



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PORTÁTIL PARA MEDICIONES DE DEFORMACIÓN EN ENSAYOS DE RESISTENCIA DE MATERIALES PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**

**MANFREDY ISMAEL CHUGÑAY CARGUA**

Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de:

**MAGÍSTER EN SISTEMAS DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN  
INDUSTRIAL**

Riobamba - Ecuador

Enero 2018

## ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL CHIMBORAZO

### CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, titulado “Diseño e implementación de un sistema portátil para mediciones de deformación en ensayos de resistencia de materiales para la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Chimborazo”, de responsabilidad del Sr. Ing. Manfredy Ismael Chugñay Cargua, ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

Dr. Juan Vargas Guambo; MSc.  
**PRESIDENTE**

---

FIRMA

Ing. Pablo Lozada Yanez; MSc.  
**DIRECTOR**

---

FIRMA

Ing. Cristhy Jiménez Granizo; Ph.D.  
**MIEMBRO**

---

FIRMA

Dra. Olga Barrera Cárdenas; Msc.  
**MIEMBRO**

---

FIRMA

Riobamba, Enero 2018

## **DERECHOS INTELECTUALES**

Yo, MANFREDY ISMAEL CHUGÑAY CARGUA, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

MANFREDY ISMAEL CHUGÑAY CARGUA  
No. Cédula: 060360960-3

## DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, MANFREDY ISMAEL CHUGÑAY CARGUA, declaro que el presente **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este proyecto de investigación de maestría.

Riobamba, Enero 2018

---

Manfredy Ismael Chugñay Cargua  
CI: 060360960-3

## **DEDICATORIA**

El presente Trabajo de Titulación está dedicado en primer lugar a Dios, por su fidelidad e inmenso amor demostrado en cada circunstancia de mi vida, a mi hermosa y bendecida familia por confiar en mí y en mi capacidad intelectual, a mis profesores que me alentaron e instruyeron en mi etapa estudiantil y a todas aquellas personas que de una u otra forma aportaron para la culminación de la carrera.

## **AGRADECIMIENTO**

Expreso un sincero agradecimiento a Dios por mi vida y todo lo que ha hecho posible para culminar mi formación profesional, a mi madre Olga Lucía Cargua por ser el pilar fundamental, la amiga constante que alentó y bendijo cada paso que di, a mi padre Francisco Marcelo Chugñay por ayudarme en todo y darme la fortaleza necesaria en lo que hacía, a mis hermanos por su apoyo incondicional mis amigos eternos de vida, a la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Chimborazo por abrir las puertas de sus aulas donde me permitieron desarrollar mis conocimientos y aptitudes en pro de la educación superior.

Manfredy

# CONTENIDO

RESUMEN.....	xiv
--------------	-----

SUMMARY .....	xv
---------------	----

## CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Problema de investigación.....	1
1.1.1. <i>Planteamiento del problema</i> .....	1
1.1.2. <i>Formulación del problema</i> .....	2
1.1.3. <i>Preguntas específicas de la investigación</i> .....	2
1.1.4. <i>Justificación de la investigación</i> .....	3
1.1.5. <i>Objetivos</i> .....	4
1.1.5.1. <i>Objetivo general</i> .....	4
1.1.5.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	4
1.1.6. <i>Hipótesis</i> .....	4

## CAPÍTULO II

2. MARCO DE REFERENCIA .....	5
2.1. Antecedentes del problema .....	5
2.2. Bases teóricas .....	6
2.2.1. <i>Sistema portátil</i> .....	6
2.2.2. <i>Resistencia de Materiales</i> .....	6
2.2.3. <i>Sensores Inductivos</i> .....	7
2.2.3.1. <i>Sensor de proximidad Inductivo</i> .....	7
2.2.3.2. <i>Sensor de inductancia variable</i> .....	7
2.2.3.3. <i>Transformador diferencial de variación lineal (LVDT)</i> .....	8
2.2.3.4. <i>Sensor Humboldt HM-2310.20</i> .....	9

<b>2.2.4. Amplificador instrumental</b> .....	9
2.2.4.1. Amplificador AD620.....	10
2.2.4.2. Amplificador AD623.....	12
2.2.4.3. Amplificador AD524.....	12
<b>2.2.5. Reguladores de Voltaje</b> .....	13
2.2.5.1. Regulador 7812 .....	14
2.2.5.2. Regulador 7912 .....	14
<b>2.2.6. Capacitor electrolítico</b> .....	15
<b>2.2.7. Filtrado</b> .....	15
<b>2.2.8. Arduino</b> .....	15
<b>2.2.9. Adquisición de datos y acondicionamiento de la señal.</b> .....	16
<b>2.2.10. Desarrollo de una Interfaz Hombre Máquina orientada al control de proceso.</b> .....	17
<b>2.2.11. Modelación Matemática.</b> .....	17

### CAPÍTULO III

<b>3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</b> .....	18
3.1. Tipo de investigación .....	18
3.2. Diseño de la investigación.....	18
3.3. Métodos y técnicas .....	18
3.4. Recursos .....	19
3.5. Planteamiento de la hipótesis .....	19
3.6. Desarrollo de la metodología propuesta .....	19
<b>3.6.1. Caracterización del sensor Humboldt</b> .....	20
<b>3.6.2. Diseño e implementación del sistema portátil</b> .....	21
3.6.2.1. Alimentación.....	22
3.6.2.2. Acondicionamiento de la señal del sensor Humboldt .....	23
3.6.2.3. Comunicación de la señal mediante dispositivo Arduino .....	25
3.6.2.4. Comunicación Arduino con plataforma LabView (HMI).....	27

## CAPÍTULO IV

<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>31</b>
<b>4.1.</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>31</b>
<i>4.1.1.</i>	<i>Ensayo 1.....</i>	<i>33</i>
<i>4.1.2.</i>	<i>Ensayo 2.....</i>	<i>35</i>
<i>4.1.3.</i>	<i>Ensayo 3.....</i>	<i>37</i>
<i>4.1.4.</i>	<i>Ensayo 4.....</i>	<i>39</i>
<i>4.1.5.</i>	<i>Ensayo 5.....</i>	<i>41</i>
<i>4.1.6.</i>	<i>Ensayo 6.....</i>	<i>43</i>
<b>4.2.</b>	<b>Prueba de Hipótesis.....</b>	<b>45</b>
<i>4.2.1.</i>	<i>Comparación del compresómetro análogo vs sistema portátil.....</i>	<i>45</i>
<i>4.2.1.1.</i>	<i>Bloque de 1mm .....</i>	<i>46</i>
<i>4.2.1.2.</i>	<i>Bloque de 2 mm .....</i>	<i>47</i>
<i>4.2.1.3.</i>	<i>Bloque de 5 mm .....</i>	<i>48</i>
<i>4.2.1.4.</i>	<i>Bloque de 10 mm .....</i>	<i>49</i>
<i>4.2.1.5.</i>	<i>Bloque de 20 mm .....</i>	<i>50</i>
<i>4.2.1.6.</i>	<i>Bloque de 25 mm .....</i>	<i>51</i>
<b>4.3.</b>	<b>Discusión de resultados .....</b>	<b>52</b>
<i>4.3.1.</i>	<i>Datos de deformación longitudinal con bloques patrón. ....</i>	<i>52</i>
<i>4.3.2.</i>	<i>Comparación entre el compresómetro análogo y el sistema portátil implementado... </i>	<i>52</i>
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>54</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>55</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-4:</b> Datos de deformación longitudinal del bloque de 1 mm .....	33
<b>Tabla 2-4:</b> Datos de deformación longitudinal del bloque de 2 mm .....	35
<b>Tabla 3-4:</b> Datos de deformación longitudinal del bloque de 5 mm .....	37
<b>Tabla 4-4:</b> Datos de deformación longitudinal del bloque de 10 mm .....	39
<b>Tabla 5-4:</b> Datos de deformación longitudinal del bloque de 20 mm .....	41
<b>Tabla 6-4:</b> Datos de deformación longitudinal del bloque de 25 mm .....	43
<b>Tabla 7-4:</b> Medias de deformación longitudinal obtenidas por los dos equipos .....	45
<b>Tabla 8-4:</b> Compendio de medias de deformación longitudinal de los bloques patrón .....	52
<b>Tabla 9-4:</b> Resultado de la prueba test t de Student .....	53

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b> Sensor de proximidad inductivo.....	7
<b>Figura 2-2:</b> Sensor de reluctancia variable.....	8
<b>Figura 3-2:</b> Sensor LVDT .....	9
<b>Figura 4-2:</b> Diagrama de conexión amplificador AD620. ....	11
<b>Figura 1-3:</b> Transductor de deformación lineal Humboldt.....	20
<b>Figura 2-3</b> Esquema de pines del sensor Humboldt.....	20
<b>Figura 3-3:</b> Instalaciones de los componentes en el equipo portátil. ....	21
<b>Figura 4-3:</b> Voltaje máximo que emite el sensor Humboldt en el equipo .....	21
<b>Figura 5-3:</b> Diagrama de conexión y de bloques de las partes del sistema portátil. ....	22
<b>Figura 6-3:</b> Fuente simétrica .....	22
<b>Figura 7-3:</b> Esquema etapa de acondicionamiento de la señal del sensor.....	23
<b>Figura 8-3:</b> Voltaje estabilizado con reguladores 7812 y 7912.....	23
<b>Figura 9-3:</b> Esquema de conexión fuente simétrica y amplificador AD620.....	24
<b>Figura 10-3:</b> Diagrama de conexión amplificador AD620. ....	24
<b>Figura 11-3:</b> Visualización de la señal filtrada del sensor .....	25
<b>Figura 12-3:</b> Conexión sensor, amplificador, arduino y PC. ....	26
<b>Figura 13-3:</b> Esquema de reemplazo del equipo portátil de ensayo de materiales. ....	26
<b>Figura 14-3:</b> Instalación de las librerías en Labview para Arduino. ....	27
<b>Figura 15-3:</b> Instalación del puerto de entrada de señal para Arduino. ....	27
<b>Figura 16-3:</b> Interfaz Labview en Arduino. ....	28
<b>Figura 17-3:</b> Diseño de la interfaz gráfica en Labview para el equipo portátil.....	28
<b>Figura 18-3:</b> Diagrama de bloques de programación para nuestro equipo portátil.....	29
<b>Figura 19-3:</b> Desarrollo del diseño de nuestro portátil. ....	29
<b>Figura 1-4:</b> Sistema portátil y compresómetro Marshall para mediciones de deformaciones. .	31
<b>Figura 2-4:</b> Bloques patrón de 1mm hasta 25mm. ....	32

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

<b>Gráfica 1-4:</b> Gráfica e histograma de normalidad de la data del bloque de 1 mm.....	34
<b>Gráfica 2-4:</b> Gráfica e histograma de normalidad de la data del bloque de 2 mm.....	36
<b>Gráfica 3-4:</b> Gráfica e histograma de normalidad de la data del bloque de 2 mm.....	38
<b>Gráfica 4-4:</b> Gráfica e histograma de normalidad de la data del bloque de 10 mm.....	40
<b>Gráfica 5-4:</b> Gráfica e histograma de normalidad de la data del bloque de 20 mm.....	42
<b>Gráfica 6-4:</b> Gráfica e histograma de normalidad de la data del bloque de 25 mm.....	44

## ÍNDICE DE ANEXOS

**ANEXO A.** EQUIPOS DE MEDICIÓN DE DEFORMACIÓN

**ANEXO B.** LECTURAS DE DEFORMACIÓN LONGITUDINAL

## RESUMEN

En el presente trabajo se diseñó e implementó un sistema portátil para mediciones de deformación en ensayos de resistencia de materiales en la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Chimborazo. Se procedió a la caracterización del sensor determinando que dos de sus pines sirven para la alimentación y dos pines para la señal que genera, se inició el diseño en función de estos parámetros; la alimentación del sistema portátil fue mediante una fuente simétrica, la fuente alimentó tanto al sensor como al amplificador AD620, se realizó el acondicionamiento de la señal emitida por el sensor, mediante la regulación del voltaje al amplificador con integrados 7812 y 7912, además del filtrado de la señal para disminución de ruido por medio de un capacitor de 330uF; acondicionada la señal se desarrolló la comunicación al Arduino para su transmisión hacia la plataforma Lab view; se diseñó la interfaz hombre máquina (HMI) para la obtención de la variable de deformación longitudinal y modelo matemático del sistema portátil. Como resultado se obtuvo que la función que rige el comportamiento del sensor corresponde a  $y = 14,9182 x - 4,6783$  basada en el estudio ejecutado por Jácome M.(2017); se obtuvo mediante ensayos con seis bloques patrón con el sistema portátil implementado datos de deformación longitudinal con errores relativos porcentuales menores al 1% y con distribuciones de tipo normal; al compararlo con un equipo de referencia denominado compresómetro análogo se determinó que este arroja datos precisos mediante un test T de Student con un nivel de confianza del 95%. Se recomienda realizar investigaciones dentro de esta área a otros tipos de sensores que puedan implementarse para cuantificar otras propiedades mecánicas de los materiales ingenieriles como tracción, tensión o fuerza, resistividad térmica entre otras.

**Palabras claves:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <CONTROL AUTOMÁTICO>, <INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL>, <SISTEMA PORTÁTIL>, <DEFORMACIÓN LONGITUDINAL >, < RESISTENCIA DE MATERIALES>, <MODELAMIENTO>, <ANÁLISIS DE DATOS>.

## SUMMARY

The present work designed and implemented a portable system for deformation measurements in materials resistance tests in the civil engineering career of the National University of Chimborazo. It proceeded to the characterization of the sensor by determining that two of its pins served for the powering and two pins for the signal that generates. The design started in function of these parameters. The power supply of the portable system was by means of a symmetrical source, the source powered so much the sensor and amplifier AD620. It performed the conditioning of the emitted signal by the sensor through the regulation of the voltage to the amplifier with integrated, 7812 and 7912. In addition to the filtering of the signal for diminishing the noise through a 330 uF capacitor. Once the signal repaired, the communication performed to the Arduino for transmission to Lab view platform. The Human-Machine Interface (HMI) designed to obtain the variable of longitudinal deformation and mathematical model of the portable system. As a result, it obtained that the function that rules the behavior of the sensor corresponds to  $y=14,9182 x - 4,6783$  based on the study executed by Jácome M. (2017); it obtained through tests with six pattern blocks with the portable system implemented data of longitudinal deformation with percentage relative errors less than 1% with distributions of normal type when compared with a reference equipment called analogous compressometer determined that this yields accurate data through a Student's T-test with a confidence level of 95%. The present work recommends performing research within this area other types of sensors than can be implemented to quantify other mechanical properties of engineering materials such as traction, tension or strength, thermal resistivity among others.

Keywords: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCIES>, <AUTOMATIC CONTROL>, <INDUSTRIAL INSTUMENTATION>, <PORTABLE SYSTEM>, <LONGITUDINAL DEFORMATION>, < RESISTANCE OF MATERIALS>, <MODELING>, <DATA ANALYSIS >

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Problema de investigación

#### 1.1.1. *Planteamiento del problema*

Las universidades hoy en día están inmersas en diferentes campos de la globalización que implica tres estados: economía, sociedad y cultura. Siendo así que se torna en una fuerza de reorganizar procesos en el uso de nuevas tecnologías y economías para la innovación, convirtiéndose en fuentes más relevantes en producción transformándose así en medios de ganancia.

La educación superior tiene como finalidad desarrollar los grandes potenciales del ser humano, con lo que logran adquirir herramientas para una estabilidad productiva y digna. Así también está inmersa en varios campos de la industria como son: Turismo, Desarrollo del Software, Mecatrónica, Telecomunicaciones, Salud, Ingeniería Civil, Química, Minería, Seguridad, etc. De esta manera cada uno toma un espacio importante formando una universidad con un alto intelecto social.

Siendo un campo importante para el desarrollo del estado, considerada también como una profesión creativa, el estudio de la Ingeniería Civil requiere de conocimientos como: química, física y la elaboración de infraestructuras siendo esta importante ya que deben cumplir estructuras de diseño, mantenimiento y construcción. La mayoría de los productos desarrollados que han facilitado de manera amplia a la sociedad como: el transporte, la comunicación, la salud los edificios, las hidroeléctricas, las represas, las carreteras, en donde todos los elementos que se conjugaron para su creación conllevan a un proceso de ingeniería.

La Ingeniería Civil tiene como finalidad la creación de soluciones a problemas ocasionales y se enfoca a la transformación y creación de ciertos elementos que utiliza el hombre (Fitzgerald R., 1996). En la carrera de Ingeniería civil de la Universidad Nacional de Chimborazo la determinación de propiedades mecánicas de los materiales son usados en diseños de ingeniería,

se determinan bajo pruebas destructivas en muestras estandarizadas del material, es decir, son sometidas a la acción de un tipo de fuerza hasta ser fracturadas, dando así lugar al término de “propiedad mecánica”, siendo ésta muy importante y significativa en la selección de materiales en diseño ingenieril, cuya función principal de las piezas es soportar fuerza, estas prácticas son frecuentes por los estudiantes.

Actualmente en el laboratorio de Ensayo de Materiales, existe un equipo que realiza tales mediciones, pero con algunas limitaciones de consideración, pues se ha detectado que una vez encendido antes de iniciar el ensayo como después de finalizarlo ya reporta datos que no son verdaderos, el tiempo que posee el experimentador entre ver el dato de interés y anotarlo es demasiado corto, todos los datos que son arrojados por el equipo deben ser registrados manualmente ya que no los guarda en algún programa además no puede ser movilizado a otro lugar fuera del laboratorio para ser utilizado, ya que requiere ser calibrado nuevamente.

Por lo anterior expuesto la presente investigación plantea resolver dicha problemática con la implementación de un sistema portátil para mediciones de deformación en ensayos de resistencia de materiales para la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Chimborazo.

### ***1.1.2. Formulación del problema***

¿Se puede diseñar e implementar un sistema portátil para mediciones de deformación en ensayos de resistencia de materiales para la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Chimborazo?

### ***1.1.3. Preguntas específicas de la investigación***

¿Cuál es el diagnóstico actual del equipo que se encuentra en el laboratorio de ingeniería civil de la Universidad Nacional de Chimborazo?

¿Qué desarrollo teórico-práctico podemos realizar para adquirir datos del sensor Humboldt en mediciones de deformación longitudinal de resistencia de materiales?

¿Qué desarrollo teórico-práctico podemos usar para la interpretación de datos en el computador?

¿Qué desarrollo teórico-práctico podemos usar para que el sistema permita almacenar la información en sistemas computarizados y que permitan realizar informes?

¿Cuáles son las pruebas a realizarse con el equipo portátil para la medición de deformación longitudinal?

#### ***1.1.4. Justificación de la investigación***

¿Qué se obtiene con la investigación?

La construcción de un equipo portátil que realiza mediciones de deformación longitudinal en ensayos de resistencia de materiales y con ellos tener una referencia de la presión que soportan y el comportamiento dinámico de los mismos.

¿Qué resultados se adquirirá?

Tener un equipo portátil que mejore las mediciones de deformación que soportan los materiales en el laboratorio de ensayo de materiales en el laboratorio de la Universidad Nacional de Chimborazo y que además se pueda registrar los datos en un sistema computarizado para procesarlos.

¿Cuáles son los beneficiarios?

Laboratorio de ensayos de resistencia materiales de la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Chimborazo, junto con sus docentes y estudiantes para el desarrollo de prácticas, tesis e investigación.

¿Cuál es la finalidad de la investigación?

Esta investigación permitirá automatizar el proceso de ensayo de materiales de forma independiente y portátil para así obtener datos del sensor en tiempo real además de su almacenamiento en un sistema computarizado para su posterior procesamiento. El diseño del equipo contempla la implementación de un proceso de auto encendido que reducirá tiempos muertos en la calibración del sensor en los ensayos de materiales, además de permitir ubicarlo en cualquier lugar de la cámara, reportando flexibilidad en esta labor. La información que obtenemos debe ser procesada con formulaciones matemáticas del área civil para entender sus implicaciones técnicas por ello es necesario automatizar este proceso y almacenar estos datos en un medio digital como hojas de cálculo Excel, reduciendo errores en la toma manual de datos y el tiempo necesario.

¿Cuáles son los aportes de trascendencia que dejará?

Uso de metodologías de investigación para modelar la operación del sensor de presión en base a tablas de datos de su funcionamiento y no en base a su función de transferencia pues desconocemos los componentes físicos del mismo, lo cual es muy importante para su aplicación en modelados de plantas industriales u otros sistemas de control automático. Además del estudio de un adecuado sistema portátil de adquisición de señales y acondicionamiento del mismo pues la señal de operación es en mili voltios con mucho ruido.

### **1.1.5. Objetivos**

#### *1.1.5.1. Objetivo general*

Diseñar e implementar un sistema portátil para mediciones de deformación en ensayos de resistencia de materiales para la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Chimborazo.

#### *1.1.5.2. Objetivos específicos*

- Construir el equipo para la adquisición de datos del sensor y ser enviados al computador.
- Diseñar la interfaz gráfica en LabView para la interpretación de los datos en el computador.
- Incluir en el diseño de la interfaz gráfica (HMI) en LabView un sistema que nos permita almacenar la información de los ensayos en un sistema computarizado de datos para su posterior procesamiento.
- Probar el sistema portátil tomando medidas de deformación longitudinal con placas normalizadas del laboratorio en tiempo real.

### **1.1.6. Hipótesis**

El diseño e implementación de un sistema portátil permite obtener datos del sensor en tiempo real de la deformación en ensayos de resistencia de materiales además de su almacenamiento en un sistema computarizado para su posterior procesamiento.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO DE REFERENCIA

#### 2.1. Antecedentes del problema

La Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Chimborazo, cuenta con un laboratorio de Ensayos de resistencias de Materiales que consta de un equipo de compresión Marshall el mismo que en pruebas de ensayo no entrega información confiable ya que arroja datos erróneos, tiempo de respuesta corta que no se logra evidenciar y copiar el dato, no existe un programa para el almacenamiento de los datos, no se puede hacer las pruebas fuera del laboratorio, etc. Es por esto que gracias al desarrollo de las nuevas tecnologías se diseña e implementa un sistema portátil con el fin de mejorar la capacidad del equipo, brindando datos confiables de los ensayos, seguridad para el desarrollo de sus diseños. Así dando un aporte al desarrollo e innovación tecnológica al laboratorio con un sistema portátil único.

Se hace referencia a algunos trabajos realizados por otros autores que fueron considerados en el desenvolvimiento de nuestro trabajo como: Triviño, J.I, Giraldo, W. J. & Trefftz, H. (2016) para la generación de una interfaz gráfica de usuario propone un método basado en datos que permitirá generar automáticamente un prototipo funcional de la interfaz de usuario a partir del uso de datos.

Cuando la cantidad de datos necesarios para un procesamiento adecuado de la información es alta algunos autores proponen usar morfologías matemáticas como Rodríguez (2016) que determinó que si los datos no son muy dispersos como probablemente sea nuestro caso, podemos seguir el tratamiento de la información para datos específicos que representen nuestra población de datos.

Por último Apablaza & Muñoz (2016) presenta en su trabajo un modelo genérico para la adquisición de las señales y una etapa de filtrado por medio de las placas Arduino para ser interpretadas en un lenguaje de sistemas de control y automatización.

La generación de una interfaz de usuario propone un método basado en datos que permite generar automáticamente un prototipo funcional de la interfaz de usuario a partir del uso de

datos. Siendo importante el entorno en el que se encuentra estructurado nuestro sistema a diseñar, que es una herramienta de programación gráfica que está orientada para aplicaciones de control de equipos que son utilizados para el desarrollo de sistemas de instrumentación, también se encuentra inmersa en este proceso como ente importante de la instrumentación virtual la comunicación.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Sistema portátil**

Según Castillo Juan (2014), se entiende por sistema portátil al equipo electrónico de transferencia de datos, que trabaja con una alimentación de tensión reducida habitualmente menor a 48 voltios, disipa muy baja potencia, contiene varios elementos como: sensores, reguladores de voltaje, amplificadores, capacitores, transistores. En estos equipos la energía eléctrica se destina a producir ciertos efectos electrónicos y no al accionamiento directo de mecanismos.

### **2.2.2. Resistencia de Materiales**

Su estudio trata de garantizar que las estructuras cumplan dos importantes condiciones: rigidez y resistencia, así también como la deformación y ruptura, asegurando que las estructuras sean funcionales y seguras. Por lo que es necesario el cálculo de fuerzas internas que se producen en elementos estructurales.

De acuerdo con Salazar (2007), una fuerza interna produce un esfuerzo actuante que trata de romper el elemento (material), depende del esfuerzo resistente del material y sus dimensiones para que un elemento tienda a romperse.

Las fuerzas internas producirán deformaciones del elemento, es decir, la resistencia de materiales se encarga del cálculo de los esfuerzos y deformaciones que se producirán en un elemento. (Salazar, 2007, p.12).

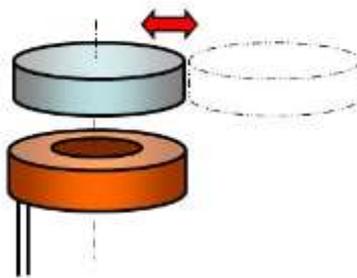
### 2.2.3. *Sensores Inductivos*

Los transductores de desplazamiento o transductores de posición, son empleados para medir diferentes rangos de distancia y obtener así una relación entre la magnitud física y la magnitud eléctrica que es la empleada en los equipos de automatización o adquisición estándar.

Los rangos de estos transductores de distancia son muy amplios, ya que las necesidades reales también lo son, desde rangos mínimos de unas pocas micras, hasta rangos muy elevados de larga distancia, 200m, por ejemplo.

#### 2.2.3.1. *Sensor de proximidad Inductivo*

Un sensor de proximidad inductivo es aquel que detecta la presencia de cualquier objeto metálico sin necesidad de un contacto físico, consta de un oscilador que crea un campo electromagnético alterno delante de la cara sensible, la frecuencia del campo varía entre 100 y 600 KHz según sea el modelo, presenta una excelente resistencia ambiental por no encontrarse expuesta a polvo o salpicaduras de aceite (Iglesias Arturo,2013, p.1), es utilizado en circuitos NPN y PNP en la industria de la automatización de automóviles, industria de alimentos (Chávez Raúl, 2016) .



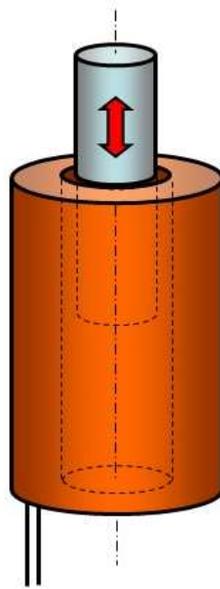
**Figura 1-2:** Sensor de proximidad inductivo

Fuente: <http://www.zettlex.com/es/articulos/sensores-inductivos-funcionan/>

#### 2.2.3.2. *Sensor de inductancia variable*

Este tipo de sensor es utilizado en varias condiciones físicas de operación, su funcionamiento consiste en que el campo de un imán permanente es deformado al paso de un objeto de alta reluctancia como los dientes de un engranaje metálico, el cambio induce en el campo un voltaje en una bobina colocada rodeando al imán, la magnitud del voltaje depende de la velocidad con la que el objeto de alta reluctancia pasa frente al campo magnético y cuando es suficientemente

grande puede ser empleado en contadores o indicadores de velocidad directamente; este sensor presenta alta sensibilidad, impone poca carga mecánica, es utilizado para medidas de desplazamiento y posición como también para detectar proximidades de objetos metálicos férricos en entornos industriales con polvo y vibraciones (Sánchez G., 2013, p.1).

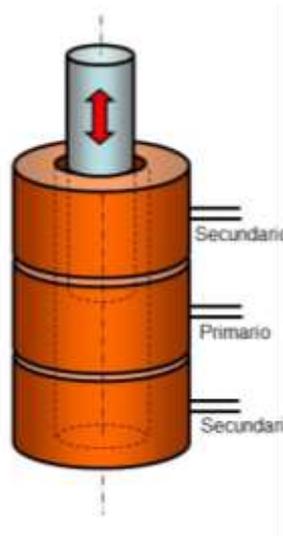


**Figura 2-2:** Sensor de reluctancia variable

Fuente: <http://www.zettlex.com/es/articles/sensores-inductivos-funcionan/>

### 2.2.3.3. Transformador diferencial de variación lineal (LVDT)

Pallas Areny (1994), establece que el transformador diferencial variable lineal es un dispositivo de sensado de posición que provee un voltaje de salida de CA proporcional al desplazamiento de su núcleo que pasa a través de sus arrollamientos. Provee una salida lineal para pequeños desplazamientos mientras el núcleo permanezca dentro del bobinado primario, la distancia exacta es función de la geometría del LVDT. Su funcionamiento es muy similar a cualquier otro transformador, consta de un bobinado primario, bobinado secundario y un núcleo magnético, la señal portadora (corriente alterna) se aplica al bobinado primario produciendo un campo magnético variable alrededor del núcleo, este campo magnético induce un voltaje alterno en el bobinado secundario que está próximo al núcleo, la señal inducida en el bobinado secundario es una relación del número de espiras.



**Figura. 3-2:** Sensor LVDT

Fuente: <http://www.zettlex.com/es/articulos/sensores-inductivos-funcionan/>

#### 2.2.3.4. Sensor Humboldt HM-2310.20

Es un transductor de conversión de deformación lineal, son instrumentos de medición de tensión extremadamente precisos y confiables. Su tamaño compacto no requiere un módulo (Catálogo Humboldt, 2012). Entre sus características tenemos:

- Alta resolución y rendimiento superior a LVDT.
- Menos de 250 g de fuerza elástica en el husillo.
- No linealidad mejor que  $\pm 0.1\%$  de la deflexión a escala completa.
- Histéresis - compensado con una linealidad mejor que  $\pm 0.1\%$  de la escala completa en ambas direcciones.
- Efecto de temperatura insignificante.
- Carcasa de acero inoxidable para la protección del medio ambiente.
- Rango de temperatura de funcionamiento de 0 a 70 ° C. Requiere entrada de 10 V CC; salida hasta 6.5 mV por voltio.

#### 2.2.4. Amplificador instrumental

Es un amplificador diferencial cuya ganancia puede establecerse de forma muy precisa y que ha sido optimizado para que opere de acuerdo a su propia especificación aún en un entorno hostil. Es un elemento esencial de los sistemas de medida, en los que se ensambla como un bloque

funcional que ofrece características funcionales propias e independientes de los restantes elementos con los que interacciona. (Drake, 2005, p.3).

Requisitos generales de un amplificador instrumental:

- Ganancia: seleccionable, estable, lineal.
- Entrada diferencial: con CMRR alto.
- Error despreciable debido a las corrientes y tensiones de offset
- Impedancia de entrada alta
- Impedancia de salida baja

Son amplificadores diferenciales con una ganancia diferencial precisa y estable, generalmente en el rango de 1 a 1000. Su ganancia diferencial se controla mediante un único elemento analógico (potenciómetro resistivo) o digital (conmutadores) que facilita su ajuste. Su ganancia en modo común debe ser muy baja respecto de la ganancia diferencial, esto es, debe ofrecer un CMRR muy alto en todo el rango de frecuencia en que opera. Una impedancia de entrada muy alta para que su ganancia no se vea afectada. Una impedancia de salida muy baja para que su ganancia no se vea afectada por la carga que se conecta a su salida. Una anchura de banda ajustada que se necesita en el diseño. Un factor de ruido muy próximo a la unidad, esto es, que no incremente el ruido. Una razón de rechazo al rizado a la fuente de alimentación muy alto (Drake, 2005, p.3).

#### *2.2.4.1. Amplificador AD620*

El AD620 es un amplificador de instrumentación monolítico basado en una modificación del enfoque clásico de tres amplificadores operacionales. Permite al usuario programar la ganancia con precisión (para 0.15% en  $G = 100$ ) con solo una resistencia. Su construcción monolítica y el permite la coincidencia estrecha y seguimiento de los componentes del circuito, garantizando así el alto nivel del rendimiento inherente en este circuito.

Los transistores de entrada Q1 y Q2 proporcionan un solo par diferencial entrada bipolar para alta El restador de ganancia unitaria A3 elimina cualquier señal de modo común, produciendo una salida de terminación única referida al pin REF potencial.

El valor de  $R_G$  también determina la transconductancia de la etapa de preamplificación. Como  $R_G$  se reduce para ganancias más grandes, la transconductancia aumenta asintóticamente al de los transistores de entrada. Esto tiene tres ventajas importantes:

- a) La ganancia en lazo abierto es impulsado para aumentar la ganancia programada, reduciendo así la ganancia relacionada a errores.
- b) El producto de ancho de banda de ganancia (determinado por  $C_1$ ,  $C_2$  y la transconductancia del preamplificador) aumenta, optimizando así la respuesta de frecuencia.
- c) El ruido del voltaje de entrada se reduce a un valor de  $9 \text{ nV} / \text{Hz}$ , determinado principalmente por la corriente del colector y la resistencia de la base de los dispositivos de entrada.

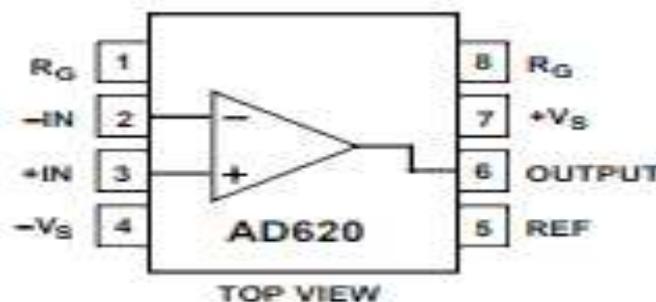
Las resistencias internas de ganancia,  $R_1$  y  $R_2$ , se recortan a un valor absoluto valor de  $24.7 \text{ k}\Omega$ , permitiendo que la ganancia sea programada con precisión con una sola resistencia externa (Analogic Devices, 1999).

Ganancia

$$G = \frac{49,4 \text{ k}\Omega}{R_G} + 1 \quad \text{Ec. 1}$$

Resistencia de ganancia

$$R_G = \frac{49,4 \text{ k}\Omega}{G - 1} \quad \text{Ec. 2}$$



**Figura 4-2:** Diagrama de conexión amplificador AD620.

Fuente: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/48090/AD/AD620.html>

#### 2.2.4.2. Amplificador AD623

El amplificador de instrumentación AD623 de suministro es aquel que entrega una salida de riel a riel en una única fuente que va de +3 V a +12 V además ofrece al usuario la programación de resistencias de ganancia única.

El AD623 tiene la configuración de una ganancia de unidad es decir  $G = 1$  y con una resistencia externa, así también esta apta para ser programada para ganancias de hasta 1.000, tiene errores mínimos que al aumentar la ganancia aparece el ruido de línea, armónicos de línea que al mismo tiempo son rechazados por el CMRR que permanece constante hasta 200 Hz.

Posee una entrada amplia de rango de modo común que tiene la capacidad de amplificar las señales que poseen un voltaje muy bajo de 150 mV y que todavía proporciona un rendimiento alto cuando el suministro de voltaje dual es de  $\pm 2.5$  V a  $\pm 6.0$  V. Su consumo de energía es de (1.5 mV a 3 V), amplio voltaje de suministro y el balanceo en la salida de carril a riel hacen que el AD623 sea ideal para aplicaciones con batería.

En la etapa de salida de riel a riel nos permite maximiza el rango cuando se trabaja con voltajes bajos de la fuente. El AD623 reemplaza el amplificador de instrumentación discreto y ofrece una linealidad superior, estabilidad de temperatura y fiabilidad en un mínimo de espacio (Analogic Devices, 1997).

#### 2.2.4.3. Amplificador AD524

El amplificador de instrumentación monolítico AD524 de precisión se adapta a todas las aplicaciones que requieren que los datos adquiridos tengan una alta precisión en condiciones extremas de operación, tiene una linealidad alta, compensa las perturbaciones del ruido por lo que es eficiente para los sistemas de tomas de datos.

El AD524 posee un voltaje de salida bajo de 25 mV, así también un voltaje de desplazamiento en su entrada inferior a los 0.5 mV, una ganancia unitaria de 120 dB con su  $G = 1000$  y con su máxima linealidad del 0.003% cuando su  $G = 1$ . Para la adquisición de los datos a una alta velocidad posee una salida de 5V para ganancias de 1 a 100.

Este amplificador de instrumentación de precisión es eficiente ya que no se necesita de un dispositivo externo para obtener ganancias fijas, salvo el caso que se requiera mayor exactitud

se puede añadir una sola resistencia en las configuraciones de 1 y 1000. Además tiene una protección para el encendido como para el apagado en caso de fallas.

El amplificador monolítico está disponible de acuerdo a versiones de precisión y su rango de temperatura, el grado de deriva económico A, el grado de deriva bajo B, y el grado más bajo de deriva C, mientras más bajo sea la deriva mayor será su linealidad. Su rango de temperatura va desde  $-25^{\circ}\text{C}$  a  $+85^{\circ}\text{C}$ , se encuentran disponibles en paquetes DIP y SOIC de cerámica de 16 derivaciones y portador de chips sin plomo de 20 terminales (Analogic Devices, 1997).

### **2.2.5. Reguladores de Voltaje**

Un regulador de voltaje se aplica a un dispositivo de control que regula la tensión para dar una salida de régimen continuo. Debe eliminar el ripple y por otro lado, debe poseer una impedancia de salida adecuada, con el fin de que la tensión regulada a la salida se mantenga independiente de la carga, siempre que ésta varíe entre los límites exigidos del diseño, es decir, a la salida de la fuente de alimentación no estabilizada. Los reguladores pueden ser tipo serie (el dispositivo de control se conecta en serie con la carga y para regular la salida en todos los casos debe absorber parte de la tensión de alimentación) o paralelo (regulador en derivación, el dispositivo de control está en paralelo con la carga y para efectuar la regulación, debe dejar pasar corriente en todos los casos) (Huiracán, 2012, p.1).

Requerimientos de un regulador

- Debe Mantener la tensión de salida de una manera constante e independiente de las actuaciones de todas las entradas y además la temperatura.
- Es importante mantener la tensión constante en la salida, a todos los requerimientos de corriente de carga.
- En el voltaje de salida es importante no poseer componentes de ondulación en la entrada
- Es necesario que la fuente tenga un sistema que limite la corriente de salida que es la protección del regulador.

Es importante que el regulador permanezca con un voltaje sin carga, o a su vez con carga, siempre y cuando se entregue una corriente a la salida.

### 2.2.5.1. Regulador 7812

Es un circuito integrado monolítico diseñado como regulador de voltaje fijo para una amplia variedad de aplicaciones. Estos reguladores emplean limitación de corriente interna, apagado térmico y compensación del área segura. Con un adecuado disipador de calor pueden entregar corrientes de salida superiores a 1.0 A. A pesar de que se encuentran diseñados principalmente como un regulador de voltaje fijo, según el Datasheet 7812 estos dispositivos se pueden usar con componentes externos para obtener voltajes y corrientes ajustables.

#### Características

- Corriente de salida en exceso de 1.0 A
- No se requieren componentes externos
- Protección interna de sobrecarga térmica
- Límite de corriente de cortocircuito interno
- Compensación del área segura del transistor
- Voltaje que ofrece a la salida en un 2% y en 4%
- El rango de temperatura comercial de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+125^{\circ}\text{C}$

### 2.2.5.2. Regulador 7912

La serie de reguladores 79XX consta de tres terminales negativos. Los reguladores están disponibles en el paquete TO-220 y con varios voltaje de salida fijo, haciéndolos útiles en una amplia gama de solicitud. Cada tipo emplea limitación de corriente interna, apagado térmico y protección de área segura, por lo que es esencialmente indestructible (Datasheet 7912).

#### Características

- Corriente de salida hasta 1A
- Voltaje de salida disponible -5V; -6V; -8V; -12V; -15V; -18V; -24V
- Protección de sobrecarga térmica
- Protección contra cortocircuitos

### **2.2.6. Capacitor electrolítico**

Bolaños D. (2011) establece que este tipo de capacitador está formado por una armadura de metal y otra está constituida por un conductor iónico o electrolítico. Presentan altos valores capacitivos en relación al tamaño y en su mayoría aparecen polarizados.

Existen dos tipos de capacitores electrolíticos según su composición:

1. **Electrolíticos de aluminio:** Son aquellos donde la armadura metálica es de aluminio y el electrolito es de tetraborato armónico (Bolaños D., 2011, p.2).
2. **Electrolíticos de tántalo:** El dieléctrico está constituido por óxido de tántalo, presentan altos valores capacitivos que los de aluminio para un mismo tamaño, soportan tensiones nominales menores que los de aluminio y su coste es algo más elevado (Bolaños D., 2011, p.2).

### **2.2.7. Filtrado**

El fin del filtro es eliminar las señales no deseadas de la señal que estamos observando. Por ejemplo, en las señales cuasi-continuas, (como la temperatura) se usa un filtro de ruido de unos 4 Hz, que eliminará interferencias, incluidos los 50/60 Hz de la red eléctrica. Se necesita un circuito rectificador para convertir una señal que tenga un valor promedio cero en otra que tenga un promedio diferente de cero (Pallas, 2003, p.806).

### **2.2.8. Arduino**

Según Ojeda L. T. (2006), arduino es una plataforma de prototipo electrónica de código abierto (open-source) basada en hardware y software, flexible y fácil de usar. Está pensado para crear objetos o entornos interactivos.

Arduino puede sentir el entorno mediante la recepción de entradas desde una variedad de sensores El microcontrolador de la placa se programa usando el Arduino Programming Language (basado en Wiring) y el Development Environment (basado en Processing). Los proyectos de la plataforma Arduino pueden ser autónomos o se pueden comunicar con software en ejecución en un ordenador.

Las placas se pueden ensamblar a mano o adquirirlas preensambladas; el software se puede descargar gratuitamente. Los diseños de referencia del hardware (archivos CAD) están

disponibles bajo licencia open-source, por lo que es libre de adaptar a la necesidad del programador.

### ***2.2.9. Adquisición de datos y acondicionamiento de la señal.***

La adquisición de datos o adquisición de señales consiste en la toma de muestras del mundo real (sistema analógico) para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador u otras electrónicas (sistema digital). Consiste en tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora o PAC. Se requiere una etapa de acondicionamiento, que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital. El elemento que hace dicha transformación es el módulo de digitalización o tarjeta de adquisición de datos (DAQ).

La adquisición de datos se inicia con el fenómeno físico o la propiedad física de un objeto (objeto de la investigación) que se desea medir. Esta propiedad física o fenómeno podría ser el cambio de temperatura o la temperatura de una habitación, la intensidad o intensidad del cambio de una fuente de luz, la presión dentro de una cámara, la fuerza aplicada a un objeto, o muchas otras cosas. Un eficaz sistema de adquisición de datos puede medir todas estas diferentes propiedades o fenómenos.

Un sensor es un dispositivo que convierte una propiedad física o fenómeno en una señal eléctrica correspondiente medible, tal como tensión, corriente, el cambio en los valores de resistencia o condensador, etc. El término transductores es sinónimo de sensores en sistemas de DAQ. Hay transductores específicos para diferentes aplicaciones, como la medición de la temperatura, la presión, o flujo de fluidos. DAQ también despliega diversas técnicas de acondicionamiento de Señales para modificar adecuadamente diferentes señales eléctricas en tensión, que luego pueden ser digitalizados usando CED. Las señales pueden ser digitales (también llamada señales de la lógica) o analógicas en función del transductor utilizado.

El acondicionamiento de señales suele ser necesario si la señal desde el transductor no es adecuado para la DAQ hardware que se utiliza. La señal puede ser amplificada o desamplificada, o puede requerir de filtrado, o un cierre patronal, en el amplificador se incluye para realizar demodulación. Varios otros ejemplos de acondicionamiento de señales podría ser el puente de conclusión, la prestación actual de tensión o excitación al sensor, el aislamiento, linealización, etc. Este pretratamiento de la señal normalmente lo realiza un pequeño módulo acoplado al transductor.

### ***2.2.10. Desarrollo de una Interfaz Hombre Máquina orientada al control de proceso.***

Según Mera (2009), en los procesos industriales existe una fuerte tendencia a la automatización de sus diferentes fases, en especial la relacionada al control de procesos, toda vez que es la parte determinante en cuanto a la calidad del resultado final; la importancia de que exista una buena comunicación entre el operario y la máquina como parte de un sistema de control de procesos automatizado, radica en que sólo así se podrán analizar las diferentes anomalías que puedan suceder en un intervalo de tiempo determinado; asimismo, también se podrán ajustar los diversos parámetros relacionados al proceso de control.

### ***2.2.11. Modelación Matemática.***

El modelo matemático es una descripción de un sistema donde las relaciones entre las variables del sistema se expresan de forma matemática. Las variables pueden ser cantidades medibles, tales como el tamaño, la longitud, el peso, la temperatura, el nivel de desempleo, el flujo de información, la velocidad medida en bits por segundo, etc. (Fritzson, 2015).

Los sistemas representados mediante modelos matemáticos en un computador se denominan a menudo prototipos virtuales. El proceso de construir e investigar tales modelos es el prototipo virtual. Algunas veces, el término modelado físico se emplea también para el proceso de construir modelos matemáticos de sistemas físicos en el computador. Esto es así cuando el proceso de estructuración y síntesis del modelo matemático es el mismo que el usado para la construcción de los modelos físicos reales (Fritzson, 2015).

## CAPÍTULO III

### 3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicativo y experimental.

- **Aplicativo:** ya que se basa en conocimientos existentes, derivados de investigaciones previas, dirigidos al diseño e implementación de un sistema portátil para medición de deformación longitudinal en ensayos de materiales.
- **Experimental:** ya que se basa en pruebas realizadas en escenarios de laboratorio, en las que se manipulan variables controladas, estudiando los efectos que se produce en la toma de deformación longitudinal presente en materiales.

#### 3.2. Diseño de la investigación

**Diseño de la investigación:** Cuasi-experimental

La investigación sigue un diseño cuasi-experimental a través del cual es posible comparar el desempeño del sistema portátil de medición de deformación longitudinal implementado frente al desempeño del compresómetro análogo que es el equipo de referencia del laboratorio.

#### 3.3. Métodos y técnicas

##### Métodos

**Método deductivo:** Dado que se inicia con el análisis de la teoría en sistemas de control, automatización industrial, análisis estadístico inferencial, para aplicarlos en el diseño de un sistema portátil de medición de deformación longitudinal de materiales.

Método analítico: Dado que se analizó cada una de las partes que compone el sistema portátil implementado, siendo estas: alimentación, acondicionamiento de la señal del sensor, comunicación con Arduino, HMI.

### **Técnicas de recolección de datos**

Datos primarios: Observación científica, entrevistas, experimentación.

Datos secundarios: Bibliografía

### **Técnicas para comprobar la hipótesis**

Para el análisis e interpretación de la información se utilizó análisis inferencial mediante el test T de Student, prueba de normalidad de datos de deformación longitudinal mediante software Minitab 17.

### **3.4. Recursos**

Recursos humanos: Asesor docente, colaboradores

### **3.5. Planteamiento de la hipótesis**

Hipótesis general

El diseño e implementación de un sistema portátil permite obtener datos del sensor en tiempo real de la deformación en ensayos de resistencia de materiales además de su almacenamiento en un sistema computarizado para su posterior procesamiento.

### **3.6. Desarrollo de la metodología propuesta**

Para el desarrollo del diseño e implementación del sistema portátil, se procedió a:

- Caracterización del sensor Humboldt
- Diseño de las partes del sistema portátil
- Implementación de las partes del sistema portátil
- Análisis de datos obtenidos de deformación longitudinal por el sistema portátil

- Comparación del sistema portátil implementado con el equipo de referencia del laboratorio de ensayo de materiales.

### 3.6.1. Caracterización del sensor Humboldt



**Figura 1-3:** Transductor de deformación lineal Humboldt  
Realizado por: Manfredy I. Chugñay C.

El sensor está formado con 6 pines en la parte de su conector de los cuales cuatro son utilizados de la siguiente manera, dos de ellos para la alimentación (positiva cable naranja y negativa cable azul) y dos para señal (señal de mayor potencial cable blanco/negro y menor potencial cable blanco/azul).

A continuación se muestra el esquema de los pines del sensor Humboldt en donde se visualiza los respectivos colores de cableado.



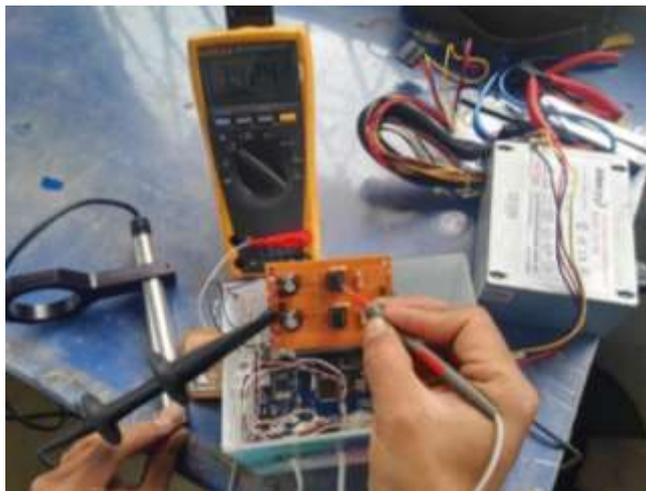
**Figura 2-3** Esquema de pines del sensor Humboldt.  
Realizado por: Manfredy Chugñay

Así también el sensor HUMBOLDT tiene un rango de voltaje acondicionado de 0 a 10V DC (generalmente es entre 0 – 100mV). En la figura 5-3 se observa las conexiones eléctricas en el equipo portátil para medir y muestrear los voltajes. Todos los pines del sensor están en conexión directa al equipo portátil y únicamente los pines de señal en paralelo al multímetro.



**Figura 3-3:** Instalaciones de los componentes en el equipo portátil.  
Realizado por: Manfredy Chugñay

En el ensayo se obtienen y se registran los datos de voltaje y deformación. En donde se aprecia que el multímetro detecta los valores de voltaje emitidos por el sensor HUMBOLDT:

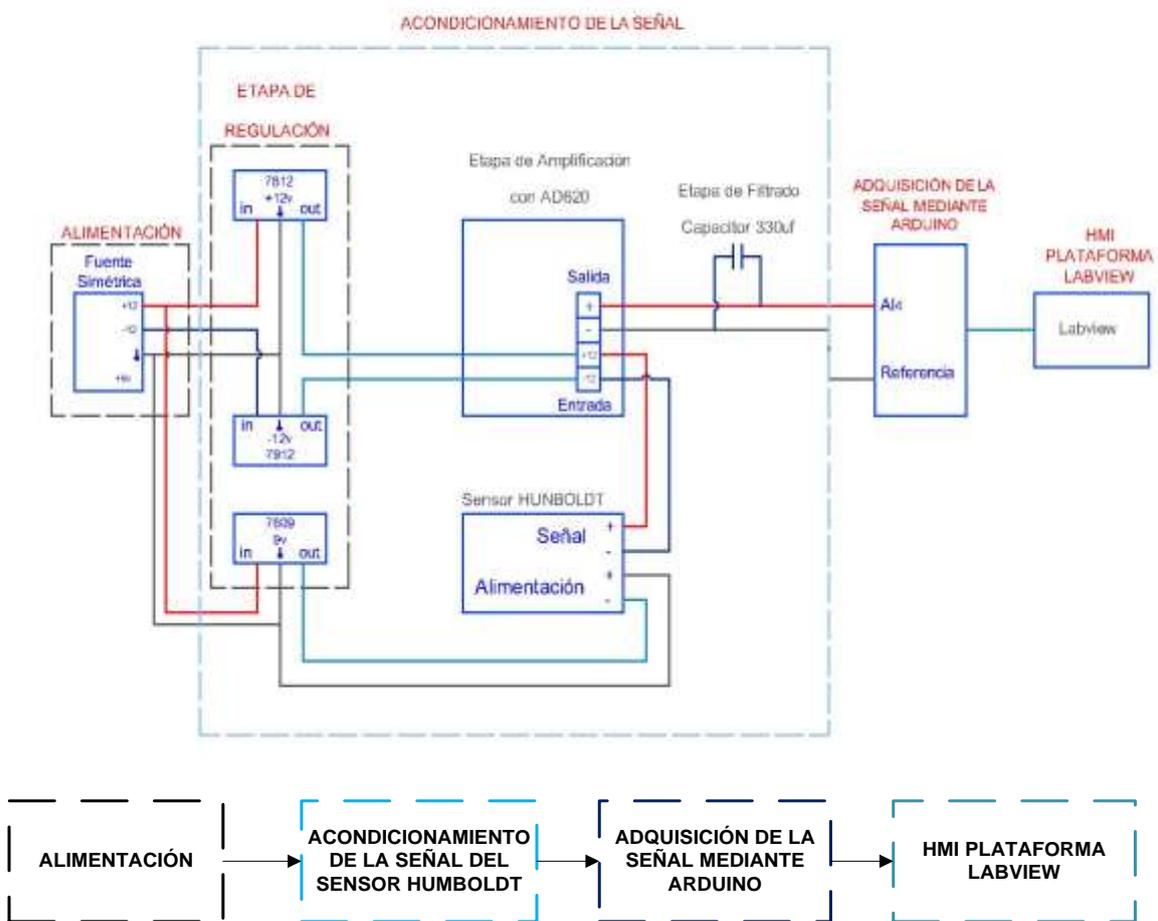


**Figura 4-3:** Voltaje máximo que emite el sensor Humboldt en el equipo  
Realizado por: Manfredy Chugñay

### 3.6.2. *Diseño e implementación del sistema portátil*

El sistema portátil diseñado está compuesto por las siguientes partes:

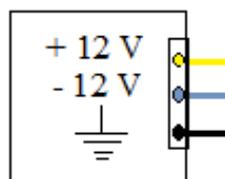
- Alimentación mediante una fuente simétrica de  $\pm 12$  V
- Acondicionamiento de la señal de salida del sensor mediante reguladores de voltaje, amplificador instrumental, capacitor para filtrado.
- Comunicación de la señal mediante Arduino
- Comunicación Arduino con plataforma LabView (HMI).



**Figura 5-3:** Diagrama de conexión y de bloques de las partes del sistema portátil.  
**Realizado por:** Manfredy Chugñay

### 3.6.2.1. Alimentación

La etapa de alimentación para el sistema portátil está dado por una fuente simétrica de  $\pm 12$  V, GND, mismo que suministra el voltaje a los reguladores, amplificador AD620, arduino y sensor HUMBOLDT.



**Figura 6-3:** Fuente simétrica  
**Realizado por:** Manfredy Chugñay

### 3.6.2.2. Acondicionamiento de la señal del sensor Humboldt

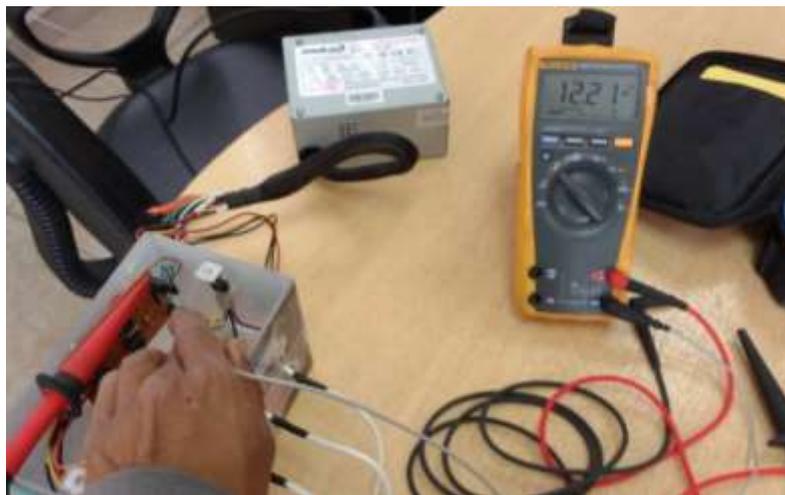


**Figura 7-3:** Esquema etapa de acondicionamiento de la señal del sensor  
Realizado por: Manfredy Chugñay

El sensor Humboldt requiere de una alimentación con voltaje fijo de 9 V, por lo que es necesario integrar una etapa de regulación de voltaje, por otra parte la transmisión de la señal de salida del sensor hacia la plataforma arduino directamente no es posible debido a las características que posee el software con lecturas de entrada en Voltios, es por ello que se añade una etapa de amplificación de la señal del sensor a través de un amplificador instrumental.

#### *Regulación de voltaje*

Para obtener el voltaje fijo para la alimentación del sensor Humboldt se utilizó un integrado 7809 que permitió regular el voltaje de la fuente simétrica a 9V, así también se necesitó regular el voltaje de la fuente simétrica para la alimentación del amplificador instrumental AD620 por medio de los integrados 7812 conectado al pin siete (7, +Vs), y 7912 conectado al pin cuatro (4, - Vs), de los que se obtiene un voltaje fijo de  $\pm 12V$  respectivamente.

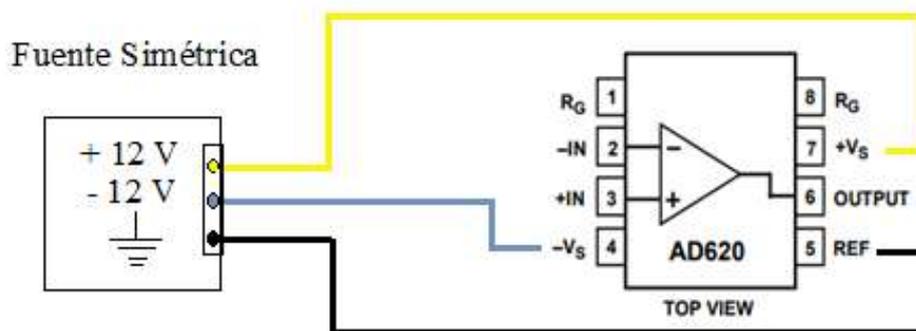


**Figura 8-3:** Voltaje estabilizado con reguladores 7812 y 7912  
Realizado por: Manfredy Chugñay

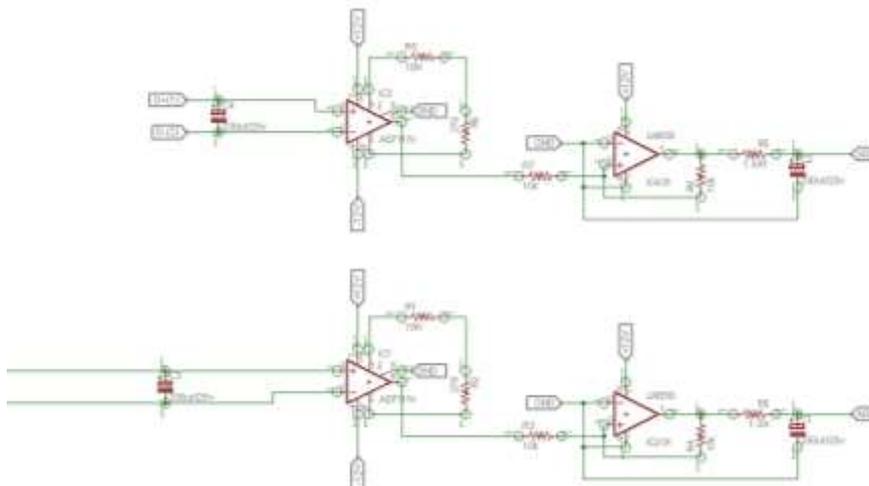
### Amplificación de la señal mediante el integrado AD620

Se añade esta etapa de amplificación dado que las señales de salida del sensor están en mV, y no será posible su comunicación directamente con la plataforma arduino debido a que está diseñado para lecturas de entrada en voltios.

El integrado AD620 tiene un rango de alimentación de  $\pm 2.3 \text{ V}$  a  $\pm 18 \text{ V}$ , en la figura 8-3 se observa las conexiones eléctricas de la fuente simétrica al amplificador AD620 del equipo portátil, a través de los pines de conexión 7 (+Vs) y 4 (-Vs).



**Figura 9-3:** Esquema de conexión fuente simétrica y amplificador AD620.  
Realizado por: Manfredy Chugñay



**Figura 10-3:** Diagrama de conexión amplificador AD620.  
Realizado por: Manfredy Chugñay

### *Filtrado de la señal*

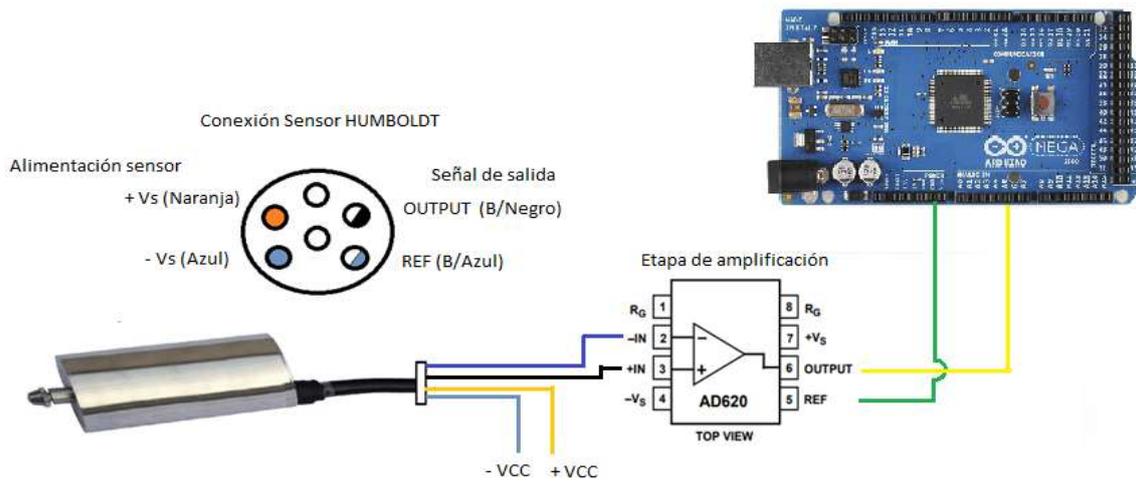
La señal amplificada del sensor Humboldt requiere de una etapa de filtrado con el fin de emitir una señal pura, el filtrado de ruido se lo hizo mediante un capacitador electrolítico de 330 uF, este amplificador es ideal para la adquisición de datos de precisión, requiere de una sola resistencia externa que se conecta a los pines 1 y 8, apto para aplicaciones portátiles y posee un bajo nivel de ruido, su diagrama de conexión es como se presenta en la figura.



**Figura 11-3:** Visualización de la señal filtrada del sensor  
Realizado por: Manfredy Chugñay

### *3.6.2.3. Comunicación de la señal mediante dispositivo Arduino*

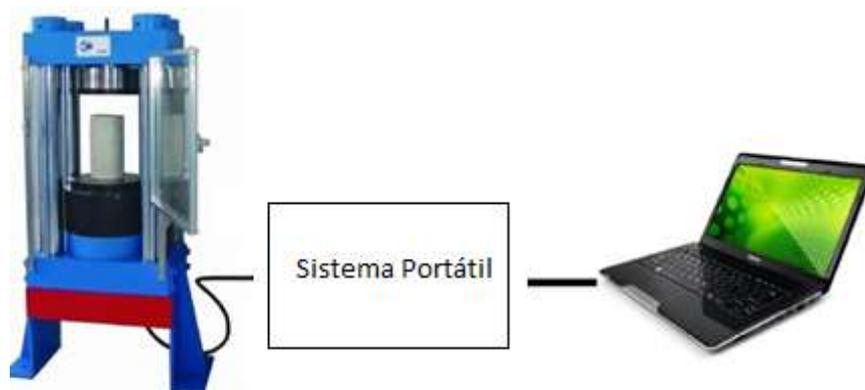
Una vez acondicionada la señal del sensor Humboldt, esta se envía a la plataforma Arduino que trabaja como tarjeta de adquisición de señales, es decir, recibe esta información, la procesa y envía al computador. Como se puede apreciar en la figura 12-3.



**Figura 12-3:** Conexión sensor, amplificador, arduino y PC.  
Realizado por: Manfredy Chugñay

El Arduino mega está formado de dieciséis pines que son entradas de tipo analógicas cuya numeración que va desde el A0 hasta el A15. Para la utilización de las pines de entradas, se puede hacer la lectura en cada uno de ellos un sensor. La alimentación del sensor por medio de los cables +Vcc y -Vcc se realiza mediante una fuente simétrica. El cable de color verde se conecta al pin GND de la placa arduino mega, mientras que para conectar el cable de color amarillo que es la señal amplificada del sensor Humboldt, se debe utilizar una entrada analógica cualquiera en el Arduino.

En la figura 13-3 se muestra el esquema de reemplazo del equipo portátil en el ensayo de materiales.



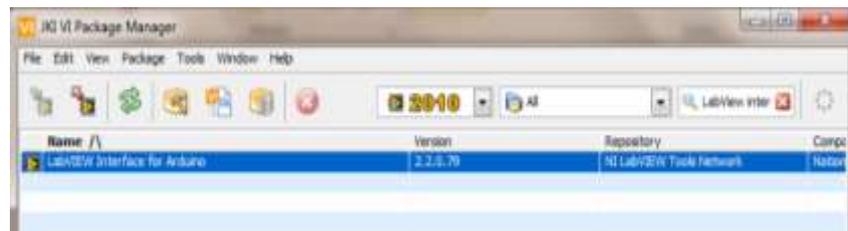
**Figura 13-3:** Esquema de reemplazo del equipo portátil de ensayo de materiales.  
Realizado por: Manfredy Chugñay

#### 3.6.2.4. Comunicación Arduino con plataforma LabView (HMI)

Para la comunicación software del Arduino Mega con Labview se necesitó instalar:

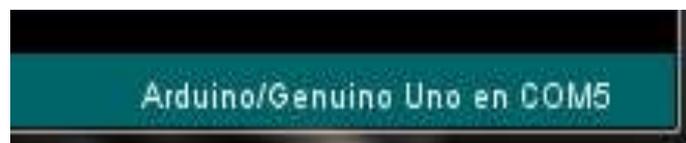
- Programa LabView
- Herramientas VI package manager (VI PM)
- Comunicación entrada arduino NI VISA de LabView (NI)
- Comunicación salida Software de Arduino

El control del proceso se hace en LabView y la adquisición de datos con la tarjeta Arduino Mega. Se debe verificar que las versiones de VI PM y NI sean compatibles con la versión de LabView. La versión entre el software Arduino debe ser igual a la versión de la plataforma LabView que además debe ser la más reciente. Se abre el VI Package Manager, se busca LabView Interface for Arduino y se lo instala. Con esto se tiene las herramientas en LabView para manejar el Arduino.



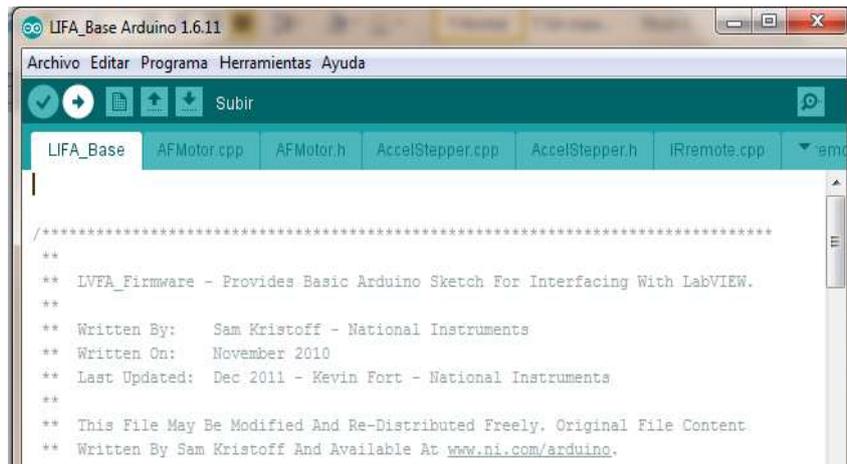
**Figura 14-3:** Instalación de las librerías en Labview para Arduino.  
**Realizado por:** Manfredy Chugñay

Se instala en el Arduino la librería Lifa\_base.ino para que LabView maneje la información que reciba de la tarjeta. En el software Arduino se configura el puerto COM.



**Figura 15-3:** Instalación del puerto de entrada de señal para Arduino.  
**Realizado por:** Manfredy Chugñay

Se abre el archivo Lifa\_base.ino para transferir a la placa arduino



**Figura 16-3:** Interfaz Labview en Arduino.

Realizado por: Manfredy Chugñay

Se sube el archivo al Arduino y se cierra el software teniendo así el control y programación en LabView. De esta manera la tarjeta solamente adquiere datos del sensor y los envía al computador. Se procede a correr el programa que se realizó en la plataforma Labview.

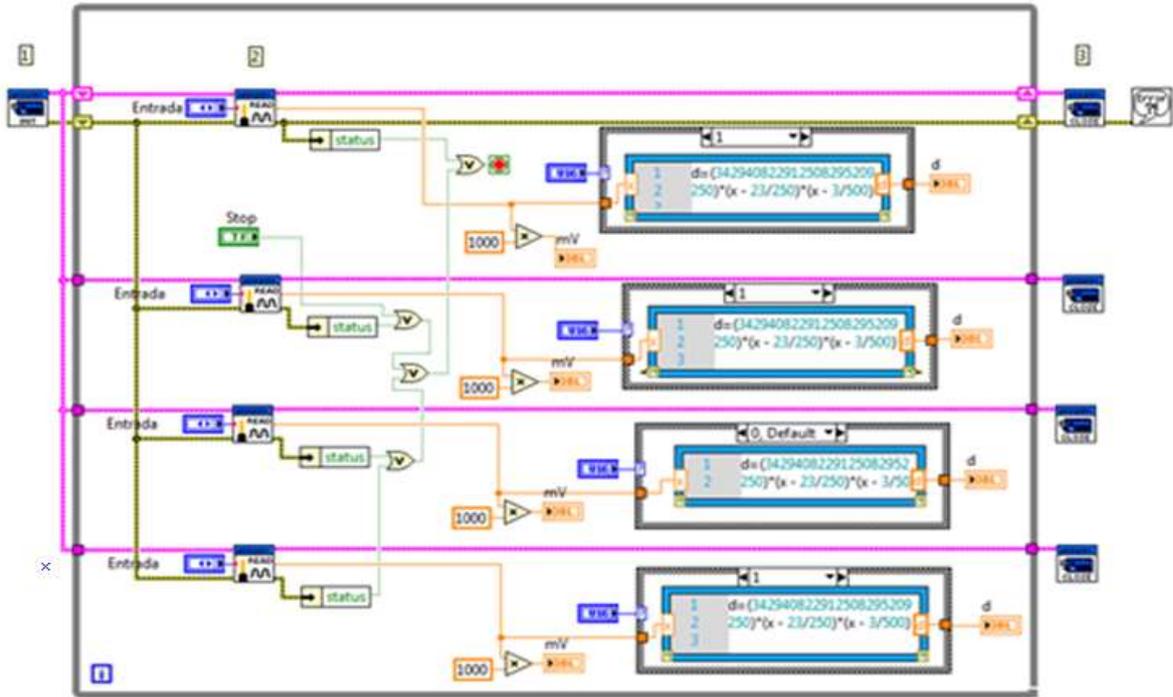


**Figura 17-3:** Diseño de la interfaz gráfica en Labview para el equipo portátil.

Realizado por: Manfredy Chugñay

#### *Desarrollo del HMI en Labview.*

Se ha diseñado el programa en LabView para conectar 2 de las 16 entradas analógicas A0 a A15 disponibles en la tarjeta. El diagrama de bloque de nuestro sistema es el que se muestra en la figura 18-3.



**Figura 18-3:** Diagrama de bloques de programación para nuestro equipo portátil.  
Realizado por: Manfredy Chugñay

Sus etapas son: apertura del puerto Com para detectar los datos que envía el Arduino y cierre del puerto cuando se detiene el proceso o se sale del bucle while al pulsar el botón detener en el panel frontal. Se tiene: las entradas AI4 y AI5 en el Arduino (donde se conectó el sensor), los mili voltios (mV) que se recibe, la deformación (d), el intervalo de carga de ingreso de datos, botón para el ingreso de datos hacia un sistema computarizado (Excel) y botón para encerrar la deformación independiente de la posición del sensor. La presentación final de nuestro HMI se aprecia en la figura 19-3.



**Figura 19-3:** Desarrollo del diseño de nuestro sistema portátil.  
Realizado por: Manfredy I. Chugñay C.

*Modelo matemático del sistema portátil.*

Se conoce que la función que rige a este sensor es de tipo lineal, misma que fue determinada por Jácome M. (2017) para lo cual se requiere la toma de nodos (voltaje, deformación longitudinal) donde el primer nodo se llama  $x_0$  (medida sin placa cuando el sensor empieza a enviar datos de voltaje diferente del vacío) y el segundo nodo  $x_1$  medida de la placa de 25mm.

Obteniendo así la función  $y = 14,9182 x - 4,6783$  siendo esta la ecuación del diseño del sistema portátil bajo los parámetros establecidos por los bloques patrón para el modelo del comportamiento del sensor HUMBOLDT.

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

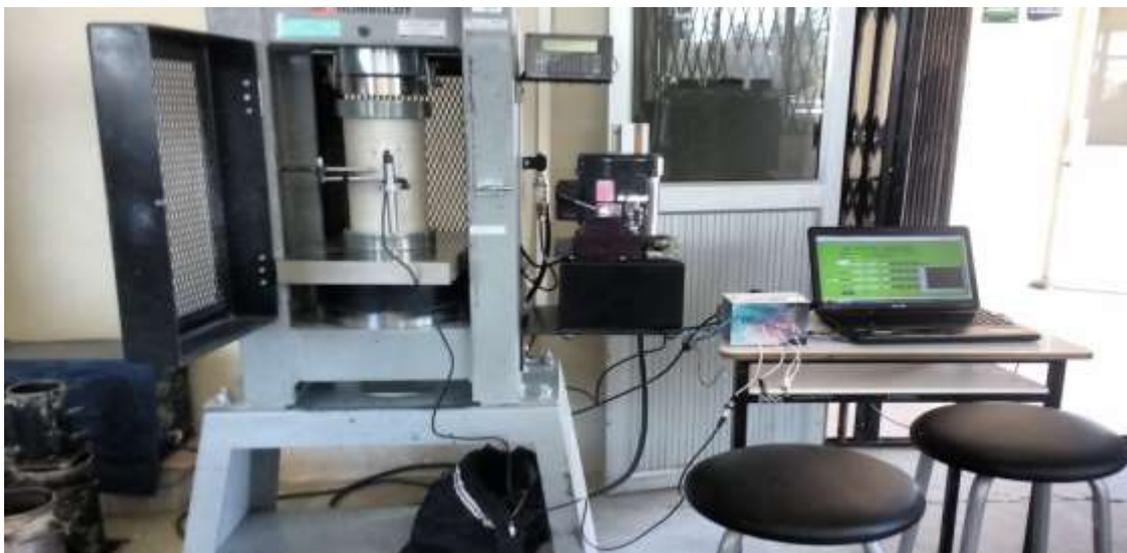
#### 4.1. Resultados

Con el desarrollo de este trabajo de investigación se lograron los siguientes resultados:

Se determinó de manera clara las conexiones de cada uno de los pines que contiene el sensor HUMBOLDT, luego de esto se acondicionó una etapa de amplificación para que la señal del sensor que viene dada en milivoltios sea leída por el arduino ya que este trabaja en una rango de voltios.

Así también se realizó el filtrado de la señal junto con la regulación del voltaje de alimentación para obtener como resultado una señal pura para que se encuentre lista para ser transmitida y leída por el software arduino.

Inmediatamente estos datos fueron transmitidos hacia la plataforma Labview, que fueron procesados mediante el modelo matemático que rige el sistema, mismo que fue determinado en la investigación realizada por Jácome M. (2017) y tomada como referencia en este trabajo, la función encontrada fue  $y \approx 14,9182x - 4,6783$ , óptima para el cálculo de la variable de deformación longitudinal.



**Figura 1-4:** Sistema portátil y compresómetro Marshall para mediciones de deformaciones.  
Realizado por: Manfredy Chugñay

Se evaluó la legibilidad de los datos de deformación longitudinal obtenidos por el sistema portátil mediante bloques patrón con tamaños definidos en milímetros. Las placas disponibles en el laboratorio fueron de 1mm, 2mm, 5mm, 10mm, 20mm y 25 mm.

Se realizaron 20 observaciones de cada bloque patrón para su posterior análisis en la comparación del sistema portátil implementado frente al equipo de referencia del laboratorio mediante el test T de Student, mismo que requiere entre 20 y 30 observaciones de cada muestra(bloque patrón) a comparar y además por el grado de confiabilidad que requiere el análisis. Se trabajó con un 95 % de confiabilidad.

Se realizaron pruebas de normalidad al conjunto de observaciones de cada bloque patrón, ya que como se utilizó el test T de Student para la comparación de los equipos, como requerimiento preliminar para su ejecución es que el conjunto de datos de cada bloque patrón siga una distribución de tipo normal.



**Figura 2-4:** Bloques patrón de 1mm hasta 25mm.  
Realizado por: Manfredy I. Chugñay C.

#### 4.1.1. Ensayo 1

Datos de deformación longitudinal del bloque patrón de 1 mm

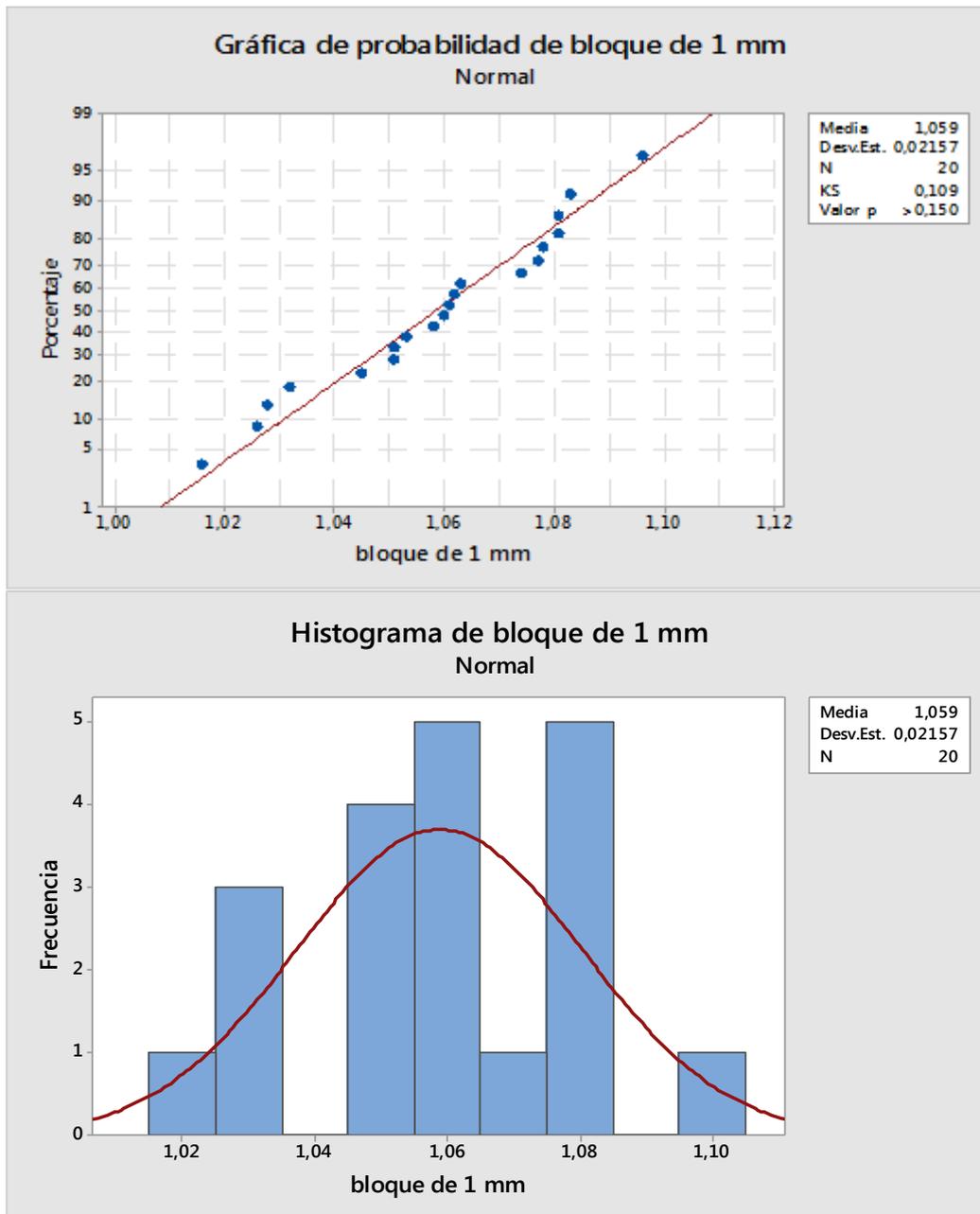
**Tabla 1-4:** Datos de deformación longitudinal del bloque de 1 mm

Nº	Deformación longitudinal (mm)
1	1,051
2	1,096
3	1,074
4	1,078
5	1,016
6	1,026
7	1,051
8	1,063
9	1,060
10	1,061
11	1,053
12	1,083
13	1,081
14	1,081
15	1,077
16	1,062
17	1,058
18	1,045
19	1,032
20	1,028

**Realizado por:** Manfredy Chugñay

#### Prueba de normalidad de los datos obtenidos

Para conocer la distribución de normalidad de los datos se hizo uso del software Minitab 17



**Gráfica 1-4:** Gráfica e histograma de normalidad de la data del bloque de 1 mm  
Realizado por: Manfredy Chugñay

La media del conjunto de 20 datos de deformación del bloque de 1mm obtenidos por el sistema portátil es de 1,059 mm, con una desviación estándar de 0,02157 que indica que la data no se encuentra muy dispersa de su media al ser un valor bajo. Se muestra que los datos siguen una distribución de frecuencia de tipo normal con un nivel de confianza  $\alpha$  de 0,05.

#### 4.1.2. Ensayo 2

Datos de deformación longitudinal del bloque patrón de 2 mm

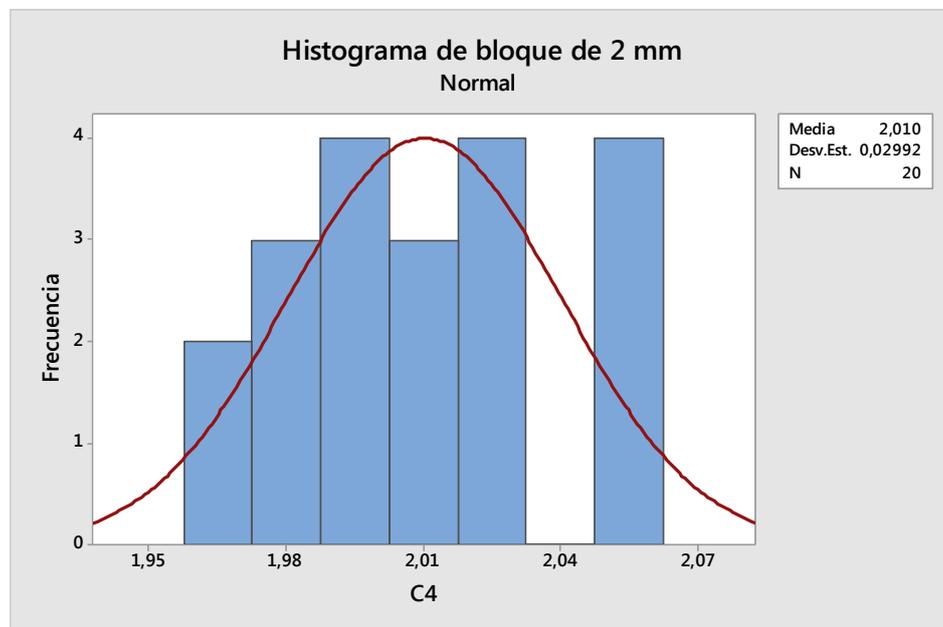
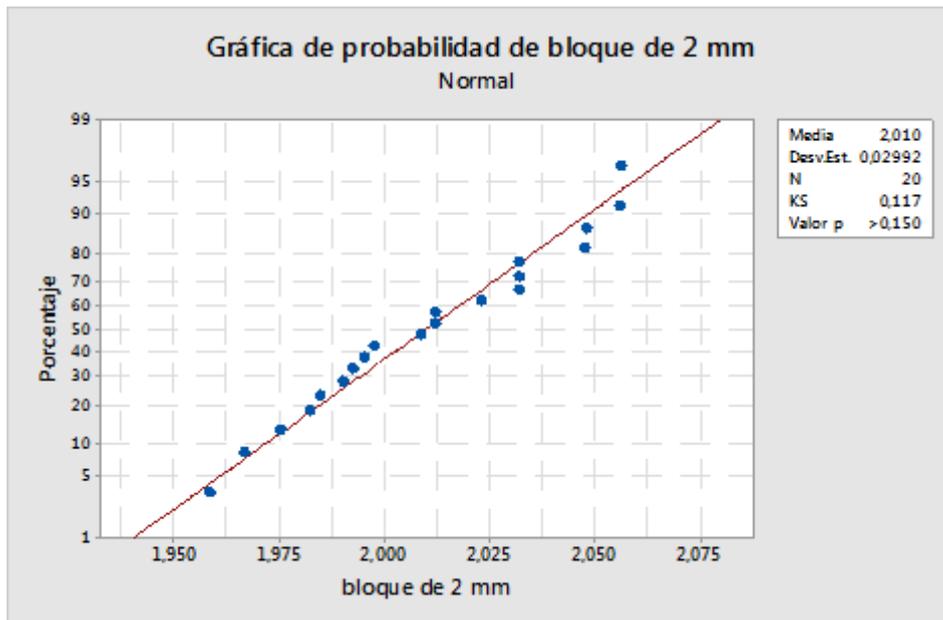
**Tabla 2-4:** Datos de deformación longitudinal del bloque de 2 mm

Nº	Deformación longitudinal (mm)
1	2,0567
2	1,9587
3	2,0323
4	1,9847
5	2,0123
6	1,9669
7	2,0478
8	2,0231
9	1,9927
10	1,9753
11	1,9902
12	2,0089
13	2,0561
14	2,0321
15	1,9976
16	1,9823
17	1,9956
18	2,0482
19	2,0121
20	2,0322

Realizado por: Manfredy Chugñay

#### Prueba de normalidad de los datos obtenidos

Para conocer la distribución de normalidad de los datos se hizo uso del software Minitab 17



**Gráfica 2-4:** Gráfica e histograma de normalidad de la data del bloque de 2 mm  
Realizado por: Manfredy Chugñay

La media del conjunto de 20 datos de deformación del bloque de 2 mm obtenidos por el sistema portátil es de 2,010 mm, con una desviación estándar de 0,02992 que indica que la data no se encuentra muy dispersa de su media al ser un valor bajo. Se tiene que los datos siguen una distribución normal, con un nivel de confianza  $\alpha$  de 0,05.

### 4.1.3. Ensayo 3

Datos de deformación longitudinal del bloque patrón de 5 mm

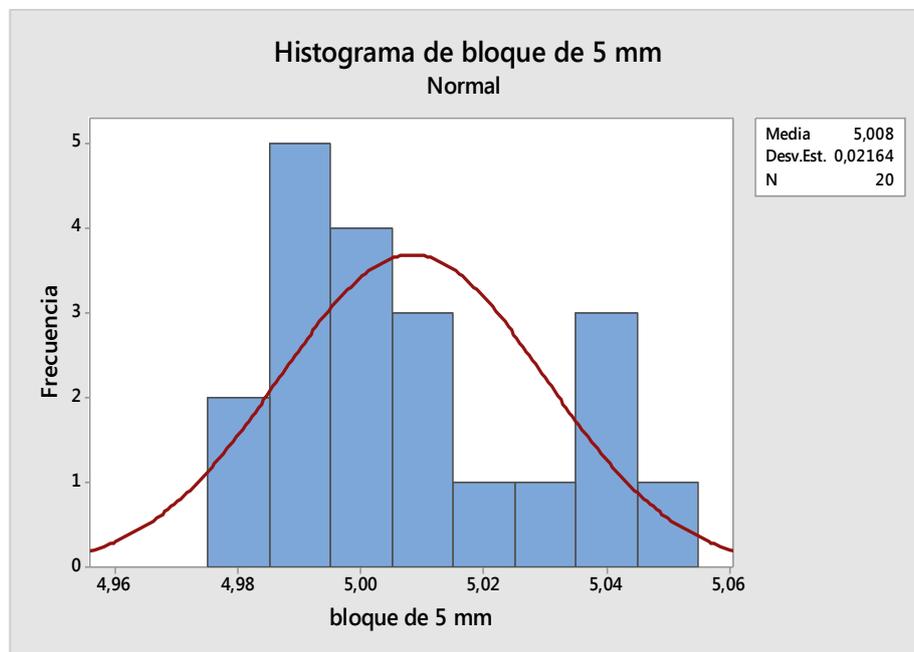
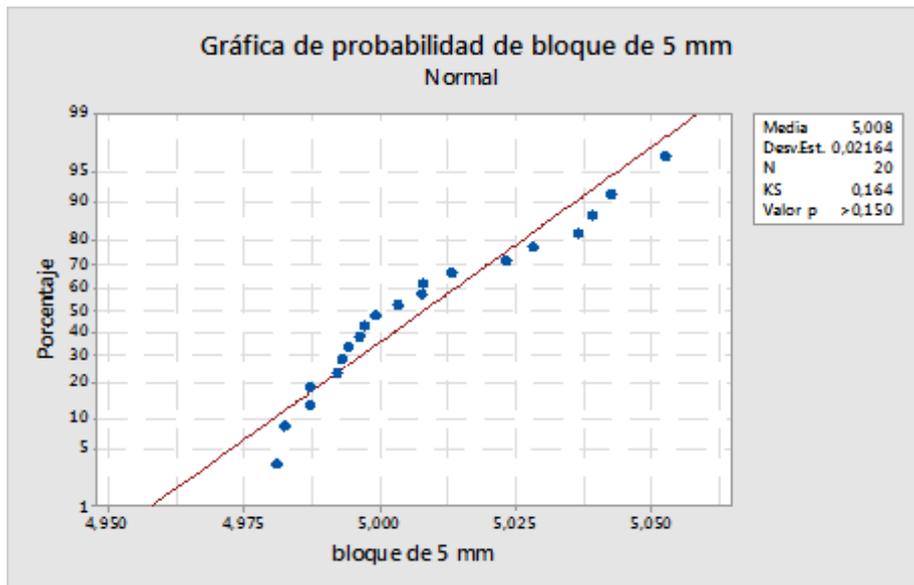
**Tabla 3-4:** Datos de deformación longitudinal del bloque de 5 mm

Nº	Deformación longitudinal (mm)
1	5,0133
2	5,0078
3	4,9943
4	4,9872
5	5,0234
6	5,0428
7	4,9974
8	4,9812
9	4,9923
10	5,0034
11	5,0367
12	4,9826
13	4,9873
14	5,0527
15	4,9932
16	5,0082
17	4,9965
18	5,0391
19	5,0283
20	4,9992

Realizado por: Manfredy Chugñay

### Prueba de normalidad de los datos obtenidos

Para conocer la distribución de normalidad de los datos se hizo uso del software Minitab 17



**Gráfica 3-4:** Gráfica e histograma de normalidad de la data del bloque de 2 mm  
Realizado por: Manfredy Chugñay

La media del conjunto de 20 datos de deformación del bloque de 5 mm obtenidos por el sistema portátil es de 5,008 mm, con una desviación estándar de 0,02164 que indica que la data no se encuentra muy dispersa de su media al ser un valor bajo. Se tiene que los datos siguen una distribución normal, con un nivel de confianza  $\alpha$  de 0,05.

#### 4.1.4. Ensayo 4

Datos de deformación longitudinal del bloque patrón de 10 mm

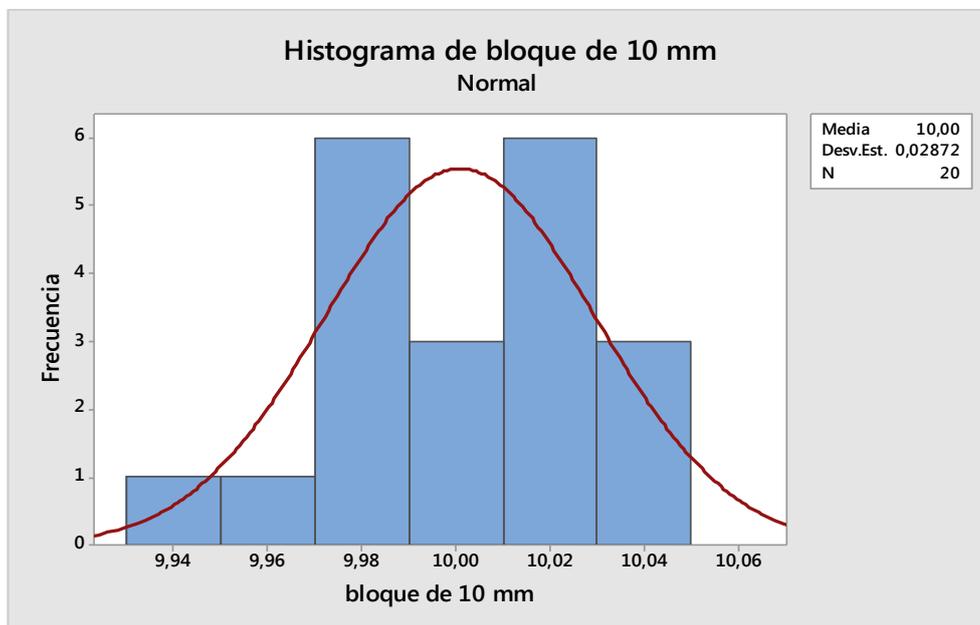
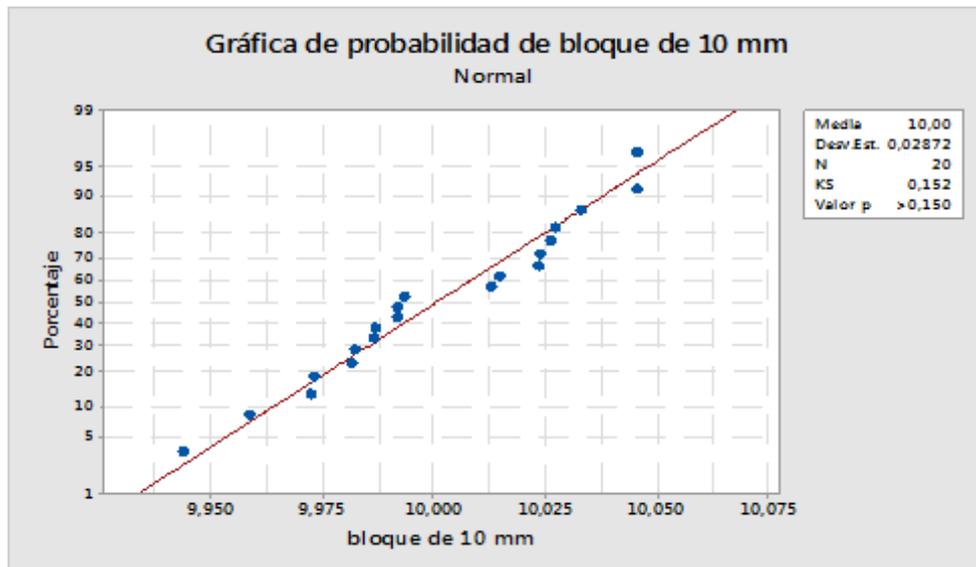
**Tabla 4-4:** Datos de deformación longitudinal del bloque de 10 mm

Nº	Deformación longitudinal (mm)
1	10,0239
2	9,9921
3	9,9867
4	10,0127
5	9,9726
6	9,9871
7	9,992
8	10,0237
9	10,0264
10	9,9824
11	9,9587
12	10,0456
13	10,0329
14	9,9732
15	9,9438
16	9,9934
17	9,9818
18	10,0148
19	10,0274
20	10,0456

Realizado por: Manfredy Chugñay

#### Prueba de normalidad de los datos obtenidos

Para conocer la distribución de normalidad de los datos se hizo uso del software Minitab 17



**Gráfica 4-4:** Gráfica e histograma de normalidad de la data del bloque de 10 mm  
Realizado por: Manfredy Chugñay

La media del conjunto de 20 datos de deformación del bloque de 10 mm obtenidos por el sistema portátil es de 10,00 mm, con una desviación estándar de 0,02872 que indica que la data no se encuentra muy dispersa de su media al ser un valor bajo. Se tiene que los datos siguen una distribución normal, con un nivel de confianza  $\alpha$  de 0,05.

#### 4.1.5. Ensayo 5

Datos de deformación longitudinal del bloque patrón de 20 mm

mm

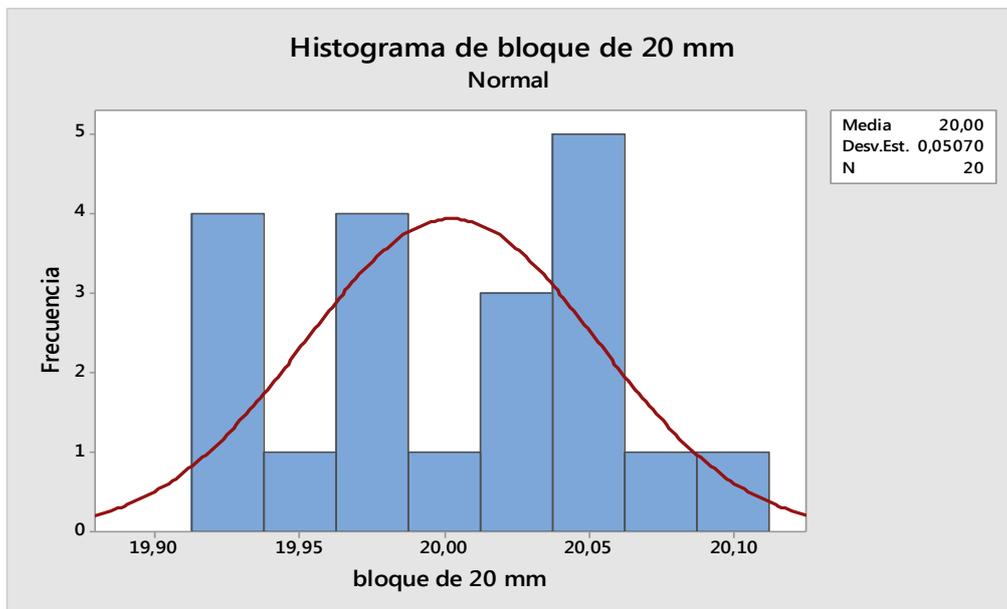
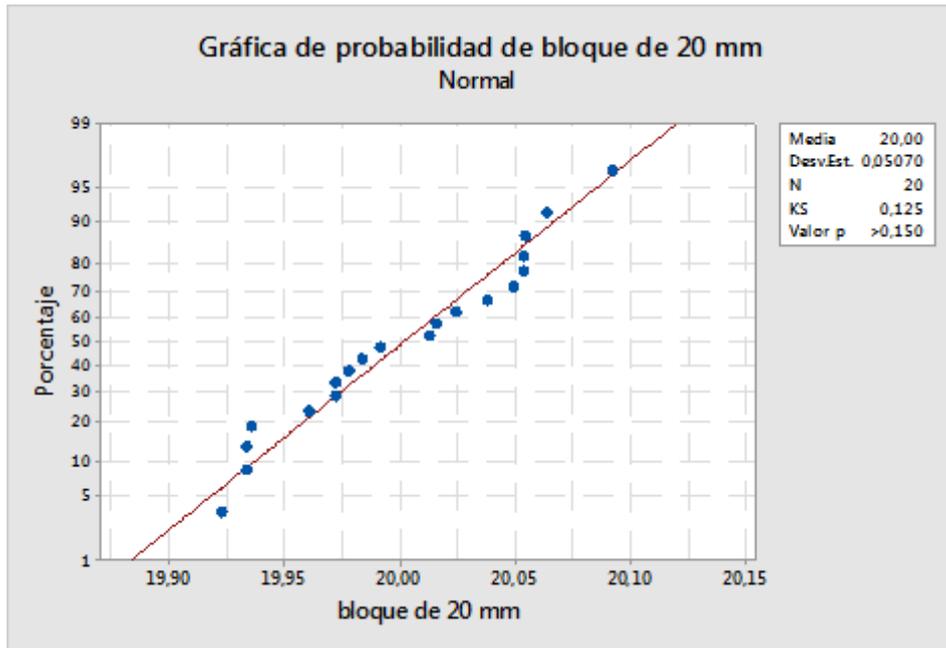
**Tabla 5-4:** Datos de deformación longitudinal del bloque de 20

Nº	Deformación longitudinal (mm)
1	20,0923
2	20,0498
3	20,0132
4	19,9338
5	19,9836
6	19,9721
7	19,9781
8	19,9608
9	19,9726
10	19,9358
11	20,0158
12	20,0245
13	20,0539
14	19,9921
15	20,0538
16	19,9342
17	20,0642
18	20,0384
19	19,9234
20	20,0543

Realizado por: Manfredy Chugñay

#### Prueba de normalidad de los datos obtenidos

Para conocer la distribución de normalidad de los datos se hizo uso del software Minitab 17



**Gráfica 5-4:** Gráfica e histograma de normalidad de la data del bloque de 20 mm  
Realizado por: Manfredy Chugñay

La media del conjunto de 20 datos de deformación del bloque de 20 mm obtenidos por el sistema portátil es de 20,00 mm, con una desviación estándar de 0,05070 que indica que la data no se encuentra muy dispersa de su media al ser un valor bajo. Se tiene que los datos siguen una distribución normal, con un nivel de confianza  $\alpha$  de 0,05.

#### 4.1.6. Ensayo 6

Datos de deformación longitudinal del bloque patrón de 25 mm

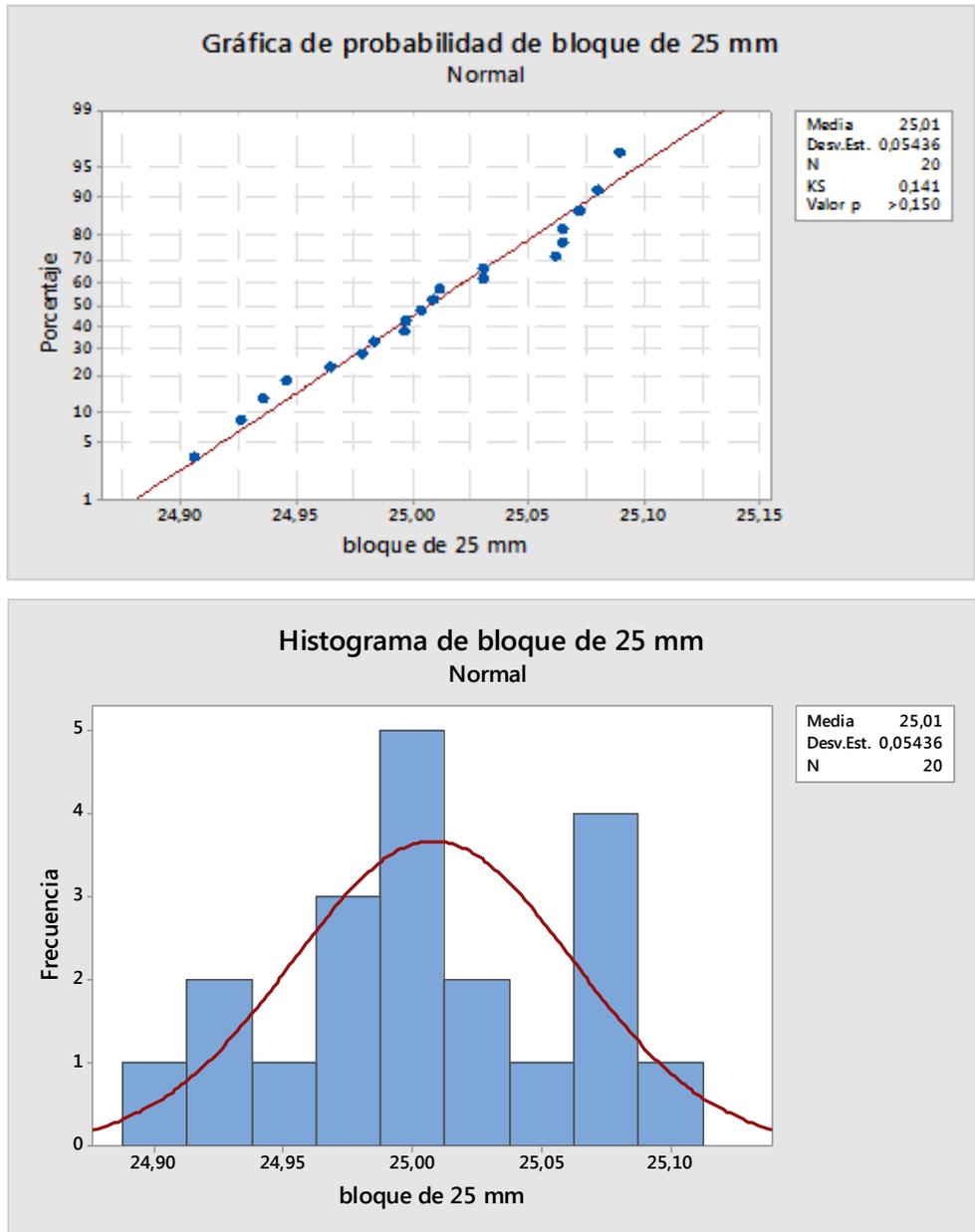
**Tabla 6-4:** Datos de deformación longitudinal del bloque de 25 mm

<b>Nº</b>	<b>Deformación longitudinal (mm)</b>
1	25,0309
2	25,0653
3	24,9652
4	24,9835
5	25,0723
6	25,0801
7	24,9462
8	25,0648
9	24,9264
10	25,0622
11	24,9359
12	25,0038
13	24,9974
14	25,0901
15	24,9972
16	25,0092
17	24,9791
18	25,0311
19	24,9062
20	25,0121

**Realizado por:** Manfredy Chugñay

#### **Prueba de normalidad de los datos obtenidos**

Para conocer la distribución de normalidad de los datos se hizo uso del software Minitab 17



**Gráfica 6-4:** Gráfica e histograma de normalidad de la data del bloque de 25 mm  
Realizado por: Manfredy Chugñay

La media del conjunto de 20 datos de deformación del bloque de 25 mm obtenidos por el sistema portátil es de 25,01 mm, con una desviación estándar de 0,05436 que indica que la data no se encuentra muy dispersa de su media al ser un valor bajo. Se tiene que los datos siguen una distribución normal, con un nivel de confianza  $\alpha$  de 0,05.

## 4.2. Prueba de Hipótesis

Para el análisis comparativo de datos obtenidos de deformación longitudinal por el sistema portátil se lo hizo frente al equipo de referencia del laboratorio de ensayo de materiales denominado compresómetro análogo, mismo que arroja datos precisos pero presenta ciertas limitaciones en cuanto a tiempo de instalación, tiempo de calibración, tiempo de respuesta de deformación longitudinal, además de que su registro se lo hace de forma manual.

### 4.2.1. Comparación del compresómetro análogo vs sistema portátil

Para lo cual se procedió a la selección del test estadístico adecuado, el test a aplicar dependió del tipo de datos, tipo de distribución.

Datos de deformación obtenida de bloques patrón

**Tabla 7-4:** Medias de deformación longitudinal obtenidas por los dos equipos

Bloque (mm)	Media obtenida por compresómetro análogo	Media obtenida por el sistema portátil implementado
1	1,09	1,059
2	2,02	2,010
5	5,022	5,008
10	10,017	10,00
20	20,015	20,00
25	25,027	25,01

Realizado por: Manfredy Chugñay

Los datos obtenidos presentaron las siguientes características:

- Datos continuos.
- Muestra de tamaño moderado.
- Conjuntos de datos con distribución de frecuencias de tipo normal (confirmado por test de Anderson Darling).

Por lo que el test estadístico a aplicar es el T de Student.

#### 4.2.1.1. Bloque de 1mm

Hipótesis

$$H_0: \mu_c = \mu_{sp}$$

$$H_a: \mu_c \neq \mu_{sp}$$

Dónde:

$\mu_c$  es la media representativa de los valores de deformación, obtenidos por el compresómetro análogo

$\mu_{sp}$  es la media representativa de los valores de deformación, obtenidos por el sistema portátil

El criterio de aceptación o rechazo de las hipótesis es:

Si  $p > \alpha$ ; se acepta  $H_0$

Si  $p < \alpha$ ; se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_a$

Con ayuda del software Minitab 17 se corre el test estadístico dando el siguiente resultado.

T de dos muestras para Media Compresómetro análogo vs. Media Sistema portátil

	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Media Compresómetro análogo	20	1,0870	0,0615	0,014
Media Sistema portátil	21	1,0588	0,0210	0,0046

Diferencia =  $\mu$  (Media Compresómetro análogo) -  $\mu$  (Media Sistema portátil)

Estimación de la diferencia: 0,0282

IC de 95% para la diferencia: (-0,0018; 0,0582)

Prueba T de diferencia = 0 (vs.  $\neq$ ): Valor T = 1,95 **Valor p = 0,064** GL = 23

Como puede observarse el valor de probabilidad (p) 0,064 es mayor al nivel de significancia ( $\alpha$ ) 0,05 por lo que se acepta la hipótesis nula, la misma que demuestra que las medias obtenidas de deformación longitudinal del bloque patrón de 1 mm por los dos equipos pueden considerarse estadísticamente similares, es decir, el sistema portátil implementado determina datos precisos de deformación longitudinal de materiales, como lo hace el compresómetro análogo que es un equipo de referencia.

#### 4.2.1.2. Bloque de 2 mm

Hipótesis

$$H_0: \mu_c = \mu_{sp}$$

$$H_a: \mu_c \neq \mu_{sp}$$

Dónde:

$\mu_c$  es la media representativa de los valores de deformación, obtenidos por el compresómetro análogo

$\mu_{sp}$  es la media representativa de los valores de deformación, obtenidos por el sistema portátil

El criterio de aceptación o rechazo de las hipótesis es:

Si  $p > \alpha$ ; se acepta  $H_0$

Si  $p < \alpha$ ; se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_a$

Con ayuda del software Minitab 17 se corre el test estadístico dando el siguiente resultado.

T de dos muestras para Media Compresómetro análogo vs. Media Sistema portátil

	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Media Compresómetro anal	20	2,022	0,242	0,054
Media Sistema portátil	20	2,0103	0,0299	0,0067

Diferencia =  $\mu$  (Media Compresómetro análogo) -  $\mu$  (Media Sistema portátil)

Estimación de la diferencia: 0,0122

IC de 95% para la diferencia: (-0,1020; 0,1264)

Prueba T de diferencia = 0 (vs.  $\neq$ ): Valor T = 0,22 **Valor p = 0,825** GL = 19

Como puede observarse el valor de probabilidad (p) 0,0825 es mayor al nivel de significancia ( $\alpha$ ) 0,05 por lo que se acepta la hipótesis nula, la misma que demuestra que las medias obtenidas de deformación longitudinal del bloque patrón de 2 mm por los dos equipos pueden considerarse estadísticamente similares, es decir, el sistema portátil implementado determina datos precisos de deformación longitudinal de materiales, como lo hace el compresómetro análogo que es un equipo de referencia.

#### 4.2.1.3. Bloque de 5 mm

Hipótesis

$$H_0: \mu_c = \mu_{sp}$$

$$H_a: \mu_c \neq \mu_{sp}$$

Dónde:

$\mu_c$  es la media representativa de los valores de deformación, obtenidos por el compresómetro análogo

$\mu_{sp}$  es la media representativa de los valores de deformación, obtenidos por el sistema portátil

El criterio de aceptación o rechazo de las hipótesis es:

Si  $p > \alpha$ ; se acepta  $H_0$

Si  $p < \alpha$ ; se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_a$

Con ayuda del software Minitab 17 se corre el test estadístico dando el siguiente resultado.

T de dos muestras para Media Compresómetro análogo vs. Media Sistema portátil

	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Media Compresómetro anal	20	5,0225	0,0334	0,0075
Media Sistema portátil	20	5,0083	0,0216	0,0048

Diferencia =  $\mu$  (Media Compresómetro análogo) -  $\mu$  (Media Sistema portátil)

Estimación de la diferencia: 0,01415

IC de 95% para la diferencia: (-0,00397; 0,03228)

Prueba T de diferencia = 0 (vs.  $\neq$ ): Valor T = 1,59 **Valor p = 0,121** GL = 32

Como puede observarse el valor de probabilidad (p) 0,121 es mayor al nivel de significancia ( $\alpha$ ) 0,05 por lo que se acepta la hipótesis nula, la misma que demuestra que las medias obtenidas de deformación longitudinal del bloque patrón de 5 mm por los dos equipos pueden considerarse estadísticamente similares, es decir, el sistema portátil implementado determina datos precisos de deformación longitudinal de materiales, como lo hace el compresómetro análogo que es un equipo de referencia.

#### 4.2.1.4. Bloque de 10 mm

Hipótesis

$$H_0: \mu_c = \mu_{sp}$$

$$H_a: \mu_c \neq \mu_{sp}$$

Dónde:

$\mu_c$  es la media representativa de los valores de deformación, obtenidos por el compresómetro análogo

$\mu_{sp}$  es la media representativa de los valores de deformación, obtenidos por el sistema portátil

El criterio de aceptación o rechazo de las hipótesis es:

Si  $p > \alpha$ ; se acepta  $H_0$

Si  $p < \alpha$ ; se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_a$

Con ayuda del software Minitab 17 se corre el test estadístico dando el siguiente resultado.

T de dos muestras para Media Compresómetro análogo vs. Media Sistema portátil

	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Media Compresómetro anál	20	10,0175	0,0384	0,0086
Media Sistema portátil	20	10,0008	0,0287	0,0064

Diferencia =  $\mu$  (Media Compresómetro análogo) -  $\mu$  (Media Sistema portátil)

Estimación de la diferencia: 0,0167

IC de 95% para la diferencia: (-0,0051; 0,0384)

Prueba T de diferencia = 0 (vs.  $\neq$ ): Valor T = 1,55 Valor p = 0,129 GL = 35

Como puede observarse el valor de probabilidad (p) 0,129 es mayor al nivel de significancia ( $\alpha$ ) 0,05 por lo que se acepta la hipótesis nula, la misma que demuestra que las medias obtenidas de deformación longitudinal del bloque patrón de 10 mm por los dos equipos pueden considerarse estadísticamente similares, es decir, el sistema portátil implementado determina datos precisos de deformación longitudinal de materiales, como lo hace el compresómetro análogo que es un equipo de referencia.

#### 4.2.1.5. Bloque de 20 mm

Hipótesis

$$H_0: \mu_c = \mu_{sp}$$

$$H_a: \mu_c \neq \mu_{sp}$$

Dónde:

$\mu_c$  es la media representativa de los valores de deformación, obtenidos por el compresómetro análogo

$\mu_{sp}$  es la media representativa de los valores de deformación, obtenidos por el sistema portátil

El criterio de aceptación o rechazo de las hipótesis es:

Si  $p > \alpha$ ; se acepta  $H_0$

Si  $p < \alpha$ ; se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_a$

Con ayuda del software Minitab 17 se corre el test estadístico dando el siguiente resultado.

T de dos muestras para Media Compresómetro análogo vs. Media Sistema portátil

	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Media Compresómetro anál	20	20,0150	0,0317	0,0071
Media Sistema portátil	20	20,0023	0,0507	0,011

Diferencia =  $\mu$  (Media Compresómetro análogo) -  $\mu$  (Media Sistema portátil)

Estimación de la diferencia: 0,0127

IC de 95% para la diferencia: (-0,0146; 0,0399)

Prueba T de diferencia = 0 (vs.  $\neq$ ): Valor T = 0,95 Valor p = 0,351 GL = 31

Como puede observarse el valor de probabilidad (p) 0,351 es mayor al nivel de significancia ( $\alpha$ ) 0,05 por lo que se acepta la hipótesis nula, la misma que demuestra que las medias obtenidas de deformación longitudinal del bloque patrón de 20 mm por los dos equipos pueden considerarse estadísticamente similares, es decir, el sistema portátil implementado determina datos precisos de deformación longitudinal de materiales, como lo hace el compresómetro análogo que es un equipo de referencia.

#### 4.2.1.6. Bloque de 25 mm

Hipótesis

$$H_0: \mu_c = \mu_{sp}$$

$$H_a: \mu_c \neq \mu_{sp}$$

Dónde:

$\mu_c$  es la media representativa de los valores de deformación, obtenidos por el compresómetro análogo

$\mu_{sp}$  es la media representativa de los valores de deformación, obtenidos por el sistema portátil

El criterio de aceptación o rechazo de las hipótesis es:

Si  $p > \alpha$ ; se acepta  $H_0$

Si  $p < \alpha$ ; se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_a$

Con ayuda del software Minitab 17 se corre el test estadístico dando el siguiente resultado.

T de dos muestras para Media Compresómetro análogo vs. Media Sistema portátil

	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Media Compresómetro anál	20	25,0275	0,0367	0,0082
Media Sistema portátil	20	25,0080	0,0544	0,012

Diferencia =  $\mu$  (Media Compresómetro análogo) -  $\mu$  (Media Sistema portátil)

Estimación de la diferencia: 0,0195

IC de 95% para la diferencia: (-0,0103; 0,0494)

Prueba T de diferencia = 0 (vs.  $\neq$ ): Valor T = 1,33 Valor p = 0,192 GL = 33

Como puede observarse el valor de probabilidad (p) 0,192 es mayor al nivel de significancia ( $\alpha$ ) 0,05 por lo que se acepta la hipótesis nula, la misma que demuestra que las medias obtenidas de deformación longitudinal del bloque patrón de 25 mm por los dos equipos pueden considerarse estadísticamente similares, es decir, el sistema portátil implementado determina datos precisos de deformación longitudinal de materiales, como lo hace el compresómetro análogo que es un equipo de referencia.

### 4.3. Discusión de resultados

#### 4.3.1. Datos de deformación longitudinal con bloques patrón.

**Tabla 8-4:** Compendio de medias de deformación longitudinal de los bloques patrón

Nº de ensayos	Bloque (mm)	Media (mm)	Desviación estándar	Distribución normal	Error relativo porcentual
20	1	1,059	0,02157	Cumple	0,59
20	2	2,010	0,02992	Cumple	0,50
20	3	3,008	0,02918	Cumple	0,26
20	5	5,008	0,02164	Cumple	0,16
20	10	10,00	0,02872	Cumple	0
20	20	20,00	0,05070	Cumple	0
20	25	25,01	0,05436	Cumple	0,04

Realizado por: Manfredy Chugñay

Como se puede apreciar en la tabla 12-4 las medias obtenidas de 20 ensayos realizados a cada bloque patrón presentan una desviación estándar relativamente pequeña, indicando que los datos obtenidos de deformación no se encuentran muy dispersos de su media, mediante un análisis de normalidad por Anderson Darling se determinó que la distribución de los datos obtenidos son de tipo normal. La prueba de normalidad se realizó con un nivel de confianza del 95%.

Además como se muestra en la tabla 12-4 el error relativo porcentual calculado para cada muestra presentan valores por debajo del 1 % lo que indica precisión por parte del sistema portátil en la toma de datos de deformación en los bloques patrón.

#### 4.3.2. Comparación entre el compresómetro análogo y el sistema portátil implementado

El grupo de datos obtenidos por los dos equipos fueron analizados mediante la prueba de normalidad de Anderson-Darling que dio a conocer que se trataban de curvas con distribución normal para el conjunto de 20 observaciones de cada muestra.

De la aplicación del Test T de Student mediante el programa Minitab 17 se obtuvo que las medias de deformación son similares al obtener un valor de probabilidad p mayor que el nivel de significancia  $\alpha$  de 0,05 se aceptó la hipótesis nula, es decir, el sistema portátil implementado

determina datos precisos de deformación longitudinal de materiales, como lo hace el compresómetro análogo que es un equipo de referencia.

Resumiendo se tiene:

**Tabla 9-4:** Resultado de la prueba test t de Student

<b>Bloque patrón(mm)</b>	<b>Resultado</b>	<b>Conclusión</b>	<b>Observación</b>
1	$p > \alpha$	Se acepta H0	Las medias de deformación obtenidas por los dos equipos son estadísticamente similares.
2	$p > \alpha$	Se acepta H0	Las medias de deformación obtenidas por los dos equipos son estadísticamente similares.
5	$p > \alpha$	Se acepta H0	Las medias de deformación obtenidas por los dos equipos son estadísticamente similares.
10	$p > \alpha$	Se acepta H0	Las medias de deformación obtenidas por los dos equipos son estadísticamente similares.
20	$p > \alpha$	Se acepta H0	Las medias de deformación obtenidas por los dos equipos son estadísticamente similares.
25	$p > \alpha$	Se acepta H0	Las medias de deformación obtenidas por los dos equipos son estadísticamente similares.

**Realizado por:** Manfredy Chugñay

## CONCLUSIONES

- Se realizó la caracterización del sensor mismo que cuenta con seis pines de conexión, de los que cuatro son utilizados, dos para la alimentación y otros dos para la señal de deformación longitudinal, su rango de voltaje de alimentación está de 0 a 10 voltios DC.
- El sistema portátil diseñado consta de una fuente de alimentación, acondicionamiento de la señal emitida por el sensor Humboldt que consta de reguladores de voltaje con integrados 7812, 7912, 7809, un amplificador instrumental AD620, comunicación de la señal con Arduino y la plataforma Labview.
- Para el acondicionamiento de la señal de salida del sensor se implementó una etapa de amplificación mediante el integrado AD620, se realizó el filtrado respecto a la señal pura usando un capacitor de 330uF y mediante reguladores se mantuvo un voltaje fijo de alimentación, lo cual permitió obtener una señal estable sin ruido para la transmisión de datos hacia el Arduino.
- En el diseño de la interfaz gráfica (HMI) en LabView se incorporó un comando para el ingreso de datos de deformación en ensayo de materiales a un sistema computarizado (Excel), que permite generar una base de datos de los ensayos para su análisis respectivo.
- Para la adquisición de datos por parte del sensor Humboldt se conoció que la función que rige a este sensor es de tipo lineal, misma que fue determinada por Jácome M. (2017), para el sistema portátil implementado la función característica que determina la variable deformación longitudinal es  $y = 14,9182 x - 4,6783$ .
- Implementado el sistema portátil se realizó la toma de datos de deformación longitudinal con seis bloques patrón disponibles en el laboratorio, mismos que fueron analizados mediante un test estadístico de normalidad de Anderson Darling reportando que estos siguen una distribución de tipo normal.
- Mediante la aplicación del test T de Student a las medias obtenidas de seis muestras (bloques patrón) por el compresómetro análogo y sistema portátil, se deduce que se pueden considerar estos equipos estadísticamente similares, es decir, el sistema portátil implementado determina datos precisos de deformación longitudinal de materiales, como lo hace el compresómetro análogo que es un equipo de referencia.

## RECOMENDACIONES

- Realizar investigaciones dentro de esta área a otros tipos de sensores que puedan implementarse para cuantificar otras propiedades mecánicas de los materiales ingenieriles como tracción, tensión o fuerza, resistividad térmica entre otras.
- Para implementaciones futuras de sistemas portátiles de medición de deformación longitudinal de materiales se recomienda tomar como base la metodología planteada en este trabajo de titulación, aumentando el número de sensores que permitan obtener varias lecturas al mismo tiempo con varios materiales que actúe como una unidad central para adquisición de datos.
- En esta área de investigación se recomienda hacer uso de herramientas estadísticas que permitan verificar la calidad de datos obtenidos por sistemas implementados, la precisión de las medidas teniendo en cuenta la evidente variabilidad y/o dispersión de las propiedades mecánicas de los materiales.

## BIBLIOGRAFÍA

**Analogic Devices.** (1997). *Single and dual- supply, rail-to-rail, low cost instrumentation amplifier*. Recuperado de: <http://www.mouser.com/ds/2/609/AD623-249255.pdf>

**Analogic Devices.** (1999). *Instrumentation Amplifier*. Recuperado de: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/48090/AD/AD620.html>

**Apablaza, D. & Muñoz, J.** (2016). IEEE Latin America Transactions. *Implementación de Laboratorio de un Convertidor Boost Interleaved para Aplicaciones Fotovoltaicas*, Vol. 14, No. 6. Recuperado de: [http://www.ewh.ieee.org/reg/9/etrans/ieee/issues/vol14/vol14issue6June2016/14TLA6\\_34Apablaza.pdf](http://www.ewh.ieee.org/reg/9/etrans/ieee/issues/vol14/vol14issue6June2016/14TLA6_34Apablaza.pdf)

**Bolaños, D.** (2010). *Capacitores*. Recuperado de: [www.bolanosdj.com.ar/TEORIA/CAPACITORES1.PDF](http://www.bolanosdj.com.ar/TEORIA/CAPACITORES1.PDF)

**Catalogo Humboldt.** (2012). *Construction Materials Testing Equiament*.

**Chávez, R.** (2016). *Sensor inductivo de proximidad PNP*. Recuperado de: <https://hetprostore.com/TUTORIALES/sensor-inductivo/>

**Datasheet 7812.** *Three Terminal Positive Fixed Voltage Regulators*. Recuperado de: [www.datasheetspdf.com/PDF/7812/44431/1](http://www.datasheetspdf.com/PDF/7812/44431/1)

**Datasheet 7912.** *Utc Lm79xx Linear Integrated Circuit*. Recuperado de: [pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/33411/UTC/LM7912.html](http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/33411/UTC/LM7912.html)

**Drake, J.** (2005) *Instrumentación Electrónica de Comunicaciones*. Recuperado de: [https://www.ctr.unican.es/asignaturas/instrumentacion\\_5\\_IT/IEC\\_3.pdf](https://www.ctr.unican.es/asignaturas/instrumentacion_5_IT/IEC_3.pdf)

**Echeverría, V. T., Echeverría, H. M., Pontigo, F. A., Munita, D. S., & Fischer, E.** (2016). IEEE Latin America Transactions. *Diseño de un Prototipo para Selección y Procesamiento de Señales Sísmológicas*, Vol. 14, No. 6. Recuperado de: [http://www.ewh.ieee.org/reg/9/etrans/ieee/issues/vol14/vol14issue6June2016/14TLA6\\_15TomboliniEcheverria.pdf](http://www.ewh.ieee.org/reg/9/etrans/ieee/issues/vol14/vol14issue6June2016/14TLA6_15TomboliniEcheverria.pdf)

**Fitzgerald, R. (1996).** *Mecánica de materiales.* Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/318841328/Mecanica-de-materiales-Fitzgerald-pdf>

**Fritzson, P. (2015).** *Introducción al modelado y simulación de sistemas técnicos y físicos con modélica.* Recuperado de: [www.diva-portal.org/smash/get/diva2:853769/FULLTEXT01.pdf](http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:853769/FULLTEXT01.pdf)

**Huircán, J. (2012).** *Reguladores de voltaje, (2).* [pp.1-11]. Recuperado de [http://quidel.inele.ufro.cl/~jhuircan/PDF\\_CTOSII/reguieee.pdf](http://quidel.inele.ufro.cl/~jhuircan/PDF_CTOSII/reguieee.pdf).

**Iglesias, A. (2013).** *Detectores de proximidad inductivos.* Recuperado de: <https://es.slideshare.net/aicvigo1973/detectores-de-proximidad-inductivos> >

**Mera, S. (2009).** *Implementación de un tablero didáctico con interfaz HMI basado en Labview, para el desarrollo de prácticas de automatización electroneumática en la FISEI-UTA.* (Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato). Recuperado de: [repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/179/1/t459id.pdf](http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/179/1/t459id.pdf)

**Ojeda, L.T. (2015).** *Arduino.* Recuperado de: [arduino.cl/que-es-arduino/](http://arduino.cl/que-es-arduino/)

**Pallás, R. (2003).** *Sensores y acondicionadores de señal.* Recuperado de: [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Eevyk28\\_fVkC&oi=fnd&pg=PR11&dq=sensores+de+desplazamiento&ots=JWnNZ8Et9j&sig=nCKmhmGFCQpAS10vH3-dS\\_bOWds#v=onepage&q=sensores%20de%20desplazamiento&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Eevyk28_fVkC&oi=fnd&pg=PR11&dq=sensores+de+desplazamiento&ots=JWnNZ8Et9j&sig=nCKmhmGFCQpAS10vH3-dS_bOWds#v=onepage&q=sensores%20de%20desplazamiento&f=false)

**Rodríguez, M. (2016).** *Ieee Latin America Transactions. Monitoreo en tiempo real de variaciones de voltaje usando morfología matemática.,* Vol. 14, No. 5. Recuperado de: [http://www.ewh.ieee.org/reg/9/etrans/ieee/issues/vol14/vol14issue5May2016/14TLA5\\_16ValtierraRodriguez.pdf](http://www.ewh.ieee.org/reg/9/etrans/ieee/issues/vol14/vol14issue5May2016/14TLA5_16ValtierraRodriguez.pdf)

**Salazar, J. (2007).** *Resistencia de Materiales Básica para Estudiantes de Ingeniería.* Recuperado de: [http://www.bdigital.unal.edu.co/5855/1/jorgeeduardosalazartrujillo20072\\_Parte1.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/5855/1/jorgeeduardosalazartrujillo20072_Parte1.pdf)

**Sánchez, G. (2013).** *Sensores de reluctancia variable.* Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/138960675/OPERACION-DEL-SENSOR-DE-RELUCTANCIA-VARIABLE-docx>

**Triviño, J. I., Giraldo, W. J. & Trefftz, H. (2016).** *Generación de la interfaz de usuario de negocio a partir de la asociación de patrones de datos, plantilla de presentación y modelo de interacción.* 1-7. Recuperado de: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7750799/>

## ANEXOS

### ANEXO A. EQUIPOS DE MEDICIÓN DE DEFORMACIÓN





## ANEXO B. LECTURAS DE DEFORMACIÓN LONGITUDINAL



