

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE UN
TRANSDUCTOR DE POSICIÓN APLICADO A UN EDÓMETRO DEL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DE LA FICT.

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero en Electricidad. Electrónica y Automatización
Industrial**

Presentado por:

Wellington Xavier Pazmiño Rodríguez

Carlos Oswaldo Escalante Baque

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2018

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mi madre por haber entregado todo para ser un profesional de una institución tan prestigiosa como es la ESPOL. A ti madre está dedicada este trabajo de graduación. Te quiero.

Wellington

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis padres por ser el apoyo incondicional durante mi vida. A mi esposa, Fátima, por luchar a mi lado y ser fuente de mi inspiración. A mis hijos la razón para ser mejor persona cada día. A ustedes va dedicado este trabajo.

Carlos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi Dios por darme la sabiduría, mi madre por mostrarme el camino hacia la superación, mi esposa por permitirme crecer y aprender a su lado y mis hijos por ser el motor para seguir y alcanzar nuevas metas.

Wellington

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por todo, a mi madre y a mi padre personas invaluable en mi vida, a mi esposa, un regalo que Dios puso en mi camino, y bendijo nuestro hogar con nuestros hijos. ¡A todos quienes aportaron enseñanzas en mi vida, gracias!

Carlos

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *WELLINGTON XAVIER PAZMIÑO RODRÍGUEZ* y *CARLOS OSWALDO ESCALANTE BAQUE* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Wellington Pazmiño

Carlos Escalante

EVALUADORES

MSc. Ronald Pongullo

PROFESOR DE LA MATERIA

MSc. Franklin Kuonquí

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

En el laboratorio de mecánica de suelos de la FICT se realizan diferentes pruebas entre ellas el ensayo de consolidación, el cual utiliza un Consolidómetro y un deformímetro el cual registra el desplazamiento vertical para cada asentamiento de carga y determinar la presión de consolidación de la muestra de suelo. En el mercado existente sistema de medición con costo considerable que hace difícil la adquisición de este sistema. Por lo tanto el objetivo principal del proyecto integrador es desarrollar un sistema de monitoreo continuo de un transductor de posición adaptado al Consolidómetro del laboratorio de FICT.

En la primera sección se establece la teoría del ensayo de consolidación sobre la cual se sustenta el desarrollo del software y los diferentes tipos de transductores de posición.

En la segunda sección se diseño y se construyo los dos principales componentes del proyecto estos son: A nivel de hardware las tarjetas de acondicionamiento de la señal del sensor y la tarjeta de comunicación que tiene como principal componente un microcontrolador. A nivel de software se desarrollo aplicaciones que se encargan de adquirir, registrar datos y posteriormente analizar los mismos para la obtención de los parámetros de consolidación.

En la tercera sección se realizaron las pruebas de comunicación, caracterización del sensor, pruebas de registro de los datos de proyecto en la base de datos y pruebas de cálculos gráficos para la obtención de los parámetros de consolidación.

En la última sección se establece las conclusiones y recomendaciones al proyecto integrador.

ABSTRACT

In the soil mechanics laboratory of the FICT, different tests are carried out, such as the consolidation test, which uses a Consolidometer and a deformimeter which records the vertical displacement for each load settlement and determines the consolidation pressure of the sample of soil. In the market there are measurement systems with a high cost, so the acquisition of this system is difficult. Therefore, the main objective of the integrating project is to develop a continuous monitoring system of a position transducer adapted to the Consolidometer of the FICT laboratory.

The first section establishes the theory of the consolidation test on which the software development is based and the different types of position transducers.

In the second section, the two main components of the project were designed and built. These are: At the hardware level, the conditioning cards of the sensor signal and the communication card, whose main component is a microcontroller. At the software level, applications were developed that were responsible for acquiring, recording data and then analyzing them to obtain the consolidation parameters.

In the third section, the communication tests, characterization of the sensor, tests of registration of the project data in the database and tests of graphic calculations to obtain the consolidation parameters were carried out.

In the last section the conclusions and recommendations to the integrating project are established.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
ABREVIATURAS.....	vi
SIMBOLOGÍA.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE PLANOS.....	xii
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema.....	2
1.2 Justificación del problema.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
1.4 Marco teórico.....	2
1.4.1 Consolidación de suelos.....	3
1.4.2 Edómetro o Consolidómetro.....	5
1.4.3 Ensayo de consolidación cálculos y gráficos.....	6
1.4.4 Transductores de posición o desplazamiento.....	12
1.4.5 Software para el desarrollo de aplicación de monitoreo.....	16
CAPÍTULO 2.....	21
2. METODOLOGIA DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO DE UN TRANSDUCTOR DE POSICIÓN ADAPTADO A UN	

CONSOLIDOMETRO PARA EL DESARROLLO DEL ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN.....	21
2.1 Sensor de posición	21
2.2 Tarjeta de acondicionamiento y adquisición de la señal del sensor de posición...	22
2.2.1 Bloque 1 de la Tarjeta de Acondicionamiento y adquisición del sensor de posición	23
2.2.2 Bloque 2 de la Tarjeta de Acondicionamiento y adquisición del sensor de posición	28
2.3 Interfaz gráfica para la realización de los cálculos y análisis gráficos para la obtención de los parámetros de consolidación.	30
2.3.1 Aplicación 1 / Modbus Deamon	31
2.3.2 Aplicación 2 / Principal	33
2.3.3 Aplicación 3 / Edómetro.....	38
CAPÍTULO 3.....	40
3. ANALISIS DE RESULTADOS	40
3.1 Lectura de voltaje en los canales analógicos.....	41
3.2 Caracterización del sensor	42
3.3 Creación de proyecto, especificación de los datos de anillo, muestra y número de esfuerzo a ser aplicado en la muestra.	43
3.4 Verificación de los datos registrados durante el proceso de carga	43
3.5 Verificación de los datos registrados durante el proceso de descarga	46
3.6 Obtención de los parámetros h_s , v_s , h_v , v_v , e_0 y valor correspondiente a la presión de consolidación a partir de la curva de consolidación.	46
CAPÍTULO 4.....	48
4. Conclusiones y Recomendaciones	48
BIBLIOGRAFÍA.....	49

ANEXOS.....50

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
NACE	National Association of Corrosion Engineer
SSC	Electrodo de Plata Cloruro de Plata
CSE	Electrodo de Cobre Sulfato de Cobre
HWL	High Water Level
LWL	Low Water Level
CIS	Inspección pasó a paso, medición de potenciales de encendido
MPY	Milésimas de pulgadas por año

SIMBOLOGÍA

Kg	Kilogramo
m	Metro
cm	Centímetro
mm	Milímetro
Vdc	Voltaje Corriente Directa
Min	Minutos
Log	Logaritmo de base 10
T50	Tiempo al 50% de consolidación
T90	Tiempo al 90% de consolidación
e0	Relación de Vacíos Inicial
Hs	Altura de sólidos
Vs	Volumen de sólidos
Hv	Altura de vacíos
Vv	Volumen de vacíos
A	Área del anillo
V	Volumen del anillo

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Modelo Cilindro-Resorte.....	4
Figura 1.2 Consolidómetro y clases de Consolidómetro	5
Figura 1.3 Cálculo Cv Método de Taylor	9
Figura 1.4 Cálculo Cv Método de Casagrande.....	10
Figura 1.5 Transductor de posición Resistencia Variable.....	13
Figura 1.6 Transductores lineales	13
Figura 1.7 Transductores angulares.....	13
Figura 1.8 Funcionamiento Sensor LVDT	14
Figura 1.9 Magnitud de salida (AC) diferencial.....	15
Figura 1.10 Angulo de fase de salida relativo al primario	15
Figura 1.11 Salida DC del módulo electrónico.....	15
Figura 1.12 Software de supervisión HMI.....	16
Figura 1.13 Panel Frontal	19
Figura 1.14 Diagrama de Bloques	20
Figura 2.1 Modelos y Fabricantes de sensores de posición tipo potenciómetro.....	22
Figura 2.2 Diagrama de bloques de la tarjeta de acondicionamiento y adquisición del sensor de posición.....	23
Figura 2.3 Características técnicas PIC16F886	23
Figura 2.4 Vin vs Valor ADC.....	25
Figura 2.5 Desplazamiento vs Vin	25
Figura 2.6 Fuses, frecuencia de trabajo y módulo EUSART	26
Figura 2.7 Configuración del módulo ADC	26
Figura 2.8 Configuración MODBUS/RTU & ESCLAVO, Tamaño del Buffer: 64 bytes, Pin de transmisión: PIN_C6, Pin de recepción: PIN_C7 y Pin de comunicación RS485: PIN_B3.	27
Figura 2.9 Cálculo del valor del sensor en función del valor ADC	27
Figura 2.10 Conversión de float a int32 bits	27
Figura 2.11 Función 4 Lectura de la variable input_regs	28
Figura 2.12 Interface RS232 <-> TTL.....	28
Figura 2.13 Interface RS232 <-> RS485	29
Figura 2.14 Esquemático Tarjeta de acondicionamiento de muestra	29

Figura 2.15 PCB – Tarjeta de Acondicionamiento.....	30
Figura 2.16 PCB – Tarjeta de Comunicación	30
Figura 2.17 Diagrama de bloques del Software.....	31
Figura 2.18 Panel Frontal – Aplicación ModbusDeamon.....	32
Figura 2.19 Flujo de Datos – Aplicación ModbusDeamon.....	32
Figura 2.20 Interface Ingreso de Datos de Proyecto	34
Figura 2.21 Interface Ingreso Datos del Anillo.....	34
Figura 2.22 Interface Ingreso Datos de Muestra antes del ensayo	35
Figura 2.23 Interface Ingreso Datos de Muestra después del ensayo.....	35
Figura 2.24 Interface Análisis de Curva de Consolidación	36
Figura 2.25 Interface Análisis de Casagrande.....	36
Figura 2.26 Interface Análisis de Taylor	36
Figura 2.27 Interface Curva de Calibración del sensor de posición.....	37
Figura 2.28 Interface Referencia a Cero	37
Figura 2.29 Interface Aplicación Principal.....	38
Figura 2.30 Interface Aplicación Edómetro.....	39
Figura 2.31 Estructura lógica de la Base de Datos.....	39
Figura 3.1 Tarjeta de comunicación	40
Figura 3.2 Tarjeta de acondicionamiento	40
Figura 3.3 Junction Box.....	41
Figura 3.4 Verificación de lectura y conversión del canal analógico.....	42
Figura 3.5 Obtención de Datos Desplazamiento vs Voltaje Generado.....	42
Figura 3.6 Regresión Lineal – Ecuación de la recta	43
Figura 3.7 Datos de proyecto (id_proyecto=2)	43
Figura 3.8 Datos de Anillo (id_proyecto=2)	43
Figura 3.9 Datos de Muestra (id_proyecto=2)	43
Figura 3.10 Carga en progreso 2.....	44
Figura 3.11 Carga en progreso 3.....	44
Figura 3.12 Carga en progreso 4.....	45
Figura 3.13 Carga en progreso 5.....	45
Figura 3. 14 Desplazamiento para cada incremento de carga / proceso de carga.....	46
Figura 3.15 Desplazamiento para cada decremento de carga / proceso de descarga ..	46

Figura 3.16 Interface Obtención de los parámetros de consolidación47
Figura 3.17 Interface Obtención de los parámetros de la curva de consolidación.....47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Comparación de tipos de transductores de posición	21
---	----

ÍNDICE DE PLANOS

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Entre una gran diversidad de ensayos que se practican en el laboratorio de Mecánica de Suelos de FICT se destaca el ensayo de Consolidación que consiste en encontrar la relación entre la carga aplicada y la relación de vacíos a una muestra de suelo llamada curva de Compresibilidad, además la relación entre su deformación y el tiempo.

Este ensayo nos da una idea clara, del reajuste de la estructura de un suelo cuando se somete a un incremento de carga, que podría considerarse también como una deformación plástica correspondiente a una reducción de su relación de vacíos.

Por su gran importancia en muchos aspectos de la ingeniería el ensayo de consolidación es muy requerido, como por ejemplo en la construcción de pavimentos, carreteras y otros.

Se debe tener un conocimiento exacto del comportamiento del suelo donde se va a construir ante la acción determinadas cargas que debe soportar.

El aparato para realizar el procedimiento de consolidación se denomina Edómetro o Consolidómetro y que permite determinar el asentamiento, que puede sufrir un suelo cuando es sometido a diversas cargas bajo condiciones de saturación o en estado natural. Está constituido por una celda de consolidación, que consta de un anillo en el cual se encuentra confinado lateralmente una muestra de suelo el cual lleva en su parte superior e inferior una piedra porosa que permite la fluidez del agua que se encuentra en los poros de la muestra al aplicarle carga.

En la parte superior del anillo se encuentra un vástago de carga en el que se aplican las presiones de asentamiento a las que se desea someter la muestra.

Las deformaciones que experimenta la muestra son medidas a través de un deformímetro donde se toma los datos de manera manual.

Para la obtención de los parámetros del proceso de consolidación se necesita de una serie de procedimientos gráficos.

1.1 Descripción del problema

La adquisición y análisis de los datos es parte fundamental del ensayo de consolidación de suelos, por lo tanto el tratamiento manual puede llegar a inducir importantes errores en los resultados. También, en la actualidad se puede encontrar diferentes soluciones a nivel de hardware y software para la adquisición y análisis de los datos que tiene un costo considerable que no hace viable para la Universidad adquirir estos sistemas.

1.2 Justificación del problema

Además de no tener confiabilidad en la recolección y análisis de los datos que se realizan de manera manual, la Universidad tiene poca disponibilidad presupuestaria para la compra de un sistema. Es viable el desarrollo de una solución a nivel de hardware y software para el ensayo de consolidación que se realiza en el laboratorio de mecánica de suelos de FICT.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- 1 Desarrollar un sistema de monitoreo para el desarrollo del ensayo de consolidación en el laboratorio de mecánica de suelos de FICT.

1.3.2 Objetivos Específicos

- 1 Diseñar e implementar una tarjeta de aplicación para la adquisición y acondicionamiento de una señal del sensor de posición que será incorporado en un Consolidómetro.
- 2 Desarrollar una interfaz gráfica para adquirir los datos y calcular los parámetros del proceso de consolidación.

1.4 Marco teórico

En el mercado se han desarrollado sistemas sistematizado de consolidación de suelos, entre los principales componentes principales que constituyen los mismos son: sensores de posición para la adquisición de la señal de deformación y

software para realizar cálculos y obtención de los parámetros de consolidación a partir de las graficas. Por lo tanto, se analiza:

- 1 Consolidación de suelos.
- 2 Edómetro o Consolidómetro.
- 3 Ensayo de consolidación cálculos y gráficos.
- 4 Transductores de posición o desplazamiento.
- 5 Software para el desarrollo de aplicación de monitoreo.

1.4.1 Consolidación de suelos

La consolidación es todo proceso que signifique disminución de volumen en la masa de suelo con respecto al tiempo y al estado de carga de carga que actúa sobre la misma. Se tiene dos tipos de consolidaciones: Consolidación Primaria: cuando cargado el suelo, la reducción de volumen se debe a la expulsión del agua, fenómeno en el que se transfiere la carga soportada por el agua al esqueleto mineral y con la que nace la Mecánica de Suelos (Terzaghi, 1925). Consolidación Secundaria: cuando la consolidación se da por reajuste del esqueleto mineral y luego de que la carga está casi toda soportada por este y no por el agua.

La consolidación impone la necesidad de evaluar la magnitud y la velocidad de los asentamientos. Si las deformaciones totales del terreno varían en la dirección horizontal, se producen asentamientos diferenciales. Si el suelo es altamente deformable, las sobrecargas cargas altas producen asentamientos excesivos. Si el suelo es un limo arenoso, la permeabilidad puede ofrecer asentamientos rápidos que suelen darse durante la construcción. Si el suelo es limo arcilloso, los asentamientos pueden prolongarse darse un tiempo importante después de terminada la obra.

Se pueden considerar dos casos para el análisis de asentamiento: Primer caso: asentamientos por una sobrecarga en un área infinita, o asentamiento por sobrecarga en un área de tamaño finito. Lo anterior se define según la extensión

del área cargada en comparación con el espesor de la capa de subsuelo que se considera deformable.

Para el caso de un área cargada de extensión infinita, según Terzagui, las deformaciones y el flujo de agua se dan en una dimensión que es la dirección vertical, e interesa la permeabilidad vertical del suelo. En este caso se considerará el efecto de la sobrecarga constante a cualquier profundidad del terreno deformable. Segundo caso: cuando el área cargada es pequeña como suele darse en el caso de una zapata, es evidente la deformación tridimensional del subsuelo. Esta evaluación se hará teniendo en cuenta la variación del esfuerzo en profundidad y la rigidez o flexibilidad de la cimentación causante de la sobrecarga.

Para un mejor entendimiento del proceso que ocurre en la masa de suelo, se hace una analogía del suelo con el modelo cilindro-resorte (ver Figura 1.1).

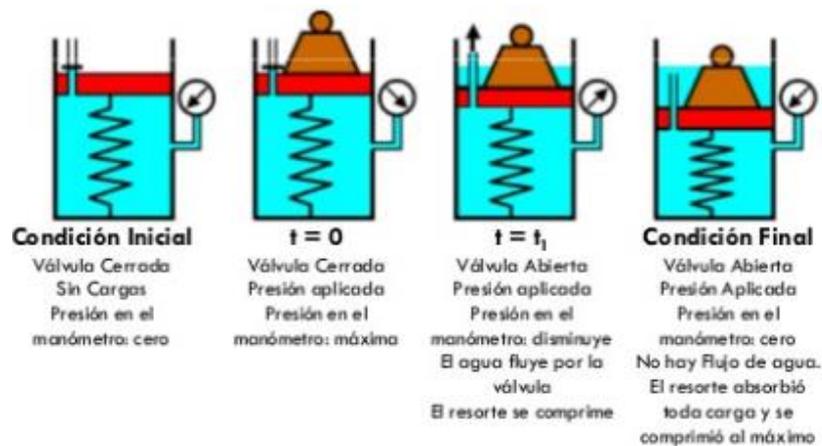


Figura 1.1 Modelo Cilindro-Resorte

El resorte representa el esqueleto del suelo. Un suelo rígido se comprimirá menos que un suelo suave y la rigidez de un suelo influye en la magnitud de los asentamientos. El tamaño de la abertura es análogo a la permeabilidad del suelo.

Por lo tanto, la consolidación de un suelo es más lenta que la de un suelo grueso. La permeabilidad de un suelo influye en la tasa de consolidación.

1.4.2 Edómetro o Consolidómetro

Es un aparato que permite determinar el asentamiento, que puede sufrir un suelo cuando es sometido a diversas cargas bajo condiciones de saturación o en estado natural. Está constituido por una celda de consolidación, que consta de un anillo en el cual se encuentra confinado lateralmente una muestra de suelo el cual lleva en su parte superior e inferior una piedra porosa que permite la fluidez del agua que se encuentra en los poros de la muestra al aplicarle carga.

En la parte superior del anillo se encuentra un vástago de carga en el que se aplican las presiones de asentamiento a las que se desea someter la muestra. Las deformaciones que experimenta la muestra son medidas a través de un deformímetro.

Se tiene las siguientes clases de Consolidómetro (ver Figura 1.2):
Consolidómetro de Anillo Flotante: Es llamado así, principalmente, porque al utilizarlo se puede desplazar durante la consolidación del suelo. Consolidómetro de Anillo Fijo: Este tipo de Consolidómetro es poco usado actualmente, excepto para la realización de pruebas de permeabilidad ejecutadas simultáneamente con la de la consolidación.

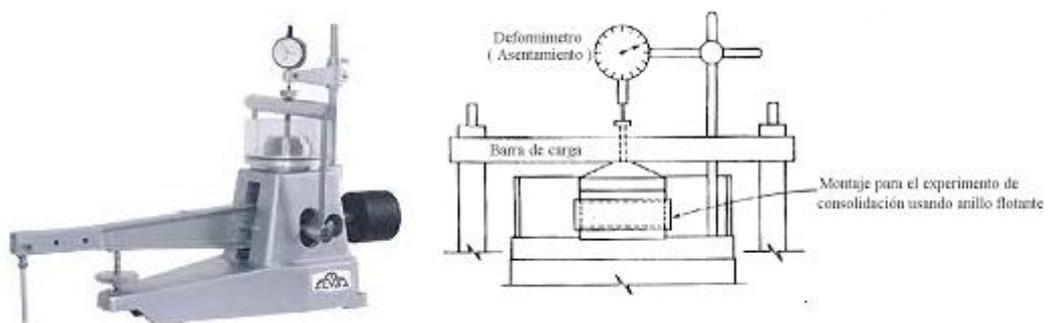


Figura 1.2 Consolidómetro y clases de Consolidómetro

1.4.3 Ensayo de consolidación cálculos y gráficos

Para realizar el proceso de consolidación primeramente se selecciona la muestra. La muestra inalterada es un suelo tomado en campo y cortado con cuidado para obtener una probeta, que quede ajustada al diámetro del anillo interior, y con altura de una pulgada. Es por eso que el ensayo se realiza en condiciones de compresión confinada, con una muestra saturada.

Al aplicar la carga, el agua se evacúa por dos piedras porosas: una superior y otra inferior. La carga aplicada en el ensayo es incremental. En el ensayo se realiza el registro de las deformaciones (en el extensómetro) contra el tiempo. Otros valores que se registran y se calculan en el ensayo son la carga y la relación de vacíos.

Las cargas se van doblando cada vez y los incrementos se hacen cada 24 horas. Finalmente, la descarga se hace gradual.

Cada carga permanece constante sobre la muestra un tiempo conveniente, para lograr la consolidación completa bajo dicha carga. Se estima que en un tiempo mínimo de 24 horas se logra esta condición; transcurrido el tiempo se aplica una nueva carga, siguiendo una relación geométrica con la anterior.

Se acostumbra aplicar una serie de 0,50, 1,00, 2,00, 4,00, 8,00, 16,00 Kg/cm². Al alcanzar a la presión predeterminada de carga dentro de la serie programada, se procede a realizar la descarga, por decrementos en el orden similar al de la carga.

Cálculos y gráficos

1 Calcular el área (A) de la probeta:

$$A = \pi * (D/2)^2 \text{ (cm}^2\text{)} \quad (1.1)$$

Donde:

D =diámetro interior del anillo de broce (cm).

- 2 Calcular el volumen (V):

$$V = A * H_0 \text{ (cm)}^3 \quad (1.2)$$

Donde:

H_0 = altura inicial de la probeta (cm).

- 3 Calcular el contenido de humedad inicial (w_i) de la probeta, el que se compara con aquel obtenido a través de una muestra representativa, mediante la siguiente expresión:

$$w_i = \frac{(W_1 - M_r) - W_3}{W_3} * 100 \text{ (\%)} \quad (1.3)$$

Donde:

M_r = peso del anillo de bronce (grs.)

W_1 = peso del anillo más la probeta (grs.)

W_3 = peso de la probeta seca (grs.)

- 4 Calcular el contenido de humedad final (w_f) de la probeta (suponiendo $S=100\%$), mediante la siguiente expresión:

$$w_f = \frac{(W_2 - W_3)}{W_3} * 100 \text{ (\%)} \quad (1.4)$$

Donde:

W_2 = peso de la probeta luego de ensayada (grs.)

- 5 Calcular la altura de sólidos (H_s) de la probeta:

$$H_s = \frac{W_3}{G_s * \gamma_w * A} \text{ (cm)} \quad (1.5)$$

Donde:

G_s = valor de la gravedad específica de los sólidos

γ_w = densidad del agua (valor ≈ 1)

Si no se conoce el valor de G_s , la altura de sólidos (H_s) de la probeta, se puede calcular una vez concluido el ensayo, mediante la expresión:

$$H_s = (H_0 - \Delta H) - (W_2 - W_3)/A \text{ (cm)} \quad (1.6)$$

Donde:

ΔH = asentamiento total de la probeta (cm)

- 6 Calcular la altura inicial de vacíos (H_{v0}) de la probeta, mediante la expresión:

$$H_{v0} = H_0 - H_s \text{ (cm)} \quad (1.7)$$

- 7 Calcular el grado de saturación inicial (S_0) de la probeta:

$$S_0 = \frac{(W_1 - M_r) - W_3}{H_{v0} * A} * 100 \text{ (\%)} \quad (1.8)$$

- 8 Calcular la relación de vacíos inicial (e_0) de la probeta:

$$e_0 = H_{v0} / H_s \quad (1.9)$$

- 9 Calcular la altura promedio (H') para cada incremento de carga, mediante la expresión:

$$H' = \frac{H_i - H_f}{2} \text{ (cm)} \quad (1.10)$$

Donde:

H_i = altura inicial de la muestra (cm)

H_f = altura final de la muestra (cm)

- 10 Calcular la altura de vacíos (Hv') para cada incremento de carga, mediante la expresión:

$$Hv' = H_f - H_s \text{ (cm)} \quad (1.11)$$

- 11 Calcular la relación de vacíos (e') para cada incremento de carga, mediante la expresión:

$$e' = Hv' / H_s \quad (1.12)$$

- 12 Calcular la deformación unitaria (ϵ) para cada incremento de carga, mediante la expresión:

$$\epsilon = \Delta H' / H_0 \quad (1.13)$$

Donde:

$\Delta H'$ = lectura final del dial de deformación (cm)

- 13 Calcular la longitud promedio de la trayectoria del drenaje (H^2) para cada incremento de carga, mediante la siguiente expresión:

$$H^2 = \left(\frac{H_i}{2}\right)^2 \text{ (cm}^2\text{)} \quad (1.14)$$

- 14 Obtener los parámetros de consolidación por uno de los dos métodos establecidos.

Método de la raíz cuadrada del tiempo o de Taylor. Consiste en graficar la curva lecturas de dial contra raíz cuadrada del tiempo para cada incremento de carga. Por su parte recta se traza una tangente, prolongándola hasta cortar la ordenada, obteniendo así el origen corregido (D_s).

Por este punto se traza una línea recta con una inclinación del 15% mayor a la tangente, hasta cortar la curva, cuya intersección proyectada en la ordenada corresponderá al 90% de consolidación (D_{90}) y en la abscisa al tiempo de 90% de consolidación (T_{90}). El 100% de consolidación (D_{100}) se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$D_{100} = D_s - \left(\frac{10}{9}\right) * (D_s - D_{90}) \quad (1.15)$$

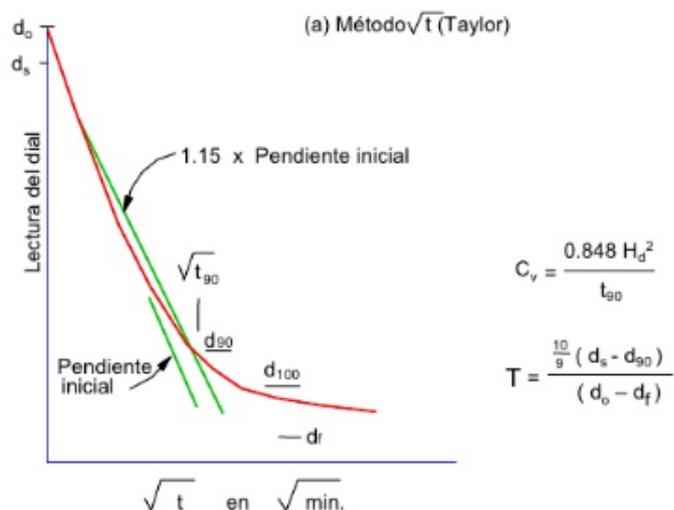


Figura 1.3 Cálculo C_v Método de Taylor

Método del logaritmo del tiempo. Consiste en graficar la curva lectura de dial contra logaritmo del tiempo para cada incremento de carga. Por sus partes rectas (en el medio y final de la curva), se trazan tangentes cuya intersección proyectada en la ordenada corresponderá al 100% de consolidación (D_{100}) y en la abscisa al tiempo de 100% de consolidación (T_{100}).

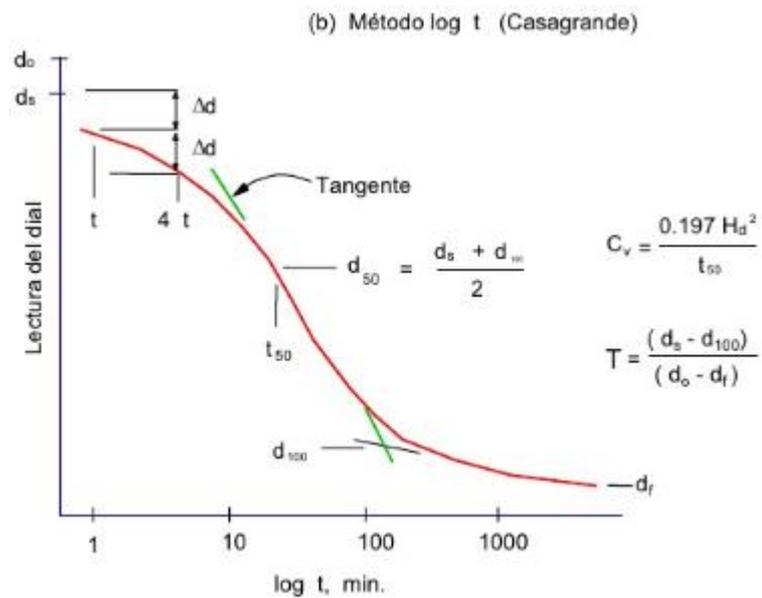


Figura 1.4 Cálculo C_v Método de Casagrande

- 15 El origen corregido (D_s) se obtiene seleccionando en la cercanía de 0.1', un tiempo T_1 y uno $T_2 = 4 * T_1$. Desde T_1 a T_2 se mide la ordenada y este valor se fija verticalmente sobre T_1 .
- 16 La operación se repite para otros tres puntos, los que deben estar en una recta aproximada. La intersección con la ordenada determina el valor D_s . El 50% de consolidación (D_{50}) se obtiene mediante:
$$D_{50} = (D_s + D_{100})/2 \quad (1.16)$$
- 17 Calcular el coeficiente de consolidación (C_v), por el *método de la raíz cuadrada del tiempo o de Taylor*.

$$C_v = \frac{0,848 \cdot H^2}{T_{90}} \text{ (cm}^2\text{/seg)} \quad (1.17)$$

- 18** Calcular el coeficiente de consolidación (C_v), por el método del logaritmo del tiempo:

$$C_v = \frac{0,197 \cdot H^2}{T_{50}} \text{ (cm}^2\text{/seg)} \quad (1.18)$$

- 19** Calcular la razón primaria de compresión (r), por el método de la raíz cuadrada del tiempo o de Taylor:

$$r = \left(\frac{10}{9}\right) * (D_s - D_{90}) / (D_0 - D_f) \quad (1.19)$$

Donde:

D_0 = lectura del dial de compresión al tiempo cero (cm)

D_f = lectura del dial de compresión al final del ensayo (cm)

- 20** Calcular la razón primaria de compresión (r), por el método del logaritmo del tiempo:

$$r = (D_s - D_{100}) / (D_0 - D_f) \quad (1.20)$$

- 21** Graficar la curva relación de vacíos (e') contra logaritmo de presión. La pendiente de su parte recta determina el índice de compresión (C_c):

$$C_c = \Delta e / \left(\log\left(\frac{P_2}{P_1}\right)\right) \quad (1.21)$$

Donde:

Δe = diferencia de vacíos para dos logaritmo de presión (P_1 y P_2) de la recta.

- 22** Graficar la curva de presión (P) contra relación de vacíos (e'). La pendiente de su parte determina el coeficiente de compresibilidad (a_v):

$$a_v = \Delta e / \Delta p \quad (1.22)$$

Donde:

Δe = diferencia de vacíos para dos logaritmo de presión (P_1 y P_2) de la recta.

$$\Delta p = P_2 - P_1$$

Este coeficiente se puede calcular también, en función del índice de compresión, mediante la siguiente expresión:

$$a_v = (0,435 * C_c) / P \quad (1.23)$$

Donde:

P = presión promedio en la obtención de C_c .

- 23** De la curva lectura de dial vs log. Del tiempo, la pendiente de la rama secundaria determina el coeficiente de compresibilidad secundaria (C_α):

$$C_\alpha = \Delta h / (\log(\frac{T_2}{T_1})) \quad (1.24)$$

Donde:

Δh = diferencia de altura para dos logaritmos de tiempo (T_1 y T_2) de la rama secundaria.

- 24** Calcular el coeficiente de compresibilidad volumétrica (m_v):

$$m_v = a_v / (1 + e_0) \quad (1.25)$$

- 25** Calcular el coeficiente de permeabilidad (K) en función de los resultados obtenidos para cada incremento de carga:

$$K = \frac{C_v * a_v * \gamma_w}{1 + e_0} \text{ (cm/seg)} \quad (1.26)$$

1.4.4 Transductores de posición o desplazamiento

Se Clasifican en:

- 1 Resistivos
- 2 Inductivos
- 3 LVDT

1.4.4.1 Transductores Resistivos

En estos transductores las variaciones de la posición que se quiere medir se convierten en variaciones de resistencia eléctrica, generalmente a través de un contacto móvil que se desplaza a lo largo de un material resistivo, ya sea bobinado o de película.

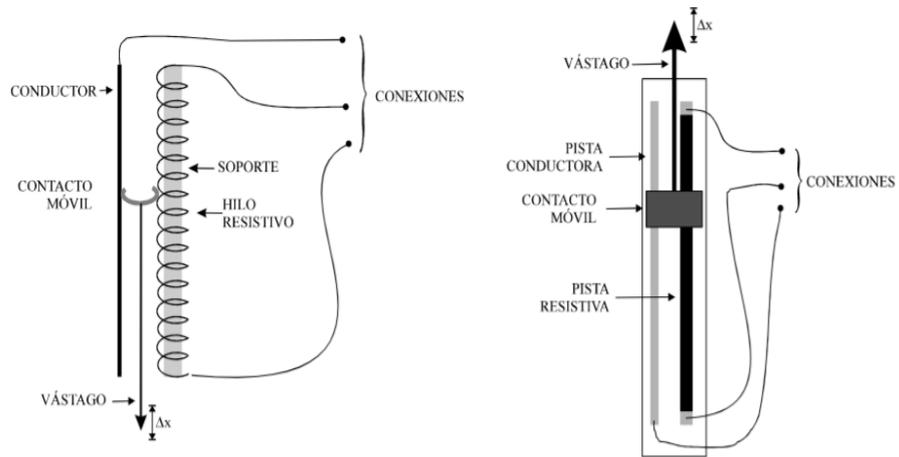


Figura 1.5 Transductor de posición Resistencia Variable

1.4.4.2 Transductores Inductivos

En estos transductores las variaciones de la posición que se quiere medir se convierte en una variación de inductancia, generalmente a través de variaciones en el circuito magnético de la bobina. Estos transductores se utilizan en “push-pull” para conseguir una linealidad suficiente.

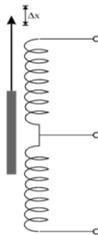


Figura 1.6 Transductores lineales

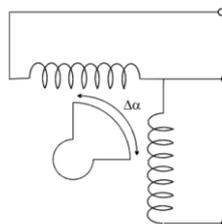


Figura 1.7 Transductores angulares

1.4.4.3 Transformador diferencial de variación lineal, o LVDT

El transformador diferencial de variación lineal (TDVL o, por sus siglas en inglés, LVDT) es un tipo de transformador eléctrico utilizado para medir desplazamientos lineales. El transformador posee tres bobinas dispuestas extremo con extremo alrededor de una barra. La bobina central es el devanado primario (P) y las externas son los secundarios (S_1 y S_2). Un núcleo ferromagnético de forma cilíndrica, sujeto al objeto cuya posición desea ser medida, se desplaza respecto a las bobinas a lo largo del eje de la barra.

¿Cómo funciona un sensor LVDT?

El arrollamiento primario P , es energizado por una fuente de corriente alterna de amplitud constante. El flujo magnético desarrollado es acoplado por el núcleo hacia el arrollamiento secundario adyacente S_1 y S_2 . Si el núcleo está localizado equidistante de S_1 y S_2 , igual flujo desacoplado hacia cada secundario así los voltajes E_1 y E_2 , inducido en cada arrollamiento son iguales.

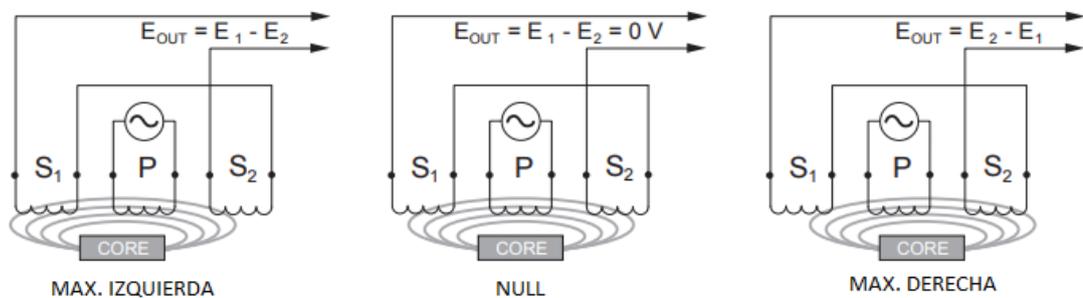


Figura 1.8 Funcionamiento Sensor LVDT

En esta posición equidistante del núcleo, referida como punto Null, la salida de tensión diferencial ($E_1 - E_2$) es efectivamente 0. Si el núcleo es desplazado más cerca de S_1 que de S_2 , más flujo es acoplado hacia S_1 , así el voltaje inducido E_1 es incrementado mientras E_2 decrece, resultando en la tensión diferencial $E_1 - E_2$. Recíprocamente, si el núcleo es desplazado más cerca de S_2 , más flujo es acoplado hacia S_2 y por lo tanto se incrementa E_2 , resultando en la tensión diferencial $E_2 - E_1$.

Las siguientes figuras muestran como la magnitud de la tensión de salida diferencial E_0 , varía con la posición del núcleo. El valor de E_0 a un máximo desplazamiento del núcleo desde la posición nula depende de la amplitud de la tensión de excitación del primario y del factor de sensibilidad del LVDT, pero es típicamente de varios volts efectivos (RMS).

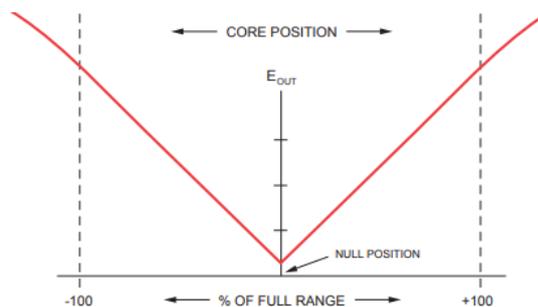


Figura 1.9 Magnitud de salida (AC) diferencial

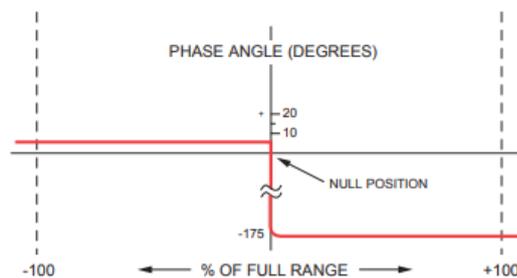


Figura 1.10 Angulo de fase de salida relativo al primario

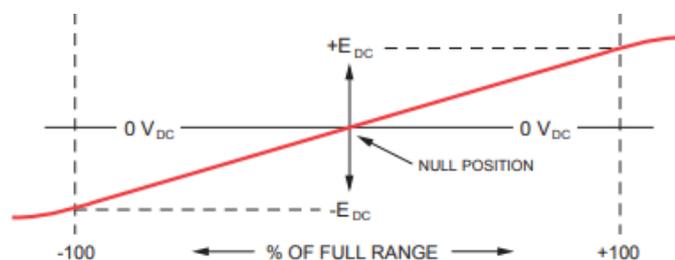


Figura 1.11 Salida DC del módulo electrónico

Estos 180 grados de desplazamiento de fase pueden ser usados para determinar la dirección del núcleo desde el punto nulo por medio de una

circuitería apropiada. Esta es mostrada en el diagrama donde la polaridad de la señal de salida representa la relación posicional del núcleo respecto al punto nulo. El diagrama también muestra que la salida de un LVDT es muy lineal sobre este rango específico de movimiento del núcleo, pero de todas formas el sensor puede ser usado sobre un rango extendido con alguna reducción en la linealidad de salida.

1.4.5 Software para el desarrollo de aplicación de monitoreo

Introducción a la interfaz hombre máquina

La sigla hmi es la abreviación en inglés de interfaz hombre máquina. Los sistemas hmi podemos pensarlos como una "ventana" de un proceso.

Esta ventana puede estar en dispositivos especiales como paneles de operador o en computadora los sistemas hmi en computadoras se los conoce también como software hmi (en adelante hmi) o de monitoreo y control de supervisión.

Las señales de procesos son conducidas a la hmi por medio de dispositivos como tarjetas de entrada/salida en la computadora, PLC's (controladores lógicos programables), RTU (unidades remotas de E/S) o Drives (variadores de velocidad de motores). Todos estos dispositivos deben tener una comunicación que entienda el HMI. (Ver Figura 1.13)

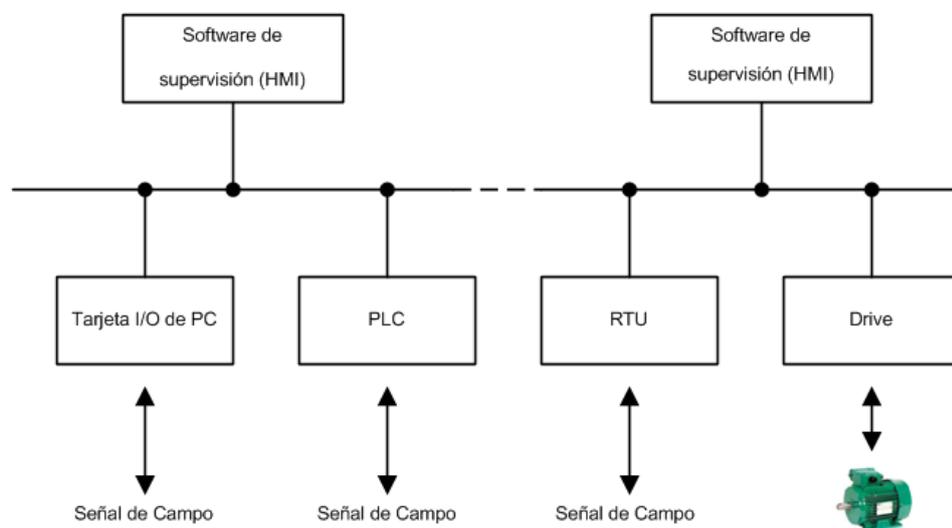


Figura 1.12 Software de supervisión HMI

Introducción al software LabVIEW

LabVIEW es una plataforma de programación gráfica que ayuda a ingenieros a escalar desde el diseño hasta pruebas y desde sistemas pequeños hasta grandes sistemas. Ofrece integración sin precedentes con software legado existente. IP y hardware al aprovechar las últimas tecnologías de cómputo. LabVIEW ofrece herramientas para resolver los problemas de hoy en día y la capacidad para la futura innovación, más rápido y de manera más eficiente.

Existen diversos software para la creación de HMI, en el presente trabajo se propone la utilización del software LabVIEW para la creación de dicho HMI, que ofrece un entorno de programación grafica muy amigable.

LabVIEW constituye un revolucionario sistema de programación gráfica para aplicaciones que involucren adquisición, control, análisis y presentación de datos. Las ventajas que proporciona el empleo de LabVIEW se resumen en las siguientes:

1. Se reduce el tiempo de desarrollo de las aplicaciones al menos de 4 a 10 veces, ya que es muy intuitivo y fácil de aprender.
2. Dota de gran flexibilidad al sistema, permitiendo cambios y actualizaciones tanto del hardware como del software.
3. Da la posibilidad a los usuarios de crear soluciones completas y complejas.
4. Con un único sistema de desarrollo se integran las funciones de adquisición, análisis y presentación de datos.
5. El sistema está dotado de un compilador gráfico para lograr la máxima velocidad de ejecución posible.
6. Tiene la posibilidad de incorporar aplicaciones escritas en otros lenguajes.

LabVIEW es un entorno de programación destinado al desarrollo de aplicaciones, similar a los sistemas de desarrollo comerciales que utilizan el lenguaje C o BASIC. Sin embargo, LabVIEW se diferencia de dichos programas en un importante aspecto: los citados lenguajes de programación se basan en líneas de texto para crear el código fuente del programa, mientras que LabVIEW

emplea la programación gráfica o lenguaje G para crear programas basados en diagramas de bloques.

Para el empleo de LabVIEW no se requiere gran experiencia en programación, ya que se emplean iconos, términos e ideas familiares a científicos e ingenieros, y se apoya sobre símbolos gráficos en lugar de lenguaje escrito para construir las aplicaciones. Por ello resulta mucho más intuitivo que el resto de lenguajes de programación convencionales. LabVIEW posee extensas librerías de funciones y subrutinas. Además de las funciones básicas de todo lenguaje de programación, LabVIEW incluye librerías específicas para la adquisición de datos, control de instrumentación VXI, GPIB y comunicación serie, análisis presentación y guardado de datos. LabVIEW también proporciona potentes herramientas que facilitan la depuración de los programas.

¿Cómo funciona LabVIEW?

Los programas desarrollados mediante LabVIEW se denominan Instrumentos Virtuales (VIs), porque su apariencia y funcionamiento imitan los de un instrumento real. Sin embargo son análogos a las funciones creadas con los lenguajes de programación convencionales. Los VIs tienen una parte interactiva con el usuario y otra parte de código fuente, y aceptan parámetros procedentes de otros VIs. Todos los VIs tienen un panel frontal y un diagrama de bloques. Las paletas contienen las opciones que se emplean para crear y modificar los VIs. A continuación se presenta un descripción general de estos conceptos.

PANEL FRONTAL

Se trata de la interfaz gráfica del VI con el usuario. Esta interfaz recoge las entradas procedentes del usuario y representa las salidas proporcionadas por el programa. Un panel frontal está formado por una serie de botones, pulsadores, potenciómetros, gráficos, etc. Cada uno de ellos puede estar definido como un control (a) o un indicador (b). Los primeros sirven para introducir parámetros al VI, mientras que los indicadores se emplean para mostrar los resultados

producidos, ya sean datos adquiridos o resultados de alguna operación. (Ver Figura 1.14)

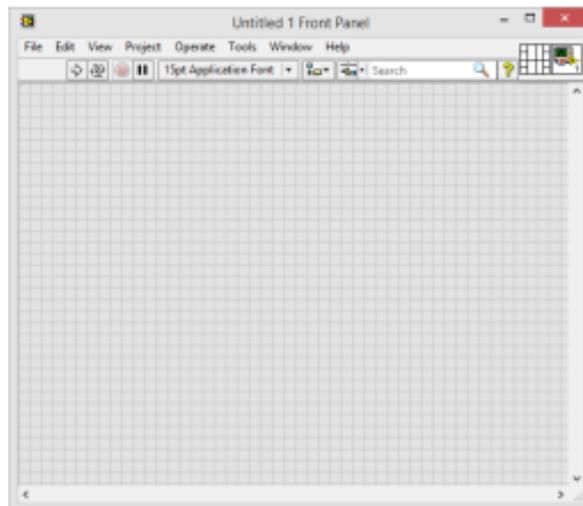


Figura 1.13 Panel Frontal

DIAGRAMA DE BLOQUES

El diagrama de bloques constituye el código fuente del VI. En el diagrama de bloques es donde se realiza la implementación del programa del VI para controlar o realizar cualquier procesamiento de las entradas y salidas que se crearon en el panel frontal. El diagrama de bloques incluye funciones y estructuras integradas en las librerías que incorpora LabVIEW. En el lenguaje G las funciones y las estructuras son nodos elementales. Son análogas a los operadores o librerías de funciones de los lenguajes convencionales. Los controles e indicadores que se colocaron previamente en el Panel Frontal, se materializan en el diagrama de bloques mediante los terminales. (Ver Figura 1.15)

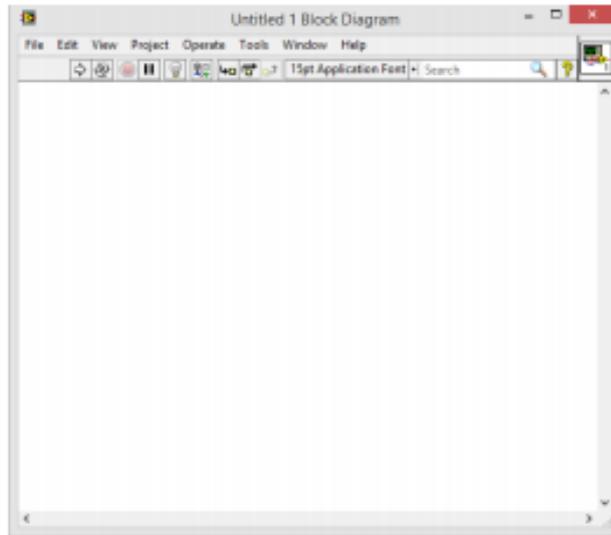


Figura 1.14 Diagrama de Bloques

PROGRAMACIÓN EN LABVIEW

Con el entorno gráfico de programación de LabVIEW se comienza a programar a partir del panel frontal. En primer lugar se definirán y seleccionarán de la paleta de controles todos los controles (entradas que dará el usuario) e indicadores (salidas que presentará en pantalla el VI) que se emplearán para introducir los datos por parte del usuario y presentar en pantalla los resultados.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGIA DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO DE UN TRANSDUCTOR DE POSICIÓN ADAPTADO A UN CONSOLIDOMETRO PARA EL DESARROLLO DEL ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN.

El diseño del sistema de monitoreo de un sensor posición para la realización del ensayo de consolidación de suelos del laboratorio de la FICT tiene los siguientes componentes:

- 1 Sensor de posición.
- 2 Tarjeta de acondicionamiento y adquisición de la señal del sensor de posición.
- 3 Interfaz gráfica para la realización de los cálculos y análisis gráficos para la obtención de los parámetros de consolidación.

2.1 Sensor de posición

Para la selección del sensor de posición se especificaron los siguientes parámetros de selección. (Ver Tabla 2.1)

COMPARANDO LOS SENSORES DE POSICION LINEAL ANALOG - OUTPUT					
TECNOLOGIA DE SENSOR DE POSICION	AC- LVDT	DC - LVDT	LVIT	MAGNETOESTRICTIVO	POTENCIOMETRO
Rango en pulgadas (mm)	0.02-20 - (05-500)	0.05-20 - (1.25-500)	0.3-36 - (8-900)	4-120 - (100-3000)	0.12-20 - (3-500)
Resolucion	Excelente	Excelente	Muy Bueno	Excelente	Muy Bueno
Repetibilidad/	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Bueno
No linealidad	Bueno	Bueno	Muy Bueno	Excelente	Muy Bueno
Caracteristica de Temperatura	Muy Bueno	Bueno	Muy Bueno	Bueno	Justo
Respuesta Dinamica	Bueno	Bueno	Bueno	Justo	Justo
Sensibilidad a Vibraciones / Golpes	Excelente	Muy Bueno	Muy Bueno	Justo	Pobre
Sobrecarga Mecanica	Excelente	Excelente	Excelente	Muy Bueno	Pobre
Vida y Confiabilidad	Excelente	Muy Bueno	Muy Bueno	Justo	Justo
Relacion Carrera a Longitud	Justo	Justo	Excelente	Bueno	Excelente
Costo Instalado	Alto	Medio	Bajo	Alto	Bajo

Tabla 2.1 Comparación de tipos de transductores de posición

Tomando en cuenta la información mencionada se ha procedido a elegir el sensor de posición con principio de medición de resistencia variable.

En el mercado se encuentra diferentes fabricantes de estos tipos de sensores tales como: Opkon, Harold G. Schaevitz industries y Burster que a continuación se detallan los rangos de medición y la resolución.

Fabricante	País de Origen	Modelo	Imagen	Rango	Resolución	Costo
Opkon	China	SLPS		1 ... 10 mm hasta 0 ... 100 mm	<0.01mm	\$ 138.00
Harold G. Schaevitz industries	USA	LPPS-SL		0 ... 10 mm hasta 0 ... 100 mm	0.01 mm	\$ 125.00
Burster	Alemania	8712, 8713		0 ... 10 mm hasta 0 ... 150 mm	0.01 mm	\$ 145.00

Figura 2.1 Modelos y Fabricantes de sensores de posición tipo potenciómetro

El sensor seleccionado es: Marca: Harold G. Schaevitz industries y Modelo: LPPS-SL-010 el cual tiene las siguientes características y el Anexo A se encuentra la hoja de datos del sensor de posición.

- 1 Voltaje de entrada: 10 V DC
- 2 Salida: 0 a 10 V DC
- 3 Repetitividad: 0.01 mm
- 4 Exactitud: +/- 0.01 mm

2.2 Tarjeta de acondicionamiento y adquisición de la señal del sensor de posición

Para el diseño y construcción de la tarjeta de acondicionamiento y adquisición de la señal del sensor de posición de resistencia variable se establecieron las siguientes características generales:

- 1 Voltaje de alimentación: 24 VDC
- 2 Voltaje de alimentación al sensor: 5 VDC
- 3 Entradas analógicas: 3
- 4 Frecuencia: 20 MHz
- 5 Puertos de comunicación: RS232 (servicio/comunicación) / RS485 (comunicación)

A continuación se detalla de manera específica los bloques que conforman la tarjeta de acondicionamiento y adquisición de la señal del sensor de posición de resistencia variable.

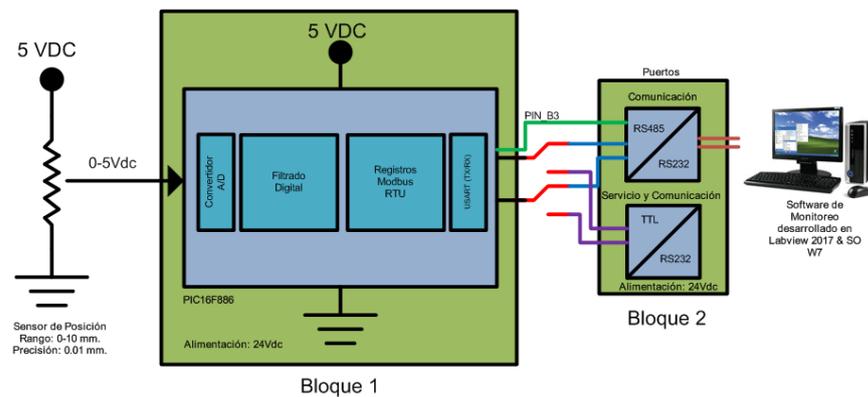


Figura 2.2 Diagrama de bloques de la tarjeta de acondicionamiento y adquisición del sensor de posición

2.2.1 Bloque 1 de la Tarjeta de Acondicionamiento y adquisición del sensor de posición

Este componente está compuesto por dos partes: hardware y firmware. A nivel de hardware se tiene el microcontrolador PIC16F886 el cual contiene las siguientes características técnicas y las especificaciones técnicas se encuentran en el ANEXO B.

Características	Descripción
Tipo de memoria de programa	Flash
Memoria de Programa (KB)	8
Velocidad de CPU (MIPS)	5
RAM	368
EEPROM	256
Periféricos de comunicación digital	1-UART, 1-A/E/USART, 1-SPI, 1-I2C1-MSSP(SPI/I2C)
Modulos Captura, Comparador y PWM	1 CCP, 1 ECCP
Contadores	2 x 8-bit, 1 x 16-bit
ADC	11 ch, 10-bit
Comparadores	1
Rango de Temperatura ©	-40 hasta 125
Voltaje de operación	2 hasta 5.5
Números de pines	28

Figura 2.3 Características técnicas PIC16F886

Los módulos utilizados para esta aplicación son: ADC y EUSART y a continuación se detalla los cálculos de configuración de los registros de los módulos a nivel de hardware del PIC16F886 utilizados para la aplicación, estos son:

- 1 Módulo ADC
- 2 Módulo EUSART

2.2.1.1 Módulo ADC

La resolución del módulo ADC cumple con los requerimientos del sistema, esto es:

- 1 Voltaje referencial: 5 VDC
- 2 Número de bits (n): 10

$$\text{Resolución: } \frac{V_{\text{referencial}}}{2^n - 1} \quad (2.1)$$

$$\text{Resolución: } \frac{5}{2^{10} - 1} \quad (2.2)$$

$$\text{Resolución: } 4.88\text{mV}$$

Significa que cada unidad del valor leído del ADC será 4.88mv.

El valor calculado del por el ADC se obtiene con la fórmula:

$$\text{Valor ADC} = \frac{2^n - 1}{V_{\text{referencial}}} * V_{\text{in}} \quad (2.3)$$

Con la que podremos calcular el voltaje de entrada despejando V_{in} :

$$V_{\text{in}} = \text{Valor ADC} * \frac{V_{\text{referencial}}}{2^n - 1} \quad (2.4)$$

$$V_{\text{in}} = \text{Valor ADC} * \text{Resolución} \quad (2.5)$$

La gráfica de función de transferencia el módulo ADC para esta configuración es la siguiente:

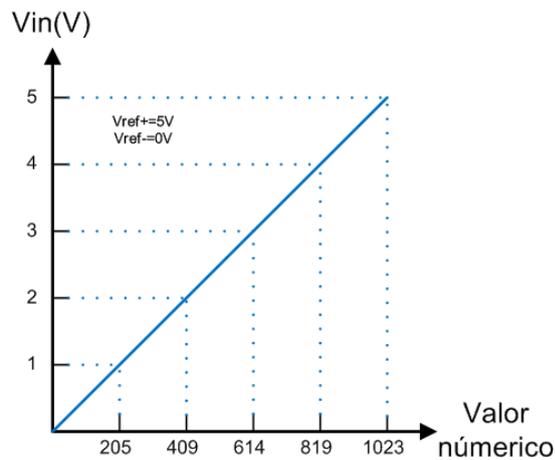


Figura 2.4 Vin vs Valor ADC

La gráfica de posición del sensor vs voltaje de lectura del sensor de posición es la siguiente:

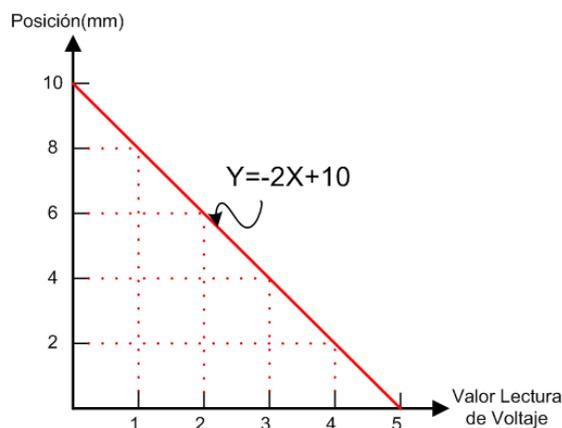


Figura 2.5 Desplazamiento vs Vin

2.2.1.2 Módulo EUSART

El módulo EUSART del PIC viene de receptor transmisor síncrono asíncrono universal. Para configurar el módulo EUSART PIC en el PIC16F886, se utilizan los siguientes registros: el registro TXSTA, el registro RCSTA, el registro SPBRG, el registro TXREG, el registro RXREG, y si se utilizan interrupciones EUSART PIC los registros PIE1 y PIR1.

Para el cálculo de la velocidad de transmisión asíncrona se tiene la siguiente expresión:

$$Velocidad\ de\ transmisión = \frac{Fosc}{16*(SPBRG+1)} \quad (2.6)$$

Para una tasa de transmisión de 57600 bps y una frecuencia de trabajo de 20MHz se obtiene el siguiente valor para el registro SPBRG=21.

Para el desarrollo del firmware se utiliza el lenguaje C con la utilización del compilador PCWHD y IDE versión 4.104.

A continuación se describe la configuración a nivel de firmware de los FUSES, módulos ADC y EUSART.

```
#include <16f886.h>

#device adc=10

#FUSES NOWDT           //No Watch Dog Timer
#FUSES HS              //Osc High Speed
#FUSES PUT             //No Power Up Timer
#FUSES MCLR            //Master Clear pin enabled
#FUSES NOPROTECT      //Code not protected from reading
#FUSES NOCPD           //Code Protected
#FUSES NOBROWNOUT     //No brownout reset
#FUSES IESO            //Internal External Switch Over mode enabled
#FUSES FCMEN          //Fail-safe clock monitor enabled
#FUSES NOLVP          //No low voltage prgming
#FUSES NODEBUG        //No Debug mode for ICD
#FUSES NOWRT          //Program memory not write protected
#FUSES BORV40         //Brownout reset at 4.0V
#FUSES RESERVED       //Used to set the reserved FUSE bits

#use delay(clock=20000000)
#use rs232(baud=57600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8)
```

Figura 2.6 Fuses, frecuencia de trabajo y módulo EUSART

Módulo ADC:

```
setup_adc_ports (sAN0 | sAN1 | sAN4 | sAN8 | VSS_VDD) ;
setup_adc (adc_clock_internal) ;
setup_comparator (NC_NC_NC_NC) ;
```

Figura 2.7 Configuración del módulo ADC

Una vez configurados los módulos ADC y EUSART, a continuación se indicará el módulo de comunicación MODBUS/RTU.

Para la implementación del módulo MODBUS/RTU se ha utilizado la librería “modbus.c” que está disponible en la carpeta Drivers del compilador CCS

versión 4.104. Esta librería cuenta con todo el API de funciones que requiere el manejo del protocolo. Para nuestra aplicación se considera el manejo de la función 4 referente al manejo de REGISTROS DE ENTRADA que tiene las variables de tipo Float correspondiente al valor de voltaje de entrada del módulo ADC.

A continuación se mostrará las configuraciones y la función:

```
#define MODBUS_TYPE MODBUS_TYPE_SLAVE
#define MODBUS_SERIAL_TYPE MODBUS_RTU //use MODBUS_ASCII for ASCII mode
#define MODBUS_SERIAL_RX_BUFFER_SIZE 64
#define MODBUS_SERIAL_INT_SOURCE MODBUS_INT_RDA
#define MODBUS_SERIAL_TX_PIN PIN_C6 // Data transmit pin
#define MODBUS_SERIAL_RX_PIN PIN_C7 // Data receive pin
#define MODBUS_SERIAL_ENABLE_PIN PIN_B3 // Controls DE pin for RS485
```

Figura 2.8 Configuración MODBUS/RTU & ESCLAVO, Tamaño del Buffer: 64 bytes, Pin de transmisión: PIN_C6, Pin de recepción: PIN_C7 y Pin de comunicación RS485: PIN_B3.

Para guardar la lectura del sensor de posición se tiene la variable `input_regs` que es un arreglo de tamaño 8 y tipo de dato `int16` y que utilizado dos (2) posiciones del arreglo para guardar su valor, esto quiere decir que se tiene la capacidad de poder guardar 4 sensores de posición.

La expresión de cálculo del valor del sensor es:

```
sensor1_float=((Vref_pos-Vref_neg)*valor_ADC)/1023.0+ Vref_neg;
```

Figura 2.9 Cálculo del valor del sensor en función del valor ADC

El tipo de dato de la variable `sensor1_float` es tipo `float` y para llevarlo a formato de 32 bits y poder almacenar en la variable `input_regs` se utiliza la función `f_PICtoIEEE()` para llevar a formato de 32 bits – IEEE donde se procede a almacenar en `input_regs` el valor de la lectura del sensor de posición.

```
sensor1_int32=f_PICtoIEEE(sensor1_float);
input_regs[0]=sensor1_int32;
input_regs[1]=sensor1_int32>>16;
```

Figura 2.10 Conversión de float a int32 bits

En la siguiente imagen se describe la implementación de la función 4 para la lectura de la variable input_regs:

```

case FUNC_READ_HOLDING_REGISTERS:
case FUNC_READ_INPUT_REGISTERS:
  if(modbus_rx.data[0] || modbus_rx.data[2] ||
    modbus_rx.data[1] >= 8 || modbus_rx.data[3]+modbus_rx.data[1] > 8)
    modbus_exception_rsp(MODBUS_ADDRESS,modbus_rx.func,ILLEGAL_DATA_ADDRESS);
  else
  {
    if(modbus_rx.func == FUNC_READ_HOLDING_REGISTERS)
      modbus_read_holding_registers_rsp(MODBUS_ADDRESS, (modbus_rx.data[3]*2),hold_regs+modbus_rx.data[1]);
    else
      modbus_read_input_registers_rsp(MODBUS_ADDRESS, (modbus_rx.data[3]*2),input_regs+modbus_rx.data[1]);

    event_count++;
  }
  break;

```

Figura 2.11 Función 4 Lectura de la variable input_regs

2.2.2 Bloque 2 de la Tarjeta de Acondicionamiento y adquisición del sensor de posición

El bloque 2 tiene los circuitos de comunicación con las siguientes interfaces:

- 1 Interface RS232 <-> TTL, donde prestará las siguientes funciones:
 - Servicio, explícitamente para programación del PIC.
 - Comunicación, protocolo MODBUS/RTU
- 2 Interface RS232-RS485, donde prestará la siguiente función:
 - Comunicación, protocolo MODBUS/RTU

Para la implementación de la interface 1 se implementa el siguiente circuito donde se utiliza el integrado MAX232:

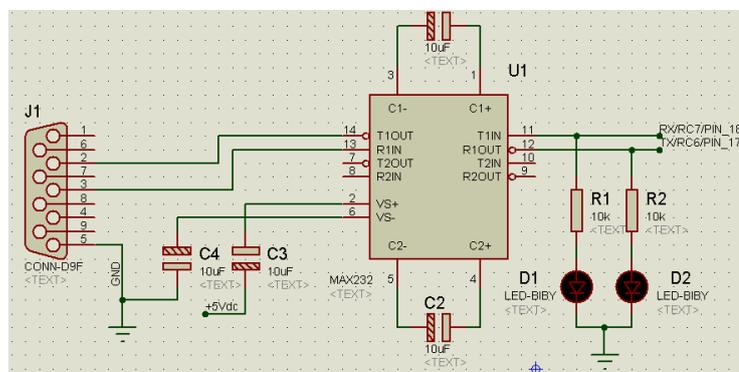


Figura 2.12 Interface RS232 <-> TTL

Y para la implementación de la interface 2 se implementa el siguiente circuito donde se utilizar los integrados MAX232 y el MAX485:

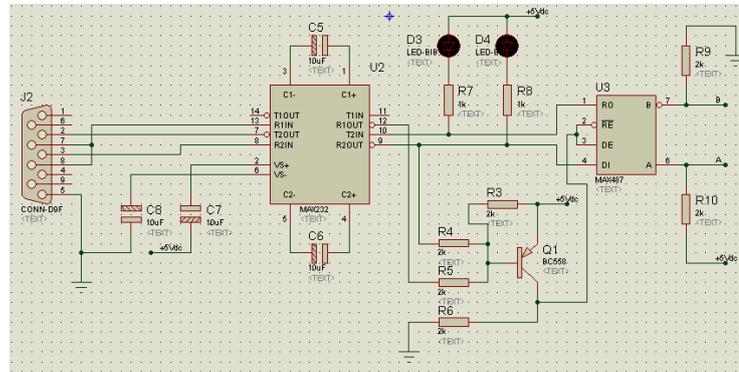


Figura 2.13 Interface RS232 <-> RS485

El circuito correspondiente a la tarjeta de acondicionamiento de muestra, se presenta a continuación:

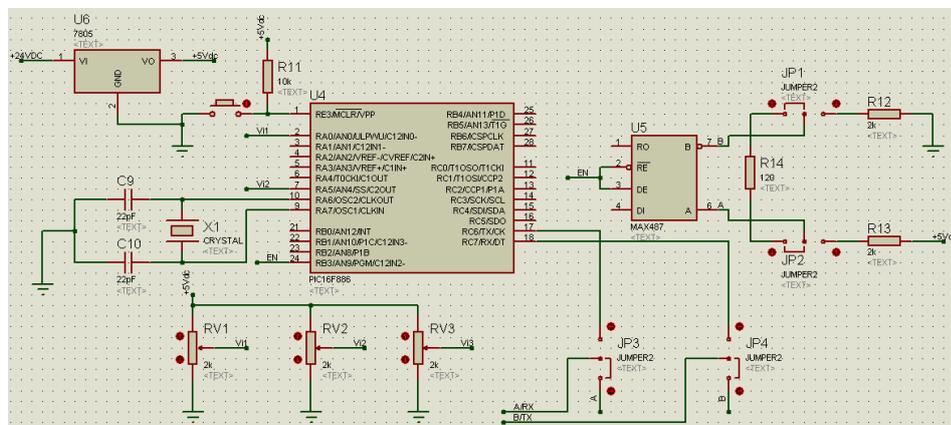


Figura 2.14 Esquemático Tarjeta de acondicionamiento de muestra

En los jumpers JP3 y JP4 se puede seleccionar la interfaz de comunicación sea este TTL o RS485. Y los jumpers JP1 y JP2 se pueden seleccionar la resistencia de terminación si se selecciona el bus RS485.

El diseño de la PCB fue desarrollada en ARES, a continuación se mostrará el diseño de las tarjetas de comunicación y acondicionamiento de la señal.

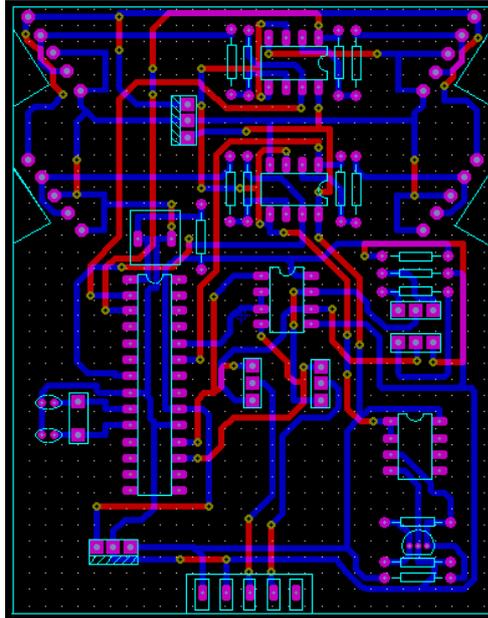


Figura 2.15 PCB – Tarjeta de Acondicionamiento

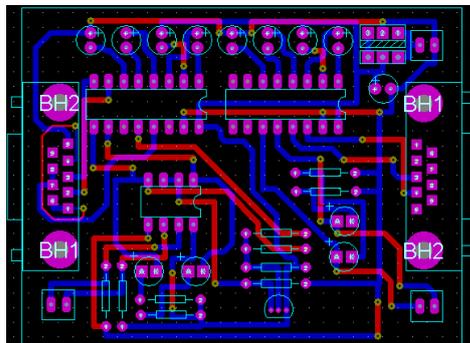


Figura 2.16 PCB – Tarjeta de Comunicación

2.3 Interfaz gráfica para la realización de los cálculos y análisis gráficos para la obtención de los parámetros de consolidación.

El software deberá tener las siguientes herramientas:

- 1 Adquisición de datos a partir de la tarjeta de acondicionamiento y adquisición de datos de acuerdo al procedimiento establecido en el ensayo de consolidación.
- 2 Herramientas para el análisis gráfico para la obtención de los parámetros de Taylor, Casagrande y Curva de Consolidación.

3 Conectividad a Base de Datos donde se almacenará los datos de cada proyecto de obtención y análisis de resultados.

Tomando en cuenta los puntos anteriormente mencionado, a continuación se presenta el diagrama de bloques del software:

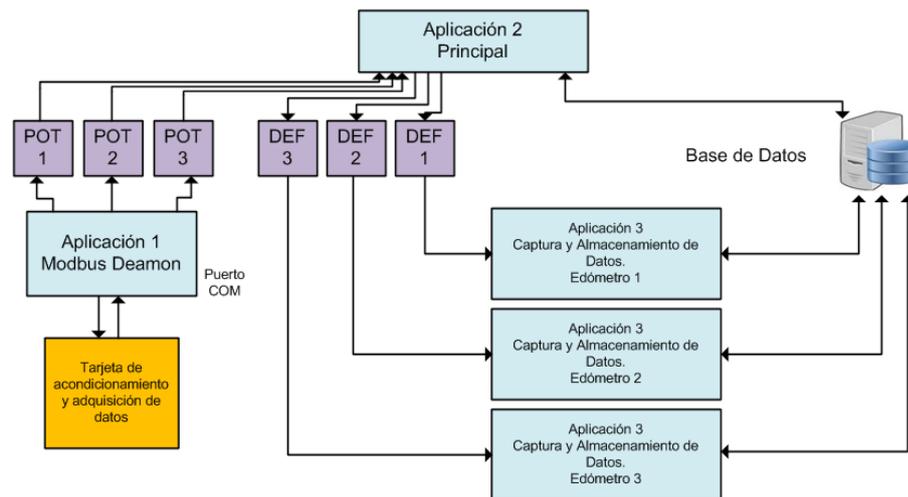


Figura 2.17 Diagrama de bloques del Software

En esta configuración la aplicación 1 es la encargada de interactuar mediante el protocolo MODBUS/RTU con la tarjeta de acondicionamiento para adquirir los datos del sensor (lectura de voltaje 0-5Vdc) y posteriormente escribir el valor en la variable global POT 1, de la misma manera de procede para los otros dos (2) sensores de posición.

La aplicación 2 es la principal y posee las herramientas de análisis gráficos, creación de proyectos, caracterización del sensor y procedimiento de conversión de lectura de voltaje a desplazamiento que se escribe en las variables globales DEF 1, DEF 2 y DEF 3 las cuales son leídas por la aplicación 3 donde posee el algoritmo de registro y almacenamiento de datos de desplazamiento de acuerdo al ensayo de consolidación.

A continuación se detalla el funcionamiento de cada aplicación:

2.3.1 Aplicación 1 / Modbus Deamon

En esta aplicación se utiliza la librería NI-MODBUS 1.2 la cual contiene el API del protocolo MODBUS/RTU, a continuación se detalla la interfaz de la

aplicación. En la interfaz se puede seleccionar el puerto de comunicación, baud rate, paridad, modo, control de flujo, dirección de esclavo, dirección de inicio y cantidad de registros a leer.



Figura 2.18 Panel Frontal – Aplicación ModbusDaemon

A continuación se presenta el flujo de datos en la cual se utiliza el bloque Read Input Register para leer los datos de los sensores de posición y escribir cada valor en las variables globales POT 1, POT 2 y POT 3.

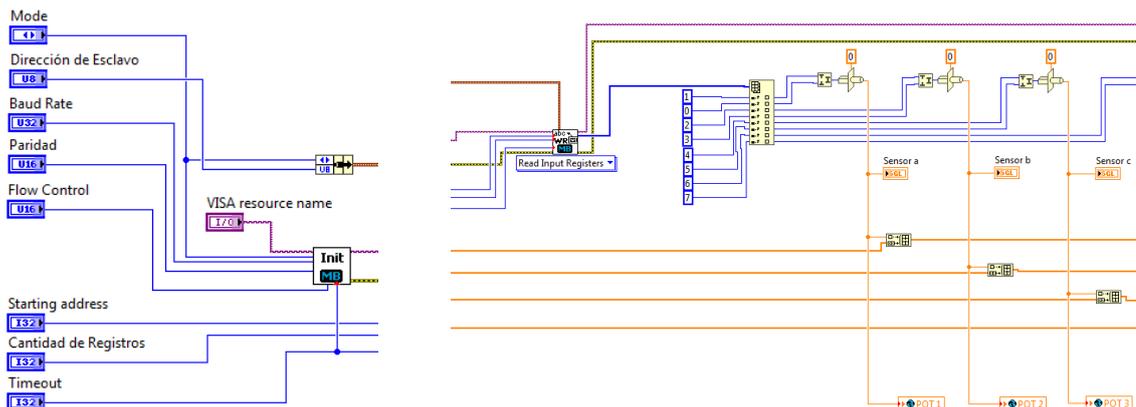


Figura 2.19 Flujo de Datos – Aplicación ModbusDaemon

2.3.2 Aplicación 2 / Principal

En esta aplicación se desarrollo el siguiente menú:

1. Archivo
 - a Crear Proyecto
 - b Datos Muestra
 - c Mantenimiento Base de Datos
 - d Stop
 - e Stop Adquisición Edómetro 0
 - f Stop Adquisición Edómetro 1
 - g Stop Adquisición Edómetro 2
 - h Exit
2. Análisis de Resultados
 - a Consolidación
 - b Casagrande
 - c Taylor
3. Configuraciones
 - a Calibración canal 0
 - b Calibración canal 1
 - c Calibración canal 2
 - d Referencia Cero 0
 - e Referencia Cero 1
 - f Referencia Cero 2

En el sub-menú Crear Proyecto se presenta el siguiente display, donde se ingresan los datos del proyecto que se ejecutará el ensayo de consolidación.

The screenshot shows a software interface titled "ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN". At the top left is the ESPOL logo (Escuela Superior Politécnica del Litoral) and at the top right is the official seal of the institution. The interface contains several input fields: "Proyecto:", "Compañía:", "Contrato:", and "Locación:" are each followed by a single-line text box. "Muestra:" is followed by a text box containing "70" and a unit "m". "Consolidometro:" is followed by a text box containing "0.001" and a unit "mm". "Profundidad:" is followed by a text box containing "70" and a unit "m". "ID:" is followed by a text box containing "3". "Sondeo:" is followed by a text box containing "4". "Fecha Recepción:" and "Fecha Ensayo:" are each followed by a date-time picker showing "00:00:00 MM/DD/YY". Below these is a "Comentarios:" label followed by a large multi-line text area. At the bottom are two buttons: "Aceptar" and "Salir".

Figura 2.20 Interface Ingreso de Datos de Proyecto

Una vez ingresados los datos preliminares del proyecto se presentan de manera continua las interfaces para ingresar los datos específicos del proyecto, tales como:

The screenshot shows a software interface titled "DATOS DE ANILLO". It contains five input fields: "Altura:" followed by a text box with "2" and unit "cm"; "Area:" followed by a text box with "31.57" and unit "cm2"; "Volumen:" followed by a text box with "0" and unit "cm3"; "Peso:" followed by a text box with "66.37" and unit "gr."; and "id_proyecto:" followed by a text box with "0". At the bottom are two buttons: "Aceptar" and "Salir".

Figura 2.21 Interface Ingreso Datos del Anillo

Figura 2.22 Interface Ingreso Datos de Muestra antes del ensayo

En el sub-menú Datos de Muestra se presenta el siguiente display, donde se ingresan los datos adicionales después de realizado el ensayo de consolidación.

Figura 2.23 Interface Ingreso Datos de Muestra después del ensayo

Los sub-menús Stop, Stop Adquisición Edómetro 0, Stop Adquisición Edómetro 1 y Stop Adquisición Edómetro 2 sirven para parar el sistema y el registro de datos que realiza la aplicación 3.

En el sub-menú Análisis de Resultados se tiene los análisis de curva de consolidación, Taylor y Casagrande. A continuación se presentan los display correspondiente a cada análisis:

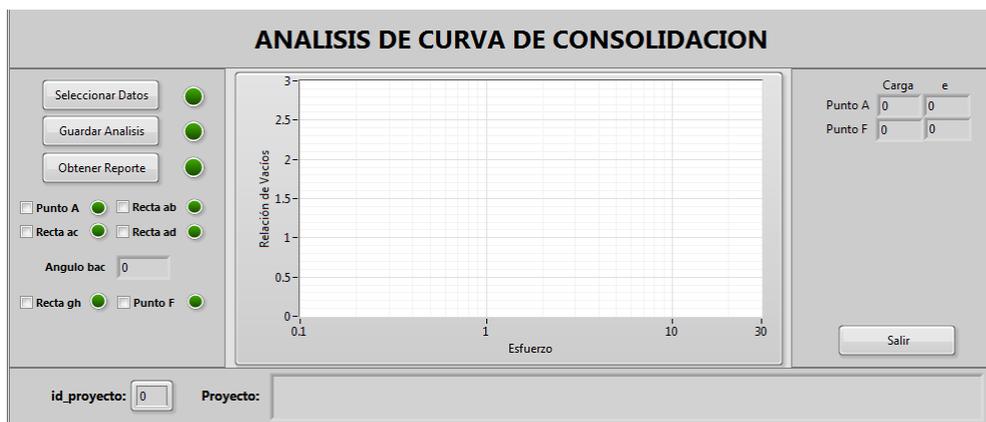


Figura 2.24 Interface Análisis de Curva de Consolidación

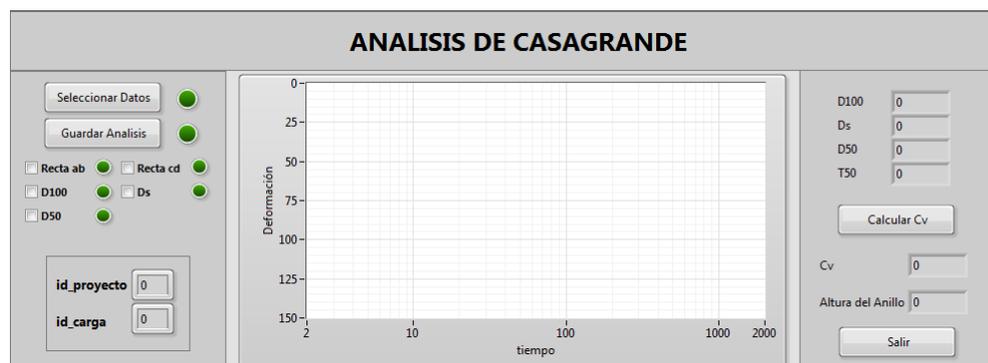


Figura 2.25 Interface Análisis de Casagrande

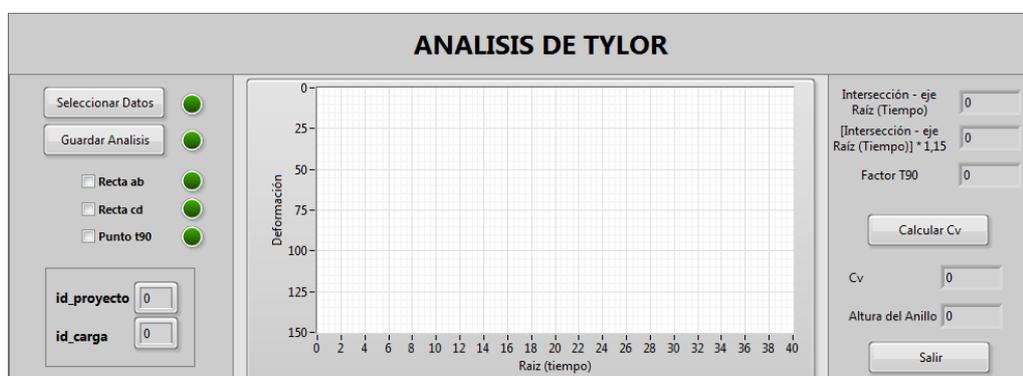


Figura 2.26 Interface Análisis de Taylor

En el sub-menú Configuraciones se presenta el sub-menú de calibración de canal y referencia a cero para cada sensor de posición. A continuación se presenta el display y flujo de datos para la calibración del canal y referencia a cero.

Calibración de canal, en este display se especifica los parámetros de la ecuación de la recta correspondiente a la relación Desplazamiento vs voltaje del sensor.

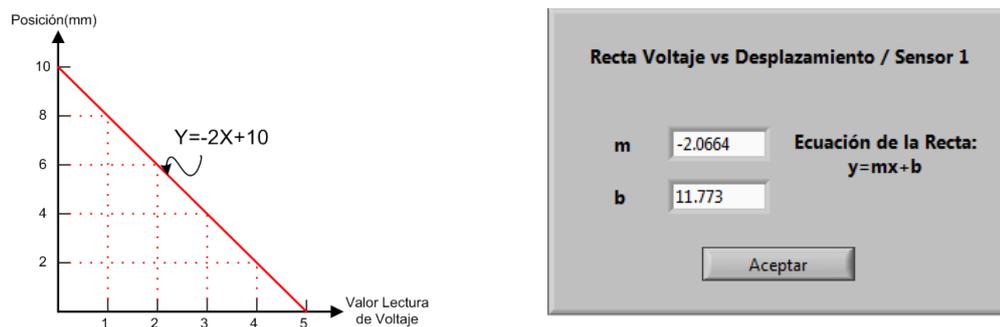


Figura 2.27 Interface Curva de Calibración del sensor de posición

Referencia a Cero, en este display se referencia a cero una vez que la muestra este colocada en el Edómetro. Se indica que el potenciómetro se desplazará hacia abajo.



Figura 2.28 Interface Referencia a Cero

A continuación se presenta el display de la aplicación principal en donde se pueden observar los parámetros de la ecuación de la recta correspondiente a la relación desplazamiento vs voltaje del sensor y los voltajes y desplazamiento referenciales para la referencia a cero.

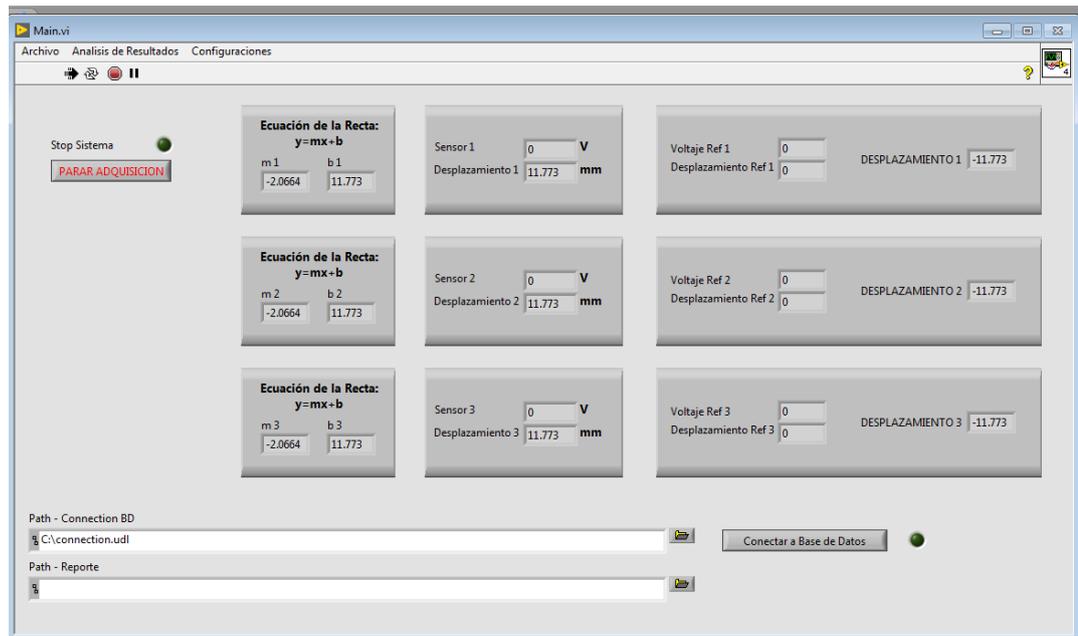


Figura 2.29 Interface Aplicación Principal

2.3.3 Aplicación 3 / Edómetro

En esta aplicación tiene las siguientes características:

- 1 Selección de proyecto para la adquisición y registro de datos.
- 2 Configuración del tiempo (Unidades: Horas) de adquisición de datos.
- 3 Datos de ingreso del valor del esfuerzo al ser aplicado a la muestra durante el proceso de carga.
- 4 Datos de ingreso del valor del esfuerzo al ser retirado de la muestra durante el proceso de descarga.
- 5 Es independiente para cada sensor de posición, es decir para cada edómetro.

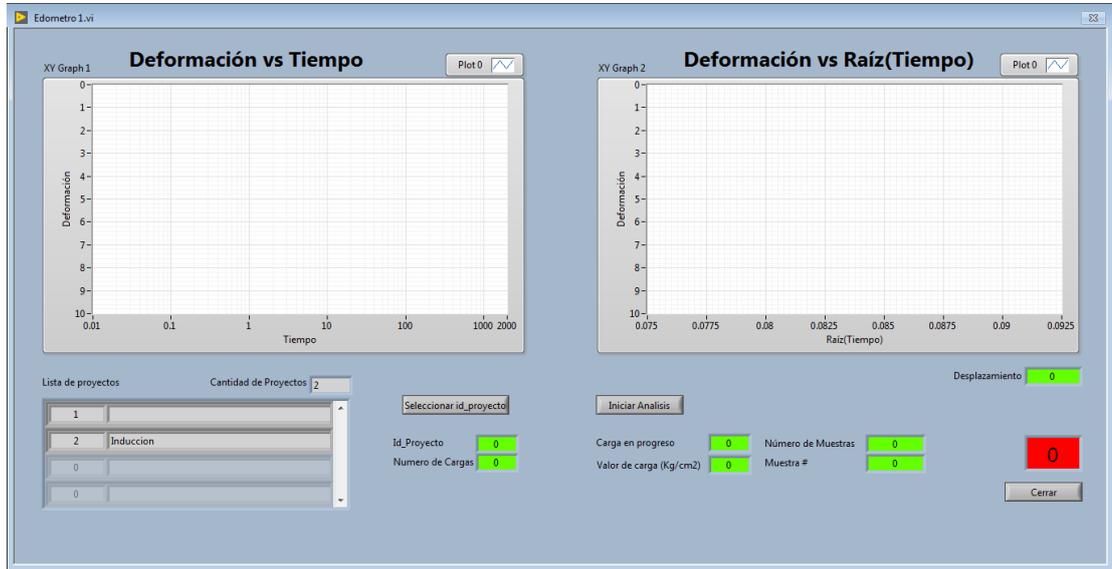


Figura 2.30 Interface Aplicación Edómetro

Las aplicaciones 2 y 3 interactúan con la base de datos desarrollada en Access, la cual tiene la siguiente estructura lógica:

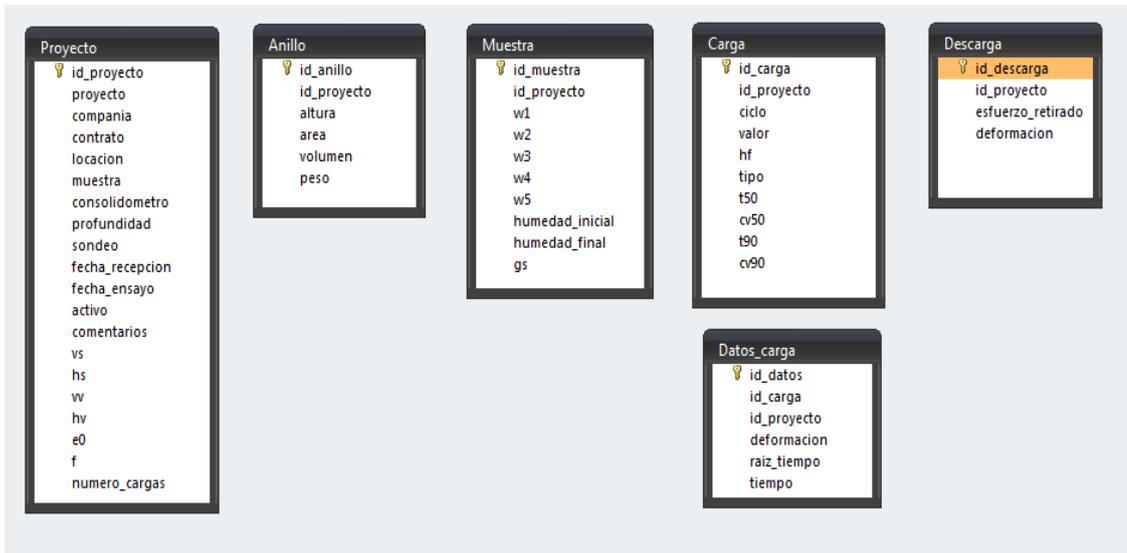


Figura 2.31 Estructura lógica de la Base de Datos

CAPÍTULO 3

3. ANALISIS DE RESULTADOS

En esta sección se presenta la construcción final del sistema de acondicionamiento de muestra y adquisición de datos, pruebas realizadas y la obtención de los resultados para la verificación del funcionamiento del mismo.

Una desarrollada la PCB de las tarjetas de acondicionamiento de muestra y de interfaces de comunicación se procedió a instalarse en una Junction Box, donde además se tiene una fuente de voltaje de 24VDC para alimentar el sistema. A continuación se presenta las imágenes de ensamblaje e instalación en la Junction Box.



Figura 3.1 Tarjeta de comunicación

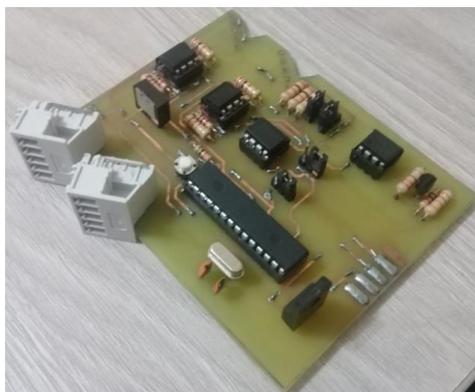


Figura 3.2 Tarjeta de acondicionamiento

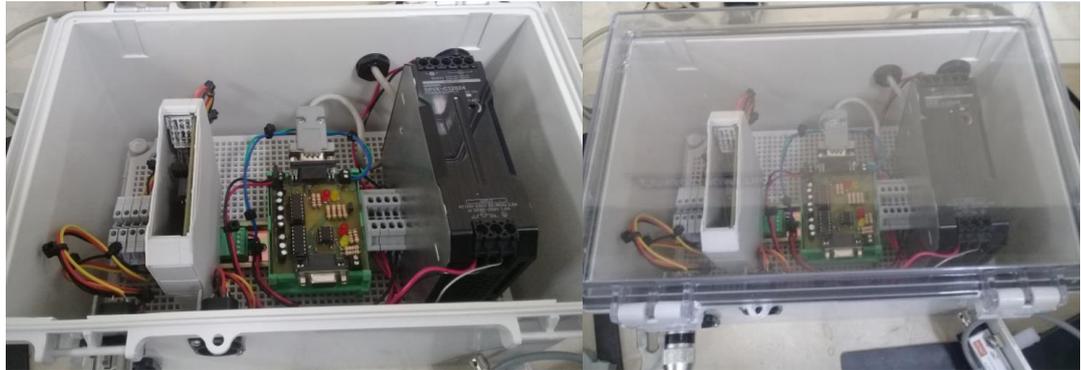


Figura 3.3 Junction Box

A continuación se detalla las pruebas realizadas y procedimiento realizados para el funcionamiento del sistema:

- 1 Lectura de voltaje en los canales analógicos.
- 2 Caracterización del sensor.
- 3 Creación de proyecto, especificación de los datos de anillo, muestra y número de esfuerzo a ser aplicado en la muestra.
- 4 Verificación de los datos registrados durante el proceso de carga.
- 5 Verificación de los datos registrados durante el proceso de descarga.
- 6 Obtención de los parámetros h_s , v_s , h_v , v_v , e_0 y valor correspondiente a la presión de consolidación a partir de la curva de consolidación.

3.1 Lectura de voltaje en los canales analógicos

El objetivo de esta prueba es generar a partir de equipo patrón voltaje de 0-5Vdc y verificar la lectura registrada por la aplicación y de esta manera verificar el procedimiento de cálculo y conversión para presentar el valor del voltaje del sensor. Para esto se utilizo el calibrador de procesos MC6 de la marca Beamex el cual provee herramientas para generar voltaje.

La presente imagen nos indica los valores generados por el MC6 y los valores registrados por la aplicación. Se especifica que el paso es de 0.5V.

Voltaje Generado / MC6 (V)	Voltaje Leído (V)	Error
0.5	0.499	0.200%
1.0	0.998	0.200%
1.5	1.496	0.267%
2.0	1.997	0.150%
2.5	2.499	0.040%
3.0	2.998	0.067%
3.5	3.497	0.086%
4.0	3.999	0.025%
4.5	4.499	0.022%
5.0	4.999	0.020%

Figura 3.4 Verificación de lectura y conversión del canal analógico

3.2 Caracterización del sensor

Es un procedimiento en la cual se obtiene la curva de calibración, esto quiere decir la ecuación de la recta. Para esto se tiene como equipo patrón Digital Shear Machine de ELE INTERNATIONAL el cual realiza un recorrido de 1mm / min como herramienta adicional se tiene un cronometro para iniciar el desplazamiento y registrar el tiempo transcurrido y verificar el desplazamiento del sensor mediante el voltaje.

Desplazamiento (mm)	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura promedio
	Voltaje	Voltaje	Voltaje	
1	4.99	4.99	4.99	4.99
2	4.82	4.81	4.78	4.80
3	4.32	4.31	4.32	4.32
4	3.84	3.84	3.82	3.83
5	3.34	3.33	3.32	3.33
6	2.83	2.83	2.82	2.83
7	2.32	2.33	2.34	2.33
8	1.83	1.83	1.82	1.83
9	1.29	1.29	1.29	1.29
10	0.79	0.8	0.81	0.80
11	0.25	0.29	0.28	0.27
12	0	0	0	0.00

Figura 3.5 Obtención de Datos Desplazamiento vs Voltaje Generado

Mediante la utilización de regresión lineal se obtiene la curva de la ecuación de la recta con una aceptación del 99.71%.

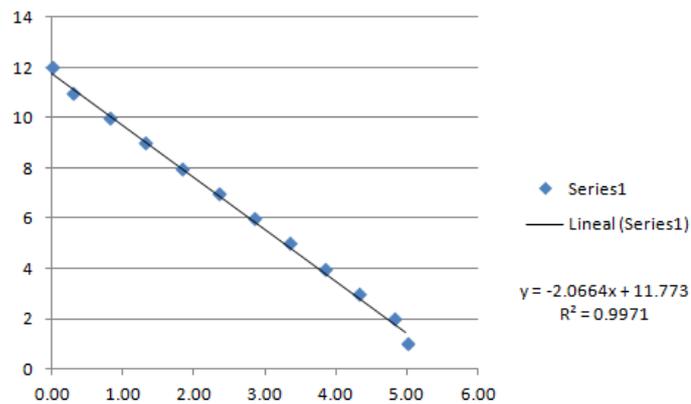


Figura 3.6 Regresión Lineal – Ecuación de la recta

3.3 Creación de proyecto, especificación de los datos de anillo, muestra y número de esfuerzo a ser aplicado en la muestra.

En esta prueba se verifica la solicitud de los datos de proyecto y posteriormente el almacenamiento en la base de datos de los datos ingresados.

Proyecto											
id_proyecto	proyecto	compania	contrato	locacion	muestra	consolidom	profundidad	sondeo	fecha_recepcion	fecha_ensayo	activo
1											
2	Induccion	ESPOL	2134-22-2018	La prosperina	Arcilla		3	70	4	13/09/2018 9:18:43	13/09/2018 9:18:48

Figura 3.7 Datos de proyecto (id_proyecto=2)

Anillo											
id_anillo	id_proyecto	altura	area	volumen	peso	Agregar nuevo campo					
1	1										
2	2	2	31.57	63.14	66.35						

Figura 3.8 Datos de Anillo (id_proyecto=2)

Muestra											
id_muestra	id_proyecto	w1	w2	w3	w4	w5	humedad_inicial	humedad_final	gs		
1	1										
2	2	157.85	91.5	135.46	69.1100015258789	44.17	2.57369268968792	0.56463666574324			2.65

Figura 3.9 Datos de Muestra (id_proyecto=2)

3.4 Verificación de los datos registrados durante el proceso de carga

Para el id_proyecto=2 se tiene un número de cargas = 6. A continuación se presenta imágenes en la adquisición de los datos correspondiente a la desplazamiento vs Tiempo y desplazamiento vs Raíz (Tiempo).

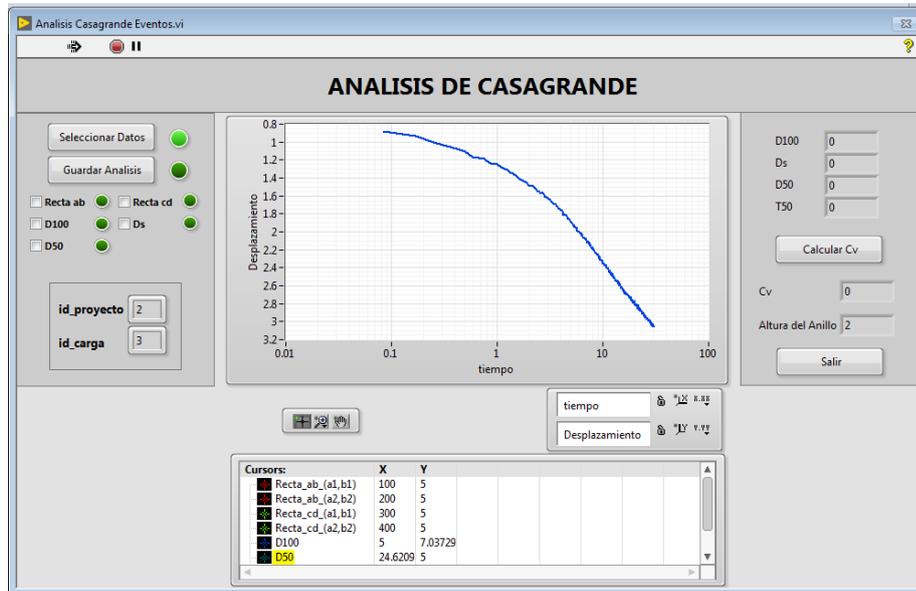


Figura 3.10 Carga en progreso 2

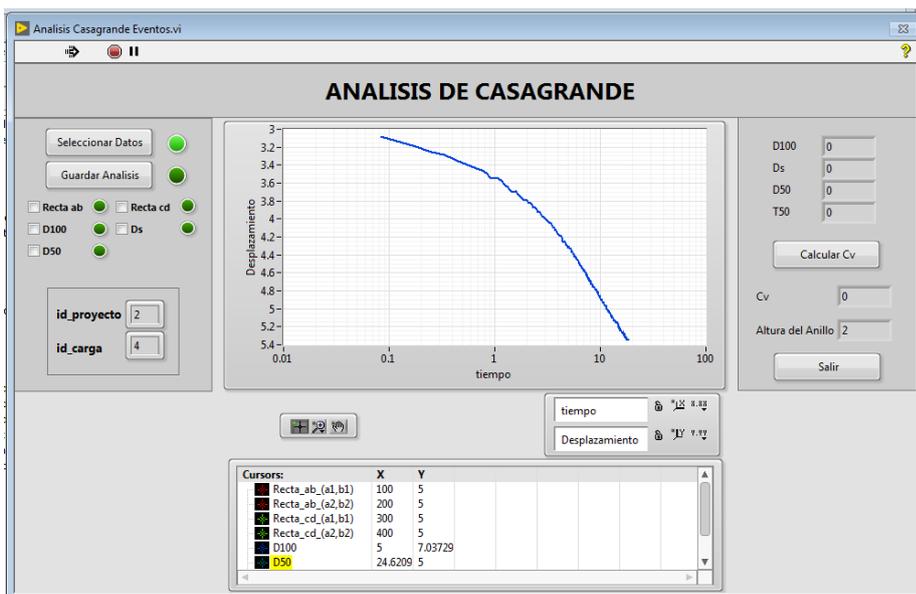


Figura 3.11 Carga en progreso 3

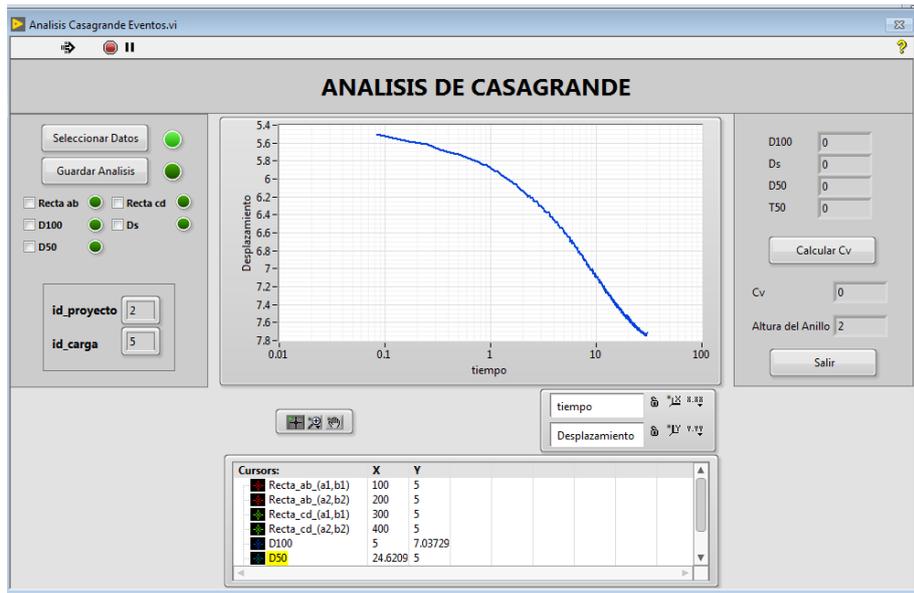


Figura 3.12 Carga en progreso 4

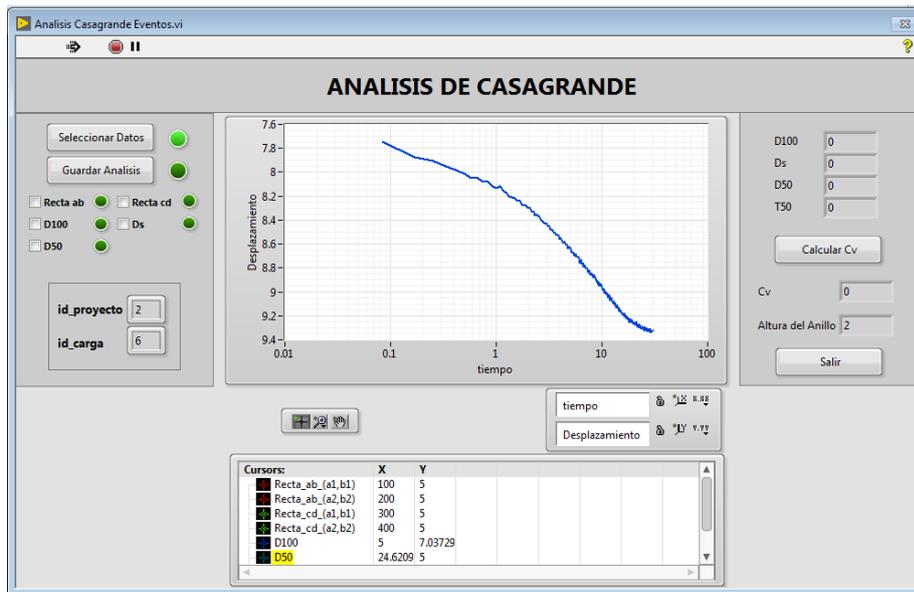


Figura 3.13 Carga en progreso 5

En la siguiente imagen se muestra los datos correspondientes al asentamiento final correspondiente a cada carga durante el proceso de carga.

Muestra		Carga			
id_carga	id_proyecto	ciclo	valor	hf	
1	1				
2	2	1	0.980000019073486	0.848375358080864	
3	2	2	1.95000004768372	3.06021124284267	
4	2	3	3.91000008583069	5.3528444581747	
5	2	4	7.80999994277954	7.716175553298	
6	2	5	15.6199998855591	9.3220293649435	
7	2	6	17.5799999237061	9.35232845628261	

Figura 3. 14 Desplazamiento para cada incremento de carga / proceso de carga

3.5 Verificación de los datos registrados durante el proceso de descarga

En la siguiente imagen se presenta los valores correspondientes al proceso de descarga.

Descarga			
id_descarga	id_proyecto	esfuerzo_re	deformacion
1	1		
2	2	7.81	9.35232845628261
3	2	3.91	9.26143118226528
4	2	1.95	9.02913814866543

Figura 3.15 Desplazamiento para cada decremento de carga / proceso de descarga

3.6 Obtención de los parámetros h_s , v_s , h_v , v_v , e_0 y valor correspondiente a la presión de consolidación a partir de la curva de consolidación.

A continuación se presenta la interfaz y los valores calculados referentes a los parámetros del ensayo de consolidación:



Figura 3.16 Interface Obtención de los parámetros de consolidación

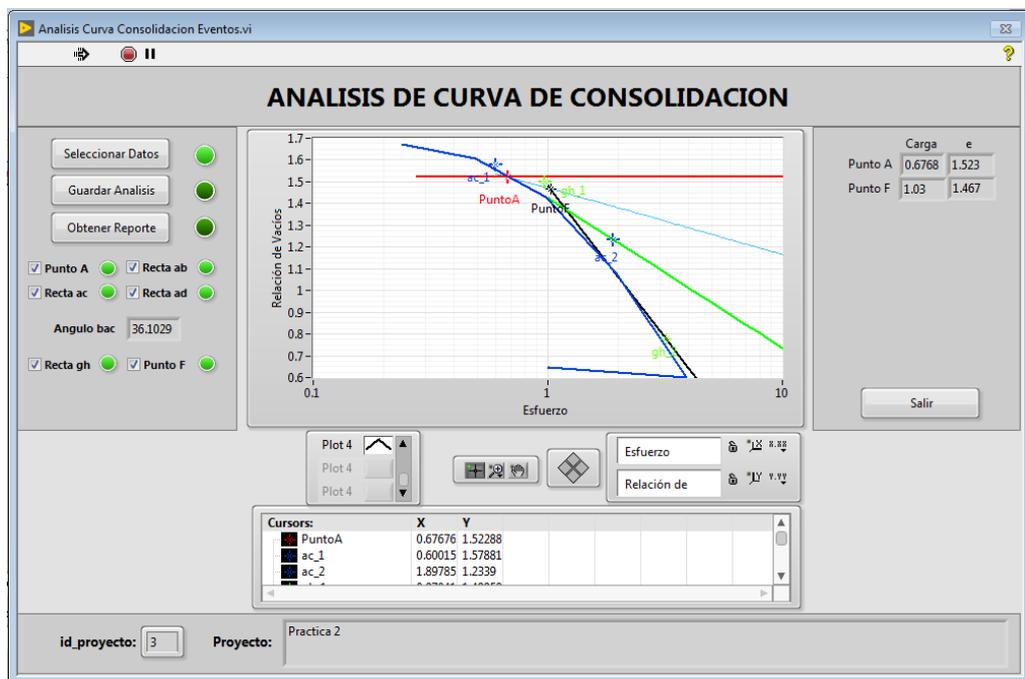


Figura 3.17 Interface Obtención de los parámetros de la curva de consolidación

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- 1 El sistema de monitoreo desarrollado cumple con los requerimientos del cliente para la ejecución del ensayo de consolidación referente a la obtención de los datos en tiempo real y de esta manera realizar los cálculos mediante las herramientas gráficas que provee la aplicación para la obtención de los parámetros de consolidación. El sistema es abierto y tiene un bajo costo de desarrollo, esto fue uno de los principales requerimientos del cliente.
- 2 Se adaptó al Consolidómetro el transductor de posición de resistencia variable y de esta manera se puede obtener en tiempo real el valor del desplazamiento para cada incremento de carga por medio de la tarjetas de acondicionamiento y comunicación con el sistema de monitoreo.

Recomendaciones:

- 1 Para la caracterización del sensor se debería realizar una calibración cada mes debido a la utilización del tipo de transductor de posición.
- 2 Se recomienda tener un sistema de respaldo de energía para no tener pérdida de información en la adquisición de datos durante la ejecución del ensayo de consolidación.
- 3 Se recomienda realizar un backup de la base de datos del sistema de monitoreo cada 3 meses y de esta manera tener respaldo de información.
- 4 Debido a la presencia de componentes electrónicos se recomienda instalar un sistema de humidificación en el laboratorio y de esta manera aumentar el tiempo de vida de los componentes.
- 5 En la construcción del hardware del sistema para mejoras futuras se pueden utilizar sistemas que incorporen funcionalidades como por ejemplo fuente conmutada, esto reduciría enormemente el espacio físico.

BIBLIOGRAFÍA

SANCHEZ, M. (1993). Cálculo computarizado de la curva de consolidación de una arcilla. Proyecto especial para obtener el grado de especialista en Geotecnia. Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela.

LAMBE, T. W. y WHITMAN R. V. (1984). Mecánica de Suelos. México: Limusa, 586 p.

Modbus Organization. Accedido el 4 de Junio, 2018, desde <http://www.modbus.org>

ANEXOS

ANEXO A

LPPS-SL Spring Loaded Linear Potentiometer Position Sensor

Features

- Compact lightweight design
- Cost-effective measuring system
- Stroke lengths from 10 to 100 mm (0.4 to 4 inches)
- Industrial duty, liquid and corrosion resistant
- Spring extend design for ease of mounting

Applications

- Motorsport and Automotive R&D Testing
- Industrial Test Stands
- Factory Automation



Specifications

Output:	0 to 100% of Input Voltage (potentiometer circuit)
Linearity Error:	(refer to chart on Page 2 for Linearity Error)
Resolution:	Infinite
Repeatability:	0.01 mm (0.0004 inch)
Element Type:	Conductive Plastic
Operating Current:	Input Voltage / Potentiometer Resistance Value (refer to chart on Page 2 for Resistance Value)
Operating Temperature:	-40 to +95°C (-40 to +203°F)
Temperature Coefficient:	± 0.03% of FS / °C
Shock Rating:	50g (single hit) / IEC68-2-29
Vibration Rating:	20g / IEC68-2-6
IP Rating:	IP64

ANEXO B



PIC16F882/883/884/886/887

28/40/44-Pin Flash-Based, 8-Bit CMOS Microcontrollers with nanoWatt Technology

High-Performance RISC CPU:

- Only 35 instructions to learn:
 - All single-cycle instructions except branches
- Operating speed:
 - DC – 20 MHz oscillator/clock input
 - DC – 200 ns instruction cycle
- Interrupt capability
- 8-level deep hardware stack
- Direct, Indirect and Relative Addressing modes

Special Microcontroller Features:

- Precision Internal Oscillator:
 - Factory calibrated to $\pm 1\%$
 - Software selectable frequency range of 8 MHz to 31 kHz
 - Software tunable
 - Two-Speed Start-up mode
 - Crystal fail detect for critical applications
 - Clock mode switching during operation for power savings
- Power-Saving Sleep mode
- Wide operating voltage range (2.0V-5.5V)
- Industrial and Extended Temperature range
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Brown-out Reset (BOR) with software control option
- Enhanced low-current Watchdog Timer (WDT) with on-chip oscillator (software selectable nominal 268 seconds with full prescaler) with software enable
- Multiplexed Master Clear with pull-up/input pin
- Programmable code protection
- High Endurance Flash/EEPROM cell:
 - 100,000 write Flash endurance
 - 1,000,000 write EEPROM endurance
 - Flash/Data EEPROM retention: > 40 years
 - Program memory Read/Write during run time
- In-Circuit Debugger (on board)

Low-Power Features:

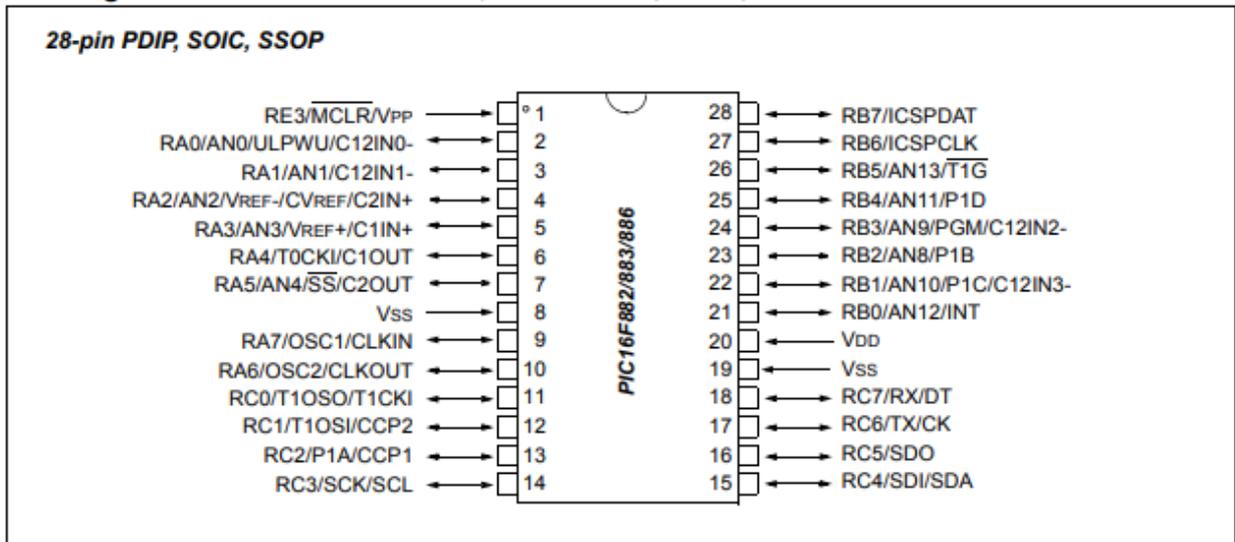
- Standby Current:
 - 50 nA @ 2.0V, typical
- Operating Current:
 - 11 μ A @ 32 kHz, 2.0V, typical
 - 220 μ A @ 4 MHz, 2.0V, typical
- Watchdog Timer Current:
 - 1 μ A @ 2.0V, typical

Peripheral Features:

- 24/35 I/O pins with individual direction control:
 - High current source/sink for direct LED drive
 - Interrupt-on-Change pin
 - Individually programmable weak pull-ups
 - Ultra Low-Power Wake-up (ULPMU)
- Analog Comparator module with:
 - Two analog comparators
 - Programmable on-chip voltage reference (CVREF) module (% of V_{DD})
 - Fixed voltage reference (0.6V)
 - Comparator inputs and outputs externally accessible
 - SR Latch mode
 - External Timer1 Gate (count enable)
- A/D Converter:
 - 10-bit resolution and 11/14 channels
- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit programmable prescaler
- Enhanced Timer1:
 - 16-bit timer/counter with prescaler
 - External Gate Input mode
 - Dedicated low-power 32 kHz oscillator
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Enhanced Capture, Compare, PWM+ module:
 - 16-bit Capture, max. resolution 12.5 ns
 - Compare, max. resolution 200 ns
 - 10-bit PWM with 1, 2 or 4 output channels, programmable "dead time", max. frequency 20 kHz
 - PWM output steering control
- Capture, Compare, PWM module:
 - 16-bit Capture, max. resolution 12.5 ns
 - 16-bit Compare, max. resolution 200 ns
 - 10-bit PWM, max. frequency 20 kHz
- Enhanced USART module:
 - Supports RS-485, RS-232, and LIN 2.0
 - Auto-Baud Detect
 - Auto-Wake-Up on Start bit
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module supporting 3-wire SPI (all 4 modes) and I²C™ Master and Slave Modes with I²C address mask

Device	Program Memory	Data Memory		I/O	10-bit A/D (ch)	ECCP/CCP	EUSART	MSSP	Comparators	Timers 8/16-bit
	Flash (words)	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)							
PIC16F882	2048	128	128	28	11	1/1	1	1	2	2/1
PIC16F883	4096	256	256	24	11	1/1	1	1	2	2/1
PIC16F884	4096	256	256	35	14	1/1	1	1	2	2/1
PIC16F886	8192	368	256	24	11	1/1	1	1	2	2/1
PIC16F887	8192	368	256	35	14	1/1	1	1	2	2/1

Pin Diagrams – PIC16F882/883/886, 28-Pin PDIP, SOIC, SSOP



ANEXO C

```
#include <16f886.h>

#device adc=10

#FUSES NOWDT           //No Watch Dog Timer
#FUSES HS
#FUSES PUT             //No Power Up Timer
#FUSES MCLR           //Master Clear pin enabled
#FUSES NOPROTECT      //Code not protected from reading
#FUSES NOCPD          //No EE protection
#FUSES NOBROWNOUT     //No brownout reset
#FUSES IESO           //Internal External Switch Over mode enabled
#FUSES FCMEN          //Fail-safe clock monitor enabled
#FUSES NOLVP          //No low voltage prgming, B3(PIC16) or B5(PIC18) used
for I/O
#FUSES NODEBUG        //No Debug mode for ICD
#FUSES NOWRT          //Program memory not write protected
#FUSES BORV21         //Brownout reset at 2.1V
#FUSES RESERVED       //Used to set the reserved FUSE bits

#use delay(clock=20000000)

#define MODBUS_TYPE MODBUS_TYPE_SLAVE
#define MODBUS_SERIAL_TYPE MODBUS_RTU //use MODBUS_ASCII for ASCII
mode
#define MODBUS_SERIAL_RX_BUFFER_SIZE 64
#define MODBUS_SERIAL_BAUD 57600
#define MODBUS_PARITY "NONE"

#define MODBUS_SERIAL_INT_SOURCE MODBUS_INT_RDA
```

```

#define MODBUS_SERIAL_TX_PIN PIN_C6 // Data transmit pin
#define MODBUS_SERIAL_RX_PIN PIN_C7 // Data receive pin
#define MODBUS_SERIAL_ENABLE_PIN PIN_B3 // Controls DE pin for RS485

#include "modbus.c"
#include <ieeefloat.c>

#define MODBUS_ADDRESS 0xF7

#use fast_io (a)
#use fast_io (b)

#byte trisa=0x85
#byte trisb=0x86

#byte porta=0x05
#byte portb=0x06

#byte adcon0=0x1F
#bit GO_DONE = 0x1f.2 //Bit de inicio de conversion (registro ADCON0)

const int numReadings = 30;

int16 readings[numReadings]; // the readings from the analog input
int16 readIndex = 0; // the index of the current reading
int16 total = 0; // the running total
int16 average = 0; // the average

int16 sensor1_int16=0;
int32 sensor1_int32=0;
float sensor1_float=0.0;
float Vref_neg=0.0;

```

```
float Vref_pos=5.0;
```

```
/*This function may come in handy for you since MODBUS uses MSB first.*/
```

```
int8 swap_bits(int8 c)
```

```
{
```

```
    return ((c&1)?128:0)|((c&2)?64:0)|((c&4)?32:0)|((c&8)?16:0)|((c&16)?8:0)
```

```
        |((c&32)?4:0)|((c&64)?2:0)|((c&128)?1:0);
```

```
}
```

```
void main()
```

```
{
```

```
    int8 coils = 0b00000101;
```

```
    int8 inputs = 0b00001001;
```

```
    int16 hold_regs[] = {0x8800,0x7700,0x6600,0x5500,0x4400,0x3300,0x2200,0x1100};
```

```
    int16 input_regs[] = {0x0000,0x0000,0x0000,0x0000,0x0000,0x0000,0x0000,0x0000};
```

```
    int16 event_count = 0;
```

```
    trisb=0x17;
```

```
    trisa=0xff;
```

```
    setup_adc_ports(sAN0|sAN1|sAN4|sAN8|VSS_VDD);
```

```
    setup_adc(adc_clock_internal);
```

```
    setup_comparator(NC_NC_NC_NC);
```

```
    modbus_init();
```

```
    int i;
```

```
    for (i = 0; i < numReadings; i++)
```

```
    {
```

```
        readings[i] = 0;
```

```
    }
```

```
    while(TRUE)
```

```

{
  set_adc_channel(0);
  // subtract the last reading:
  total = total - readings[readIndex];
  // read from the sensor:
  //sensor1_int16 = READ_ADC();
  readings[readIndex] = READ_ADC();
  // add the reading to the total:
  total = total + readings[readIndex];
  // advance to the next position in the array:
  readIndex = readIndex + 1;

  // if we're at the end of the array...
  if (readIndex >= numReadings) {
    // ...wrap around to the beginning:
    readIndex = 0;
    // calculate the average:
    average = total / numReadings;
    //conversion a registro modbus
    sensor1_float=(((Vref_pos-Vref_neg)*average)/1023.0)+ Vref_neg;
    sensor1_int32=f_PICtoIEEE(sensor1_float);
    input_regs[0]=sensor1_int32;
    input_regs[1]=sensor1_int32>>16;
  }

  while(!modbus_kbhit());

  delay_ms(50);

  //check address against our address, 0 is broadcast
  if((modbus_rx.address == MODBUS_ADDRESS) || modbus_rx.address == 0)
  {

```

```

switch(modbus_rx.func)
{
case FUNC_READ_COILS: //read coils
case FUNC_READ_DISCRETE_INPUT: //read inputs
    if(modbus_rx.data[0] || modbus_rx.data[2] ||
        modbus_rx.data[1] >= 8 || modbus_rx.data[3]+modbus_rx.data[1] > 8)

modbus_exception_rsp(MODBUS_ADDRESS,modbus_rx.func,ILLEGAL_DATA_ADDR
ESS);

    else
    {
        int8 data;

        if(modbus_rx.func == FUNC_READ_COILS)
            data = coils>>(modbus_rx.data[1]); //move to the starting coil
        else
            data = inputs>>(modbus_rx.data[1]); //move to the starting input

        data = data & (0xFF>>(8-modbus_rx.data[3])); //0 out values after quantity

        if(modbus_rx.func == FUNC_READ_COILS)
            modbus_read_discrete_input_rsp(MODBUS_ADDRESS, 0x01, &data);
        else
            modbus_read_discrete_input_rsp(MODBUS_ADDRESS, 0x01, &data);

        event_count++;
    }
    break;
case FUNC_READ_HOLDING_REGISTERS:
case FUNC_READ_INPUT_REGISTERS:
    if(modbus_rx.data[0] || modbus_rx.data[2] ||
        modbus_rx.data[1] >= 8 || modbus_rx.data[3]+modbus_rx.data[1] > 8)

```

```

modbus_exception_rsp(MODBUS_ADDRESS,modbus_rx.func,ILLEGAL_DATA_ADDRESS);
    else
    {
        if(modbus_rx.func == FUNC_READ_HOLDING_REGISTERS)

modbus_read_holding_registers_rsp(MODBUS_ADDRESS,(modbus_rx.data[3]*2),holding_registers+modbus_rx.data[1]);
        else

modbus_read_input_registers_rsp(MODBUS_ADDRESS,(modbus_rx.data[3]*2),input_registers+modbus_rx.data[1]);

        event_count++;
    }
    break;
case FUNC_WRITE_SINGLE_COIL: //write coil
    if(modbus_rx.data[0] || modbus_rx.data[3] || modbus_rx.data[1] > 8)

modbus_exception_rsp(MODBUS_ADDRESS,modbus_rx.func,ILLEGAL_DATA_ADDRESS);
        else if(modbus_rx.data[2] != 0xFF && modbus_rx.data[2] != 0x00)

modbus_exception_rsp(MODBUS_ADDRESS,modbus_rx.func,ILLEGAL_DATA_VALUE);
        else
        {
            //coils are stored msb->lsb so we must use 7-address
            if(modbus_rx.data[2] == 0xFF)
                bit_set(coils,modbus_rx.data[1]);
            else

```

```

        bit_clear(coils,modbus_rx.data[1]);

modbus_write_single_coil_rsp(MODBUS_ADDRESS,modbus_rx.data[1],((int16)(modbus_rx.data[2]))<<8);

        event_count++;
    }
    break;
case FUNC_WRITE_SINGLE_REGISTER:
    if(modbus_rx.data[0] || modbus_rx.data[1] >= 8)

modbus_exception_rsp(MODBUS_ADDRESS,modbus_rx.func,ILLEGAL_DATA_ADDRESS);
    else
    {
        //the registers are stored in little endian format
        hold_regs[modbus_rx.data[1]] =
make16(modbus_rx.data[3],modbus_rx.data[2]);

        modbus_write_single_register_rsp(MODBUS_ADDRESS,
            make16(modbus_rx.data[0],modbus_rx.data[1]),
            make16(modbus_rx.data[2],modbus_rx.data[3]));
    }
    break;
case FUNC_WRITE_MULTIPLE_COILS:
    if(modbus_rx.data[0] || modbus_rx.data[2] ||
        modbus_rx.data[1] >= 8 || modbus_rx.data[3]+modbus_rx.data[1] > 8)

modbus_exception_rsp(MODBUS_ADDRESS,modbus_rx.func,ILLEGAL_DATA_ADDRESS);
    else

```

```

    {
        int i,j;

        modbus_rx.data[5] = swap_bits(modbus_rx.data[5]);

        for(i=modbus_rx.data[1],j=0; i < modbus_rx.data[1]+modbus_rx.data[3];
++i,++j)
        {
            if(bit_test(modbus_rx.data[5],j))
                bit_set(coils,7-i);
            else
                bit_clear(coils,7-i);
        }

        modbus_write_multiple_coils_rsp(MODBUS_ADDRESS,
            make16(modbus_rx.data[0],modbus_rx.data[1]),
            make16(modbus_rx.data[2],modbus_rx.data[3]));

        event_count++;
    }
    break;
case FUNC_WRITE_MULTIPLE_REGISTERS:
    if(modbus_rx.data[0] || modbus_rx.data[2] ||
        modbus_rx.data[1] >= 8 || modbus_rx.data[3]+modbus_rx.data[1] > 8)

modbus_exception_rsp(MODBUS_ADDRESS,modbus_rx.func,ILLEGAL_DATA_ADDR
ESS);
    else
    {
        int i,j;

        for(i=0,j=5; i < modbus_rx.data[4]/2; ++i,j+=2)

```

```

        hold_regs[i] = make16(modbus_rx.data[j+1],modbus_rx.data[j]);

modbus_write_multiple_registers_rsp(MODBUS_ADDRESS,
        make16(modbus_rx.data[0],modbus_rx.data[1]),
        make16(modbus_rx.data[2],modbus_rx.data[3]));

        event_count++;
    }
    break;
default: //We don't support the function, so return exception

modbus_exception_rsp(MODBUS_ADDRESS,modbus_rx.func,ILLEGAL_FUNCTION);
    }
    }
    //portb=coils;
}
}

```