

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN INCLINÓMETRO GEOTÉCNICO PARA  
DETERMINAR DEFORMACIONES LATENTES EN TALUDES**

**SONIA MARITZA HENAO DUQUE**

**JESÚS EDUARDO VEGA CASTILLO**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el título de  
Ingeniera Física e Ingeniero Físico**

**Director:**

**Ing. LUCIANO RIVERA CAICEDO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**ÁREA DE GEOTÉCNIA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA**

**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN**

**DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA FÍSICA**

**POPAYÁN**

**2004**

## Nota de Aceptación

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Popayán, 26 de julio de 2004

*A mis padres y hermanas*

*con todo mi amor.*

*Sonia.*

*A mi mamá Esperanza, a mi*

*hermanita Aura.*

*Jesús.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan su agradecimiento a:

Al Ingeniero Luciano Rivera Caicedo, por financiar y dirigir el proyecto, además por su valiosa orientación, apoyo y confianza depositada en ellos.

Al Msc. +Hermes Sandoval Gallardo por su constante colaboración durante la fase inicial del proyecto.

A sus familiares y amigos

A la Universidad del Cauca y al programa de Ingeniería Física.

## CONTENIDO

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>16</b>
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>18</b>
<b>2. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>19</b>
<b>3. OBJETIVOS</b>	<b>20</b>
<b>3.1 GENERAL</b>	<b>20</b>
<b>3.2 ESPECÍFICOS</b>	<b>20</b>
<b>4. MARCO TEÓRICO</b>	<b>21</b>
<b>4.1 INCLINÓMETROS</b>	<b>22</b>
<b>4.1.1 Tubo flexible</b>	<b>23</b>
<b>4.1.2 Unidad Transductora o Torpedo</b>	<b>24</b>
<b>4.1.3 Unidad Electrónica de Lectura</b>	<b>25</b>
<b>4.1.4 sistema polea / freno</b>	<b>26</b>
<b>4.1.5 Procedimiento de instalación</b>	<b>35</b>
<b>4.1.6 Procedimiento de medición</b>	<b>36</b>
<b>4.1.7 Procesamiento de Datos</b>	<b>37</b>
<b>4.1.8 Presentación de resultados</b>	<b>37</b>
<b>5. METODOLOGÍA</b>	<b>43</b>
<b>5.1 SONDA DE INMERSIÓN</b>	<b>44</b>
<b>5.1.1 Descripción física de la unidad de lectura</b>	<b>44</b>
<b>5.1.2 Diseño de la unidad transductora</b>	<b>45</b>
<b>5.1.2.1 Componentes de la unidad sensora</b>	<b>46</b>
<b>5.1.2.2 Sensores de posición angular</b>	<b>47</b>
<b>5.1.2.2.1 Principio físico de los sensores capacitivos de posición angular</b>	<b>49</b>
<b>5.1.2.2.2 Influencia de la temperatura en el valor de medida</b>	<b>52</b>
<b>5.1.2.2.3 Calibración de los sensores de inclinación</b>	<b>53</b>
<b>5.1.2.2.4 Circuito de amplificación de la señal</b>	<b>53</b>
<b>5.1.2.3 Tratamiento de los datos obtenidos</b>	<b>55</b>
<b>5.1.3 Descripción del software dentro de la sonda</b>	<b>58</b>
<b>5.1.3.1 Conversión Análoga digital</b>	<b>59</b>
<b>5.1.3.2 Filtrado digital</b>	<b>59</b>
<b>5.1.3.3 Conversión a valores de inclinación</b>	<b>60</b>
<b>5.1.3.4 Tiempo de proceso desde la adquisición del dato hasta el valor final obtenido</b>	<b>64</b>
<b>5.1.3.5 Atención a la interrupción por solicitud de datos</b>	<b>64</b>
<b>5.2 DESCRIPCION DEL CABLE DE COMUNICACIÓN</b>	<b>66</b>
<b>5.3 UNIDAD DE LECTURA</b>	<b>67</b>
<b>5.3.1 Descripción física de la unidad de lectura</b>	<b>67</b>
<b>5.3.2 Componentes internos de l unidad de lectura</b>	<b>68</b>
<b>5.3.3 Descripción del programa que controla la unidad de lectura</b>	<b>70</b>

5.3.3.1	Configuración	71
5.3.3.2	Solicitud de número de práctica	71
5.3.3.3	Menú principal	72
5.3.3.4	Adquisición de datos de la sonda	73
5.3.3.5	Acceso a los datos almacenados	75
5.3.3.6	Interfaz con PC	76
5.3.4	Descripción del funcionamiento de la unidad de lectura	78
5.3.4.1	Elegir número de práctica	78
5.3.4.2	Menú	80
5.3.4.3	Modo “Monitorear Sensores”	81
5.3.4.4	Modo “Acceso a la Memoria”	81
5.3.4.5	Modo “Comunicación con PC”	82
5.3.4.6	Opción “#”	83
5.4	PROGRAMAS DE ADQUISICIÓN Y ANALISIS DE DATOS	84
5.4.1	Comunicación con la unidad de lectura	84
5.4.2	Reconstrucción del perfil del tubo	91
5.5	ENSAMBLAJE FINAL	103
6.	CALIBRACIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	104
6.1	CALIBRACIÓN	104
6.2	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS OBTENIDOS	107
7.	CONCLUSIONES	114
	BIBLIOGRAFÍA	116
	ANEXOS	117

## LISTA DE TABLAS

		<b>Pág.</b>
Tabla 5.1	Características principales de los sensores N3	47
Tabla 5.2	Conexiones de los sensores N3	47
Tabla 5.3	Especificaciones técnicas sensor N3	48
Tabla 6.1	Valores obtenidos	106

## INDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>	
Figura 4.1	Esquema de la tubería	24
Figura 4.2	Sonda de inmersión	25
Figura 4.3.	Inclinómetro vertical	26
Figura 4.4.	Sistema polea/freno	26
Figura 4.5	Inclinómetro desarrollado por Wilson	28
Figura 4.6	Unidad sensible del inclinómetro de Wilson	29
Figura 4.7.	Inclinómetro tipo Geoconsult	30
Figura 4.8.	Inclinómetro de Cuerdas Vibrantes telemac	34
Figura 4.9.	Desplazamientos Acumulados	38
Figura 4.10	Desplazamientos Incrementales	39
Figura 4.11.	Desviaciones Acumuladas	40
Figura 4.12.	Desviaciones incrementales	41
Figura 4.13.	Checksum	42
Figura 5.1	Partes de la sonda de inmersión	44
Figura 5.2	Sonda de inmersión	45
Figura 5.3	Esquema interno de la sonda de inmersión	45
Figura 5.4	Esquemático de la unidad transductora	46
Figura 5.5	Sensor de inclinación	47
Figura 5.6	Esquema interno de los sensores	49
Figura 5.7	Ilustración del fenómeno físico	50
Figura 5.8	Circuito de prueba para sensores de Inclinación	53
Figura 5.9	Circuito de amplificación	54
Figura 5.10	Circuito de Amplificación y compensación de offset	55
Figura 5.11	Diagrama general del programa de la unidad transductora	56
Figura 5.12	Formato de un dato de inclinación	63
Figura 5.13	Cable de comunicación	66
Figura 5.14	Unidad de lectura realizada	67
Figura 5.15	Tarjeta impresa ubicada en la unidad de lectura	68
Figura 5.16	Hardware de la unidad de lectura	69
Figura 5.17	Esquema general del programa de la unidad de lectura	70
Figura 5.18	Mensaje de bienvenida al equipo	78
Figura 5.19	primeros tres bancos de memoria	79
Figura 5.20	Bancos de memoria 4 y 5	79
Figura 5.21	Últimos bancos de memoria	80
Figura 5.22	Menú principal	80
Figura 5.23	Modo monitorear sensores	81
Figura 5.24	Acceso a la memoria	81
Figura 5.25	Solicitud de confirmación para eliminar los datos	82
Figura 5.26	Mensaje de memoria vacía	82
Figura 5.27	Modo comunicación con PC	83



Figura 5.28	Mensaje de comunicación en proceso	83
Figura 5.29	Inicio de la secuencia de adquisición de datos	86
Figura 5.30	Recepción y envío de dato de reconocimiento en forma de eco	86
Figura 5.31	Recepción de número de práctica y datos	87
Figura 5.32	Envío de código de reconocimiento	87
Figura 5.33	Formato de encabezado de la tabla que almacena los datos	88
Figura 5.34	Recepción y conversión del dato de inclinación correspondiente al plano A	89
Figura 5.35	Recepción y conversión del dato de inclinación correspondiente al plano A	90
Figura 5.36	Envío del número del dato recibido para verificación	90
Figura 5.37	Panel frontal del programa de adquisición de datos	91
Figura 5.38	Construcción de la gráfica de desplazamientos acumulados	93
Figura 5.39	Solicitud de ruta de archivo para gráfica de desplazamientos acumulados	94
Figura 5.40	Realización de la gráfica por medio del Subvi acumulados.vi	95
Figura 5.41	Solicitud de ruta para archivo inicial	96
Figura 5.42	Apertura del archivo “inicial” ruteado	96
Figura 5.43	Solicitud de ruta para archivo actual	97
Figura 5.44	Apertura del archivo “actual” ruteado	97
Figura 5.45	Cálculo de las diferencias y elaboración de la gráfica con Acumulados.vi	98
Figura 5.46	Solicitud de ruta para “primer” archivo	99
Figura 5.47	Apertura del primer archivo ruteado	99
Figura 5.46	Solicitud de ruta para “segundo” archivo	100
Figura 5.49	Apertura del “segundo” archivo ruteado	100
Figura 5.50	Cálculo del “checksum” y elaboración de la gráfica	101
Figura 5.51	Panel frontal del programa de análisis de datos	102
Figura 5.52	Equipo completo	103
Figura 6.1	Sensor de inclinación	104
Figura 6.2	Potenciómetros de ajuste	105
Figura 6.3	Esquema para prueba de funcionamiento	108
Figura 6.4	Adquisición de datos prueba plano A	108
Figura 6.5	Adquisición de datos prueba plano B	109
Figura 6.6	Reconstrucción perfil plano A	110
Figura 6.7	Reconstrucción perfil plano B	110
Figura 6.8	Datos adquiridos para verificación plano A girado 180°	111
Figura 6.9	Datos adquiridos para verificación plano B girado 180°	112
Figura 6.10	Checksum plano A	112
Figura 6.11	Checksum plano B	113

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A.	Análisis del circuito amplificador implementado	117
ANEXO B.	Circuito de compensación de offset	119
ANEXO C.	Diagrama de flujo del programa que controla la unidad transductora de la sonda de inmersión.	121
ANEXO D.	Funciones principales del programa que controla la sonda de inmersión (PIC18F452)	124
ANEXO E.	Diagrama de flujo del programa que controla la unidad de lectura.	127
ANEXO F.	Funciones principales del programa que controla la unidad de lectura (PIC16F877)	140
ANEXO G.	Manual del equipo	146

## GLOSARIO DE TERMINOS

**ALABEO:** Movimiento de un cuerpo alrededor de su eje mayor

**ESTRATIGRAFIA:** Estudio de rocas por su naturaleza, su existencia, sus relaciones entre si y su clasificación.

**GEOTECNIA:** La geotecnia es el área de la ingeniería civil que estudia el comportamiento de suelos bajo la intervención de cualquier tipo de obra civil. Su finalidad es la de proporcionar interacción suelo/obra en lo que se refiere a estabilidad, resistencia (vida útil compatible) y viabilidad económica.

**HARDWARE:** Conjunto de elementos materiales que constituyen el soporte físico de un ordenador.

**SENSOR:** Dispositivo formado por células sensibles que detecta variaciones en una magnitud física y las convierte en señales útiles para un sistema de medida o control.

**SOFTWARE:** Término genérico que se aplica a los componentes no físicos de un sistema informático, como los programas, sistemas operativos, etc., que permiten a este ejecutar sus tareas:

**TALUD:** Se comprende bajo el nombre genérico de talud cualquier superficie inclinada respecto a la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las estructuras de tierra, bien sea en forma natural o como consecuencia de la intervención humana en una obra de ingeniería. Desde este primer punto de vista los taludes se dividen en naturales (laderas) o artificiales (cortes y terraplenes).

**TOPOGRAFÍA:** La topografía se ocupa, principalmente, de la representación de una porción de la tierra. Un levantamiento o topografía consiste en dotar de coordenadas a puntos de la superficie para representarlas visualmente; estas coordenadas están referidas a un sistema preestablecido y determinado.

## ABREVIATURAS

**ADC:** Conversor análogo digital.

**BCD:** Código binario decimal codificado.

**DSP:** Procesador digital de señal.

**LCD:** Pantalla de cristal líquido (Liquid Crystal Display).

**PC:** Computador personal.

**PIC:** Circuito integrado programable.

## INTRODUCCIÓN

En Ingeniería Civil, específicamente en el área de geotecnia, es muy importante el análisis de deslizamiento de suelos, especialmente en taludes, en los cuales es necesario determinar cuales son las capas de suelo que están poco cohesionadas y la profundidad a partir de la cual se producen las fallas, éstas se pueden determinar mediante un monitoreo inclinométrico, el cual consiste en la determinación de los desplazamientos laterales del talud a diferentes profundidades, así como asentamientos de los materiales de soporte de estructuras civiles, como terraplenes, edificaciones, presas y otros [1].

Dichos desplazamientos son de gran utilidad para evaluar el grado de estabilidad de las estructuras monitoreadas, pues según este grado pueden representar una amenaza a poblaciones o estructuras cercanas [2].

La determinación de éstas profundidades se hace mediante la inmersión de una sonda en el suelo conectada a una unidad de lectura, con la que se obtienen con gran precisión una serie de medidas de inclinación que al ser sometidas a un análisis, permiten determinar a partir de que puntos comienzan los deslizamientos del terreno; el equipo conformado por la sonda de inmersión y la unidad de lectura, constituye un **Inclinómetro Geotécnico**.

Las desviaciones son determinadas por medio de observaciones en el comportamiento deformacional de tuberías inclinométricas que son introducidas en los estratos de suelo o roca.

El presente trabajo tiene por objetivo dar a conocer, el diseño e implementación de un Inclinómetro Geotécnico, basado en tecnología más asequible, a bajo costo, sin renunciar a los niveles de sensibilidad y precisión que requieren sus aplicaciones.

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En el área de geotecnia de la Universidad del Cauca se determinó la necesidad de adquirir un Inclínómetro Geotécnico para llevar a cabo algunas prácticas de análisis de suelo con los estudiantes de éste campo.

Es importante mencionar que el equipo no se encuentra disponible en el país, y además de su elevado costo, se sumarían a él los gastos de importación para adquirirlo. Debido a éstos inconvenientes, surgió la alternativa de construirlo en la Universidad del Cauca, haciendo uso de los conocimientos existentes específicamente en el área de instrumentación y control del Programa de Ingeniería Física.



## **2. JUSTIFICACIÓN**

El proyecto se sustentó en el diseño y construcción de cada una de las partes de un inclinómetro geotécnico, y su posterior ensamblaje con el fin de obtener un instrumento de medición con características externas similares a los existentes actualmente, a bajo costo sin renunciar al nivel de precisión y confiabilidad en los datos adquiridos; además del desarrollo de un software para el procesamiento de éstos.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 GENERAL**

Diseñar e Implementar un inclinómetro Geotécnico haciendo uso de los conocimientos adquiridos en el programa de Ingeniería Física de la Universidad del Cauca.

#### **3.2 ESPECÍFICOS**

- Minimizar costos en la elaboración de un inclinómetro geotécnico.
- Dejar abierta la posibilidad de hacer empresa ante las potencialidades comerciales que ofrece el proyecto.
- Dar a conocer el equipo de medición a otras universidades, empresas de instrumentación y profesionales de nuestra zona.

#### **4. MARCO TEÓRICO**

Las mediciones de campo para verificación de comportamiento estructural se realizan haciendo uso de equipos e instrumentos, cada día más diversificados. Esta característica da su nombre a la técnica de observación, que se ha denominado genéricamente instrumentación de campo, en el sentido de que las estructuras térreas se instrumentan con todo un conjunto de equipos de medición, que permiten conocer la evolución de las características mecánicas más relevantes, de los movimientos de significación y en general de las condiciones de estabilidad a lo largo del tiempo.

En las vías terrestres dos son los problemas típicos que demandan instrumentación de campo. En primer lugar todos los aspectos relacionados con la construcción de terraplenes sobre suelos blandos y compresibles para apreciar los asentamientos, su evolución en el tiempo, y los cambios en las condiciones de estabilidad [2]. En segundo lugar los problemas conectados con la estabilidad de laderas naturales y taludes que muestren movimientos sobre lo que se dé a sospechar como una superficie de falla ya formada; en este caso la determinación de cómo ocurren los movimientos de las masas involucradas es un requisito fundamental para establecer cualquier solución con visos de éxito. La inestabilidad de taludes es casi siempre un proceso progresivo, las primeras

señales de la existencia de fallas en el suelo son las grietas superficiales o los deslizamientos visibles, el estudio de estos indicios iniciales puede dar una gran idea de la magnitud del problema. Una vez se han observado estos signos se procede a determinar información acerca del movimiento del suelo. Es importante saber la profundidad a la cual se encuentra la superficie de falla, la dirección del deslizamiento, su magnitud y la velocidad del movimiento [1]. Esta información puede ser obtenida mediante varios tipos de instrumentos, algunos muy simples y otros muy sofisticados.

El tipo de instrumento a utilizar se selecciona de acuerdo a la variable a monitorear, pero al momento de elegir se debe además, tener en cuenta varios parámetros como precisión, costo y condiciones ambientales.

#### **4.1 INCLINÓMETROS**

A menudo es insuficiente conocer los desplazamientos horizontales de la superficie del terreno únicamente y se necesita determinar también como se mueve el terreno de cimentación blando, cuando sobre él se ha construido un terraplén, conociendo esos desplazamientos dentro de la profundidad afectada por el fenómeno [1].

Casi todos los instrumentos que primeramente se desarrollaron para lograr estos fines utilizan la misma idea básica. Se trata de introducir en el terreno algún tubo

relativamente flexible, cuya original verticalidad se modifique cuando ocurren los desplazamientos horizontales, de manera que la línea del tubo deformada proporciona en cada momento una imagen objetiva de los desplazamientos que han tenido lugar; la imagen se puede conocer introduciendo un instrumento sensible a la inclinación al interior del tubo.

El inclinómetro portátil de sonda es uno de los más ampliamente usados y está constituido por tres partes:

- ✚ Tubo flexible que se deforma bajo la influencia del deslizamiento de la tierra.
- ✚ Unidad transductora que mide las inclinaciones sucesivas del tubo.
- ✚ Unidad electrónica de lectura que proporciona el voltaje de alimentación al transductor y despliega numéricamente los valores de inclinación.

#### **4.1.1 Tubo Flexible**

Un tubo flexible especial es instalado en una perforación vertical excavada previamente en la tierra. El tubo es suficientemente flexible para deformarse cuando el suelo se desliza lateralmente. Generalmente tiene de 1.5 a 3.5 pulgadas (1 pulgada =2.54cm) de diámetro interno. Está hecho de plástico, aluminio anodizado o acero y esta provisto de surcos longitudinales situados en cuatro puntos equidistantes dentro de la circunferencia. Durante la adquisición de datos,

los pares de surcos que están frente a frente, son las referencias de direcciones perpendiculares laterales. La rotación del tubo decrece cuando su diámetro es mayor maximizando la precisión. Es aconsejable que una vez instalado el tubo se realice un sondeo con el inclinómetro para determinar las inclinaciones iniciales y así posteriormente obtener las deformaciones reales, causadas por el deslizamiento y no por problemas en el mecanismo de introducción del tubo.



Figura 4.1 Esquema de la tubería

#### 4.1.2 Unidad Transductora o Torpedo

La unidad transductora o “torpedo” esta hecha con una carcasa metálica a prueba de agua con transductor eléctrico en su interior. El torpedo está equipado con 4 ruedas laterales que se deslizan a lo largo de los surcos del tubo, y alinean el torpedo en posiciones repetibles y estables en el plano vertical. La deflexión del tubo, y por consiguiente la deformación lateral del suelo es medida determinando la inclinación del tubo en varias profundidades con la sonda [9].

La sonda se hace descender dentro del tubo y se lee a intervalos específicos para determinar la deformación de éste. Los desplazamientos laterales posteriores del tubo son determinados de los cambios de inclinación ocurridos desde las medidas iniciales. El perfil lateral total del tubo es encontrado sumando los desplazamientos laterales individuales desde la base del tubo hasta el extremo superior [1].

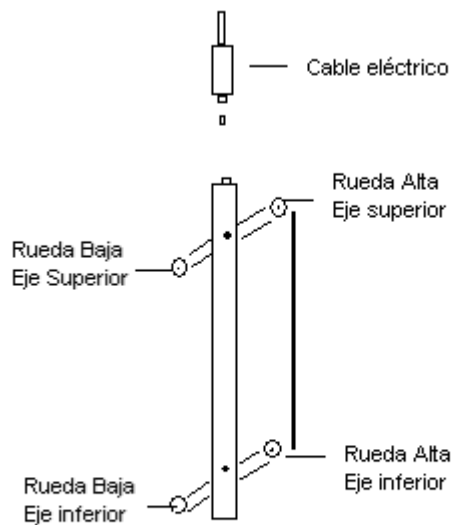


Figura 4.2 Sonda de Inmersión

#### 4.1.3 Unidad Electrónica de Lectura

La unidad de lectura puede variar en complejidad, dependiendo del sensor que se utilice. La unidad y la sonda están conectadas con un cable eléctrico. El cable está graduado con marcas externas que son usadas para medir la profundidad de

las lecturas individuales e incluye un alambre de acero en su interior para limitar su estiramiento. Este cable es particularmente vulnerable al agua y se debe verificar regularmente que éste permanezca seco.

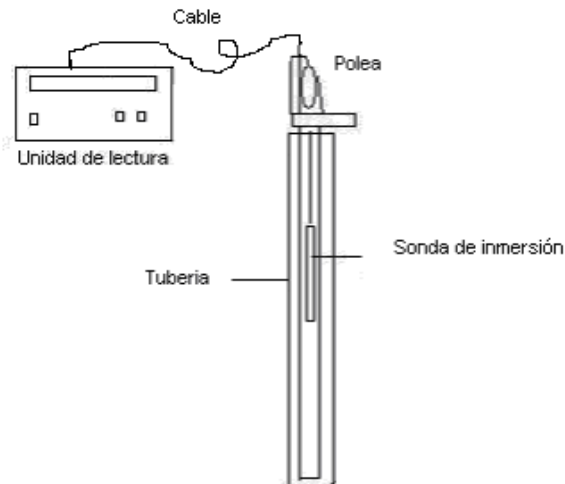


Figura 4.3 Inclinómetro vertical

#### 4.1.4 Sistema Polea / Freno

Estos dispositivos mecánicos sirven para un mejor manejo del cable eléctrico en el momento de la toma de datos, ya que la polea permite centrar el cable en la tubería y el freno proporciona una manera de referenciar la profundidad de cada uno de los puntos registrados en la unidad de lectura y a la vez estabilizar la sonda, como se indica en la figura:

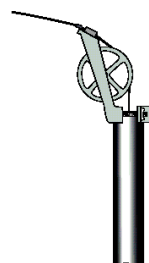


Figura 4.4 Sistema Polea / freno



Existen diversos tipos de inclinómetros que se diferencian por su unidad transductora, pero el que tiene hoy en día, un uso más extendido es sin duda el desarrollado por Wilson y más tarde modificado por Wilson y Parsons en 1956.

El aparato completo consiste de una unidad sensible, una caja con los necesarios controles eléctricos, cable conector y una tubería para ser colocada en el terreno, ranurada en dos planos ortogonales entre sí.

El medidor entra por la tubería corriendo sus ruedecillas por dos ranuras opuestas y puede detectar las desviaciones de la vertical que haya sufrido la tubería, originalmente instalada en tal posición.

Es frecuente el uso de la tubería de 8.1 cm. de diámetro y 0.22 cm. de espesor, en tramos de 1.5 ó 3 m de longitud; los acoples para unir los tramos del tubo suelen ser de 15 ó de 30 cm.

La unidad sensible tiene un circuito interno que es un puente de wheastone accionado por un péndulo.

Cuando el inclinómetro está vertical, el péndulo toca el centro de una resistencia calibrada, subdividiéndola en dos, las cuales constituyen la mitad del puente de wheastone; la otra mitad así como un potenciómetro de precisión, resistencias y conexiones necesarias va instalada en la caja de control. El conjunto está alimentado por baterías.

Cuando la unidad sensible se inclina, por haberlo hecho la tubería en que se introduce, el péndulo permanece vertical, de manera que la resistencia calibrada con la que contacta queda dividida en dos porciones desiguales, lo que cambia el circuito interno y modifica las lecturas en la unidad de control [4].

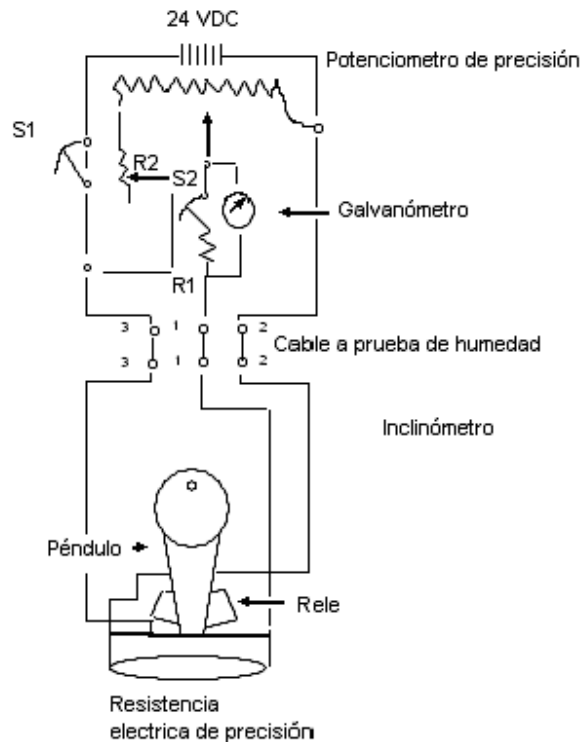


Figura 4.5. Inclinómetro desarrollado por Wilson

La figura muestra un esquema de los circuitos que se utilizan en los inclinómetros y en la caja de control, unidos por una conexión de cable.

La siguiente figura, reproduce un esquema de unidad medidora, con un corte que permite asomarse en su interior.

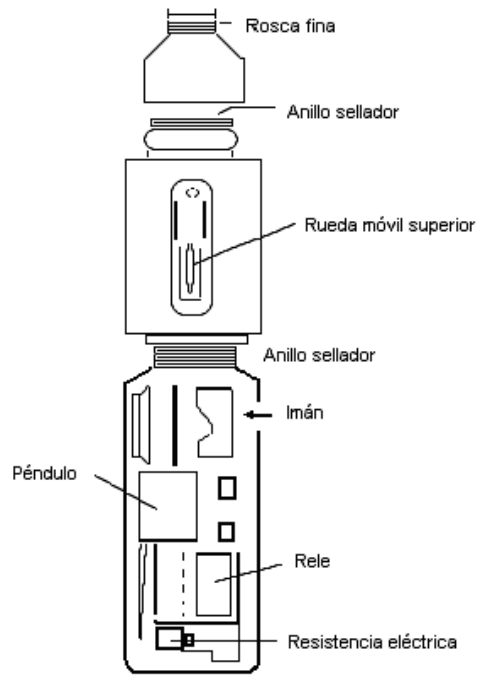


Figura.4.6. Unidad sensible del inclinómetro Wilson

El inclinómetro se hace descender por su tubería empleando todo el equipo auxiliar. A medida que va bajando, se van obteniendo lecturas en intervalos prefijados.

Una calibración previa de laboratorio puede lograr que las carátulas de la caja de control lean directamente la inclinación que corresponde a cada lectura eléctrica.

La sensibilidad del instrumento permite detectar un minuto de arco en forma confiable, en la desviación que la tubería especial vaya sufriendo respecto a la vertical [3].

Es usual hacer todas las lecturas con el inclinómetro en dos posiciones ortogonales entre sí, utilizando la disposición de las ranuras de la tubería que se mencionó. La cantidad de medidas que se obtienen, hace necesario contar con el apoyo de un computador, para su procesamiento y ordenación.

Posteriormente, el Instituto Geotécnico de Suecia, desarrolló un aparato de péndulo, análogo al de Wilson, pero el extremo inferior del péndulo, en lugar de modificar una resistencia, incluida en el circuito eléctrico, tal como es el caso anteriormente descrito, está sujeto por un resorte instrumentado con sistemas de medidores eléctricos de deformación; cuando el péndulo se inclina varía la longitud del resorte y por lo tanto también la del filamento metálico del medidor eléctrico, con lo que cambia la resistencia de éste y se hace la correspondiente lectura en el circuito, en forma ya análoga al inclinómetro de Wilson.

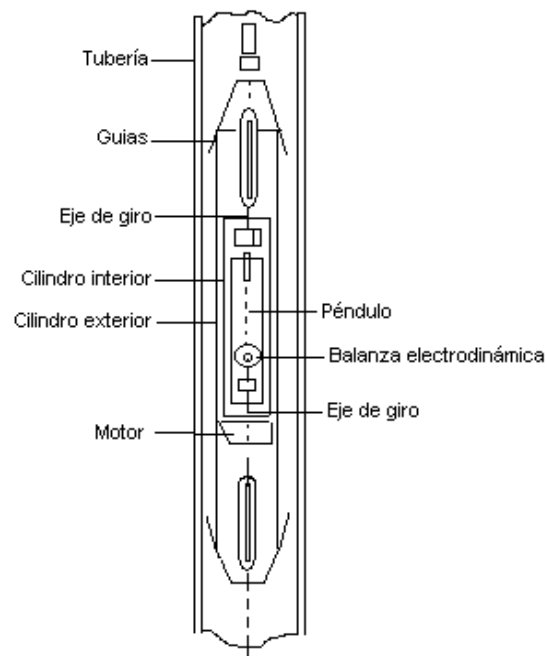


Figura 4.7. Inclinómetro tipo Geoconsult

Geoconsult, desarrolló un inclinómetro también de péndulo que se basa en el siguiente principio, figura 4.7.

La unidad sensible tiene dos cilindros concéntricos, pudiendo el interior girar respecto al exterior, gracias a un motor eléctrico que se controla desde la superficie; el cilindro exterior se inclina obedeciendo la deformación que sufre la tubería que contiene el aparato, por efecto de los movimientos del suelo.

Una balanza electrodinámica, que contiene un medidor de intensidades de corriente mantiene siempre el péndulo, en el eje de la unidad sensible. El extremo inferior del péndulo, está unido a un resorte de manera que la longitud de éste varía según el aparato se incline más o menos.

Como quiera que el resorte, la balanza y el péndulo forman parte de un circuito eléctrico, análogo al del inclinómetro de Wilson y del que pueden hacerse lecturas en la superficie, el cambio de longitud del resorte produce finalmente un cambio en la intensidad de la corriente circulante que es la que se mide en éste caso.

Además accionando el motor y provocando la rotación del cilindro de la unidad sensible se podrá llegar a la posición en que el péndulo produzca la mínima desviación de su posición original no deformada, corresponde al momento en que el péndulo está contenido en el mismo plano en que estaba antes de deformarse, habiéndose corregido, gracias al giro, cualquier pequeño alabeo adquirido por el aparato al inclinarse.

Esta posición del péndulo en el mismo plano original se hará notable, porque a ella corresponde la mínima intensidad de corriente en el circuito, respecto a cualquier otra posición en que el péndulo además de inclinarse también gire y se alabee.

Una calibración previa de laboratorio permitirá conocer que ángulo de inclinación corresponde a cada una de las intensidades de corriente medidas.

El inclinómetro Telemac se muestra esquemáticamente en la figura 4.8. La unidad sensible es también un péndulo constituido por una pieza metálica flexible, de la que cuelga un peso en la parte inferior; en la parte superior, la pieza metálica flexible, está sólidamente unida a la cabeza de la unidad sensible. Sobre ésta pieza metálica flexible se colocan longitudinalmente dispuestas en cruz en planos perpendiculares cuatro cuerdas vibrantes; éstos dispositivos son pequeñas cuerdas metálicas que pueden ser excitadas por un electroimán que las hace vibrar con una frecuencia natural determinada; si por la aplicación de una tensión se varía la longitud de la cuerda, la frecuencia de vibración cambia bajo la misma excitación. En una consola de medición, sobre la superficie del terreno existe otra cuerda idéntica, cuyo extremo inferior se puede mover ligeramente como un tornillo micrométrico; el circuito que contiene a la cuerda testigo, está puenteado con los que contienen cada par de cuerdas opuestas de manera que pueden compararse las frecuencias de vibración de las cuerdas, cuando son iguales o cuanto difieren en un momento dado.

Cuando la unidad sensible se inclina, la pieza metálica que contiene las cuerdas se flexiona, de manera que la longitud de éstas varía. Una calibración previa de

laboratorio permite conocer la inclinación que corresponde a cada posición; para ello ha de igualarse la frecuencia de vibración de la cuerda testigo, variando su longitud en una cantidad controlable, por medio del tornillo micrométrico [1].

El uso de las cuatro cuerdas permite tomar medidas en dos planos perpendiculares simultáneamente y el tener dos cuerdas opuestas en cada plano (una a tracción y otra a compresión) tiene la ventaja de que se corrigen automáticamente efectos de temperatura y se verifican lecturas.

Existen una serie de normas que han de ser cumplidas en lo que se refiere a la construcción de los pozos dentro de los que se coloca la tubería del inclinómetro y a garantizar el contacto entre dicha tubería y el terreno circundante. Este contacto se logra rellenando con arena fina el espacio que pueda quedar entre la tubería y las paredes del pozo.

La tubería debe quedar instalada dentro de las zonas de máximo movimiento; si se instala formando una retícula se podrán medir deformaciones unitarias y trazar mapas de deformación, tanto más precisos, cuánto más cerrada sea la retícula. Es importante el control de la verticalidad inicial de las tuberías; errores de más de 1 o 2 grados limitan mucho la utilización de los inclinómetros.

Es esencial un buen conocimiento del terreno natural y su estratigrafía para la interpretación de los resultados y para establecer todos los detalles de la instalación.

La tubería de los inclinómetros puede alterar la situación hidráulica del suelo, al proporcionar una vía de intercomunicación de las aguas de varios estratos y niveles influyendo en la obra y, especialmente en los piezómetros situados en la vecindad [4]. La tubería del inclinómetro debe conectarse inmediatamente después de perforar el pozo. La tubería debe introducirse buscando que la orientación de las ranuras quede lo mejor posible, pero pueden hacerse pequeños ajustes una vez instalada, haciéndola rotar ligeramente dentro del pozo. El espaciamiento de las operaciones de lectura dentro del tiempo es muy variable y depende de cada proyecto. En términos generales suele convenir usar espaciamientos menores al principio y mayores en épocas posteriores de medición. Debe insistirse en la necesidad de establecer, con ayuda de personal especializado un riguroso control estadístico, haciendo en cada punto por lo menos dos lecturas de cada inclinación del aparato, con fines de verificación.

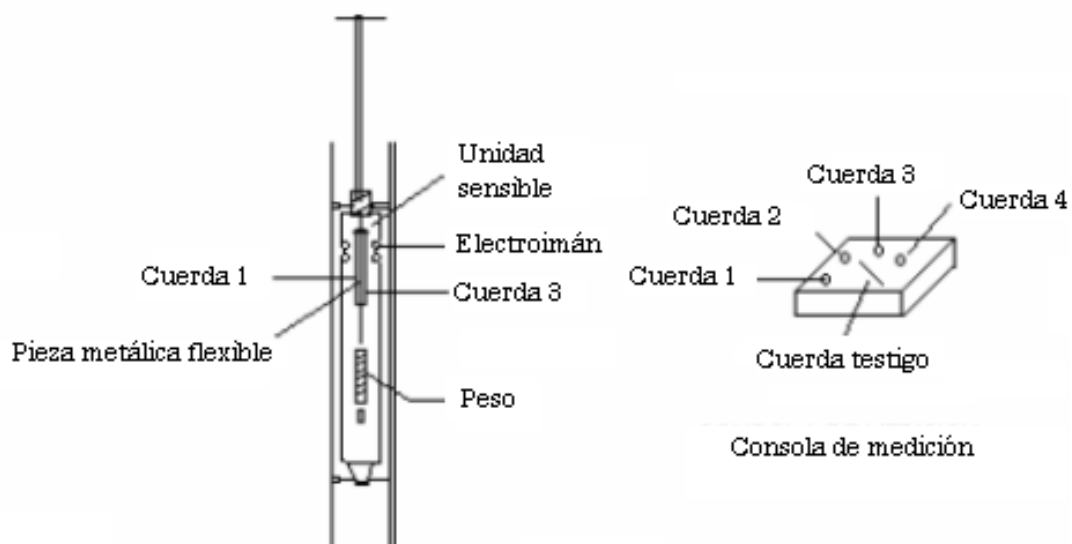


Figura 4.8 Inclinómetro de cuerdas vibrantes telemac



#### 4.1.5 Procedimiento de instalación

A continuación se enuncian algunos aspectos a considerar que han sido tomados de la normativa: “Standard Test Method for Monitoring Ground Movement Using Probe Type Inclinedmeters”, ASTM D-6230-98 [6].

- ✚ Se debe seleccionar el material de la tubería, considerando las condiciones a las que será expuesta, ya que las altas temperaturas y contenidos de PH pueden afectar su durabilidad: por lo cual, es recomendable solicitar asesoría al fabricante en cuanto a las propiedades físicas de los materiales que la conforman.
  
- ✚ Las piezas de tubería, conectores, tapadera, no deben estar deteriorados ya que pueden ocasionar problemas con las lecturas, dificultando la interpretación de resultados.
  
- ✚ El equipo de perforación utilizado debe de tener los mecanismos apropiados de tal manera que el alineamiento del agujero respecto a la vertical, esté dentro de rango de medición del inclinómetro a utilizar.
  
- ✚ Se recomienda el uso de un sellador o cintas adhesivas para los acoples, con el objeto de prevenir que partículas de suelo entren en la tubería durante su instalación.
  
- ✚ El espacio anular entre la perforación y la tubería, debe ser rellenado con mezcla de mortero, arena o gravilla.

- ✚ La tubería no debe de ser forzada durante su instalación, puesto que las ranuras pueden sufrir torceduras que generen errores al tomar las mediciones.
- ✚ La tubería debe extenderse 5m más allá de la posible zona o superficie de falla del estrato del suelo.

#### **4.1.6 Procedimiento de medición**

El proceso correcto de cada medición se describe a continuación:

- ✚ Se introduce la sonda inclinométrica hasta el fondo de la tubería, orientando la rueda alta del eje superior en la dirección de los mayores movimientos esperados.
- ✚ Se deja reposar la sonda en la posición anterior por un periodo de 10 minutos de tal manera que se ambiente a la temperatura de su entorno.
- ✚ Se inicia la toma de lecturas de desplazamientos para diversas profundidades, según el intervalo de medida establecido, partiendo desde el fondo de la tubería hasta la parte superior de la misma.
- ✚ Si la sonda es uniaxial, se repite el proceso anterior para una orientación de la sonda igual  $180^{\circ}$  respecto a la dirección de la primera medición.
- ✚ En sondas biaxiales el proceso descrito anteriormente basta para obtener un set de lecturas completo.
- ✚ Finalizadas las lecturas, se realiza in-situ una verificación del error o checksum, de los set de lecturas tomados [6].

#### **4.1.7 Procesamiento de datos**

El típico inclinómetro es una unidad biaxial. Las lecturas se toman en un intervalo equivalente a la distancia entre los ejes de las ruedas y en dos planos mutuamente perpendiculares para máxima precisión.

La fase final de las prácticas que involucran el uso de inclinómetros, consiste en la reconstrucción del perfil del tubo deformado mediante un análisis de los datos adquiridos.

Hacer este trabajo manualmente resulta dispendioso debido al gran número de datos, aproximadamente sesenta; por ésta razón existen herramientas software, que muchas veces vienen incluidas con el equipo del inclinómetro y realizan dicha reconstrucción.

#### **4.1.8 Presentación de resultados**

Generalmente los programas de apoyo de los equipos inclinométricos presentan diversidad de resultados en forma gráfica, con el objeto de facilitar la comprensión de los mismos al evaluar el comportamiento de un talud.

Los resultados que pueden obtenerse son los siguientes [6]:

**Desplazamientos Acumulados:** Representan los cambios en la posición inicial de la tubería. Los desplazamientos son acumulados desde el extremo inferior hasta el superior de la tubería, tomando como referencia el punto inferior de la misma, el cual se considera inmóvil [6].

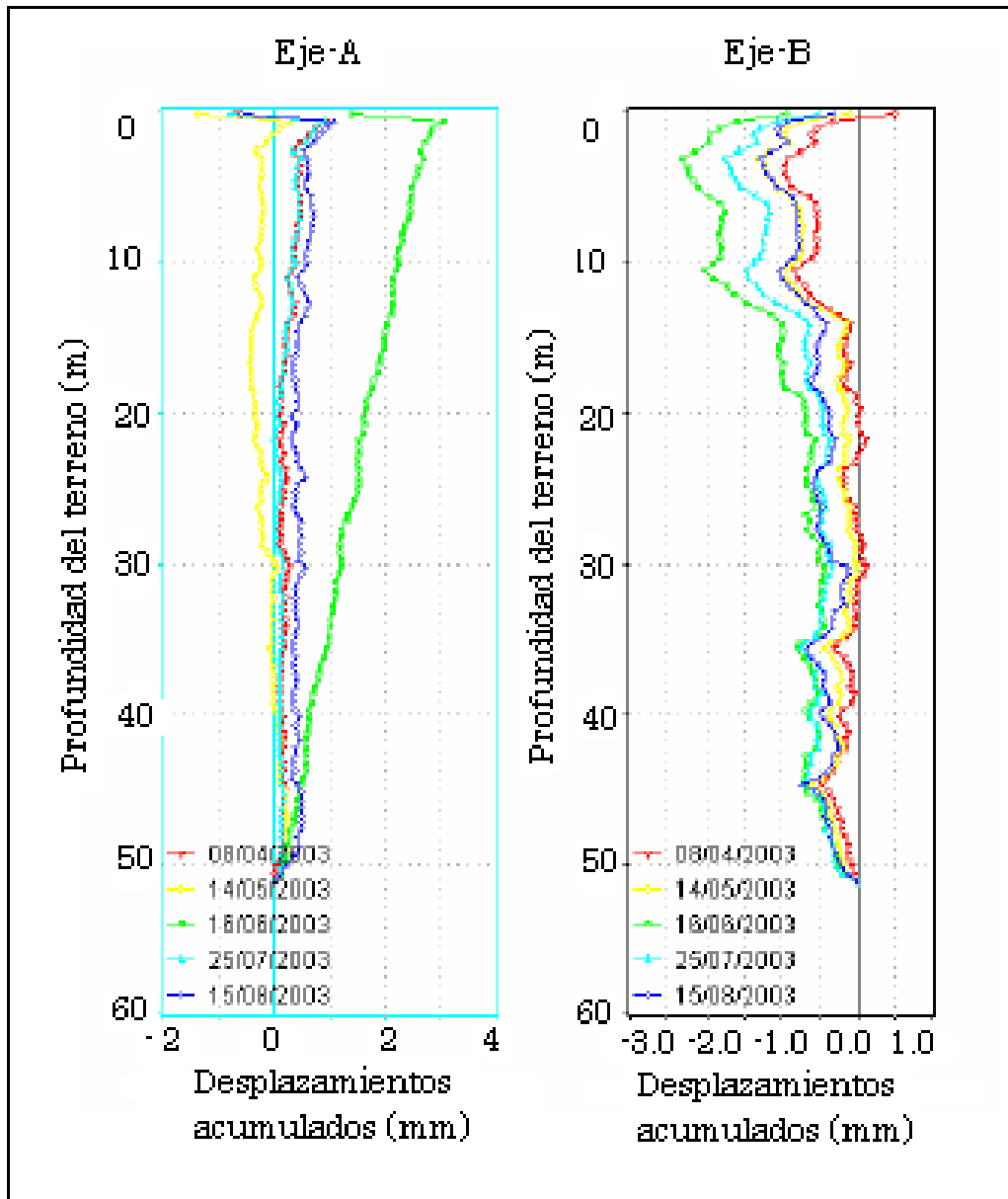


Figura 4.9 Desplazamientos Acumulados  
 Pozo inclinométrico No 2 Talud No 3 Curva la Leona El Salvador

**Desplazamientos incrementales:** Estos corresponden a los desplazamientos para cada punto de medición.

No consideran la acumulación de los desplazamientos [6].

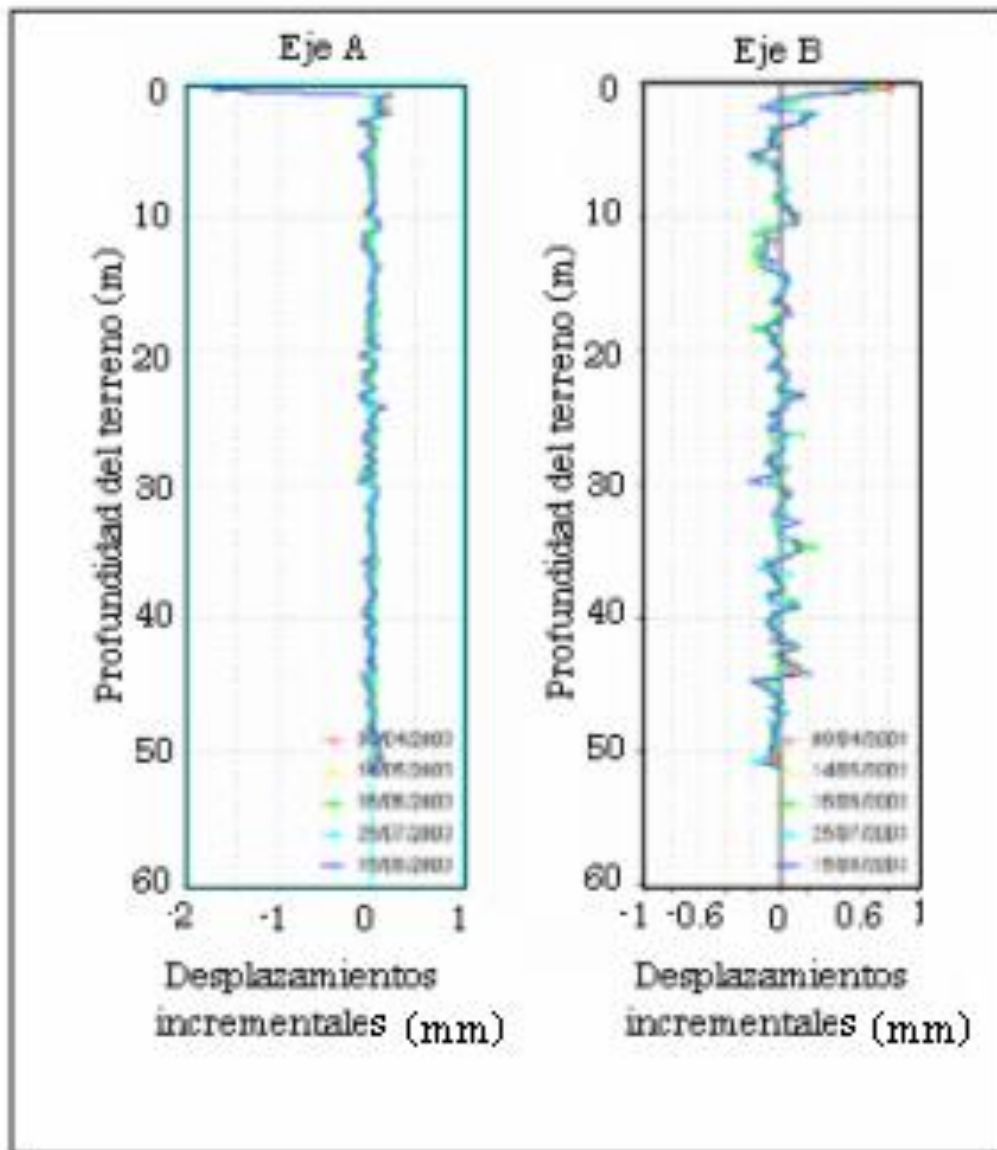


Figura 4.10 Desplazamientos Incrementales  
Pozo inclinométrico No 2 Talud No 3 Curva la Leona El Salvador

**Desviaciones Acumuladas:** Representa la posición de la tubería respecto a la vertical.

Las desviaciones acumuladas representan el perfil original de la tubería o la variación de la misma, debido a los efectos de movimiento del suelo

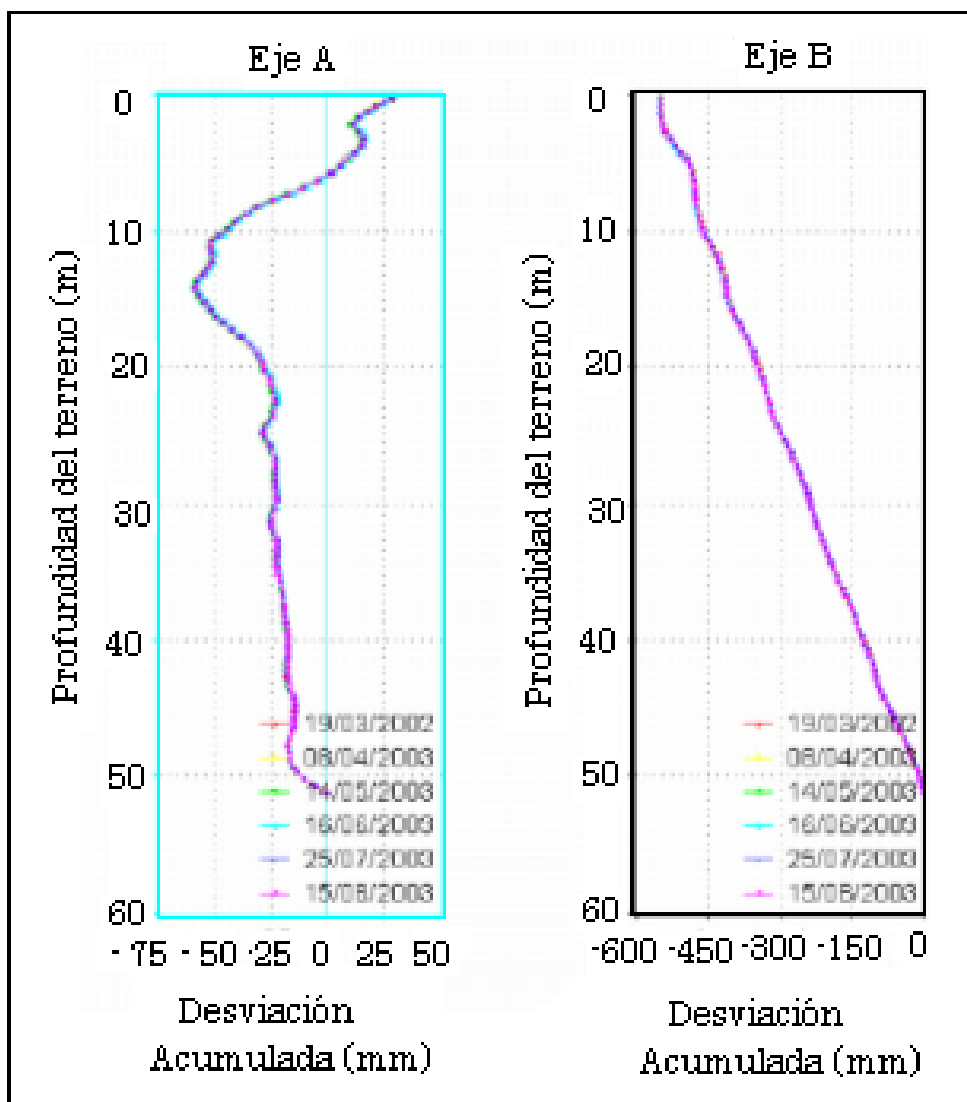


Figura 4.11. Desviaciones Acumuladas  
Pozo inclinométrico No 2 Talud No 3 Curva la Leona El Salvador

**Desviaciones incrementales:** Representan las desviaciones de la tubería en cada punto de medición.

Estas desviaciones son determinadas respecto a la vertical y no consideran la acumulación de desviaciones [6].

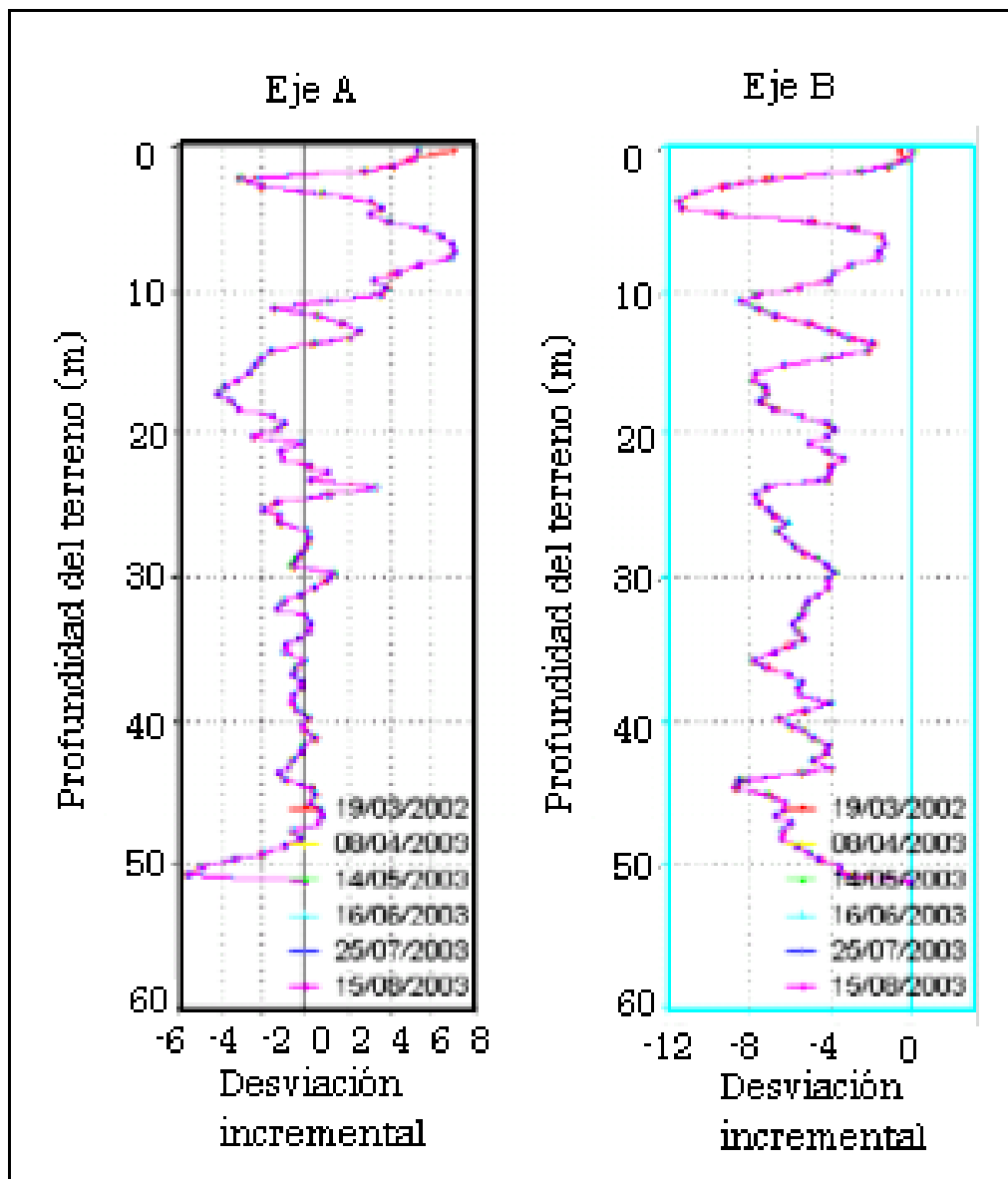


Figura 4.12 Desviaciones Incrementales  
Pozo inclinométrico No 2 Talud No 3 Curva la Leona El Salvador

**Checksum:** Representan los errores cometidos en cada punto de medición y es utilizada para la validación de los datos [6].

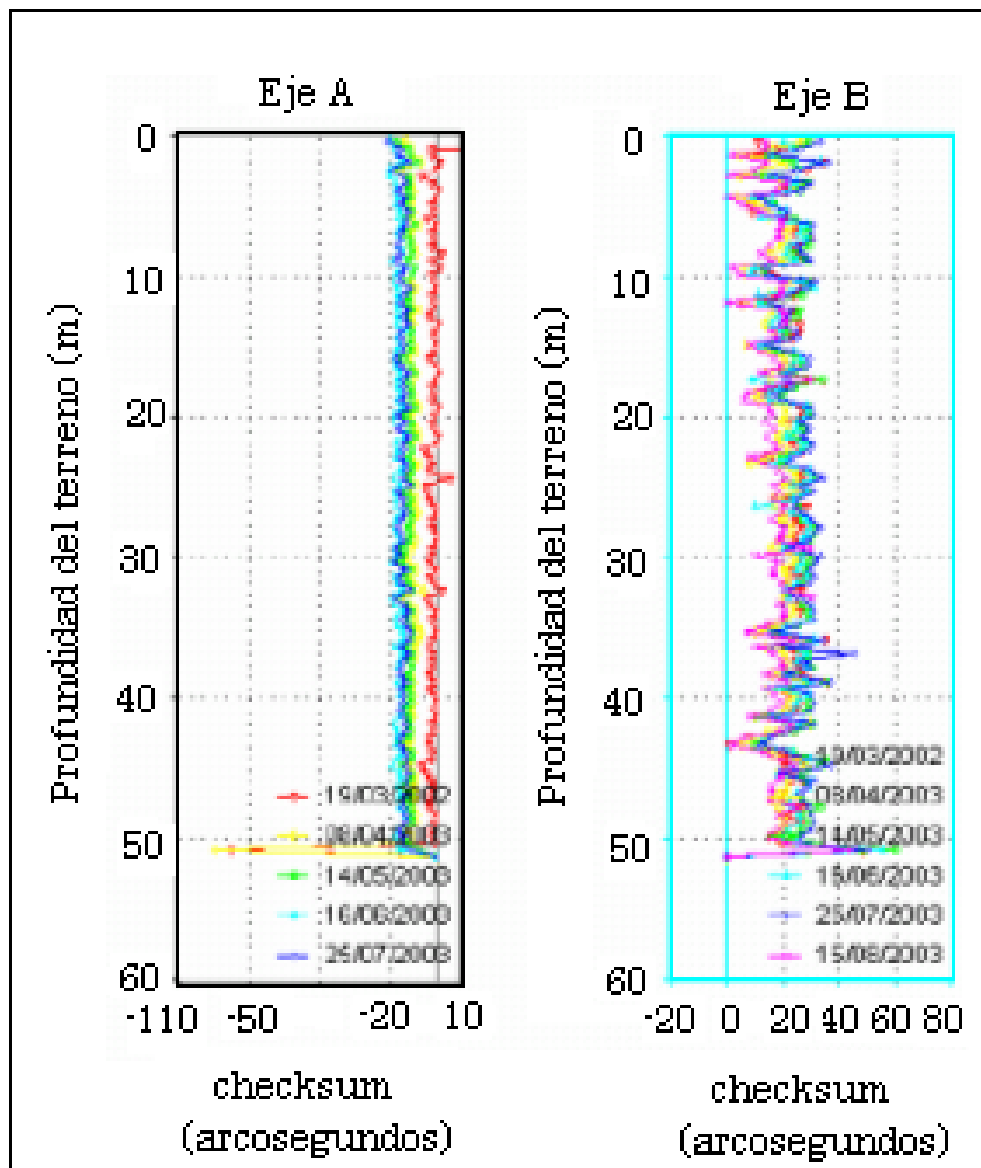


Figura 4.13 Checksum  
 Pozo inclinométrico No 2 Talud No 3 Curva la Leona El Salvador



## 5. METODOLOGÍA

Teniendo en cuenta el objetivo general mencionado anteriormente, se elaboró un instrumento de medición, cuyas características externas son similares a los inclinómetros geotécnicos existentes actualmente.

El inclinómetro diseñado posee las tres partes fundamentales de éstos equipos: sonda de inmersión o unidad transductora, unidad de lectura y cable eléctrico.

Durante la ejecución del proyecto se diseñó y construyó la unidad sensora en una sonda de inmersión junto con su unidad electrónica de lectura que permite no solo monitorear inclinación, sino almacenar conjuntos de datos e interfazarlos con el PC, finalmente se elaboró un software capaz de realizar el análisis de datos correspondiente.

A continuación se describen cada una de las partes del inclinómetro, y el proceso de elaboración.

## 5.1 SONDA DE INMERSIÓN

El componente principal del inclinómetro geotécnico es la sonda de inmersión.

### 5.1.1 Descripción física de la sonda elaborada

En la figura 5.1 se indica el esquema de la sonda de inmersión construida durante el desarrollo de éste proyecto; a continuación se describen sus principales características:

Está elaborada en acero inoxidable y consta de tres segmentos; posee dos pares de ruedas metálicas flexibles ubicadas en la parte media de los segmentos extremos; la distancia entre sus ejes es 50 cm.

Dentro del segmento central de la sonda se aloja la unidad sensora o transductora, y en la parte superior de la sonda posee un conector de 4 hilos, donde se ubica el cable que permite la comunicación con la unidad de lectura.



Figura 5.1 Partes de la sonda de inmersión



Figura 5.2 Sonda de inmersión

### 5.1.2. Diseño de la unidad transductora

Como se mencionó anteriormente la unidad transductora se ubica en el segmento central de la sonda; se diseñó e implementó de tal manera que permitiera adquirir, procesar y comunicar al exterior los datos de inclinación.

La unidad sensible está constituida por dos sensores de inclinación referencia N3 procedentes de la empresa alemana **SEIKA** [5], posicionados de forma perpendicular en un soporte de teflón junto a una tarjeta encargada de procesar sus datos, como se indica en la figura 5.3; ésta unidad se aloja en el segmento central de la sonda.



Figura 5.3 Esquema interno de la sonda de inmersión

### 5.1.2.1 Componentes de la unidad sensora

- ✚ Dos sensores de inclinación referencia **N3**
- ✚ Dos integrados **LM358** (cada uno posee dos amplificadores operacionales)
- ✚ Un procesador digital de señal **PIC18F452**
- ✚ Dos potenciómetros de ajuste de 5 Kohm
- ✚ Un codificador / decodificador para protocolo RS485, **MAX485**
- ✚ Dispositivos pasivos: resistencias y condensadores
- ✚ Conectores

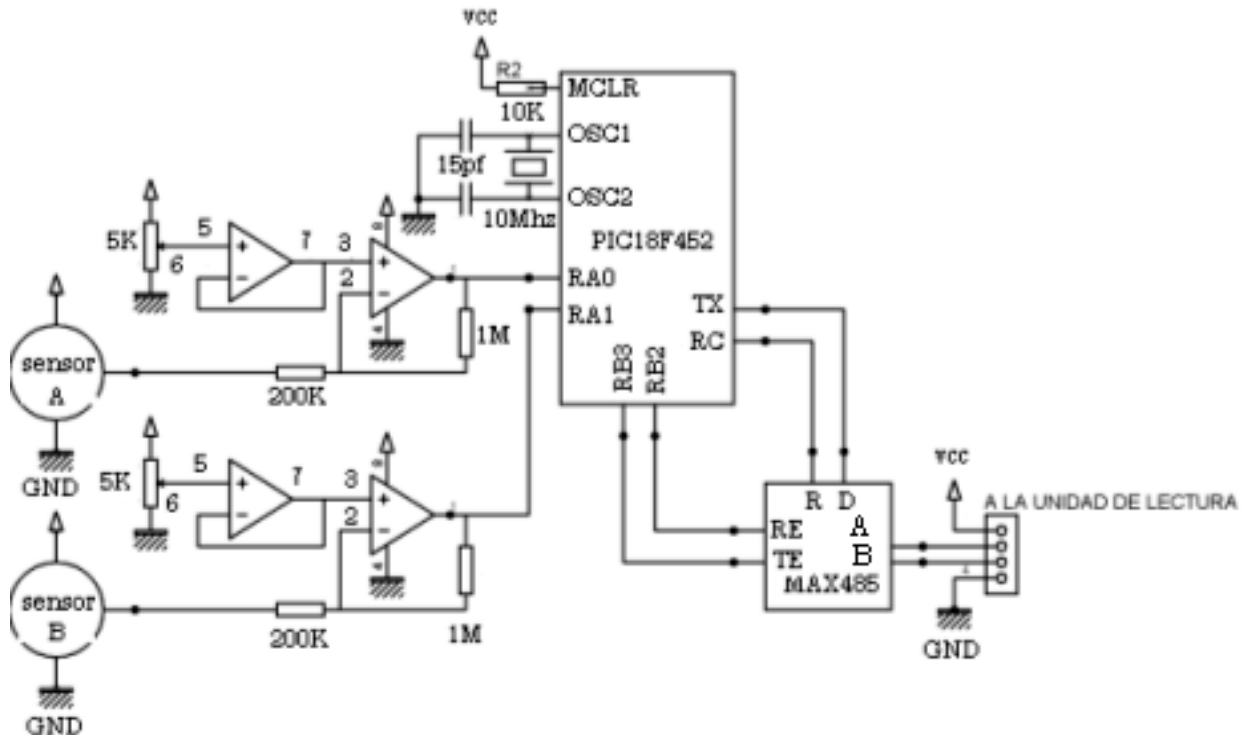


Figura 5.4 Esquemático de la unidad transductora

### 5.1.2.2 Sensores de posición angular

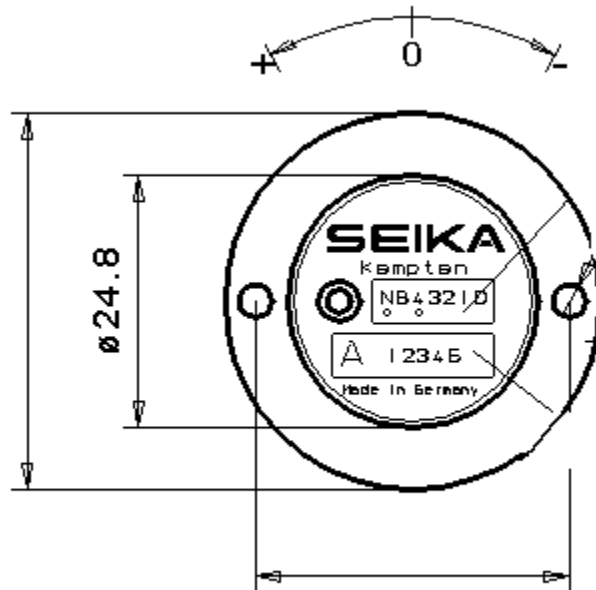


Figura 5.5 Sensor de inclinación

	<b>SENSOR No 1</b>	<b>SENSOR No 2</b>
Serie No	17149	17150
Sensitividad	6.2 mv / °	6.1 mv / °
Voltaje offset	2.5 V	2.5 V

Tabla 5.1 Características principales de los sensores N3

### Conexiones

<b>+5V</b>	Rojo
<b>Señal</b>	Blanco
<b>GND (tierra)</b>	Azul

Tabla 5.2 Conexiones de los sensores N3

El sensor posee un filtro interno aproximadamente de 15 Hz. La fuente de poder no debe exceder los 6 voltios y la polaridad no debe ser invertida.

<b>Tipo</b>	N3
<b>Dimensiones</b>	Ver Figura No 5.5
<b>Rango de medida</b>	$\pm 30^\circ$
<b>Resolución</b>	$< 0.005^\circ$
<b>Desviación Lineal</b>	$< 0.2\%$ del Rango de medida
<b>Fuente de voltaje</b>	5 voltios
<b>Rango de voltaje permisible</b>	3 – 6 voltios
<b>Tiempo de Asentamiento</b>	$< 0.3$ segundos
<b>Corriente de consumo</b>	Aproximadamente 1 mA
<b>Grado de protección</b>	IP65
<b>Temperatura de operación</b>	- 40 - + 85 °C
<b>Peso</b>	18.5 gramos
Valores para salida analógica DC a 5 voltios	
Sensitividad	6mv / ° Aprox.
Voltaje offset	$2.5 \pm 0.1$ v
Fuente : 5 v	Generalmente $0.5 \pm 4\%$
Impedancia de Salida	10 K $\Omega$

Tabla 5.3 Especificaciones técnicas sensor N3

5.1.2.2.1 Principio físico de los sensores capacitivos de inclinación. La variable física a medir es la posición angular con respecto a la vertical; los sensores usados en este proyecto se basan en el siguiente principio:

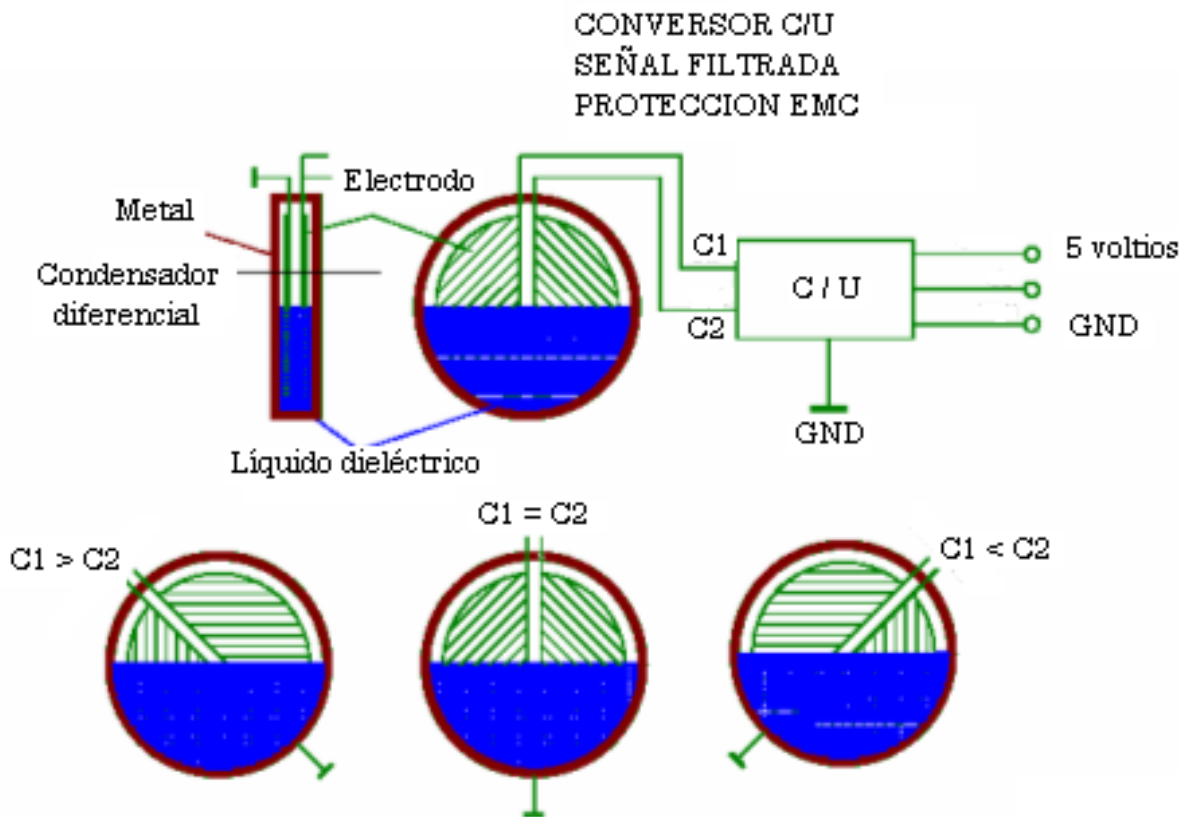


Figura 5.6 Esquema interno de los sensores

Los sensores se componen internamente de dos capacitores de placas semicirculares paralelas sumergidos parcialmente en un líquido dieléctrico que ocupa la mitad del volumen interno del sensor, la superficie del líquido se considera en posición horizontal cuando el sistema está en reposo, la línea que separa los capacitores define la inclinación; cuando ésta se encuentra vertical el

líquido se reparte equitativamente entre los dos capacitores siendo iguales los valores de sus capacitancias, cuando se produce una inclinación una parte de volumen de líquido, directamente proporcional al ángulo, se desplaza hacia uno de los dos lados (dependiendo del sentido de la inclinación) generando una capacitancia diferencial entre los condensadores:

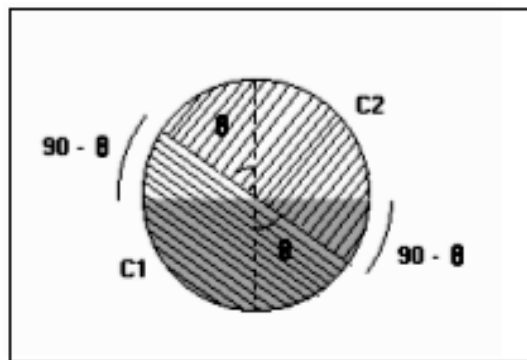


Figura 5.7 ilustración del fenómeno físico

Despreciando la distancia que separa los condensadores y los efectos de borde, las capacitancias en los condensadores C1 y C2 serán:

$$C1 = \frac{\varepsilon(\pi/2 - \theta)r}{d} + \frac{\varepsilon\varepsilon_r(\pi/2 + \theta)r}{d}$$

$$C2 = \frac{\varepsilon(\pi/2 + \theta)r}{d} + \frac{\varepsilon\varepsilon_r(\pi/2 - \theta)r}{d}$$

donde:



$\theta$ : Angulo de inclinación respecto a la vertical en radianes.

$\varepsilon$ : permitividad eléctrica del vacío.

$\varepsilon_r$ : permitividad dieléctrica del líquido.

$d$ : distancia entre las placas.

$r$ : radio de la circunferencia.

Efectuando la diferencia  $C1 - C2$ , se obtiene que:

$$C1 - C2 = \frac{\varepsilon(\pi/2 - \theta)r}{d} + \frac{\varepsilon\varepsilon_r(\pi/2 + \theta)r}{d} - \frac{\varepsilon(\pi/2 + \theta)r}{d} - \frac{\varepsilon\varepsilon_r(\pi/2 - \theta)r}{d}$$

agrupando términos y simplificando

$$C1 - C2 = \frac{\varepsilon\varepsilon_r\theta r}{d} + \frac{\varepsilon\varepsilon_r\theta r}{d} - \frac{\varepsilon\theta r}{d} - \frac{\varepsilon\theta r}{d}$$

$$C1 - C2 = 2\frac{\varepsilon\varepsilon_r\theta r}{d} - 2\frac{\varepsilon\theta r}{d}$$

Factorizando,

$$C1 - C2 = \frac{2\varepsilon.r.\theta}{d} \cdot (\varepsilon_r - 1)$$

De la expresión anterior se deduce que la diferencia de capacitancia tiene una dependencia lineal con el ángulo  $\theta$ .

5.1.2.2.2 Influencia de la temperatura en el valor de medida. De acuerdo a las especificaciones técnicas del sensor de inclinación ref. N3, la variación de voltaje con la temperatura es de 0.025 mv / K; teniendo en cuenta que la sensibilidad del sensor (variación del voltaje respecto a la inclinación) es de 6.1 mv / °, se puede establecer la relación existente entre la variación de inclinación con respecto a la temperatura de la siguiente manera:

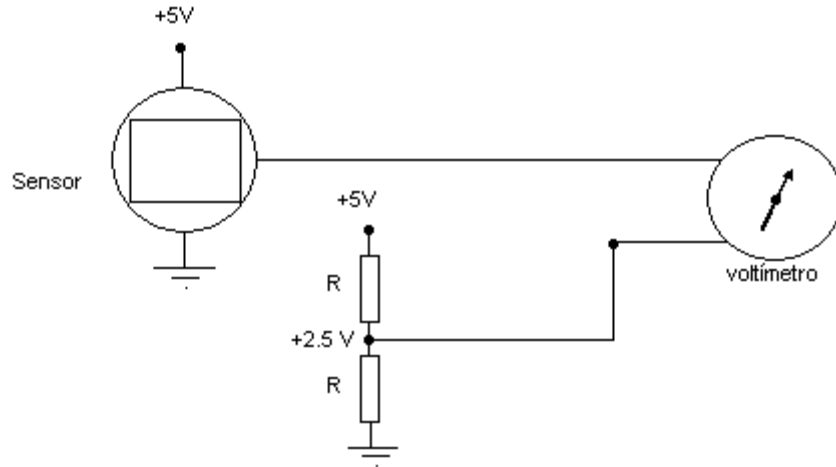
$$\frac{0.025mv / K}{6.1 mv / ^\circ} = 0.004 ^\circ / K$$

Esta relación indica que una variación de un grado Kelvin (o Celsius) en la temperatura causará un error de 0.004 grados en la medida de inclinación, pero esta cantidad no puede ser leída por el inclinómetro ya que la menor variación que registra es de 0.1 grados, así que se necesita determinar cual es la variación de temperatura que ocasiona un error de 0.1 grados en la medida:

$$\Delta T = \frac{0.1^\circ}{0.004^\circ / K} = 25 K$$

Debido a que las condiciones normales de temperatura para el sensor son de 25 °C se consideró muy poco probable que ascienda hasta 50°C o disminuya a 0°C para que se registre un error en la medida, por esta razón se omitió la inclusión de un circuito de compensación de temperatura en la construcción de este instrumento de medición.

5.1.2.2.3 Calibración de los sensores de inclinación. Para la calibración de los sensores, se realizó el siguiente circuito, con el fin de analizar la señal de salida, entregada por éstos.



**Figura 5. 8** Circuito de prueba para sensores de inclinación

Este sencillo montaje permite medir la variación de voltaje de salida registrando cero voltios en la posición  $0^\circ$ , ya que se tomó como referencia 2.5 V que equivalen al offset o cero del sensor; al inclinarlo en sentido horario el voltaje aumenta y en el antihorario disminuye a razón de 6.1 y 6.2 milivoltios por grado de inclinación para cada sensor respectivamente.

5.1.2.2.4. Circuito de amplificación de la señal. Si bien la señal es altamente lineal, su variación no es lo suficientemente grande para ser adquirida por un conversor análogo digital de diez bits siendo necesario amplificarla, para éste objetivo se optó por el siguiente montaje, haciendo uso de un amplificador operacional LM358, de una sola fuente:

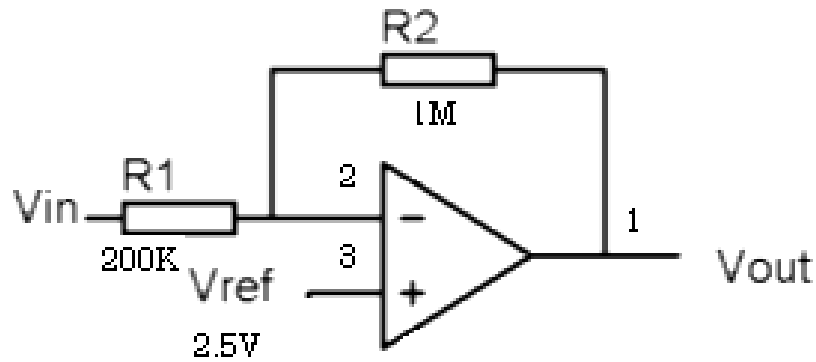


Figura 5.9 Circuito de amplificación.

Teniendo en cuenta el circuito ilustrado en la figura anterior, podemos calcular el voltaje de salida, (ver anexo A).

$$V_{out} = V_{ref} - \frac{R_2}{R_1} (V_{in} - V_{ref})$$

Este montaje tiene la ventaja de restar el voltaje offset del sensor a la señal antes de amplificarla y luego volver a sumárselo a la salida, obteniendo así una señal de las mismas características que la original pero con una sensibilidad amplificada cinco veces, el hecho de que esta configuración sea inversora no es un inconveniente ya que solo implica la inversión de los sentidos, es decir, ahora el voltaje aumentará en sentido antihorario y disminuirá en el horario (estos signos están de acuerdo con las convenciones para medir ángulos).

La figura indica el circuito implementado para compensar el voltaje offset del amplificador LM358.

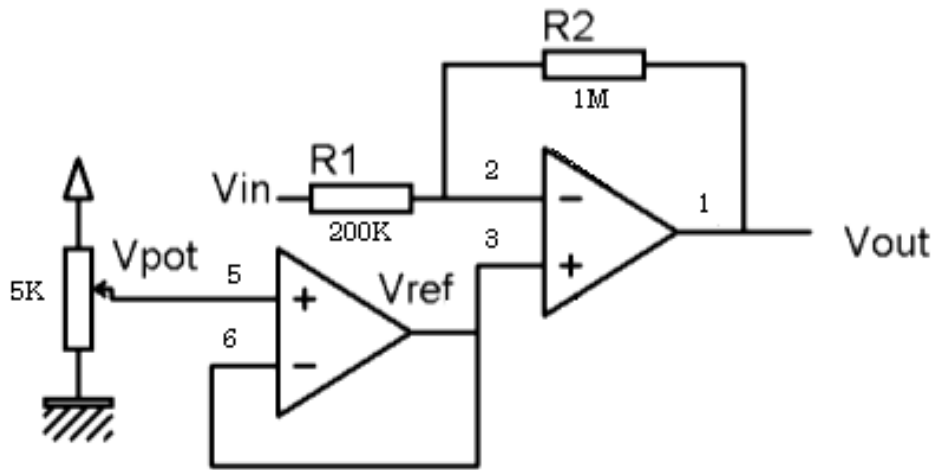


Figura 5.10 Circuito de amplificación y compensación de offset

Teniendo en cuenta el voltaje offset del amplificador se realizó el procedimiento anterior, (ver anexo B), y se obtuvo que:

$$V_{pot} = 2.5V - V_{offset1} - V_{offset2}$$

Esta calibración debe realizarse manualmente, con los potenciómetros de precisión ubicados en la tarjeta de la sonda.

**5.1.2.3. Tratamiento de los datos obtenidos.** Las salidas de estos amplificadores se introducen por dos de las entradas analógicas RA0 y RA1 de un controlador DSP referencia PIC18F452, donde se efectúa la digitalización y procesamiento de las señales.

La secuencia de tratamiento de datos adquiridos es la siguiente:

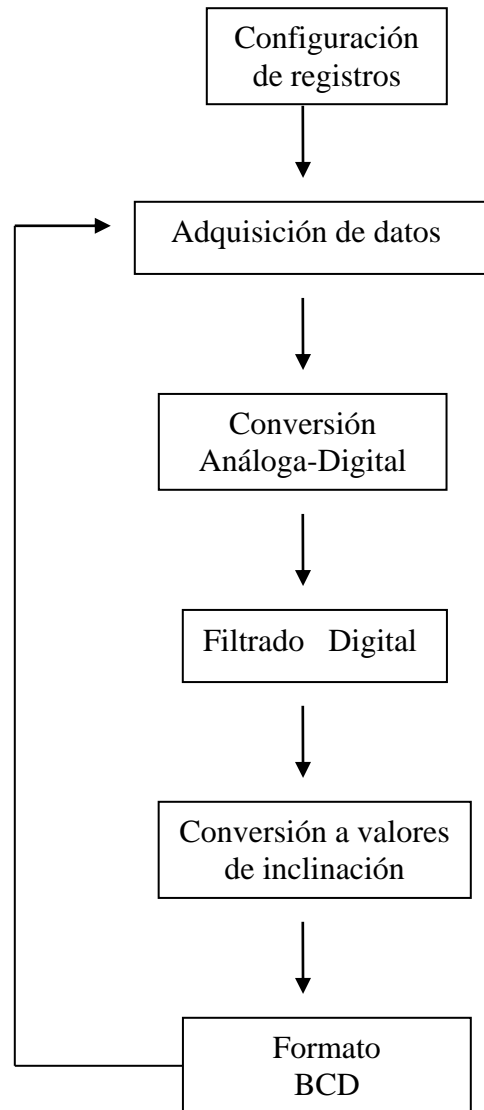


Figura 5.11 Diagrama general del programa de la unidad transductora

El diagrama de flujo del programa que maneja la unidad transductora se encuentra detallado en el anexo C.

Los pasos que se efectúan de la siguiente forma:

1. Se digitalizan con una resolución de 10 bits (propia del conversor analógico digital del DSP).
2. Se introducen en un filtro digital de promedio para minimizar el ruido que puedan tener; el número de muestras que se promedia es 32. Las dos señales son convertidas a su valor equivalente de inclinación por medio de una transformación lineal de la forma  $y = mx + b$ , (es decir se multiplican por una constante, se les suma un intercepto y se determina su signo) con una resolución de tres bytes. La constante y el intercepto se calcularon teniendo en cuenta los niveles de voltaje y el rango de los sensores.
3. Los valores de inclinación se pasan a un formato BCD de cinco cifras, de las cuales se usan las tres más significativas decenas, unidades y décimas, ajustando el valor de ésta última dependiendo de la cuarta cifra que no se utiliza (es decir si la cuarta cifra es mayor que cinco, la tercera se incrementa si ésta es nueve se convierte en cero y se incrementa la segunda y así sucesivamente).
4. Las tres cifras y el bit de signo se agrupan en dos bytes de modo que las décimas y las unidades quedan en el byte menos significativo y las decenas y un bit de signo, en el byte más significativo, (éste último me indica el sentido de la inclinación); éstas parejas se almacenan de acuerdo al sensor al que pertenecen, y solo son modificadas, una vez se haya, digitalizado, filtrado y convertido el siguiente dato.

5. La unidad de lectura solicita los datos al DSP e inmediatamente éste interrumpe su actividad y envía las dos parejas de bytes correspondientes al valor de inclinación de cada plano en un orden adecuado para que la unidad los adquiera y despliegue por el módulo LCD.

El proceso anterior se repite en forma continua y secuencial para cada sensor, así la unidad de lectura no requiera los datos de la sonda de inmersión (por ejemplo cuando el usuario no desea monitorear inclinación sino mirar datos almacenados). Finalmente las señales seriales de transmisión y recepción con la unidad de lectura se codifican y decodifican por medio del integrado MAX485 [10].

### **5.1.3. Descripción del software dentro de la sonda**

Como se mencionó anteriormente, el tratamiento de los datos de los sensores (conversión analógica a digital, filtrado digital, conversión a valor en grados, conversión a código BCD y ajuste de cifras significativas) y la transmisión vía RS485 cuando la unidad de lectura lo requiere, los realiza un **PIC18F452**, a continuación se dará una breve descripción del programa que se diseñó para este dispositivo mediante la herramienta MPLAB 6.0.

El programa debe realizar de forma secuencial y cíclica todo el tratamiento de datos para un sensor a la vez, los pasos son:



**5.1.3.1. Conversión Análoga-Digital.** Las señales que provienen de los sensores (correctamente amplificadas por medio de amplificadores de instrumentación) van conectadas a los canales analógicos 0 y 1 del DSP, así el canal cero corresponde a la señal de inclinación del plano A y el canal uno a la del plano B, la función principal del programa del DSP, llamada **MAIN** (ver anexo D) como una analogía del lenguaje C, comienza cargando el canal cero en el registro de configuración del ADC y llama a la función **AD\_ADC** (ver anexo D), esta función da un tiempo de espera para que se realice correctamente la multiplexación del cambio de canal, luego da inicio a la conversión y espera hasta que ésta termine, luego retorna.

**5.1.3.2. Filtrado Digital.** El resultado de la conversión analógica digital (que tiene una resolución de 10 bits y que debe almacenarse en dos bytes uno bajo con los 8 bits menos significativos y uno alto con los dos más significativos) se almacena en un pareja de bytes que se encuentran en la primera dirección de una fila de 32 parejas de bytes, esta fila constituye un conjunto de igual número de muestras temporales (de esta forma el dato adquirido es el dato más reciente  $x(0)$  del conjunto de muestras), y se carga esta dirección inicial en un par de registros de direccionamiento indirecto, similares a los apuntadores de C, para luego llamar a la función **PROMED** (ver anexo D), la cual se encarga de sumar y acumular las 32 muestras, esto se hace mediante un ciclo repetitivo igual número de veces incrementando en cada iteración la

dirección de los apuntadores, al finalizar este proceso se divide por 32, obteniendo así el promedio, luego se corren los datos eliminando el dato más antiguo (que se encuentra en la posición 32 ) pasando cada dato a la posición siguiente para la constante renovación de éstos ( $x(31)=x(30)$ ,  $x(30)=x(29)$ ,... $x(1)=x(0)$ ), esta operación también se hace utilizando los apuntadores de direccionamiento indirecto en un ciclo que se repite 31 veces, finalmente retorna. El resultado del promedio se almacena nuevamente en dos bytes.

**5.1.3.3. Conversión a Valores de Inclinación.** De nuevo en el Main, después de obtener el promedio, se carga el valor 79 como pendiente y 40470 como intercepto de la función lineal de conversión de número binario en ángulo, estos valores se obtienen con base a la sensibilidad propia de cada sensor, la ganancia del amplificador de instrumentación, la resolución y los voltajes de referencia del conversor análogo digital. De este modo se efectuaron los siguientes cálculos:

Para el sensor 74149 la Sensibilidad es  $6.2 \text{ mV} / ^\circ$ , si el sensor abarca un rango de  $60^\circ$ , el rango de voltaje será de:  $6.2 \text{ mV} / ^\circ \times 60^\circ = 372 \text{ mV}$

Como este voltaje es del orden de milivoltios, es necesario amplificarlo; para ello se seleccionó una ganancia de 5, de tal manera que el rango de voltaje que se maneja es de:  $5 \times 372 \text{ mV} = 1860 \text{ mV} = 1,860 \text{ V}$ .

Debido a la configuración del amplificador, el valor cero de inclinación, corresponde a 2.5 voltios, de tal manera que cuando el sensor se encuentre en su máximo valor +30.0 °, el valor de salida será:  $(2.5+0.93) \text{ V} = 3.43 \text{ V}$ , y en el mínimo valor su salida será:  $(2.5 - 0.93) \text{ V} = 1.57 \text{ V}$ .

El valor 0.93V corresponde a la mitad de todo el rango  $(1.860/2) \text{ V}$ .

Los voltajes de referencia del ADC, se fijaron a 1.25 y 3.75 voltios, para aumentar la resolución, por lo que el voltaje de referencia diferencial es de 2.5 v y el valor binario B de conversión para un voltaje V está dado por la siguiente relación:

$$B = (V - 1.25) \cdot \frac{1023}{2.5}$$

Reemplazando los valores de voltaje mínimo y máximo, obtenemos:

$$B_{\min} = (1.57 - 1.25) \cdot \frac{1023}{2.5} = 130.94 \approx 131$$

$$B_{\max} = (3.43 - 1.25) \cdot \frac{1023}{2.5} = 892.056 \approx 892$$

Ahora bien, la equivalencia de estos valores en grados es de:

$$892 \rightarrow + 30.0^\circ$$

$$131 \rightarrow - 30.0^\circ$$

La constante de conversión será:

$$\frac{(30 - (-30))}{(892 - 131)} = 0.0788 \quad \text{aproximando obtenemos, } k = 0.079,$$

de la ecuación de la recta despejamos el intercepto, y obtenemos:

$$Y - MX = B$$

$$30 - (0.079).892 = B$$

$$30 - 70.47 = B$$

Intercepto,  $B = -40.47$ , de donde la ecuación general es:

$$B = -40.47$$

$$\text{Inclinación} = 0.079 \text{ (Binario)} - 40.47$$

Repitiendo el procedimiento anterior para el sensor No 2 referencia 74150, cuya sensibilidad es  $6.1 \text{ mV}/^\circ$ , se obtuvo la siguiente expresión:

$$\text{Inclinación} = 0.080 \text{ (Binario)} - 40.88$$

Dentro del programa no se manejaron decimales (sino que se agregó un punto decimal en la pantalla) la constante se multiplicó por 1000 por lo que la pendiente de la recta será 79, entonces la multiplicación se hizo utilizando una función que es capaz de multiplicar dos números de 16 bits cada uno y retornar el resultado en cuatro bytes; como la pendiente solo ocupa un byte, el resultado solo estará en los tres bytes menos significativos que retorna la función **MUL\_4B** (ver anexo D); después de la multiplicación se debe restar el intercepto 40470 que ocupa 2 bytes con la función **INTERC** (ver anexo D) que resta con llevada y marca un bit llamado signo en caso de ser negativo, de ésta forma el resultado está en dos bytes y su signo se encuentra en un bit perteneciente a otro registro. Una vez realizadas estas operaciones se obtiene el valor de inclinación (multiplicado por 1000), el siguiente paso de la conversión es pasar éste número a formato BCD para lo que se usa una función que convierte un número de 2 bytes a 5 cifras repartidas en igual número de nibles pertenecientes a tres Bytes, éste valor se aproxima a las

tres cifras más significativas (decenas, unidades y décimas de grado) usando una función que redondea de cinco a tres bajo las normas estándar para esta operación, finalmente las tres cifras y el bit de signo se concatenan en dos bytes que se almacenan como datos convertidos para el plano A.

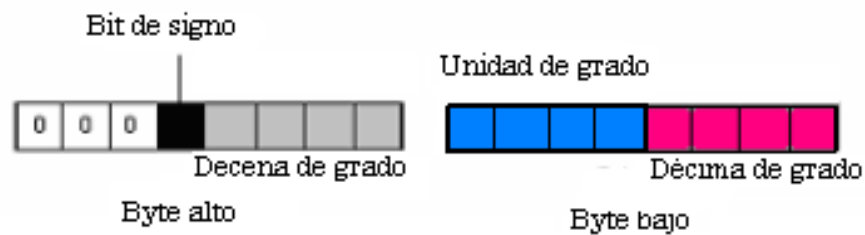


Figura 5.12 Formato de un dato de inclinación

Finalizada la adquisición, filtrado y conversión del dato para el plano A, toda la operación se repite desde el main para el segundo sensor, es decir el del plano B con sus respectivos valores de conversión, los dos bytes obtenidos de la conversión junto con los dos del plano A se almacenan con el fin de enviarlos en caso de que la unidad de lectura lo solicite y solo se renuevan después de repetir toda la operación para cada plano. Aquí el ciclo termina y vuelve a comenzar adquiriendo el dato para el plano A.

#### 5.1.3.4 Tiempo de proceso desde la adquisición del dato hasta el valor

**final obtenido.** Teniendo en cuenta el tiempo de estabilización de la señal de los sensores, correspondiente a 0.3s, se puede establecer la

frecuencia máxima de estabilidad:  $f = \frac{1}{0.3 s} = 3.33 Hz$ . Ahora para poder

extraer los parámetros de la señal, se tomaron 32 muestras de cada sensor para ser promediadas; entonces la frecuencia de muestreo para

los dos canales debe ser:  $f = 32 \times 3.33 Hz = 106.67 Hz$ , por lo que el tiempo que debe tardar el procesador en adquirir, digitalizar, promediar,

convertir a dato de inclinación y a formato BCD las señales de los dos

canales, es  $T = \frac{1}{f} = 9375 \mu s$  (o 4687.5us por cada canal), el algoritmo

del programa que cumple toda ésta secuencia tarda 4110 ciclos de máquina en ejecutarse, cada ciclo de máquina tarda 0.4us, debido que

se usó un oscilador de cristal de 10MHz, así que el tiempo empleado es de  $4110 \times 0.4 \mu s = 1644 \mu s$ , menor al tiempo requerido (9375 us), el

excedente (7740 us) se adicionó con un retardo de tiempo calculado para ésta cantidad haciendo uso de uno de los temporizadores del

PIC18F452, el retardo se ejecuta después de completar la secuencia de tratamiento para cada canal .

#### 5.1.3.5 Atención a la Interrupción por solicitud de datos. El ciclo de

tratamiento de datos para los dos sensores se repite continuamente y

solo se ve interrumpido si se recibe un Byte vía RS485 por parte de la unidad de lectura (ver anexo D), en éste caso la atención a la interrupción es inmediata y consiste en los siguientes pasos:

1. Se verifica que el dato recibido es el código ASCII de la letra "C", en caso de no serlo, no responde y abandona la interrupción. Si el dato es una "C", se inicia el envío de datos.
2. Primero se envía el dato bajo del plano A, que contiene las décimas y unidades.
3. Se envía el dato alto del plano A que contiene las decenas y el bit de signo
4. Se envía el byte bajo del plano B.
5. Por último se envía el byte alto del plano B y se finaliza la interrupción.

Al final de la interrupción el contador de programa retorna a la dirección siguiente de la que estaba cuando se recibió la interrupción [11].

## 5.2 DESCRIPCIÓN DEL CABLE DE COMUNICACIÓN



Figura 5.13 Cable de comunicación

El cable que comunica la sonda de inmersión con la unidad de lectura, también lleva el voltaje de alimentación para el funcionamiento de los dispositivos de la sonda; en su interior lleva cuatro líneas independientes correspondientes a Vcc, tierra, línea A y línea B, las dos primeras para alimentación y las otras para comunicación [10].

Exteriormente el cable tiene una gruesa capa de caucho para protección de las cuatro líneas, su diámetro es de aproximadamente 0.6 centímetros y su longitud 21 metros.



### 5.3 UNIDAD DE LECTURA



Figura 5.14 Unidad de lectura realizada

#### 5.3.1 Descripción física de la unidad de lectura

La unidad de lectura que se construyó es un módulo que funciona con dos baterías de 9 voltios; una para la alimentación de la luz de la pantalla de cristal (opcional) y la otra para el funcionamiento del resto del sistema. La pantalla de cristal líquido se encarga de mostrar los valores de inclinación al usuario y ofrece las opciones principales del equipo.

Externamente la unidad cuenta con los siguientes accesorios:

1. Pantalla de cristal líquido de 4\*24 (cuatro líneas de 24 caracteres c/u) con luz posterior verde ó backlight.
2. Cuatro pulsadores para elegir las opciones de menú que aparecen en pantalla.

3. Un conector hembra de cuatro pines para la comunicación con la sonda de inmersión.
4. Un conector DB9 macho para la conexión serial con el PC por medio de un cable hembra-hembra.
5. Switch de encendido.
6. Switch para encender la luz de la pantalla o backligh.

### 5.3.2 Componentes internos de la unidad de lectura

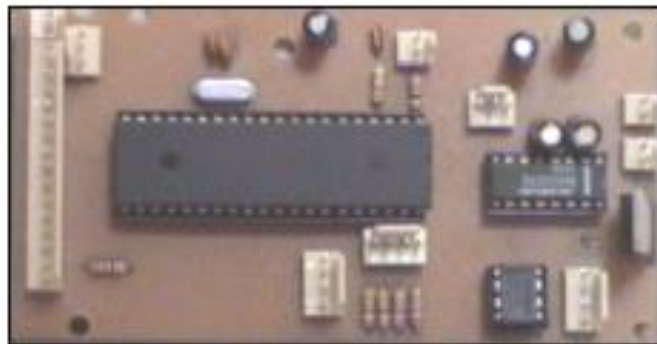


Figura 5.15 Tarjeta impresa ubicada en la unidad de lectura

La unidad de lectura tiene una tarjeta que cuenta con los siguientes dispositivos:

- Un MAX485 Para la adecuada comunicación con la sonda.
- Un MAX232 para la comunicación con un PC.

- El controlador del módulo LCD.
- Un microcontrolador PIC16F877 encargado del manejo de todos los dispositivos de la unidad de lectura.

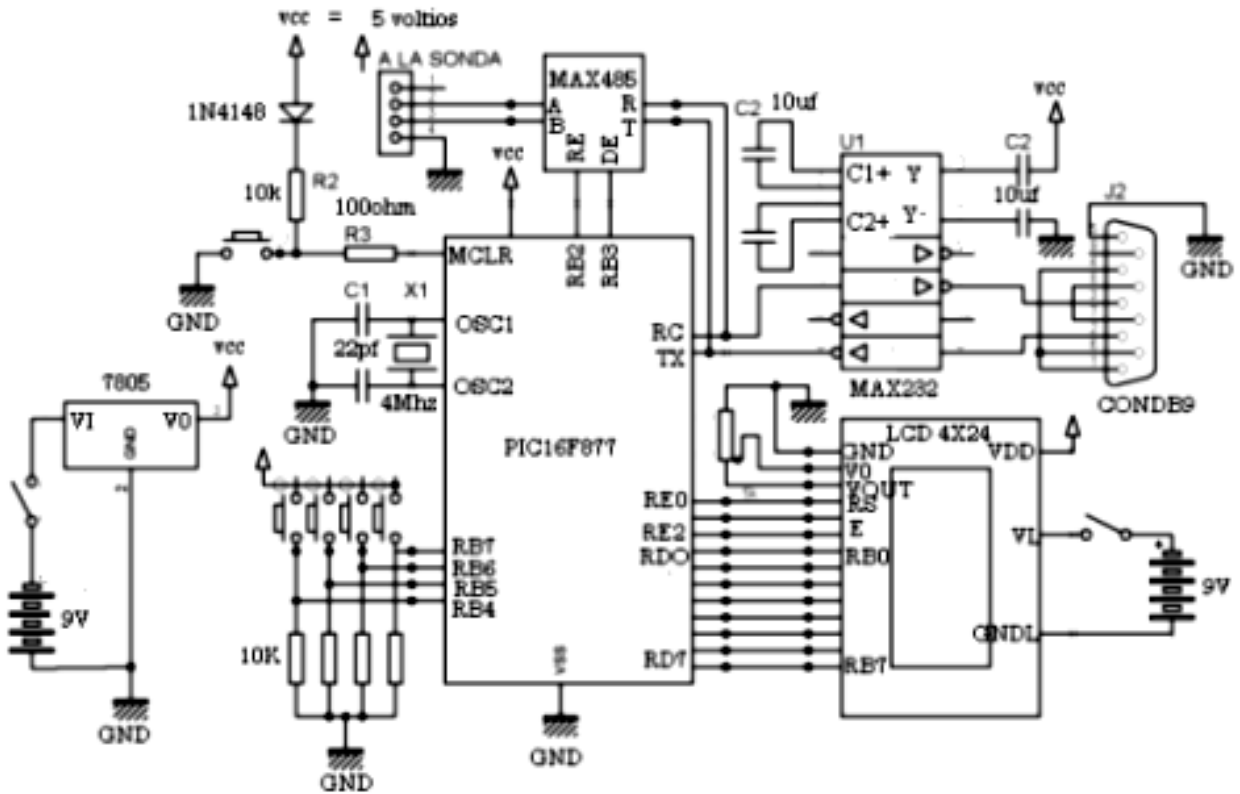


Figura 5.16. Hardware de la unidad de lectura

### 5.3.3. Descripción del programa que controla la unidad de lectura

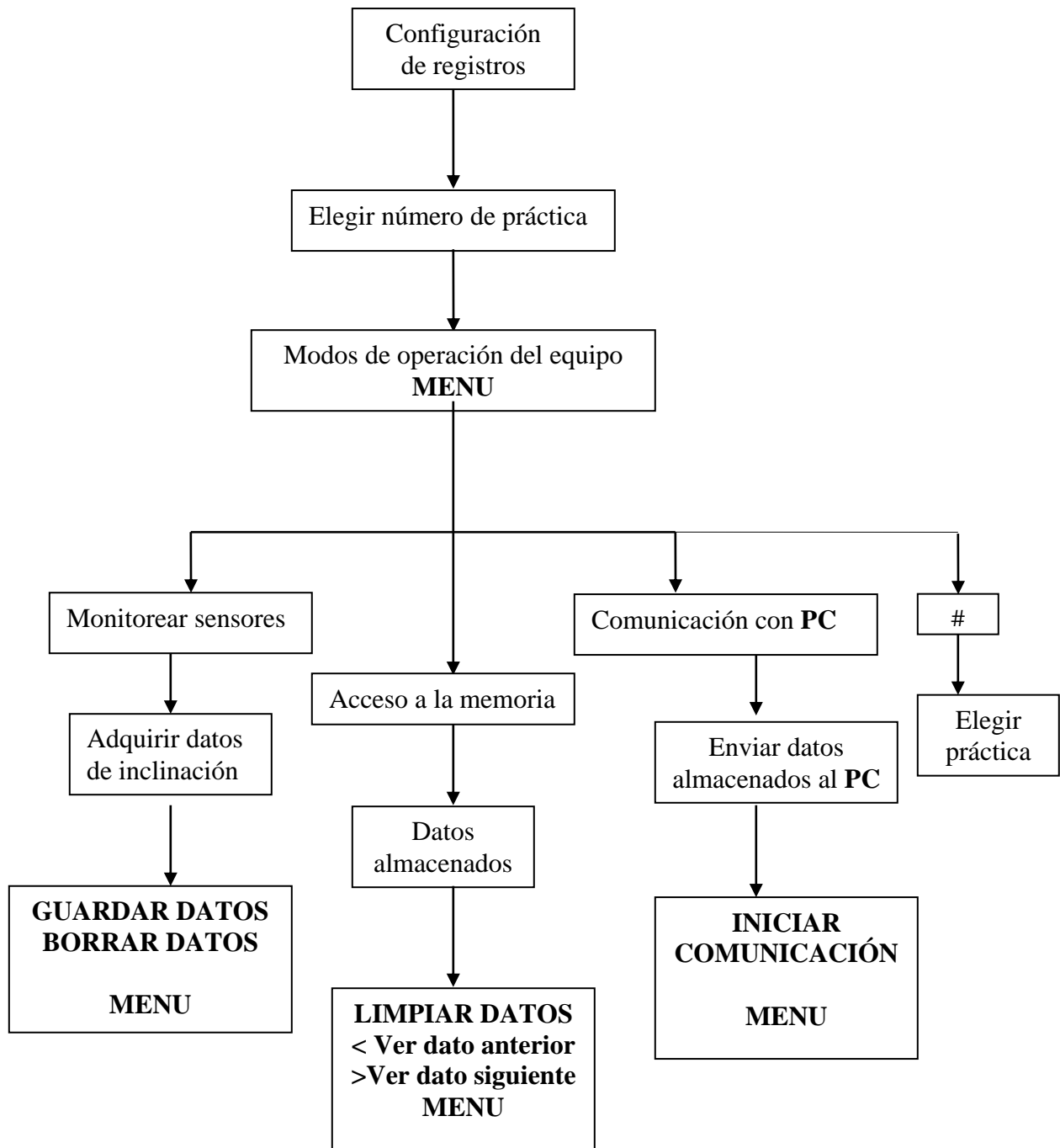


Figura 5. 17 Esquema general del programa de la unidad de lectura

El diagrama de flujo detallado del programa se encuentra en el anexo E.

**5.3.3.1 Configuración.** La primera parte del programa que se elaboró para el PIC16F877, se encarga de configurar sus parámetros de funcionamiento: puertos digitales de salida, (para controlar el módulo LCD y el sentido de la comunicación RS485), de entrada (para los pulsadores de selección), puerto serial (velocidad, tamaño de byte...), perro guardián y temporizadores

**5.3.3.2 Solicitud de número de práctica.** La memoria flash del microcontrolador PIC16F877 que tiene una capacidad de 8192 palabras de 14 bits, se utilizó para almacenar los datos que el usuario desea. En esta memoria también se encuentra almacenado el programa principal que ocupa un tamaño de 1793 palabras. El resto de memoria (6399 palabras) se encuentra disponible, para el almacenamiento de datos, es así como se subdividió este espacio de memoria en ocho bancos que van a partir de las direcciones 3000, 3510, 4020, 4530, 5040, 5550, 6060, 6570, 7080 ; como se puede observar, cada banco tiene un tamaño de 510 palabras. La separación en bancos hace posible que el usuario pueda almacenar hasta ocho conjuntos de datos de igual número de sondeos realizados en diferentes lugares.

Cada banco de memoria tiene un contador de datos que se incrementa cada vez que el usuario almacena uno; estos contadores están almacenados en las ocho primeras direcciones de la eeprom del microcontrolador (que tiene una capacidad de 256 bytes), estos contadores sirven para saber cuantos datos han sido almacenados y a partir de que dirección se debe leer o escribir.

Al activar la unidad de lectura, el programa despliega un mensaje de presentación; utilizando las funciones **CONTROL** y **DATO** (ver anexo F), que limpian la pantalla, y escriben en ella carácter por carácter, el usuario debe elegir que banco de memoria desea usar, éstos se encuentran enumerados del 1 al 8, una vez escogido el “número de práctica” el programa lee el correspondiente contador de datos de la eeprom y se ubica en la casilla siguiente del último dato almacenado, el valor del contador solo se cambia cuando el usuario guarda o borra uno o varios datos; el número de practica y el contador de datos se usan en diferentes modos del programa para el correcto manejo de la memoria, además son visualizados constantemente en la pantalla.

**5.3.3.3 Menu Principal.** El menú aparece en la pantalla una vez el usuario ha elegido el número de práctica (se escribe en el módulo LCD usando de nuevo **CONTROL** y **DATO**), consta de 4 opciones básicas:

- **Monitorear Sensores**
- **Acceso a la memoria**
- **Comunicación con PC**
- **#**

A cada opción se le asigna una de las tres primeras letras del abecedario, que aparecen en la parte inferior de la pantalla, ubicadas sobre el pulsador correspondiente para que el usuario oprima la opción que desea ejecutar; el programa, una vez desplegado el pantallazo de menú, se queda en espera de la elección por parte del usuario.

**5.3.3.4 Adquisición de datos de la Sonda.** Si el usuario oprime el botón asignado a la opción **A** del menú, accede al modo monitorear sensores, para ello el programa manda un mensaje de inicio de conversión al DSP esclavo de la sonda y queda en espera de los cuatro bytes, correspondientes a los valores en formato BCD de tres cifras, de la inclinación de cada plano de la sonda, en caso de que la sonda no responda (se encuentre desconectada) después de una espera aproximada de 500 milisegundos, el microcontrolador sufrirá un reset por acción del perro guardián[7]; una vez se reciban estos bytes se separan en caracteres numéricos y se ubican en la pantalla bajo un

título que indica a que plano pertenece cada valor; estos pasos se repiten continuamente en el modo mirar sensores a una velocidad de comunicación de 9600 baudios(ver anexo F). También se despliegan en la parte superior de la pantalla el número de la práctica y el número de datos; en la parte inferior se encuentra la opción menú (es decir volver al menú). Cuando el microcontrolador termina de desplegar una pareja de datos, identifica el pulsador que se ha oprimido, en el caso de **Guardar**, el dato visualizado en ese momento se almacena en el correspondiente banco de memoria usando funciones especializadas en escribir en dicha memoria, también se incrementa en 1 el contador de datos, se almacena su nuevo valor en la eeprom y se visualiza su nuevo valor en la pantalla, por ultimo los registros que apuntan a la dirección de memoria donde se guardan los datos quedan ubicados en la casilla siguiente, listo para que el usuario repita la operación de guardar un nuevo dato (cada pareja de datos ocupa dos palabras), en caso de que el contador de datos llegue a 255, la opción guardar se deshabilita y se borra de la pantalla LCD; si el usuario elige la opción **Borrar** (ver anexo F), el contador de datos se decrementa, se almacena su nuevo valor en la eeprom y la pantalla visualiza el dato anterior, de ésta manera se elimina el ultimo dato que se haya guardado, es de aclarar que en realidad los datos no son borrados sino que su acceso se restringe hasta que se guarda un nuevo dato sobre escribiéndolo; si el usuario oprime el ultimo pulsador, el programa saldrá del modo monitorear sensores y retornará al **Menú** .



En caso de que no se oprima ningún pulsador, el programa ordena una nueva conversión al DSP esclavo (la velocidad con que se repite el ciclo mirar sensores es lo suficientemente alta para que el usuario pueda salir o guardar en cualquier momento).

**5.3.3.5 Acceso a los datos almacenados.** La segunda opción del menú, asignada a la letra **B**, es acceso a la memoria. El pantallazo es muy similar al de mirar sensores, con un título diferente, solo que lo que se despliega son los valores almacenados en la memoria empezando con el último, para esto se usa una función especializada en leer la memoria y luego la misma que los decodifica para la pantalla (ver anexo F), también aparecen el número de practica y el número de datos en la parte superior; en la parte inferior hay cuatro opciones para el usuario, la primera es **Limpiar**, en caso de elegirse esta opción el contador de datos se clarea (se pone en cero) se almacena su nuevo valor en la eeprom y se visualiza en la pantalla, entonces aparece un mensaje que indica que el respectivo banco de memoria está vacío, de nuevo los datos no son borrados literalmente sino que se restringe el acceso a todos en espera de almacenar nuevos datos que se sobre escriben en las casillas de memoria ya ocupadas; la segunda opción es un **<** que simboliza ir atrás, si el usuario elige ésta opción el contador se decrementa y se visualiza más no se guarda (por que esto no implica borrar o agregar datos), entonces se lee el dato anterior (si lo hay) y se repiten los pasos para desplegar los

valores de inclinación en la pantalla, si se ha llegado al primer dato guardado la opción < permanecerá inactiva, la tercera opción es >, lee el dato siguiente, solo funciona si no se está leyendo el último dato; de nuevo se incrementa el contador de datos y se visualiza más no se guarda, la ultima opción no cambia (menú). En caso de que no haya datos en la memoria aparecerá un mensaje que lo indique, y las opciones **limpiar**, < y > estarán inactivas.

**5.3.3.6 Interfaz con el PC.** La opción **C**, del menú es comunicación con PC; mediante esta opción el usuario puede enviar los datos almacenados en una práctica a un archivo de un computador vía RS232 (ver anexo F).

El pantallazo muestra el número de datos y un mensaje para que el usuario inicie la comunicación; en la parte inferior se encuentra la opción **Iniciar** que deberá ser activada con el primer pulsador y la opción **Menú** con el último de estos; una vez el usuario corre el programa de adquisición de datos en el PC, deberá oprimir la opción **Iniciar** en la unidad de lectura, a partir de este momento comienza la comunicación que se realiza de la siguiente manera:

1. Primero el microcontrolador envía un byte con el código ASCII de la letra E que es la señal de inicio de comunicación que hay y espera que el computador vuelva a enviársela.

2. Si no recibe una respuesta después de 500 milisegundos sucederá un reset por acción del perro guardián, si recibe respuesta pero no es una **E** se interrumpe la comunicación y se despliega un mensaje en pantalla que indica que hay un error en la comunicación.
3. Si la respuesta es correcta el microcontrolador envía dos bytes con el número de práctica y el número de datos respectivamente.
4. Después queda a la espera de un byte con el código **Y** por parte del PC, si no recibe respuesta o es errónea se repite el numeral 2.
5. El registro apuntador al banco de memoria se ubica en el primer dato almacenado para leerlo y enviarlo.
6. En cada pareja de datos se envía cuatro bytes en el mismo orden que lo hace el DSP al microcontrolador.
7. Una vez enviada una pareja de datos se incrementa un contador y se espera que el PC envíe el número de dato recibido (éste debe coincidir con el del contador, si no se repite el numeral 2).
8. Si el PC responde correctamente y el contador aún no alcanza el número de datos se incrementa el apuntador de memoria y se vuelve al paso 6 para enviar el siguiente dato.

9. Cuando el contador coincide con el número de datos se da por terminada la comunicación y se despliega un mensaje de éxito en la pantalla.

#### 5.3.4 Descripción del funcionamiento de la unidad de lectura

Este es el mensaje de bienvenida del equipo:



Figura 5.18 Mensaje de bienvenida al equipo

- 5.3.4.1. Elegir Practica.** El módulo de lectura ofrece al usuario la posibilidad de elegir ocho prácticas independientes, haciendo posible que el usuario realice igual número de sondeos, almacenando hasta 255 parejas de

datos por sondeo en la memoria *flash* del **PIC16F877**. El usuario solo debe oprimir el pulsador asignado a cada práctica del uno al ocho. Los signos < y > indican al usuario los anteriores y siguientes bancos de memoria a los que puede acceder, los ocho bancos se dividen en tres secciones:



Figura 5.19 Primeros tres bancos de memoria



Figura 5.20. Bancos de memoria 4 y 5



Figura 5.21 Últimos bancos de memoria

**5.3.4.2 Menú.** Aparece una vez el usuario elige la práctica, en éste modo solo se elige entre los tres modos de funcionamiento, pulsando uno de los tres primeros pulsadores.



Figura 5.22. Menú principal

**5.3.4.3 Modo “monitorear sensores”.** Modo normal que permite al usuario visualizar el estado de los sensores en ambos planos y la posibilidad de guardar en la memoria el dato leído, y borrar de ésta el último almacenado.



Figura 5.23 Modo monitorear sensores

**5.3.4.4 Modo “Acceso a la memoria”.** Modo que permite acceder a los datos almacenados, desde el último hasta el primero de ellos, en cada una de las prácticas, además ofrece la borrar la totalidad de los datos.



Figura 5.24 . Acceso a la memoria

Si el usuario desea borrar los datos de un sondeo, se encontrará con un mensaje como éste:



Figura 5.25. Solicitud de Confirmación para eliminar los datos

Al confirmar su decisión aparecerá el siguiente mensaje:



Figura 5.26 Mensaje de memoria vacía.

**5.3.4.5 Modo “Comunicación con PC”.** De ésta forma se establece una comunicación serial entre la unidad de lectura y un PC para “enviar” los datos almacenados de cada práctica, para efectuar un posterior análisis.





Figura 5.27 Modo comunicación con PC



Figura 5.28. Mensaje de comunicación en proceso

**5.3.4.6 Opción #.** Permite volver a escoger el número de práctica, en caso de que el usuario desee cambiar de banco de memoria.

La forma correcta de utilizar la unidad de lectura y todas sus opciones se encuentra detallada en el manual de usuario redactado por los realizadores del proyecto, ver anexo G (manual del equipo).

## 5.4 PROGRAMAS DE ADQUISICION Y ANALISIS DE DATOS

El software fue elaborado utilizando la herramienta **Labview 5.1 de National instruments**, software debidamente licenciado por la Universidad del Cauca [7].

El programa consiste en efectuar una comunicación serial entre un PC y la unidad de lectura del inclinómetro, con el fin de adquirir los datos de inclinación que se encuentran en la memoria del PIC16F877 que controla dicha unidad, para finalmente procesarlos.

### 5.4.1 Comunicación con la unidad de lectura

Para la primera parte de éste proceso, es decir la adquisición de datos, se realizo un VI (Adquisición.vi) que se encarga de establecer comunicación vía RS232 con la unidad de lectura para leer los datos almacenados de alguno de los ocho bancos de memoria, convertirlos a datos numéricos, y finalmente almacenarlos en forma de tabla en un archivo que el usuario debe crear o abrir si ya existe. El programa consiste en una secuencia que tiene las siguientes etapas:

1. Configuración del puerto serial del computador elegido por el usuario con los siguientes parámetros de comunicación: 9600 baudios, 1 bit de parada, 8 bits de datos, no paridad.
2. Petición y espera de la ruta de archivo en el que el usuario desea almacenar los datos.

3. Espera del byte de inicio de comunicación “E” por parte de la unidad de lectura.
4. Envío del byte recibido como eco.
5. Espera por dos bytes en su orden: Número de práctica y número de datos; una vez recibidos se convierten en valores numéricos y se despliegan en sus respectivos indicadores.
6. Envío del byte “Y” para que la unidad de lectura verifique la comunicación.
7. Se inicia el ciclo de adquisición mediante un contador *i* inicializado a cero.
8. Se espera los dos bytes de inclinación del plano A, se convierten de BCD a sus valores de inclinación en grados. Se repite la anterior operación para los datos del plano B.
9. Se envía el valor de la diferencia entre el “número de datos” y el contador *i* de las iteraciones del ciclo.
10. Se incrementa el contador *i* y se verifica si es igual al número de datos, si aún no lo es vuelve al numeral 7, en caso contrario se da por terminada la comunicación con la unidad de lectura.

El ícono **Open/Create/Replace File.vi** crea o abre un archivo elegido por el usuario; se inicializa el puerto serial elegido por el usuario mediante **Serial Port Init.vi**, la secuencia empieza en espera del byte de inicio de comunicación por parte de la unidad de lectura en un ciclo que se ejecuta hasta que el ícono **Bytes At Serial Port.vi** cuente un número de bytes diferente de cero.

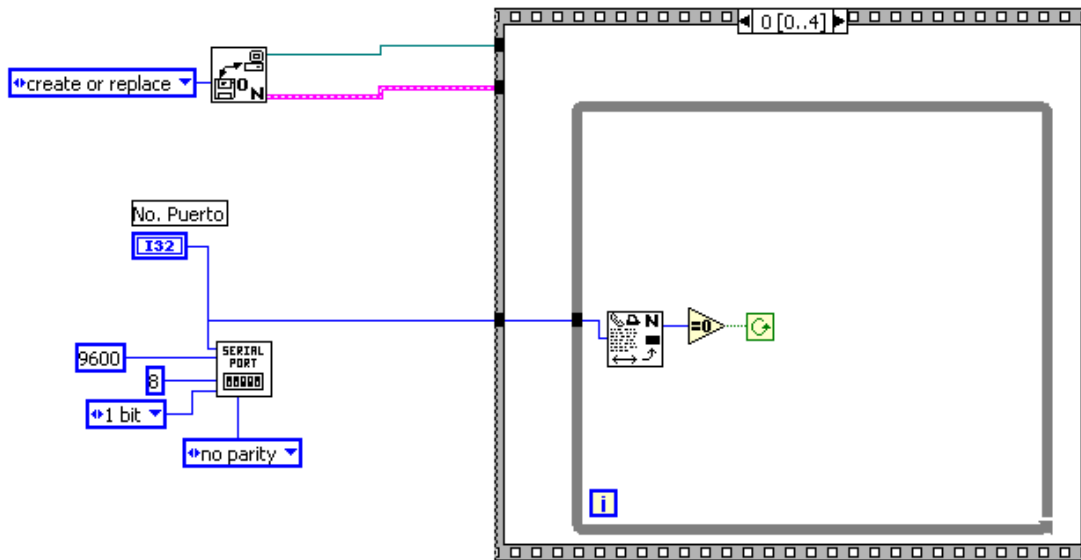


Figura 5.29. Inicio de la secuencia de adquisición de datos

La segunda parte de la secuencia lee el byte enviado por la unidad de lectura mediante **Serial Port Read.vi** y en seguida se reenvía con **Serial Port Write.vi**, toda la operación tiene un retardo de 500 milisegundos en el ícono **Wait Until Next ms Multiple.vi**.

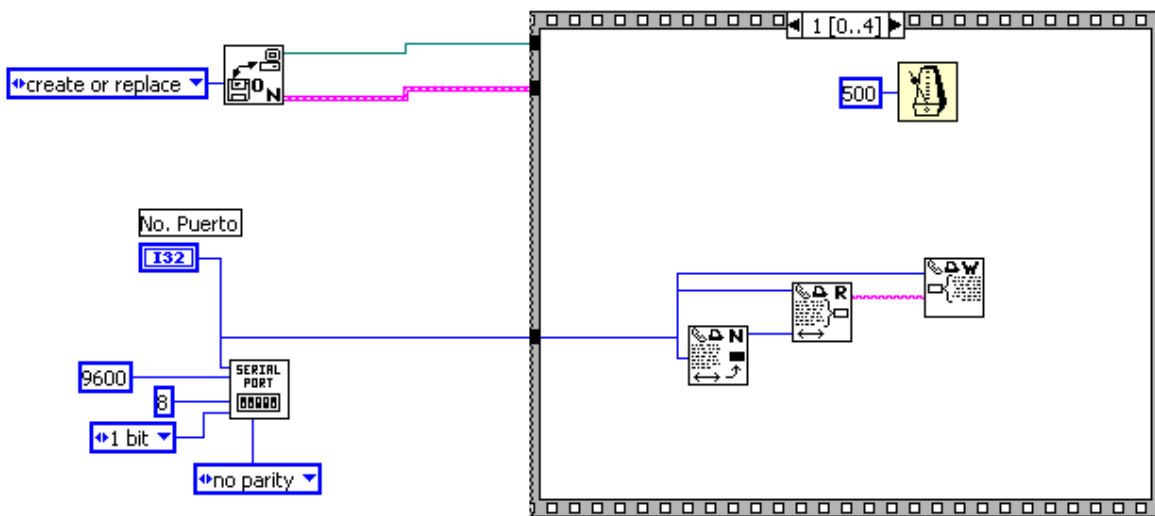


Figura 5.30. Recepción y envío dato de reconocimiento en forma de eco

El tercer paso cuenta dos bytes en el puerto y los lee, los separa usando la función **Index Array.vi**, sus valores se despliegan en los indicadores **No. Práctica** Y **No. Datos** respectivamente.

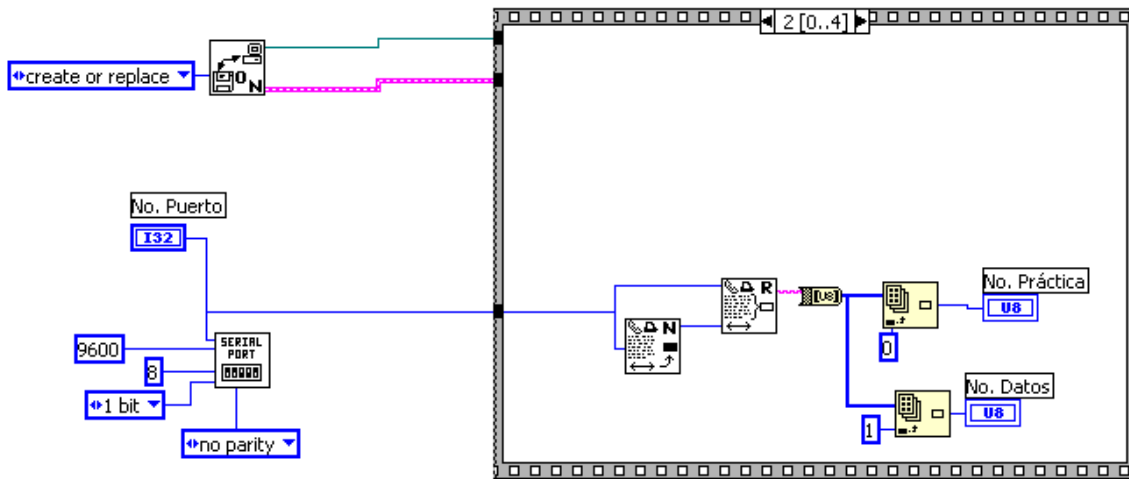


Figura 5.31. Recepción de número de práctica y datos.

En cuarto lugar se envía por el puerto el código ascii de “Y” a la unidad de lectura y se da una espera de 500ms.

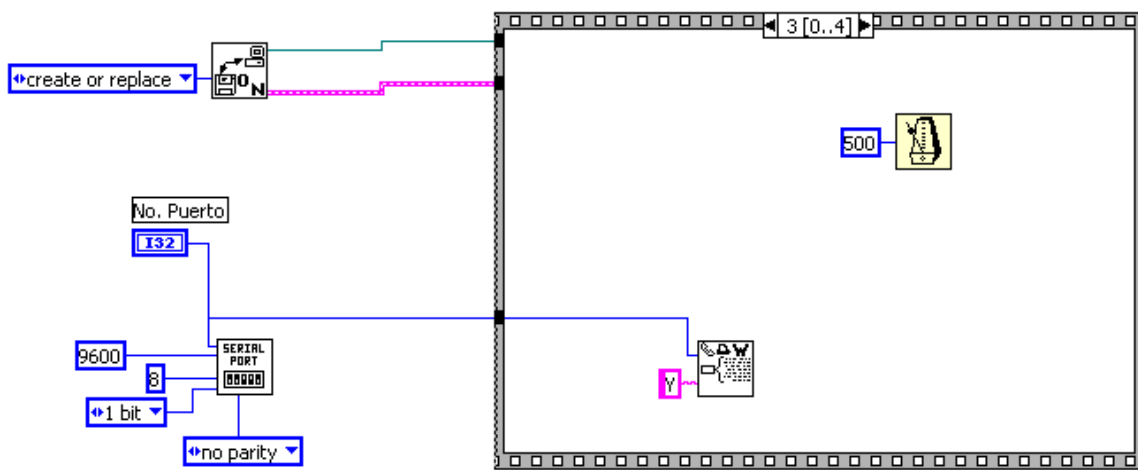


Figura 5.32. Envío de código de reconocimiento

Posteriormente, se realizan varias operaciones simultáneas:

1. Etiquetar la tabla, con el número de práctica, y un título para cada columna correspondiente a cada dato:

**Dato      Plano A    Plano B**

Esto se hace mediante las funciones: **Write File.vi**, que escribe en el archivo seleccionado por el usuario, y **Format Into String.vi** que concatena los datos como una cadena de caracteres.

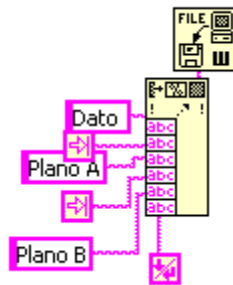


Figura 5.33. Formato de encabezado de la tabla que almacena los datos.

2. Realizar cíclicamente la adquisición de cada pareja de datos de inclinación, decodificarla a sus valores en grados, escribirlos en la respectiva columna de la tabla. El proceso anterior se repite en cada iteración para cada plano como la segunda parte de una secuencia. Finalmente después de adquirir un par de datos (4 bytes) se envía la diferencia entre el número de datos y el contador de iteraciones.

La adquisición se realiza de nuevo con la función **Serial Port Read.vi**, la decodificación se efectúa con **Index Array.vi** y **Array subset.vi** que separan los dos bytes, y luego los nibles respectivamente.

Posteriormente estas cifras se convierten a su equivalente en decimal y se suman para obtener el valor de inclinación (se multiplica las décimas por 0.1, las unidades por 1, las decenas por 10, se suman y se multiplican por 1 ó -1, dependiendo del bit de signo), los valores de inclinación se escriben en sus respectivas posiciones en una línea de la tabla.

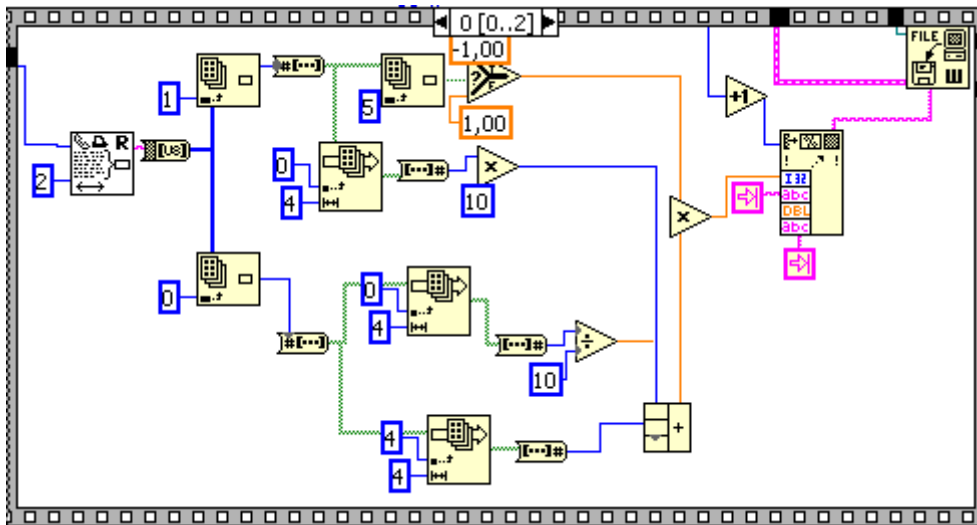


Figura 5.34. Recepción y conversión del dato de inclinación correspondiente al plano A

La siguiente parte de la secuencia es una réplica que repite las operaciones para los siguientes dos bytes correspondientes al plano B; de nuevo inclinación, seno y coseno se calculan y se escriben en la tabla completando una la línea de esta.

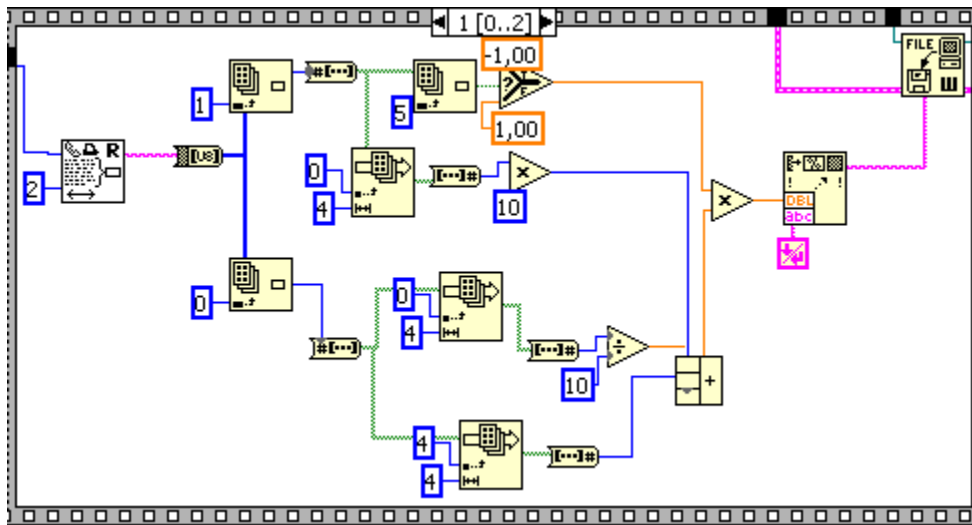


Figura 5.35. Recepción y conversión del dato de inclinación correspondiente al plano B

La última parte de esta secuencia es enviar el valor de la diferencia entre el número de datos y el contador del ciclo.

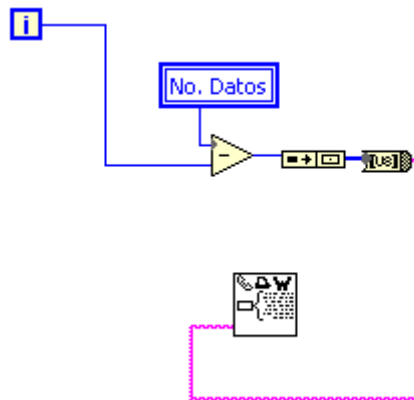


Figura 5.36. Envío del número del dato recibido para verificación

Cuando ha terminado la comunicación con la unidad de lectura, el programa abre momentáneamente el archivo en el que se han almacenado los datos para que el usuario pueda verlos.



Una vez se haya completado la ejecución del programa de adquisición de datos, en conjunto con la unidad de lectura, se tendrán todos los valores de inclinación guardados en el archivo elegido por el usuario.

A continuación se ilustra el panel frontal:

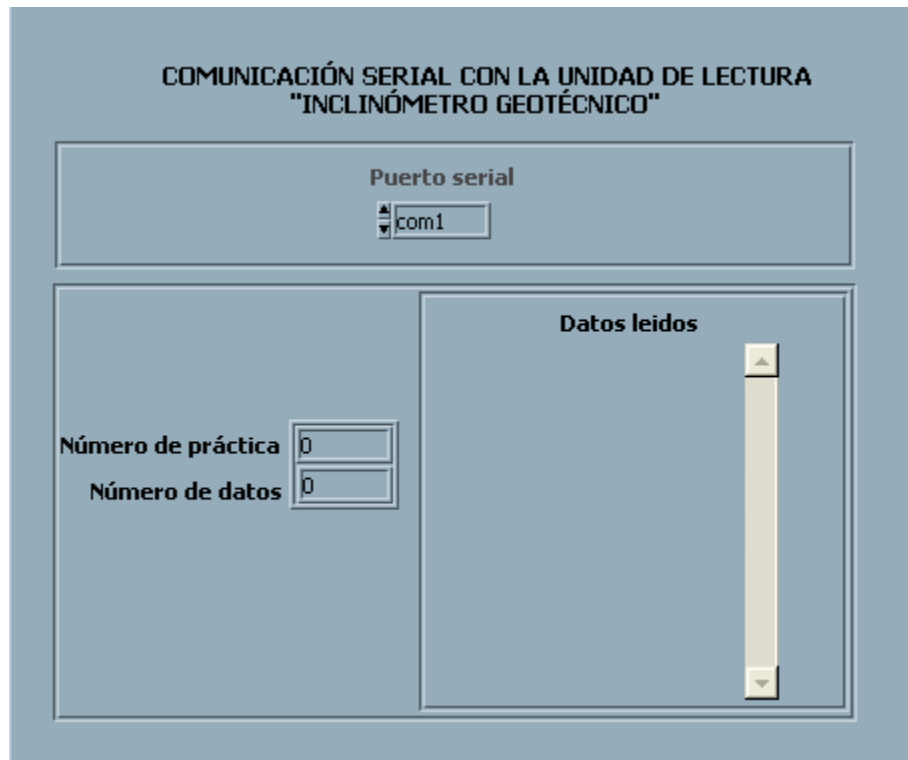


Figura 5.37 Panel frontal del programa de adquisición de datos

#### 5.4.2 Reconstrucción del perfil del tubo

El siguiente paso es la reconstrucción gráfica de los perfiles de los dos planos del tubo; con este objetivo, se elaboró el programa **Análisis.vi** que utiliza la información obtenida por **Adquisición.vi**, con el fin de graficar por segmentos los dos planos del tubo.

Existen tres tipos principales de análisis que suelen hacerse para uno o varios conjuntos de datos: **Desplazamiento Acumulado**, **Desviación Acumulada** y **Checksum**.

El desplazamiento acumulado reconstruye el perfil actual del tubo usando un solo conjunto de datos de la siguiente forma:

Como se supone que el primer dato almacenado corresponde al fondo del tubo flexible, éste debe ser el primero en tenerse en cuenta, así se conocerá el desplazamiento del fondo del tubo mediante las relaciones:

$$X_1 = d \cdot \sin \theta_1 \text{ y } Y_1 = d \cdot \cos \theta_1$$

Siendo X y Y los desplazamientos horizontal y vertical respectivamente, d el intervalo de sondeo escogido por el usuario y  $\theta$  el ángulo de inclinación. El siguiente segmento del tubo debe sumarse algebraicamente al anterior porque los desplazamientos son continuos, y así sucesivamente; por lo tanto para un valor de inclinación en la posición i, desde el último dato hasta el primero, se tendrá:

$$X_i = d \cdot \sin \theta_1 + d \cdot \sin \theta_2 + \dots + d \cdot \sin \theta_i$$

$$Y_i = d \cdot \cos \theta_1 + d \cdot \cos \theta_2 + \dots + d \cdot \cos \theta_i$$

En forma general:

$$x_i = \sum_{j=1}^i d \cdot \sin \theta_j$$

$$y_i = \sum_{j=1}^i d * \cos \theta_j$$

Entonces el perfil del tubo en un plano para n datos, se tendrá uniendo estos puntos en una gráfica desde  $i = 1$  hasta  $i = n$ . El sub-programa **Acumulados.vi** realiza esta reconstrucción punto por punto mediante un ciclo en el que se calcula cada término, se acumula y se ubica en una gráfica X Y. De la forma:

$$X_i = X_{i-1} + d * \sin \theta_i$$

$$Y_i = Y_{i-1} + d * \cos \theta_i$$

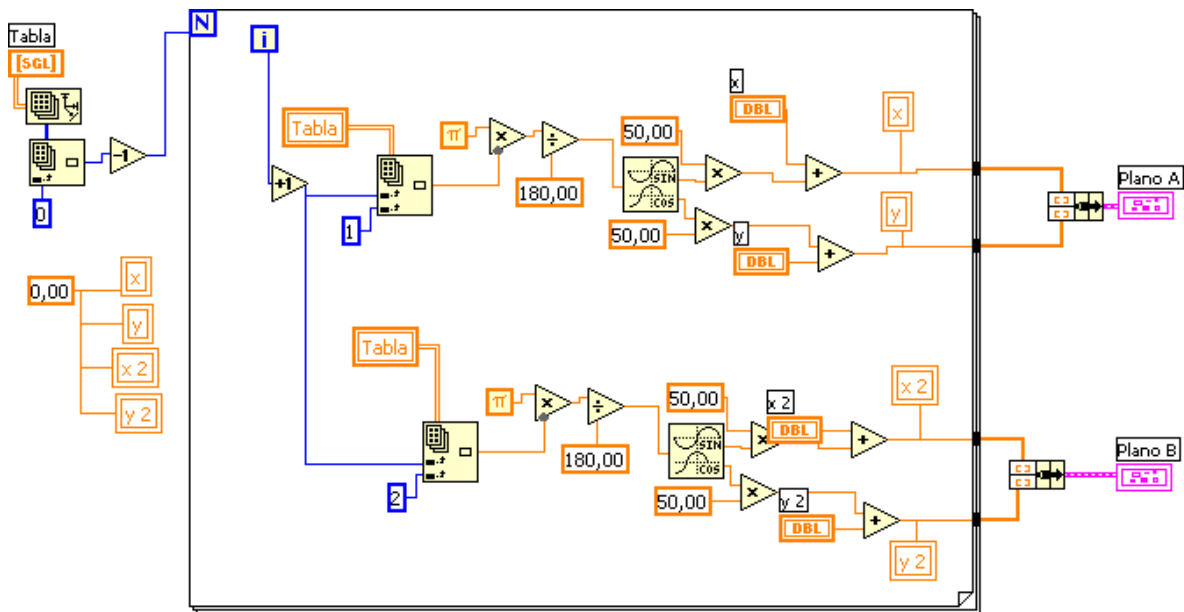


Figura 5.38. Construcción de la gráfica de desplazamientos acumulados

Se realiza un acumulado y una gráfica para cada plano, una vez recorrida la totalidad de los datos se da por terminada la ejecución del sub-programa. El tipo de análisis Desviación Acumulada recurre a una reconstrucción similar a la de

Desplazamiento pero solo grafica la diferencia de distancia entre el perfil actual y el perfil original del tubo, es decir representa los desplazamientos resultantes. El análisis Checksum se hace para corroborar un conjunto de datos obtenidos, debe realizarse inmediatamente realizada la práctica, representando así el error cometido. El programa llamado análisis.vi utiliza el subprograma acumulados.vi para realizar los dos primeros tipos de gráficas y también puede realizar checksum. El usuario debe elegir el tipo de análisis y el número de gráficas que desea superponer, dependiendo de éstos parámetros elegidos se ejecutan los siguientes pasos:

**OPCION No 1: Desplazamientos Acumulados**

La primera secuencia solicita la ruta del archivo donde se encuentran los datos que el usuario desea graficar.

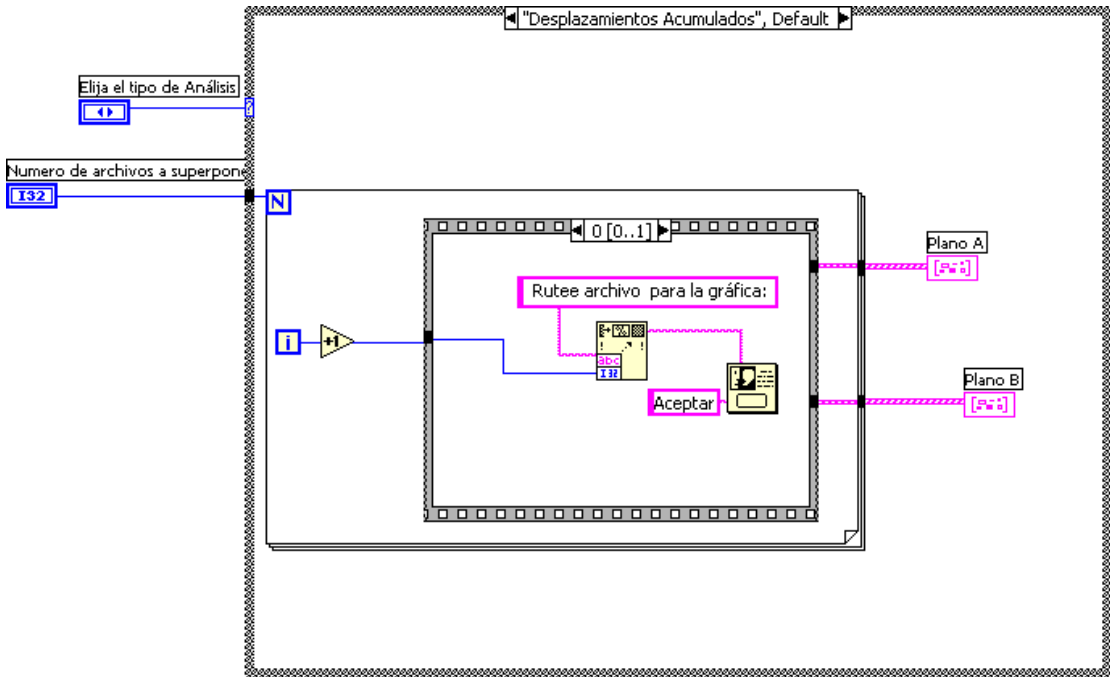


Figura 5.39. Solicitud de ruta de archivo para gráfica de desplazamientos acumulados

La segunda parte de la secuencia nos permite graficar los datos utilizando el subprograma Acumulados.vi.

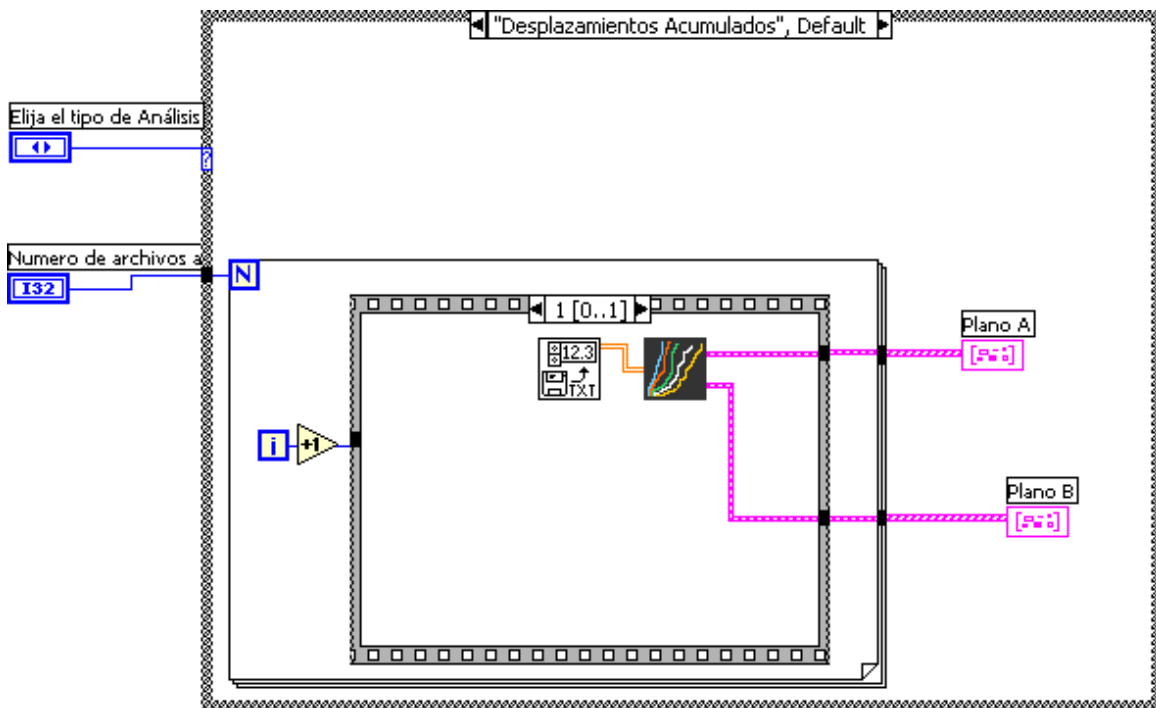


Figura 5.40. Realización de la gráfica por medio del sub-vi Acumulados.vi.

Los pasos anteriores se repiten, teniendo en cuenta el número de gráficas que desee superponer el usuario.

## OPCION No 2: Desviaciones Acumuladas

En los cuatro primeros pasos de la secuencia se solicitan los archivos inicial y actual.

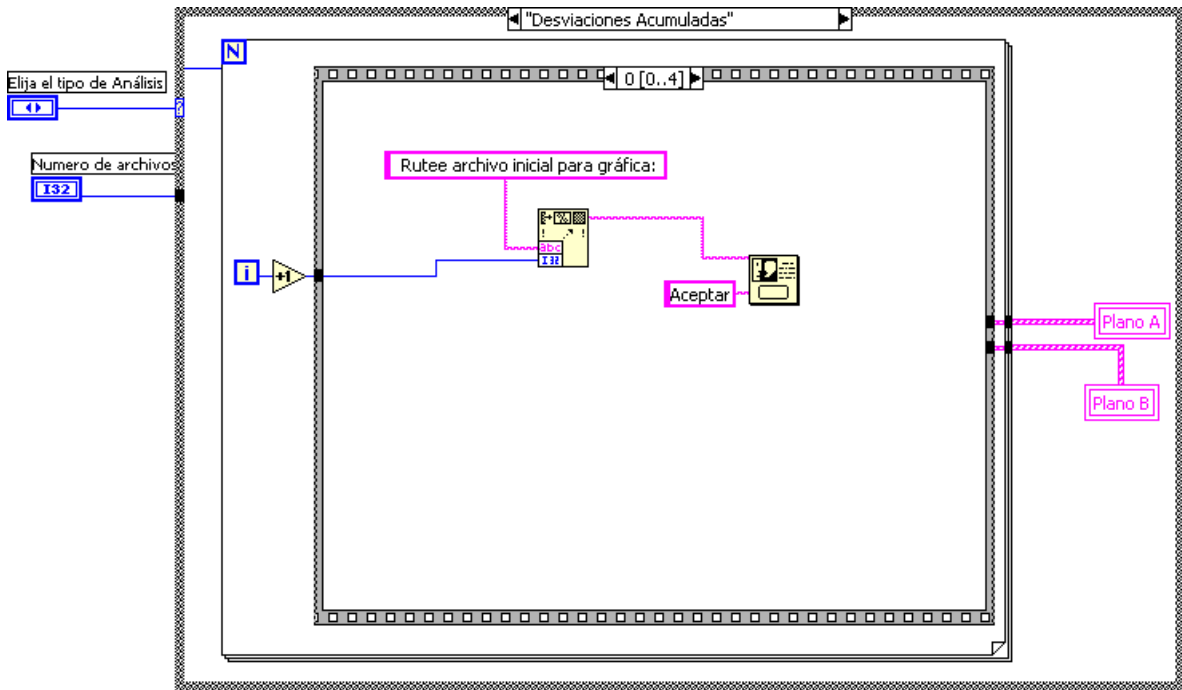


Figura 5.41. Solicitud de ruta para archivo inicial

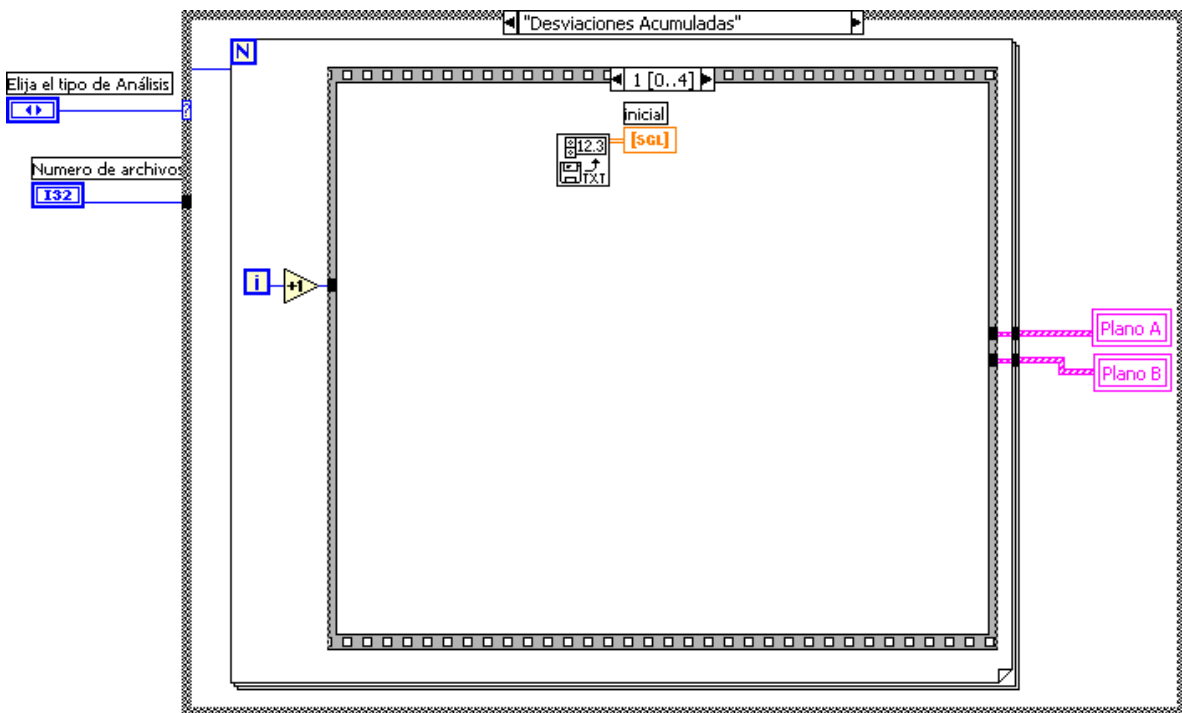


Figura 5.42. Apertura del archivo "inicial" ruteado.

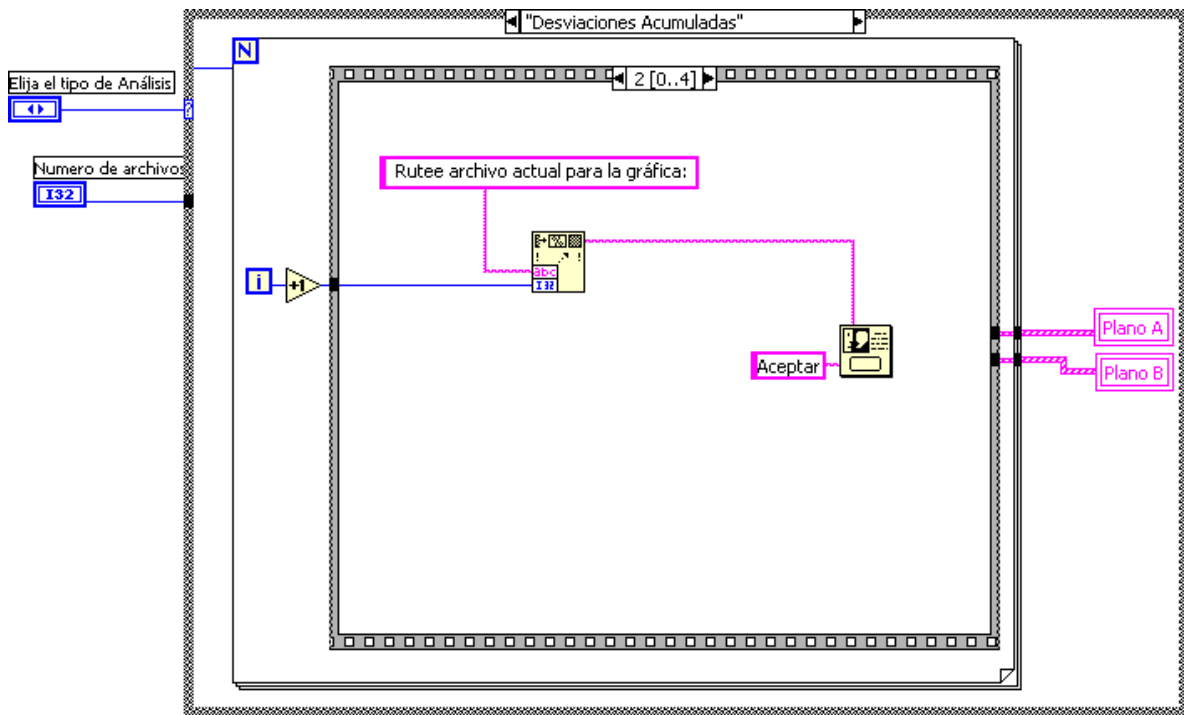


Figura 5.43. Solicitud de ruta para archivo actual.

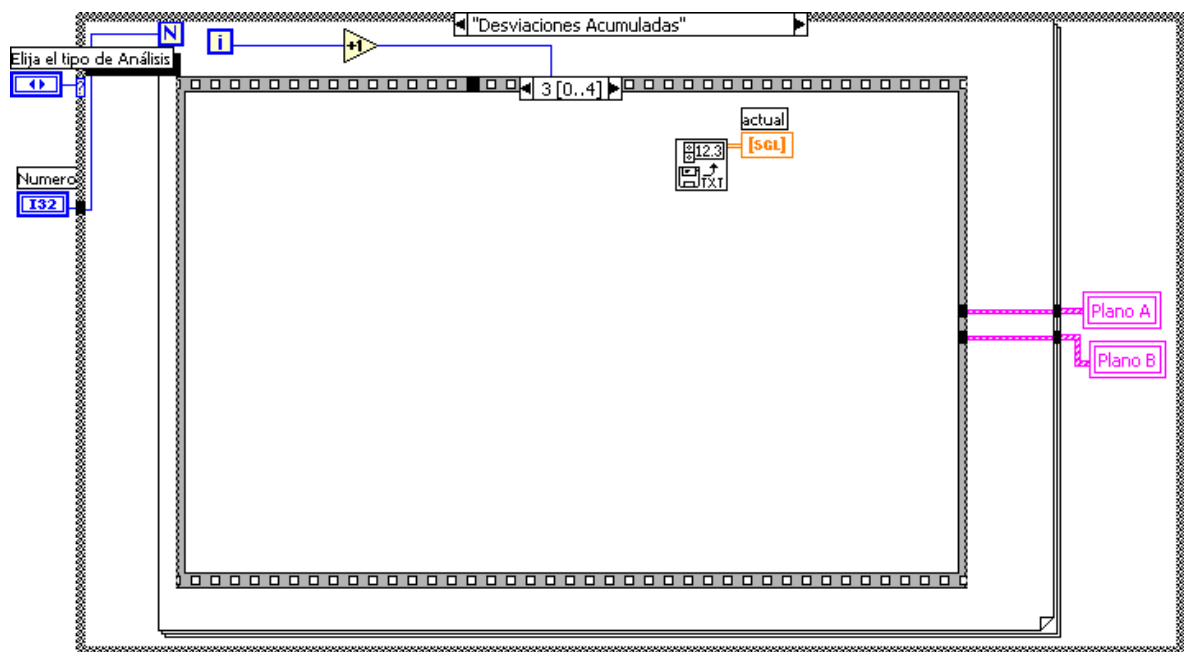


Figura 5.44. Apertura del archivo "actual" ruteado.

Luego se compara el número de datos de ambos archivos (actual e inicial); en caso de que sea diferente, la grafica no se traza; en caso contrario se realiza la diferencia de valores de los archivos actual e inicial, y se envían al subvi Acumulados.vi para que realice la grafica. La secuencia se repite teniendo en cuenta el número de gráficas a superponer elegidas por el usuario.

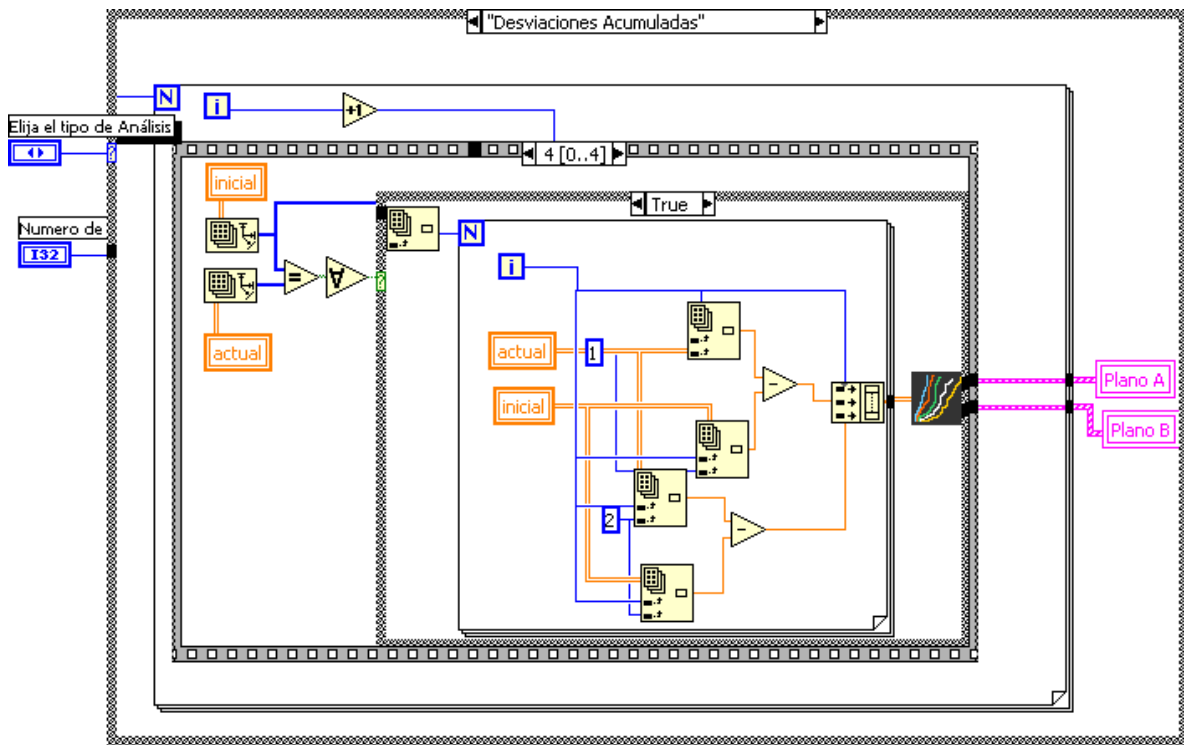


Figura 5.45. Cálculo de las diferencias y elaboración de la gráfica con Acumulados.Vi

### OPCION No 3: Checksum

El checksum debe efectuarse entre dos sondeos consecutivos. Las primeras cuatro partes de la secuencia, solicitan el ruteo de los archivos.



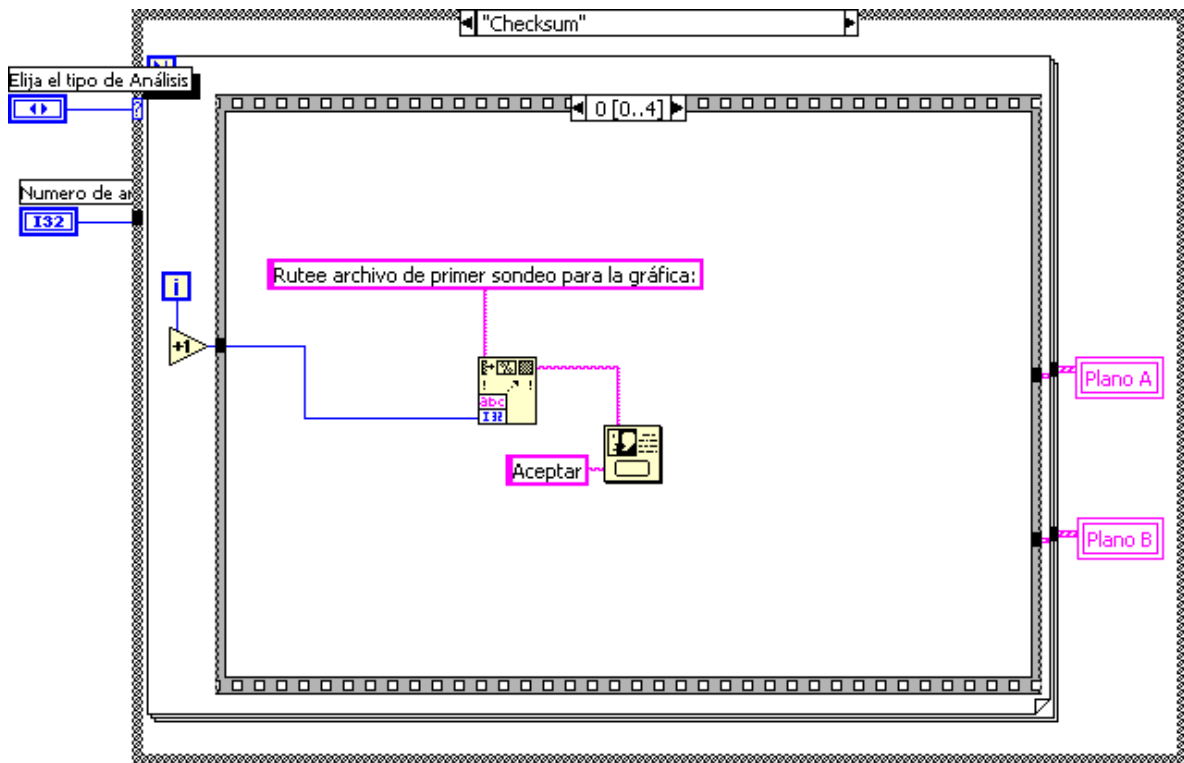


Figura 5.46. Solicitud de ruta para "primer" archivo

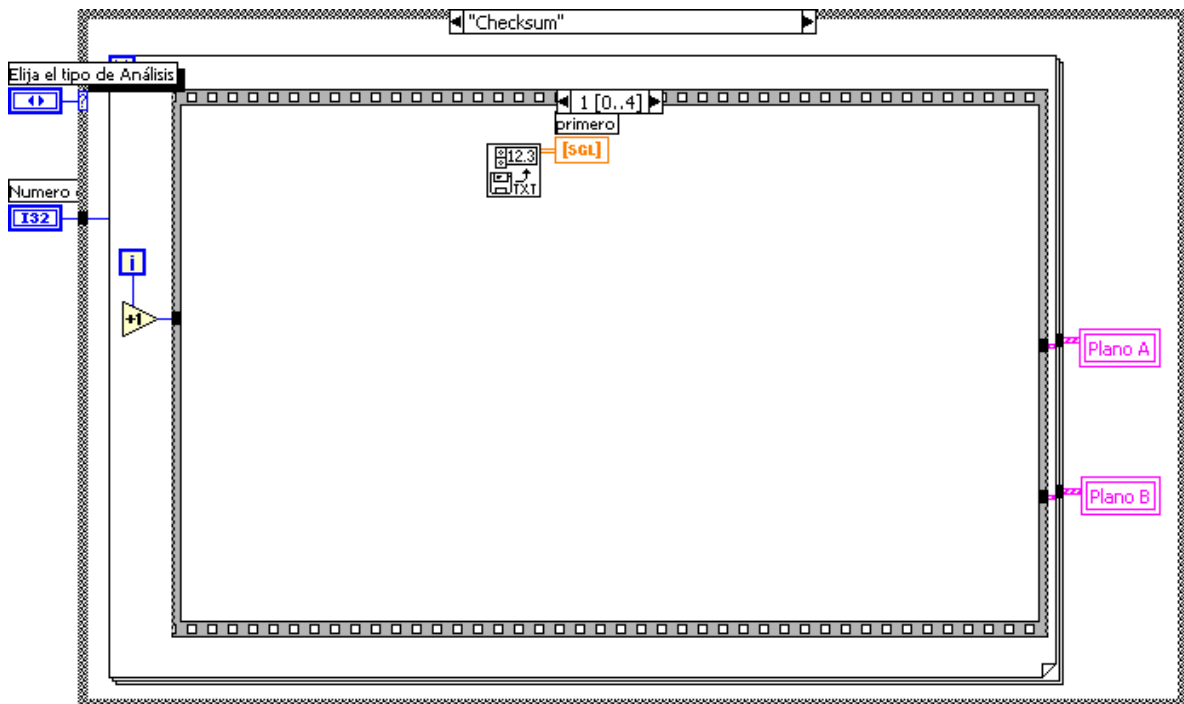


Figura 5.47. Apertura del "primer" archivo ruteado

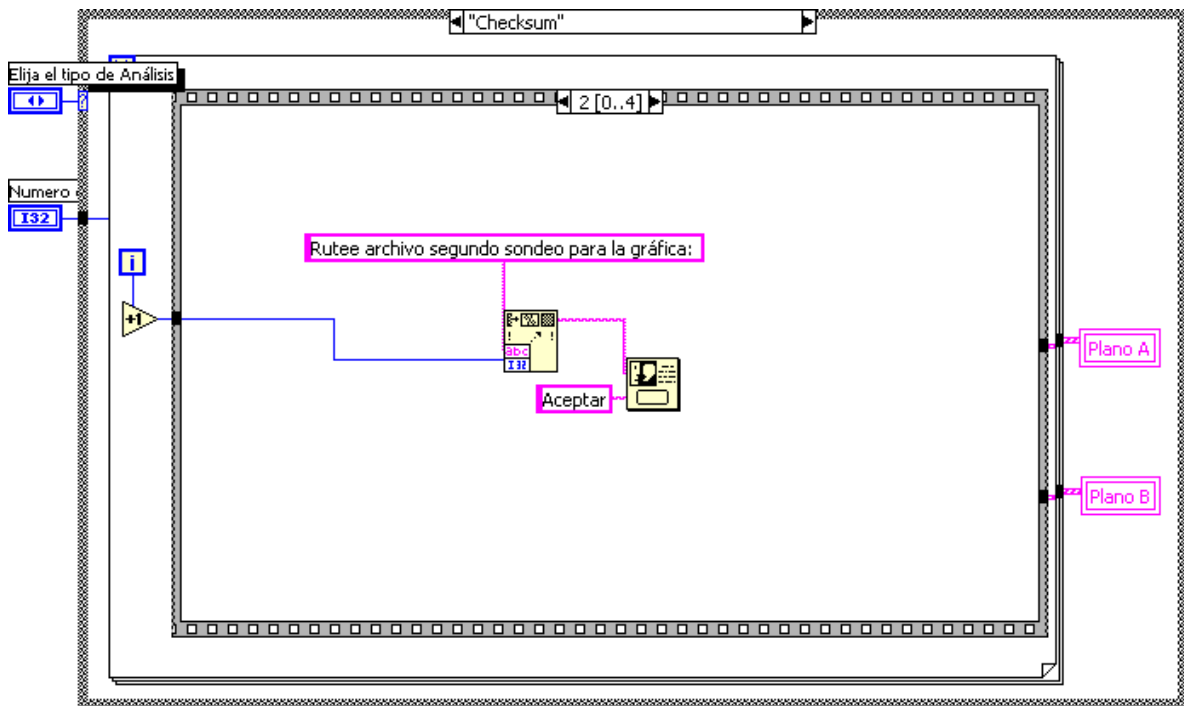


Figura 5.48. Solicitud de ruta para “segundo” archivo

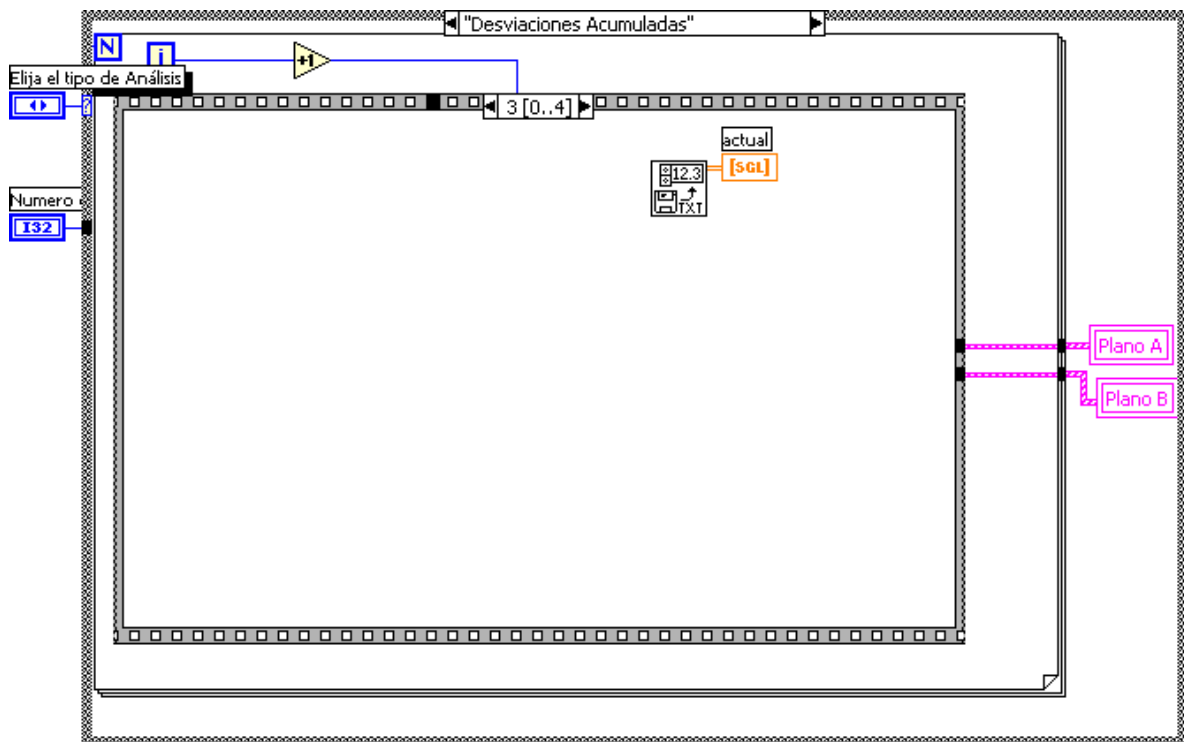


Figura 5.49. Apertura del “segundo” archivo ruteado

El quinto paso de la secuencia, compara el número de datos de los archivos inicial y actual; si son diferentes, la gráfica no se puede trazar. Si son iguales se suman uno a uno los datos correspondientes de los archivos.

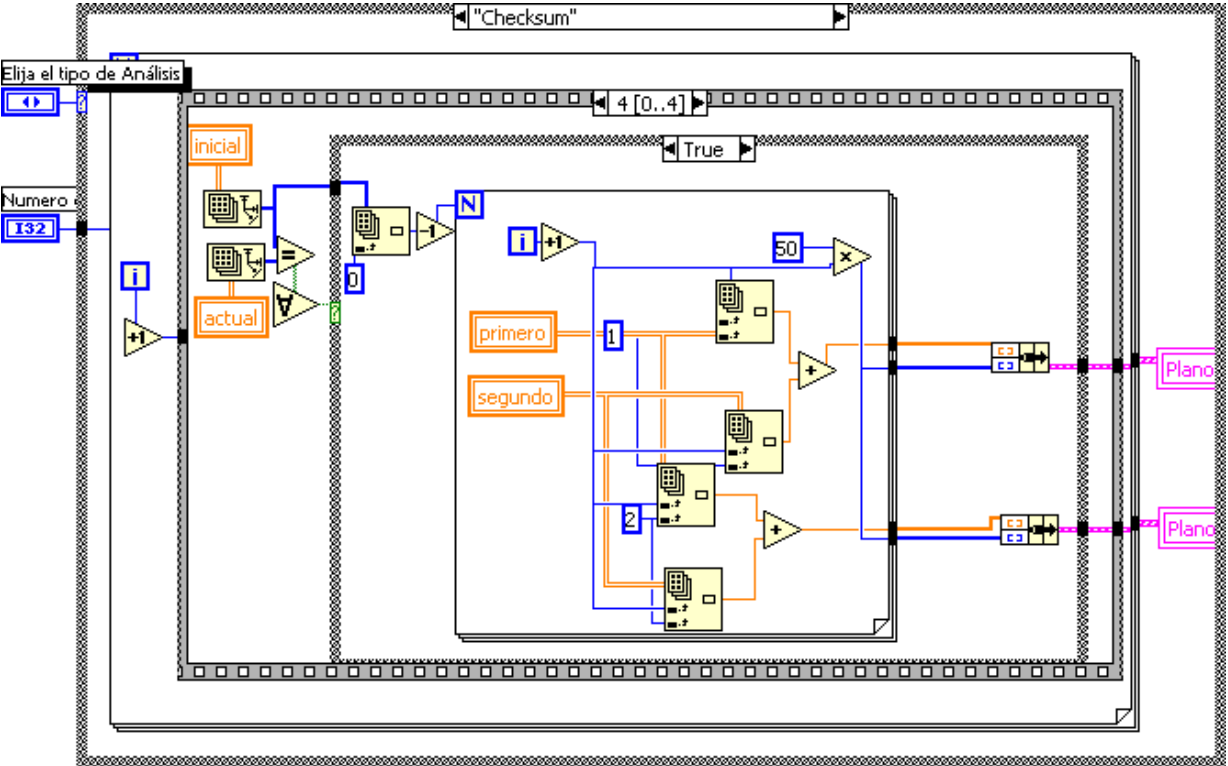


Figura 5.50. Calculo del “checksum” y elaboración de la gráfica

A continuación se presenta el panel frontal del programa **Análisis.vi**.

Este VI posee dos controladores y dos indicadores; a través de uno de los controles el usuario elige que tipo de análisis desea realizar, desplazamientos acumulados, desviaciones acumuladas o checksum, mediante el otro elige el número de archivos a superponer.

En los indicadores el usuario visualiza una gráfica en cada plano de inclinación, o las que haya elegido.

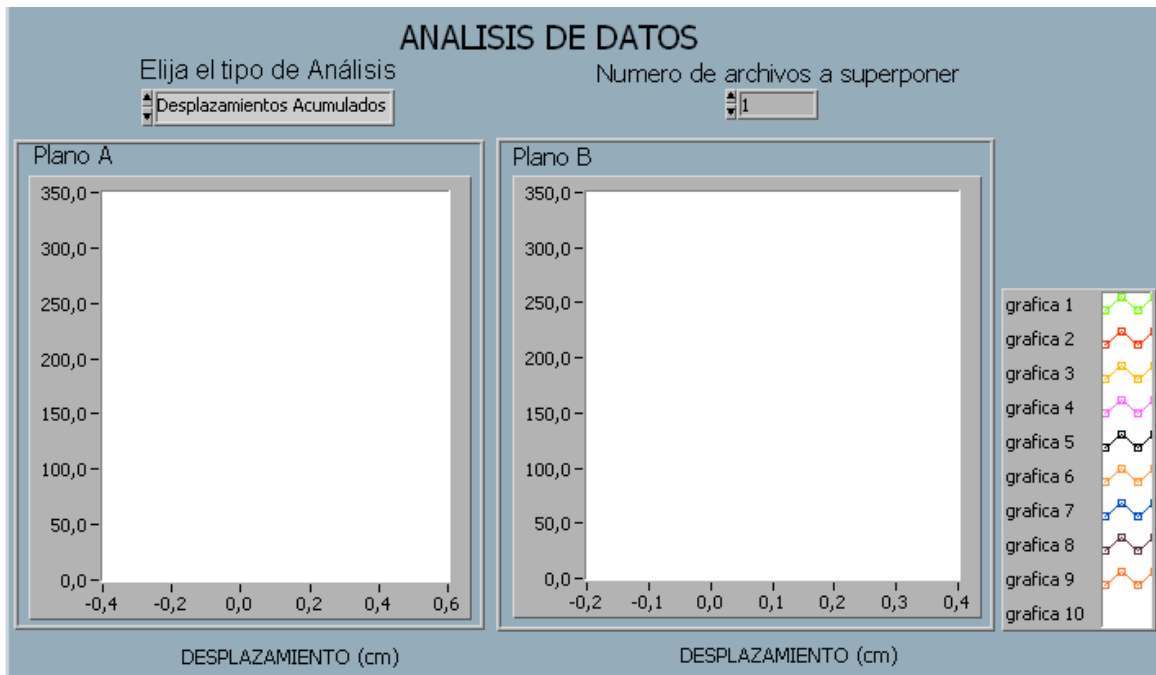


Figura 5.51 Panel frontal del programa de análisis de datos.

## 5.5 ENSAMBLAJE FINAL

Una vez elaborada cada una de las partes, se realizó la conexión de la unidad de lectura con la sonda de inmersión.



Figura 5. 52 Equipo completo

## 6. CALIBRACIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

### 6.1 CALIBRACIÓN

Se procedió a calibrar el equipo teniendo en cuenta dos parámetros:

- ✓ ajuste de cero
- ✓ Ajuste de ganancia

El ajuste de cero implica identificar la posición vertical de cada sensor, es decir garantizar que en el momento que la sonda esté suspendida libremente del cable éste registrará una inclinación de  $0.0^\circ$ ; éste ajuste se realizó en dos etapas:

1. Ajuste mecánico del sensor: cada sensor posee un aro que permite su rotación hasta encontrar la posición adecuada para luego fijarlo.

La posición cero se calibró de forma visual, con ayuda de un nivel y una plomada.



Figura 6.1 Sensor de inclinación

2. Ajuste electrónico: una vez realizado el ajuste mecánico, se procedió a regular el offset por medio de los potenciómetros (uno para cada sensor) los cuales se adecuaron manualmente hasta obtener el cero.

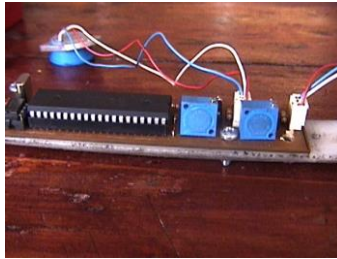


Figura 6.2 Potenciómetros de ajuste

Para el ajuste de ganancia se dispuso un plano inclinado variable sobre una mesa previamente nivelada; en el cual se ubicó la sonda de inmersión de tal forma que el plano de las ruedas (plano A), fuese perpendicular a la superficie del plano; de ésta manera el sensor 1 registró la inclinación del plano, luego se varió el ángulo de inclinación varias veces obteniéndose diferentes valores; finalmente se realizó una calibración por software de estos valores. Esta operación se repitió colocando la sonda de forma que el plano de las ruedas fuese paralelo a la superficie del plano, y así se obtuvo la calibración del sensor 2.

Teniendo en cuenta que el mínimo valor registrado por el plano inclinado es de  $1^\circ$ , se considera que su incertidumbre es la mitad de la escala, o sea  $0.5^\circ$ ; lo cual significa que cada valor real del plano que se toma como referencia se encuentra en el rango de: **valor de referencia  $\pm 0.5^\circ$** .

<b>PLANO INCLINADO (°)</b>	<b>INCLINACION SENSOR 1(°)</b>	<b>INCLINACION SENSOR 2 (°)</b>
10	+10.3	+10.4
-20	-19.5	-19.6
+30	+30.0	+29.8
-15	-15.2	-15.1
+5	5.2	5.1
0	0.1	0.0
-5	-4.9	-5.1
-10	-9.7	-9.8
15	14.9	15.1
20	20.1	20.1
25	25.1	24.9
-30	-29.8	-30.0
-25	-24.8	-24.9

Tabla 6.1 Valores obtenidos

Como todos los valores obtenidos por los sensores, se encuentran dentro del rango de confiabilidad del plano, se puede concluir que la incertidumbre del instrumento no es mayor de  $0.5^\circ$  sin realizar ningún ajuste; sin embargo esta calibración no es adecuada para un instrumento que tiene una resolución de  $0.1^\circ$ , ya que la máxima incertidumbre debe ser de  $0.05^\circ$ , por lo tanto es necesario contar con un instrumento de calibración que posea como mínimo la misma resolución del instrumento a calibrar. Es de anotar, que hasta la fecha de entrega de este trabajo, no ha sido posible acceder a un instrumento de éstas características, por lo que una calibración exhaustiva del inclinómetro se considera aún un proyecto a realizar a corto plazo, recurriendo a una empresa especializada en éste campo.



## 6.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS OBTENIDOS

Una vez llevada a cabo la calibración provisional del instrumento, se procedió a hacer una prueba de funcionamiento que involucre todas las herramientas desarrolladas; con éste fin el director de éste proyecto diseño un proceso de prueba consistente en dibujar una serie de segmentos de recta, de longitud igual a la distancia entre las ruedas de la sonda, a diferentes inclinaciones medidas con un transportador respecto a una recta vertical trazada con ayuda de un nivel, en un papel continuo pegado en una pared vertical, simulando un tubo deformado; luego se ubicó por encima del trazo la sonda, con el plano de las ruedas paralelo a la pared, siguiendo la orientación de cada segmento para simular que se adaptó la forma del tubo y guardando cada dato en un banco memoria del equipo, se tomaron tantos datos como segmentos trazados, recorriendo el perfil de abajo hacia arriba; de éste modo el valor registrado en el plano A debe representar la inclinación de los segmentos (en este momento la medida del plano B no es relevante ya que estas inclinaciones solo se dan en las dos dimensiones del plano de la pared), la prueba se repitió colocando la sonda con la ruedas perpendiculares a la pared para que las inclinaciones sean registradas en el plano B, ésta vez los datos se almacenaron en otro banco de memoria.

Para la prueba realizada se usaron los bancos 1 y 2 respectivamente y se dibujó el siguiente perfil a escala:

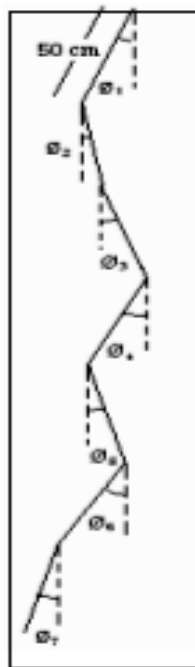


Figura 6.3. Esquema para prueba de funcionamiento

**COMUNICACIÓN SERIAL CON LA UNIDAD DE LECTURA  
"INCLINÓMETRO GEOTÉCNICO"**

Puerto serial  
com1

Número de práctica: 1  
Número de datos: 7

**Datos leídos**

Dato	PlanoA	PlanoB
1	14,9	-0,5
2	29,6	0,0
3	-15,3	-2,2
4	24,8	3,5
5	-19,7	-0,2
6	-10,3	0,3
7	22,0	1,5

Figura 6.4 Adquisición de datos prueba plano A



Figura 6.5 Adquisición de datos prueba plano B

Una vez almacenados se adquirieron los datos de las dos prácticas ejecutando igual número de veces el programa Adquisición.vi, como se indica en las figuras 6.4 y 6.5.

La parte final de la prueba consistió en realizar un análisis de Desplazamientos acumulados por medio del programa Analisis.vi para obtener las gráficas de reconstrucción del perfil original por parte de los dos sensores, los resultados fueron:

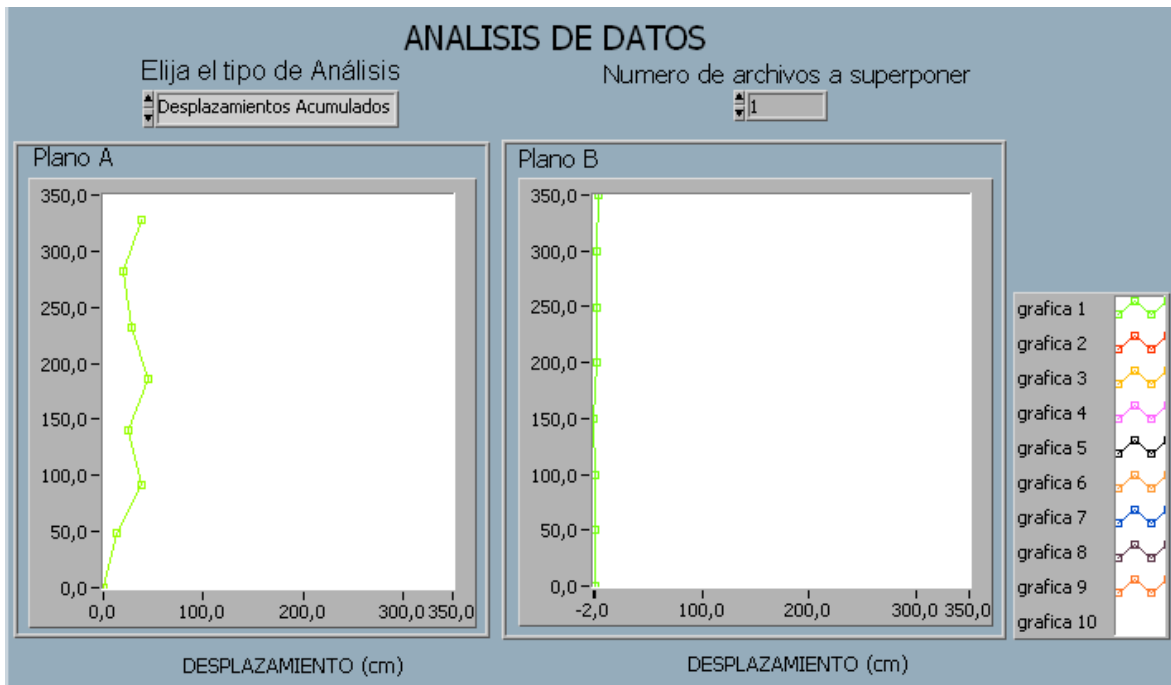


Figura 6.6. Reconstrucción perfil Plano A

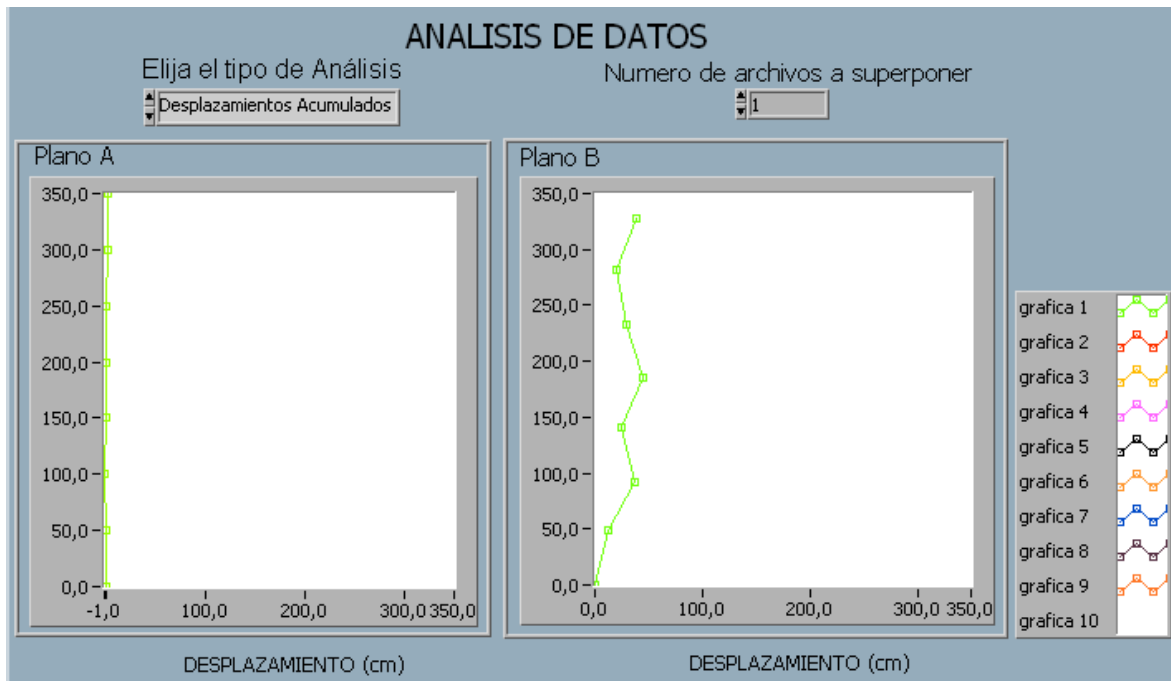


Figura 6.7 Reconstrucción perfil plano B

Como se puede apreciar, la reconstrucción del perfil se dio con gran fidelidad, lo que demuestra el éxito de la prueba.

Después de realizar ésta parte se llevó a cabo la verificación de los datos adquiridos de cada plano, por medio de la gráfica de checksum; para esto se repitió la toma de los conjuntos de datos en las prácticas 3 y 4, pero ésta vez rotando la sonda  $180^\circ$  de su posición original, de éste modo la inclinación se registra con el mismo sensor pero en sentido invertido es decir los ángulos positivos ahora son negativos y viceversa. De nuevo se adquirieron los datos:

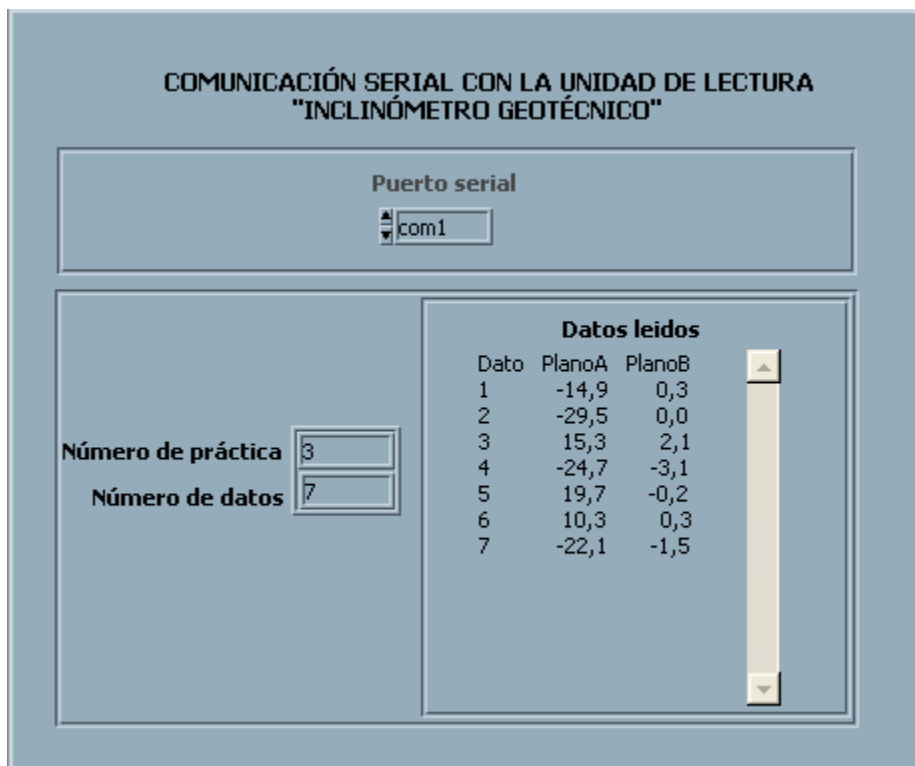


Figura 6.8 Datos adquiridos para verificación plano A girado  $180^\circ$

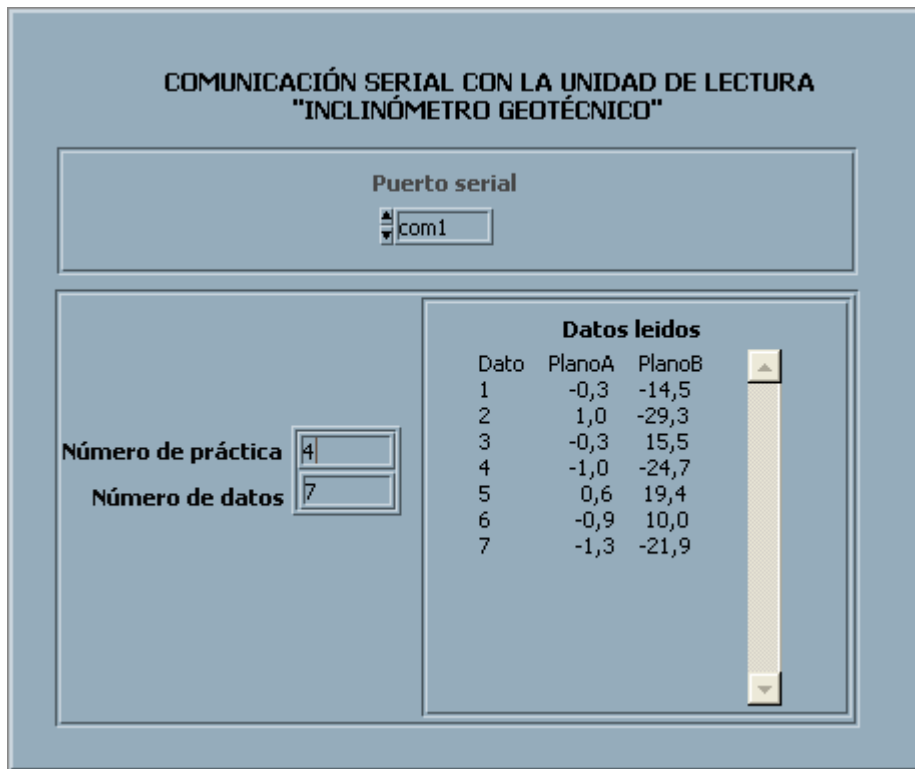


Figura 6.9 Datos adquiridos para verificación plano B girado 180°

Una vez adquiridos, se realizó la gráfica de checksum..

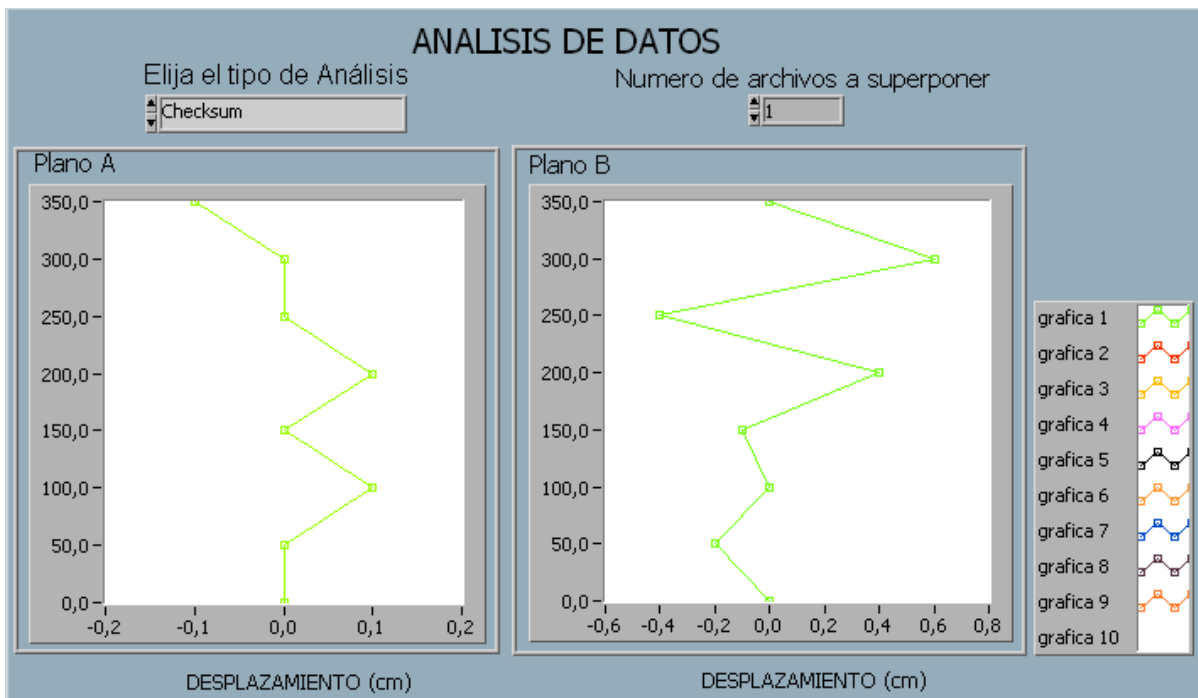


Figura 6.10 Checksum plano A

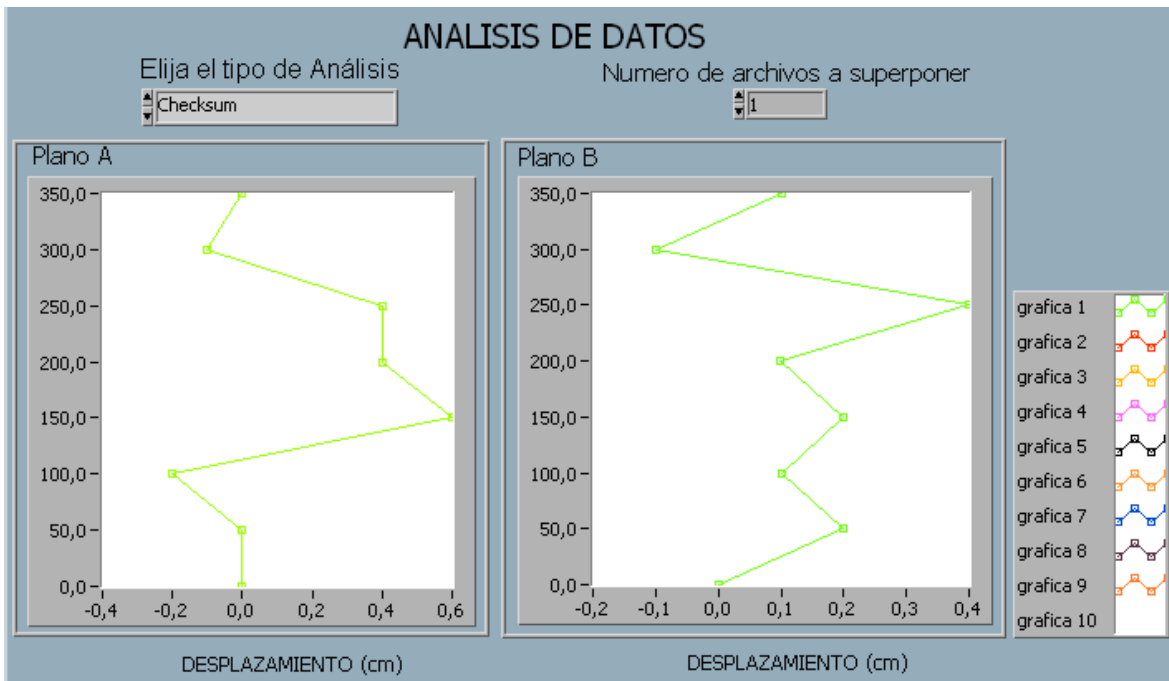


Figura 6.11checksum plano B

Los resultados obtenidos arrojan un error máximo de  $0.4^{\circ}$ , típico para éste tipo de prácticas.

De nuevo, se debe aclarar que una prueba rigurosa para el instrumento, implicaría una práctica de campo usando un tubo flexible, con el cual no se cuenta por el momento [9].

## 7. CONCLUSIONES

- ✚ Se diseñó e implementó un completo instrumento de medición, con su respectivo soporte de software, capaz de determinar con buena precisión deformaciones laterales, hecho que constituyó el objetivo principal en el momento de justificar el presente proyecto.
- ✚ Se logró aplicar los conocimientos adquiridos en el programa de ingeniería física, en el área de instrumentación y control en un proyecto concreto para solucionar un problema específico, como lo es la carencia de un Inclínómetro Geotécnico, considerado tecnología fuera del alcance regional.
- ✚ Se llevó a cabo la construcción de un equipo de medición a bajo costo sin renunciar a los niveles de precisión y calidad, lo que implica su competitividad en el mercado con los existentes actualmente.
- ✚ Se demostró que el ingeniero físico está en capacidad de readaptar tecnología sin renunciar a los niveles de calidad, aplicando sus conocimientos en el campo de los transductores y la instrumentación, lo cual le proporciona una identidad ante los demás profesionales.



- ✚ Se elaboró un prototipo inicial, factible a modificaciones a corto plazo que deja abierta la posibilidad de hacer empresa ante las potencialidades comerciales que ofrece el equipo, con otras universidades, empresas de instrumentación y profesionales de nuestra zona.

$$V_{out} = V_{ref} + V_{ref} \cdot \frac{R2}{R1} - V_{in} \cdot \frac{R2}{R1}$$

$$V_{out} = V_{ref} - G (V_{in} - V_{ref}),$$

## BIBLIOGRAFÍA

- [1]. **Rico A del Castillo E**, *Ingeniería de suelos en las vías terrestres*.
- [2]. **Donald P. Coduto**, *Geotechnical Engineering Principles*, Upper saddle river.
- [3]. **Abramson L.w.**, *Slope Stability and Stabilization methods*, 1997.
- [4]. **Rodríguez Mata. Antonio**, “*Sistemas de medida y regulación*“, Editorial paraninfo 2000.
- [5]. “small inclinometer for inclination for measurement”.  
<http://seika.de/english/index.htm>
- [6]. **Blanco Urrutia F.A y Alvarenga E.R**, “Monitoreo inclinométrico taludes”, Republica del Salvador, Agosto2003.  
[www.mop.gob.sv/vid/Articulospublicaciones/documentos/taludes/inclino.pdf](http://www.mop.gob.sv/vid/Articulospublicaciones/documentos/taludes/inclino.pdf)
- [7]. **National Instruments**, “*Labview Básico I, Manual del curso*”.
- [8]. Data sheet. PIC18F452. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/device/doc/39564b.pdf> , 09-05-03.
- [9]. Data sheet PIC16F877 <http://www1.microchip.com/downloads/en/device/doc/80165a.pdf> , 01-08-01
- [10]. “Inclinometer casing”, slope indicator  
<http://www.slopeindicator.com/instruments/inclin-casing.html>. 02-05-04
- [11]. “Low-power-slewrates-limited rs-485/rs-422-transceiver”, maxim-ic, 8/10/03  
<http://pdfserv.maxim-ic.com/en/df/MAX1487-MAX491.pdf>. 01-16-04
- [12]. **José Maria Angulo, Susana Romero, Ignacio Angulo**. Microcontroladores PIC16F877. Diseño práctico de aplicaciones. Mc Graw Hill.
- [13]. [http://www.datsi.fi.upm.es/docencia/Micro\\_C/eagle/tutorial-spa.pdf](http://www.datsi.fi.upm.es/docencia/Micro_C/eagle/tutorial-spa.pdf)

## ANEXO A. Análisis del circuito amplificador implementado

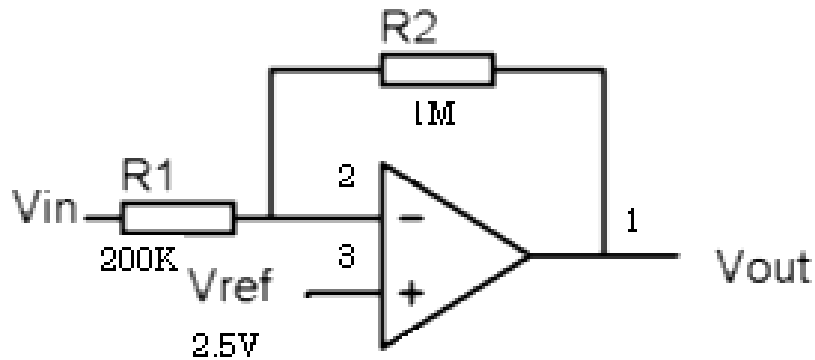


Figura 1. Circuito de Amplificación

$$V_{out} = V_{ref} - V_{inversor} \quad (1)$$

Aplicando el principio de superposición, se puede encontrar el voltaje en el pin inversor.

$$V_{inv} = V_{out} \cdot \frac{R1}{R1 + R2} + V_{in} \cdot \frac{R2}{R1 + R2}, \quad \text{reemplazando en la ecuación (1)}$$

$$V_{out} = (V_{ref} - (V_{out} \cdot \frac{R1}{R1 + R2} + V_{in} \cdot \frac{R2}{R1 + R2})) \cdot A$$

$$V_{out} + V_{out} \cdot \frac{R1 \cdot A}{R1 + R2} = (V_{ref} - V_{in} \cdot \frac{R2}{R1 + R2}) \cdot A$$

$$V_{out} \cdot (1 + \frac{R1 \cdot A}{R1 + R2}) = (V_{ref} - V_{in} \cdot \frac{R2}{R1 + R2}) \cdot A,$$

$$V_{out} \cdot (\frac{R1 + R2 + R1A}{R1 + R2}) = (V_{ref} - V_{in} \cdot \frac{R2}{R1 + R2}) \cdot A,$$

Teniendo en cuenta que  $R1A \gg R1 + R2$ ,

$$V_{out} \cdot \left( \frac{R1 \cdot A}{R1 + R2} \right) = \left( V_{ref} - V_{in} \cdot \frac{R2}{R1 + R2} \right) \cdot A$$

Simplificando A obtenemos:

$$V_{out} \cdot \left( \frac{R1}{R1 + R2} \right) = \left( V_{ref} - V_{in} \cdot \frac{R2}{R1 + R2} \right)$$

$$V_{out} = \left( V_{ref} - V_{in} \cdot \frac{R2}{R1 + R2} \right) \cdot \frac{(R1 + R2)}{R1}$$

$$V_{out} = V_{ref} \cdot \frac{(R1 + R2)}{R1} - V_{in} \cdot \left( \frac{R2}{R1 + R2} \cdot \frac{R1 + R2}{R1} \right)$$

$$V_{out} = V_{ref} \cdot \frac{(R1 + R2)}{R1} - \left( V_{in} \cdot \frac{R2}{(R1 + R2)} \cdot \frac{(R1 + R2)}{R1} \right)$$

$$V_{out} = V_{ref} + V_{ref} \cdot \frac{R2}{R1} - V_{in} \cdot \frac{R2}{R1}$$

$$V_{out} = V_{ref} + \frac{R2}{R1} (V_{ref} - V_{in})$$

$$V_{out} = V_{ref} - \frac{R2}{R1} (V_{in} - V_{ref})$$

## ANEXO B. Circuito de compensación de offset

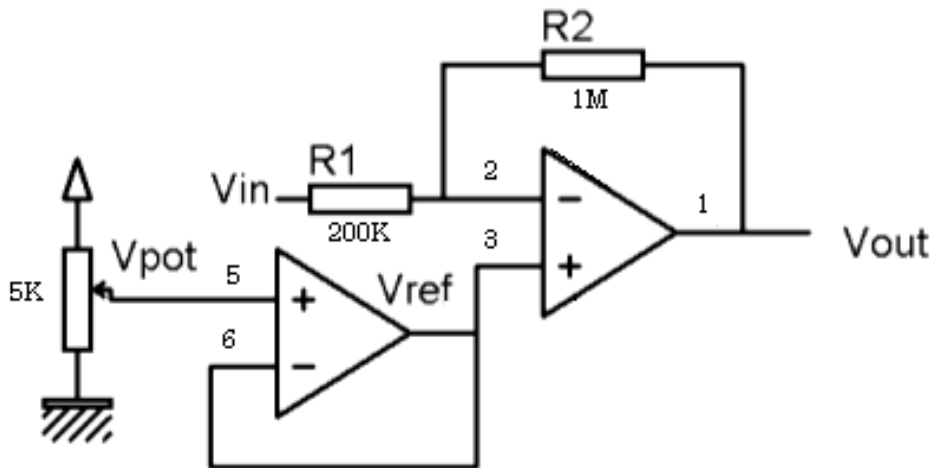


Figura 2. Circuito de compensación de offset

$$V_{out1} = (V_{pot} + V_{offset1}) \cdot 1$$

$$V_{out2} = (V_{out1} + V_{offset2} - (V_{out2} \cdot \frac{R1}{R1 + R2} + V_{in} \cdot \frac{R2}{R1 + R2})) \cdot A$$

$$V_{out2} \cdot z + V_{out2} \cdot \frac{R1 \cdot A}{R1 + R2} = (V_{out1} + V_{offset2} - V_{in} \cdot \frac{R2}{R1 + R2}) \cdot A$$

$$V_{out2} \cdot (1 + \frac{R1 \cdot A}{R1 + R2}) = (V_{out1} + V_{offset2} - V_{in} \cdot \frac{R2}{R1 + R2}) \cdot A$$

Dado que  $R1A \gg R1 + R2$ :

$$V_{out2} \cdot (\frac{R1 \cdot A}{R1 + R2}) = (V_{out1} + V_{offset2} - V_{in} \cdot \frac{R2}{R1 + R2}) \cdot A$$

$$V_{out2} = V_{out1} \cdot \frac{(R1 + R2)}{R1} + V_{offset2} \cdot \frac{(R1 + R2)}{R1} - V_{in} \cdot (\frac{R2}{R1 + R2} \cdot \frac{R1 + R2}{R1})$$

$$V_{out2} = V_{out1} + V_{offset2} - \frac{R2}{R1} (V_{in} - V_{out1} - V_{offset2})$$

La salida requerida es:

$$V_{out2} = 2.5V - \frac{R2}{R1} (V_{in} - 2.5V)$$

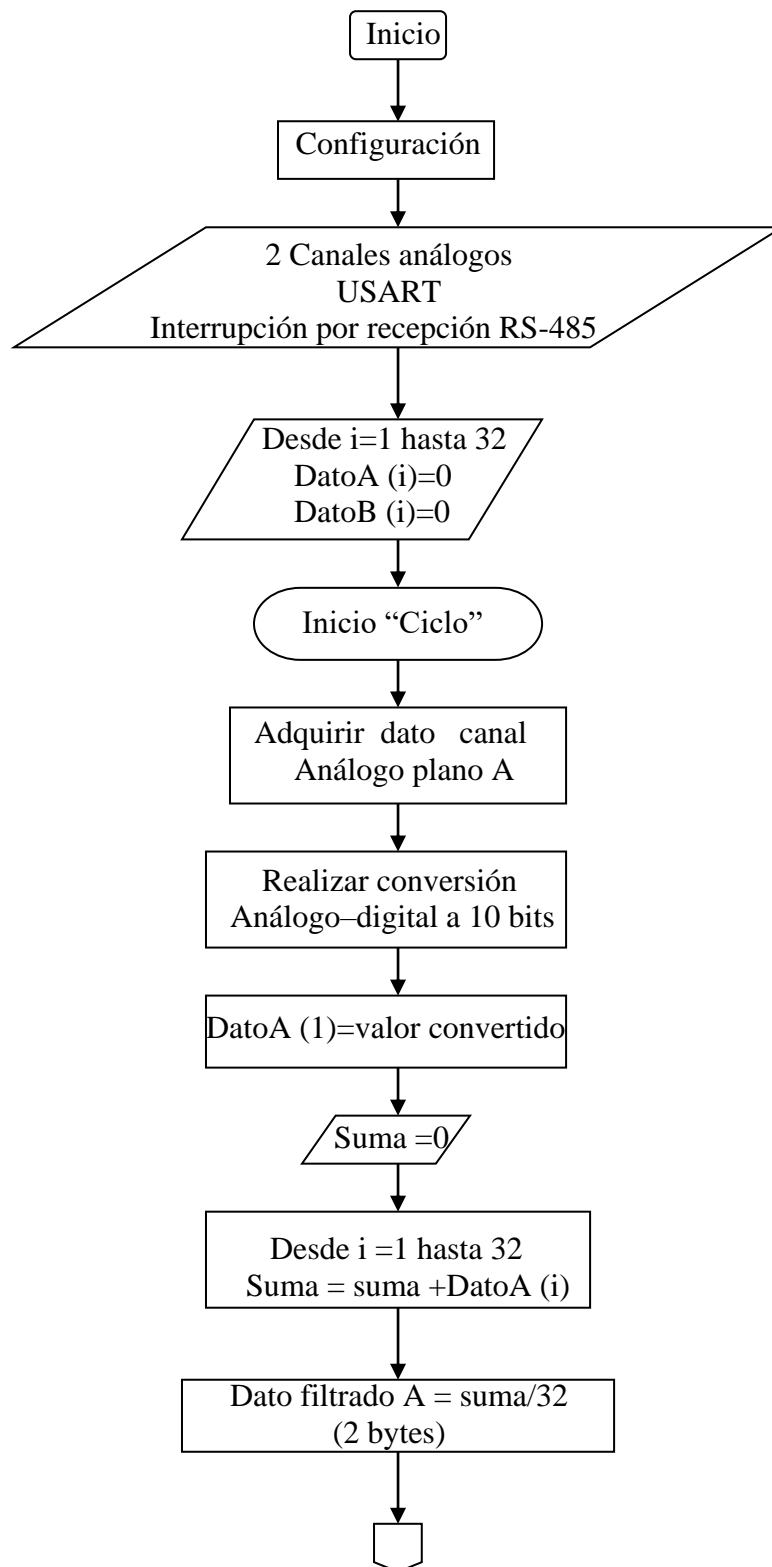
Así, la calibración adecuada del potenciómetro será:

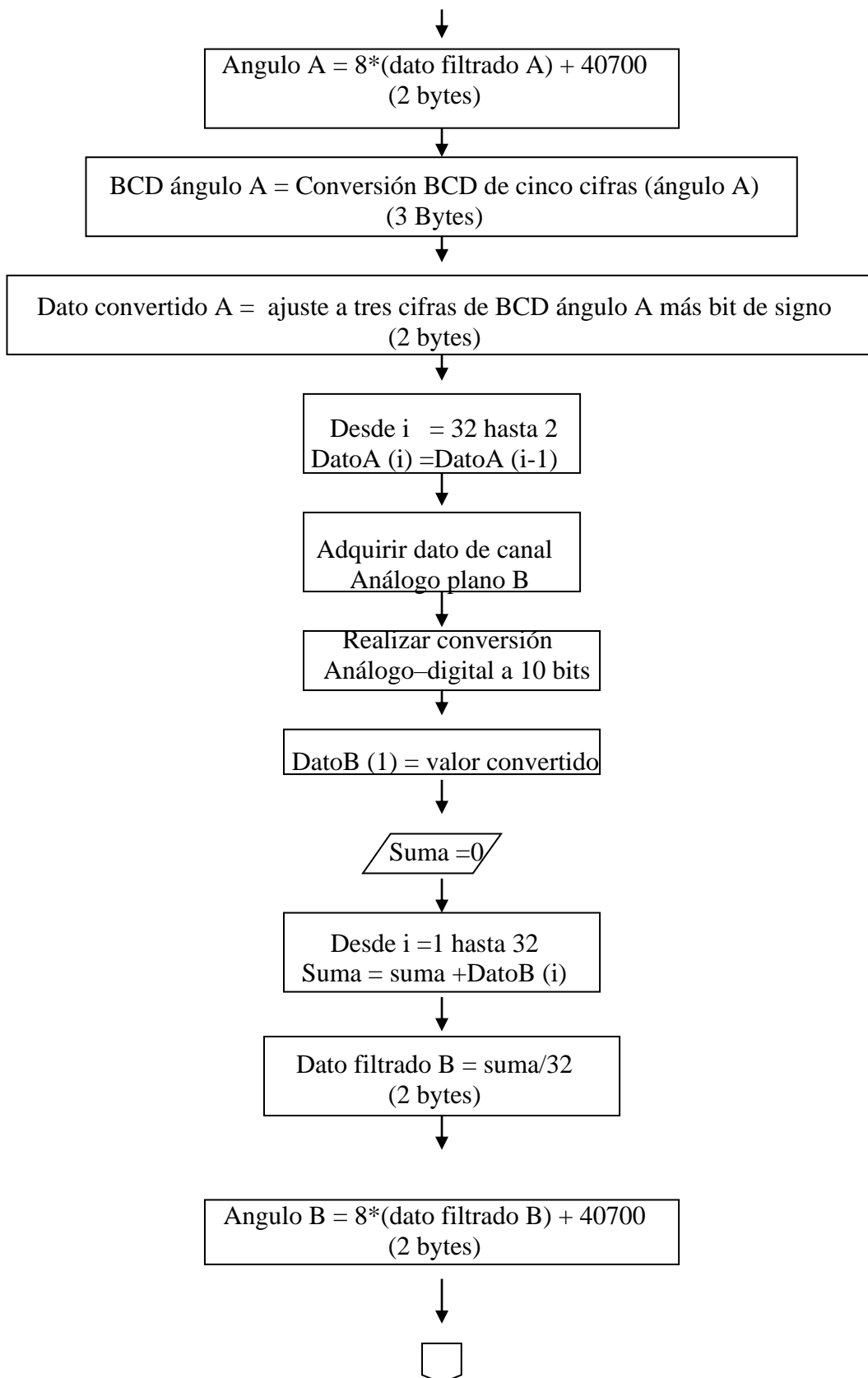
$$V_{out1} + V_{offset2} = 2.5V$$

$$V_{out1} = 2.5V - V_{offset2} = V_{pot} + V_{offset1}$$

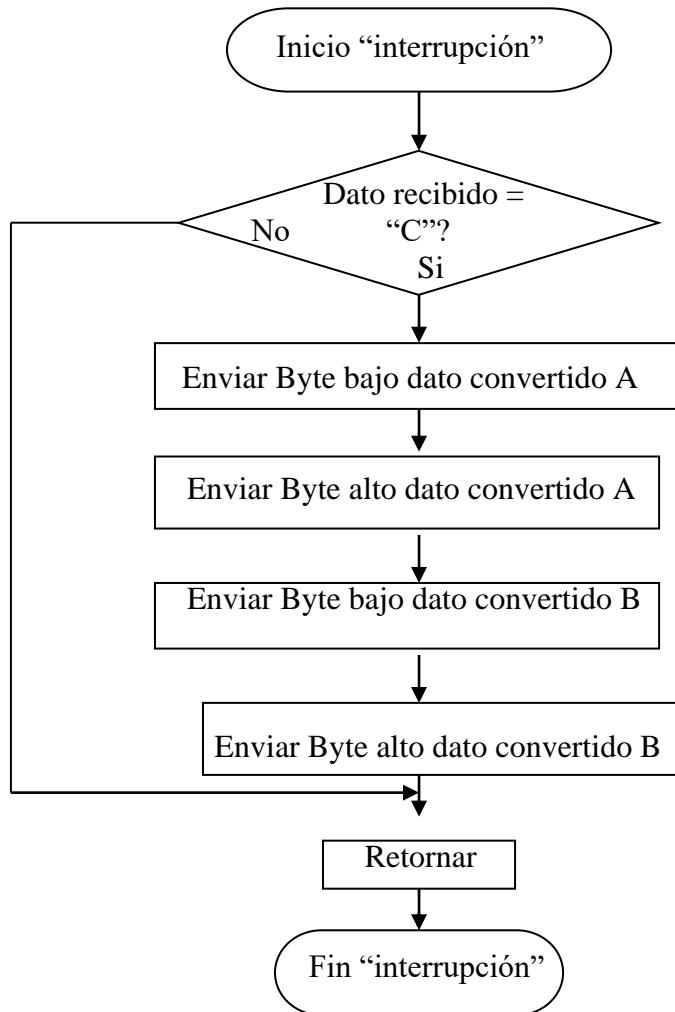
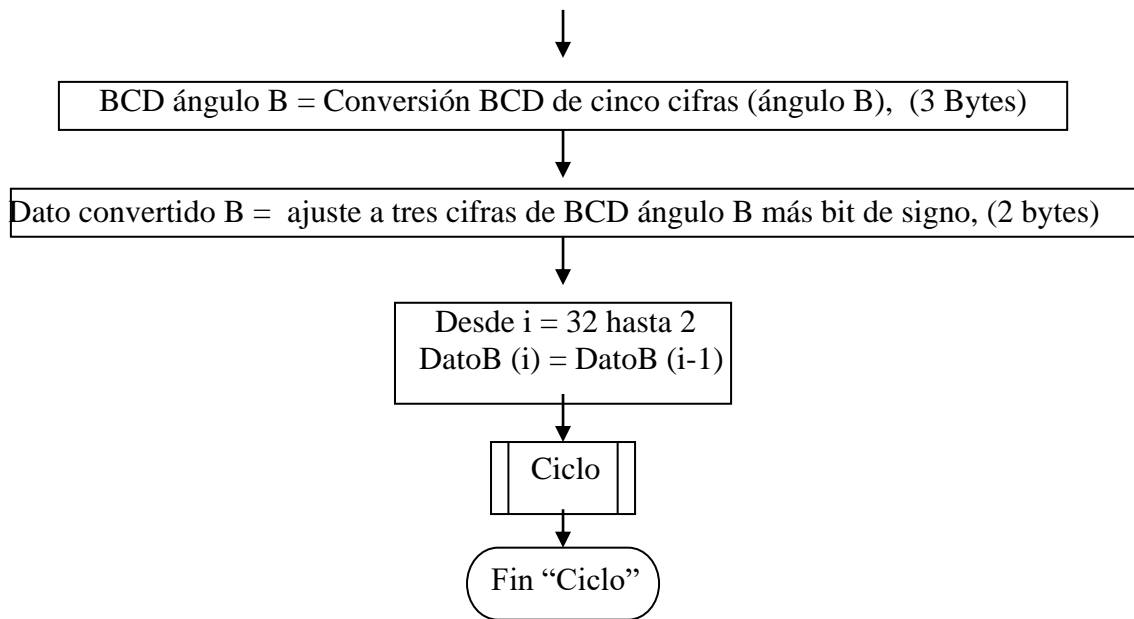
$$V_{pot} = 2.5V - V_{offset1} - V_{offset2}$$

**ANEXO C. Diagrama de flujo del programa que controla la unidad transductora de la sonda de inmersión**









## ANEXO D. Funciones principales del programa que controla la sonda de inmersión (PIC18F452)

```
MAIN      BCF      ADCON0, CHS0; CANAL 0
          CALL     AD_ADC
          MOVFF   ADRESL, FILTL
          MOVFF   ADRESH, FILTH
          MOVLW  ADQL0
          MOVWF   FSR0L
          CALL    PROMED
          CLRF   CTEH
          MOVLW  .79
          MOVWF  CTEL
          MOVLW  9E
          MOVWF  SUBH
          MOVLW  16
          MOVWF  SUBL
          CALL   CONVER
          MOVFF  VALORH, DCONHA
          MOVFF  VALORL, DCONLA
          MOVLW  ADQL30
          MOVWF  FSR0L
          CALL   CORRER
          BSF   ADCON0, CHS0; CANAL 1
          CALL   AD_ADC
          MOVFF  ADRESL, FILTL
          MOVFF  ADRESH, FILTH
          MOVLW  ADQL0B
          MOVWF  FSR0L
          CALL   PROMED
          CLRF   CTEH
          MOVLW  .80
          MOVWF  CTEL
          MOVLW  9F
          MOVWF  SUBH
          MOVLW  0B0
          MOVWF  SUBL
          CALL   CONVER
          MOVFF  VALORH, DCONHB
          MOVFF  VALORL, DCONLB
          MOVLW  ADQL30B
          MOVWF  FSR0L
          CALL   CORRER
          GOTO   MAIN
```

<b>AD_ADC</b>	CALL	DELAY
	BSF	ADCON0, GO
<b>WAIT_AD</b>	BTFSC	ADCON0, GO
	GOTO	WAIT_AD
	RETURN	
<b>PROMED</b>	CLRF	ACUMH
	CLRF	ACUML
	MOVLW	20
	MOVWF	CONTA
<b>BUCLE</b>	MOVFF	INDF0, WREG
	ADDWF	ACUML, 1
	INCFSZ	FSR0L, 1
	MOVFF	INDF0, WREG
	ADDWFC	ACUMH, 1
	INCF	FSR0L, 1
	DECFSZ	CONTA, 1
	GOTO	BUCLE
<b>DIV_32</b>	MOVLW	5
	MOVWF	CONTA
<b>ROTAR</b>	BCF	STATUS, C
	RRCF	ACUMH, 1
	RRCF	ACUML, 1
	DECFSZ	CONTA, 1
	GOTO	ROTAR
	MOVFF	ACUMH, FILTH
	MOVFF	ACUML, FILTL
	RETURN	
<b>MUL_4B</b>	MOVF	FILTL, 0 ;
	MULWF	CTEL
	MOVFF	PRODL, RES0
	MOVFF	PRODH, RES1
	MOVF	FILTH, 0
	MULWF	CTEH
	MOVFF	PRODL, RES2
	MOVFF	PRODH, RES3
	MOVF	FILTL, 0
	MULWF	CTEH
	MOVF	PRODL, 0
	ADDWF	RES1, 1
	MOVF	PRODH, 0
	ADDWFC	RES2, 1
	CLRF	WREG
	ADDWFC	RES3, 1
	MOVF	FILTH, 0
	MULWF	CTEL
	MOVF	PRODL, 0

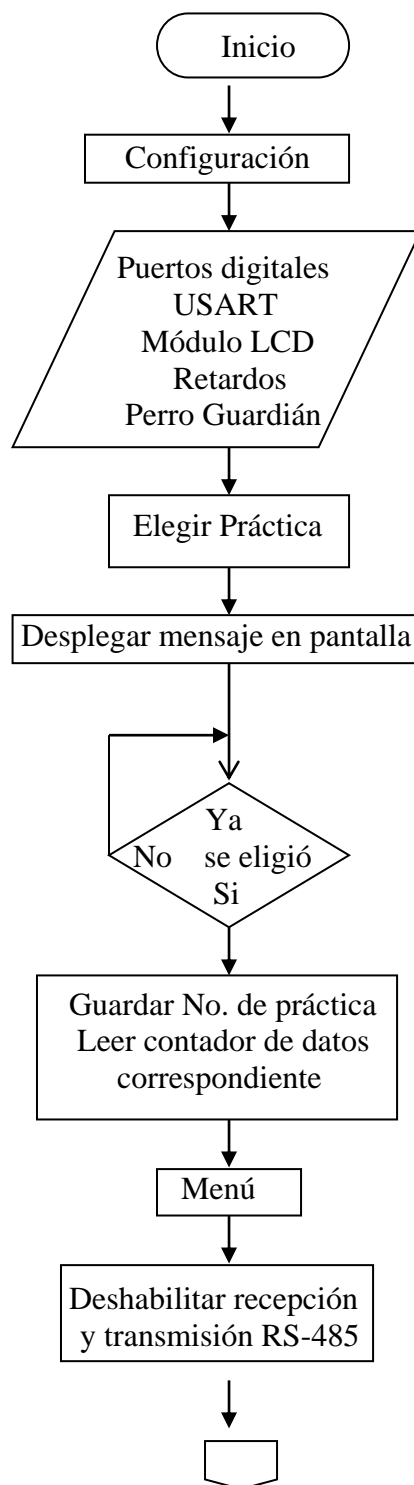
ADDWF	RES1, 1
MOVF	PRODH, 0
ADDWFC	RES2, 1
CLRF	WREG
ADDWFC	RES3, 1
RETURN	

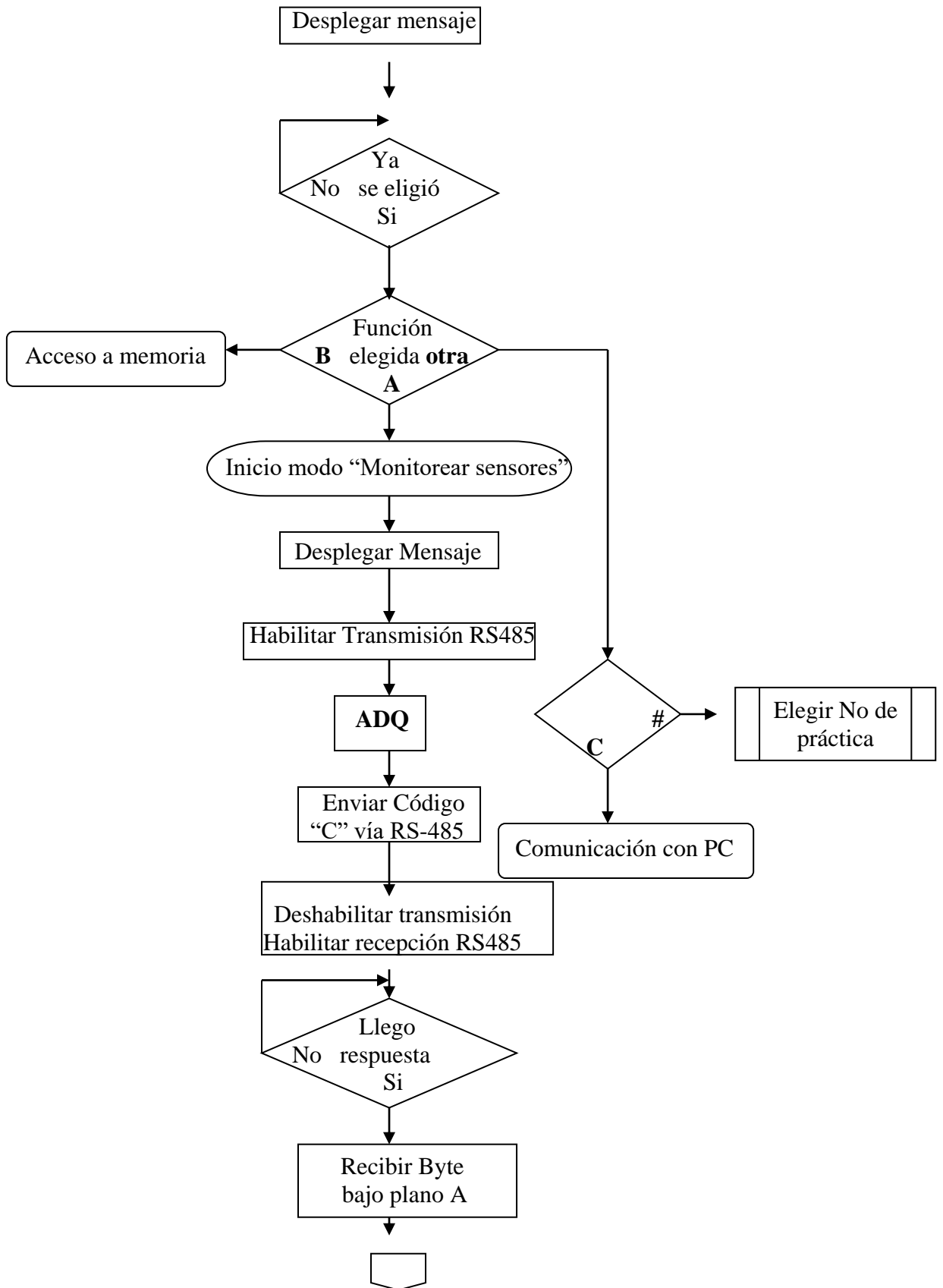
<b>INTERC</b>	CLRF	SIGNO
	MOVF	SUBL, 0
	SUBWF	RES0, 0
	MOVWF	DATOL
	MOVF	SUBH, 0
	SUBWFB	RES1, 0
	MOVWF	DATOH
	CLRWF	
	SUBWFB	RES2, 0
	MOVWF	DATOU
	BNN	RANGO

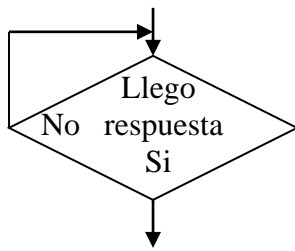
<b>INTER</b>	BCF	PIR1, RCIF
	MOVLW	"C"
	CPFSEQ	RCREG
	RETFIE	
	BSF	PORTD, RE
	BSF	PORTD, TE
	MOVFF	DCONLA, TXREG
	CALL	WAIT_TX
	MOVFF	DCONHA, TXREG
	CALL	WAIT_TX
	MOVFF	DCONLB, TXREG
	CALL	WAIT_TX
	MOVFF	DCONHB, TXREG
	CALL	WAIT_TX
	BCF	PORTD, RE
	BCF	PORTD, TE
	RETFIE	

## ANEXO E. Diagrama de flujo del programa que controla la unidad de lectura

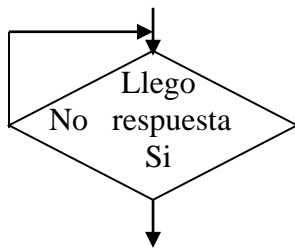
Diagrama de flujo del programa que controla la unidad de lectura



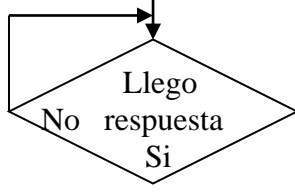




Recibir Byte  
alto plano A



Recibir byte  
bajo plano B

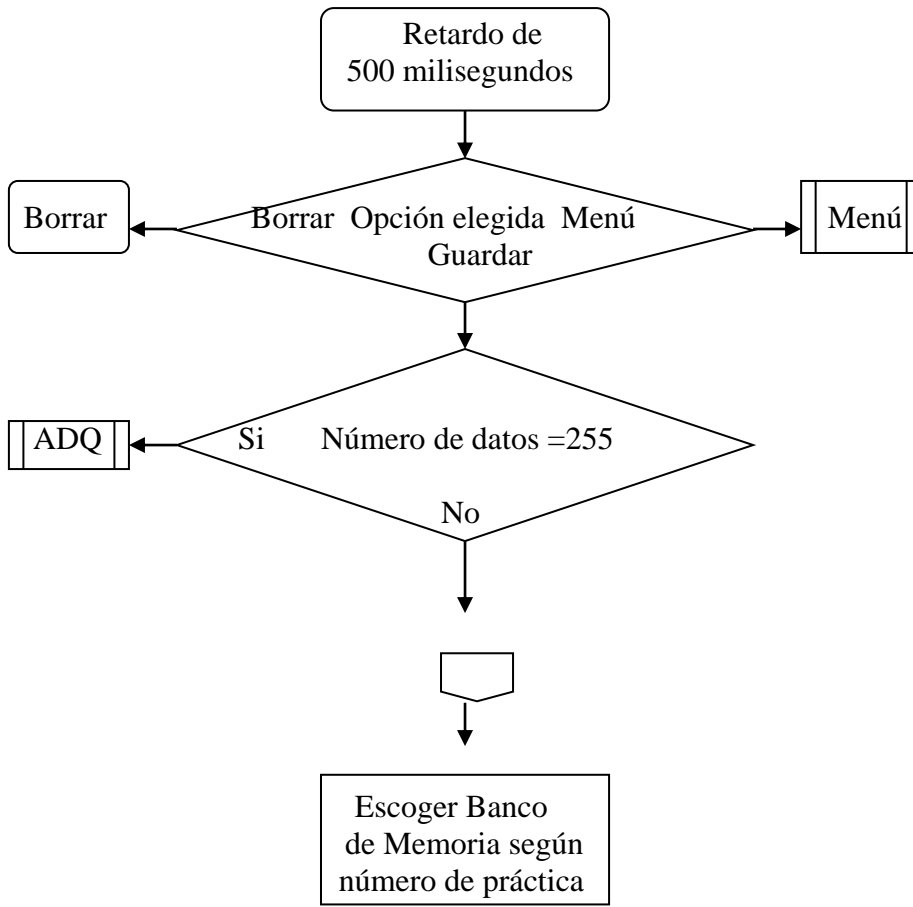
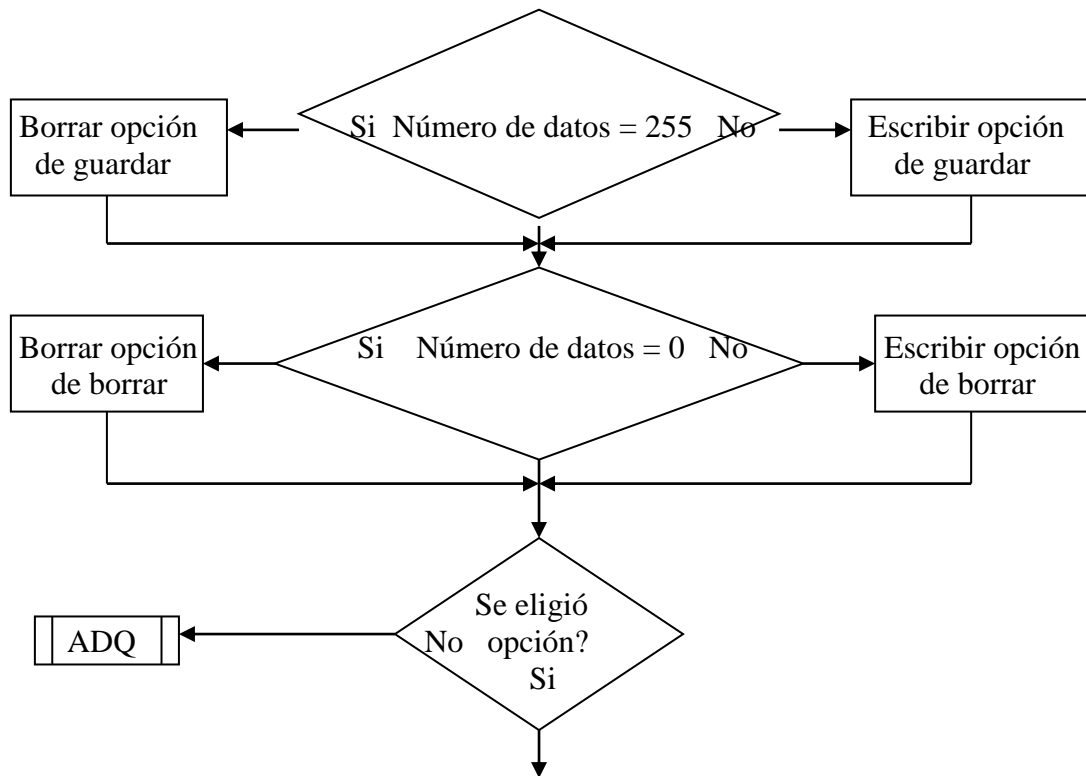


Recibir Byte  
alto plano B

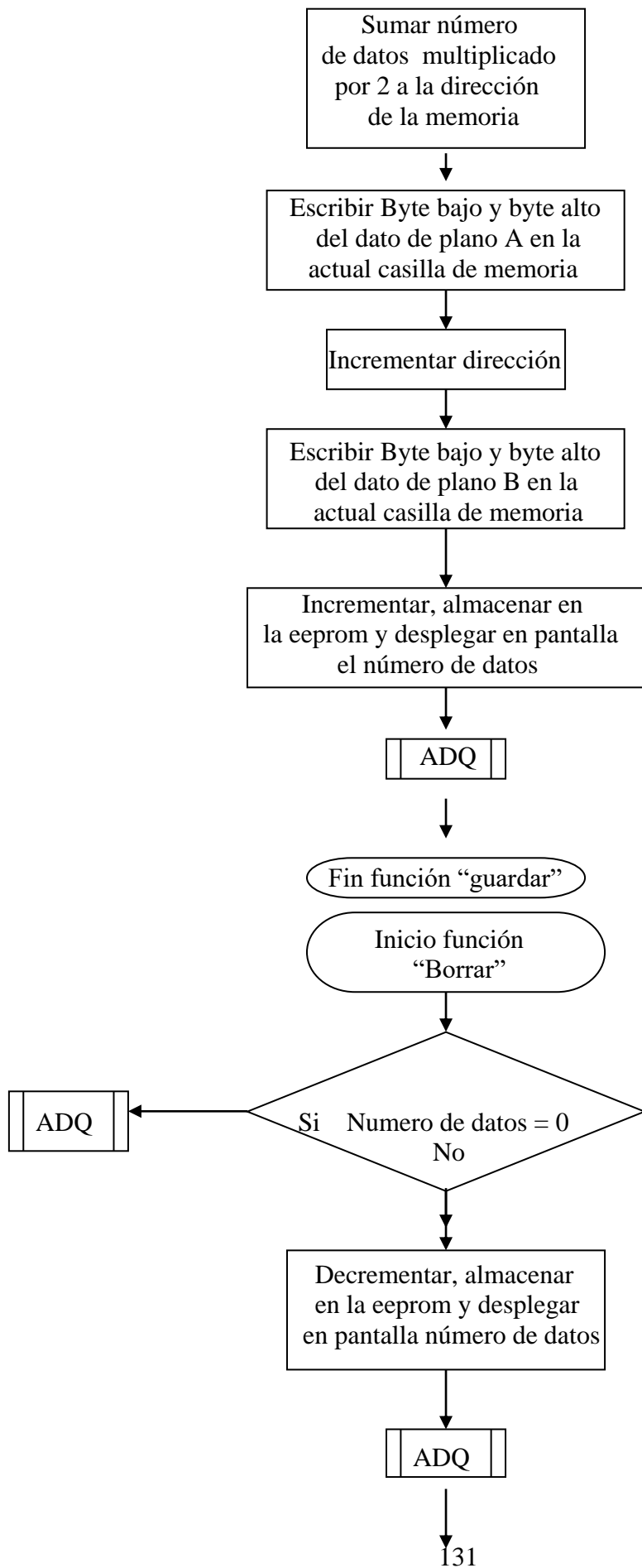
Deshabilitar  
Recepción

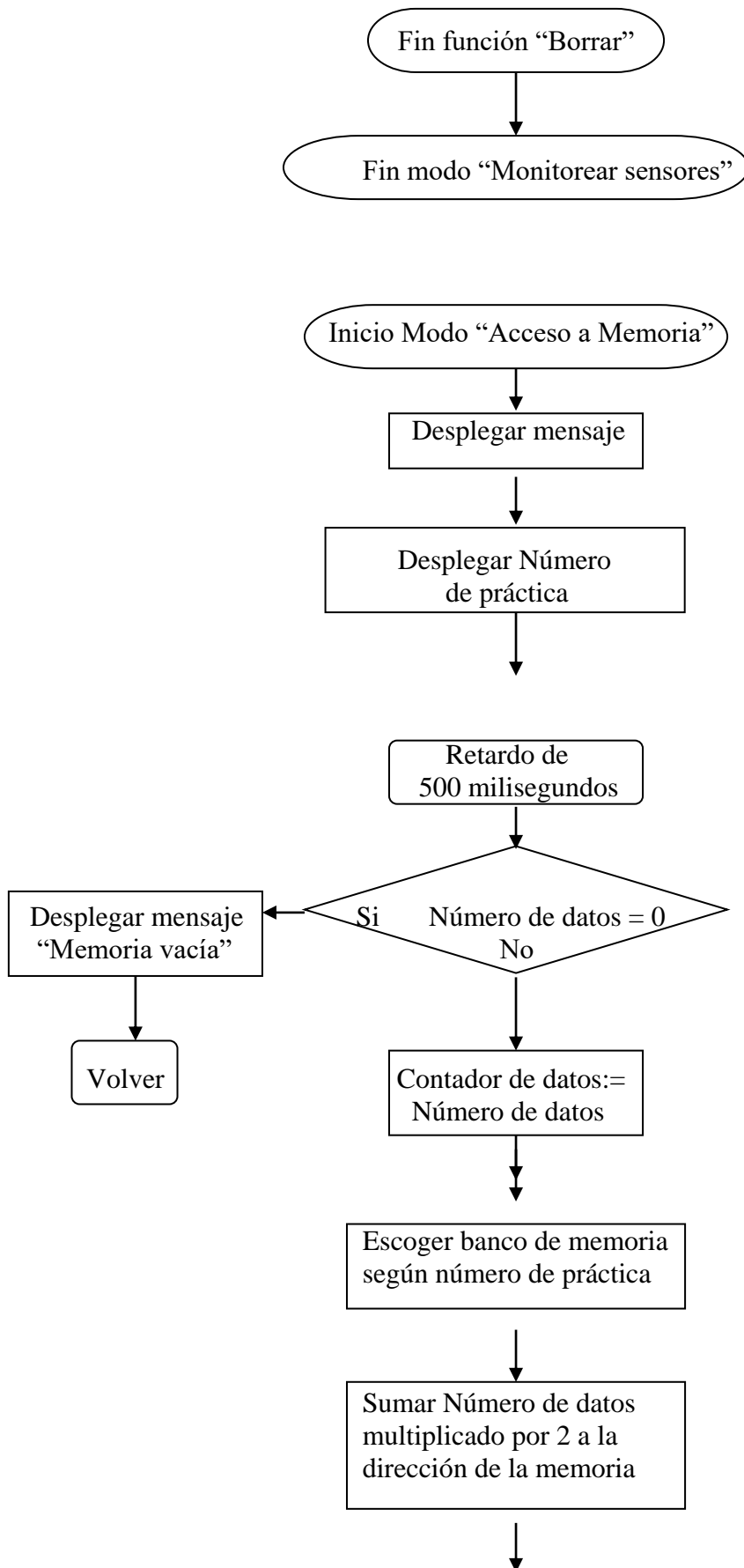
Desplegar valores  
de sensores

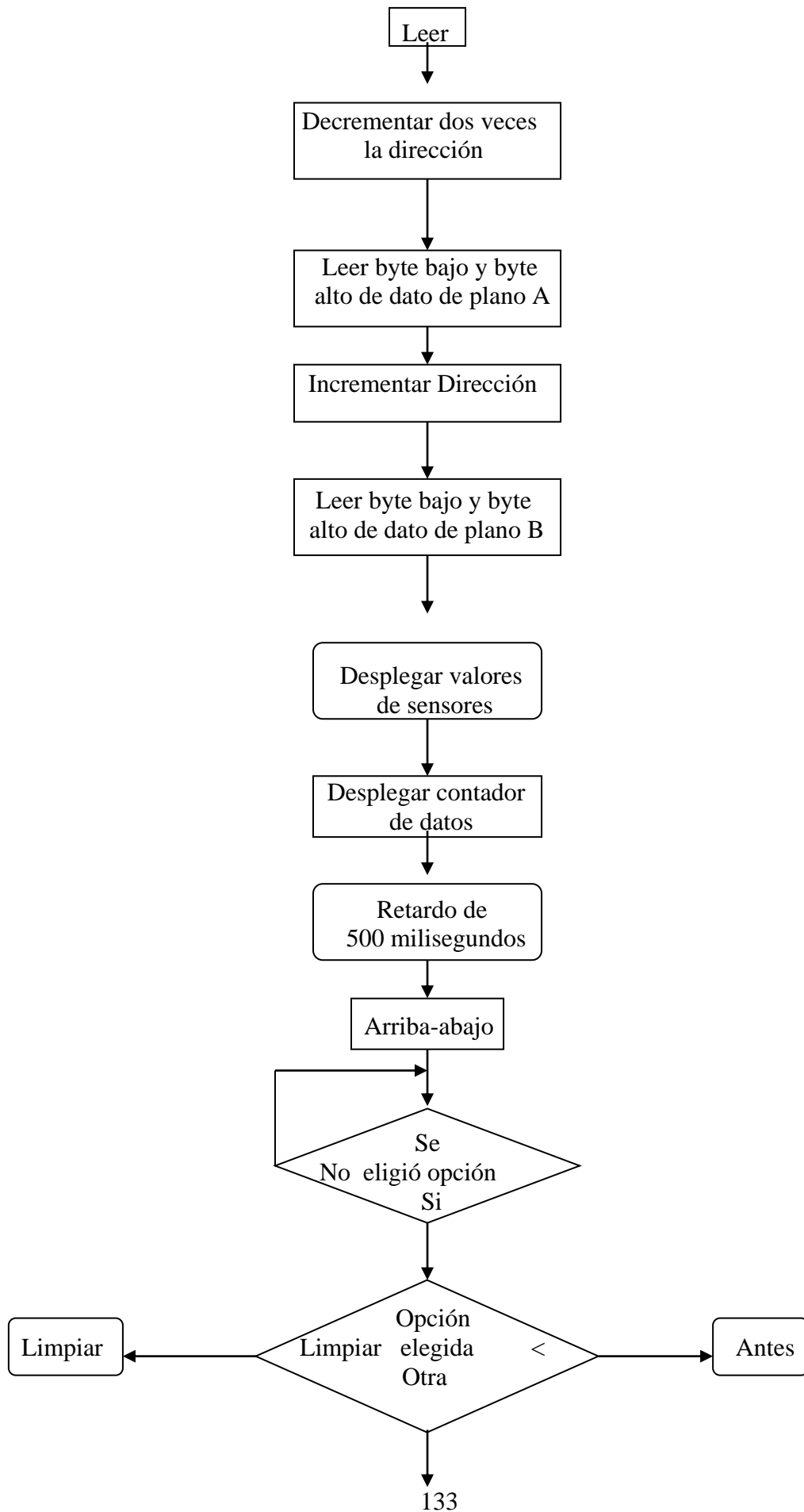
Retardo de  
500 milisegundos

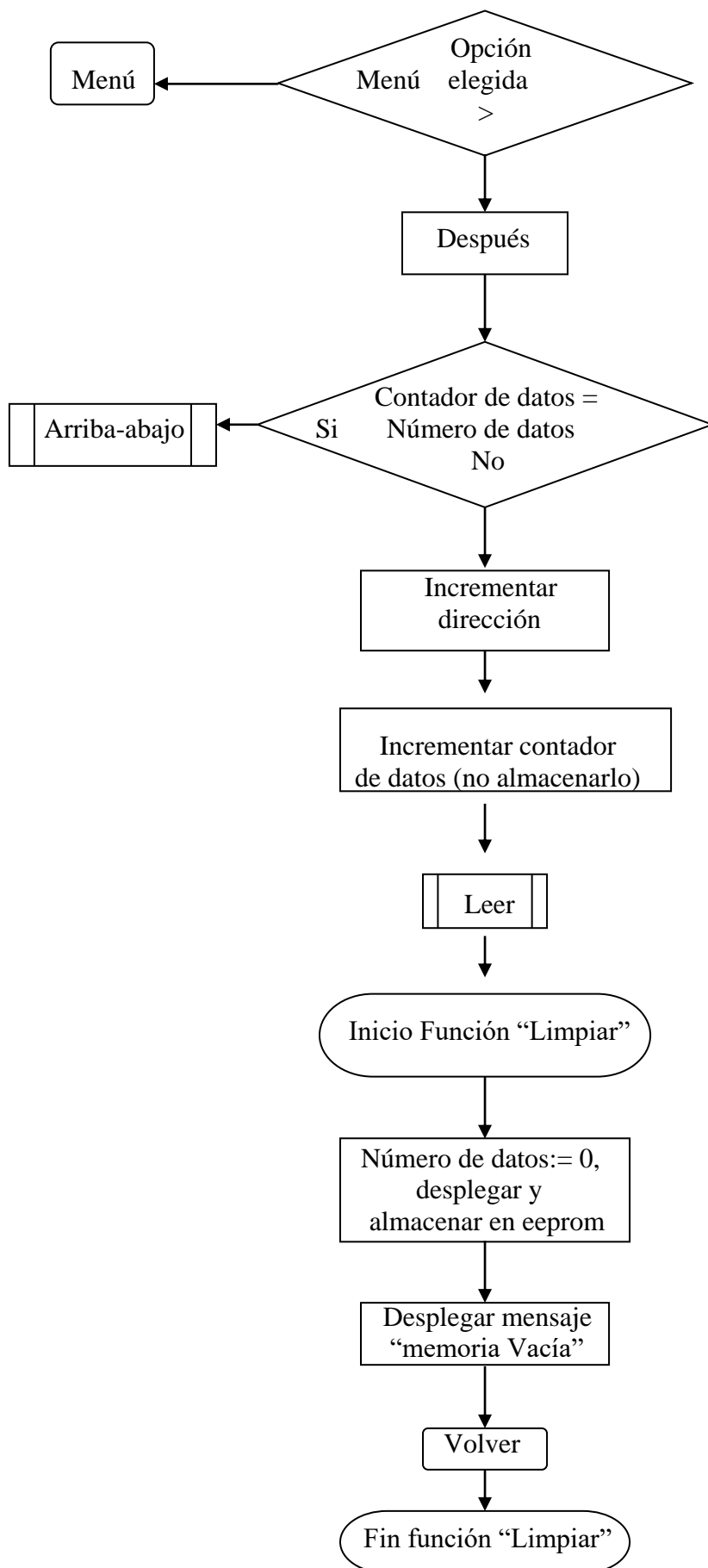


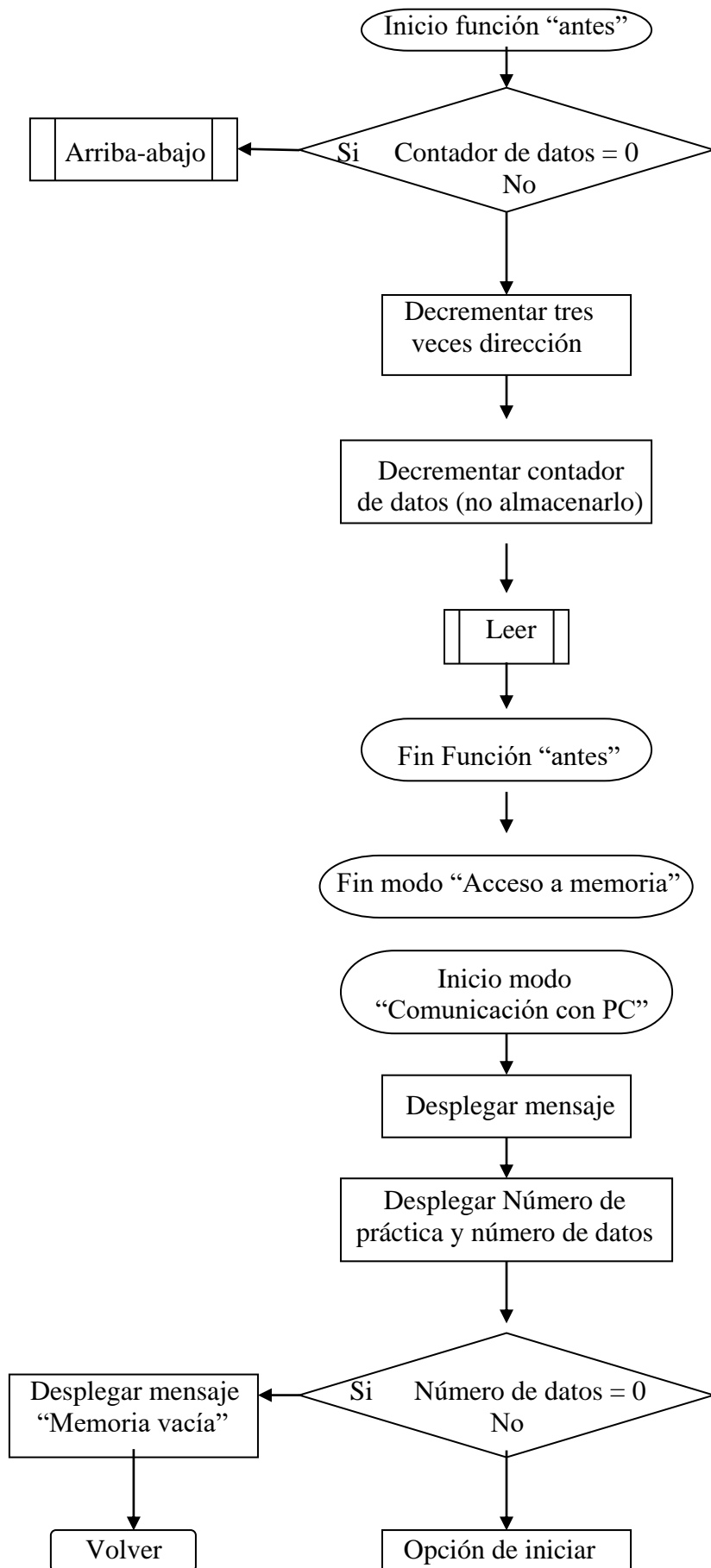


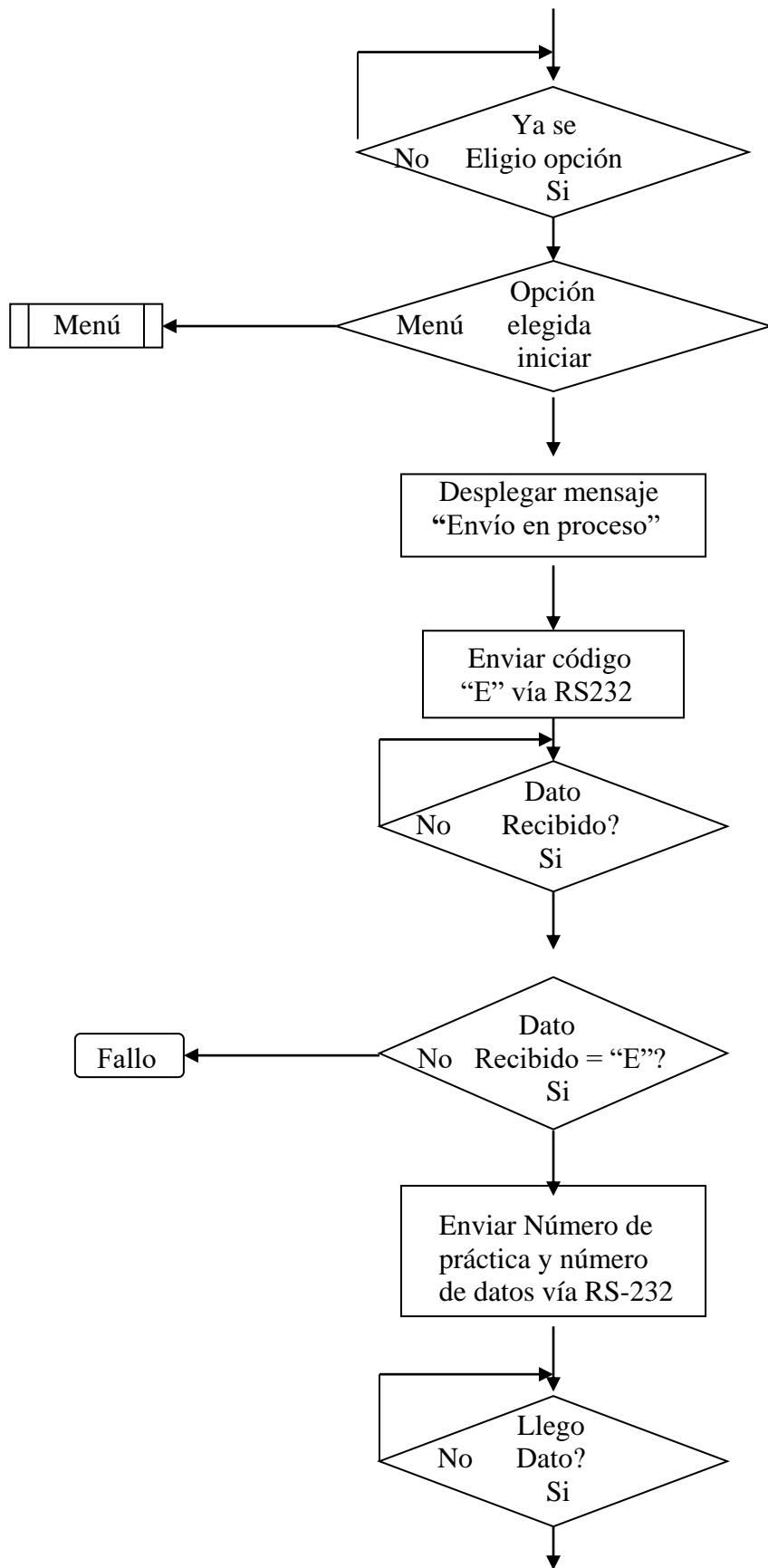


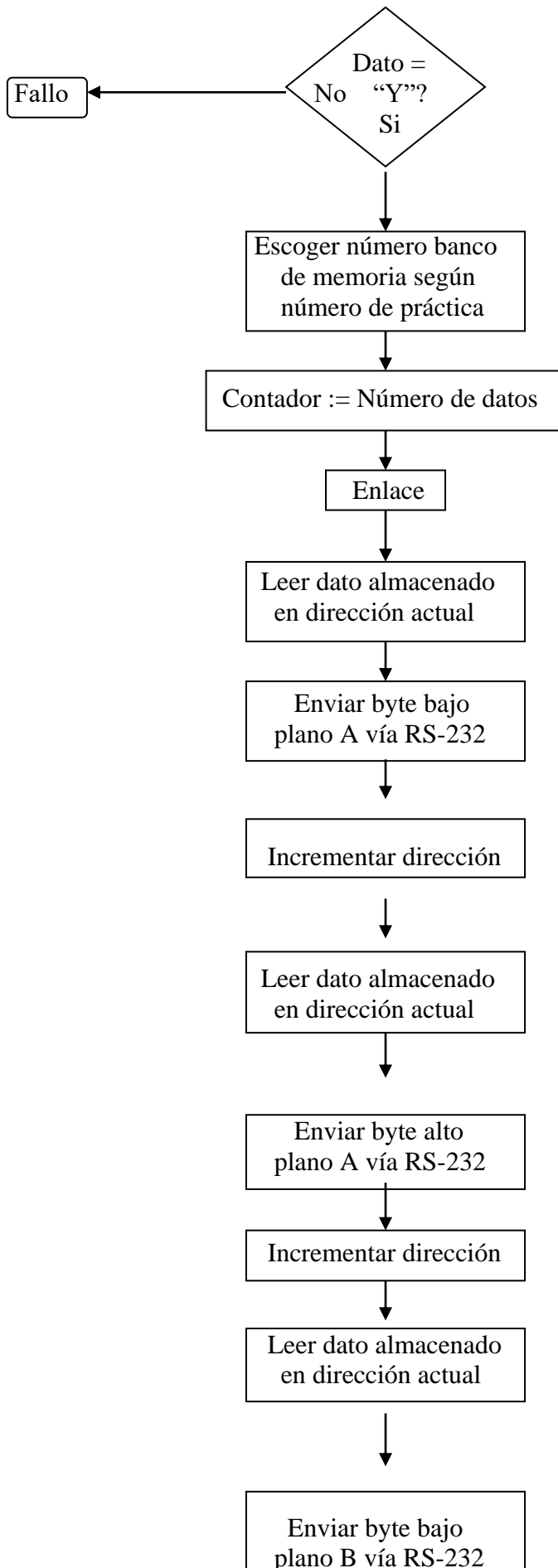


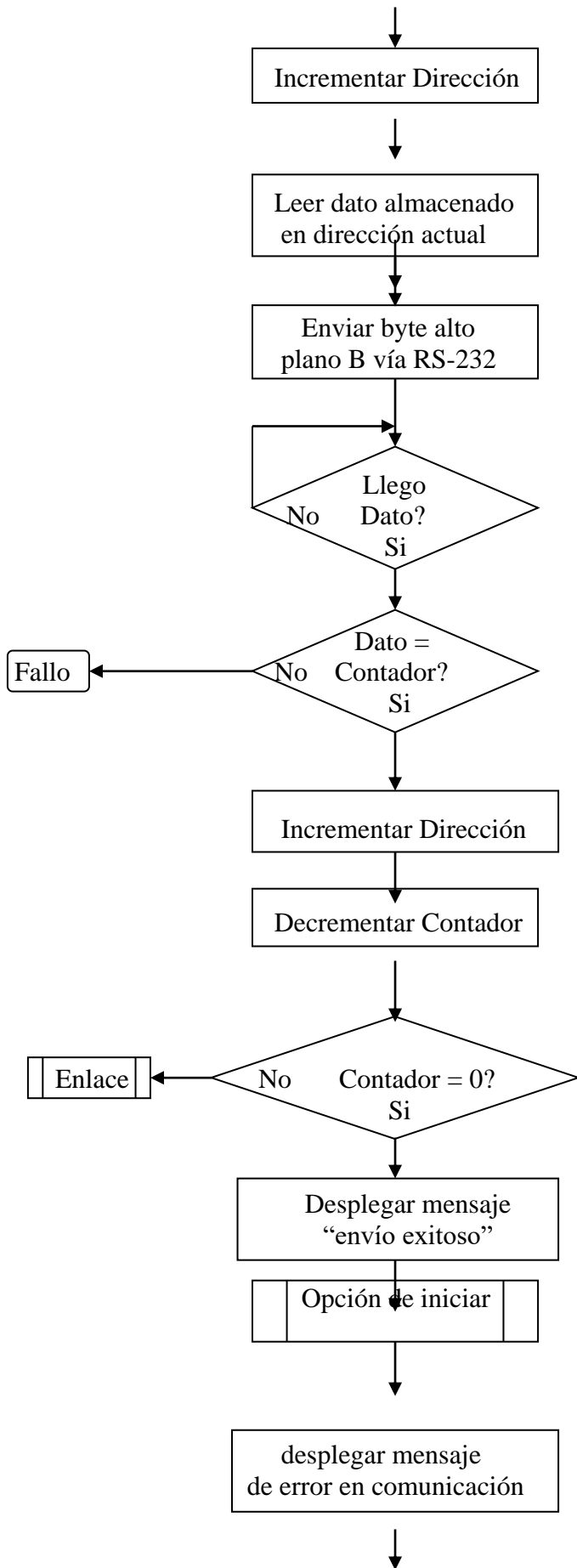




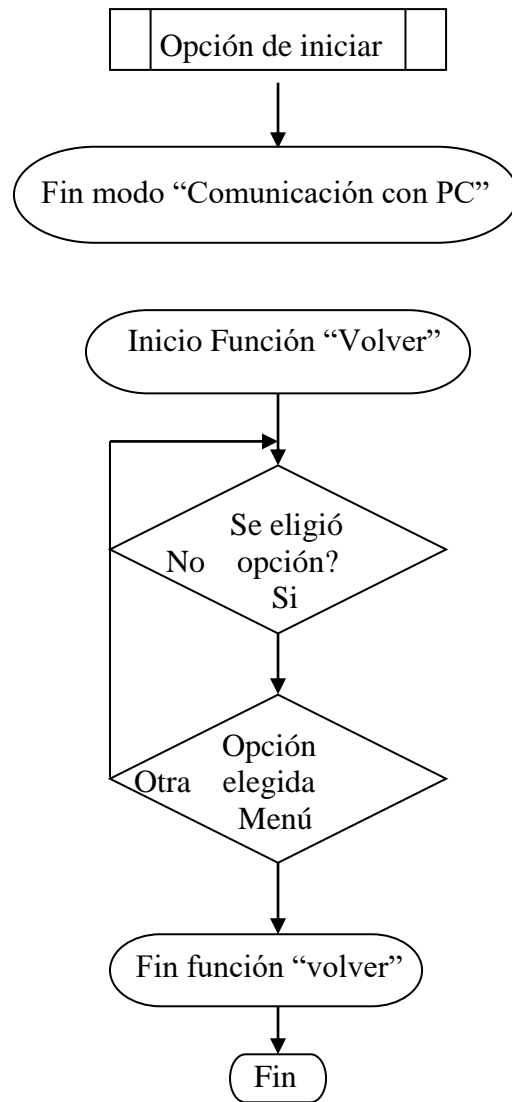












**ANEXO F. FUNCIONES PRINCIPALES DEL PROGRAMA DE LA UNIDAD  
DE LA UNIDAD DE LECTURA**

**ADQ CLRWDT**

```

BSF      PORTB, TE ;
MOVLW   "C"
MOVWF   TXREG
CALL    WAIT_TX
BCF     PORTB, TE
BCF     PORTB, RE
CALL    WAIT_RC
MOVF    RCREG, 0
MOVWF   ADQL1
CALL    WAIT_RC
MOVF    RCREG,0
MOVWF   ADQH1
CALL    WAIT_RC
MOVF    RCREG, 0
MOVWF   ADQL2
CALL    WAIT_RC
MOVF    RCREG, 0
MOVWF   ADQH2
BSF     PORTB, RE
CALL    DESP_S
CALL    DELAY

```

```

GUARDAR CALL    SUM_DIR
          CALL    SUM_N
DATO_1   MOVF    ADQH1, 0
          MOVWF   DATOH
          MOVF    ADQL1, 0
          MOVWF   DATOL
          CALL    W_FLASH
          CALL    INC_DIR
DATO_2   MOVF    ADQH2, 0
          MOVWF   DATOH
          MOVF    ADQL2, 0
          MOVWF   DATOL
          CALL    W_FLASH
          INCF    NUM_DAT, 1
          MOVF    NUM_DAT, 0
          CALL    DES_NUM
          CALL    G_NUM
          GOTO    ADQ

```

<b>LEER</b>	CALL	R_FLASH
	MOVF	DATOH, 0
	MOVWF	ADQH1
	MOVF	DATOL, 0
	MOVWF	ADQL1
	CALL	INC_DIR
	CALL	R_FLASH
	MOVF	DATOH, 0
	MOVWF	ADQH2
	MOVF	DATOL, 0
	MOVWF	ADQL2
	CALL	DESP_S
	QMOVF	CON_DAT, 0
	CALL	DES_NUM

<b>ENLACE</b>	CALL	T_ENV
	MOVLW	"E"
	MOVWF	TXREG
	CALL	WAIT_TX
	CALL	WAIT_RC
	MOVLW	"E"
	XORWF	RCREG, 0
	BTFSS	STATUS, Z
	GOTO	FALLO
	INCF	ENTERO, 0
	MOVWF	TXREG
	CALL	WAIT_TX
	MOVF	NUM_DAT, 0
	MOVWF	TXREG
	CALL	WAIT_TX
	CALL	WAIT_RC
	MOVLW	"Y"
	XORWF	RCREG, 0
	BTFSS	STATUS, Z
	GOTO	FALLO
	CALL	SUM_DIR
	MOVF	NUM_DAT, 0
	MOVWF	CONTA

<b>ENVIAR</b>	CALL	R_FLASH
	MOVF	DATOL, 0
	MOVWF	TXREG
	CALL	WAIT_TX
	MOVF	DATOH, 0
	MOVWF	TXREG
	CALL	WAIT_TX
	CALL	INC_DIR
	CALL	R_FLASH
	MOVF	DATOL, 0
	MOVWF	TXREG

```

CALL    WAIT_TX
MOVWF  DATOH, 0
MOVWF  TXREG
CALL    WAIT_RC
MOVWF  CONTA, 0
XORWF  RCREG, 0
BTFSS  STATUS, Z
GOTO   FALLO
CALL    INC_DIR
DECFSZ CONTA, 1
GOTO   ENVIAR

```

```

R_FLASH  MOVF    DIRL, 0
          BSF     STATUS, RP1
          MOVWF  EEADR
          BCF     STATUS, RP1
          MOVF   DIRH, 0
          BSF     STATUS, RP1
          MOVWF  EEADRH
          BSF     STATUS, RP0
          BSF     EECON1, EEPGD
          BSF     EECON1, RD
          NOP
          NOP
          NOP
          BCF     STATUS, RP0
          MOVF   EEDATA, 0
          BCF     STATUS, RP1
          MOVWF  DATOL
          BSF     STATUS, RP1
          MOVF   EEDATH, 0
          BCF     STATUS, RP1
          MOVWF  DATOH
          RETURN

```

```

W_FLASH MOVF    DIRL, 0
          BSF     STATUS, RP1
          MOVWF  EEADR
          BCF     STATUS, RP1
          MOVF   DIRH, 0
          BSF     STATUS, RP1
          MOVWF  EEADRH
          BCF     STATUS, RP1
          MOVF   DATOL, 0
          BSF     STATUS, RP1
          MOVWF  EEDATA
          BCF     STATUS, RP1
          MOVF   DATOH, 0

```

```

BSF      STATUS, RP1
MOVWF   EEDATH
BSF      STATUS, RP0
BSF      EECON1, EEPGD
BSF      EECON1, WREN
BCF      INTCON, GIE
MOVLW   55
MOVWF   EECON2
MOVLW   0AA
MOVWF   EECON2
BSF      EECON1, WR
NOP
NOP
CALL    WAIT_WR
BSF      INTCON, GIE
BCF      EECON1, WREN
BCF      STATUS, RP0
BCF      STATUS, RP1
RETURN

```

```

CONTROL      BCF      PORTE, RS
                 MOVWF   PORTD
                 CALL    LCD_YA
                 CALL    LCD_E
                 RETURN

```

```

DATO          BCF      PORTE, RS
                 MOVWF   PORTD
                 CALL    LCD_YA
                 BSF     PORTE, RS;
                 CALL    LCD_E
                 RETURN

```

```

GUARDAR      CALL    SUM_DIR
                 CALL    SUM_N
DATO_1        MOVF    ADQH1, 0
                 MOVWF   DATOH
                 MOVF    ADQL1, 0
                 MOVWF   DATOL
                 CALL    W_FLASH
                 CALL    INC_DIR
                 MOVWF   DATOH
DATO_2        MOVF    ADQL2, 0
                 MOVWF   DATOL
                 CALL    W_FLASH
                 INCF    NUM_DAT, 1
                 MOVF    NUM_DAT, 0

```

	CALL	DES_NUM
	CALL	G_NUM
	GOTO	ADQ
<b>BORRAR</b>	MOVF	NUM_DAT, 1
	BTFSC	STATUS, Z
	GOTO	OP_SEN
	DECf	NUM_DAT, 1
	CALL	G_NUM
	MOVF	NUM_DAT, 0
	CALL	DES_NUM
	GOTO	ADQ
<b>LIMPIAR</b>	BCF	INTCON, RBIF
LIM	CLRWDt	
	BTFSS	INTCON, RBIF
	GOTO	LIM
	CALL	DELAY
	BTFSC	PORTB, 6
	GOTO	SI_LIM
	BTFSC	PORTB, 5
	GOTO	PLANOS
	GOTO	LIMPIAR
	SI_LIM	MOVLW 0
	MOVWF	NUM_DAT
	MOVf	ENTERO, 0
	MOVWF	DIRL
	CALL	G_NUM
	CLRw	
	CALL	DES_NUM
	GOTO	NADA
<b>DESPUES</b>	MOVF	CON_DAT, 0
	XORWF	NUM_DAT, 0
	BTFSC	STATUS, Z
	GOTO	UP_DOWN
	CALL	INC_DIR
	INCF	CON_DAT, 1
	GOTO	LEER
<b>ANTES</b>	DECFSZ	CON_DAT, 0
	GOTO	SI_ANT
	GOTO	UP_DOWN
SI_ANT	MOVWF	CON_DAT
	CALL	DEC_DIR
	CALL	DEC_DIR

CALL	DEC_DIR
GOTO	LEER

## **ANEXO G. INCLINÓMETRO GEOTÉCNICO**

### **MANUAL DE USUARIO**

**ELABORADO POR: Sonia Maritza Henao Duque  
Jesús Eduardo Vega Castillo**

**POPAYÁN  
MAYO  
2004**



## **! BIENVENIDO ¡**

Nos complace que usted haya elegido el Inclínómetro Geotécnico! A continuación le ofrecemos éste manual, en él encontrará toda la información necesaria para el adecuado manejo y funcionamiento del equipo.

### **Tabla de Contenido**

1. Componentes del equipo
2. Descripción general del equipo
3. Pasos para realizar la práctica
4. Opciones de usuario
5. Rango de aplicación
6. Precisión
7. Fuente de alimentación

### **1. COMPONENTES DEL EQUIPO**

#### **¿Qué contiene el equipo?**

- Sonda de inmersión
- Unidad de lectura
- Manual de usuario
- Software de adquisición y análisis de datos.

## 2. DESCRIPCION GENERAL DEL EQUIPO



Figura 1. Esquema de la sonda de inmersión

La sonda de inmersión posee dos pares de ruedas retráctiles que son las que permiten que ésta se deslice a través de la tubería, en dos planos de inclinación mutuamente perpendiculares.

La distancia entre los ejes de las ruedas es de 50 cm, intervalo en el cual se harán las mediciones; por lo tanto si se efectúa un sondeo de 30m, usted registrará aproximadamente 60 parejas de datos.

La unidad de lectura contiene lo siguiente:



Figura 2. Panel frontal de la unidad de lectura

- Cuatro pulsadores para elegir las opciones de menú que aparecen en pantalla
- Un conector hembra de 4 hilos, para la comunicación con la sonda de inmersión.

- Un conector DB9 macho para la conexión serial con el PC por medio de un cable hembra-hembra.
- Switch de encendido
- Switch para encender la luz de la pantalla o backligh
- Potenciómetro de control para ajustar el contraste de la pantalla.
- Un pulsador de reset, para reiniciar el sistema.



Figura 3. Equipo completo

### 3. PASOS PARA REALIZAR LA PRÁCTICA

- ✚ Con anterioridad, usted debe seleccionar el material de la tubería, teniendo en cuenta las condiciones ambientales a las que será expuesta. Es importante una adecuada selección, ya que es esencial a la hora de efectuar las mediciones. Un tubo inadecuado puede generar datos erróneos.
- ✚ La tubería no debe ser forzada durante su instalación, porque puede sufrir torceduras que generen error al tomar la medida.
- ✚ Una vez se efectúe la correcta instalación de la tubería, introduzca la sonda lentamente, orientando la rueda alta del eje superior, en la dirección de los mayores movimientos esperados del suelo. Deje reposar la sonda hasta que se equilibre con la temperatura ambiente. Recuerde que en cada intervalo de sondeo escogido por usted, debe registrar el valor de los sensores en ambos planos de inclinación, para ello elija el modo “**Monitorear sensores**”; a continuación se explican detalladamente los modos de operación del equipo y la forma correcta de ejecutarlos.

#### 4. OPCIONES DE USUARIO

Al encender el equipo, usted se encontrará con el siguiente mensaje en pantalla:

**INCLINOMETRO GEOTECNICO**  
**BIENVENIDO**  
**Presione una tecla**  
**para continuar....**

Presione cualquier tecla, para acceder a la siguiente ventana:

**ELIJA NUMERO DE PRACTICA**

1            2            3            >

A través de ésta, usted selecciona el número de la práctica donde serán almacenados los datos;

El equipo proporciona ocho bancos de memoria disponibles para las prácticas, a los cuales podrá acceder mediante los pulsadores.

Pulse > si desea acceder a los siguientes bancos de memoria

**ELIJA NUMERO DE PRACTICA**

<            4            5            >

Pulse > para acceder a los últimos bancos de memoria

**ELIJA NUMERO DE PRACTICA**

<            6            7            8

Pulse <, si desea retornar a los primeros bancos de memoria.

## MENU PRINCIPAL

Una vez elegido el banco de memoria donde desea almacenar los datos de la práctica, usted se encontrará con el **MENU** principal; en la parte superior derecha aparece el número del banco que usted seleccionó;

<b>A. MONITOREAR SENSORES</b>	<b>1</b>
<b>A. ACCESO A LA MEMORIA</b>	
<b>B. COMUNICACIÓN CON PC</b>	
<b>A</b>	<b>B</b>
	<b>C</b>
	<b>#</b>

Usted puede acceder a cada una de estas opciones, pulsando la tecla correspondiente.

Si desea elegir una nueva práctica presione **#**.

Para monitorear los sensores en ambos planos de inclinación, usted debe conectar la sonda de inmersión con la unidad de lectura. Una vez efectúe esta conexión pulse **A**, aparecerá en pantalla lo siguiente:

<b>INCLINACION</b>	<b>No: 001</b>	<b>1</b>
<b>PLANO_A</b>		<b>PLANO_B</b>
<b>+ 30.0</b>		<b>- 30.0</b>
<b>Guardar</b>	<b>Borrar</b>	<b>Menu</b>

Usted visualizará el estado de los sensores en los dos planos de inclinación (**A y B**), el número de datos almacenados en la memoria (**No**), y el número de práctica, que se encuentra en la parte superior derecha. Además tendrá las opciones de **Guardar** datos y borrar el **último dato** almacenado.

La opción **Guardar**, permite almacenar en la memoria hasta **255 datos** por cada práctica. Si usted pulsa esta opción varias veces, el contador **No** se incrementará, y visualizará el nuevo número de datos almacenados. Estos datos permanecerán en la práctica que usted ha elegido.

Si la memoria se encuentra vacía, la opción **Borrar** no se visualiza en pantalla.

Presione **menú** para retornar al menú principal.

Para acceder a la memoria de datos, presione **B**.

<b>DATO</b>	<b>No:002</b>	<b>1</b>
<b>PLANO_A</b>		<b>PLANO_B</b>
<b>+ 30.0</b>		<b>- 30.0</b>
<b>Limpiar</b>	<b>&lt;</b>	<b>&gt;</b>
		<b>Menu</b>

En la pantalla, usted visualizará el último dato almacenado en ambos planos de inclinación (**A y B**), y el número de la práctica. Usted tendrá las opciones de ver dato anterior **<**, y dato siguiente **>**, además retornar al **Menú** principal.

Si a través del pulsador usted accede al primer dato almacenado, la opción < permanecerá inactiva hasta que acceda al siguiente dato; lo mismo sucede con la opción >, solo se activa si no se está leyendo el último dato.

Si desea eliminar los datos almacenados presione **Limpiar**; en la pantalla visualizará el siguiente mensaje,

<b>DATO</b>	<b>No:002</b>	<b>1</b>
<b>ESTA SEGURO QUE DESEA BORRAR ESTE SONDEO?</b>		
<b>SI</b>	<b>NO</b>	

Si oprime **SI**, se borrarán inmediatamente todos los datos, y visualizará el siguiente mensaje

<b>DATO</b>	<b>No:002</b>	<b>1</b>
<b>MEMORIA VACIA</b>		
<b>MENU</b>		

Si oprime **NO** retornará nuevamente a la ventana de **acceso a memoria**.

Presione **Menú** para retornar al **Menú principal**.

Una vez finalizada la práctica, usted debe realizar un análisis de los datos adquiridos, para reconstruir el perfil del tubo y a partir de éste determinar las características del suelo en estudio, para ello usted debe enviar los datos almacenados en una práctica previamente seleccionada, a un archivo de un computador vía **RS232**.

Para ello el equipo cuenta con un programa previamente adecuado para la adquisición y análisis de los datos adquiridos durante la práctica. El software utilizado en el tratamiento de datos es Labview 5.1, de la nacional instruments.

El software cuenta con dos instrumentos virtuales (VI), **Adquisición.vi** y **Análisis.vi**

Si usted desea enviar los datos a un computador vía RS232 debe abrir **Adquisición.vi**.

Pulse la opción C; podrá interfasar su equipo y enviar los datos almacenados en la memoria. Antes de activar la comunicación debe realizar los siguientes pasos:

- a. **Desconecte** la sonda de inmersión de la unidad de lectura.
- b. Conecte la unidad de lectura con el **PC**, por medio del conector serial hembra-hembra.

- c. Ejecute el VI **adquisición.vi**, e inmediatamente active la comunicación. Presione **Iniciar**, Cuando ejecute el vi. se encontrará con un panel frontal que contiene tres indicadores y un control. A través del control usted debe seleccionar el número de puerto del PC; mediante los indicadores usted podrá visualizar el número de práctica, número de datos, y los datos adquiridos en ambos planos de inclinación, como se indica a continuación:

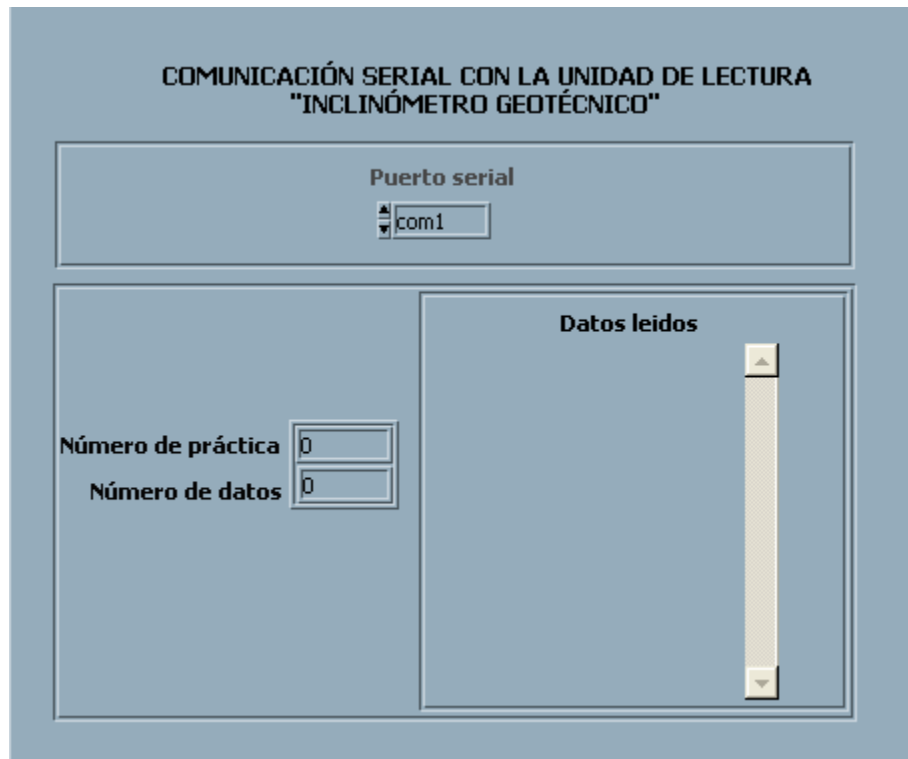


Figura 3. Panel frontal del programa de adquisición de datos

Si desea efectuar el análisis de los datos adquiridos en el paso anterior, debe reiniciar nuevamente la comunicación y ejecutar **Análisis.vi**, usted se encontrará con un panel como éste:

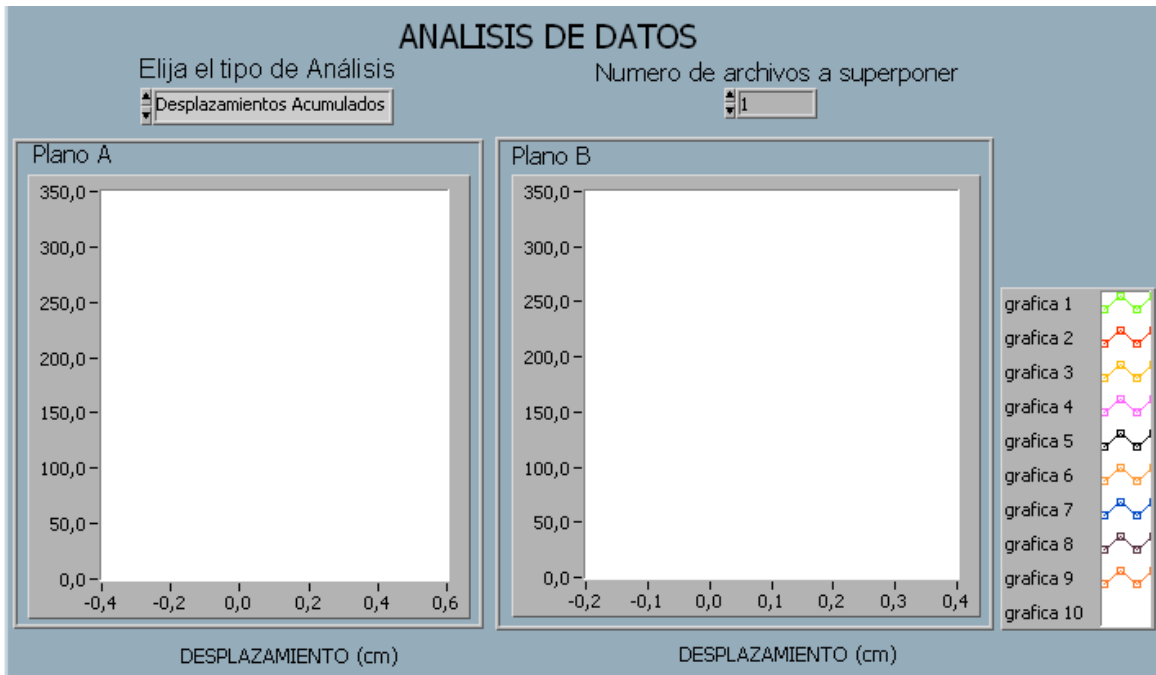


Figura 4. Panel frontal del programa Análisis.vi

Este **VI** posee dos controladores y dos indicadores.

A través de uno de los controles usted elige que tipo de análisis desea realizar, **desplazamientos acumulados, desviaciones acumuladas o checksum**, mediante el otro controlador usted elige el número de archivos a superponer, (máximo 10).

En los indicadores usted visualizará una gráfica en cada plano de inclinación, o las que usted haya elegido.

Si usted desea realizar el análisis de desplazamientos acumulados, deberá seleccionar esta opción a través del control, el programa le solicitará la ruta de archivo donde fueron almacenados previamente los datos, usted visualizará el siguiente panel frontal, deberá rutear inmediatamente y obtendrá la gráfica deseada.



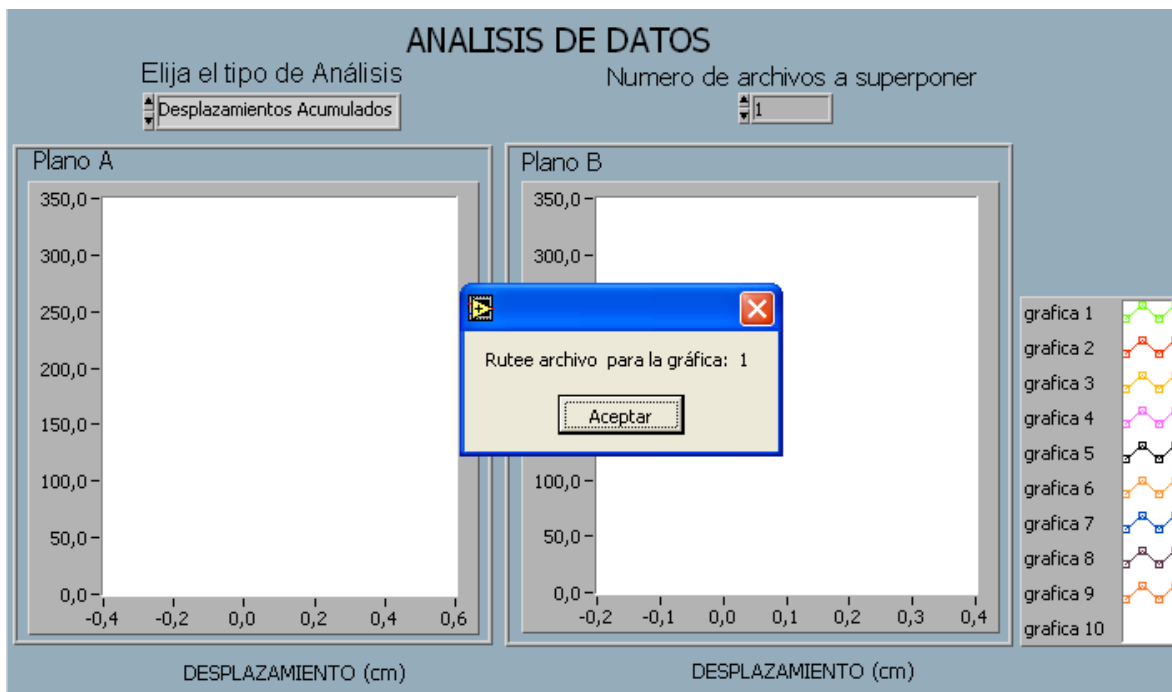


Figura 4. Panel frontal desplazamientos acumulados

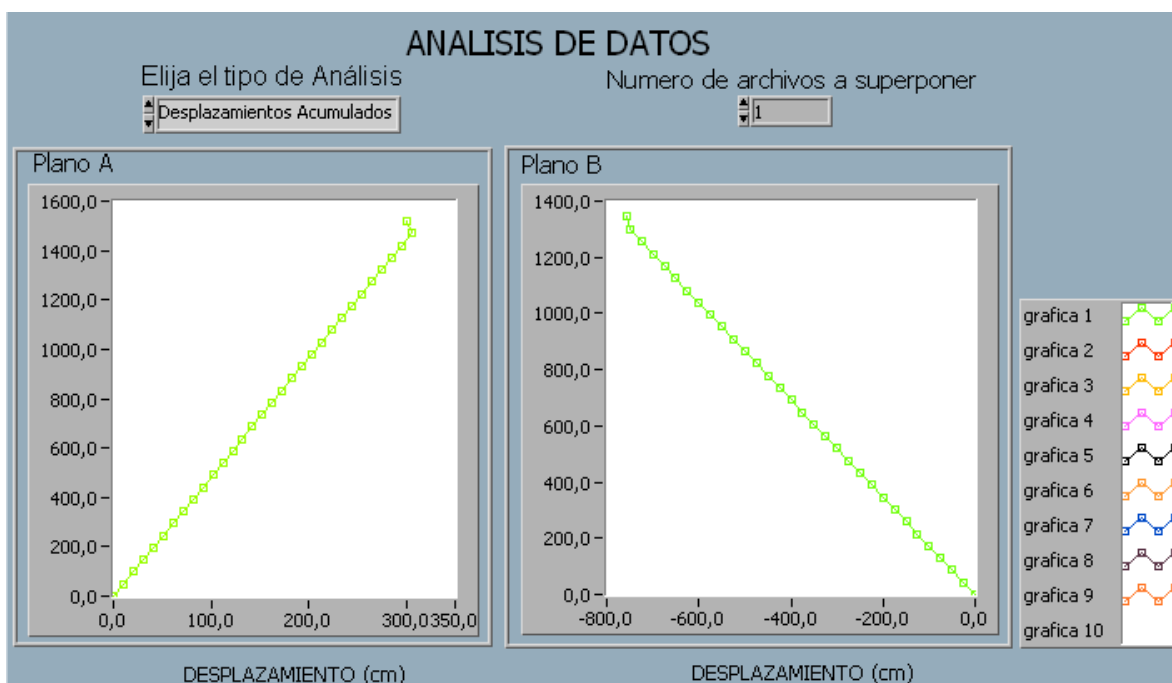


Figura 5. Gráfica de desplazamientos acumulados

En caso de que desee graficar las desviaciones acumuladas, el programa le solicitará la ruta de los archivos inicial y actual, recuerde que estos dos archivos

deben tener el mismo número de datos, en caso contrario, el programa presentará un mensaje de error y se suspenderá el análisis.

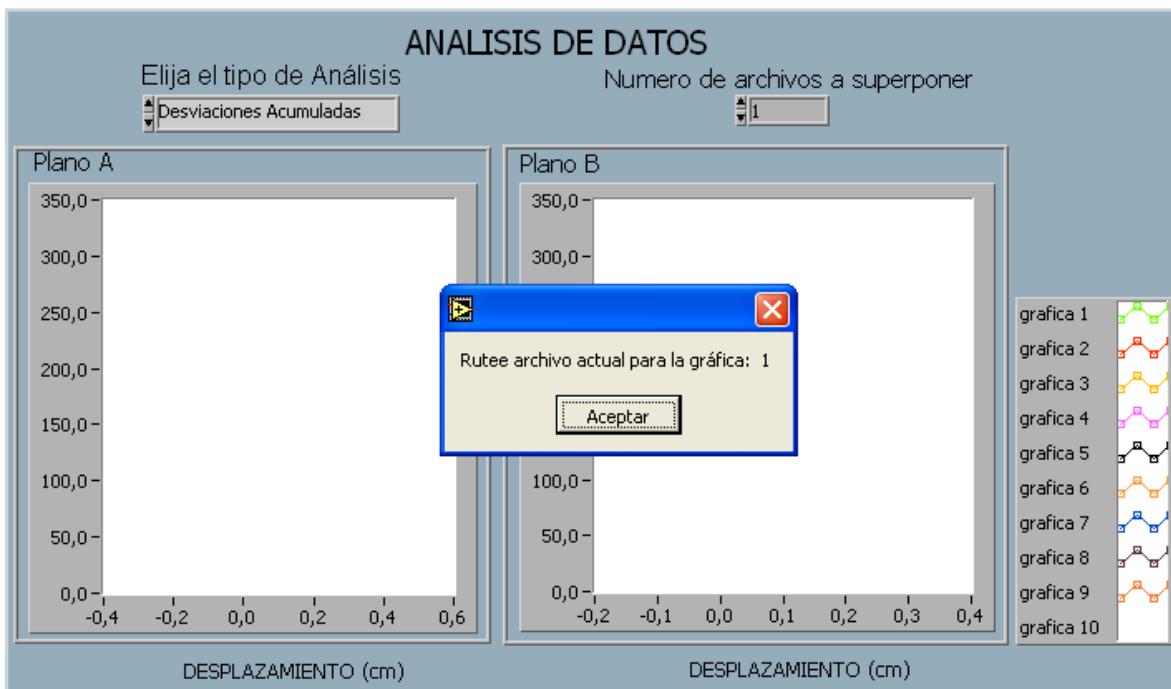
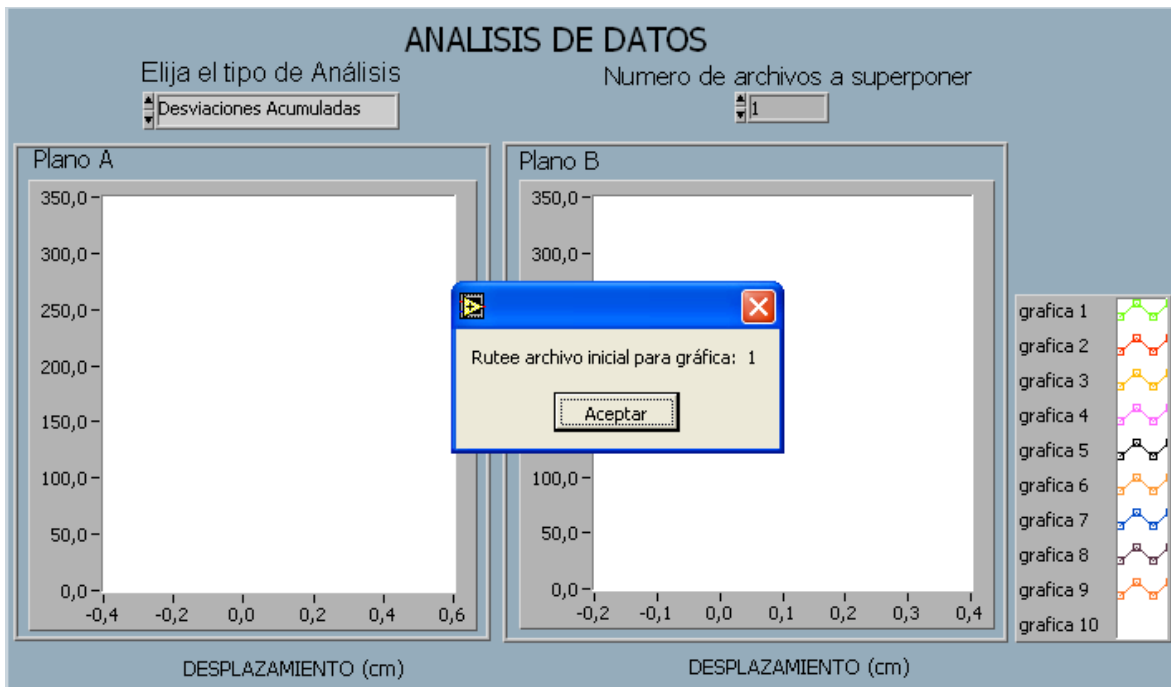


Figura 6. Panel frontal ruteo de archivos

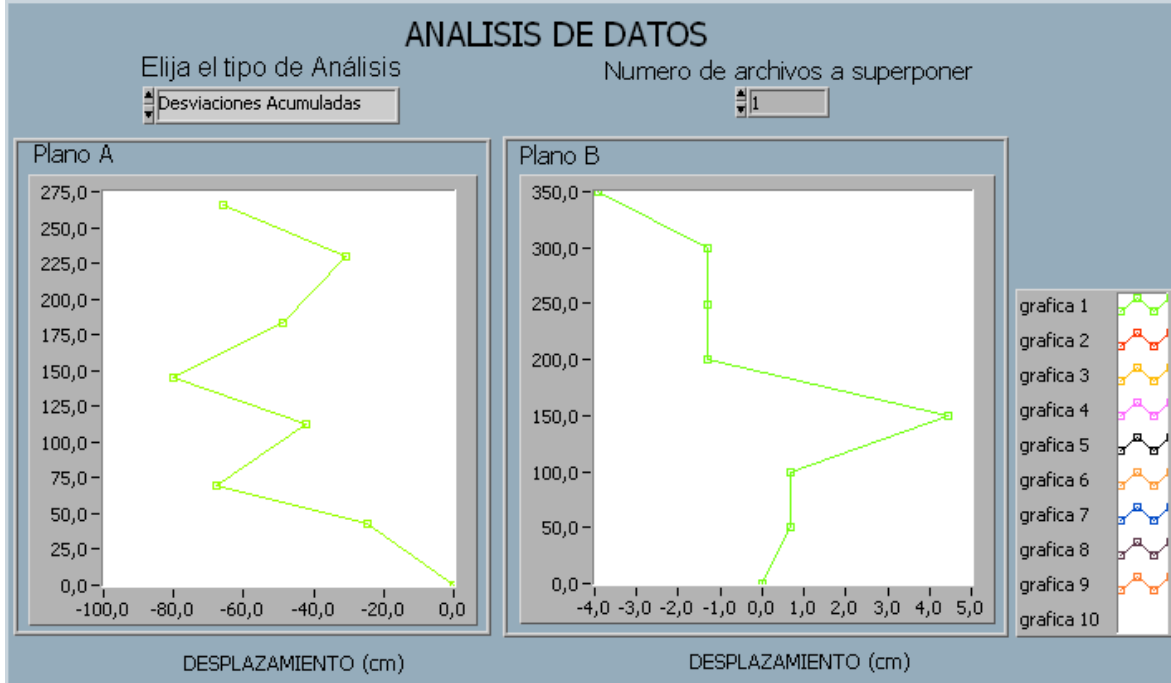


Figura 7. Gráfica desviaciones acumuladas

Si el número de datos de los dos archivos no concuerda, usted visualizará el siguiente mensaje, y deberá reiniciar el análisis.

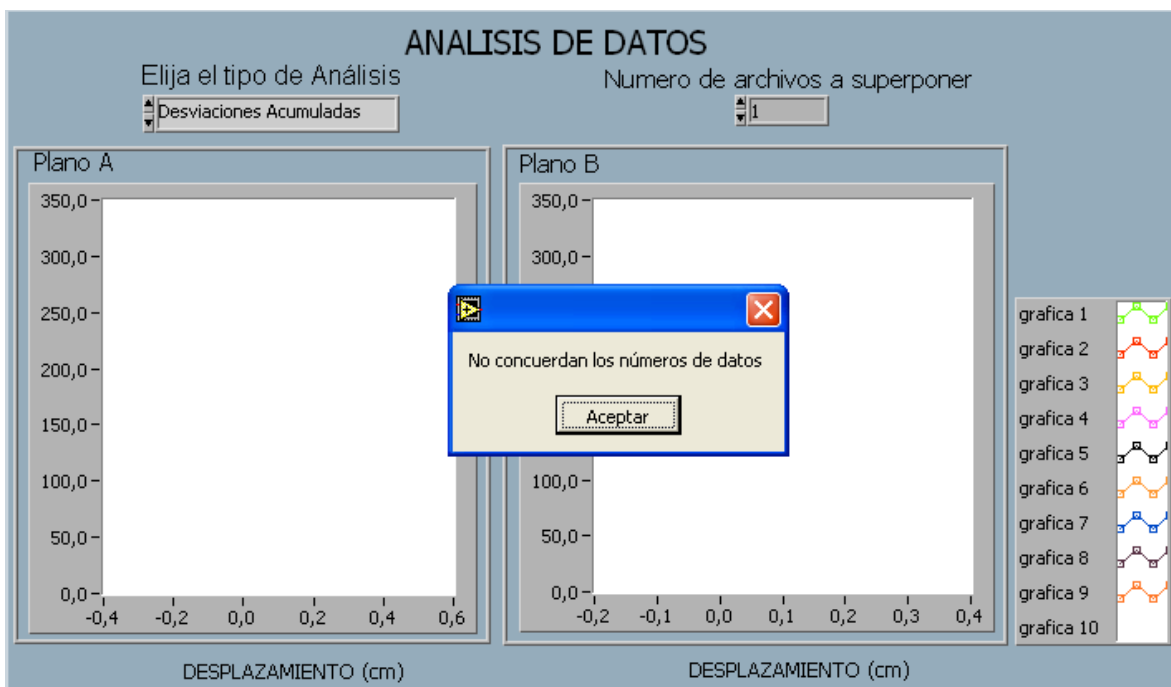


Figura 8. Mensaje de error en número de datos.

Finalmente si usted desea efectuar la verificación de los datos adquiridos, recuerde que previamente usted debe tener almacenados en dos bancos de memoria los datos de la práctica y los de su verificación; de tal manera que el programa le solicitará la ruta de ambos.

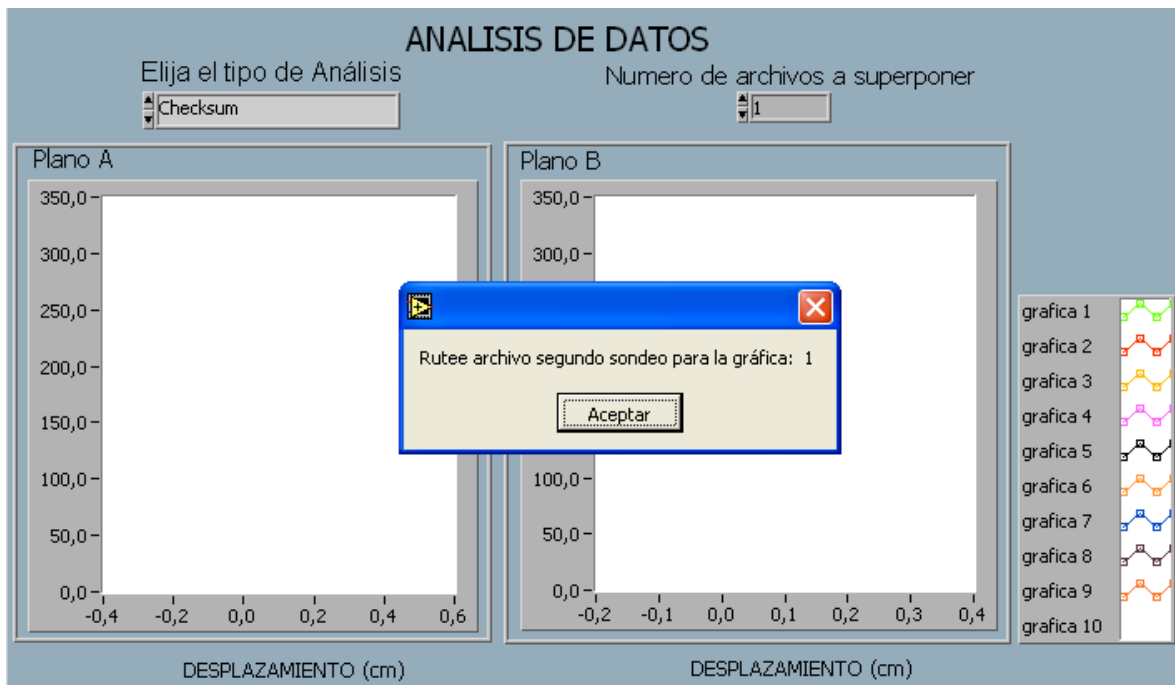
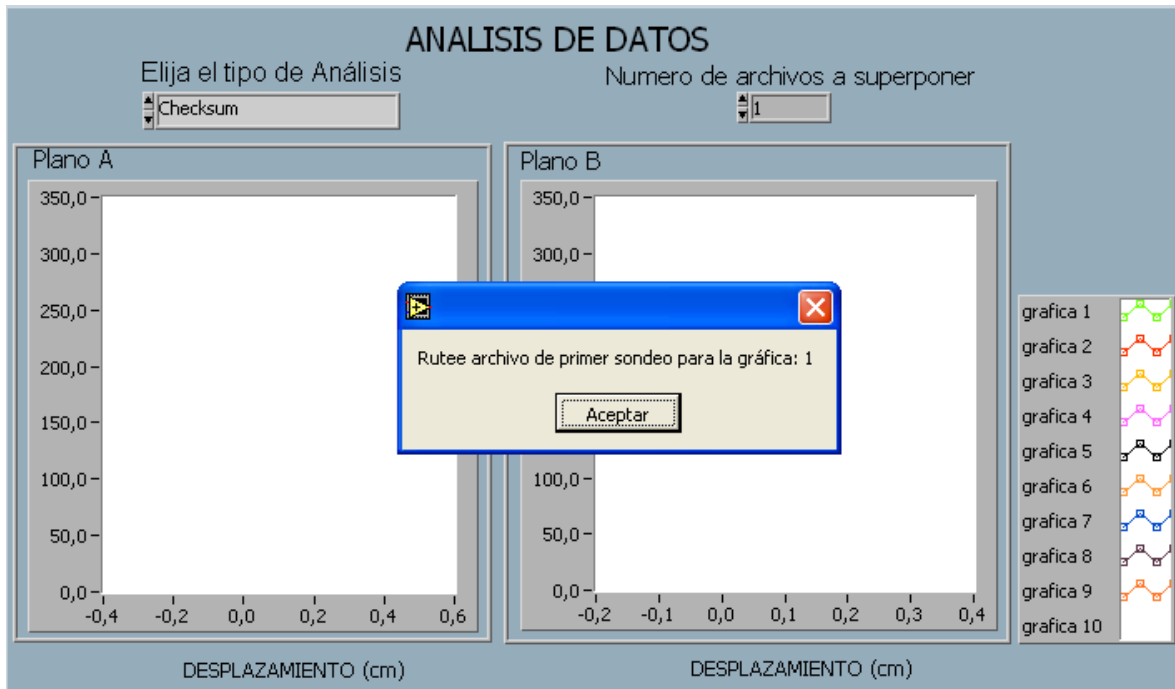


Figura 9. Ruteo de archivo para realizar checksum

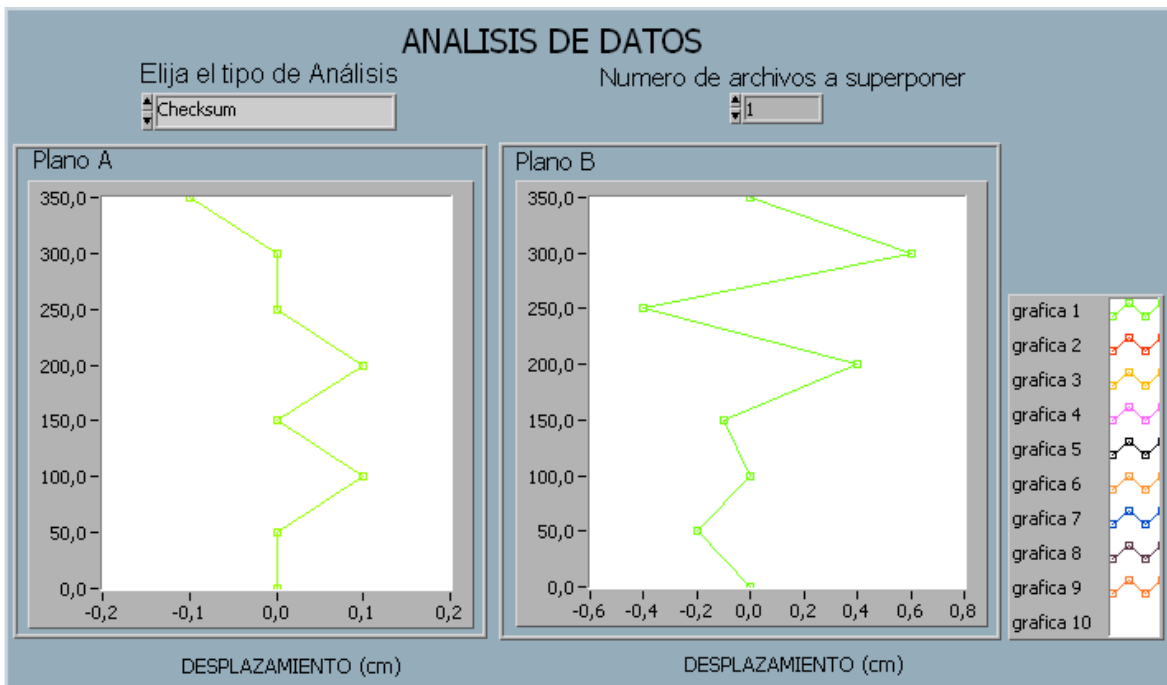


Figura 10. Gráfica de checksum

Si la comunicación se está efectuando correctamente, aparecerá el siguiente mensaje en pantalla:

<b>INTERFAZ</b>	<b>No:002</b>	<b>1</b>
<b>ENVIO EN PROCESO</b>		
<b>Iniciar</b>		<b>Menu</b>

posteriormente,

<b>INTERFAZ</b>	<b>No:002</b>	<b>1</b>
<b>ENVIO EXITOSO</b>		
<b>Iniciar</b>		<b>Menu</b>

Si no recibe respuesta usted visualizará en pantalla:

<b>INCLINOMETRO GEOTECNICO</b> <b>BIENVENIDO</b> <b>Presione una tecla</b> <b>para continuar....</b>
---

Si recibe una respuesta incorrecta, visualizará el siguiente mensaje, y deberá reiniciar la comunicación.

<b>INTERFAZ</b>	<b>No:002</b>	<b>1</b>
<b>ERROR INTENTE DE NUEVO</b>		
<b>Iniciar</b>		<b>Menu</b>

Nota: Cuando usted se encuentre en el modo comunicación, no podrá monitorear sensores debido a que la sonda está desconectada; si lo hace el sistema sufrirá un reset, y observará la siguiente ventana.

<b>INCLINOMETRO GEOTECNICO</b> <b>BIENVENIDO</b> Presione una tecla para continuar....
---

## 5. RANGO DE APLICACIÓN.

El rango de aplicación es de  $\pm 30^\circ$ , dentro de éste rango se garantiza una gran confiabilidad en los datos obtenidos; si se efectúa una inclinación mayor a éste rango, no se producirá ningún cambio en la medida, se mantendrá constante ( $\pm 30^\circ$ ).

## 6. PRECISIÓN

Este instrumento de medición posee una precisión de  $0.1^\circ$ , es decir una décima de grado.

## 7. ALIMENTACIÓN

El sistema cuenta con dos batería de 9 Voltios **DC**, una para el funcionamiento global del sistema y la otra para encender la luz de la pantalla; ésta última es opcional, en la unidad de lectura se encuentran dos switches uno negro y uno rojo. El rojo enciende la luz de la pantalla, el negro enciende todo el sistema.

**Nota:** cuando esté efectuando la práctica es imprescindible que el Switch negro se encuentre activo.

