



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**Análisis adquisición y procesamiento de señales en sensores de
equipos reológicos**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERO ELECTRÓNICO.**

Autor:

ANGEL DARWIN ARÉVALO AJÍLA

Director:

DANIEL ESTEBAN ITURRALDE PIEDRA

CUENCA-ECUADOR

2016

DEDICATORIA

Este trabajo de graduación se lo quiero dedicar, en primer lugar a Jehová porque gracias su bondad inmerecida, me ha dado la fortaleza y el valor para seguir adelante y poder terminar este largo camino.

Luego a mi querida esposa Aida, a mi hija Rosita, ya que gracias al apoyo incondicional que me brindaron, a pesar de las duras pruebas que tuvimos que afrontar, siempre estuvieron ahí para apoyarme en todo momento, por ello he podido terminar esta etapa de mi vida, gracias por todo el apoyo que supieron brindarme.

A mis padres, por el apoyo que me brindaron en mi etapa escolar, que fue una fortaleza para salir adelante. A mi madre que siempre confió en mí, y nunca perdió las esperanzas de que lograría este objetivo en mi vida.

Darwin

AGRADECIMIENTO

A las autoridades de la Universidad del Azuay, particularmente de la Escuela de Electrónica, al Ingeniero German Zúñiga, decano de la Facultad de Ciencia y Tecnología, y al cuerpo docente que a lo largo de estos años, han sido un valioso aporte para mi vida profesional.

Al Ingeniero Daniel Iturralde, por haber aceptado asumir la dirección de mi tesis, en vista de la ausencia del Ingeniero José Luis Pesantes, ya que por medio de sus conocimientos y profesionalismo, supo guiarme para la realización de este trabajo.

Al Doctor Hugo Torres, por la colaboración que me brindó en todo momento, para la elaboración, desarrollo, y culminación de mi trabajo de tesis.

Darwin.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDOS	pag.
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN Y CONCEPTOS GENERALES	
1.1. Definición.....	2
1.2. Historia de la reología.....	2
1.3. Deformación de un cuerpo.....	5
1.4. Reología de alimentos.....	6
1.5. Equipos de reología de alimentos.....	6
1.5.1. Creep test.....	7
1.5.2. Penetrómetro de cono.....	9
1.6. Aplicaciones en la industria.....	11
1.7. Equipos de reología en la industria.....	11
1.7.1. Creep test Industrial.....	12
1.7.1.1. Descripción general.....	12
1.7.1.2. Especificaciones.....	13
1.7.1.3. Aplicaciones del Creep test.....	14
1.7.2. Penetrómetro de cono Industrial.....	14
1.7.2.1. Especificaciones.....	14
1.7.2.2. Aplicaciones del Penetrómetro.....	15

CAPITULO 2: DISEÑO DE HARDWARE MECANICO

2.1. Introducción.....	16
2.2. Creep Test.....	16
2.2.1. Descripción de la estructura mecánica.....	18
2.2.2. Descripción de las piezas mecánicas.....	19
2.3. Penetrómetro.....	25
2.3.1. Descripción de la estructura mecánica.....	26
2.3.2. Descripción de las piezas mecánicas.....	27

CAPITULO 3: DISEÑO DEL HARDWARE ELÉCTRICO - ELECTRÓNICO

3.1. Introducción.....	29
3.2. Protección del sistema.....	29
3.2.1. Varistor.....	30
3.2.1.1. Curva de comportamiento del varistor.....	30
3.2.1.2. Aplicaciones del varistor.....	31
3.2.1.3. Características.....	31
3.2.1.4. Protección para fuentes de alimentación.....	31
3.3. Construcción del hardware de protección del sistema.....	32
3.4. Transformador.....	34
3.5. Construcción de la fuente de alimentación.....	35
3.6. Sensores.....	36
3.7. Transformador Diferencial de Desplazamiento Lineal (LVDT).....	36
3.7.1. Estructura interna.....	37
3.7.1.1. Funcionamiento.....	38
3.7.2. Características principales.....	40
3.8. Construcción del sensor LVDT.....	41
3.8.1. Sensor del Creep test.....	42
3.8.2. Sensor del Penetrómetro.....	44
3.9. Análisis y medición del sensor LVDT.....	45

3.9.1. Creep test.....	46
3.9.2. Penetrómetro.....	46
3.10. Análisis de la señal de Ingreso a la DAQ.....	47
3.10.1. Análisis del espectro de frecuencia.....	48
3.10.2. Análisis de la señal en el osciloscopio.....	49
3.11. Filtros Analógicos.....	49
3.11.1. Filtro pasa bajo.....	50
3.11.2. Filtro pasa alto.....	51
3.11.3. Filtro pasa banda.....	51
3.12. Diseño del filtro Analógico.....	51
3.12.1. Filtro pasa bajo.....	52
3.12.2. Filtro pasa alto.....	53
3.12.3. Filtro pasa banda.....	54
3.12.4. Espectro de frecuencia de la señal filtrada.....	56
3.13. Módulo de Adquisición DAQ.....	56
3.13.1. Estructura y características de funcionamiento de la DAQ.....	56
3.13.2. Entradas y salidas analógicas y digitales.....	57

CAPITULO 4: DESARROLLO DEL SOFTWARE DE ADQUISICION

4.1. Introducción.....	59
4.2. Introducción al ambiente LabVIEW.....	59
4.2.1. Instrumentos virtuales (VI).....	60
4.2.2. Partes de un VI.....	60
4.2.3. Panel frontal.....	60
4.2.4. Diagrama de bloques.....	61
4.2.5. Requerimientos para la instalación.....	62
4.3. Herramientas utilizadas en el desarrollo del software.....	62
4.4. Configuración de la tarjeta de adquisición DAQ.....	63
4.5. Diagrama de flujo del software sobre LabVIEW.....	65
4.6. Software sobre LabVIEW.....	66
4.6.1. Funcionamiento del software.....	66

4.7.	Diagrama de bloques.....	68
4.7.1.	Adquisición y procesamiento de las señales del sensor.....	69
4.7.2.	Manejo de cursores en la gráfica.....	70
4.7.3.	Cuadro de diálogo.....	70
4.7.4.	Cálculo de la pendiente de la señal.....	71
4.7.5.	Almacenamiento de datos adquiridos.....	72

CAPITULO 5: PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1.	Pruebas y resultados de funcionamiento.....	73
5.2.	Pruebas con el Creep test en el laboratorio.....	73
5.2.1.	Resultados obtenidos en el Creep test.....	74
5.3.	Pruebas con el Penetrómetro.....	75
5.3.1.	Resultados obtenidos en el Penetrómetro.....	76

CONCLUSIONES	77
---------------------------	----

RECOMENDACIONES	77
------------------------------	----

BIBLIOGRAFÍA	80
---------------------------	----

ANEXOS	83
---------------------	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Deformación de un Cuerpo.....	4
Figura 1.2	Tipos de Deformaciones.....	5
Figura 1.3	Periodos de comportamiento.....	7
Figura 1.4	Deformación de la muestra.....	8
Figura 1.5	Regiones de análisis.....	9
Figura 1.6	Penetración de una muestra.....	9
Figura 1.7	Penetración de una muestra.....	10
Figura 1.8	Curva de penetración.....	11
Figura 1.9	Creep test Industrial.....	12
Figura 1.10	Penetrómetro de cono Industrial.....	14
Figura 2.1	Estructura antigua del Creep test.....	17
Figura 2.2	Estructura antigua del Creep test (vista superior).....	17
Figura 2.3	Estructura nueva del Creep test.....	18
Figura 2.4	Descripción de la estructura mecánica del Creep test.....	18
Figura 2.5	Base del Creep test.....	20
Figura 2.6	Soportes de la base del Creep test.....	20
Figura 2.7	Altura total de la base del Creep test.....	21
Figura 2.8	Eje perpendicular del Creep test.....	21
Figura 2.9	Platinas perforadas.....	22
Figura 2.10	Eje roscado y manivela.....	23
Figura 2.11	Rieles de desplazamiento.....	23
Figura 2.12	Eje y rueda de desplazamiento.....	24
Figura 2.13	Plataforma de muestreo.....	24
Figura 2.14	Estructura antigua del Penetrómetro.....	25
Figura 2.15	Descripción de la estructura del penetrómetro.....	26
Figura 2.16	Eje del penetrómetro.....	27
Figura 2.17	Eje y brazo del Penetrómetro.....	27
Figura 2.18	Punta cónica del Penetrómetro.....	28
Figura 2.19	Estructura Nueva del penetrómetro.....	28

Figura 3.1	Diagrama de bloques del hardware eléctrico-electrónico.....	29
Figura 3.2	Varistor.....	30
Figura 3.3	Grafica tensión/corriente (V/I).....	30
Figura 3.4	Varistor aplicado a una fuente de alimentación.....	32
Figura 3.5	Varistor aplicado en dos partes.....	32
Figura 3.6	Conexión del Varistor y fusible de protección.....	33
Figura 3.7	Esquema de protección del sistema.....	33
Figura 3.8	PCB del circuito de protección.....	34
Figura 3.9	Tarjeta física del circuito de protección.....	34
Figura 3.10	Transformador de entrada 117 VAC y salida de 8 VAC.....	35
Figura 3.11	Esquema de la fuente de alimentación.....	35
Figura 3.12	Partes de la fuente de alimentación.....	36
Figura 3.13	Fuente de Alimentación terminada.....	36
Figura 3.14	Transformador de Desplazamiento Lineal (LVDT).....	37
Figura 3.15	Posiciones del núcleo ferromagnético.....	37
Figura 3.16	Flujo magnético en las bobinas.....	38
Figura 3.17	Estructura interna del sensor LVDT.....	38
Figura 3.18	Estructura interna del sensor LVDT	39
Figura 3.19	Señales adquiridas de acuerdo al movimiento del núcleo.....	39
Figura 3.20	Núcleo vacío con divisiones del sensor LVDT.....	41
Figura 3.21	Sensor LVDT.....	43
Figura 3.22	Sensor LVDT del Creep test.....	44
Figura 3.23	Sensor LVDT del Creep test.....	44
Figura 3.24	Sensor LVDT del Penetrómetro.....	45
Figura 3.25	Espectro de la señal de 60 HZ con ruido.....	48
Figura 3.26	Espectro de la señal de 60 HZ con ruido ampliada	48
Figura 3.27	Medición de la señal de ingreso en el osciloscopio.....	49
Figura 3.28	Filtro pasa bajo.....	50
Figura 3.29	Filtro pasa alto.....	51
Figura 3.30	Filtro pasa banda.....	51
Figura 3.31	Circuito de filtro pasa bajo	53
Figura 3.32	Circuito de filtro pasa alto.....	54

Figura 3.33	Circuito de filtro pasa banda.....	55
Figura 3.34	Capa inferior del PCB del filtro pasa banda.....	55
Figura 3.35	Montaje de componentes del filtro pasa banda	55
Figura 3.36	Espectro de la señal filtrada	56
Figura 3.37	Descripción de los pines de conexión Analógico/Digital de la tarjeta DAQ USB 6008.....	58
Figura 4.1	Instrumento virtual Vi.....	60
Figura 4.2	Ejemplo de panel frontal de un Vi.....	61
Figura 4.3	Ejemplo de diagrama de bloques de un Vi.....	62
Figura 4.4	Tarjeta de Adquisición DAQ USB-6008.....	63
Figura 4.5	Paleta de funciones Express.....	63
Figura 4.6	Configuración de la tarjeta DAQ.....	64
Figura 4.7	Configuración de la tarjeta DAQ	64
Figura 4.8	Configuración de la tarjeta DAQ	65
Figura 4.9	Diagrama de flujo del software sobre LabVIEW.....	65
Figura 4.10	Panel frontal del Creep Recovery Test.....	66
Figura 4.11	Señal en proceso de adquisición.....	67
Figura 4.12	Puntos de referencia de la pendiente de la gráfica.....	68
Figura 4.13	Resultado de la pendiente de la gráfica.....	68
Figura 4.14	Adquisición de las señales.....	69
Figura 4.15	Procesamiento de la señal adquirida.....	69
Figura 4.16	Manejo de cursores.....	70
Figura 4.17	Cuadro de dialogo.....	71
Figura 4.18	Cuadro de dialogo.....	71
Figura 4.19	Cálculo de la pendiente de la señal adquirida	72
Figura 4.20	Almacenamiento de datos.....	72
Figura 5.1	Pruebas con el Creep test en el laboratorio de Alimentos de la UDA.....	74
Figura 5.2	Resultados de las pruebas con el Creep test en el laboratorio de Alimentos de la UDA.....	75
Figura 5.3	Pruebas con el Penetrómetro en el laboratorio de Alimentos de la UDA.....	75

Figura 5.4 Resultados de las pruebas con el Penetrómetro
en el laboratorio de Alimentos de la UDA..... 76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Dimensiones de la base del Creep test.....	19
Tabla 2.2	Dimensiones de los soportes de la base del Creep test.....	20
Tabla 2.3	Dimensiones de los soportes con la base del Creep test.....	21
Tabla 2.4	Dimensiones de los ejes del Creep test.....	21
Tabla 2.5	Dimensiones de las platinas del Creep test.....	22
Tabla 2.6	Dimensiones del eje roscado y la manivela del Creep test.....	22
Tabla 2.7	Dimensiones de los rieles del Creep test.....	23
Tabla 2.8	Dimensiones del eje y la rueda del Creep test.....	23
Tabla 2.9	Dimensiones de la plataforma del Creep test.....	24
Tabla 2.10	Dimensiones de la estructura del Penetrómetro.....	27
Tabla 3.1	Calibre y medidas de alambres esmaltados de cobre.....	42
Tabla 3.2	Mediciones realizadas en el sensor LVDT del Creep test.....	46
Tabla 3.3	Mediciones realizadas en el sensor LVDT del Penetrómetro.....	47
Tabla 3.4	Diferencias entre las tarjetas NI-DAQ USB 6008 y 6009.....	57

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.1	Ley de Newton.....	3
Ecuación 1.2	Ley de Hook.....	3
Ecuación 1.3	Modelo matemático de Maxwell.....	4
Ecuación 1.4	Número de Deborah.....	4
Ecuación 3.1	Relación básica del transformador.....	40
Ecuación 3.2	Área del núcleo.....	42
Ecuación 3.3	Periodo de una señal.....	49
Ecuación 3.4	Frecuencia central.....	49
Ecuación 3.5	Ganancia de tensión.....	52
Ecuación 3.6	Reactancia capacitiva.....	52
Ecuación 3.7	Calculo de resistencia.....	52
Ecuación 3.8	Filtro pasa alto.....	53
Ecuación 3.9	Ancho de banda.....	54
Ecuación 4.1	Pendiente de una recta entre dos puntos.....	71

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1	Medidas del prototipo del Creep test (vista lateral).....	83
Anexo 2	Medidas del prototipo del Creep test (vista frontal).....	84
Anexo 3	Medidas del prototipo del Creep test (vista posterior).....	85
Anexo 4	Medidas del prototipo del Creep test (vista superior).....	86
Anexo 5	Medidas del Penetrómetro (vista lateral).....	87
Anexo 6	Medidas del Penetrómetro (vista frontal).....	88
Anexo 7	Medidas del Penetrómetro (vista superior).....	89
Anexo 8	Diagrama de bloques completo del software sobre LabVIEW.....	90

ANÁLISIS ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE SEÑALES EN SENSORES DE EQUIPOS REOLÓGICOS

RESUMEN

En el desarrollo de este trabajo de graduación, se presenta el procedimiento para el diseño y construcción del prototipo del Creep test, y el mejoramiento de la estructura del penetrómetro, que beneficiará al personal docente y alumnado del laboratorio de alimentos de la Universidad del Azuay.

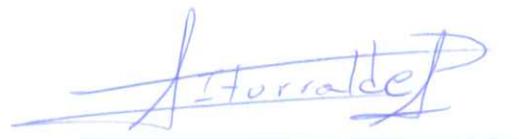
Se construyó una fuente de alimentación, para que sea utilizada exclusivamente con los equipos además, se diseñó y construyó un sensor de desplazamiento lineal LVDT, que permite realizar las mediciones en cada muestreo que se realiza. Para la adquisición y procesamiento de las señales en cada uno de los sensores, se desarrolló un software en LabVIEW que permite recibir las señales sin ruidos, debido a que se ha utilizado filtros analógicos para este propósito.

***Palabras Clave:** Creep test, Penetrómetro, Sensor LVDT, Tarjeta DAQ, LabVIEW



Hugo Marcelo Torres Salamea

Director de Escuela



Daniel Esteban Iturralde Piedra

Director de Tesis



Ángel Darwin Arévalo Ajila.

Autor

ANALYSIS, ACQUISITION AND SIGNAL PROCESSING IN RHEOLOGICAL EQUIPMENT SENSORS

ABSTRACT

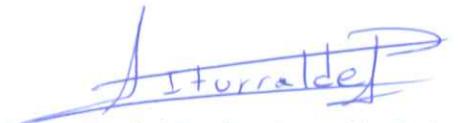
This graduation work presents the procedure for the design and construction of the prototype for Creep test, as well as the improvement of the penetrometer structure, which will benefit teachers and students of the food laboratory at *Universidad del Azuay*.

A power supply to be used exclusively with the equipment is built. In addition, an LVDT linear displacement sensor which enables measurements at each sampling was designed and manufactured. For the acquisition and processing of signals in each of the sensors, LabVIEW software that enables to receive noiseless signals was developed, since analog filters were used for this purpose.

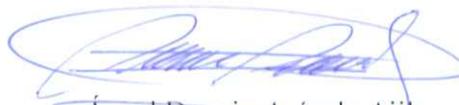
* **Keywords:** Creep Test, Penetrometer, LVDT Sensor, DAQ Card, Labview.



Hugo Marcelo Torres Salamea
School Director



Daniel Esteban Iturralde Piedra
Thesis Director



Ángel Darwin Arévalo Ajila.
Author



UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
Dpto. Idiomas



Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

Arévalo Ajila, Ángel Darwin
Trabajo de Graduación
Ing. Daniel Esteban Iturralde Piedra
Abril, 2016

“ANÁLISIS ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE SEÑALES EN SENSORES DE EQUIPOS REOLOGICOS”

INTRODUCCIÓN

En el laboratorio de alimentos de la Universidad del Azuay, se desarrollan importantes proyectos de investigación, que aportan al desarrollo de la ciencia y la tecnología, como es el caso de los análisis reológicos en alimentos, pues gracias a este tipo de análisis, se puede mejorar la calidad de los productos alimenticios empacados.

Para realizar este tipo de análisis, se utilizan dos clases de equipos como son: el Creep test y el Penetrómetro, por ello el personal docente de este laboratorio, tuvo que improvisar modelos de estos equipos. Estos modelos presentan mucha incomodidad para el usuario, al momento de realizar los análisis, ya que tienden a moverse, ocasionando pérdida de tiempo y aumentando la probabilidad de errores en los resultados. Además el software para la adquisición de las señales presenta deficiencias, y para obtener los resultados esperados, es necesario realizar otros procesos matemáticos que requieren de más tiempo.

Este trabajo de graduación tiene como objetivo, facilitar el trabajo del personal docente y alumnos de este laboratorio, para que puedan realizar los análisis de una forma cómoda y eficiente; con la construcción del nuevo prototipo del Creep test y el mejoramiento en la estructura del Penetrómetro. Además se va a desarrollar un software que permita realizar la adquisición y procesamiento de las señales, sin recurrir a otros procesos.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN Y CONCEPTOS GENERALES

En el sistema de adquisición de señales, tanto el hardware como el software se desarrollarán conjuntamente con el presente trabajo, cuyo objetivo principal es facilitar y mejorar el trabajo realizado, en el laboratorio de Alimentos de la Universidad del Azuay, contribuyendo de esta manera con mejores resultados en los análisis realizados. Para el desarrollo de este sistema se partirá desde: la historia, características y por menores de la reología, para entender su aplicación en los alimentos. Luego de esto, se requerirá diseñar y construir el prototipo del hardware de un equipo (Creep test) y mejorar la estructura de otro equipo (Penetrómetro), además de la implementación de un sensor LVDT (Transformador Diferencial de Variación Lineal), para la generación de las señales. También es necesario desarrollar un software en la plataforma de LabVIEW, para realizar y controlar todo el proceso de análisis, adquisición y procesamiento de las señales.

1.1. Definición

La Reología es la ciencia del flujo, que estudia la deformación de un cuerpo sometido a esfuerzos externos, como: la elasticidad, plasticidad y viscosidad de la materia. La palabra reología proviene del griego $\rho\epsilon\omega$ que significa fluir. El objetivo de la reología está enfocado a la observación del comportamiento de materiales, sometidos a esfuerzos o deformaciones muy sencillas. Por medio de la observación y del conocimiento del campo de deformación aplicada, el profesional en esta área puede desarrollar una relación constitutiva o modelo matemático que le permita obtener, las funciones materiales o propiedades que caracterizan el material. Su estudio es esencial en muchas industrias como: plásticos, pinturas, alimentos, detergentes, aceites lubricantes, entre otras (Gonzales, 2009).

1.2. Historia de la reología

“En 1678 Robert Hooke fue el primero que habló de la reología en su libro “Verdadera teoría de la Elasticidad”. Dicha teoría se resumía en lo siguiente: “Si se dobla la tensión, se dobla la deformación”. Nueve años después, Isaac Newton publicó en su

obra “Philosophiae Naturalis Principia Mathematica” una hipótesis asociada al estado simple de cizalladura (o corte): “La resistencia derivada de la falta de deslizamiento de las partes de un líquido es proporcional a la velocidad con que se separan unas de otras dentro de él”. Este deslizamiento es lo que ahora se denomina “Viscosidad”, sinónimo de fricción interna, dicha viscosidad es una medida de la resistencia a fluir” (Gonzales, 2009).

La fuerza por unidad de área, que se requiere para el movimiento de un fluido, se define como τ “tensión o esfuerzo de cizalla”. Según Newton la tensión de cizalla o esfuerzo cortante, es proporcional al gradiente de velocidad dv/dy o también denominado como γ' . Si se duplica la fuerza, se duplica el gradiente de velocidad. A la ecuación 1.1 se la denomina Ley de Newton, y es aplicable para el estudio de la reología de sustancias líquidas (Gonzales, 2009).

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} = \mu * \gamma' \quad (1.1)$$

Donde:

τ : Esfuerzo cortante

μ : Viscosidad

dv/dy : Gradiente de velocidad

γ' : Velocidad de deformación

Para el estudio de la reología de sustancias sólidas, se utiliza la ecuación 1.2 que se la denomina Ley de Hooke; esta ecuación indica, que si se aplica un esfuerzo τ sobre un cuerpo sólido, éste va a sufrir cierta deformación γ . El valor de dicha deformación ΔL , se mantendrá hasta que se termine el esfuerzo aplicado; siempre y cuando no supere su límite elástico, como se muestra en la figura 1.1. (Gonzales, 2009).

$$\tau = G * \gamma \quad (1.2)$$

Donde:

τ : Esfuerzo cortante

G: Módulo de rigidez

γ : Deformación

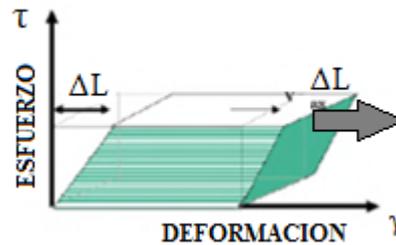


Figura. 1.1. Deformación de un Cuerpo

Fuente. Autor

“En 1835 W. Weber llevó a cabo una serie de experimentos con gusanos de seda y vio que no eran perfectamente elásticos, lo que observó fue que una carga longitudinal producía una extensión inmediata, seguida de un posterior alargamiento con el tiempo. Al eliminar dicha carga tenía lugar una contracción inmediata, seguida de una contracción gradual hasta alcanzar parcialmente la longitud inicial, estas características se asocian a la respuesta de un líquido” (Ramirez, 2006).

“En 1867 J.C Maxwell, en su artículo “Sobre la teoría dinámica de los gases”, incluido en la Enciclopedia Británica, propuso un modelo matemático para describir los fluidos que poseen propiedades elásticas, es decir, elementos asociados a la respuesta de un sólido”, como se muestra en la ecuación 1.3 (Ramirez, 2006).

$$\tau = \beta * \gamma \quad (1.3)$$

Donde:

τ : Esfuerzo cortante

β : Parámetro semejante al módulo de rigidez (Parámetro no-nulo).

γ : Deformación

Tanto la conducta que observó Weber en sólidos como Maxwell en líquidos se denominó posteriormente “Viscoelasticidad”. Además se observó que la viscosidad también dependía del tiempo y el módulo de rigidez podía variar con la tensión aplicada, por lo tanto los materiales pueden presentar comportamiento viscoso, elástico, o una combinación de ambos (Ramírez, 2006).

En 1945 M. Reiner definió el número de Deborah De . Los valores de De altos permiten considerar al material como un sólido elástico, y los valores bajos como un líquido viscoso, la ecuación 1.4 describe el número de Deborah (Soria, 2005):

$$De = \frac{\tau_c}{T} \quad (1.4)$$

Donde:

De : Número de Deborah

τ_c : Tiempo característico del material

T : Tiempo característico del proceso de deformación.

1.3. Deformación de un cuerpo

La deformación es el cambio en el tamaño o forma de un cuerpo, debido a esfuerzos internos o externos producidos por una o más fuerzas aplicadas sobre el mismo.

Los cuerpos se deforman cuando sobre ellos actúa una fuerza o tensión; por ejemplo: extensión, cizalla o compresión (ver figura 1.2). A cada tensión o esfuerzo aplicado le corresponde una deformación relativa, cuya magnitud depende del material considerado. (Ramírez, 2006).

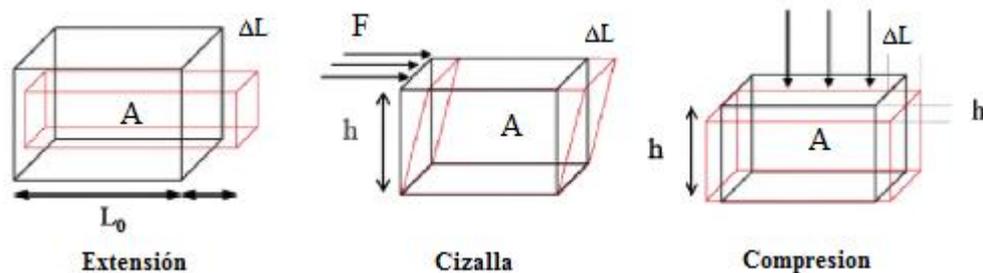


Figura.1.2. Tipos de Deformaciones

Fuente. (Ramírez, 2006)

1.4. Reología de alimentos

El estudio del comportamiento reológico de los alimentos, es importante en el control de calidad, en determinadas fases de elaboración, empaque y almacenamiento de los productos; por tal motivo las mediciones reológicas, son indispensables a la hora de elegir una materia prima, ya que estas tienen un gran efecto en la calidad del producto final (Ramirez, 2006).

El conocimiento adecuado de las propiedades reológicas de los alimentos es muy importante en aplicaciones como:

- **Diseño de procesos y equipos de ingeniería**
El conocimiento del comportamiento del flujo y deformación de los alimentos, es imprescindible en el diseño y dimensionado de equipos, tales como: cintas transportadoras, tuberías, tanques de almacenamiento, pulverizadores o bombas para el manejo de alimentos (Ramirez, 2006).

- **Evaluación sensorial**
Los datos reológicos son muy importantes, para modificar o mejorar el proceso de elaboración de un producto final; de forma que los parámetros de textura del alimento, se encuentren dentro del rango considerado deseable por los consumidores (Ramirez J. , 2006).

- **Control de calidad**
Las medidas de la viscosidad en continuo, son cada vez más importantes en muchas industrias alimentarias, con el objetivo de controlar el buen funcionamiento del proceso productivo, así como la calidad de las materias primas, productos intermedios y acabados (Ramirez J. , 2006).

1.5. Equipos de reología de alimentos.

Para realizar los análisis reológicos, en el Laboratorio de Alimentos de la Universidad del Azuay, se utilizan dos prototipos de equipos como son: El Creep Test (Ensayo de fluencia) y el Penetrómetro de cono.

1.5.1. Creep test.

El Creep Test o traducido al español (ensayo de fluencia), lleva a cabo su proceso mediante la aplicación de una fuerza o tensión constante. El Creep o (fluencia), es la tendencia de un material sólido, a moverse lentamente o deformarse permanentemente bajo tensiones constantes. La curva de Creep (figura 1.3) representa el proceso de deformación, como una función del tiempo en un material sometido a una tensión constante; esta curva muestra tres fases o periodos de comportamiento. (Soria, 2005).

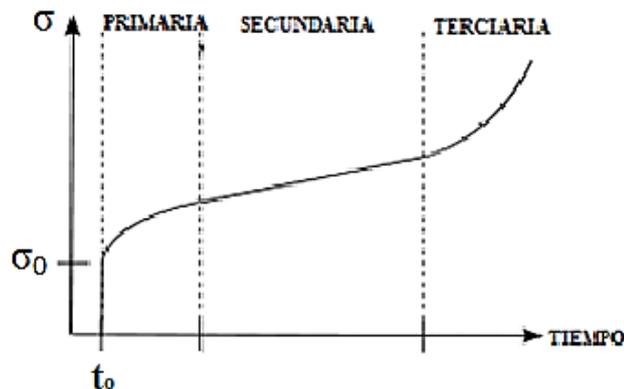


Figura. 1.3. Periodos de comportamiento

Fuente. Autor

Los periodos de comportamiento de la curva de Creep se describen a continuación:

- La etapa de fluencia primaria, también conocida como fluencia transitoria, es la etapa de inicio durante el cual el endurecimiento del material conduce a una disminución en la tasa de flujo que es inicialmente muy alta. (Soria, 2005).
- La etapa de fluencia secundaria, también conocida como el estado estacionario, es donde la velocidad de deformación es constante. (Soria, 2005).
- En la etapa de fluencia terciaria, hay un aumento en la velocidad de tensión a la velocidad de fractura, es decir cuando la muestra ha sufrido una cierta deformación en su estructura. (Soria, 2005).

Para realizar este análisis, se debe aplicar un esfuerzo instantáneo y constante, esto hace que la muestra sufra una deformación en su estructura (ver figura 1.4), la misma

que se monitorea como función del tiempo; al variar su dimensión se puede saber cuál es su composición, es decir su textura y su elasticidad, como en el caso de los quesos o embutidos (Soria, 2005).

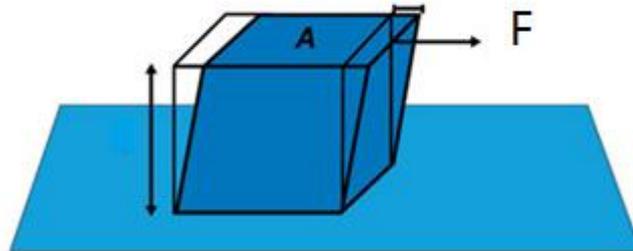


Fig. 1.4. Deformación de la muestra

Fuente: Autor

En este proceso, la muestra pasa por tres etapas o regiones en su análisis, como se indica a continuación:

- La región de deformación, se refiere al momento en que se le aplica a la muestra un esfuerzo o peso y la muestra tiende a sufrir una deformación en su estructura. (Soria, 2005).
- La región de fractura, indica el instante en el que se retira el esfuerzo o peso. (Soria, 2005).
- La región de recuperación, se refiere a la etapa en que la muestra intenta recuperar su forma original, pero no siempre se da esto, debido a la deformación que ha sufrido en su estructura". (Soria, 2005).

En la figura 1.5, se indica el proceso de cada una de las regiones de análisis.

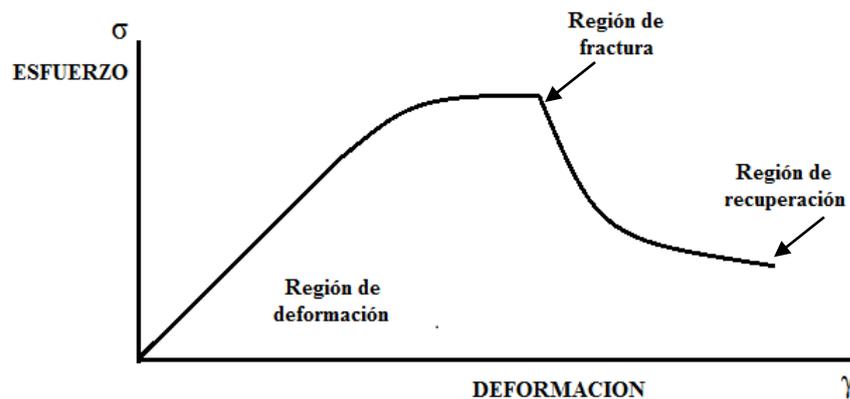


Figura. 1.5. Regiones de análisis

Fuente. Autor

1.5.2. Penetrómetro de cono.

Es un instrumento diseñado para medir, la firmeza, dureza o rigidez de diferentes productos (ver figura 1.6). Se basa en la medida de la resistencia que opone una muestra, a que una pieza determinada penetre en ella, en un intervalo de tiempo. Se han desarrollado distintos tipos de penetrómetros que difieren principalmente en: la geometría de la pieza que se introduce en cada muestra, que generalmente es cilíndrica o cónica. El proceso de penetración, se basa únicamente en dejar caer libremente el eje que sostiene la punta cónica, que posee un peso y un ángulo específico, y por efecto de la gravedad penetra en la muestra. (Zuñiga, 2007).



Fig. 1.6. Penetración de una muestra.

Fuente: Autor

La profundidad de penetración dependerá del peso del cono y del ángulo del cono (ver figura 1.7), del tipo de material, su temperatura y el tiempo de penetración. El valor de la fuerza máxima está relacionado con la firmeza del alimento, las dimensiones del

punzón, la distancia de penetración y la velocidad con que se aplica la fuerza. Debido a la naturaleza visco-elástica de los alimentos, la magnitud de la tensión desarrollada no solo es función de la deformación, sino también de la velocidad impuesta (Zuñiga, 2007).

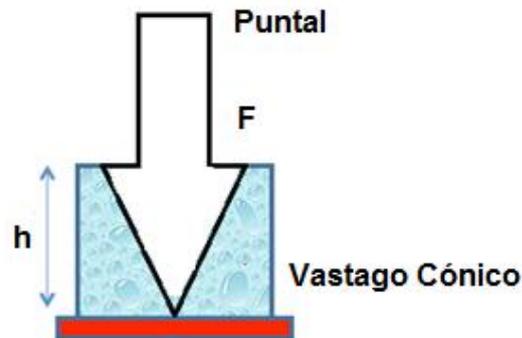


Fig. 1.7. Penetración de una muestra

Fuente: Autor

El proceso que se necesita para realizar la penetración de una muestra, requiere de tres fases que se describen de la siguiente manera (ver figura 1.8):

- La primera fase, se refiere al momento en que todavía no se ha soltado el puntal cónico, y la muestra no ha experimentado ninguna deformación en su estructura, por lo que la señal permanece constante en función del tiempo.
- La segunda fase, indica el momento en el que se ha soltado el puntal y la muestra está experimentando una penetración en su estructura; es el momento en que la curva de penetración tiende a subir, hasta que llegue un momento en que el puntal deje de penetrar o a su vez la muestra debido a su estructura oponga resistencia. (Zuñiga, 2007)
- La tercera fase, muestra el instante en que la muestra ha sido totalmente penetrada, aquí la curva de penetración vuelve a permanecer constante debido a que el puntal ya no puede seguir penetrando. (Zuñiga, 2007).

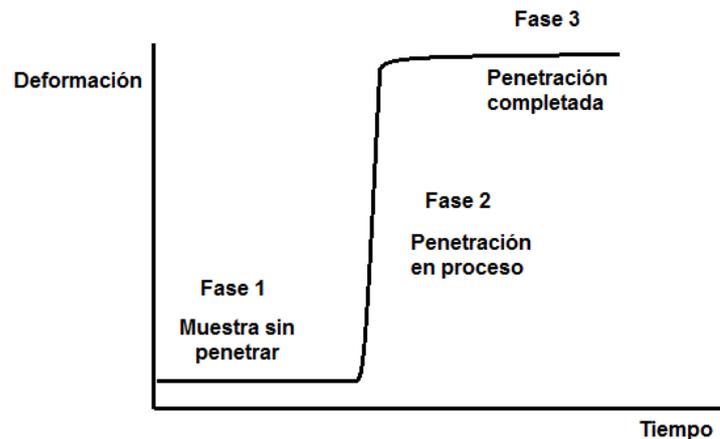


Fig. 1.8. Curva de penetración

Fuente: Autor

1.6. Aplicaciones en la Industria

La reología ha sido muy importante y lo seguirá siendo para el desarrollo de múltiples industrias, es relevante enunciar sus aplicaciones más características:

- Estudio de la textura y consistencia de productos alimenticios: dichas propiedades son muy importantes a la hora de que un producto sea del agrado del consumidor (Morgado, 2002).
- Producción de productos cosméticos y de higiene corporal: la duración de una laca sobre el pelo, la distribución de la pasta de dientes por toda la boca, la forma de cómo se esparce una crema (Morgado, 2002).
- Producción de medicamentos: se estudia su estabilidad química, su tiempo de caducidad y su facilidad de extrusión, entre otras. (Morgado, 2002)

1.7. Equipos de reología en la industria

En el campo de la industria, podemos encontrar diversidad de equipos de Reología como el Creep Test y el Penetrómetro cónico, que sirven para realizar análisis en diferentes campos de la industria como la cementera, alimentaria, etc.

1.7.1. Creep test Industrial

El Creep test industrial (ver figura 1.9), nos permite determinar experimentalmente el límite de fluencia de materiales plásticos y la relación de la deformación por fluencia con el tiempo y la temperatura (Edibon, 2014).



Figura. 1.9. Creep test industrial

Fuente. (Edibon,2014)

1.7.1.1. Descripción general

“El equipo está montado sobre una estructura de perfiles de aluminio, sobre la que apoya un panel de acero pintado. El equipo de ensayo de fluencia está diseñado para realizar experimentos sobre probetas de materiales plásticos. Dada la dependencia que tiene la temperatura en este tipo de pruebas, los experimentos se realizan en el interior de una caja acondicionadora de temperatura, fabricada en metacrilato, que permite observar el desarrollo de los experimentos.” (Edibon, 2014).

La caja acondicionadora está dividida en dos secciones. En la primera de ellas está el emplazamiento para una bolsa isotérmica que, mediante su calentamiento o su enfriamiento, permite controlar la temperatura de los experimentos. La otra zona es para el emplazamiento de las probetas. En el interior se dispone además de un termómetro de alcohol para medir en todo momento, la temperatura de trabajo. Para realizar un ensayo de fluencia se tiene que aplicar una carga constante de tracción sobre la probeta. El equipo dispone de un brazo de carga sobre el que se cuelga un gancho de pesas en un extremo. (Edibon, 2014).

Esta palanca multiplica la carga aplicada sobre la probeta. El estudiante podrá aplicar cargas mediante la adición de las pesas suministradas. La reacción será la fuerza aplicada sobre la probeta. El equipo dispone de un reloj comparador para la medida de la elongación de la probeta de manera continua. El reloj mide la caída del brazo respecto a la horizontal y por una simple relación trigonométrica se obtiene la elongación de la probeta” (Edibon, 2014).

1.7.1.2. Especificaciones

- Equipo de sobremesa.
- Estructura de aluminio anodizado y panel en acero pintado.
- Principales elementos metálicos en acero inoxidable.
- Caja acondicionadora de temperatura, fabricada en metacrilato.
En ella se crean las condiciones adecuadas de temperatura para realizar el ensayo. En su interior se sitúa la probeta para su ensayo. Para alcanzar la temperatura se utiliza una bolsa isotérmica. Para conocer las condiciones en las que se realiza el ensayo se dispone de un termómetro en la parte superior del habitáculo (Edibon, 2014).
- Brazo de carga, que es una viga de acero inoxidable, sobre la que se aplican las cargas a la probeta. Pivota en un eje insertado en la columna 2 de soporte. Tensión aplicada en probeta, rango: 0-35 N/mm.
- Tornillo para soportar el brazo de carga antes de comenzar el experimento.
- Mordazas. Se encuentran en el interior del habitáculo para sujetar las probetas.
- Llave Allen para el ajuste del reloj comparador.
- Reloj comparador de 10 mm de medida. Con él se mide la elongación de la probeta a la que se está sometiendo a las condiciones de carga y temperatura concretas.
- Probetas de ensayo, tipo plana, fabricada de diferentes materiales plásticos. Tienen una sección reducida de 5mm x 2 mm para facilitar los ensayos. Están fabricadas en PVC y Polipropileno (Edibon, 2014).
- Conjunto de pesas y gancho, compuesto por:
Gancho de 500 gr.
1 Pesa de 1000 gr; 2 Pesas de 500 gr; 2 Pesas de 200 gr; 1 Pesa de 100 gr.

1.7.1.3. Aplicaciones del Creep Test

- Analizar y determinar experimentalmente el comportamiento y el límite de fluencia de diferentes materiales plásticos.
- Determinar el efecto de la temperatura en el comportamiento a fluencia de un material plástico.
- Relación de la deformación por fluencia en función del tiempo. (Edibon, 2014).

1.7.2. Penetrómetro de cono Industrial

Son los instrumentos más antiguos diseñados para medir una característica mecánica relacionada con la firmeza, dureza o rigidez de un producto. En concreto, miden la resistencia que opone un alimento a que una pieza determinada penetre en él en la figura 1.10, se muestra un penetrómetro utilizado en la industria (Equipment, 2016).



Figura. 1.10. Penetrómetro de cono industrial

Fuente. (Equipment, 2016)

1.7.2.1. Especificaciones

- Permite lectura en todo el rango entre 0 a 62.0mm con subdivisiones de 1/10mm para un rango en escala de penetración de 0-620.

- Permite instalar conos o agujas según sea el método para grasas lubricantes, asfaltos, ceras de petróleo o petrolatos.
- Permite un ajuste preciso de la posición de la punta, de la aguja o cono en la superficie de la muestra.
- Su base firme y robusta permite un excelente soporte de la aguja o cono y las patas niveladoras junto con el nivel incorporado, permiten lograr siempre el nivel correcto en cada medición.
- Se suministra con los pesos de 50 y 100 gramos así como el vástago estándar de 47.5g (Equipment, 2016),

1.7.2.2. Aplicaciones del Penetrómetro

- Determinar de forma experimental la dureza de alimentos como el queso
- Diseñado para pruebas de penetración en productos derivados del petróleo o para pruebas de consistencia en un amplio rango de productos como alimentos, cosméticos, pastas y otros productos sólidos o semisólidos.
- Su construcción robusta y precisa asegura cumplimiento de especificaciones y una larga vida de uso para aplicaciones en laboratorio o en campo.

CAPITULO II

DISEÑO DE HARDWARE MECÁNICO

2.1. Introducción

En este capítulo se procede a describir y realizar, la construcción del nuevo prototipo del hardware del Creep Test, y en el caso del Penetrómetro, a realizar un mejoramiento en su estructura, para ello ha sido necesario construir cada pieza en hierro y acero, utilizando procesos como: torno, suelda eléctrica y fresado de piezas. De esta forma obtener un nuevo prototipo, que brinde comodidad al momento de realizar la adquisición de las señales.

2.2. Creep Test

El antiguo prototipo del Creep test (figura 2.1), era muy inestable y no tenía buena apariencia, debido a que fue construido con piezas de laboratorio. Al realizar la adquisición de las señales, presentaba mucha incomodidad para el usuario, debido a que las piezas estaban montadas sobre una estructura de hierro que era inestable en su posición; para realizar las mediciones se debía tener cuidado de no mover la estructura, pues esto podía generar errores.

Cuando las muestras variaban en su dimensión, se debía mover el soporte donde estaba ubicado el sensor, además del soporte que sostenía la polea en la cual se colocaba el peso que mueve el eje; al hacer esto se tenía que calibrar de tal manera que las piezas quedaran bien alineadas, generando pérdida de tiempo y con la probabilidad de que si no quedaban bien alineadas las piezas, se produzcan errores en la adquisición de las señales (ver figura 2.2). Por tal razón se necesitaba un nuevo prototipo que permita obtener mejores resultados.



Fig. 2.1. Estructura Antigua de Creep Test

Fuente. Autor

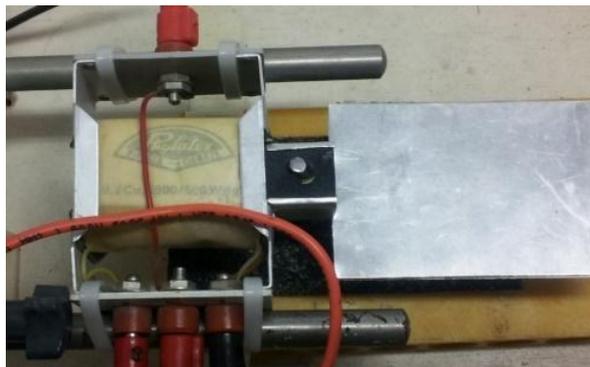


Fig. 2.2. Estructura Antigua de Creep Test (vista superior)

Fuente. Autor

Para obtener mejores resultados se ha procedido a construir un nuevo prototipo del Creep test, el mismo que ofrece mayor comodidad al momento de adquirir las señales, lo que facilita la obtención de mejores resultados (ver figura 2.3).

Como se puede observar en la figura 2.3, el nuevo prototipo del Creep test, se lo puede ubicar en cualquier lugar donde se lo requiera, únicamente se lo debe asegurar para evitar cualquier movimiento innecesario.

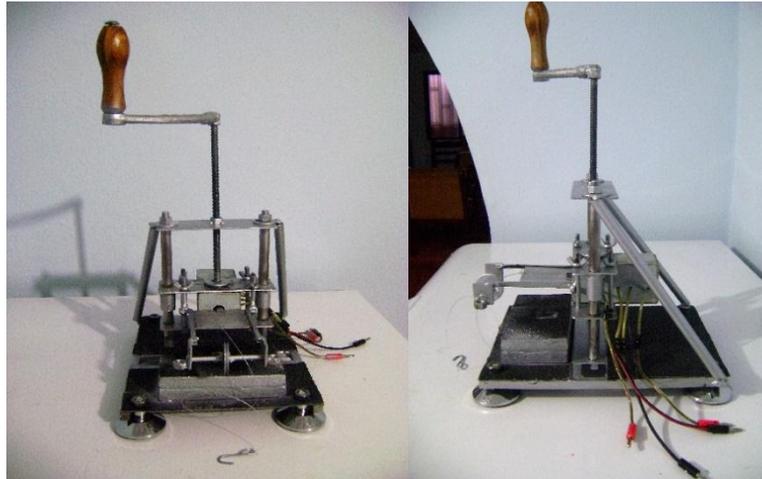


Fig.2.3. Estructura Nueva de Creep Test Vista (frontal y lateral)

Fuente. Autor

2.2.1. Descripción de la estructura mecánica

En la figura 2.4, se indica cada una de las piezas que componen el Creep test.

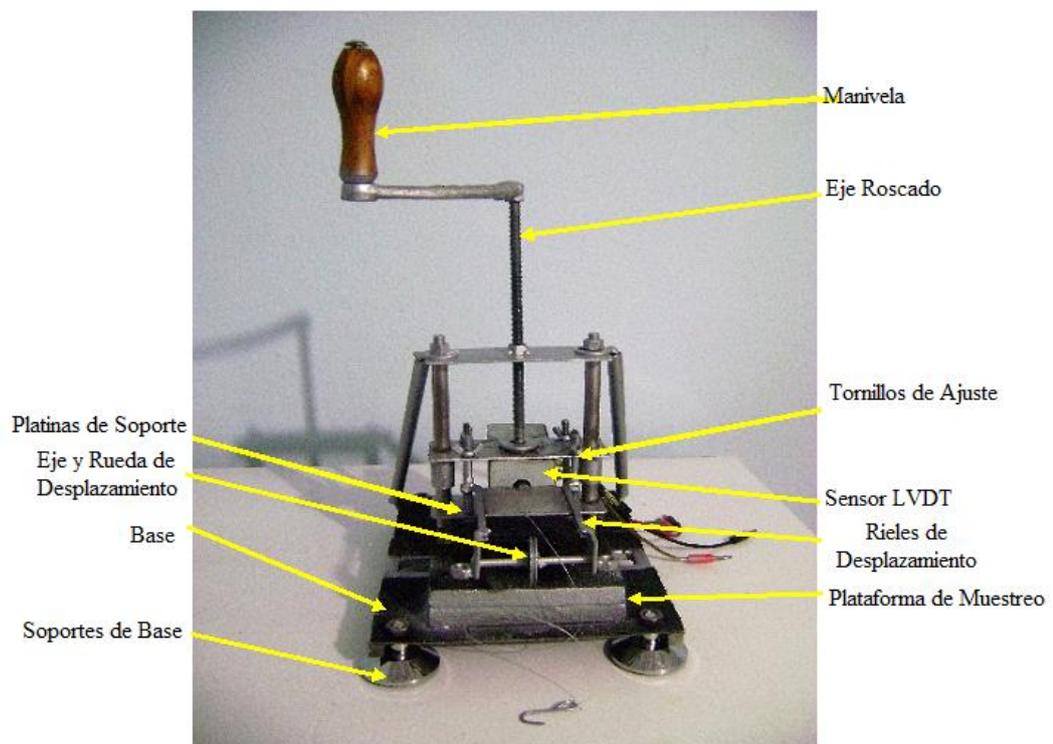


Fig.2.4. Descripción de la estructura mecánica del Creep test

Fuente. Autor

La base es una estructura de hierro cuadrado, que posee cuatro soportes que brindan estabilidad al equipo; dos ejes de hierro están ubicados de forma perpendicular a la base, donde van montadas cuatro platinas, en las que va asentado el sensor LVDT.

Para mover el sensor de arriba hacia abajo, sin tener que desmontar ninguna pieza, se ha colocado en medio de los dos ejes, un eje roscado con una manivela, que al girar, permite que el sensor se mueva con facilidad. De esta forma se puede ubicarlo de acuerdo a las necesidades requeridas o de acuerdo a las dimensiones de las muestras que se vayan a analizar.

En la segunda platina, van unidos cuatro tornillos por medio de suelda eléctrica, que permiten ubicar de forma correcta el sensor LVDT y se ajustan por medio de cuatro tuercas tipo mariposa.

En la parte frontal, van unidos dos rieles de hierro, que sirven para que se deslice el eje dentro del sensor, el mismo que va unido a una placa de aluminio donde se realizan los muestreos; a los dos rieles va unido un eje que tiene en la mitad una rueda, que permite que el nylon que sujeta el peso se deslice con facilidad.

En la parte interior de la placa de aluminio, va pegada una lámina de lija, la misma que sirve para que haya fricción con la muestra que se va a analizar. En la base del equipo se ha colocado una pequeña plataforma, que lleva pegada una lámina de lija que no permite que la muestra resbale de su posición.

2.2.2. Descripción de las piezas mecánicas

La base es una estructura de hierro cuadrado (ver figura 2.5), aquí es donde va asentada toda la estructura del equipo cuyas dimensiones son las siguientes (tabla 2.1):

Tabla. 2.1. Dimensiones de la base del Creep test

Dimensiones		
Longitud de la base	28,5	cm
Ancho de la base	22,5	cm
Espesor	1	cm

Fuente. Autor

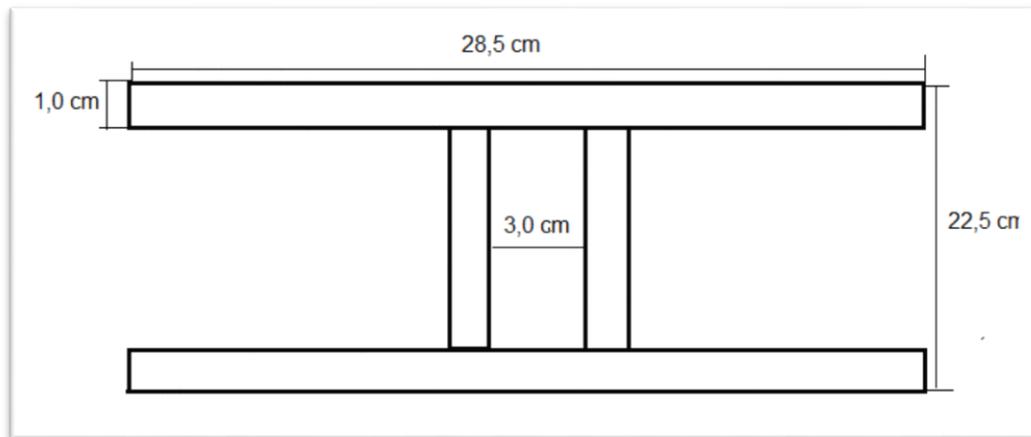


Figura. 2.5. Base del Creep Test

Fuente. Autor

En la base van colocados cuatro soportes (ver figura 2.6), que brindan mayor estabilidad al equipo evitando también que se resbale ya que tiene un recubrimiento de caucho en sus bases, las dimensiones de los soportes se muestran en la tabla 2.2:

Tabla. 2.2. Dimensiones de los soportes de la base del Creep test

Dimensiones		
Díámetro	5,8	cm
Altura	2,2	cm

Fuente. Autor

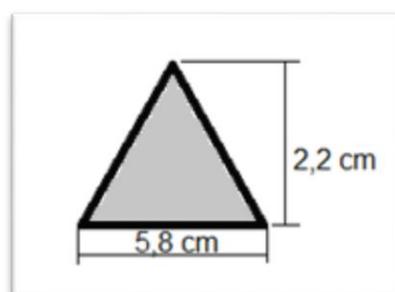


Figura. 2.6. Soportes de la base del Creep Test

Fuente. Autor

Una vez que se han colocado los soportes en la base (ver figura 2.7), las dimensiones se muestran en la tabla 2.3:

Tabla. 2.3. Dimensiones de los soportes c la base del Creep test

Dimensiones		
Altura del soporte	2,2	cm
Altura total de la base	3,2	cm

Fuente. Autor



Figura. 2.7. Altura total de la base del Creep Test

Fuente. Autor

Se han colocado de forma perpendicular a la base, dos ejes de hierro con rosca en sus extremos (figura 2.8), para poder sostener todo el peso de la estructura, además de sujetarse a la base por medio de tuercas, las dimensiones se muestran en la tabla 2.4:

Tabla. 2.4. Dimensiones de los ejes del Creep test

Dimensiones		
Longitud de los ejes	23,5	cm
Longitud de la rosca	2	cm
Diámetro	1	cm

Fuente. Autor

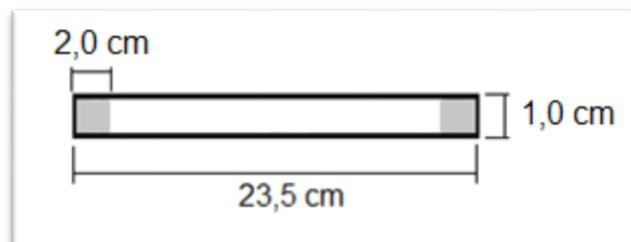


Figura. 2.8. Eje perpendicular del Creep Test

Fuente. Autor

Las platinas cumplen la función de sostener al sensor LVDT y a su vez desplazarse hacia arriba o hacia abajo por los ejes (figura 2.9), esto lo pueden realizar debido a que están perforadas a la medida de los ejes, las dimensiones se muestran en la tabla 2.5:

Tabla. 2.5. Dimensiones de las platinas del Creep test

Dimensiones		
Longitud	14,5	cm
Ancho	5,3	cm

Fuente. Autor

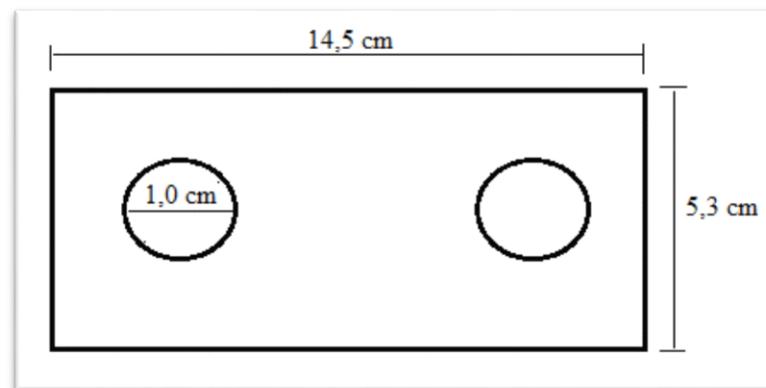


Figura. 2.9. Platinas perforadas

Fuente. Autor

El eje roscado cumple la función de transportar al sensor hacia arriba o hacia abajo, para ello se utiliza la manivela que al darle vueltas realiza este proceso de una forma muy facil y precisa (figura 2.10), las dimensiones se muestran en la tabla 2.6:

Tabla. 2.6. Dimensiones del eje roscado y la manivela del Creep test

Dimensiones		
Longitud del eje roscado	23,5	cm
Longitud de la manivela	14	cm
Longitud del mango	10	cm
Diámetro	1	cm

Fuente. Autor



Figura. 2.10. Eje roscado y Manivela

Fuente. Autor

Los rieles cumplen la función de desplazar la placa y el eje que va introducido en el sensor LVDT, hacia adelante o hacia atrás (figura 2.11), las dimensiones se muestran en la tabla 2.7:

Tabla. 2.7. Dimensiones de los rieles del Creep test

Dimensiones		
Longitud	11	cm
Ancho	0,5	cm

Fuente. Autor

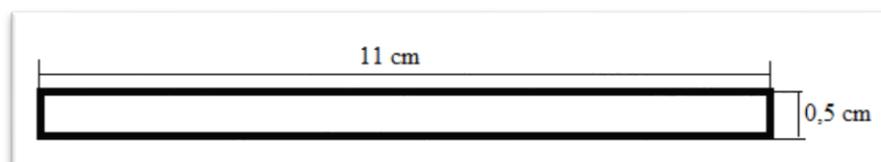


Figura. 2.11. Rieles de desplazamiento

Fuente. Autor

El eje y la rueda de la figura 2.12, cumplen la función de desplazar el peso que va sostenido a la placa que se desliza por los rieles, las dimensiones se muestran en la tabla 2.8:

Tabla. 2.8. Dimensiones del eje y la rueda del Creep test

Dimensiones		
Longitud del eje	7,5	cm
Díámetro de la rueda	3,6	cm
Ancho	0,3	cm

Fuente. Autor

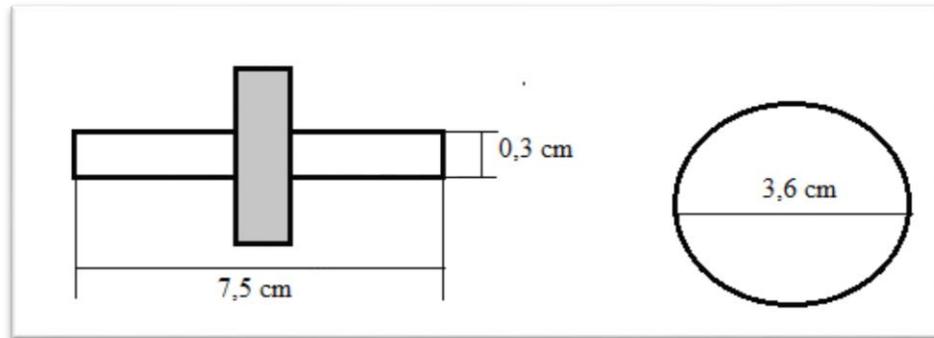


Figura. 2.12. Eje y Rueda de desplazamiento

Fuente. Autor

La plataforma de la figura 2.13, permite colocar las muestras de una forma más eficiente sin tener que estar colocando ningún otro soporte extra, además impide que la muestra resbale debido a la fricción que se genere en el momento del analisis, las dimensiones se muestran en la tabla 2.9:

Tabla. 2.9. Dimensiones de la plataforma del Creep test

Dimensiones		
Longitud	14,5	cm
Ancho	8	cm
Altura	3,3	cm

Fuente. Autor

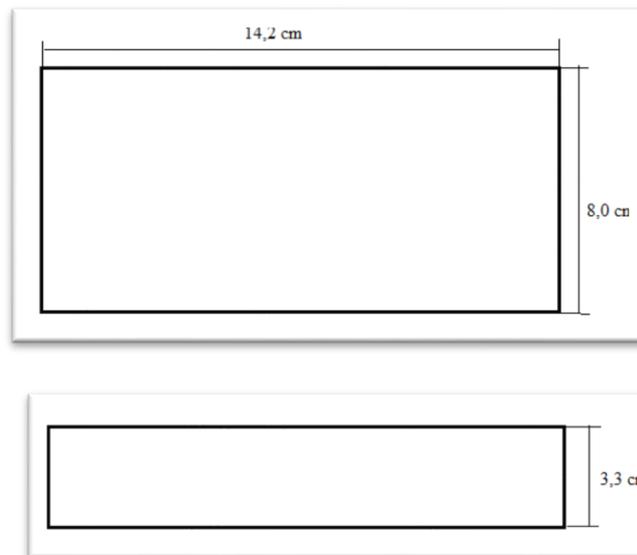


Figura. 2.13. Plataforma de muestreo

Fuente. Autor

Las dimensiones de las piezas de la estructura mecánica completa y las vistas lateral, frontal, posterior y superior, se muestran en los ANEXOS 1, 2, 3, 4.

2.3. Penetrómetro

El prototipo del penetrómetro que existe en el laboratorio de la Universidad del Azuay (ver figura 2.14), presentaba la dificultad de que las piezas que sostienen el sensor estaban separadas, lo que ocasionaba que si no se tenía cuidado, se podían mover en el momento de realizar los análisis o también se podían extraviar las piezas.



Fig. 2.14. Estructura Antigua Penetrómetro (Vista Frontal y lateral)

Fuente. Autor

Por tal razón se requiere una readecuación de la estructura, para evitar cualquier inconveniente en el momento de realizar las mediciones o al trasladar el equipo de un lugar a otro.

No se ha cambiado la estructura en su totalidad, porque el equipo está en buenas condiciones, por ello se procedió a colocar las piezas que estaban sueltas en la misma estructura, y de esta forma se ha logrado evitar todos los inconvenientes mencionados anteriormente.

2.3.1. Descripción de la estructura mecánica

En la figura 2.15, se indica cada una de las piezas que componen el penetrómetro.

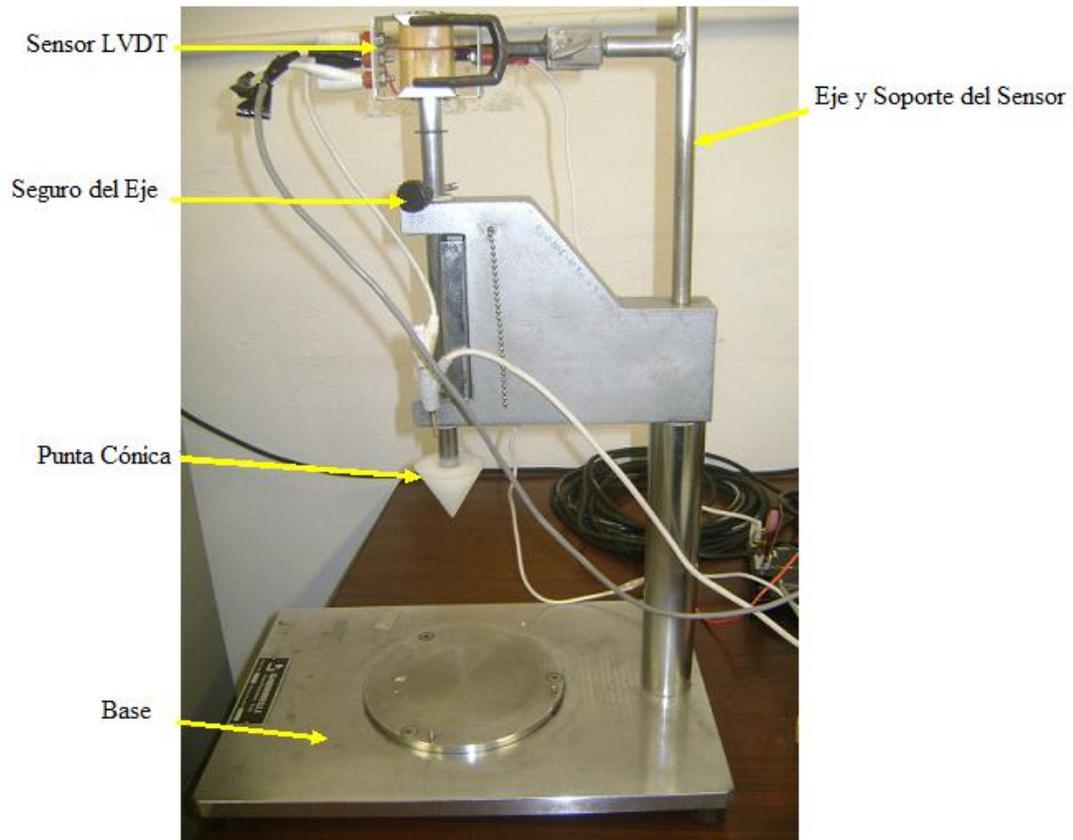


Fig. 2.15. Descripción de la estructura del Penetrómetro

Fuente. Autor

Se procedió a fijar el soporte que sostiene al sensor, a un eje de una longitud determinada (ver figura 2.16), por medio de suelda eléctrica. Una vez realizado esto, se procede a perforar la estructura 2 cm y se introduce la pieza a presión, de esta forma no existe la posibilidad de que se mueva ninguna pieza, al momento de realizar mediciones o trasladar el equipo de un lugar a otro; además al fijar el brazo que sostiene al sensor a la estructura del equipo (ver figura 2.17), no se va a necesitar tanto espacio, ya que al unificar las piezas a la misma estructura, se obtiene un equipo más compacto y seguro.

Además se ha construido una punta nueva, de un material plástico especial a un ángulo de 60 grados, esta punta no es tan pesada como la de cobre, por lo que al utilizarla con muestras suaves no las destruye al penetrarlas (ver figura 2.18).

2.3.2. Descripción de las piezas mecánicas

Las dimensiones de cada una de las piezas se las puede observar en la tabla 2.10.

Tabla. 2.10. Dimensiones de la estructura del penetrómetro

Dimensiones		
Longitud del eje	20	cm
Espesor del eje	1,5	cm
Longitud del brazo	4,5	cm
Altura del cono	5	cm
Diámetro del cono	5	cm
Angulo del cono	60	grados

Fuente. Autor

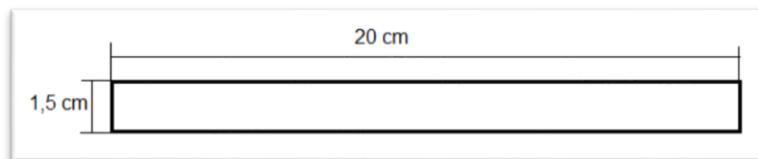


Fig. 2.16. Eje del penetrómetro

Fuente. Autor

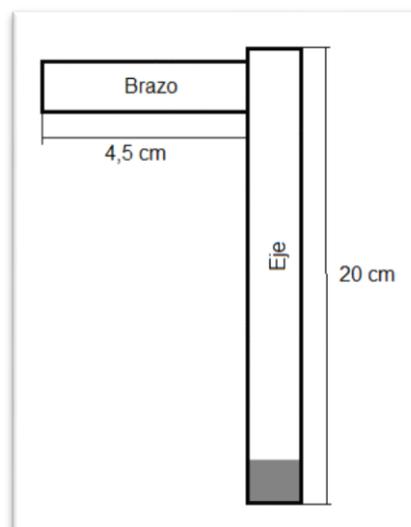


Fig. 2.17. Eje y brazo del Penetrómetro

Fuente. Autor

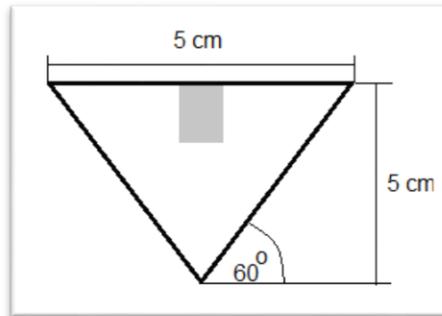


Fig. 2.18. Punta cónica del Penetrómetro

Fuente. Autor

En la figura 2.19, se puede observar la estructura del penetrómetro terminada completamente, la misma que ofrece todas las comodidades para que el usuario pueda realizar los análisis sin ningún inconveniente.



Fig. 2.19. Estructura Nueva del Penetrómetro (Vista Frontal y lateral)

Fuente. Autor

Las dimensiones de la estructura mecánica y sus vistas: lateral, frontal y superior, se muestran en los ANEXOS: 5, 6, 7.

CAPITULO III

DISEÑO DEL HARDWARE ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO

3.1. Introducción

En este capítulo, se describen los distintos dispositivos eléctricos y electrónicos, que se requieren para realizar la adquisición de las señales con el Creep Test y el penetrómetro, por lo tanto es importante su conocimiento ya que de esto depende el correcto funcionamiento de ambos equipos.

Además también en este capítulo, se describen los procedimientos que se realizaron para la construcción de: el circuito de protección del sistema, la fuente de alimentación, el sensor LVDT (Transformador Diferencial de Desplazamiento Lineal); además de los filtros utilizados para reducir los ruidos existentes en la señal adquirida y una descripción de la tarjeta de adquisición de señales DAQ USB-6008, en el siguiente capítulo se describirá el proceso de análisis, adquisición y procesamiento de las señales en la pc, por medio del software LabView, como se muestra en el diagrama de bloques de la figura 3.1.



Fig. 3.1 Diagrama de bloques del hardware eléctrico - electrónico

Fuente: autor

3.2. Protección del sistema

En análisis realizados se pudo comprobar, que los equipos eléctricos y electrónicos sufren daños graves, debido a sobrecargas de tensión ya sea por una subida o caída de tensión en la red eléctrica, por lo que se necesita dispositivos que protejan los equipos de estos daños.

3.2.1. Varistor

“El VDR es una resistencia dependiente de la tensión, ya que varía su resistencia de acuerdo a la tensión aplicada entre sus extremos. La propiedad que caracteriza a esta resistencia, consiste en que cuando aumenta la tensión aplicada entre sus extremos, esta rápidamente disminuye su valor óhmico. Frente a picos altos de tensión se comporta casi como un cortocircuito” (Electrónica, 2015).



Figura. 3.2. Varistor

Fuente. (Electrónica, 2015)

3.2.1.1. Curva de comportamiento del varistor

La curva característica de Voltaje-Corriente, es la forma fundamental de mostrar cómo cambia la resistencia, a manera de una función del Voltaje, como se muestra en la figura 3.3.

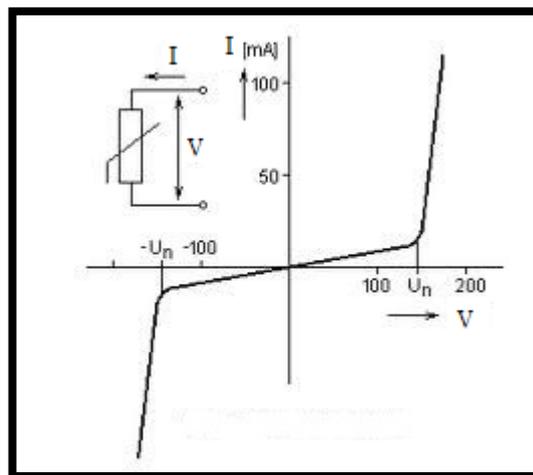


Figura. 3.3. Gráfica tensión/corriente (V/I)

Fuente. (Electrónica, 2015)

3.2.1.2. Aplicaciones del varistor

- Generalmente, los VDR son usados como estabilizadores de tensión, como supresores de picos de tensión en redes eléctricas, en telefonía, en redes de comunicación (Electrónica, 2015).
- El varistor (VDR) sólo suprime picos transitorios; si lo sometemos a una tensión elevada constante, se quema. (Electrónica, 2015)
- Los VDR en electrónica, son utilizados para proteger los componentes más sensibles de los circuitos, contra variaciones bruscas de voltaje o picos de corriente, que pueden ser originados, por relámpagos, interferencia electromagnética, conmutaciones y ruido eléctrico (Electrónica, 2015).

3.2.1.3. Características:

- Alto grado de aislamiento.
- Rango amplio de voltajes, desde 15 V a 600 V.
- Gran capacidad de absorción de energía respecto a las dimensiones del componente.
- Bajo consumo de corriente en reposo.
- Absorción del transitorio en el instante que ocurre con un tiempo de respuesta de menos de 20 ns.
- Valores bajos de capacidad, lo que lo hace apropiado al varistor para la protección de circuitos en conmutación digital.
- El costo del dispositivo es bajo, comparado con otros (como los diodos supresores de avalancha de silicio) (Electrónica, 2015).

3.2.1.4. Protección para fuentes de alimentación

En una fuente de alimentación, se utiliza un VDR al ingreso de la fuente (figura 3.4), a la salida o en ambas partes (figura 3.5). En la figura 3.5, hay dos varistores, pero normalmente se utiliza un varistor que se encuentra ubicado sobre el primario del transformador, pero en casos extremos puede ser necesario colocar uno también en el secundario de dicho transformador (Posada, s.a)

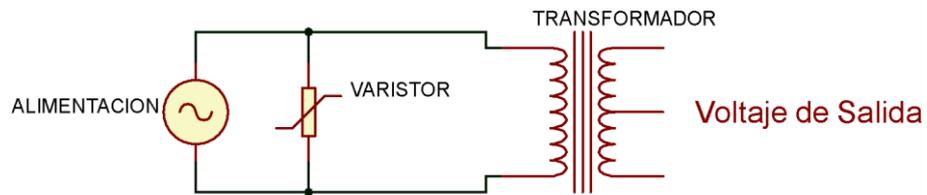


Figura. 3.4. Varistor aplicado a una fuente de alimentación

Fuente. Autor

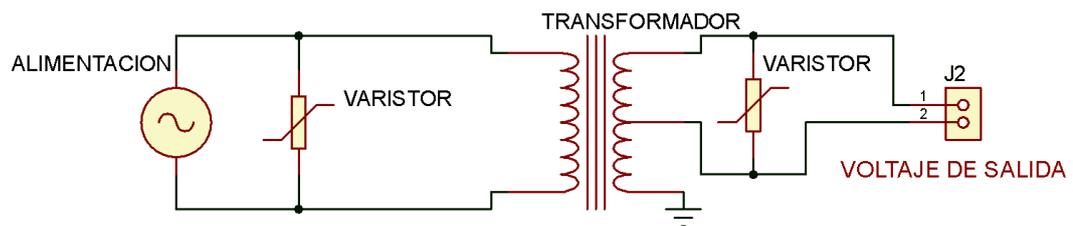


Figura. 3.5. Varistor aplicado en dos partes

Fuente. Autor

3.3. Construcción del hardware de protección del sistema

El laboratorio de alimentos de la Universidad del Azuay, posee equipos que consumen grandes cantidades de energía, que en el momento de estar funcionando, pueden dañar otros equipos debido a la variación de voltaje que generan. En nuestro caso no es la excepción, por lo tanto se necesita utilizar una protección para todos los equipos de este proyecto como:

- Transformador
- Sensor LVDT
- Tarjeta de Adquisición DAQ
- PC

Por esta razón, se requiere utilizar un circuito de protección, que contenga componentes que brinden una protección eficiente a los equipos, como son un Varistor y un fusible de corriente, estos componentes son muy económicos y fáciles de encontrar en el mercado, en caso de ser necesario reemplazarlos. Por su capacidad brindan muy buena protección, ya que si el voltaje supera las características del varistor este se cortocircuita, impidiendo que la corriente pase a través del resto de componentes, evitando que los equipos sufran algún daño. Para conectar el varistor, se coloca en paralelo al circuito que se va a proteger, como se indica en la figura 3.6.

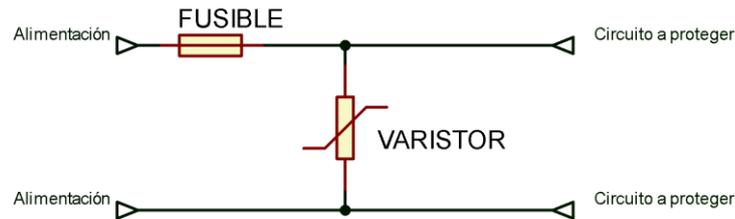


Figura. 3.6. Conexión del Varistor y fusible de protección

Fuente. Autor

Para una óptima protección de los equipos se ha escogido los siguientes componentes:

- 1 Varistor de 250 Voltios, debido a que no es fácil conseguir un VDR de 120V en nuestro mercado, en caso de ser necesario reemplazarlo, además el voltaje que ingresa desde la red eléctrica es de 127 VAC, y en caso de haber una sobrecarga de tensión, siempre que no sobre pase el voltaje de protección del varistor (250V), los equipos están completamente protegidos.
- 1 Fusible de corriente de 2 Amperios, para lo cual se realizó mediciones en la salida de la fuente de alimentación, por lo tanto el consumo de corriente que generan los equipos es de, 0.5 A sin carga y 1.5 A con carga.

En la figura 3.7, se describe el circuito de protección de la fuente de alimentación del Creep Test y el Penetrómetro.

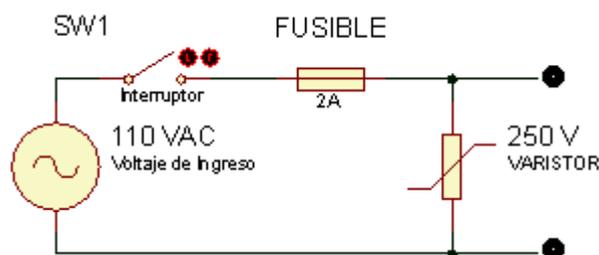


Figura 3.7. Esquema de protección del sistema

Fuente. Autor

En la figura 3.8, se muestra el diseño del PCB del circuito de protección y en la figura 3.9 se muestra la tarjeta física con los componentes respectivos colocados sobre ella.

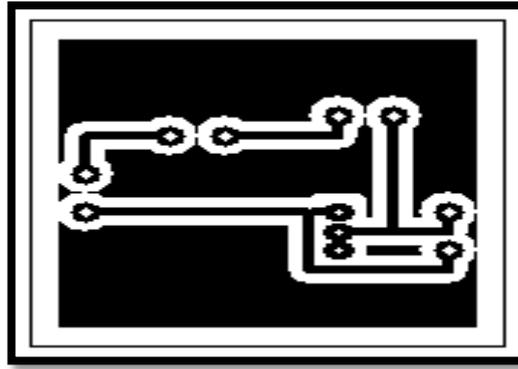


Figura. 3.8. PCB del circuito de protección

Fuente. Autor

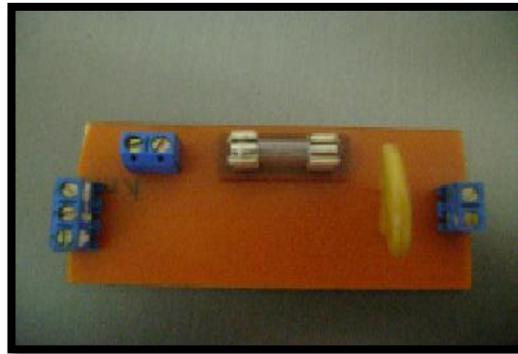


Figura. 3.9. Tarjeta física del circuito de Protección

Fuente. Autor

3.4. Transformador

Para alimentar el sensor LVDT, se necesita utilizar un transformador cuyo ingreso es de 117 VAC y cuya salida es de 8VAC (figura 3.10), se requiere utilizar este tipo de transformador, debido a que el voltaje que se necesita para alimentar el sensor, es relativamente bajo, y este transformador tiene buenas características como se indica a continuación.

- Datos de fábrica del Transformador:

$$P = 16 \text{ W}$$

$$I = 2 \text{ A}$$

$$V_{\text{ing}} = 117 \text{ VAC}$$

$$V_{\text{salida}} = 8 \text{ VAC}$$

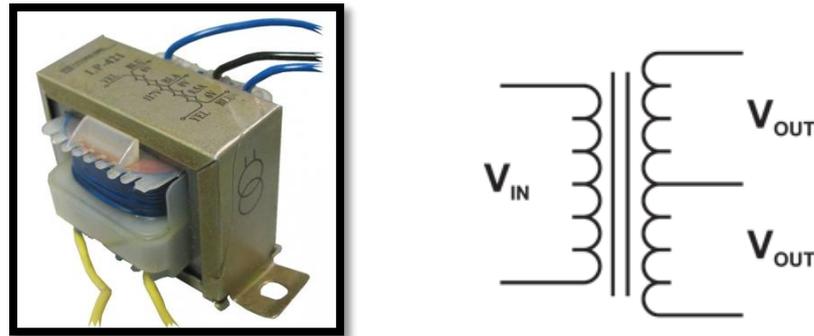


Fig. 3.10. Transformador de entrada 117 VAC y salida de 8 VAC
Fuente. Autor

3.5. Construcción de la fuente de alimentación

Se procede a conectar el transformador al circuito de protección, el que se encargará de proteger todo el equipo contra posibles descargas eléctricas, de esta forma la alimentación de los equipos (Creep Test y Penetrómetro), es independiente y segura como se muestra en la figura 3.11.

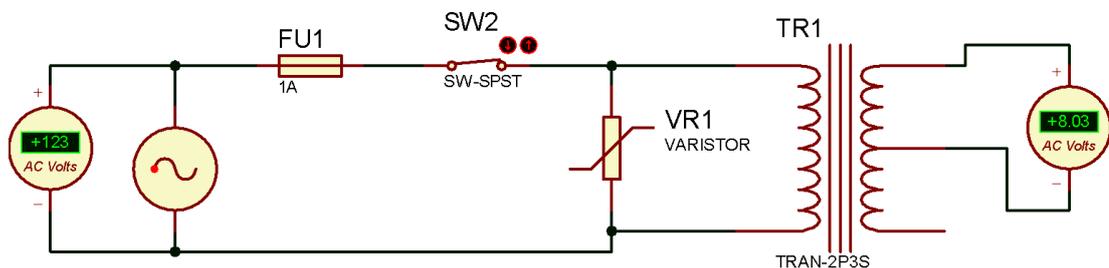


Fig. 3.11. Esquema de la fuente de alimentación del sistema
Fuente. Autor

En la figura 3.12, se muestra las partes de la fuente de alimentación de los equipos como son: la tarjeta de protección y el transformador, en la figura 3.13 se muestra la fuente de alimentación terminada.

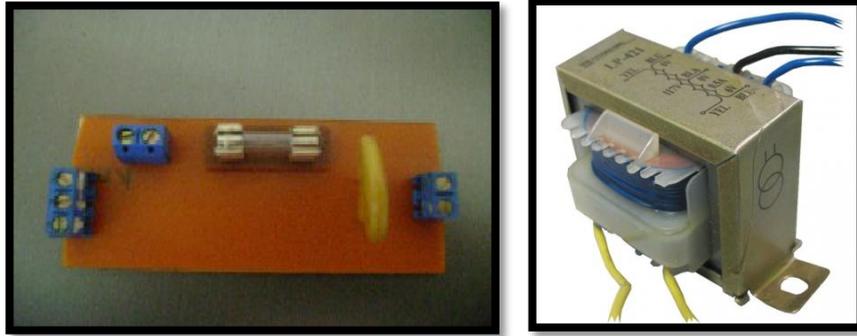


Fig. 3.12. Partes de la fuente de alimentación

Fuente. Autor

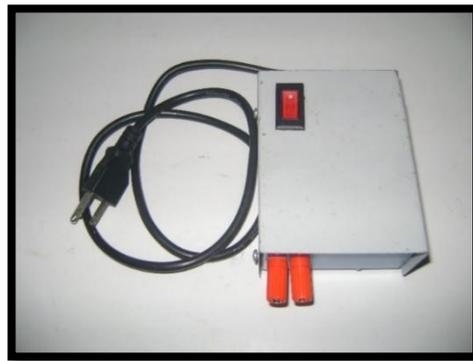


Fig. 3.13. Fuente de alimentación terminada

Fuente. Autor

3.6. Sensores

Son dispositivos que están diseñados para recibir información de una magnitud exterior y transformarla en otra magnitud normalmente eléctrica, la misma que se pueda cuantificar y manipular. Además permiten medir y detectar acciones o estímulos externos generando una respuesta inmediata, una vez que el objeto que se requiere detectar o medir cae dentro del rango de operación en el que trabaja. (Fernandez, 2005).

3.7. Transformador Diferencial de Desplazamiento Lineal (LVDT)

El Transformador Diferencial de Variación lineal (LVDT), es un tipo de transformador eléctrico utilizado para medir desplazamientos lineales. Posee tres bobinas solenoidales ubicadas extremo con extremo alrededor de un tubo, la bobina central es el devanado primario y las externas son los devanados secundarios, las cuales están en contrafase con el primario como se muestra en la figura 3.14 (Marcombo, s.a).

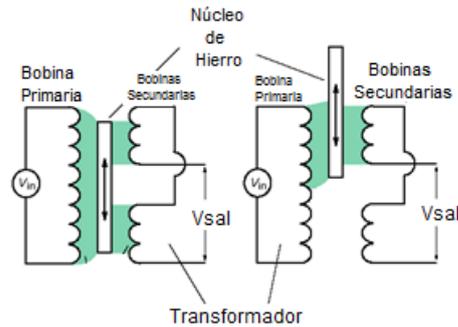


Figura. 3.14. Transformador de Desplazamiento Lineal (LVDT)

Fuente. Autor

3.7.1. Estructura interna

Las bobinas secundarias están conectadas en serie pero con su fase invertida, con lo cual las corrientes inducidas en la bobina se oponen entre sí, dando lugar a que el voltaje de salida sea la diferencia entre los dos voltajes secundarios (figura 3.15).

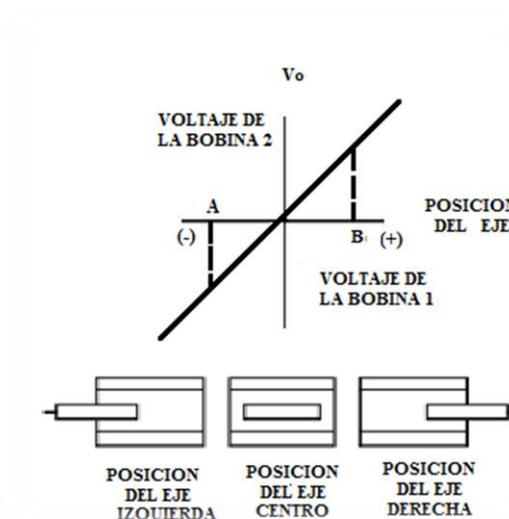


Figura. 3.15. Posiciones del núcleo ferromagnético

Fuente. Autor

Cuando el eje está en su posición central, se encuentra equidistante a los dos secundarios, los voltajes inducidos son iguales pero de signo opuesto, así que el voltaje de salida es 0V. (Marcombo, s.a).

Cuando el eje se desplaza hacia la izquierda, habrá más líneas de flujo magnético en la bobina izquierda que en la bobina derecha, y por lo tanto la fuerza electromotriz (fem) en la bobina izquierda será mayor. (Marcombo, s.a).

La magnitud del voltaje de salida, es igual a la diferencia entre los dos voltajes del secundario y estará en fase con el voltaje de la bobina izquierda, de igual forma cuando el eje se desplaza hacia la derecha, existirán más líneas de flujo en la bobina derecha y la magnitud de voltaje de salida estará ahora en fase con la fem de la bobina derecha. (Marcombo, s.a).

Dichas magnitudes serán iguales y de fase opuesta, mientras que la diferencia entre las dos fems inducidas, sean las mismas y de fase opuesta como se indica en la figura 3.16. Las salidas de los bobinados secundarios se suman, simplemente conectando los bobinados secundarios a un punto común de centro (Marcombo, s.a).

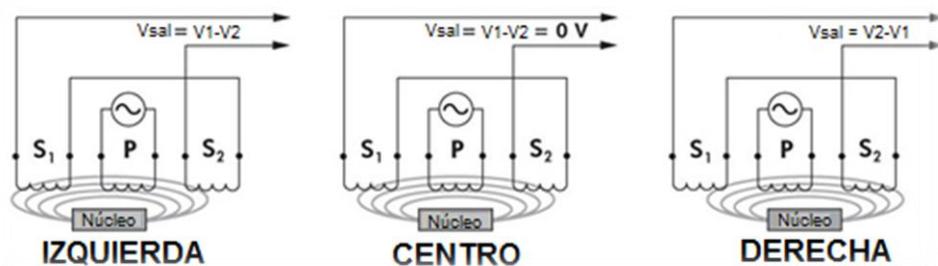


Figura. 3.16. Flujo magnético en las bobinas
Fuente. (Marcombo, sa)

3.7.1.1. Funcionamiento

Como se puede observar en la figura 3.17, a la bobina primaria A, se le inyecta una corriente alterna, y a las dos bobinas que forman el secundario B del transformador se las conecta en serie pero invertidas una con respecto a la otra (Cortés, 2014).

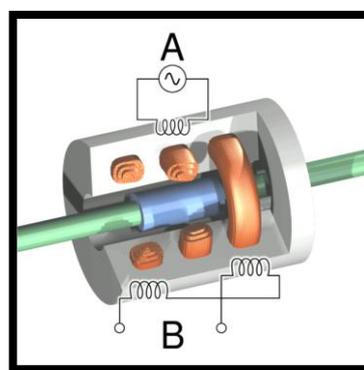


Fig. 3.17. Estructura Interna del Sensor LVDT
Fuente. (Marcombo, sa)

En el bobinado secundario B, que tiene sus salidas invertidas, cada una de las señales en estas bobinas tienen un desfase de 180° una con respecto a la otra, de esta manera se obtiene la diferencia de voltaje entre estas.

Esa diferencia de voltajes es variable, debido al núcleo de material ferro magnético que se desplaza longitudinalmente entre las bobinas, como se muestra en la figura 3.18 (Cortés, 2014).

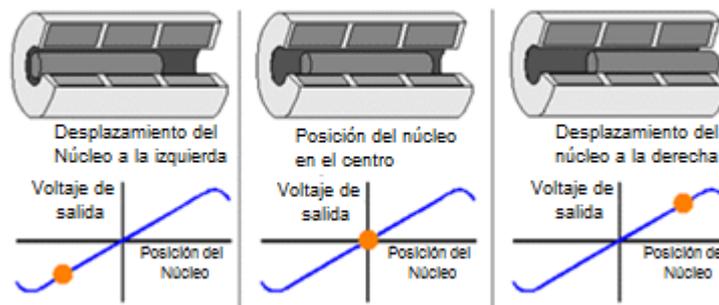


Fig. 3.18. Estructura Interna del Sensor LVDT

Fuente. (Marcombo, sa)

Cuando este núcleo llega a cualquier extremo (derecho o izquierdo), este será el núcleo completo de la bobina central y de la bobina al extremo que le corresponde. (Marcombo, s.a).

Cuando el núcleo está completamente en la mitad, este será el núcleo total de la bobina del medio, y medio núcleo de cada una de las bobinas laterales. (Marcombo, s.a).

Es decir que el núcleo, será el elemento que determina la inducción que hay del devanado primario a cada una de las bobinas secundarias como se indica en la figura 3.19 (Marcombo, s.a).

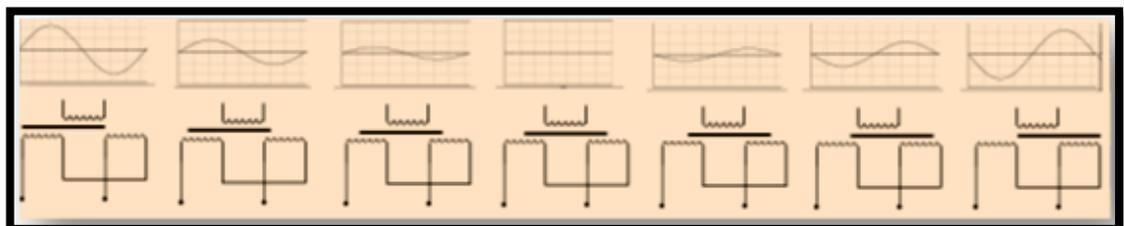


Fig. 3.19. Señales adquiridas de acuerdo al movimiento del núcleo

Fuente. www.uihm.com

La fase del voltaje indica la dirección del desplazamiento. Como en cualquier transformador, el voltaje de la señal inducida en el bobinado secundario es una relación lineal del número de espiras. La relación básica del transformador se muestra en la ecuación 3.1 (Yanez, 2010).

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{N_{out}}{N_{in}} \quad (3.1)$$

Donde:

Vout: Tensión de Salida

Vin: Tensión de entrada

Nout: Número de espiras del bobinado secundario

Nin: Número de espiras del bobinado primario.

Como el núcleo se desplaza, el número de espiras expuestas en el bobinado secundario cambia en forma lineal. Por lo tanto la amplitud de la señal inducida cambiará también linealmente con el desplazamiento. (Joken, 2011).

Debido a que el núcleo deslizante no toca el interior del tubo, puede moverse prácticamente sin fricción, haciendo del LVDT un dispositivo muy fiable. La ausencia de contactos deslizantes o rotatorios permite que el LVDT sea completamente sellado. (Joken, 2011).

El LVDT provee una relación lineal entre el desplazamiento y el voltaje, mientras el núcleo se exponga a todas las espiras del bobinado primario (Joken, 2011).

3.7.2. Características principales.

El LVDT aprovecha el principio de funcionamiento de un transformador, donde el voltaje de salida depende del núcleo ferromagnético móvil en su interior, la respuesta del sensor LVDT depende en gran medida del material del núcleo móvil. Puede medir distancias con gran precisión, dependiendo el número de vueltas en sus bobinas y el circuito acondicionador de la señal de respuesta, sin necesidad de fricción, lo que

ofrece una gran ventaja frente a otros sensores de distancia. Una gran ventaja de los LVDT es que son robustos y resistentes a la suciedad si los comparamos con codificadores ópticos lineales. Es importante que el eje ferromagnético permanezca siempre dentro del bobinado, pues esto evitara que el bobinado se quemara (Marcombo, s.a).

3.8. Construcción del sensor LVDT

Para construir el sensor LVDT, es necesario realizar el arrollamiento para cada uno de los tres bobinados (1 primario y 2 secundarios), para ello se necesita un cilindro con divisiones de preferencia plástico de 1mm de espesor (figura 3.20), para que el eje ferromagnético que va introducido en su interior sea perceptible al campo magnético que se genera.

Se necesita alambre de cobre esmaltado # 22 según la tabla 3.1 AWG, este alambre soporta aproximadamente 1 Amperio, se utiliza este calibre de alambre debido a que el consumo de amperios en estos equipos es muy bajo. Para realizar este proceso primero debemos saber cuál es el área del núcleo vacío donde van los arrollamientos de cobre, por lo tanto tenemos que realizar el cálculo para cada uno de los sensores ya que el diámetro del núcleo varia tanto en el sensor del Creep Test como en el del Penetrómetro, debido a que el eje ferromagnético de cada uno tiene un diámetro diferente.

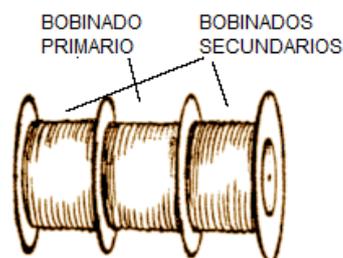


Figura. 3.20. Núcleo vacío con divisiones del sensor LVDT

Fuente. Autor

Tabla 3.1. Calibre y Medidas de Alambres Esmaltados de Cobre

1	2	3	4	5	6	7
20	0.8118	0.52	11.6	4.61	32.69	1.5
21	0.7230	0.41	12.8	3.64	41.46	1.2
22	0.6438	0.33	14.4	2.89	51.5	0.92
23	0.5733	0.26	16.0	2.29	56.4	0.73
24	0.5106	0.20	18.0	1.82	85.0	0.58
25	0.4547	0.16	20.0	1.44	106.2	0.46
26	0.4049	0.13	22.8	1.14	130.7	0.37
27	0.3606	0.10	25.6	0.91	170.0	0.29
28	0.3211	0.08	28.4	0.72	212.5	0.23
29	0.2859	0.064	32.4	0.57	265.6	0.18
30	0.2546	0.051	35.6	0.45	333.3	0.15
31	0.2268	0.040	39.8	0.36	425.0	0.11
32	0.2019	0.032	44.5	0.28	531.2	0.09
33	0.1798	0.0254	50.0	0.23	669.3	0.072
34	0.1601	0.0201	56.0	0.18	845.8	0.057
35	0.1426	0.0159	62.3	0.14	1069.0	0.045
36	0.1270	0.0127	69.0	0.10	1338.0	0.036
37	0.1131	0.0100	78.0	0.089	1700.0	0.028
38	0.1007	0.0079	82.3	0.070	2152.0	0.022
39	0.0897	0.0063	97.5	0.056	2696.0	0.017
40	0.0799	0.0050	111.0	0.044	3400.0	0.014
41	0.0711	0.0040	126.8	0.035	4250.0	0.011
42	0.0633	0.0032	138.9	0.028	5312.0	0.009
43	0.0564	0.0025	156.4	0.022	6800.0	0.007
44	0.0503	0.0020	169.7	0.018	8500.0	0.005

1 - Numero AWG

5 - Kg por kilometro

2 - Diámetro en milímetros

6 - Resistencia en ohmios por kilometro

3 - Sección en milímetros

7 - Capacidad de corriente en amperes

4 - Numero de espiras por centímetro

Fuente. <http://es.scribd.com/doc/57202387/Tabla-de-Alambres-Esmaltados#>

3.8.1. Sensor del Creep Test

Para realizar el cálculo del bobinado del sensor del Creep test, primero se debe encontrar el área del núcleo vacío donde van los arrollamientos de cobre. Como datos se tiene que el núcleo es de 10cm de longitud y el diámetro es de 1.2cm, para realizar este proceso se debe utilizar la siguiente ecuación 3.2.

$$Area = Longitud * Diametro \quad (3.2)$$

Reemplazando los valores tenemos que:

$$Area = 10 \text{ cm} * 1.2 \text{ cm} = 12 \text{ cm}^2$$

Una vez obtenida el área del núcleo, se procede a realizar el cálculo del bobinado primario, para lo cual con el valor obtenido del área del núcleo se tiene que dividir por la constante 42 que es un valor establecido para este tipo de cálculos, de la siguiente forma:

$$\frac{42}{12} = 3.5 \text{ Vueltas por cada voltio}$$

Este resultado se debe multiplicar por el voltaje de ingreso que es el que va a ingresar en el bobinado primario.

$$3.5 * 127V = 444.5 = 445 \text{ Espiras de bobinado para el primario}$$

Para realizar el cálculo de espiras del secundario se debe multiplicar las espiras del primario por el número de bobinados secundarios, en este caso son dos como se indica a continuación:

$$445 * 2 = 890 \text{ Espiras en cada uno de los bobinados secundarios}$$

Se debe tener en cuenta que en este tipo de sensores el bobinado secundario siempre va a ser mayor que el bobinado primario.

Una vez terminado de realizar los bobinados, el sensor LVDT queda terminado como se muestra en la figura 3.21.



Figura. 3.21. Sensor LVDT

Fuente. Autor

Ahora se procede a colocar al sensor LVDT, dentro de una carcasa para protegerlo de cualquier daño externo, al que pueda verse sometido, como se puede ver en la figura 3.22 y 3.23.

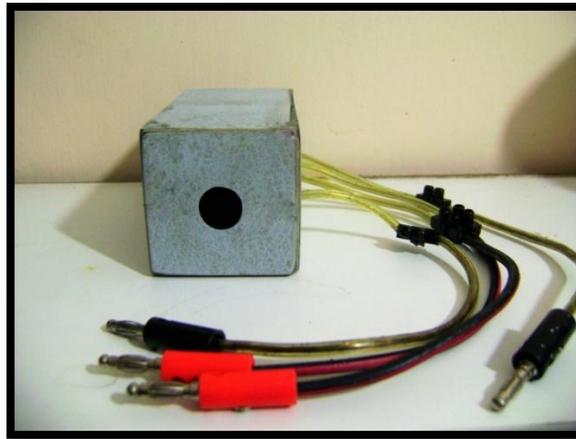


Figura. 3.22. Sensor LVDT del Creep test (Vista frontal)

Fuente. Autor



Figura. 3.23. Sensor LVDT del Creep test (Vista lateral)

Fuente. Autor

3.8.2. Sensor del Penetrómetro

El cálculo y la construcción del sensor del Penetrómetro, es similar al del sensor del Creep Test, con la diferencia de que el núcleo difiere en su diámetro. Como datos tenemos que el núcleo es de 10cm de longitud y su diámetro es de 2cm, se aplica la ecuación 3.2, para realizar el cálculo del bobinado primario de la siguiente manera.

$$Area = 10 \text{ cm} * 2\text{cm} = 20\text{cm}^2$$

Este valor obtenido se tiene que dividir por la constante 42 de la siguiente forma:

$$\frac{42}{20} = 2.1 \text{ Vueltas por cada Voltio}$$

El número de vueltas las multiplicamos por el voltaje de ingreso.

$$2.1 * 127 = 266.7 = 267 \text{ Espiras de bobinado para el primario}$$

Para calcular los bobinados secundarios se procede a multiplicar por el número de bobinados secundarios, que en este caso también son dos.

$$267 * 2 = 534 \text{ Espiras para cada uno de los bobinados secundarios}$$

En la figura 3.24, se puede observar el sensor LVDT del penetrómetro terminado.



Figura. 3.24. Sensor LVDT del penetrómetro

Fuente. Autor

3.9. Análisis y Medición del Sensor LVDT

Al estar energizado el sensor, se genera un campo magnético que va a detectar cualquier movimiento del eje, cuando el eje está totalmente introducido el voltaje va a ser el inicial, pero a medida que el eje va desplazándose hacia afuera o hacia dentro del sensor, el voltaje va a sufrir una variación por lo que se concluye que el voltaje va a ser proporcional al movimiento del eje ferromagnético.

3.9.1. Creep test

Las mediciones realizadas en el sensor del Creep test, se indican en la tabla 3.2, aquí se muestra la variación de voltaje en la salida del sensor de acuerdo al movimiento del eje ferromagnético.

Como se puede observar, la variación de voltaje en el sensor es de 1 voltio por cada centímetro de recorrido del eje, dicha variación se da hasta los 2 centímetros de recorrido, ya que al recorrer 3 centímetros la variación es de 0.5 centímetros, y al recorrer 4 centímetros el voltaje tiende a disminuir, debido a que el campo magnético del segundo bobinado secundario disminuye.

Esto no influye en la adquisición de las señales, debido a que los movimientos en cada análisis son muy pequeños alrededor de los 2 centímetros como punto máximo.

Tabla 3.2. Mediciones realizadas en el sensor LVDT del Creep test

CREEP TEST SENSOR LVDT		
VOLTAJE INGRESO Fuente (AC)	VOLTAJE SALIDA Secundario (AC)	DESPLAZAMIENTO DEL EJE(cmts)
7,7	1,5	0
7,7	2,5	1
7,7	3,5	2
7,7	4,0	3
7,7	3,5	4

Fuente. Autor

3.9.2. Penetrómetro

Las mediciones realizadas en el sensor del penetrómetro, se indican en la tabla 3.3, de la misma forma que para el Creep test, aquí se indica la variación de voltaje en la salida del sensor.

La variación de voltaje por cada centímetro de recorrido es de 0.7 voltios, dicha variación se da desde 0 centímetros hasta los 2 centímetros, al recorrer 3 centímetros la variación de voltaje cambia y ahora es de 0.5 voltios por centímetro, y al recorrer 4 centímetros la variación de voltaje tiende a disminuir de igual manera que en el Creep

test, debido a que el segundo bobinado del secundario disminuye en su campo magnético.

La adquisición de las señales no se ve afectada con esta variación, ya que el recorrido del eje es pequeño, y como punto máximo son 2 centímetros.

Tabla 3.3. Mediciones realizadas en el sensor LVDT del Penetrómetro

PENETROMETRO SENSOR LVDT		
VOLTAJE INGRESO Fuente (AC)	VOLTAJE SALIDA Secundario (AC)	DESPLAZAMIENTO DEL EJE(cmts)
7,7	0,1	0
7,7	0,8	1
7,7	1,5	2
7,7	2	3
7,7	1,5	4

Fuente. Autor

3.10. Análisis de la señal de Ingreso a la DAQ

En el laboratorio de alimentos de la Universidad del Azuay, se procedió a instalar el hardware y software de adquisición de señales y se encontró que existen interferencias (ruidos) en el momento de realizar los análisis, debido a dispositivos como: la fuente de alimentación de la computadora de escritorio, donde va instalado el software que controla el sistema, equipos que se utilizan en este laboratorio para otros tipos de análisis etc. Además del ruido en la línea de alimentación, debido a que existen otros equipos conectados a esta red eléctrica que consumen una gran cantidad de corriente.

Estos ruidos generan interferencias en el muestreo de las señales y dan lugar a errores, por tal razón, se debe proceder a reducir o eliminar estos ruidos, y para ello se ha procedido a colocar a la entrada de la tarjeta de adquisición DAQ USB-6008, un filtro analógico pasivo de primer orden, es decir, que posee componentes electrónicos físicos como: resistencias y condensadores. Se ha escogido este tipo de filtros, debido a que no generan ganancia en la amplitud, y poseen una respuesta aproximada a la función ideal, por lo tanto no amplifican la señal sino que simplemente reducen el ruido,

además por su bajo costo son muy fáciles de conseguir en el mercado, y no necesitan alimentación externa como es el caso de los filtros activos.

3.10.1. Análisis del espectro de frecuencia

En la figura 3.25 y 3.26, se muestra el análisis de la señal de ingreso a la tarjeta DAQ, como se puede observar la señal es de 60 HZ y tiene ruido.

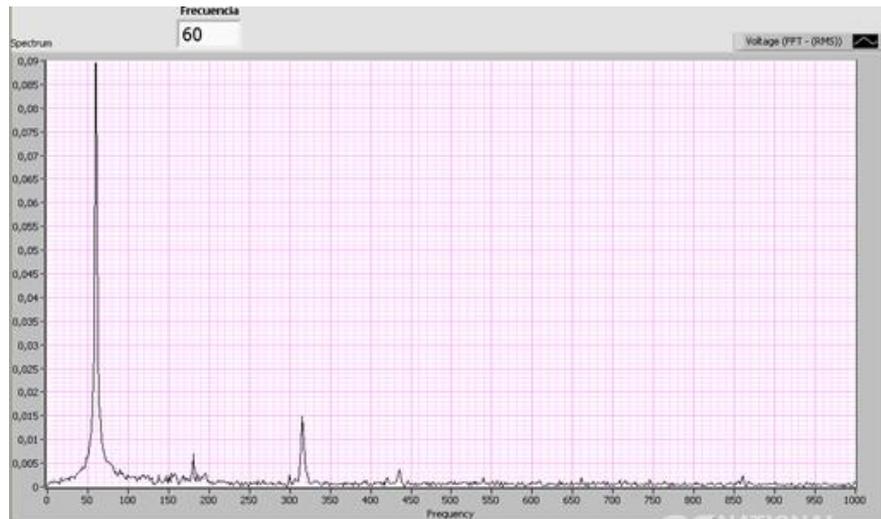


Figura. 3.25. Espectro de la señal de 60 HZ con ruido

Fuente. Autor

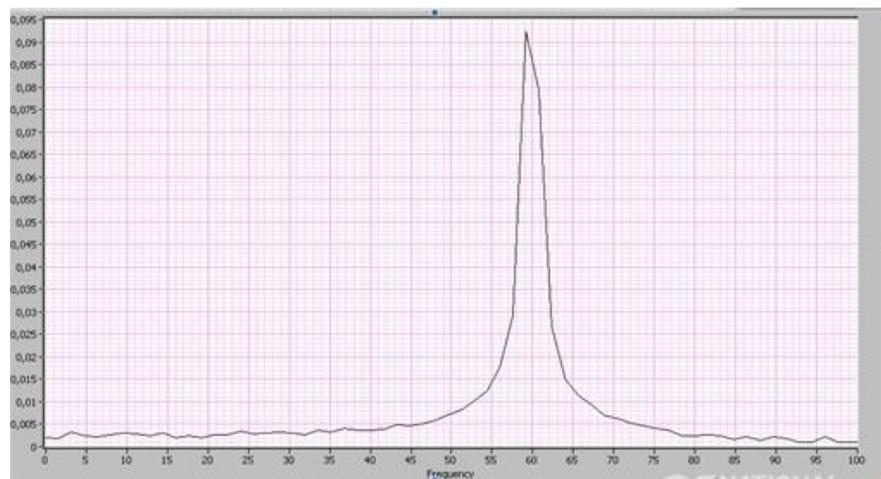


Figura. 3.26. Espectro de la señal de 60 HZ con ruido ampliado

Fuente. Autor

3.10.2. Análisis de la señal en el osciloscopio

Para realizar un filtrado correcto de las señales que ocasionan interferencia en la adquisición de las señales, se ha procedido a realizar mediciones y cálculos utilizando un osciloscopio (figura 3.27), mediante el cual se obtuvo los siguientes resultados.



Figura. 3.27. Medición de la señal de ingreso en el osciloscopio

Fuente. Autor

El osciloscopio se calibró en 5 ms/división y se obtuvieron 3.4 divisiones, con estos datos se debe proceder a calcular el periodo T como se muestra en la ecuación 3.3.

$$T = 3.4 * 5ms = 17ms \quad (3.3)$$

Para obtener la frecuencia central f_o de la señal de la ecuación 3.4 tenemos que:

$$f_o = \frac{1}{T} \quad (3.4)$$

Reemplazando valores nos queda:

$$f_o = \frac{1}{17 * 10^{-3}} = 58.83 \text{ HZ} \approx 60\text{HZ}$$

Con estos valores se debe proceder a realizar los cálculos para diseñar el filtro ideal.

3.11. Filtros Analógicos

Un filtro es un circuito electrónico, que posee una entrada y una salida. En la entrada se introducen señales alternas de diferentes frecuencias y en la salida se extraen esas

señales atenuadas, en mayor o menor medida según la frecuencia de la señal. (Andalucía, s.a)

Si el circuito del filtro está formado por resistencias, condensadores y/o bobinas (componentes pasivos) el filtro se dirá que es un filtro pasivo. Por otro lado, como de cada tipo de filtro existe un esquema básico que lo implementa y además es posible conectarlos en cascada (uno a continuación del otro), si el circuito del filtro está formado por el esquema o célula básica se dirá que es de primer orden. Será de segundo orden si está formado por dos células básicas, de tercer orden si lo está por tres, etc (Andalucía, s.a).

Un filtro es un dispositivo que impide o permite el paso de una cierta gama de frecuencias, donde permitir o impedir está relacionado con un nivel de atenuación o ganancia. También sirven para restaurar una señal, cuando está ha sido deformada de alguna forma, o para separar una señal, la separación de señales es necesaria cuando una señal ha sido contaminada con interferencias, ruidos u otras señales. (Andalucía, s.a)

Además se puede modificar una señal determinada de tal manera que las amplitudes relativas de las componentes en frecuencia, cambian o incluso son eliminadas. A continuación se describen los filtros utilizados en este proyecto (Andalucía, s.a).

3.11.1. Filtro pasa bajo.- Este filtro introduce muy poca atenuación a las frecuencias que son menores que la frecuencia de corte. Las frecuencias que son mayores que la de corte son atenuadas fuertemente (figura 3.28) (Salgado, s.a).

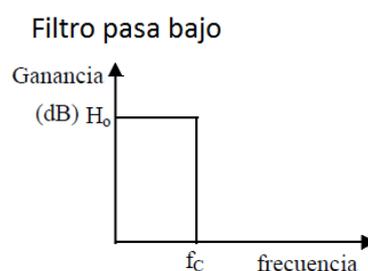


Figura. 3.28. Filtro Pasa Bajo

Fuente. Autor

3.11.2. Filtro pasa alto.- Este filtro rechaza las frecuencias que van desde la corriente continua hasta una frecuencia de corte y dejan pasar las frecuencias por encima de la frecuencia de corte (figura 3.29) (Salgado, s.a).

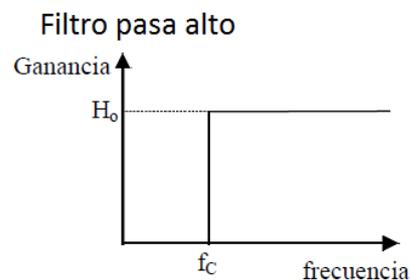


Figura. 3.29. Filtro Pasa Alto

Fuente. Autor

3.11.3. Filtro pasa banda.- En este filtro existen dos frecuencias de corte, una inferior y otra superior. Este filtro sólo permite el paso de un rango o banda de frecuencias sin atenuar y rechaza las frecuencias que están fuera de esta banda (figura 3.30) (Salgado, s.a).

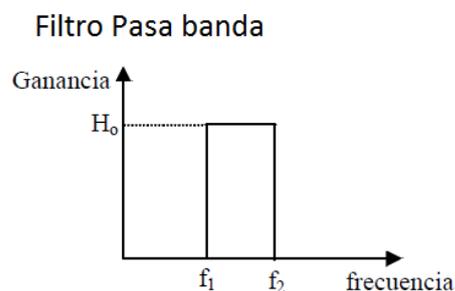


Figura. 3.30. Filtro Pasa Banda

Fuente. Autor

3.12. Diseño del filtro analógico

Con los datos obtenidos anteriormente, se necesita diseñar un filtro que elimine las frecuencia mayores a 58.83HZ, y que además elimine los armónicos menores a 5.883HZ por lo tanto el filtro requerido es un filtro pasa banda, para poder diseñar este filtro primero se debe diseñar un filtro pasa bajo y un filtro pasa alto.

Para proceder a realizar el diseño, primero debemos conocer cuál es la ganancia de tensión G_v que nos debe dar el filtro como se muestra en la ecuación 3.5.

$$Gv = \frac{v_o}{v_i} \quad (3.5)$$

Reemplazando Valores:

$$Gv = \frac{1.5 V}{7.6V} = 0.198$$

Para calcular la frecuencia de corte f_c de la señal, necesitamos saber cuánto es el valor de la reactancia capacitiva X_c , y para ello utilizamos un condensador cerámico de $0.1\mu f$, y el valor de la frecuencia central f_o que es de 53.83 HZ.

La ecuación 3.6 nos muestra que se necesita para realizar este cálculo y se describe a continuación.

$$X_c = \frac{1}{2\pi f_o C} \quad (3.6)$$

Reemplazando valores tenemos que:

$$X_c = \frac{1}{2\pi * 58.83hz * 0.1\mu f} = 27.053K\Omega$$

3.12.1. Filtro pasa bajo

El filtro pasa bajo debe dejar pasar frecuencias menores a 58.83HZ y eliminar las frecuencias mayores a 58.83 HZ, por lo que para poder realizar los cálculos respectivos se debe imponer un componente con su respectivo valor, en este caso vamos a utilizar un condensador cerámico de $0.1\mu f$, ya que por medio de los cálculos realizados en la ecuación 3.7 es más fácil encontrar el valor comercial en el mercado de una resistencia que de un condensador.

Por lo tanto tenemos que:

$$f_{cL} = 58.83 \text{ hz}$$

$$R = \frac{1}{2\pi f_{cL} C} \quad (3.7)$$

Donde reemplazando los valores tenemos que:

$$R1 = \frac{1}{2\pi * 58.83 * 0.1\mu f} = 27.053K\Omega$$

El circuito del filtro pasa bajo se muestra en la figura 3.31.

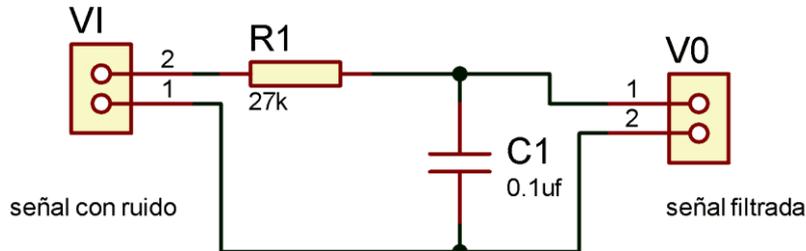


Figura. 3.31. Circuito de Filtro pasa bajo

Fuente. Autor

Utilizando un valor comercial para esta resistencia tenemos que $R = 27K\Omega$

Este valor nos indica que la frecuencia de corte central $f_c = 27.053\text{HZ}$, porque el valor de la reactancia capacitiva X_c es igual al valor de la resistencia $R1$, además el valor de la ganancia de tensión G_v esta dentro de los parámetros de medición que va desde 1 hasta 0.707 y la atenuación de este filtro es de 6db/octava, es decir 6db por cada kilo Hertz.

3.12.2. Filtro pasa alto

Para diseñar el filtro pasa alto se necesita saber la frecuencia corte de orden superior, la misma que se la obtiene como se muestra en la ecuación 3.8, que describe los cálculos necesarios para hallar los valores de los componentes requeridos para la construcción de este filtro.

$$f_{c_H} = \frac{f_o}{10} \quad (3.8)$$

Reemplazando valores nos queda:

$$f_{c_H} = \frac{58.83}{10} = 5.883$$

$$R = \frac{1}{2\pi f_{c_H} C}$$

Reemplazando valores tenemos que:

$$R2 = \frac{1}{2\pi * 5.883\text{HZ} * 0.1\mu\text{f}} = 270.534\text{K}\Omega$$

Utilizando un valor comercial para esta resistencia tenemos una $R = 270\text{K}\Omega$

El circuito del filtro pasa alto se muestra en la figura 3.32.

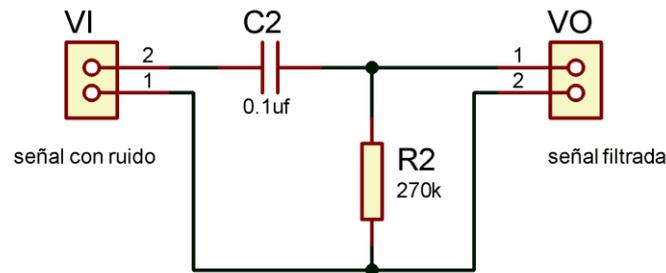


Figura. 3.32. Circuito de Filtro pasa alto

Fuente. Autor

3.12.3. Filtro pasa banda

Para diseñar el filtro pasa banda se necesita una frecuencia de corte entre 5.883 HZ y 58.83HZ, ya que esas son las frecuencias de corte inferior y superior respectivamente. Para construir este filtro se lo debe hacer en cascada; primero se debe colocar el filtro pasa alto que deja pasar frecuencias mayores a 5.883HZ y luego el filtro pasa bajo, que deja pasar las frecuencias menores a 58.83HZ, de esta forma se puede realizar un muestreo correcto de las señales adquiridas.

Para calcular el ancho de banda BW de la señal, se debe utilizar la ecuación 3.9:

$$BW = f2 - f1 \quad (3.9)$$

Reemplazando valores:

$$BW = 58.83 - 5.883 = 52.947$$

El circuito del filtro pasa banda se muestra en la figura 3.33.

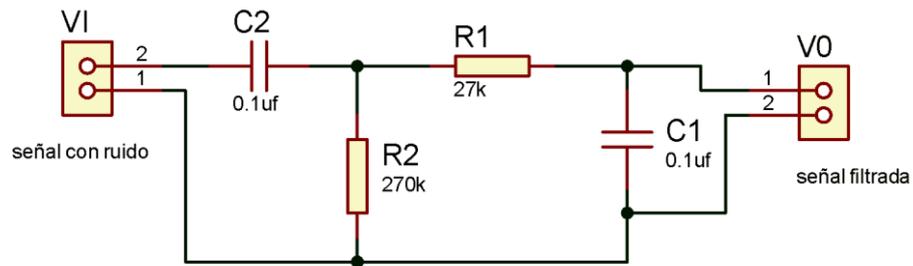


Figura. 3.33. Circuito de Filtro pasa banda

Fuente. Autor

A continuación se muestra en la figura 3.34, el diagrama de la capa inferior del PCB del filtro pasa banda y en la figura 3.35 el montaje de los componentes en la tarjeta.

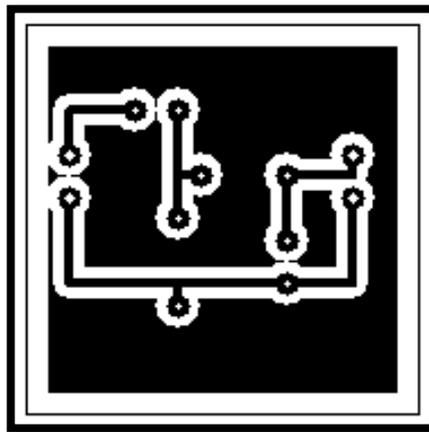


Figura. 3.34. Capa inferior del PCB del filtro pasa banda

Fuente. Autor

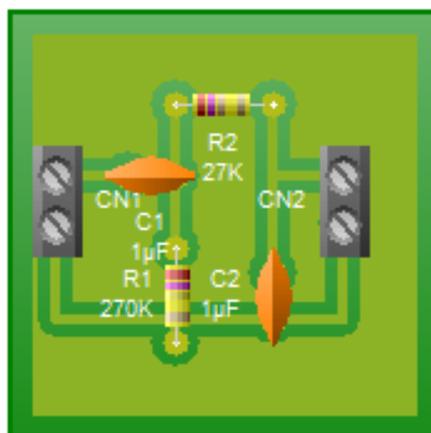


Figura. 3.35. Montaje de componentes del filtro pasa banda

Fuente. Autor

3.12.4. Espectro de frecuencia de la señal filtrada

Una vez realizado el filtrado de la señal al ingreso de la tarjeta DAQ, en la figura 3.36, se puede observar que la señal ya no presenta ruido, por lo que es una señal adecuada para realizar los análisis con los equipos.

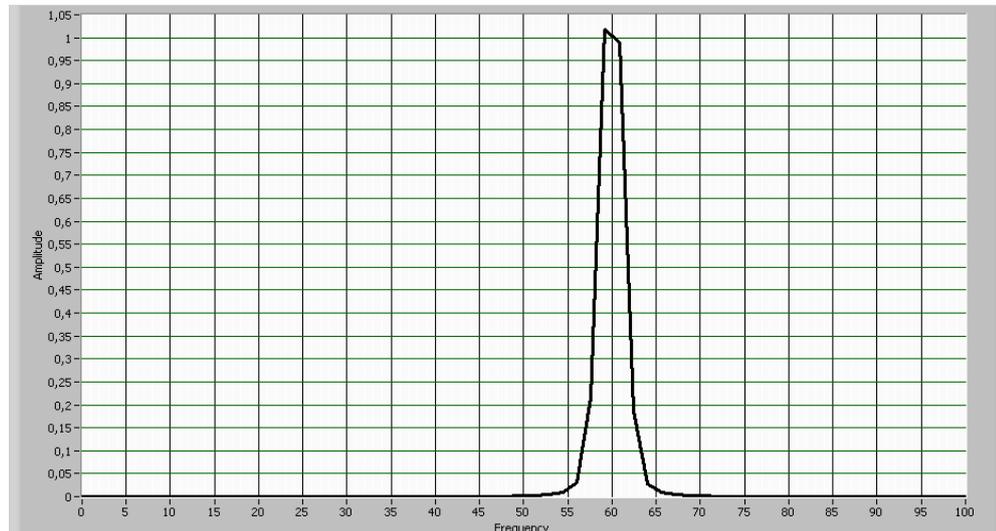


Figura. 3.36. Espectro de señal filtrada

Fuente. Autor

3.13. Módulo de Adquisición DAQ

El módulo de adquisición DAQ, puede medir con una pc un fenómeno eléctrico o físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido que provienen de sensores externos, por medio de este dispositivo se realiza una toma de muestras, para generar datos que puedan ser manipulados por un computador o dispositivos electrónicos físicos.

Un sistema DAQ consta de sensores, hardware de medidas DAQ y una PC con software programable (LabVIEW) (Carreño, 2013).

3.13.1. Estructura y características de funcionamiento de la DAQ

La tarjeta DAQ USB-6008, proporciona la adquisición de datos de forma confiable, vía puerto USB. Mediante la cual ofrece conexión a 8 entradas analógicas de un solo terminal, 2 canales de salida analógica, 12 canales digitales de entrada / salida, y un contador de 32 bits con una interfaz USB de alta velocidad.

Las entradas a la DAQ USB-6008 tienen terminales ajustables con tornillos para conectar fácilmente la señal, teniendo flexibilidad adicional al manejar configuraciones múltiples de cableado. La velocidad de las entradas analógicas y digitales, está dada por la velocidad seleccionada desde el programa (LabVIEW).

La NI-DAQ USB 6009, tiene mejores características que la NI-DAQ USB 6008, por ello en caso de ser necesario se la puede utilizar. En la tabla 3.4, se puede observar las diferencias y características entre las tarjetas NI-DAQ USB 6008 y 6009 (Carreño, 2013).

Tabla. 3.4. Diferencias entre las tarjetas NI-DAQ USB 6008 y 6009

Característica	USB 6008	USB 6009
Resolución en las entradas analógicas	12 Bits en modo diferencial, 11 Bits para modo de nodo simple	14 Bits en modo diferencial, 13 Bits para modo de nodo simple
Máximo frecuencia de muestreo en las entradas analógicas Canal individual*	10 kS/s	48 kS/s
Máximo frecuencia de muestreo en las entradas analógicas Múltiples canales (Total*)	10 kS/s	42 kS/s
Configuración DIO	Colector abierto	Colector abierto o control activo
*Pueden ser dependiendo del sistema		

Fuente. Tarjeta DAQ, USB 6008/6009. User Guide and Specification, National Instruments

3.13.2. Entradas y salidas Analógicas y Digitales

En cada equipo, el sensor actúa como una entrada analógica, debido a que recibe la señal de tensión eléctrica que proviene de la fuente de alimentación. La tarjeta de adquisición DAQ actúa como salida digital, debido a que las señales analógicas recibidas desde el sensor, las convierte en señales digitales, para posteriormente ser analizadas desde el computador. En la figura 3.37, se describe la conexión de los pines tanto para la parte analógica como digital de la tarjeta DAQ USB-6008 (Américas, s.a).

NI USB-6008

GND	1	17	P0.0
AI 0/AI 0+	2	18	P0.1
AI 4/AI 0-	3	19	P0.2
GND	4	20	P0.3
AI 1/AI 1+	5	21	P0.4
AI 5/AI 1-	6	22	P0.5
GND	7	23	P0.6
AI 2/AI 2+	8	24	P0.7
AI 6/AI 2-	9	25	P1.0
GND	10	26	P1.1
AI 3/AI 3+	11	27	P1.2
AI 7/AI 3-	12	28	P1.3
GND	13	29	PF1.0
AO 0	14	30	+2.5 V
AO 1	15	31	+5 V
GND	16	32	GND

Figura. 3.37. Descripción de los pines de conexión Analógico/Digital de la tarjeta DAQ, USB 6008

Fuente. Tarjeta DAQ, USB 6008. User Guide and Specification, National Instruments

CAPITULO IV

DESARROLLO DEL SOFTWARE DE ADQUISICION

4.1. Introducción

En este capítulo, se describen los pasos para el desarrollo del análisis, adquisición y procesamiento de las señales con cada uno de los equipos (Creep Test y Penetrómetro), por medio del software LabVIEW, para este proceso se requiere de los dispositivos mencionados en los capítulos II y III, como el hardware mecánico, la fuente de alimentación, el sensor LVDT, la tarjeta de adquisición DAQ y el software de LabVIEW.

4.2. Introducción al ambiente LabVIEW

“Para realizar un mejor control de los sistemas de adquisición, por lo general se requiere un software de instrumentación, que sea flexible para la edición y de fácil manejo para el usuario. El programa debe administrar los recursos de la computadora, presentar los datos y realizar el análisis. LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) es un software especializado y desarrollado para la creación de instrumentación virtual; por lo tanto cuenta con numerosas herramientas para la adquisición de datos, análisis y generación de señales”. (Moreno, 2003).

Se puede crear interfaces de usuario mediante consolas interactivas basadas en software. Para programar en LabVIEW se puede usar un lenguaje de programación compatible como lenguaje C o Basic, pero también se puede facilitar la programación utilizando lenguaje G, que es un lenguaje gráfico. Cuando se programa sobre LabVIEW se trabaja bajo “instrumentos virtuales”, abreviando, Vis por sus siglas en inglés, se pueden crear Vis a partir de especificaciones funcionales. Un VI se puede utilizar dentro de otra aplicación, como una sub función de un programa general (Moreno, 2003).

En LabVIEW se puede programar de manera gráfica, lo que hace que sea una herramienta mucho más fácil de utilizar, que los demás lenguajes de programación tradicionales. Poder observar iconos y símbolos en vez de líneas de código, resulta más

fácil, por esta razón el software diferencia dos partes del programa, el diagrama de bloques, que es donde se desarrolla el programa, con las especificaciones y todas las funciones del software y el panel frontal que contiene los indicadores, controles y todas las respuestas o salidas del sistema (Moreno, 2003).

Una vez que se ha probado el funcionamiento del programa, es posible ocultar el diagrama de bloques y ejecutar la aplicación desde el panel frontal, se debe tener cuidado de no eliminar el diagrama de bloques, pues sin el no funcionará el programa, y lo único que será sensible a cambios, es la apariencia de los controles del panel frontal (Moreno, 2003).

4.2.1. Instrumentos virtuales (VI)

Los programas realizados en LabVIEW se llaman instrumentos virtuales o (VIs) como se indica en la figura 4.1, ya que tienen la apariencia de instrumentos físicos como paneles de control, que son fáciles de manejar por el usuario, que no tiene ningún conocimiento de programación. LabVIEW contiene un conjunto comprensivo de VIs y funciones para adquirir, analizar, desplegar y almacenar datos (electroaula, 2003).



Figura. 4.1. Instrumento virtual (VI)

Fuente. Autor

4.2.2. Partes de un VI.

- Panel Frontal
- Diagrama de Bloques

4.2.3. Panel frontal.

El panel frontal (figura 4.2), es la interface hombre-máquina de un VI, este panel se puede construir con controles e indicadores los mismos que representan a las entradas y salidas de un VI. Los controles que están en el panel frontal son variables de entrada,

además son objetos que sirven para ingresar datos al programa y que pueden ser manipulados por el usuario. Los indicadores sirven para presentar los resultados entregados por el programa y no pueden ser manipulados por el usuario, es decir son variables de salida (electroaula, 2003).

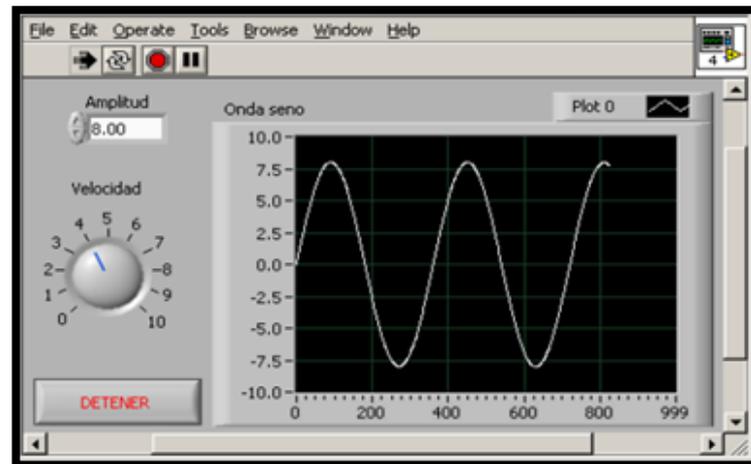


Figura.4.2. Ejemplo de panel frontal de un VI

Fuente. Autor

4.2.4. Diagrama de bloques.

El diagrama de bloques (figura 4.3), incluye objetos como: terminales, sub VIs, funciones, constantes, estructuras y cables, los cuales transfieren datos a través de otros objetos del diagrama de bloques.

Una vez que está construido el panel frontal, se puede adicionar código agregando representaciones gráficas de funciones para controlar los objetos en el panel frontal. Los objetos del panel frontal, aparecen como terminales en el diagrama de bloques. Los terminales son puertos de entrada y salida, que comparten información entre el panel frontal y el diagrama de bloques (Moreno, 2003).

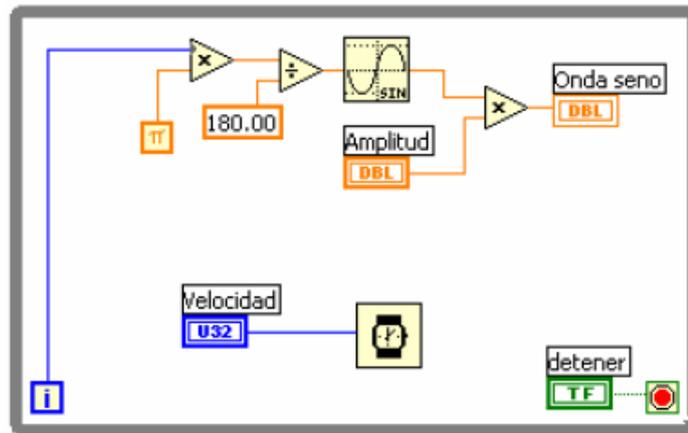


Figura. 4.3. Ejemplo de diagrama de bloques de un VI

Fuente. Autor

4.2.5. Requerimientos para la instalación

Para esta plataforma, el fabricante especifica los siguientes requerimientos, para que el computador ejecute correctamente el software de LabVIEW: se requiere por lo menos 256 MB de memoria RAM, pero se recomienda 1GB o más. Se requiere una resolución de pantalla de 1024x x768 pixeles como mínimo. Para la plataforma de Windows, ya sea XP o 7 se necesita: Pentium IV o Dual Core 2 Duo 1.2 GHZ o un procesador equivalente, pero se recomienda un mínimo de 1.2 GB de espacio libre en disco para la instalación completa.

Los requerimientos de pantalla se deben a que LabVIEW maneja gráficos con colores de 16 bits con una paleta de 256 colores. También se aconseja tener Adobe reader 5.0.5. o mayor para poder acceder a los manuales. El software no es soportado por Windows NT/Me/95/98 y tampoco por versiones XPx64 tampoco Vistax64, la versión de Windows 2000 que lo tolera es el Service Pack 3.

Con estas especificaciones se puede proceder a la instalación del software sin problemas (electroaula, 2003).

4.3. Herramientas utilizadas en el desarrollo del software

El software desarrollado en LabVIEW se designa Creep Recovery Test, y es el que se encarga de realizar el análisis y procesamiento de las señales adquiridas desde la tarjeta de adquisición DAQ.

Para el desarrollo del software se va a utilizar la versión 2011 de LabVIEW, y la adquisición de las señales se la va a realizar en la tarjeta de adquisición DAQ-USB 6008 (figura 4.4), el software se dejará instalado en el computador del laboratorio de la Universidad del Azuay, cuyas características son las siguientes: Sistema operativo Windows XP servi pack 3, memoria RAM de 512 MB, procesador Intel Pentium IV de 2.0 GHZ, y se utiliza la versión 8.2 de LabVIEW.



Figura. 4.4. Tarjeta de Adquisición DAQ USB-6008

Fuente. Autor

4.4. Configuración de la tarjeta de adquisición DAQ

Para la adquisición de las señales se necesita configurar la tarjeta DAQ USB-6008, por medio de la herramienta “DAQ Assistant” que se la puede encontrar en la paleta de funciones Express (ver figura 4.5), la misma que antes de realizar la adquisición se debe configurar.

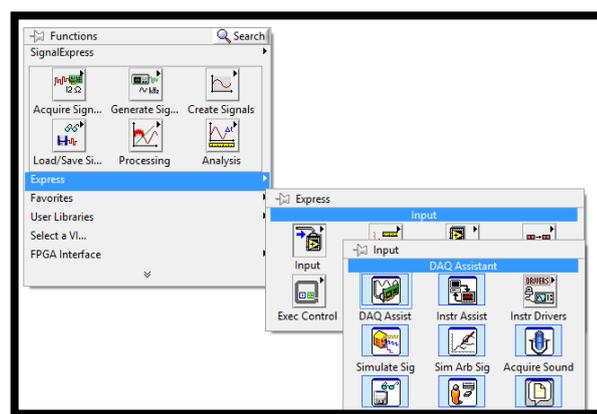


Figura. 4.5. Paleta de funciones Express

Fuente. Autor

Para la configuración de la tarjeta, se debe establecer qué tipo de señal se va a adquirir, en este caso va a ser una señal analógica de voltaje como se muestra en la figura 4.6.

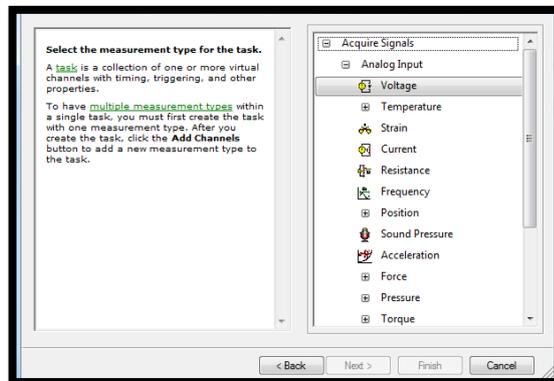


Figura. 4.6. Configuración de la tarjeta DAQ

Fuente. Autor

Una vez realizado esto, se debe proceder a seleccionar que canal va a ser utilizado en la DAQ para la adquisición de las señales, ya que en este dispositivo están disponibles 8 canales, desde la ai0 hasta la ai7 como se muestra en la figura 4.7.

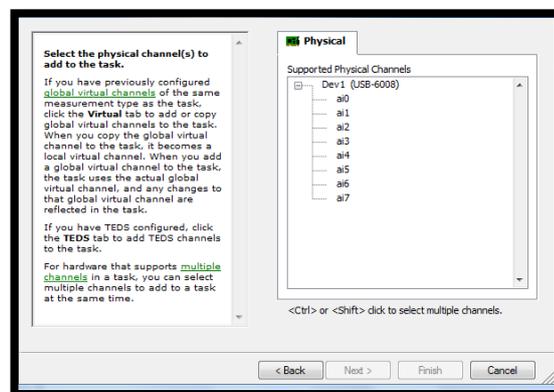


Figura. 4.7. Configuración de la tarjeta DAQ

Fuente. Autor

Para la adquisición de las señales, se debe establecer la velocidad de muestreo de la tarjeta DAQ, que para este caso utilizaremos una frecuencia de muestreo “Rate” de 10 KHZ, ya que la señal que se desea analizar solamente llega a los 60 HZ y las muestras que se leerán “samples to Read”, serán de 1000, lo que nos indica que se tomará 1 muestra por cada 1 milisegundo, pero debido a requerimientos del personal del laboratorio, se utilizará una frecuencia de muestreo de 8 KHZ y se leerán 5000

muestras debido a que se necesita un análisis más detallado, como se muestra en la figura 4.8.

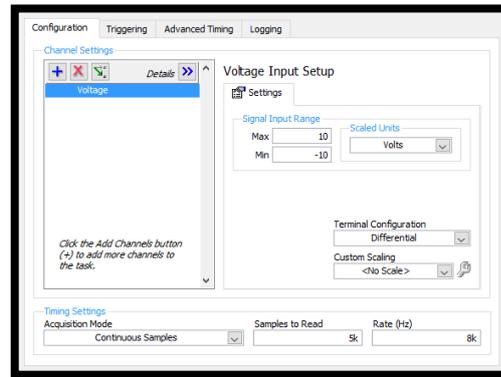


Figura. 4.8. Configuración de la tarjeta DAQ

Fuente. Autor

4.5. Diagrama de flujo del software sobre LabVIEW

En el siguiente diagrama de flujo que se indica en la figura 4.9, se resume todo el procedimiento realizado para la adquisición, el análisis y procesamiento de las señales obtenidas de cada uno de los sensores LVDT, por medio del software realizado en LabVIEW.

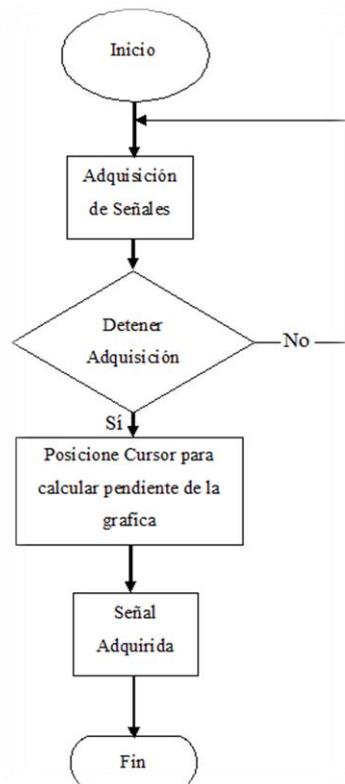


Figura. 4.9. Diagrama de Flujo del software sobre LabVIEW

Fuente. Autor

4.6. Software sobre LabVIEW

En la figura 4.10, se muestra el panel frontal del Creep Recovery Test, en este instrumento virtual es donde se visualiza las señales adquiridas provenientes de cada uno de los equipos tanto del Creep Test como del Penetrómetro.

El panel frontal del Creep Recovery Test consta de las siguientes partes:

- Pantalla para visualizar las señales adquiridas
- Indicador numérico para mostrar resultado de la pendiente calculada
- Indicador de ubicación de archivos para los datos numéricos procesados
- Botón de parada
- Indicador led de parada
- Indicador analógico y numérico de la amplitud de la señal adquirida
- Indicador numérico de la frecuencia de la señal de ingreso

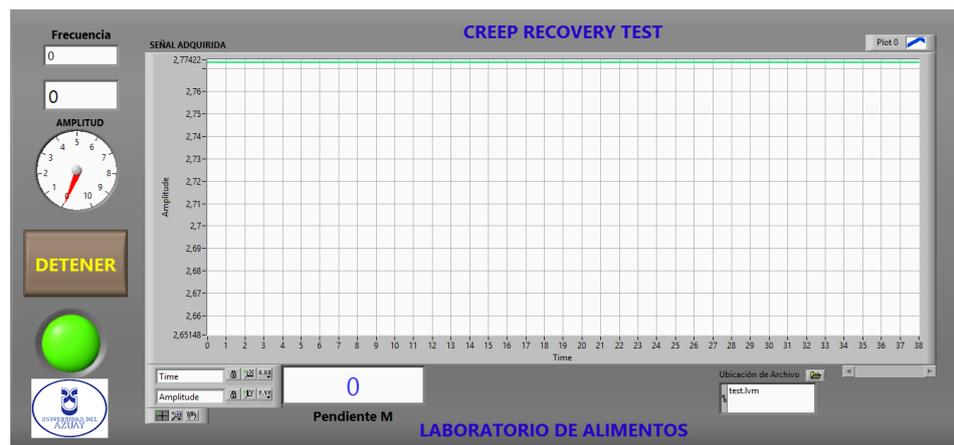


Figura. 4.10. Panel Frontal del Creep Recovery Test

Fuente. Autor

4.6.1. Funcionamiento del software

Para realizar la adquisición de las señales, en primer lugar el sensor LVDT debe estar energizado y cada equipo que se vaya a utilizar (Creep Test o Penetrómetro), debe estar correctamente ubicado en su posición inicial, es decir que su eje este completamente dentro del sensor, para evitar errores en las mediciones.

Una vez que el programa se ha puesto en funcionamiento, la señal que proviene del sensor LVDT se puede visualizar en la pantalla, a medida que el eje ferromagnético

del (Creep test o del Penetrómetro) se vaya desplazando hacia afuera del sensor, se va a ir observando cambios en la señal que se está adquiriendo como se muestra en el ejemplo de la figura 4.11.

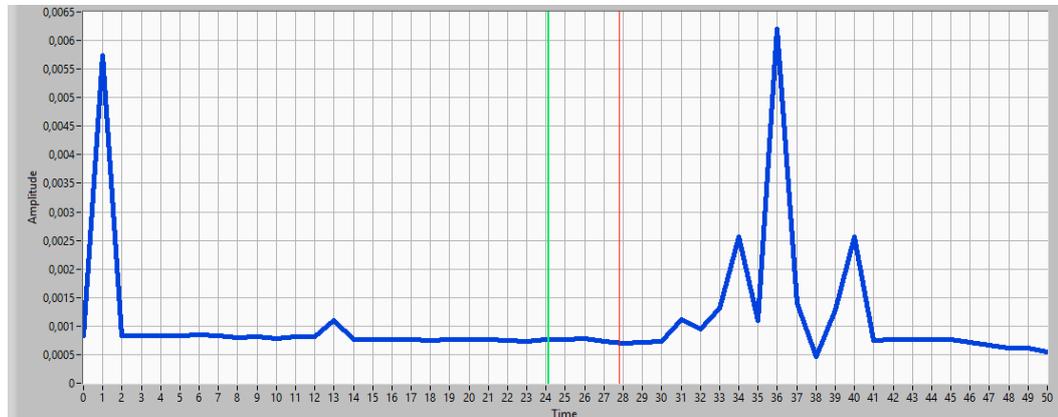


Figura. 4.11. Señal en proceso de adquisición

Fuente. Autor

Cuando el usuario decide detener el programa, porque considera que es suficiente el análisis que ha realizado, en la pantalla se podrá observar un cuadro de dialogo (Está seguro de los puntos de referencia), y además se podrá observar dos puntos que son P1 y P2, estos son los puntos de referencia que sirven para calcular automáticamente la pendiente de la recta entre dos puntos.

El cuadro de dialogo le indica al usuario que si los puntos seleccionados automáticamente por los cursores en la gráfica son los correctos, entonces el análisis ha terminado como se muestra en el ejemplo de la figura 4.12.

En el indicador numérico se podrá observar el resultado de la pendiente de la señal adquirida (ver figura 4.13), caso contrario en el cuadro de dialogo se le indica al usuario que seleccione manualmente los puntos con los cursores que crea conveniente utilizar para el análisis de la señal.

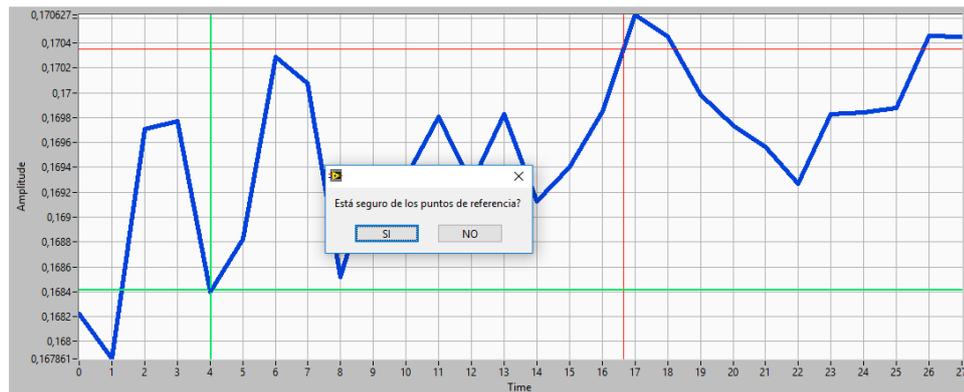


Figura. 4.12. Puntos de referencia de la pendiente de la gráfica

Fuente. Autor

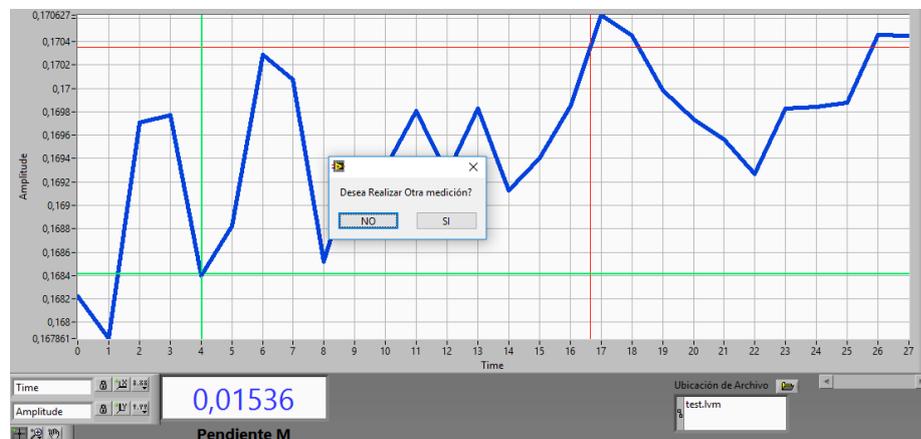


Figura. 4.13. Resultado de la pendiente adquirida

Fuente. Autor

Si en el transcurso del análisis el usuario comete un error, por una incorrecta manipulación del hardware o del software, este puede detener la adquisición y en la pantalla aparecerá un cuadro de dialogo que le indica que puede volver a realizar la adquisición de la señal y esto lo puede hacer con el mismo procedimiento antes mencionado.

4.7. Diagrama de bloques

El código del programa que controla toda la adquisición y procesamiento de las señales adquiridas, se va a ir describiendo en esta sección, para poder conocer como está estructurada cada parte dentro del programa.

4.7.1. Adquisición y procesamiento de las señales del sensor

Permite al usuario analizar únicamente la señal de voltaje que se adquiere desde la DAQ, proveniente de cada uno de los sensores, por medio de la herramienta “Tone Measurements”, la que se encarga de separar las señales que no se necesitan y calcular la amplitud del tono único detectado en voltios pico (Vp), y de esa forma obtener solo la señal de amplitud máxima que es la señal que se requiere en este tipo de analisis (ver figura 4.14).

La señal procesada es enviada hacia un arreglo múltiple de datos que son enviados hacia la herramienta Graph XY, que es la encargada de graficar la señal adquirida como se indica en la figura 4.15.

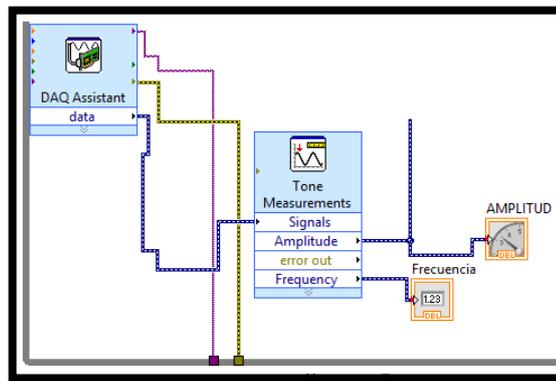


Figura. 4.14. Adquisición de las Señales

Fuente. Autor

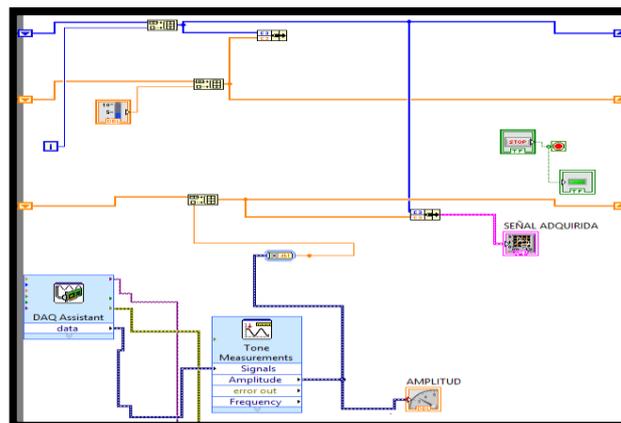


Figura. 4.15. Procesamiento de la señal adquirida

Fuente. Autor

4.7.2. Manejo de cursores en la gráfica

Permite al usuario utilizar los cursores en la grafica del panel frontal, para ello se ha realizado un arreglo con los puntos de inflexión¹ que se obtienen de la grafica, donde la señal adquirida es separada en tres niveles (alto, medio y bajo). Esto es necesario para que no exista la probabilidad de que los cursores señalen en un punto erroneo, por ejemplo, en el punto de inflexión más bajo, el cursor se ubicará a un 20% de la curva y en el punto de inflexión más alto, el cursor se ubicará a un 90% de la curva.

Una vez ordenados los datos, estos son enviados a otro arreglo que representa los puntos P1 y P2 que son los cursores que se observan en el panel frontal (ver figura 4.16).

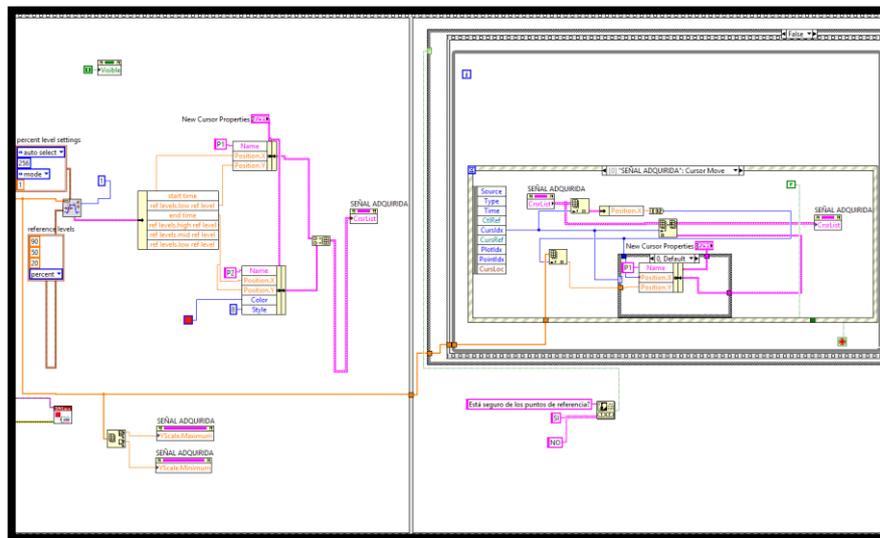


Figura. 4.16. Manejo de Cursores

Fuente. Autor

4.7.3. Cuadro de dialogo

El usuario puede interactuar con el programa, por medio de un cuadro de dialogo en el panel frontal, que le permite al usuario elegir si está de acuerdo o no con los puntos seleccionados por los cursores en la gráfica, caso contrario el usuario puede seleccionar manualmente los puntos que crea conveniente para su análisis.

¹ Son los puntos donde la gráfica cambia su concavidad hacia arriba o hacia abajo.

Este cuadro de dialogo consta de una concatenación de cadenas de caracteres, como se muestra en la figura 4.17. En la figura 4.18, se muestra un cuadro de dialogo que se presenta en el panel frontal, que le pregunta al usuario si desea realizar otra medición o no, luego de que el usuario ha realizado el respectivo análisis.

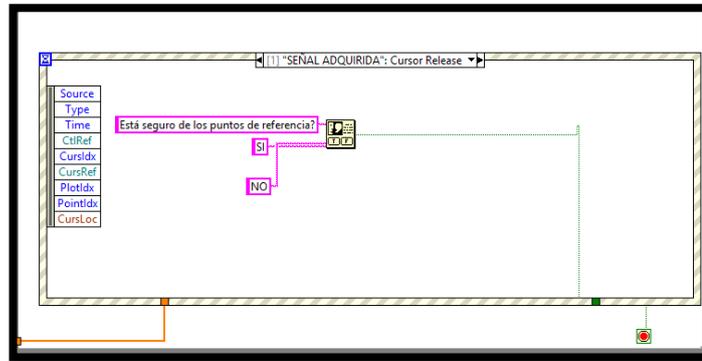


Figura. 4.17. Cuadro de dialogo

Fuente. Autor



Figura. 4.18. Cuadro de dialogo

Fuente. Autor

4.7.4. Calculo de la pendiente de la señal

Permite al usuario obtener la pendiente de la señal que se está muestreando, para ello se ha realizado un arreglo de datos que por medio de la fórmula de cálculo de la pendiente de una recta (ecuación 4.1):

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (4.1)$$

Se obtiene el resultado de los puntos seleccionados automáticamente por los cursores de la gráfica, pero si el usuario no está de acuerdo con los puntos seleccionados puede

seleccionar los puntos de forma manual en la gráfica de la señal adquirida, en la figura 4.19, se muestra el arreglo que puede ser modificado por el usuario si así lo desea.

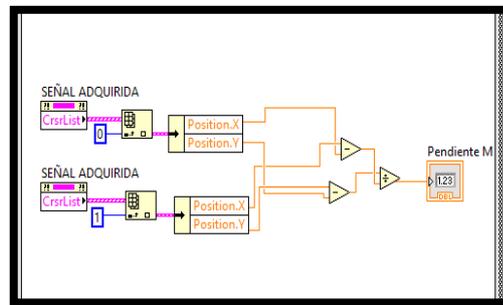


Figura. 4.19. Cálculo de la pendiente de la señal adquirida

Fuente. Autor

4.7.5. Almacenamiento de datos adquiridos

Los datos adquiridos son almacenados en archivos de formato (.lvm), que el usuario debe colocar previamente con su nombre, antes de iniciar la adquisición de las señales, este tipo de archivos pueden ser leídos en tablas de Excel que quedan almacenados dentro de la carpeta (LabVIEW data), que es una extensión de archivos de LabVIEW, estos datos almacenados le sirven al usuario para poder realizar un análisis más minucioso de las señales, ya que en reología los cálculos son diferentes para cada tipo de muestra.

El usuario puede cambiar aquí la dirección de almacenamiento de los archivos si así lo desea, como se muestra en la figura 4.20.

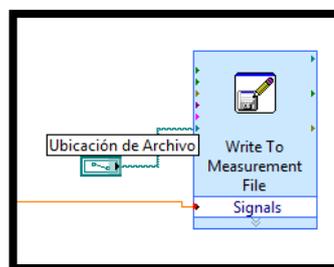


Figura. 4.20. Almacenamiento de datos

Fuente. Autor

En el ANEXO 8, se muestra todo el diagrama de bloques completo del programa.

CAPITULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1. Pruebas y resultados de funcionamiento

Para proceder a probar el funcionamiento del hardware y software en el laboratorio de Alimentos de la Universidad del Azuay, se procedió a realizar pruebas con muestras de queso, tanto en el Creep test como en el Penetrómetro. De esta manera se deja constancia de que los equipos, tanto en la parte de hardware como de software, funcionan de manera correcta, ya que fueron probados por el personal docente del laboratorio de alimentos.

5.2. Pruebas con el Creep test en el Laboratorio

Para empezar a realizar pruebas con el Creep test, primero se debe conectar la entrada del sensor LVDT a la fuente de alimentación, y la salida del sensor LVDT a la tarjeta de adquisición DAQ USB-6008.

Se debe colocar la placa de muestreo en su posición inicial, es decir dentro del sensor, luego se coloca la muestra de queso debajo de la placa, y se inicia el programa en LabVIEW.

En el gancho que va unido a la placa de muestreo se va colocando pesos que tienen valores ya establecidos, que se dejan caer libremente, y por acción de la gravedad el peso tiende a irse hacia abajo; por lo tanto el eje va a desplazarse hacia afuera.

Este desplazamiento es detectado por el sensor LVDT, que representa una variación en el voltaje, lo que irá generando cambios en la señal que se está adquiriendo como se muestra en la figura 5.1.

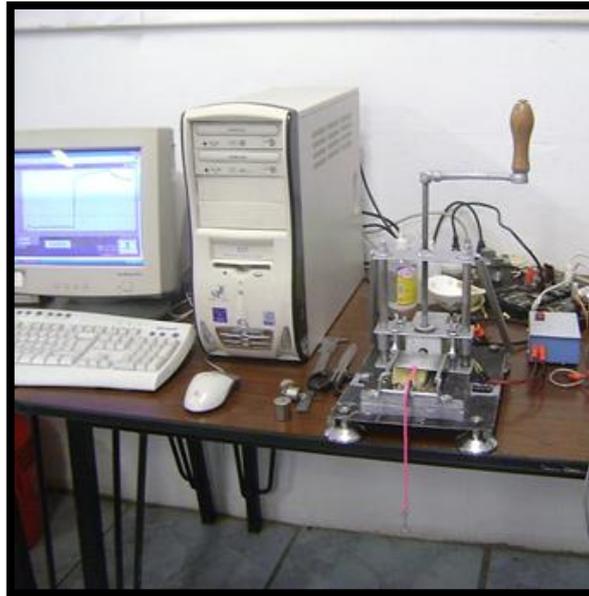


Figura. 5.1. Pruebas con el Creep test en el laboratorio de Alimentos de la UDA

Fuente. Autor

5.2.1. Resultados obtenidos en el Creep test

En las pruebas realizadas con el Creep test se colocaron varias muestras de queso, utilizando varios pesos, que van desde 10 gramos, comprobando así que el sistema es sensible a los movimientos del eje, es decir que detecta hasta el mínimo movimiento, lo que es muy beneficioso para el personal del laboratorio de alimentos de la Universidad del Azuay, ya que durante los análisis realizados no se perderán datos, además el hardware mecánico es muy estable y cómodo para trabajar.

Las señales analizadas no presentaron distorsión, por lo que ya no es necesario graficar las señales en Matlab ni en Excel como se lo hacía antes, como se muestra en la figura 5.2.

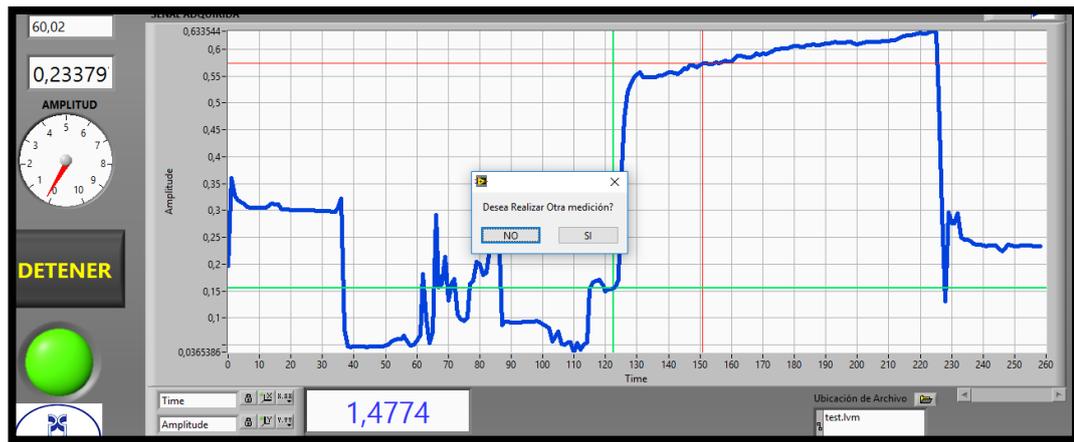


Figura. 5.2. Resultados de las pruebas con el Creep test en el laboratorio de Alimentos de la UDA

Fuente. Autor

5.3. Pruebas con el Penetrómetro

El procedimiento para realizar las pruebas es casi el mismo que para el Creep test, con la diferencia de que el movimiento de este hardware es en sentido vertical, y el análisis de las señales lo realiza penetrando en la muestra de queso, ya que el eje está previamente sostenido por un seguro, que en el momento de iniciar el análisis se quita el seguro, y el eje cae con todo su peso sobre la muestra, la penetración la realiza ayudado por una punta cónica como se muestra en la figura 5.3.

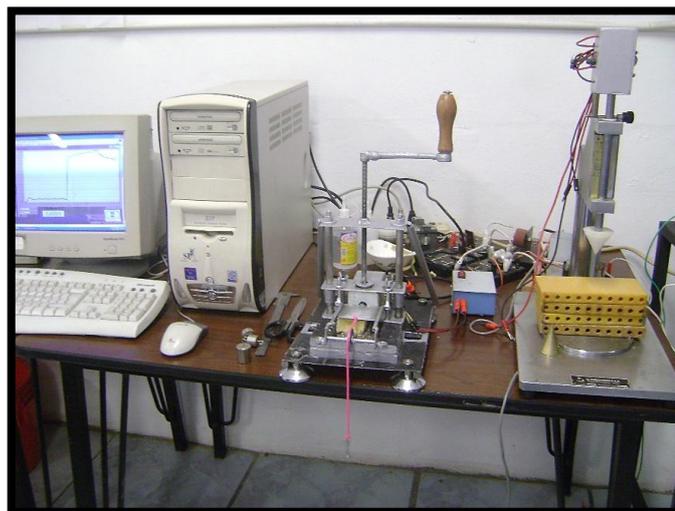


Figura. 5.3. Pruebas con el Penetrómetro en el laboratorio de Alimentos de la UDA

Fuente. Autor

5.3.1. Resultados obtenidos en el Penetrómetro

De la misma forma que con el Creep test, se utilizaron varias muestras de queso, comprobando así que el sensor detecta el movimiento del eje, que a su vez se refleja en el programa del computador, de igual forma no se presentaron ruidos en las señales adquiridas y tampoco se necesita utilizar otro programa para obtener la señal sin ruido, como se muestra en la figura 5.4.

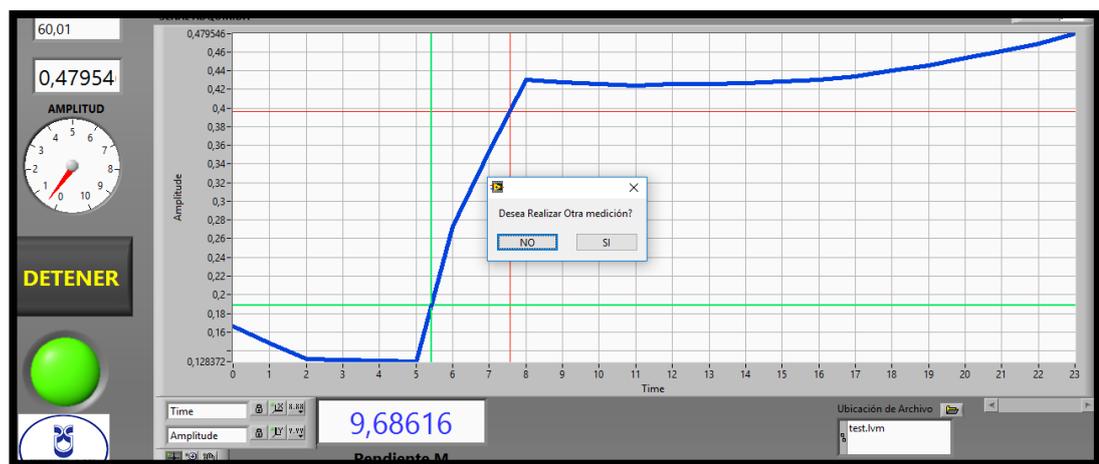


Figura. 5.4. Resultados de la pruebas con el Penetrómetro en el laboratorio de Alimentos de la UDA

Fuente. Autor

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los conocimientos teóricos adquiridos, de cada uno de los dispositivos y equipos, ayudaron a obtener muy buenos resultados, ya que se pudo diseñar y construir el hardware y software, de tal manera que el personal del laboratorio de la Universidad del Azuay, pueda hacer uso de estos equipos de una manera segura y cómoda.
- Con la construcción y readecuación de estos equipos, se ha logrado facilitar la manipulación de estos, logrando también mejorar la calidad de los análisis, ya que ahora resulta más cómodo utilizarlos, además se ha logrado también mejorar su apariencia externa, en el laboratorio de la Universidad del Azuay.
- Para un correcto funcionamiento del hardware, se diseñó y construyó el hardware electrónico, como la fuente de alimentación que si en algún momento llegara a fallar se puede sustituir fácilmente por otra, ya que sus componentes son de bajo costo.
- Para el diseño y construcción del sensor LVDT, se utilizaron materiales de fácil adquisición en el mercado, su operación en estos equipos ha sido fundamental y eficiente, además es un dispositivo muy seguro, ya que cuenta con una carcasa muy resistente que impide que si se llegara a caer, se rompa.
- El filtro utilizado en este sistema es muy económico de fabricar, y su eficacia en este tipo de trabajo es suficiente, ya que se logró eliminar los ruidos que existían.
- El software desarrollado, es fácil de utilizar por el usuario, ya que cuenta con controles de fácil acceso, que no se necesita tener conocimientos de programación para utilizarlo.
- Hay que tener en cuenta que el hardware mecánico de estos equipos, especialmente del Creep test, es un prototipo hecho artesanalmente, ya que este

equipo no se fabrica en este país, pero se ha hecho el máximo esfuerzo por construirlo de la mejor manera.

- Es importante que el personal del laboratorio, lea las instrucciones dejadas por el autor de este proyecto, para evitar cualquier error por un mal manejo, tanto del hardware como del software.
- Se debe tratar de mejorar técnicamente el hardware del Creep test, o tratar de fabricarlo de manera industrial, por medio de alguna firma privada.
- Se podría mejorar la adquisición de las señales, utilizando tecnología de punta, como un sensor LVDT fabricado industrialmente, que se lo puede conseguir en el mercado extranjero.
- Se recomienda, que cuando se esté adquiriendo las señales, no dejar el eje ferromagnético fuera del sensor LVDT, ya que esto podría ocasionar que el sensor se queme.
- Si por error el usuario detiene el programa con el botón ABORT, en vez de usar el botón de PARADA que se encuentra en el panel frontal del programa, aparecerá un cuadro de dialogo que indica el error cometido, lo que el usuario debe hacer es simplemente pulsar stop y el programa regresará a su estado normal.
- Si por mal manejo del usuario, el programa se cuelga o se queda congelado, lo que se tiene que hacer es desconectar el cable USB de la tarjeta DAQ por 5 segundos y volverlo a conectar esto hará que el programa se resetee y vuelva a su estado normal.
- Después de haber realizado todos los análisis, es recomendable apagar la fuente de alimentación, para evitar un sobrecalentamiento del sensor.

- Para una mejor adquisición de las señales, se recomienda utilizar una tarjeta DAQ de mayor velocidad de adquisición como la DAQ USB-6009. Para que los análisis sean ejecutados de una manera más rápida se recomienda utilizar una PC de mayor velocidad de procesamiento.

BIBLIOGRAFIA.

- Américas, U. d. (s.a). Capitulo 3 de LabVIEW. Obtenido de catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/...c.../capitulo3.pdf (Consulta 20 Octubre 2015)
- Andalucía, J. d. (s.a). Tema 2: Los filtros pasivos de primer orden. Obtenido de http://www.juntadeandalucia.es/averroes/~11000381/spip/IMG/pdf/Tema_2_Filtros_pasivos.pdf (Consulta 20 Agosto 2015)
- Boylestad, Robert. – Nashelsky, Louis. 2009. Electrónica: Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos. México. Décima edición. Editorial Pearson Prentice Hall.
- Boylestad, Robert. – Nashelsky, Louis. 2003. Electrónica: Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos. México. Octava edición. Editorial Pearson Prentice Hall.
- Carreño, J. (2013). Tutorial para la programación de las tarjeta ni-usb 6008-6009. Obtenido de http://www.tau.ac.il/~electro/pdf_files/computer/ni_6008_ADC_manual.pdf (Consulta 15 Julio 2015)
- Charles, Alexander – Matthew, Sadiku. 2006. Fundamentos de Circuitos Electricos. Mexico. Tercera edición. McGraw-Hill / Interamericana.
- Cory, Clarck. 2005. LabVIEW Digital Signal Processing and Digital Communications. Editorial McGraw-Hill. USA.
- Cortés, A. (30 de 06 de 2014). LVDT Linear Variable Differential Transformer. Obtenido de Sensor de Posición o Desplazamiento Lineal: <http://es.slideshare.net/TethAzraelCortsAguilar/lvdt-sensor-36474695> (Consulta: 2 de Mayo 2014)
- Edibon. (2014). Equipo de ensayo de fluencia Creep . Obtenido de <http://edibon.com/products/catalogues/es/units/mechanicsmaterials/strengthmaterials/EEFCR.pdf>. (Consulta: 2 de Mayo 2014).
- Electroaula. (2003). Introducción a LabVIEW curso de seis horas. Obtenido de www.electroaula.cat/elec/mod/resource/view.php?id=4018&redirect
- Electrónica. (2015). Varistor. Obtenido de <http://electronica-electronics.com/info/VDR-Varistor-MOV.html> (Consulta: 10 Junio 2015)

Equipment, p. T. (2016). Penetrómetro manual. Obtenido de [\http://www.ptec.com.co/esp/aplicaciones/derivados-del-petroleo-y-biocombustibles/penetracion/penetrometro-manual_19 (Consulta: 20 Mayo 2015).

Fernandez, G. (2005). Sensores Magnéticos e Inductivos. Obtenido de <http://www.uaeh.edu.mx/docencia/Tesis/icbi/licenciatura/documentos/Sensores%20magneticos.pdf> (Consulta: 2 Abril 2015)

Gonzales, S. (2009). Diseño Mecánico de un equipo para medida de la viscosidad en fluidos no newtonianos. Obtenido de <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/960/1/PFC3016.pdf>
II, M. (s.a). Materiales II Creep (fluencia lenta). Obtenido de <http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/Creep.pdf> (Consulta 15 Marzo 2015)

Joken. (3 de 08 de 2011). Como construir un LVDT y su driver analógico. Obtenido de <http://j0k3n.com/hardware/electronica/etapa-10w/> (Consulta: 15 Febrero 2015)

Marcombo, E. (s.a). LVDT. Obtenido de www.investigacion.frc.utn.edu.ar/sensores/LVDT/lvdt.pdf (Consulta: 10 Enero 2015).

Moreno, S. (2003). Introducción a la Instrumentación Virtual-Programación en LabVIEW. (Consulta: 10 Diciembre 2014).

Morgado, R. (2002). Reología y textura de los alimentos dirigido a la industria del chocolate. Obtenido de http://www.ecured.cu/Reolog%C3%ADa_de_los_alimentos (Consulta: 10 Octubre 2014)

Posada, C. (s.a). Como evitar interferencias. Obtenido de <http://www.todopic.com.ar/interferencias.htm> (Consulta: 20 Septiembre 2014)

Ramirez, J. (2006). Fundamentos de la Reología de alimentos. Obtenido de [http://tarwi.lamolina.edu.pe/~dsa/Fundamentos de Reologia.pdf](http://tarwi.lamolina.edu.pe/~dsa/Fundamentos_de_Reologia.pdf) (Consulta: 10 Septiembre 2014)

Ramirez, J. (2006). Introducción a la Reología de Alimentos. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=IVCAQal_ePkC (Consulta: 18 Julio 2014)

Salgado. (s.a). Los filtros pasivos de primer orden. Obtenido de <http://elemariamoliner.dyndns.org/~jsalgado/analogica/6CA-filtros.pdf> (Consulta: 25 Mayo 2014)

Soria, F. (2005). Revisión y Determinaciones experimentales de parámetros reológicos en alimentos. Obtenido de <https://cienciaeducativa2009.wikispaces.com/file/view/mitrabajofinal.pdf> (Consulta: 10 Abril 2014)

Tocci, Ronald. Sistemas Digitales: Principios y Aplicaciones. Mexico. Editorial Prentice Hall. 2007

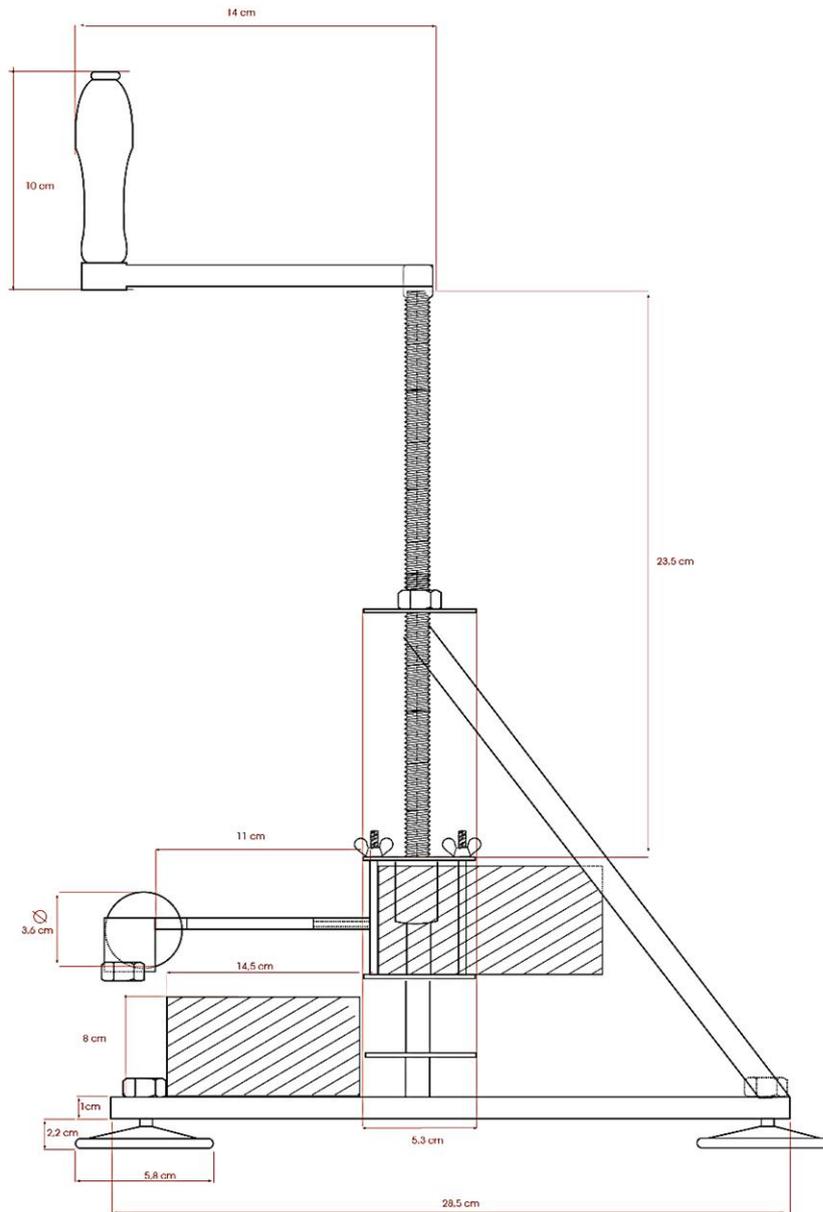
Yanez, V. (2010). Elaborar un manual de procedimiento para el diseño y construcción de transformadores. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2030/1/CD-2850.pdf> (Consulta: 20 Abril 2014).

Zuñiga, C. (2007). Estudio de la dureza del queso Edam por medio de análisis de perfil de textura y penetrómetría por esfera. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472007000100012 (Consulta: 25 Mayo 2014)

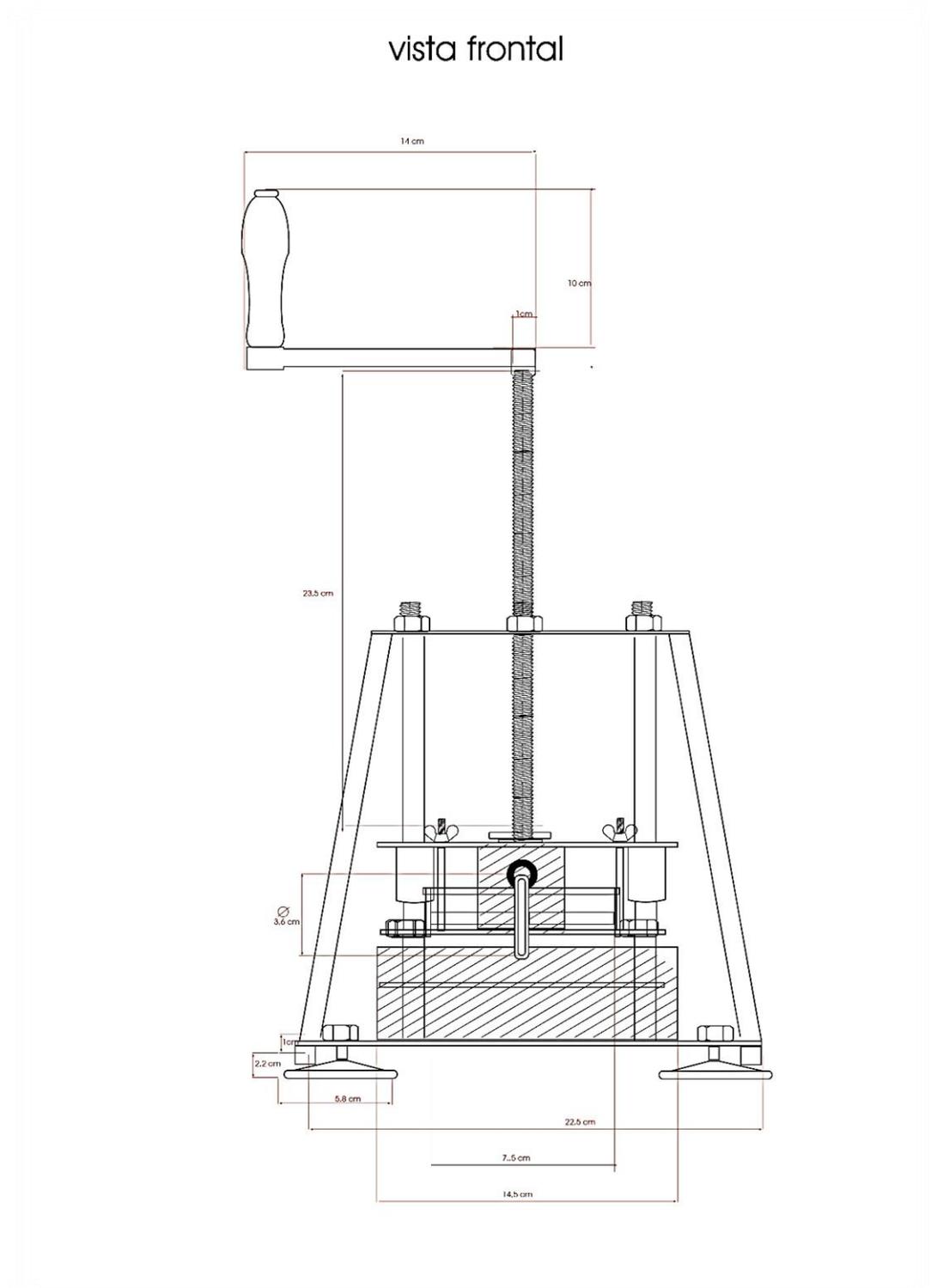
ANEXOS

ANEXO 1: Medidas del prototipo del Creep test

vista lateral

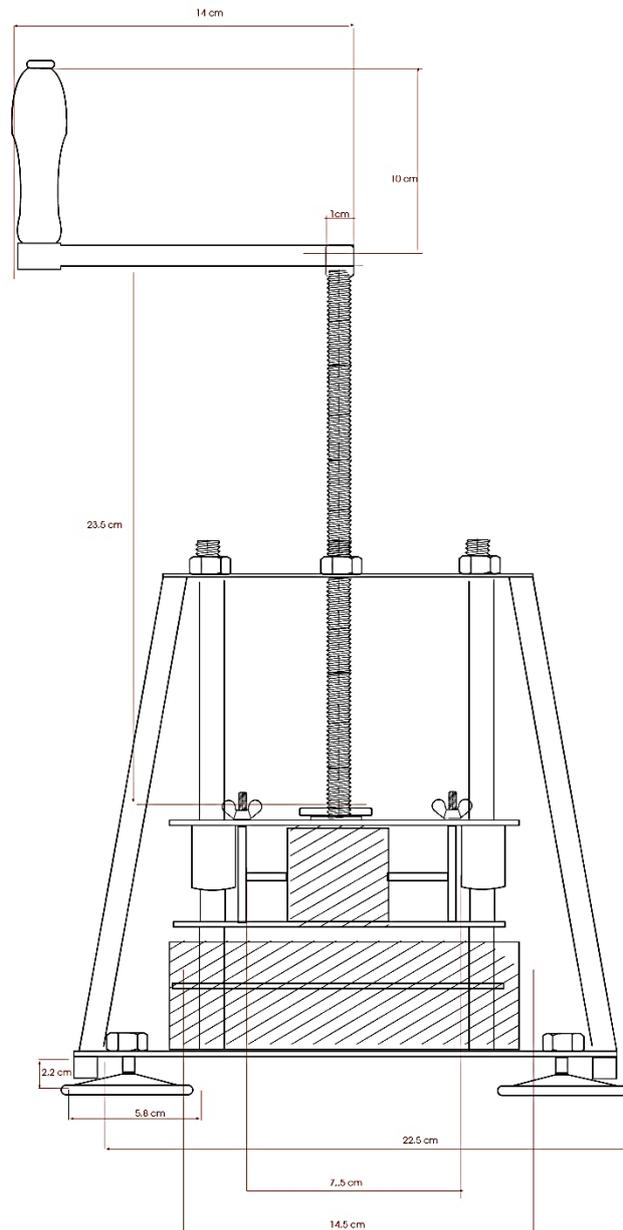


ANEXO 2: Medidas del prototipo del Creep test



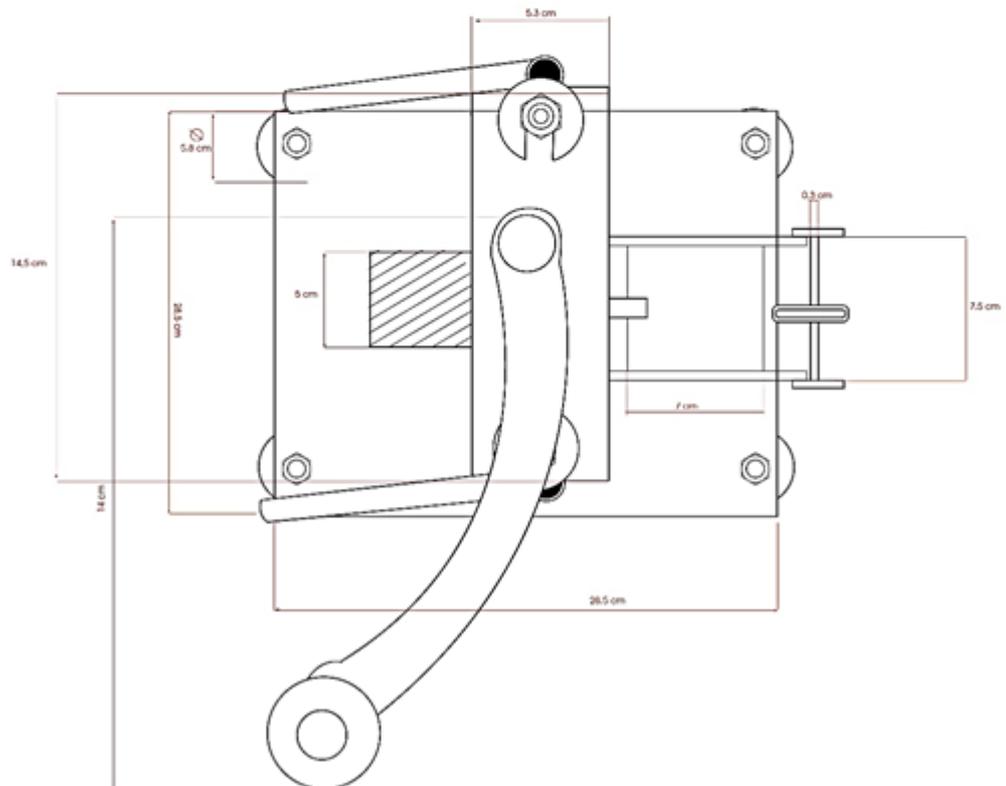
ANEXO 3: Medidas del prototipo del Creep test

vista posterior



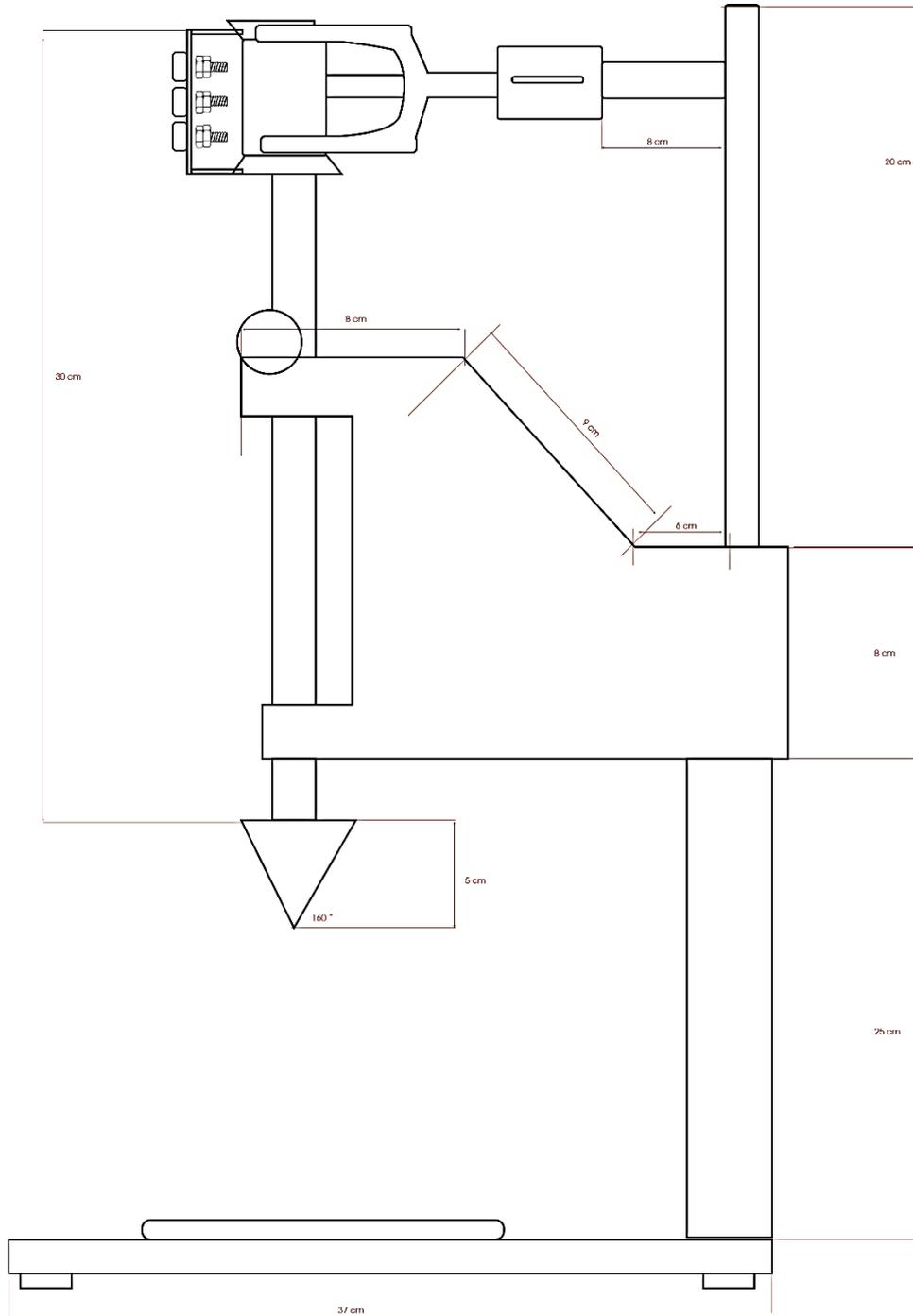
ANEXO 4: Medidas del prototipo del Creep test

vista superior



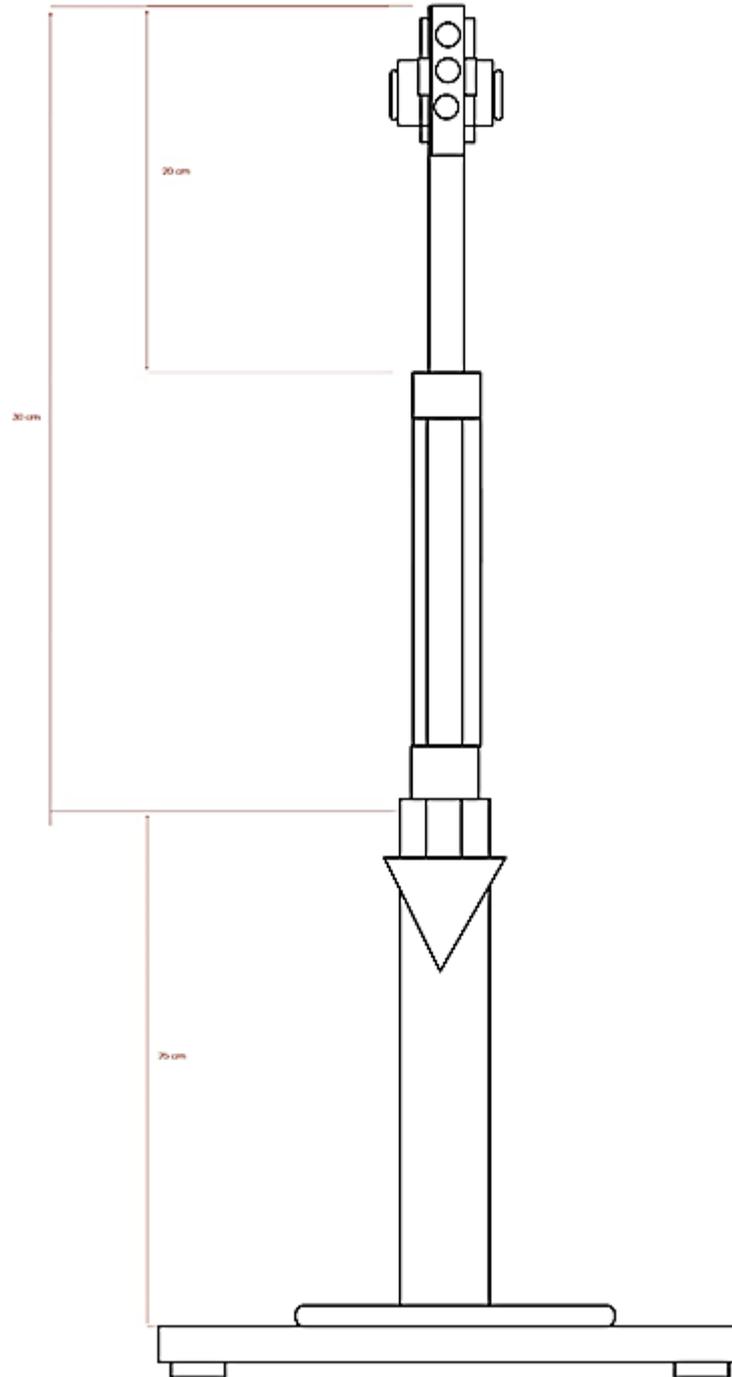
ANEXO 5: Medidas del Penetrómetro

vista lateral



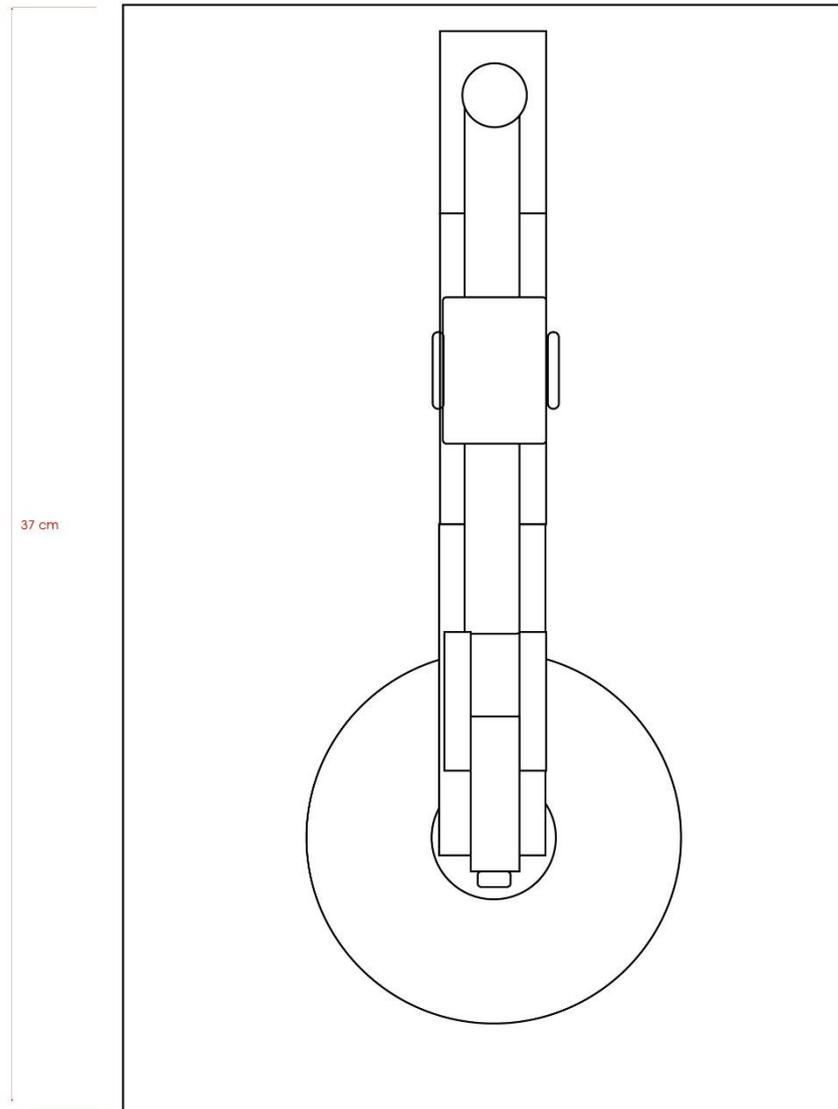
ANEXO 6: Medidas del Penetrómetro

vista frontal



ANEXO 7: Medidas del Penetrómetro

vista superior



ANEXO 8: Diagrama de bloques completo del software sobre LabVIEW

