Santa Cruz, CA 95062, (831) 462-2801, FAX: (831) 462-4418
applied@geomechanics.com • www.geomechanics.com
L00234A, ©2001 Applied Geomechanics Inc.

HOJA DE DATOS D-2
MICROCONTROLADOR PIC16F877

MICROCHIP

PIC16F87X

28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

Devices Included in this Data Sheet:

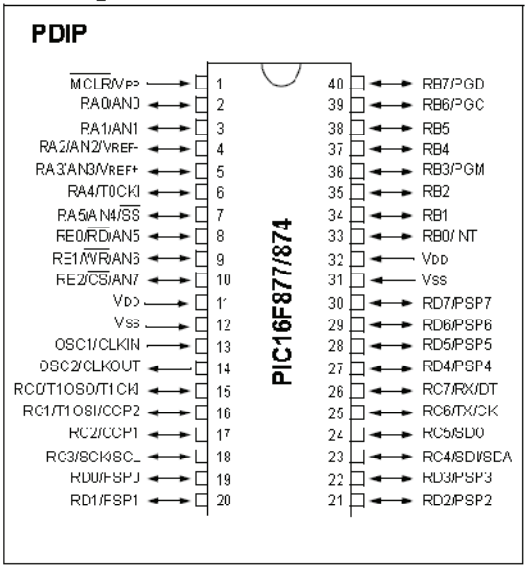
- PIC16F873
- PIC16F874
- PIC16F876
- PIC16F877

Microcontroller Core Features:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
  DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,
  Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)
  Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and
  Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature ranges
- Low-power consumption:
  - < 0.6 mA typical @ 3V, 4 MHz
  - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
  - < 1 µA typical standby current

Pin Diagram

PDIP



Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler, can be incremented during SLEEP via external crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
  - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
  - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
  - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master mode) and I^2C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with external $\overline{RD}$, $\overline{WR}$ and $\overline{CS}$ controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for Brown-out Reset (BOR)

© 2001 Microchip Technology Inc.

HOJA DE DATOS D-3
CONVERSOR DE SEÑAL ANALÓGICA A DIGITAL AD7710

ANALOG DEVICES

Signal Conditioning ADC

AD7710*

FEATURES

Charge Balancing ADC
- 24 Bits, No Missing Codes
- ±0.0015% Nonlinearity

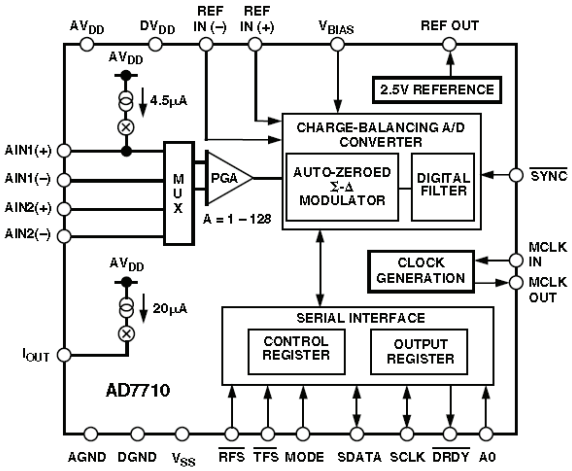
2-Channel Programmable Gain Front End
- Gains from 1 to 128
- Differential Inputs

Low-Pass Filter with Programmable Filter Cutoffs
Ability to Read/Write Calibration Coefficients
Bidirectional Microcontroller Serial Interface
Internal/External Reference Option
Single- or Dual-Supply Operation
Low Power (25 mW Typ) with Power-Down Mode (7 mW Typ)

APPLICATIONS

Weigh Scales
Thermocouples
Process Control
Smart Transmitters
Chromatography

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



GENERAL DESCRIPTION

The AD7710 is a complete analog front end for low frequency measurement applications. The device accepts low level signals directly from a strain gage or transducer and outputs a serial digital word. It employs a sigma-delta conversion technique to realize up to 24 bits of no missing codes performance. The input signal is applied to a proprietary programmable gain front end based around an analog modulator. The modulator output is processed by an on-chip digital filter. The first notch of this digital filter can be programmed via the on-chip control register, allowing adjustment of the filter cutoff and settling time.

The part features two differential analog inputs and a differential reference input. Typically, one of the channels will be used as the main channel with the second channel used as an auxiliary input to measure a second voltage periodically. It can be operated from a single supply (by tying the V_{SS} pin to AGND), provided that the input signals on the analog inputs are more positive than –30 mV. By taking the V_{SS} pin negative, the part can convert signals down to $-V_{REF}$ on its inputs. The AD7710 thus performs all signal conditioning and conversion for a single- or dual-channel system.

The AD7710 is ideal for use in smart, microcontroller based systems. Input channel selection, gain settings, and signal polarity can be configured in software using the bidirectional serial port. The AD7710 contains self-calibration, system calibration, and background calibration options, and also allows the user to read and write the on-chip calibration registers.

*Protected by U.S. Patent No. 5,134,401.

REV. G

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

CMOS construction ensures low power dissipation, and a software programmable power-down mode reduces the standby power consumption to only 7 mW typical. The part is available in a 24-lead, 0.3 inch-wide, plastic and hermetic dual-in-line package (DIP) as well as a 24-lead small outline (SOIC) package.

PRODUCT HIGHLIGHTS

1. The programmable gain front end allows the AD7710 to accept input signals directly from a strain gage or transducer, removing a considerable amount of signal conditioning.
2. The AD7710 is ideal for microcontroller or DSP processor applications with an on-chip control register that allows control over filter cutoff, input gain, channel selection, signal polarity, and calibration modes.
3. The AD7710 allows the user to read and write the on-chip calibration registers. This means that the microcontroller has much greater control over the calibration procedure.
4. No missing codes ensures true, usable, 23-bit dynamic range coupled with excellent ±0.0015% accuracy. The effects of temperature drift are eliminated by on-chip self-calibration, which removes zero-scale and full-scale errors.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781/329-4700 www.analog.com
Fax: 781/326-8703 © 2004 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

Parameter	Limit at T_{MIN}, T_{MAX} (A, S Versions)	Unit	Conditions/Comments
External Clocking Mode			
f_{SCLK}	$f_{CLK\ IN}/5$	MHz max	Serial Clock Input Frequency
t_{20}	0	ns min	$\overline{DRDY}$ to $\overline{RFS}$ Setup Time
t_{21}	0	ns min	$\overline{DRDY}$ to $\overline{RFS}$ Hold Time
t_{22}	$2 \times t_{CLK\ IN}$	ns min	A0 to $\overline{RFS}$ Setup Time
t_{23}	0	ns min	A0 to $\overline{RFS}$ Hold Time
t_{24}[7]	$4 \times t_{CLK\ IN}$	ns max	Data Access Time ($\overline{RFS}$ Low to Data Valid)
t_{25}[7]	10	ns min	SCLK Falling Edge to Data Valid Delay
	$2 \times t_{CLK\ IN}$ + 20	ns max	
t_{26}	$2 \times t_{CLK\ IN}$	ns min	SCLK High Pulse Width
t_{27}	$2 \times t_{CLK\ IN}$	ns min	SCLK Low Pulse Width
t_{28}	$t_{CLK\ IN}$ + 10	ns max	SCLK Falling Edge to $\overline{DRDY}$ High
t_{29}[8]	10	ns min	SCLK to Data Valid Hold Time
	$t_{CLK\ IN}$ + 10	ns max	
t_{30}	10	ns min	$\overline{RFS}/\overline{TFS}$ to SCLK Falling Edge Hold Time
t_{31}[8]	$5 \times t_{CLK\ IN}/2$ + 50	ns max	$\overline{RFS}$ to Data Valid Hold Time
t_{32}	0	ns min	A0 to $\overline{TFS}$ Setup Time
t_{33}	0	ns min	A0 to $\overline{TFS}$ Hold Time
t_{34}	$4 \times t_{CLK\ IN}$	ns min	SCLK Falling Edge to $\overline{TFS}$ Hold Time
t_{35}	$2 \times t_{CLK\ IN}$ – SCLK High	ns min	Data Valid to SCLK Setup Time
t_{36}	30	ns min	Data Valid to SCLK Hold Time

NOTES

[8]These numbers are derived from the measured time taken by the data output to change 0.5 V when loaded with the circuit of Figure 1. The measured number is then extrapolated back to remove effects of charging or discharging the 100 pF capacitor. This means that the times quoted in the timing characteristics are the true bus relinquish times of the part and, as such, are independent of external bus loading capacitances.

Specifications subject to change without notice.

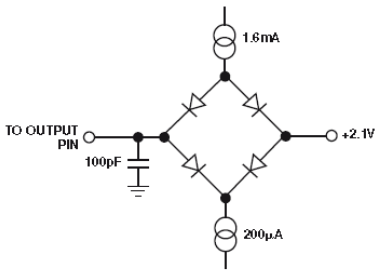
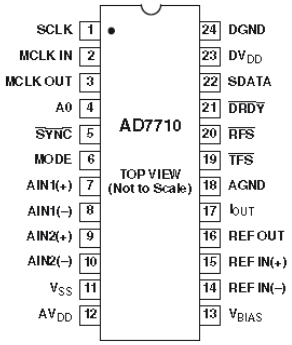


Figure 1. Load Circuit for Access Time and Bus Relinquish Time

PIN CONFIGURATION
DIP AND SOIC



PIN FUNCTION DESCRIPTIONS

Pin	Mnemonic	Function
1	SCLK	Serial Clock. Logic input/output, depending on the status of the MODE pin. When MODE is high, the device is in its self-clocking mode, and the SCLK pin provides a serial clock output. This SCLK becomes active when $\overline{RFS}$ or $\overline{TFS}$ goes low, and it goes high impedance when either $\overline{RFS}$ or $\overline{TFS}$ returns high or when the device has completed transmission of an output word. When MODE is low, the device is in its external clocking mode, and the SCLK pin acts as an input. This input serial clock can be a continuous clock with all data transmitted in a continuous train of pulses. Alternatively, it can be a noncontinuous clock with the information being transmitted to the AD7710 in smaller batches of data.
2	MCLK IN	Master Clock Signal for the Device. This can be provided in the form of a crystal or external clock. A crystal can be tied across the MCLK IN and MCLK OUT pins. Alternatively, the MCLK IN pin can be driven with a CMOS compatible clock and MCLK OUT left unconnected. The clock input frequency is nominally 10 MHz.
3	MCLK OUT	When the master clock for the device is a crystal, the crystal is connected between MCLK IN and MCLK OUT.
4	A0	Address Input. With this input low, reading and writing to the device is to the control register. With this input high, access is to either the data register or the calibration registers.
5	$\overline{SYNC}$	Logic Input. Allows for synchronization of the digital filters when using a number of AD7710s. It resets the nodes of the digital filter.
6	MODE	Logic Input. When this pin is high, the device is in its self-clocking mode; with this pin low, the device is in its external clocking mode.
7	AIN1(+)	Analog Input Channel 1. Positive input of the programmable gain differential analog input. The AIN1(+) input is connected to an output current source that can be used to check that an external transducer has burned out or gone open circuit. This output current source can be turned on/off via the control register.
8	AIN1(–)	Analog Input Channel 1. Negative input of the programmable gain differential analog input.
9	AIN2(+)	Analog Input Channel 2. Positive input of the programmable gain differential analog input.
10	AIN2(–)	Analog Input Channel 2. Negative input of the programmable gain differential analog input.
11	V_{SS}	Analog Negative Supply, 0 V to –5 V. Tied to AGND for single-supply operation. The input voltage on AIN1 or AIN2 should not go > 30 mV negative w.r.t. V_{SS} for correct operation of the device.
12	AV_{DD}	Analog Positive Supply Voltage, 5 V to 10 V.
13	V_{BIAS}	Input Bias Voltage. This input voltage should be set such that $V_{BIAS} + 0.85 \times V_{REF} < AV_{DD}$ and $V_{BIAS} - 0.85 \times V_{REF} > V_{SS}$ where V_{REF} is REF IN(+) – REF IN(–). Ideally, this should be tied halfway between AV_{DD} and V_{SS}. Thus with AV_{DD} = 5 V and V_{SS} = 0 V, it can be tied to REF OUT; with AV_{DD} = 5 V and V_{SS} = –5 V, it can be tied to AGND; with AV_{DD} = 10 V, it can be tied to 5 V.
14	REF IN(–)	Reference Input. The REF IN(–) can lie anywhere between AV_{DD} and V_{SS} provided REF IN(+) is greater than REF IN(–).
15	REF IN(+)	Reference Input. The reference input is differential providing that REF IN(+) is greater than REF IN(–). REF IN(+) can lie anywhere between AV_{DD} and V_{SS}.
16	REF OUT	Reference Output. The internal 2.5 V reference is provided at this pin. This is a single-ended output which is referred to AGND. It is a buffered output which is capable of providing 1 mA to an external load.
17	I_{OUT}	Compensation Current Output. A 20 μA constant current is provided at this pin. This current can be used in association with an external thermistor to provide cold junction compensation in thermocouple applications. This current can be turned on or off via the control register.
18	AGND	Ground Reference Point for Analog Circuitry.

Pin	Mnemonic	Function
19	$\overline{TFS}$	Transmit Frame Synchronization. Active low logic input used to write serial data to the device with serial data expected after the falling edge of this pulse. In the self-clocking mode, the serial clock becomes active after $\overline{TFS}$ goes low. In the external clocking mode, $\overline{TFS}$ must go low before the first bit of the data-word is written to the part.
20	$\overline{RFS}$	Receive Frame Synchronization. Active low logic input used to access serial data from the device. In the self-clocking mode, the SCLK and SDATA lines both become active after $\overline{RFS}$ goes low. In the external clocking mode, the SDATA line becomes active after $\overline{RFS}$ goes low.
21	$\overline{DRDY}$	Logic Output. A falling edge indicates that a new output word is available for transmission. The $\overline{DRDY}$ pin will return high upon completion of transmission of a full output word. $\overline{DRDY}$ is also used to indicate when the AD7710 has completed its on-chip calibration sequence.
22	SDATA	Serial Data. Input/output with serial data being written to either the control register or the calibration registers, and serial data being accessed from the control register, calibration registers, or the data register. During an output data read operation, serial data becomes active after $\overline{RFS}$ goes low (provided $\overline{DRDY}$ is low). During a write operation, valid serial data is expected on the rising edges of SCLK when $\overline{TFS}$ is low. The output data coding is natural binary for unipolar inputs and offset binary for bipolar inputs.
23	DV_{DD}	Digital Supply Voltage, 5 V. DV_{DD} should not exceed AV_{DD} by more than 0.3 V in normal operation.
24	DGND	Ground Reference Point for Digital Circuitry.

Terminology Integral Nonlinearity
This is the maximum deviation of any code from a straight line passing through the endpoints of the transfer function. The endpoints of the transfer function are zero scale (not to be confused with bipolar zero), a point 0.5 LSB below the first code transition (000 . . . 000 to 000 . . . 001) and full scale, a point 0.5 LSB above the last code transition (111 . . . 110 to 111 . . . 111). The error is expressed as a percentage of full scale.

Positive Full-Scale Error
Positive full-scale error is the deviation of the last code transition (111 . . . 110 to 111 . . . 111) from the ideal AIN(+) voltage (AIN(–) + V_{REF}/GAIN – 3/2 LSBs). It applies to both unipolar and bipolar analog input ranges.

Unipolar Offset Error
Unipolar offset error is the deviation of the first code transition from the ideal AIN(+) voltage (AIN(–) + 0.5 LSB) when operating in the unipolar mode.

Bipolar Zero Error
This is the deviation of the midscale transition (0111 . . . 111 to 1000 . . . 000) from the ideal AIN(+) voltage (AIN(–) – 0.5 LSB) when operating in the bipolar mode.

Bipolar Negative Full-Scale Error
This is the deviation of the first code transition from the ideal AIN(+) voltage (AIN(–) – V_{REF}/GAIN + 0.5 LSB) when operating in the bipolar mode.

Positive Full-Scale Overrange
Positive full-scale overrange is the amount of overhead available to handle input voltages on AIN(+) input greater than AIN(–) + V_{REF}/GAIN (for example, noise peaks or excess voltages due to system gain errors in system calibration routines) without introducing errors due to overloading the analog modulator or to overflowing the digital filter.

Negative Full-Scale Overrange
This is the amount of overhead available to handle voltages on AIN(+) below AIN(–) –V_{REF}/GAIN without overloading the analog modulator or overflowing the digital filter. Note that the analog input will accept negative voltage peaks even in the unipolar mode provided that AIN(+) is greater than AIN(–) and greater than V_{SS} – 30 mV.

Offset Calibration Range
In the system calibration modes, the AD7710 calibrates its offset with respect to the analog input. The offset calibration range specification defines the range of voltages that the AD7710 can accept and still calibrate offset accurately.

Full-Scale Calibration Range
This is the range of voltages that the AD7710 can accept in the system calibration mode and still calibrate full scale correctly.

Input Span
In system calibration schemes, two voltages applied in sequence to the AD7710's analog input define the analog input range. The input span specification defines the minimum and maximum input voltages from zero- to full-scale that the AD7710 can accept and still calibrate gain accurately.

CONTROL REGISTER (24 BITS)

A write to the device with the A0 input low writes data to the control register. A read to the device with the A0 input low accesses the contents of the control register. The control register is 24 bits wide; 24 bits of data must be written to the register or the data will not be loaded. In other words, it is not possible to write just the first 12 bits of data into the control register. If more than 24 clock pulses are provided before $\overline{TFS}$ returns high, then all clock pulses after the 24th clock pulse are ignored. Similarly, a read operation from the control register should access 24 bits of data.

MSB

MD2	**MD1**	**MD0**	**G2**	**G1**	**G0**	**CH**	**PD**	**WL**	**IO**	**BO**	**B/U**
FS11	**FS10**	**FS9**	**FS8**	**FS7**	**FS6**	**FS5**	**FS4**	**FS3**	**FS2**	**FS1**	**FS0**

LSB

Operating Mode			
MD2	**MD1**	**MD0**	**Operating Mode**
0	0	0	Normal Mode. This is the normal mode where a read to the device with A0 high accesses data from the data register. This is the default condition of these bits after the internal power-on reset.
0	0	1	Activate Self-Calibration. This activates self-calibration on the channel selected by CH. This is a one-step calibration sequence, and when complete, the part returns to normal mode (with MD2, MD1, MD0 of the control register returning to 0, 0, 0). The $\overline{DRDY}$ output indicates when this self-calibration is complete. For this calibration type, the zero-scale calibration is done internally on shorted (zeroed) inputs, and the full-scale calibration is done internally on V_{REF}.
0	1	0	Activate System Calibration. This activates system calibration on the channel selected by CH. This is a two-step calibration sequence, with the zero-scale calibration done first on the selected input channel and $\overline{DRDY}$ indicating when this zero-scale calibration is complete. The part returns to normal mode at the end of this first step in the two-step sequence.
0	1	1	Activate System Calibration. This is the second step of the system calibration sequence with full-scale calibration being performed on the selected input channel. Once again, $\overline{DRDY}$ indicates when the full-scale calibration is complete. When this calibration is complete, the part returns to normal mode.
1	0	0	Activate System Offset Calibration. This activates system offset calibration on the channel selected by CH. This is a one-step calibration sequence and, when complete, the part returns to normal mode with $\overline{DRDY}$ indicating when this system offset calibration is complete. For this calibration type, the zero-scale calibration is done on the selected input channel, and the full-scale calibration is done internally on V_{REF}.
1	0	1	Activate Background Calibration. This activates background calibration on the channel selected by CH. If the background calibration mode is on, then the AD7710 provides continuous self-calibration of the reference and shorted (zeroed) inputs. This calibration takes place as part of the conversion sequence, extending the conversion time and reducing the word rate by a factor of 6. The major advantage of using this mode is that the user does not have to recalibrate the device when there is a change in the ambient temperature. In this mode, the shorted (zeroed) inputs and V_{REF}, as well as the analog input voltage, are continuously monitored and the calibration registers of the device are automatically updated.
1	1	0	Read/Write Zero-Scale Calibration Coefficients. A read to the device with A0 high accesses the contents of the zero-scale calibration coefficients of the channel selected by CH. A write to the device with A0 high writes data to the zero-scale calibration coefficients of the channel selected by CH. The word length for reading and writing these coefficients is 24 bits, regardless of the status of the WL bit of the control register. Therefore, 24 bits of data must be written to the calibration register, or the new data will not be transferred to the calibration register.
1	1	1	Read/Write Full-Scale Calibration Coefficients. A read to the device with A0 high accesses the contents of the full-scale calibration coefficients of the channel selected by CH. A write to the device with A0 high writes data to the full-scale calibration coefficients of the channel selected by CH. The word length for reading and writing these coefficients is 24 bits, regardless of the status of the WL bit of the control register. Therefore, 24 bits of data must be written to the calibration register, or the new data will not be transferred to the calibration register.

PGA GAIN

G2	G1	G0	Gain	
0	0	0	1	(Default Condition after the Internal Power-On Reset)
0	0	1	2	
0	1	0	4	
0	1	1	8	
1	0	0	16	
1	0	1	32	
1	1	0	64	
1	1	1	128	

CHANNEL SELECTION

CH	Channel	
0	AIN1	(Default Condition after the Internal Power-On Reset)
1	AIN2	

Power-Down

PD		
0	Normal Operation	(Default Condition after the Internal Power-On Reset)
1	Power-Down	

Word Length

WL	Output Word Length	
0	16-Bit	(Default Condition after Internal Power-On Reset)
1	24-Bit	

Output Compensation Current

IO		
0	Off	(Default Condition after Internal Power-On Reset)
1	On	

Burn-Out Current

BO		
0	Off	(Default Condition after Internal Power-On Reset)
1	On	

Bipolar/Unipolar Selection (Both Inputs)

B/U		
0	Bipolar	(Default Condition after Internal Power-On Reset)
1	Unipolar	

FILTER SELECTION (FS11–FS0)

The on-chip digital filter provides a sinc^3 (or $(\sin x/x)^3$) filter response. The 12 bits of data programmed into these bits determine the filter cutoff frequency, the position of the first notch of the filter and the data rate for the part. In association with the gain selection, it also determines the output noise (and therefore the effective resolution) of the device.

The first notch of the filter occurs at a frequency determined by the relationship: filter first notch frequency = $(f_{CLK\ IN}/512)/code$ where *code* is the decimal equivalent of the code in bits FS0 to FS11 and is in the range 19 to 2,000. With the nominal $f_{CLK\ IN}$ of 10 MHz, this results in a first notch frequency range from 9.76 Hz to 1.028 kHz. To ensure correct operation of the AD7710, the value of the code loaded to these bits must be within this range. Failure to do this will result in unspecified operation of the device.

Changing the filter notch frequency, as well as the selected gain, impacts resolution. Tables I and II and Figure 2 show the effect of the filter notch frequency and gain on the effective resolution of the AD7710. The output data rate (or effective conversion time) for the device is equal to the frequency selected for the first notch of the filter. For example, if the first notch of the filter is selected at 50 Hz, then a new word is available at a 50 Hz rate or every 20 ms. If the first notch is at 1 kHz, a new word is available every 1 ms.

The settling time of the filter to a full-scale step input change is worst case 4×1/(output data rate). This settling time is to 100% of the final value. For example, with the first filter notch at 50 Hz, the settling time of the filter to a full-scale step input change is 80 ms max. If the first notch is at 1 kHz, the settling time of the filter to a full-scale input step is 4 ms max. This settling time can be reduced to 3×1/(output data rate) by synchronizing the step input change to a reset of the digital filter. In other words, if the step input takes place with $\overline{SYNC}$ low, the settling time will be 3×1/(output data rate). If a change of channels takes place, the settling time is 3×1/(output data rate) regardless of the $\overline{SYNC}$ input.

The –3 dB frequency is determined by the programmed first notch frequency according to the relationship:
filter –3 dB frequency = $0.262 \times$ first notch frequency.

Read Operation

Data can be read from either the output register, the control register, or the calibration registers. A0 determines whether the data read accesses data from the control register or from the output/calibration registers. This A0 signal must remain valid for the duration of the serial read operation. With A0 high, data is accessed from either the output register or from the calibration registers. With A0 low, data is accessed from the control register.

The function of the $\overline{\text{DRDY}}$ line is dependent only on the output update rate of the device and the reading of the output data register. $\overline{\text{DRDY}}$ goes low when a new data-word is available in the output data register. It is reset high when the last bit of data (either 16th bit or 24th bit) is read from the output register. If data is not read from the output register, the $\overline{\text{DRDY}}$ line will remain low. The output register will continue to be updated at the output update rate, but $\overline{\text{DRDY}}$ will not indicate this. A read from the device in this circumstance will access the most recent word in the output register. If a new data-word becomes available to the output register while data is being read from the output register, $\overline{\text{DRDY}}$ will not indicate this and the new data-word will be lost to the user. $\overline{\text{DRDY}}$ is not affected by reading from the control register or the calibration registers.

Data can be accessed from the output data register only when $\overline{\text{DRDY}}$ is low. If $\overline{\text{RFS}}$ goes low with $\overline{\text{DRDY}}$ high, no data transfer will take place. $\overline{\text{DRDY}}$ does not have any effect on reading data from the control register or from the calibration registers.

Figure 10 shows a timing diagram for reading from the AD7710 in the self-clocking mode. This read operation shows a read from the AD7710's output data register. A read from the control register or calibration registers is similar, but, in these cases, the $\overline{\text{DRDY}}$ line is not related to the read function. Depending on the output update rate, it can go low at any stage in the control/calibration register read cycle without affecting the read and its status should be ignored. A read operation from either the control or calibration registers must always read 24 bits of data from the respective register.

Figure 10 shows a read operation from the AD7710. For the timing diagram shown, it is assumed that there is a pull-up resistor on the SCLK output. With $\overline{\text{DRDY}}$ low, the $\overline{\text{RFS}}$ input is brought low. $\overline{\text{RFS}}$ going low enables the serial clock of the AD7710 and also places the MSB of the word on the serial data line. All subsequent data bits are clocked out on a high to low transition of the serial clock and are valid prior to the following rising edge of this clock. The final active falling edge of SCLK clocks out the LSB and this LSB is valid prior to the final active rising edge of SCLK. Coincident with the next falling edge of SCLK, $\overline{\text{DRDY}}$ is reset high. $\overline{\text{DRDY}}$ going high turns off the SCLK and the SDATA outputs. This means that the data hold time for the LSB is slightly shorter than for all other bits.

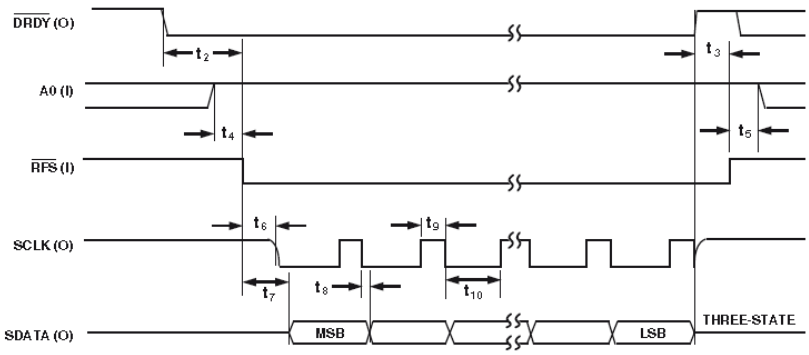


Figure 10. Self-Clocking Mode, Output Data Read Operation

Write Operation

Data can be written to either the control register or calibration registers. In either case, the write operation is not affected by the $\overline{DRDY}$ line and does not have any effect on the status of $\overline{DRDY}$. A write operation to the control registers or calibration register must always write 24 bits.

Figure 11 shows a write operation to the AD7710. A0 determines whether a write operation transfers data to the control register or to the calibration registers. This A0 signal must remain valid for the duration of the serial write operation. The falling edge of $\overline{TFS}$ enables the internally generated SCLK output. The serial data to be loaded to the AD7710 must be valid on the rising edge of this SCLK signal. Data is clocked into the AD7710 on the rising edge of the SCLK signal with the MSB transferred first. On the last active high time of SCLK, the LSB is loaded to the AD7710. Subsequent to the next falling edge of SCLK, the SCLK output is turned off. (The timing diagram in Figure 11 assumes a pull-up resistor on the SCLK line.)

External Clocking Mode

The AD7710 is configured for external clocking mode by tying the MODE pin low. In this mode, SCLK of the AD7710 is configured as an input, and an external serial clock must be provided to this SCLK pin. This external clocking mode is designed for direct interface to systems that provide a serial clock output that is synchronized to the serial data output, including microcontrollers such as the 80C51, 87C51, 68HC11, 68HC05, and most digital signal processors.

Read Operation

As with self-clocking mode, data can be read from either the output register, the control register, or the calibration registers. A0 determines whether the data read accesses data from the control register or from the output/calibration registers. This A0 signal must remain valid for the duration of the serial read operation. With A0 high, data is accessed from either the output register or from the calibration registers. With A0 low, data is accessed from the control register.

The function of the $\overline{DRDY}$ line is dependent only on the output update rate of the device and the reading of the output data register. $\overline{DRDY}$ goes low when a new data-word is available in the output data register. It is reset high when the last bit of data (either 16th bit or 24th bit) is read from the output register. If data is not read from the output register, the $\overline{DRDY}$ line will remain low. The output register will continue to be updated at the output update rate, but $\overline{DRDY}$ will not indicate this. A read from the device in this circumstance will access the most recent word in the output register. If a new data-word becomes available to the output register while data is being read from the output register, $\overline{DRDY}$ will not indicate this and the new data-word will be lost to the user. $\overline{DRDY}$ is not affected by reading from the control register or the calibration register.

Data can be accessed from the output data register only when $\overline{DRDY}$ is low. If $\overline{RFS}$ goes low while $\overline{DRDY}$ is high, no data transfer will take place. $\overline{DRDY}$ does not have any effect on reading data from the control register or from the calibration registers.

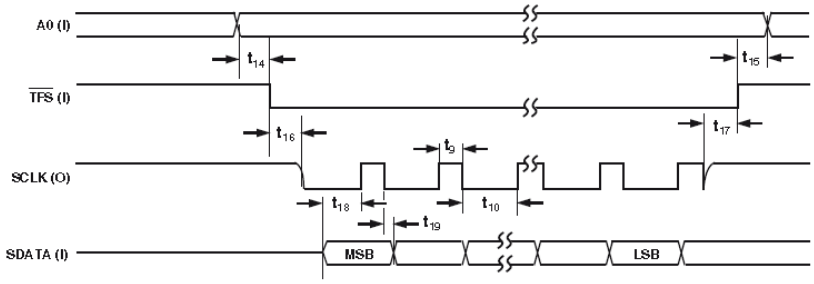


Figure 11. Self-Clocking Mode, Control/Calibration Register Write Operation

HOJA DE DATOS D-4
AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN AD620

ANALOG DEVICES

Low Cost Low Power Instrumentation Amplifier

AD620

FEATURES

Easy to use
- **Gain set with one external resistor (Gain range 1 to 10,000)**
- **Wide power supply range (±2.3 V to ±18 V)**
- **Higher performance than 3 op amp IA designs**
- **Available in 8-lead DIP and SOIC packaging**
- **Low power, 1.3 mA max supply current**

Excellent dc performance (B grade)
- **50 µV max, input offset voltage**
- **0.6 µV/°C max, input offset drift**
- **1.0 nA max, input bias current**
- **100 dB min common-mode rejection ratio (G = 10)**

Low noise
- **9 nV/√Hz @ 1 kHz, input voltage noise**
- **0.28 µV p-p noise (0.1 Hz to 10 Hz)**

Excellent ac specifications
- **120 kHz bandwidth (G = 100)**
- **15 µs settling time to 0.01%**

APPLICATIONS

Weigh scales
ECG and medical instrumentation
Transducer interface
Data acquisition systems
Industrial process controls
Battery-powered and portable equipment

CONNECTION DIAGRAM

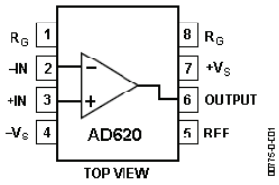


Figure 1. 8-Lead PDIP (N), CERDIP (Q), and SOIC (R) Packages

PRODUCT DESCRIPTION

The AD620 is a low cost, high accuracy instrumentation amplifier that requires only one external resistor to set gains of 1 to 10,000. Furthermore, the AD620 features 8 lead SOIC and DIP packaging that is smaller than discrete designs and offers lower power (only 1.3 mA max supply current), making it a good fit for battery-powered, portable (or remote) applications.

The AD620, with its high accuracy of 40 ppm maximum nonlinearity, low offset voltage of 50 µV max, and offset drift of 0.6 µV/°C max, is ideal for use in precision data acquisition systems, such as weigh scales and transducer interfaces. Furthermore, the low noise, low input bias current, and low power of the AD620 make it well suited for medical applications, such as ECG and noninvasive blood pressure monitors.

The low input bias current of 1.0 nA max is made possible with the use of SuperBeta processing in the input stage. The AD620 works well as a preamplifier due to its low input voltage noise of 9 nV/√Hz at 1 kHz, 0.28 µV p-p in the 0.1 Hz to 10 Hz band, and 0.1 pA/√Hz input current noise. Also, the AD620 is well suited for multiplexed applications with its settling time of 15 µs to 0.01%, and its cost is low enough to enable designs with one in-amp per channel.

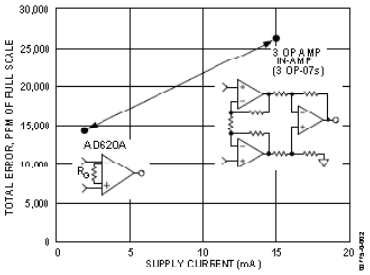


Figure 2. Three Op Amp IA Designs vs. AD620

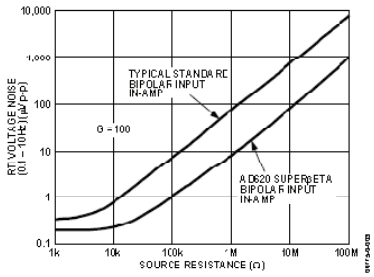


Figure 3. Total Voltage Noise vs. Source Resistance

Rev. G
Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 www.analog.com
Fax: 781.326.8703 © 2004 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

HOJA DE DATOS D-5

CHIP PARA INTERFACE SERIAL RS-232 DS275

DALLAS SEMICONDUCTOR

DS275
Line-Powered RS-232 Transceiver Chip

www.dalsemi.com

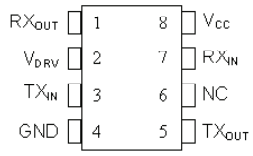
FEATURES

- Low-power serial transmitter/receiver for battery-backed systems
- Transmitter steals power from receive signal line to save power
- Ultra-low static current, even when connected to RS-232-E port
- Variable transmitter level from +5 to +12 volts
- Compatible with RS-232-E signals
- Available in 8-pin, 150 mil wide SOIC package (DS275S)
- Low-power CMOS

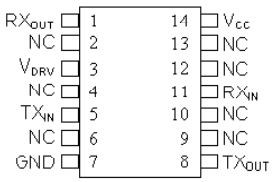
ORDERING INFORMATION

DS275	8-pin DIP
DS275S	8-pin SOIC
DS275E	14-pin TSSOP

PIN ASSIGNMENT



DS275 8-Pin DIP (300-mil)
DS275 8-Pin SOIC (150-mil)



DS275E 14-Pin TSSOP

PIN DESCRIPTION

RX_{OUT}	- RS-232 Receiver Output
V_{DRV}	- Transmit driver +V
TX_{IN}	- RS-232 Driver Input
GND	- System Ground (0V)
TX_{OUT}	- RS-232 Driver Output
NC	- No Connection
RX_{IN}	- RS-232 Receive Input
V_{CC}	-System Logic Supply (+5V)

DESCRIPTION

The DS275 Line-Powered RS-232 Transceiver Chip is a CMOS device that provides a low-cost, very low-power interface to RS-232 serial ports. The receiver input translates RS-232 signal levels to common CMOS/TTL levels. The transmitter employs a unique circuit which steals current from the receive RS-232 signal when that signal is in a negative state (marking). Since most serial communication ports remain in a negative state statically, using the receive signal for negative power greatly reduces the DS275's static power consumption. This feature is especially important for battery-powered systems such as laptop computers, remote sensors, and portable medical instruments. During an actual communication session, the DS275's transmitter will use system power (5-12 volts) for positive transitions while still employing the receive signal for negative transitions.

HOJA DE DATOS D-6
INVERSOR DE VOLTAJE ICL7662

intersil

ICL7662

Data Sheet | April 1999 | File Number 3181.3

CMOS Voltage Converter

The Intersil ICL7662 is a monolithic high-voltage CMOS power supply circuit which offers unique performance advantages over previously available devices. The ICL7662 performs supply voltage conversion from positive to negative for an input range of +4.5V to +20.0V, resulting in complementary output voltages of -4.5V to -20V. Only 2 noncritical external capacitors are needed for the charge pump and charge reservoir functions. The ICL7662 can also function as a voltage doubler, and will generate output voltages up to +38.6V with a +20V input.

Contained on chip are a series DC power supply regulator, RC oscillator, voltage level translator, four output power MOS switches. A unique logic element senses the most negative voltage in the device and ensures that the output N-Channel switch source-substrate junctions are not forward biased. This assures latchup free operation.

The oscillator, when unloaded, oscillates at a nominal frequency of 10kHz for an input supply voltage of 15.0V. This frequency can be lowered by the addition of an external capacitor to the "OSC" terminal, or the oscillator may be overdriven by an external clock.

The "LV" terminal may be tied to GROUND to bypass the internal series regulator and improve low voltage (LV) operation. At medium to high voltages (+10V to +20V), the LV pin is left floating to prevent device latchup.

Features

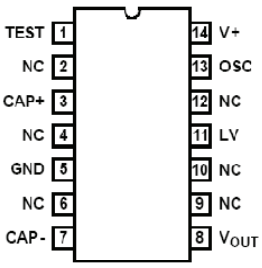
- No External Diode Needed Over Entire Temperature Range
- Pin Compatible With ICL7660
- Simple Conversion of +15V Supply to -15V Supply
- Simple Voltage Multiplication ($V_{OUT} = (-)nV_{IN}$)
- 99.9% Typical Open Circuit Voltage Conversion Efficiency
- 96% Typical Power Efficiency
- Wide Operating Voltage Range 4.5V to 20.0V
- Easy to Use - Requires Only 2 External Non-Critical Passive Components

Applications

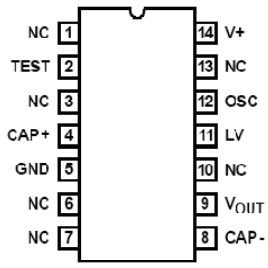
- On Board Negative Supply for Dynamic RAMs
- Localized μProcessor (8080 Type) Negative Supplies
- Inexpensive Negative Supplies
- Data Acquisition Systems
- Up to -20V for Op Amps

Pinouts

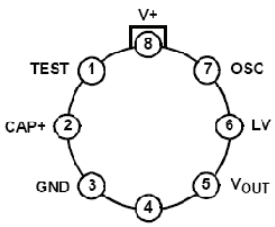
ICL7662CBD-0 (SOIC)
TOP VIEW



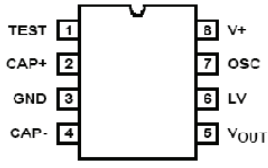
ICL7662CBD AND IBD (SOIC)
TOP VIEW



ICL7662 (CAN)
TOP VIEW



ICL7662 (PDIP)
TOP VIEW



CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.
1-888-INTERSIL or 321-724-7143 | Intersil (and design) is a registered trademark of Intersil Americas Inc.
Copyright © Intersil Americas Inc. 2002. All Rights Reserved