



**Digitalización de información de un manómetro analógico a través de visión artificial  
para generar un registro en la web**

Jiménez Bonilla, Arturo Fabián

Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de Posgrados

Maestría en Máster en Electrónica y Automatización Mención Redes Industriales

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Magíster en Electrónica y  
Automatización Mención Redes Industriales

Ing. Rivas Lalaleo, David Raimundo PhD.

18 de Mayo del 2022



## Reporte De Verificación De Contenido

# COPYLEAKS

tesisFinal.pdf

Scanned on: 23:18 May 18, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	660
Words with Minor Changes	359
Paraphrased Words	356
Omitted Words	0

Firma:



DAVID.....  
RAIMUNDO  
RIVAS LALAJEO

Ing. Rivas Lalajeo, David Raimundo PhD.

Director

C.C.:1802445302



Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de Posgrados

### CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación: **“Digitalización de información de un manómetro analógico a través de visión artificial para generar un registro en la web”** fue realizado por el señor **Jiménez Bonilla, Arturo Fabián**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 18 de mayo del 2022

Firma:



DAVID  
RAIMUNDO  
RIVAS LALALEO

Ing. Rivas Lalaleo, David Raimundo PhD.

Director



Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de Posgrados

Responsabilidad De Autoría

Yo **Jiménez Bonilla, Arturo Fabián**, con cédula de ciudadanía n°0503797631, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Digitalización de información de un manómetro analógico a través de visión artificial para generar un registro en la web** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 18 de mayo del 2022

Firma (s)

**Jiménez Bonilla, Arturo Fabián**

C.C.: 0503797631



Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de Posgrados

### Autorización De Publicación

Yo **Jiménez Bonilla, Arturo Fabián**, con cédula de ciudadanía n° 050379763-1, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Digitalización de información de un manómetro analógico a través de visión artificial para generar un registro en la web** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 18 de mayo del 2022

Firma

Jiménez Bonilla, Arturo Fabián

C.C.:0503797631

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto de investigación quiero dedicarlo a mi padre, quien me enseñó a levantarme de cada caída, a no rendirme a pesar de las dificultades que se presentan en la vida y ahora guía mi camino desde el cielo, iluminándome en cada paso que doy para continuar adelante con mis proyectos.

**Latacunga, 18 de mayo de 2022**

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi madre, quien siempre me apoyado para continuar con mis estudios y ha sido pilar fundamental para poder cumplir mis metas.

A mis hermanos quienes siempre me apoyaron en los momentos más difíciles y siempre me motivaron a seguir adelante.

Expreso mi más sincera gratitud al Ing. David Rivas. PhD, por su apoyo en la dirección del presente proyecto, compartiendo su conocimiento y a la vez brindándome su amistad.

**Latacunga, 18 de mayo de 2022**

**ÍNDICE DE CONTENIDOS**

<b>Carátula .....</b>	<b>1</b>
<b>Reporte De Verificación De Contenido .....</b>	<b>2</b>
<b>Certificación .....</b>	<b>3</b>
<b>Responsabilidad De Autoría.....</b>	<b>4</b>
<b>Autorización De Publicación .....</b>	<b>5</b>
<b>Dedicatoria.....</b>	<b>6</b>
<b>Agradecimiento.....</b>	<b>7</b>
<b>Índice De Contenidos .....</b>	<b>8</b>
<b>Índice De Figuras .....</b>	<b>12</b>
<b>Índice De Tablas.....</b>	<b>15</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>16</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>17</b>
<b>Capítulo I: Aspectos Generales .....</b>	<b>18</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>18</b>
<b>Antecedentes.....</b>	<b>20</b>
<b>Formulación del Problema.....</b>	<b>22</b>
<b>Justificación .....</b>	<b>23</b>
<b>Objetivos .....</b>	<b>24</b>
<b><i>Objetivo General</i>.....</b>	<b>24</b>
<b><i>Objetivos Específicos</i> .....</b>	<b>24</b>
<b>Hipótesis de investigación.....</b>	<b>24</b>



<b>Capítulo II: Marco Teórico.....</b>	<b>25</b>
<b>Cuarta revolución industrial .....</b>	<b>25</b>
<b>Internet de las cosas (IoT).....</b>	<b>25</b>
<b>Computación en la nube .....</b>	<b>26</b>
<b>Análisis de datos para una óptima toma de decisiones .....</b>	<b>26</b>
<b>Integración TI-TO.....</b>	<b>27</b>
<b>Visión Artificial .....</b>	<b>27</b>
<b>Visión Artificial en la industria 4.0 .....</b>	<b>28</b>
<b>Funciones colaborativas de visión artificial para la industria 4.0 .....</b>	<b>31</b>
<b>Conceptos básicos de visión artificial .....</b>	<b>32</b>
<i>OpenCV.....</i>	<b>32</b>
<i>Transformación del círculo de Hough .....</i>	<b>34</b>
<i>Transformación de línea de Hough.....</i>	<b>36</b>
<i>Seguimiento de objetos con Dlib .....</i>	<b>38</b>
<b>Presión .....</b>	<b>38</b>
<b>Presión en Gases: Presión Atmosférica .....</b>	<b>38</b>
<b>Instrumentación en la medición de presión .....</b>	<b>39</b>
<b>Instrumentos electrónicos de medición de presión .....</b>	<b>40</b>
<b>Instrumentos de medición de presión mecatrónicos.....</b>	<b>41</b>
<b>Instrumentos mecánicos de medición de presión.....</b>	<b>42</b>
<b>Manómetro de Bourdon.....</b>	<b>42</b>

<b>Sistema de medición .....</b>	<b>44</b>
<b>Errores en las medidas.....</b>	<b>45</b>
<b>Errores brutos .....</b>	<b>45</b>
<b>Estándares utilizados en las mediciones.....</b>	<b>45</b>
<b>Exactitud y precisión de la medida en manómetros digitales.....</b>	<b>46</b>
<b>Estado del Arte .....</b>	<b>48</b>
<b>Capítulo III: Desarrollo e Implementación .....</b>	<b>51</b>
<b>Selección e Implementación de los Componentes del Sistema .....</b>	<b>51</b>
<b>Criterios técnicos.....</b>	<b>51</b>
<b>Parámetros de diseño.....</b>	<b>52</b>
<b>Selección de Componentes .....</b>	<b>52</b>
<b>Procesador.....</b>	<b>52</b>
<b>Raspberry Pi 4 Model B.....</b>	<b>52</b>
<b>ASUS Tinker Board S.....</b>	<b>54</b>
<b>Cámara .....</b>	<b>57</b>
<b>Cámara MetFut 1080P Full HD Webcam USB PC .....</b>	<b>57</b>
<b>Cámara WEB COOAU1080 FULL HD 1080p DE 2MP USB 2.0 .....</b>	<b>58</b>
<b>Servidor de nube virtual.....</b>	<b>61</b>
<b>ThingsBoard .....</b>	<b>61</b>
<b>ThingSpeak .....</b>	<b>63</b>
<b>DeviceHive .....</b>	<b>65</b>

Azure.....	66
Desarrollo del Algoritmo .....	68
Detección y Seguimiento del Manómetro Análogo.....	70
Detección de la aguja del manómetro análogo .....	73
Procesamiento de dataos y disminución el error .....	80
Transmisión y almacenamiento de datos .....	82
Configuración de alarma en la plataforma ThingSpeak.....	83
Capítulo IV: Pruebas y análisis de resultados .....	89
Comparación del error de los 3 métodos utilizados en el sistema.....	89
Prueba en funcionamiento normal con un manómetro de 100 PSI. ....	98
Prueba del sistema en funcionamiento normal con un manómetro de 300 mmHg.....	101
Prueba del sistema liberando la presión de aire con un manómetro de 100 PSI. ....	105
Prueba del sistema subiendo la presión de aire con un manómetro de 100 PSI. ....	116
Prueba del sistema subiendo la presión de aire con un manómetro de 300 mm Hg. ..	121
Capítulo V: Conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros .....	125
Conclusiones.....	125
Recomendaciones .....	128
Trabajos futuros .....	129
Bibliografía .....	130
Anexos .....	133

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Industria 4.0</i> .....	26
<b>Figura 2</b> <i>Pasos del proceso de Visión Artificial</i> .....	28
<b>Figura 3</b> <i>Visión Artificial en la industria 4.0</i> .....	29
<b>Figura 4</b> <i>Cámaras en la IOT</i> .....	30
<b>Figura 5</b> <i>Visión Artificial para hacer la fabricación más precisa</i> .....	32
<b>Figura 6</b> <i>OpenCv</i> .....	33
<b>Figura 7</b> <i>Detector de Círculos</i> .....	36
<b>Figura 8</b> <i>Transformación de línea de Hough</i> .....	37
<b>Figura 9</b> <i>Instrumentos electrónicos de medición de presión</i> .....	41
<b>Figura 10</b> <i>Instrumentos de medición de presión mecatrónicos</i> .....	42
<b>Figura 11</b> <i>Manómetro de Bourdon</i> .....	43
<b>Figura 12</b> <i>Exactitud en la lectura</i> .....	47
<b>Figura 13</b> <i>Error relativo porcentual vs Rango</i> .....	48
<b>Figura 14</b> <i>Raspberry Pi 4 Model B</i> .....	53
<b>Figura 15</b> <i>ASUS Tinker Board S</i> .....	55
<b>Figura 16</b> <i>Cámara MetFut 1080P Full HD Webcam USB PC</i> .....	58
<b>Figura 17</b> <i>Cámara web COOAU1080 Full HD 1080p de con Microfono Integrado USB 2.0</i> .....	60
<b>Figura 18</b> <i>Plataforma ThingsBoard</i> .....	62
<b>Figura 19</b> <i>Plataforma ThingSpeak</i> .....	64
<b>Figura 20</b> <i>DeviceHive</i> .....	65
<b>Figura 21</b> <i>Azure</i> .....	67
<b>Figura 22</b> <i>Diagrama del sistema de digitalización de un manómetro analógico</i> .....	69
<b>Figura 23</b> <i>Algoritmo de detección del manómetro analógico</i> .....	71
<b>Figura 24</b> <i>Diagrama de flujo del algoritmo de reconocimiento del manómetro analógico</i> .....	72
<b>Figura 25</b> <i>Detección de la aguja del manómetro analógico</i> .....	74

<b>Figura 26</b> <i>Angulo formado por la aguja del manómetro.....</i>	75
<b>Figura 27</b> <i>Valores y Ángulos de los Manómetros .....</i>	77
<b>Figura 28</b> <i>Diagrama de flujo de la detección de la aguja y cálculo del valor final.....</i>	79
<b>Figura 29</b> <i>Diagrama de flujo del procesamiento de dataos y disminución el error .....</i>	81
<b>Figura 30</b> <i>Transmisión de datos a través de MQTT.....</i>	83
<b>Figura 31</b> <i>Configuración del manómetro .....</i>	84
<b>Figura 32</b> <i>Implementación de la plataforma ThingSpeak .....</i>	87
<b>Figura 33</b> <i>Primer Método .....</i>	90
<b>Figura 34</b> <i>Error absoluto del primer método.....</i>	91
<b>Figura 35</b> <i>Segundo método .....</i>	92
<b>Figura 36</b> <i>Error en el segundo método.....</i>	94
<b>Figura 37</b> <i>Tercer método .....</i>	95
<b>Figura 38</b> <i>Error en el tercer método .....</i>	97
<b>Figura 39</b> <i>Prueba en el manómetro de 100 PSI.....</i>	98
<b>Figura 40</b> <i>Valores tomados por el usuario en el manómetro de 100 PSI.....</i>	100
<b>Figura 41</b> <i>Valores tomados por el sistema en el manómetro de 100 PSI .....</i>	101
<b>Figura 42</b> <i>Prueba en el manómetro de 300 mmHg.....</i>	102
<b>Figura 43</b> <i>Valores tomados por el usuario en el manómetro de 300 mm Hg.....</i>	104
<b>Figura 44</b> <i>Valores obtenidos por ThingSpeak.....</i>	105
<b>Figura 45</b> <i>Prueba del sistema liberando la presión de aire.....</i>	106
<b>Figura 46</b> <i>Datos del usuario para la prueba del sistema liberando la presión de aire .....</i>	109
<b>Figura 47</b> <i>Datos del sistema para la prueba del sistema liberando la presión de aire.....</i>	110
<b>Figura 48</b> <i>Sistema liberando la presión de aire con un manómetro de 300 mm Hg.....</i>	111
<b>Figura 49</b> <i>Datos del sistema liberando la presión de aire con un manómetro de 300 mm Hg.....</i>	114
<b>Figura 50</b> <i>Datos del sistema liberando la presión de aire con un manómetro de 300 mm Hg.....</i>	114
<b>Figura 51</b> <i>Prueba del sistema subiendo la presión de aire con un manómetro de 100 PSI....</i>	116

<b>Figura 52</b> <i>Valores de presión tomados por el usuario subiendo la presión de aire .....</i>	119
<b>Figura 53</b> <i>Valores de presión recolectados por el sistema y representados por ThingSpeak. 120</i>	120
<b>Figura 54</b> <i>Sistema subiendo la presión de aire con un manómetro de 300 mm Hg .....</i>	121
<b>Figura 55</b> <i>Valores de presión en la Prueba del sistema subiendo la presión de aire. ....</i>	123
<b>Figura 56</b> <i>Valores de presión en la Prueba del sistema subiendo la presión de aire .....</i>	124

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Estado del Arte</i> .....	49
<b>Tabla 2</b> <i>Escala de evaluación</i> .....	51
<b>Tabla 3</b> <i>Características de la Raspberry Pi 4 Model B</i> .....	54
<b>Tabla 4</b> <i>Características de ASUS Tinker Board S</i> .....	56
<b>Tabla 5</b> <i>Comparativa de controladores</i> .....	56
<b>Tabla 6</b> <i>Características de la Cámara MetFut 1080P Full HD Webcam USB PC</i> .....	57
<b>Tabla 7</b> <i>Características de la Cámara Web Coou1080 Full Hd Micrófono Integrado Usb 2.0</i> . 59	
<b>Tabla 8</b> <i>Comparativa de cámaras</i> .....	61
<b>Tabla 9</b> <i>Plataforma ThingsBoard</i> .....	63
<b>Tabla 10</b> <i>Plataforma ThingSpeak</i> .....	64
<b>Tabla 11</b> <i>Plataforma DeviceHive</i> .....	66
<b>Tabla 12</b> <i>Plataforma Azure</i> .....	67
<b>Tabla 13</b> <i>Comparativa de Plataformas</i> .....	68
<b>Tabla 14</b> <i>Valores en la medición del sistema y mediante un usuario del manómetro</i> .....	99
<b>Tabla 15</b> <i>Valores en la medición del sistema y mediante un usuario del manómetro</i> .....	103
<b>Tabla 16</b> <i>Prueba del sistema liberando la presión de aire con un manómetro de 100 PSI</i> .....	108
<b>Tabla 17</b> <i>Prueba del sistema liberando la presión de aire</i> .....	113
<b>Tabla 18</b> <i>Datos de la prueba del sistema subiendo la presión de aire con un manómetro</i> .....	118
<b>Tabla 19</b> <i>Prueba del sistema subiendo la presión de aire con un manómetro de 300 mm Hg</i> .122	

## RESUMEN

El siguiente proyecto de titulación se orienta a la investigación de la metodología más apropiada para la digitalización de datos de un manómetro analógico a través de visión artificial para generar un registro en la web, dado que el medidor análogo no puede transmitir de forma remota la información recopilada, por lo que necesita de un operador humano el mismo que debe viajar a la ubicación del medidor, leer su valor actual y registrar ese valor para ir formando el registro del manómetro. La capacidad de leer un manómetro análogo mediante visión por computadora permite la integración de lecturas en diferentes sistemas automatizados. El sistema está conformado por una cámara web, la misma que es la encargada de transmitir un video en tiempo real del comportamiento del manómetro análogo para capturar las imágenes, de ahí las envía a una Raspberry en la cual con el desarrollo de un algoritmo procesa, calcula y envía el valor actual del manómetro de manera digital, mediante un servidor para que estos datos digitales sean registrados y diversas personas puedan monitorearlos sin importar la distancia que se encuentren del medidor a través de distintos dispositivos electrónicos que tengan conexión a internet tales como: computadoras, celulares, Tablet, etc.

*Palabras Claves:* visión por computador, lectura de manómetros analógicos, digitalización de datos, visión artificial, industria 4.0



**ABSTRACT**

The following degree project is oriented to the investigation of the most appropriate methodology for the digitization of data from an analog pressure gauge through artificial vision to generate a record on the web, since the analog gauge cannot remotely transmit the information. collected, so it needs a human operator who must travel to the location of the meter, read its current value and record that value to form the manometer record. The ability to read an analog gauge using computer vision allows for the integration of readings into different automated systems. The system is made up of a web camera, the same one that is in charge of transmitting a video in real time of the behavior of the analog manometer to capture the images, from there it sends them to a Raspberry in which with the development of an algorithm it processes, calculates and sends the current value of the pressure gauge digitally, through a server so that these digital data are recorded and various people can monitor them regardless of the distance they are from the gauge through different electronic devices that have an internet connection such as: computers, cell phones, tablets, etc.

*Keywords:* computer vision, reading of analogue manometers, digitization of data, artificial vision industry 4.0

## Capítulo I:

### Aspectos Generales

#### Introducción

La Industria 4.0 está revolucionando la forma en que las empresas fabrican, mejoran y distribuyen sus productos. Los fabricantes están integrando nuevas tecnologías, que incluyen Internet de las cosas (IoT), computación y análisis en la nube, Inteligencia Artificial en todas sus operaciones. Estas fábricas inteligentes están equipadas con sensores avanzados, medidores digitales y software integrado que analizan datos y permiten una mejor toma de decisiones. El análisis de las grandes cantidades de datos recopilados de los medidores digitales en la planta de producción garantiza la visibilidad en tiempo real de los activos de fabricación y puede proporcionar herramientas para realizar el mantenimiento predictivo a fin de minimizar el tiempo de inactividad del equipo.

Reemplazar los medidores de inspección manual con información de Inteligencia Artificial reduce los errores de fabricación y ahorra dinero y tiempo. Con una inversión mínima, el personal de control de calidad puede configurar un teléfono inteligente conectado a la nube para monitorear los procesos de fabricación desde prácticamente cualquier lugar. Los conceptos y tecnologías de la Industria 4.0 se pueden aplicar en todo tipo de empresas industriales, incluida la fabricación discreta y de procesos, así como en el petróleo y el gas, la minería y otros segmentos industriales. (IBM, 2020) La visión artificial (MV) pertenece a una estrategia dinámica de producción inteligente, que permite que las computadoras y la maquinaria "vean" el mundo a través de la extracción, el procesamiento. El sistema de Visión Artificial facilita la inspección y revisión automatizadas de los sistemas mediante procesamiento de imágenes, incluida la inspección automática, el monitoreo de procesos. La Visión Artificial ahora ha automatizado la operación de rotación de troncos, fácilmente aplicable para la industria. La información escaneada con la ayuda de esta tecnología se analiza para maximizar

el rendimiento. La visión artificial permite a una empresa cosechar los beneficios duraderos de una mayor precisión de fabricación. La visión artificial (MV) pertenece a una estrategia dinámica de producción inteligente, que permite que las computadoras y la maquinaria "vean" el mundo a través de la extracción, el procesamiento. El sistema de Visión Artificial facilita la inspección y revisión automatizadas de los sistemas mediante procesamiento de imágenes, incluida la inspección automática, el monitoreo de procesos. La Visión Artificial ahora ha automatizado la operación de rotación de troncos, fácilmente aplicable para la industria. La información escaneada con la ayuda de esta tecnología se analiza para maximizar el rendimiento. La visión artificial permite a una empresa cosechar los beneficios duraderos de una mayor precisión de fabricación.

Las técnicas de Visión por Computadora son interdisciplinarias, ya que utilizan cámaras, sensores y potencia informática para interpretar imágenes y permitir que las máquinas completen tareas industriales, como la producción y la verificación de la calidad. Para Industria 4.0, la Visión Artificial es un componente esencial que respalda las tecnologías de automatización industrial en varios aspectos, como la mejora del rendimiento a través de la mejora del stock y la detección de componentes defectuosos y la mejora de la calidad del producto. Esto es útil para obtener imágenes de inspección y análisis automatizados para aplicaciones tales como inspección automatizada, control de procesos y guía de robots. Esta tecnología es beneficiosa para reducir los costos de mano de obra. Los usos reales son casi ilimitados en la producción, lo que puede maximizar las operaciones, la eficiencia y los ingresos.

Con el rápido desarrollo de la tecnología de la información, el manómetro digital se ha aplicado ampliamente. Pero el manómetro analógico sigue siendo muy popular en varios campos debido a su estructura simple, alta confiabilidad, bajo precio y fácil operación. Sin embargo, debido a la salida de señal no digital del manómetro análogo, una computadora no

puede realizar el procesamiento y la transmisión remota de los datos recopilados, por lo que sus aplicaciones son limitadas. Por lo tanto, el método de dotar al manómetro análogo funciones digitales, como la lectura automática y la transformación del valor recopilado en la señal digital. Este proyecto tiene como objetivo encontrar un método de lectura automática basado en la visión artificial para un manómetro análogo. (Mohd Javaida, 2021)

### **Antecedentes**

Cuando se realiza un registro de los valores medidos por un manómetro análogo pueden ocurrir errores aleatorios, debido a la agudeza limitada de la observación humana. Además, cuando un operador está lejos del medidor, el operador debe almacenar la lectura repetidamente y registrar manualmente el valor indicado. Esto no solo aumenta la carga del operador, sino que también reduce la eficiencia de la calibración del manómetro. Para superar las limitaciones anteriores y hacer que los manómetros análogos sean más fáciles de usar, es por ello que se han desarrollado diversos proyectos como “Control de presión usando visión artificial a través de un procesador digital de señales DSP”, es un sistema de control de presión por medio de visión artificial, centrando el proyecto en el desarrollo de un algoritmo capaz de realizar este proceso en tiempo real y con una alta confiabilidad, para esto se inició con la implementación del software MATLAB el cual cuenta con toolbox especializados en el procesamiento de imágenes lo cual facilita el análisis y la implementación del sistema. (Linares, 2017)

El proyecto “Diseño e implementación de un sistema de monitoreo inalámbrico de variables físicas mediante el empleo de visión artificial para la interpretación de las escalas numéricas de instrumentos analógicos industriales”, es un sistema de monitoreo de bajo costo aplicando visión artificial en el reconocimiento y la digitalización de la medida de los instrumentos analógicos comúnmente utilizados en las industrias, como son el termómetro, el manómetro y el rotámetro, que miden las variables de temperatura, presión y flujo

respectivamente; presentando la característica de ser un sistema no invasivo que permite obtener datos de las variables en tiempo real a través de una red inalámbrica basada en tecnología WIFI. Los algoritmos correspondientes al procesamiento de imágenes se han programado haciendo uso de las librerías de OpenCV y la aplicación de redes neuronales artificiales en el reconocimiento de formas, para ello se utiliza una plataforma de desarrollo embebida que soporta la compilación y ejecución de códigos escritos en lenguaje C++ sobre un sistema operativo libre; y dónde además las funciones de transmisión inalámbrica están desarrolladas en base al protocolo UDP. Los datos correspondientes a cada variable son visualizados y almacenados en una PC que actúa como un sistema servidor de la red inalámbrica, para ello se ha elaborado un HMI en el software LabVIEW que, además, se complementa con diferentes lenguajes de programación para la creación de una página web orientada al servicio de monitoreo remoto (Linares L. , 2017) Mientras que el proyecto “Machine Vision Based Automatic Detection Method of Indicating Values of a Pointer Gauge”, consiste en el estudio de la lectura automática para un indicador de puntero basado en visión por computadora. Además, el estudio tiene como objetivo resaltar los defectos del método actual de reconocimiento automático del medidor de puntero e introduce un método que tiene un rendimiento superior en la precisión y estabilidad de su identificación de lectura. (Liu, 2015)“Machine Vision Based Automatic Detection Method of Indicating Values of a Pointer Gauge”, consiste en el estudio de la lectura automática para un indicador de puntero basado en visión por computadora. Además, el estudio tiene como objetivo resaltar los defectos del método actual de reconocimiento automático del medidor de puntero e introduce un método que tiene un rendimiento superior en la precisión y estabilidad de su identificación de lectura. (Liu, 2015)

## **Formulación del Problema**

Los manómetros analógicos son muy usados ampliamente en la industria como el sector de gas y en muchas industrias operativas. La inspección visual del operador es necesaria para realizar lecturas de manómetros analógicos. Esto significa que una persona debe viajar al sector donde se encuentra el manómetro, para leer su valor y registrarlo de esta manera se puede ver el comportamiento del equipo o realizar otros procesos en base al valor medido. Este es un proceso costoso y que requiere mucho tiempo y es propenso a errores humanos. Digitalizar una industria es altamente costosa, por cual una opción es adoptar tecnologías de visión artificial en las que se utilizan cámaras como ojos humanos para leer automáticamente los resultados de medición de los manómetros análogos.

Por lo tanto, el método de proporcionar al manómetro características digitales, como la lectura automática y la transformación del valor recolectado en la señal digital deben tener una correcta lectura del sistema. Como se pudo observar en los antecedentes existen diseños de reconocimiento visual de indicadores manuales que cuentan softwares de pago como LabVIEW y Matlab, tanto en la parte de digitalización y registro de información.

## **Justificación**

Como se puede ver en los antecedentes y en la formulación del problema existe una gran necesidad de modernizar la industria, sobre todo en las pequeñas empresas que necesitan maximizar los ingresos futuros. Sin embargo, la medición continua en los manómetros análogos es muy costosa y si se la realiza de manera manual se incurren en errores humanos tales como errores visuales, tipográficos y de duplicación de datos. La capacidad de leer un manómetro analógico utilizando la visión por computadora permite la integración de lecturas en un sistema automatizado, que ofrece ventajas significativas, que incluyen reducir la necesidad de que un equipo de mantenimiento viaje a lugares remotos, acceso continuo en tiempo real a través del monitoreo digital de las lecturas del manómetro análogo.

Mediante este proyecto se pretende actualizar y reducir costos en la medición de manómetros manuales con softwares totalmente gratuitos aplicables a este trabajo en el contexto de que el rendimiento de la computacional ha mejorado drásticamente, tanto en la parte de visión artificial para leer y transmitir los datos del medidor manual, como en el registro de datos, que permite al usuario monitorear el manómetro mediante un computador o un celular, desde cualquier lugar. Actualmente la mayoría de las industrias están conectadas a la IOT, con lo que sus procesos están automatizados obteniendo una gran ventaja en sus productos finales mejorando relativamente su calidad; este proyecto es la base para automatizar una industria sin la necesidad de cambiar sus sensores análogos, sino simplemente con una cámara poder revisar diversos sensores a la vez, con lo cual se puede tener un gran ahorro en la digitalización de los procesos.

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

- Digitalizar la información de un manómetro análogo mediante visión artificial para generar registros en la web en tiempo real.

### ***Objetivos Específicos***

- Recopilar información de los manómetros análogos y sistemas de Control Visual
- Implementar el algoritmo de Procesamiento de Imagen que permita la digitalización de un manómetro análogo.
- Implementar el servidor web para almacenamiento de registros y monitoreo de información del manómetro.
- Evaluar experimentalmente la digitalización de información del manómetro y la transmisión de información a través de dispositivos web.

## **Hipótesis de investigación**

La digitalización de la información de los manómetros análogos automatizará los diferentes procesos de aire comprimido.



## Capítulo II:

### Marco Teórico

#### Cuarta revolución industrial

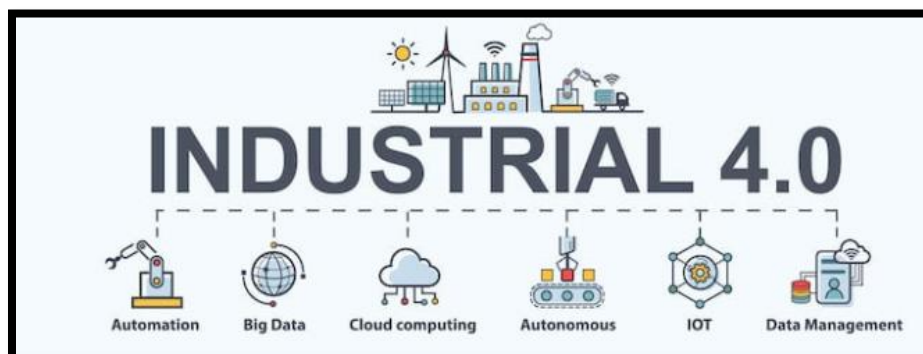
Ahora estamos en la cuarta revolución industrial, también conocida como Industria 4.0. La cual se caracteriza por una creciente automatización empleando máquinas inteligentes en las fábricas, los datos registrados ayudan a producir bienes de manera más eficiente y productiva en toda la cadena de valor. Se mejora la flexibilidad para que los fabricantes puedan satisfacer de mejor manera las demandas que requieren los clientes; con lo cual se busca lograr mejorar la eficiencia. Al recopilar datos de la planta de producción y combinarlos con otros datos operativos de la empresa, una fábrica inteligente puede lograr transparencia en la información y mejores decisiones. (IBM, 2020)

#### Internet de las cosas (IoT)

El Internet de las cosas (IoT) describe la red de objetos físicos, "cosas", que están integrados con sensores, software y otras tecnologías con el fin de conectar e intercambiar datos con otros dispositivos y sistemas a través de Internet. Estos dispositivos van desde objetos domésticos comunes hasta herramientas industriales sofisticadas. (Oracle, 2021) El IoT es un componente clave de las fábricas inteligentes. Las máquinas en la planta de producción están equipadas con sensores que cuentan con una dirección IP que permiten la conexión con otros dispositivos habilitados para la web. Esta conectividad hace posible que se recopilen, analicen e intercambien grandes cantidades de datos valiosos. La IoT es un componente clave de las fábricas inteligentes. Las máquinas en la planta de producción están equipadas con sensores que cuentan con una dirección IP que permiten la conexión con otros dispositivos habilitados para la web. Esta conectividad hace posible que se recopilen, analicen e intercambien grandes cantidades de datos valiosos. En la figura 1 se puede observar la representación de la industria 4.0, en la cual todo está interconectado entre sí.

## Figura 1

### Industria 4.0



*Nota.* En el gráfico se puede observar la representación de la industria 4.0, en la cual todo está interconectado entre sí. (Oracle, 2021)

### Computación en la nube

La información en la nube es la piedra angular de cualquier estrategia en la Industria 4.0. La fabricación inteligente exige conectividad e integración de la ingeniería, cadena de suministro, producción, ventas, distribución y servicio. Además, la gran cantidad de datos que normalmente se almacenan y analizan se puede procesar de manera más eficiente y rentable en la nube; también se puede reducir los costos iniciales para los fabricantes pequeños y medianos que pueden ajustar sus necesidades y escalar a medida que crece su negocio.

### Análisis de datos para una óptima toma de decisiones

Los sensores integrados y la maquinaria interconectada producen una cantidad significativa de datos para las empresas de fabricación. El análisis de datos puede ayudar a los fabricantes a investigar tendencias históricas, identificar patrones y tomar mejores decisiones. Las fábricas inteligentes también pueden usar datos de otras partes de la organización y su ecosistema extendido de proveedores y distribuidores para crear conocimientos más profundos. Al observar los datos de recursos humanos, ventas o almacenamiento, los fabricantes pueden

tomar decisiones de producción basadas en los márgenes de ventas y el personal. Se puede crear una representación digital completa de las operaciones como un "gemelo digital".

### **Integración TI-TO**

La arquitectura de red de la fábrica inteligente depende de la interconectividad. Los datos en tiempo real recopilados de sensores, dispositivos y máquinas en la planta de producción pueden ser consumidos y utilizados de inmediato por otros activos de la fábrica, así como compartidos entre otros componentes en la pila de software empresarial, incluida la planificación de recursos empresariales y otra gestión comercial.

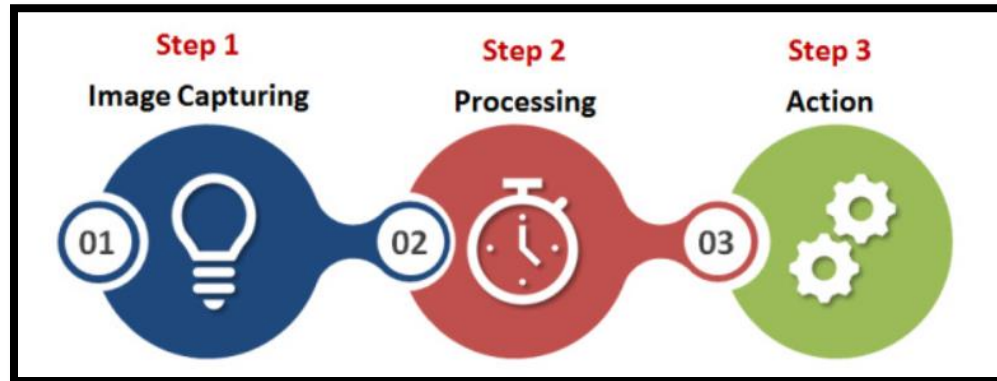
### **Visión Artificial**

La visión artificial es un término utilizado en la industria para describir la tecnología y las metodologías utilizadas para ofrecer inspección y análisis autónomos basados en imágenes para aplicaciones. La visión artificial se utiliza en la industria para la inspección de materiales, el reconocimiento de objetos, patrones, firmas, caracteres, dinero, y el análisis de componentes electrónicos. Su objetivo es encontrar nuevas formas de combinar la tecnología existente y aplicarlas a los problemas del mundo real.

El término se asocia más típicamente con estas habilidades en la automatización industrial, aunque también se usa en otros contextos como la seguridad y la navegación de vehículos. El procedimiento comienza con la obtención de imágenes y luego su análisis automático y la extracción de información. En la Figura 2 se observan los pasos que sigue un proceso de Visión Artificial.

**Figura 2**

*Pasos del proceso de Visión Artificial*



*Nota.* En el gráfico se puede observar los pasos que sigue un proceso de Visión Artificial.

(Mohd Javaida, 2021)

Aunque se han utilizado diferentes formas de visión por computadora durante muchas décadas, los desarrollos recientes de aprendizaje automático y procesamiento de imágenes han permitido nuevos casos de producción. Los sistemas de visión por computadora compatibles con IA pueden operar en contextos cada vez más diversos, ya no restringidos a actividades organizadas y rutinarias. Esto trabaja continuamente con los operadores para mejorar la eficiencia, disminuir los errores y mejorar los datos. Cuando se integran dinámicamente en la planta inteligente, los sistemas de visión por computadora mejoran la producción visual y humana en línea. La visión continua de los procesos en tiempo real es uno de los reclamos de la visión artificial. En el contexto de los datos de las computadoras y los datos del operador no visuales obtenidos por un sistema de visión artificial se vuelven más importantes. (Mohd Javaida, 2021)

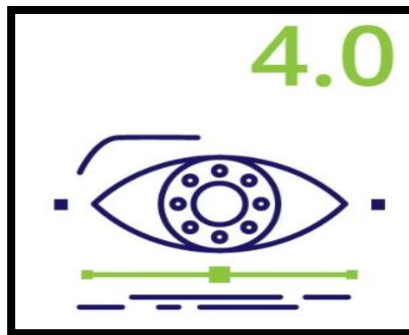
### **Visión Artificial en la industria 4.0**

Las revoluciones industriales han dado forma a la sociedad en la que vivimos y la forma en que fabricamos artículos a lo largo de la historia. Las máquinas impulsadas por agua y vapor

se introdujeron durante la primera revolución industrial, lo que permitió la producción generalizada de productos básicos. La segunda revolución se caracterizó por el uso de la electricidad para alimentar las líneas de producción y aumentar las horas de funcionamiento. La tercera revolución industrial vio el desarrollo de la electrónica, las computadoras y los controladores lógicos programables (PLC), lo que condujo a la automatización de las líneas y procesos de producción. Los sistemas ciber físicos mejoran la automatización de la fábrica con mejores datos y aprendizaje automático en la cuarta revolución industrial, conocida como Industria 4.0. En la Figura 3 se representa la unión de la visión por computadora y la industria 4.0

### Figura 3

*Visión Artificial en la industria 4.0*



*Nota.* En el gráfico se puede observar la unión de la visión por computadora y la industria 4.0.

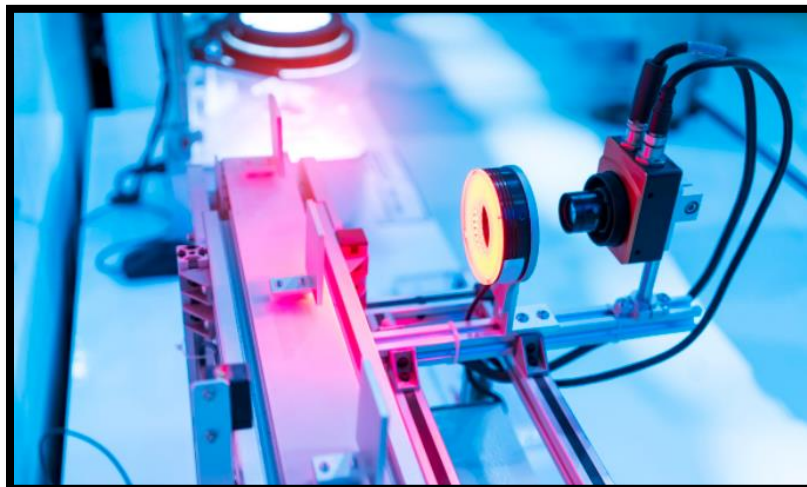
(Mohd Javaida, 2021)

La tecnología de Visión Artificial es fundamental para recopilar el mundo físico y transferirlo a datos digitales en red, ya que la Industria 4.0 predice una mayor dependencia del aprendizaje automático. Estos datos pueden evaluarse y procesarse en tiempo real para aumentar la eficiencia operativa, mantener los estándares de calidad y reducir el desperdicio, lo que permite a las empresas mejorar la productividad, mantener los estándares de calidad y reducir el desperdicio en un ciclo de desarrollo continuo. De hecho, después de invertir en proyectos de fábricas inteligentes, las organizaciones informan aumentos de hasta un 12 % en áreas como la producción manufacturera, la utilización de fábricas y la productividad laboral

Las máquinas están conectadas en la Industria 4.0 para establecer un ecosistema conocido como Internet de las cosas (IoT). La integración de la Visión Artificial con los sistemas de automatización mejora la calidad y la cantidad de datos recopilados, lo que permite que la fábrica inteligente se convierta en una realidad. Esta información adicional se utiliza en aplicaciones para garantizar la calidad, reducir el desperdicio y mejorar la seguridad al tiempo que aumenta la velocidad de producción. La Visión Artificial es un mercado en desarrollo que se espera que crezca a largo plazo y tiene un futuro prometedor debido a su facilidad de uso, y están surgiendo nuevos usos no industriales. Las industrias que ya han adoptado la Visión por Computadora están teniendo mayores márgenes de beneficio. En la Figura 4 se puede ver el control de calidad por medio de visión artificial.

#### **Figura 4**

*Cámaras en la IOT*



*Nota.* En el gráfico se puede observar el control de calidad por medio de visión artificial. (Mohd Javaida, 2021)

### **Funciones colaborativas de visión artificial para la industria 4.0**

Las funciones como la lectura de códigos de barras, la detección de defectos, la trazabilidad, el proceso de clasificación, la verificación óptica, la robótica de visión, etc., hicieron que las aplicaciones de Visión por Computadora en la Industria 4.0 fueran más adecuadas.

(Mohd Javaida, 2021)

Las revoluciones industriales han transformado el mundo donde los fabricantes pueden producir productos a lo largo de la historia humana. Los mejores métodos para la visión por computadora trabajan con los operadores para hacerlos más eficientes y confiables. Los sistemas de visión artificial deben integrarse en las actividades de un fabricante para identificar cualquier movimiento en un proceso que guíe a un operador a través de órdenes de trabajo complicadas. A medida que las corporaciones buscan mejorar la eficiencia y la gestión de la calidad, más empresas buscan reducir el tiempo de inactividad no planificado. La creciente dependencia del aprendizaje automático significa que la tecnología de visión artificial juega un papel integral en la recopilación y conversión del mundo real en datos digitales en red. Estos datos se pueden analizar y almacenar en tiempo real para mejorar la productividad, mantener los niveles de calidad y reducir los desperdicios, lo que permite a las empresas aumentar el rendimiento operativo en un período de mejora constante. Las industrias abren posibilidades para un mayor margen de ganancias a medida que sus contrapartes no adoptadas se quedan atrás. Puede ayudar al control de calidad en línea al proporcionar supervisión a nivel de proceso a medida que funciona el operador. Algunos programas también pueden rastrear e identificar las acciones de los operadores a lo largo del tiempo, lo que permite a los ingenieros obtener más visibilidad.

Esta tecnología mejora las capacidades del escáner 3D, que utiliza láseres para rastrear la superficie del objeto y digitalizarlo en una nube de puntos que representa su copia 3D. Este flujo de datos a menudo se envía a un dispositivo para su análisis. Las empresas que están

implementando visión artificial de control robótico pueden ver cómo su productividad, confiabilidad y rendimiento aumentan exponencialmente. Sin duda, facilita el desarrollo de la demanda de sus clientes y nuevas fuentes de ingresos para ellos mismos. Cuando las empresas se vuelven más dinámicas, el control de los recursos se interrelaciona más directamente con la viabilidad de una organización. En la Figura 5 se ve un proceso de fabricación, apoyado por visión artificial para tener mayor precisión, en el mismo.

### **Figura 5**

*Visión Artificial para hacer la fabricación más precisa*



*Nota.* En el gráfico se puede observar un proceso de fabricación, apoyado por visión artificial para tener mayor precisión, en el mismo. (Mohd Javaida, 2021)

### **Conceptos básicos de visión artificial**

#### ***OpenCV***

OpenCV es una gran biblioteca de código abierto para la visión artificial, el cual permite realizar aprendizaje automático, procesamiento de imágenes y también se pueden usar operaciones en tiempo real, lo cual es muy importante en los sistemas actuales. En esta biblioteca al procesar imágenes y videos se pueden identificar objetos, rostros o incluso la



escritura a mano de una persona. Al integrarse con varias bibliotecas, como Numpuy, Python es capaz de procesar patrones de imagen y sus diversas características, utilizando el espacio vectorial y se realizan operaciones matemáticas entre estas características. (geeksforgeeks, 2021). En la Figura 6 se observa el logo del software OpenCV

**Figura 6**

*OpenCv*



*Nota.* En el gráfico se puede observar el logo del software OpenCV. (geeksforgeeks, 2021)

### **Transformación del círculo de Hough**

Un círculo se representa matemáticamente como  $(x - x_{centro})^2 + (y - y_{centro})^2 = r^2$ , donde  $(x_{centro}, y_{centro})$ , es el centro de la circunferencia y  $r$  es el radio del círculo. A partir de la ecuación, se puede ver que existen 3 parámetros, para lo cual OpenCV utiliza el método de gradiente Hough, que usa la información de gradiente de los bordes. Por lo general, la función detecta bien los centros de los círculos; sin embargo, es posible que no encuentre los radios correctos, por lo cual se puede ayudar a la función especificando el rango de radio (Radio mínimo y Radio máximo), o a su vez se, puede establecer el Radio máximo. Los parámetros necesarios para la función son los siguientes:

**Imagen.** Es la Imagen de entrada en escala de grises de un solo canal de 8 bits.

**Círculos.** Es el vector de salida de círculos encontrados. Cada vector está codificado como vector de punto flotante de 3 elementos  $(x_{centro}, y_{centro}, radio)$ .

**Método.** Es el método de detección generalmente se implementa el método HOUGH\_GRADIENT

**Dp:** Es la relación inversa de la resolución del acumulador a la resolución de la imagen. Por ejemplo, si  $dp = 1$ , el acumulador tiene la misma resolución que la imagen de entrada. Si  $dp = 2$ , el acumulador tiene la mitad de ancho y alto.

**Distancia mínima:** Distancia mínima entre los centros de los círculos detectados. Si el parámetro es demasiado pequeño, se pueden detectar falsamente múltiples círculos vecinos además de uno verdadero. Si es demasiado grande, es posible que se pierdan algunos círculos.

**Parámetro 1** Es el primer parámetro específico del método. En el caso de HOUGH\_GRADIENT, es el umbral más alto de los dos pasados por el detector de borde Canny (el más bajo es dos veces más pequeño).

**Parámetro 2** Es el segundo parámetro específico del método. En el caso de HOUGH\_GRADIENT, es el umbral del acumulador para los centros del círculo en la etapa de detección. Cuanto más pequeño es, más círculos falsos se pueden detectar. Los círculos, correspondientes a los valores acumulados más grandes, son los primeros que se detectaran.

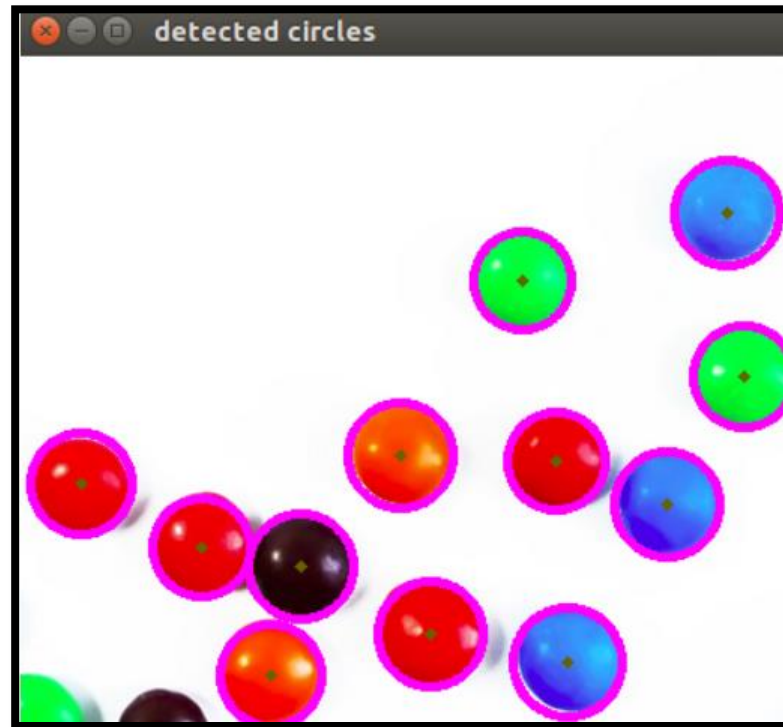
**minRadio:** Es el Radio mínimo del círculo.

**maxRadio:** Es el Radio máximo del círculo. Si  $\leq 0$ , utiliza la dimensión máxima de la imagen. Si  $< 0$ , devuelve los centros sin encontrar el radio. (opencv, 2020)

En la Figura 7 se observa la detección de círculos por medio de círculo de Hough en OpenCV

## Figura 7

### *Detector de Círculos*



*Nota.* En el gráfico se puede observar la detección de círculos por medio de círculo de Hough en OpenCV. (geeksforgeeks, 2021)

### ***Transformación de línea de Hough***

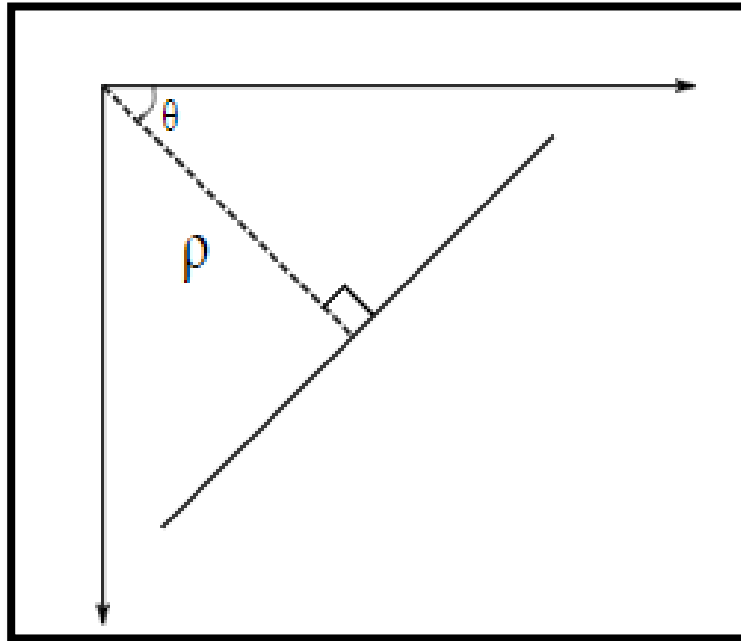
La transformada de Hough es una técnica popular para detectar cualquier figura, y representarla de forma matemática. Puede detectar la forma incluso si está se encuentra rota o un poco distorsionada.

En la Figura 8 se observa una recta representada por  $y = mx + c$  o en forma paramétrica, como  $p = x \cos \theta + y \sin \theta$  donde  $p$  es la distancia perpendicular desde el origen

hasta la recta, y  $\theta$  es el ángulo formado por esta línea perpendicular y el eje horizontal medido en sentido contrario a las agujas del reloj.

### Figura 8

*Transformación de línea de Hough*



*Nota.* En el gráfico se puede observar una recta representada por  $y = mx + c$  o en forma paramétrica. (geeksforgeeks, 2021)

Todo lo explicado anteriormente está encapsulado en la función OpenCV, `cv.HoughLines()`, la cual simplemente devuelve una matriz de valores de `math:(rho, theta)`.  $\rho$  se mide en píxeles y  $\theta$  se mide en radianes. El primer parámetro, es la imagen de entrada la misma que debe ser una imagen binaria. El segundo parámetro y tercero son  $\rho$  y  $\theta$ . El cuarto argumento es el umbral, lo que significa el parámetro mínimo que debe obtener para ser considerado como una línea. (opencv, 2020)

### **Seguimiento de objetos con Dlib**

La implementación del rastreador de correlación dlib se basa en la estimación de escala precisa para seguimiento visual de un objeto. Este avance permite rastrear los objetos que cambian tanto en posición como en escala a lo largo de una transmisión de video y, además, se puede realizar el seguimiento en tiempo real. (pyimagesearch., 2020)

### **Presión**

Si un cuerpo descansa sobre una superficie, como la superficie de una mesa, entonces el peso del cuerpo tenderá a hacer que se mueva a través del material de la mesa. La superficie de la mesa se comprime así, aunque sea ligeramente. Esta compresión da como resultado una llamada fuerza de reacción que, cuando la compresión es suficiente, equilibra el peso del cuerpo. Así es como si el propio cuerpo actuara sobre la mesa con una fuerza igual a su propio peso y la presión que ejerce el cuerpo se mide como la fuerza que ejerce por unidad de superficie. Esto se puede calcular dividiendo el peso total del cuerpo por el área de contacto con la superficie.

### **Presión en Gases: Presión Atmosférica**

Los gases se diferencian de los sólidos y los líquidos en el aspecto importante de que cualquier masa de gas puede comprimirse fácilmente en un volumen significativamente menor, de modo que su densidad aumente. Dado que son las colisiones de las moléculas de gas contra las paredes del recipiente las responsables de la presión ejercida por el gas, la presión aumentará a medida que se reduzca el volumen de cualquier masa dada de gas, porque las moléculas chocan con más frecuencia con las paredes debido al aumento de la densidad. La relación entre la presión ejercida por una masa fija de gas y su volumen a temperatura constante está dada por la ley de Boyle. Sin embargo, en particular, si el volumen de una masa fija de gas se reduce a la mitad a temperatura constante, su presión se duplica.

La presión a lo largo de cualquier masa estática de gas en un recipiente tiene en todas partes dentro de ese recipiente esencialmente el mismo valor. Su valor en cualquier punto no depende significativamente del peso del gas por encima de ese punto, es decir, la presión no varía con la profundidad de forma apreciable como ocurre en el caso de un líquido. Aunque esto sigue siendo aparentemente cierto para columnas de gas bastante altas, la presión de hecho varía con la profundidad cuando la altura de la columna de gas se hace grande. El gas en la base de la columna se comprime por el peso del gas por encima y por lo tanto su densidad es mayor. Por lo tanto, ejerce una presión mayor, suficiente de hecho para soportar la presión sobre él. El ejemplo obvio de una columna de gas muy alta es la atmósfera de la Tierra, que tiene muchos kilómetros de altura. La presión y la densidad disminuyen con la altura sobre la superficie de la Tierra. Por el contrario, la medida de la presión del aire en un neumático de bicicleta no es la medida de la presión que resulta directamente del peso del aire en el neumático.

### **Instrumentación en la medición de presión**

La instrumentación de presión incluye varios manómetros, transmisores, sensores y transductores de presión que se utilizan para medir y mostrar las unidades de presión de un fluido o gas. Los transductores, transmisores y sensores miden la presión en bombas, tuberías, tanques y otros procesos para enviar una señal a una pantalla, controlador, HMI u otro dispositivo. Los manómetros son dispositivos analógicos o digitales que se utilizan para mostrar las lecturas y proporcionar mediciones en tiempo real, para realizar un control eficaz de la presión.

La medición periódica de los niveles de presión de gas, vapor y líquidos es fundamental para la seguridad y el control de calidad en aplicaciones comerciales e industriales. Algunas de las industrias en las que se utiliza la medición de presión son plantas químicas y aplicaciones de petróleo, gas, agua, aguas residuales, alimentos, bebidas, hormigón, etc. (branom, 2021)

Los manómetros y otros dispositivos para medir la presión son una solución rentable y confiable para evitar fallas en los equipos. Las consideraciones para seleccionar los correctos instrumentos de presión son:

- Tipo y rango de lectura de presión requerida
- Temperatura ambiente de operación y compatibilidad química de las partes mojadas
- Nivel de precisión requerido
- Cualquier especificación de la industria

### **Instrumentos electrónicos de medición de presión**

La base de los manómetros electrónicos está formada por el sensor de presión. Convierte el parámetro de medición de presión en una señal electrónica. La ventaja de los instrumentos de medición de presión electrónicos radica en el excelente rendimiento dinámico y la baja tensión del material. Esto les da una alta resistencia a la carga y estabilidad a largo plazo. En la Figura 9 se observa distintos instrumentos electrónicos de medición de presión



## Figura 9

Instrumentos electrónicos de medición de presión



*Nota.* En el gráfico se puede observar distintos instrumentos electrónicos de medición de presión. (wika, 2021)

### Instrumentos de medición de presión mecatrónicos

Los conjuntos o componentes electrónicos se integran en instrumentos mecánicos de medición de presión. La presión medida se muestra localmente, sin embargo, además, el instrumento de medición de presión ofrece una señal eléctrica o incluye una función de conmutación eléctrica. Con estos instrumentos, el valor medido también se puede leer de forma fiable, si falla la fuente de alimentación o se interrumpe la señal de medición.

En la Figura 10 se observa un manómetro. Estos medidores de presión son una combinación de instrumentos de medición mecánicos con diferentes señales e interruptores, esto da como resultado una amplia gama de instrumentos. (wika, 2021)

## Figura 10

*Instrumentos de medición de presión mecatrónicos*



*Nota.* En el gráfico se puede observar distintos instrumentos electrónicos de medición de presión. (wika, 2021)

### **Instrumentos mecánicos de medición de presión**

Debido a su robustez y fácil manejo, los instrumentos indicadores de medición de presión son ampliamente utilizados. Sus elementos de presión elásticos se deforman bajo la influencia de la presión. El sistema de medición está hecho de un elemento de cápsula, un elemento de diafragma o un tubo de Bourdon. Los sistemas de medición están hechos de aleaciones de cobre, aceros aleados, de materiales especiales.

### **Manómetro de Bourdon**

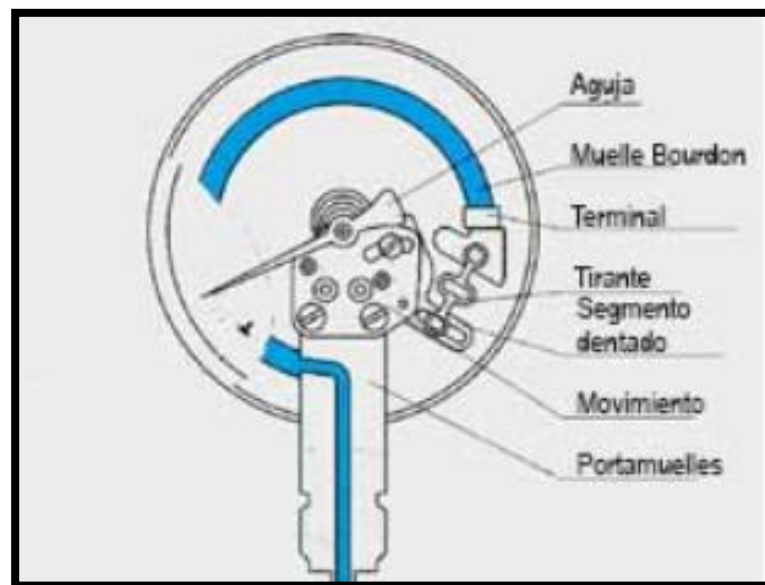
Para la medición de altas presiones se utiliza un manómetro de Bourdon y este consiste esencialmente en un tubo de acero o bronce fosforoso de sección ovalada y doblado en forma circular, estando un extremo fijo y el otro conectado a un sistema de palancas para magnificar el movimiento del tubo. Un puntero que se mueve sobre una escala circular está unido a este

sistema de palanca, la escala está calibrada directamente para dar presión en las unidades requeridas. El extremo fijo del tubo se comunica con el aire o gas en el recipiente o aparato en el que se requiere la presión. Los aumentos en esta presión hacen que el tubo intente enderezarse y esto hace que la aguja se mueva. (Browne, 2013). En la Figura 11 se observa al Manómetro de Bourdon, en la parte a se presenta las Partes del Manómetro de Bourdon y en b se muestra un Manómetro de Bourdon de 0 a 100 PSI de rango.

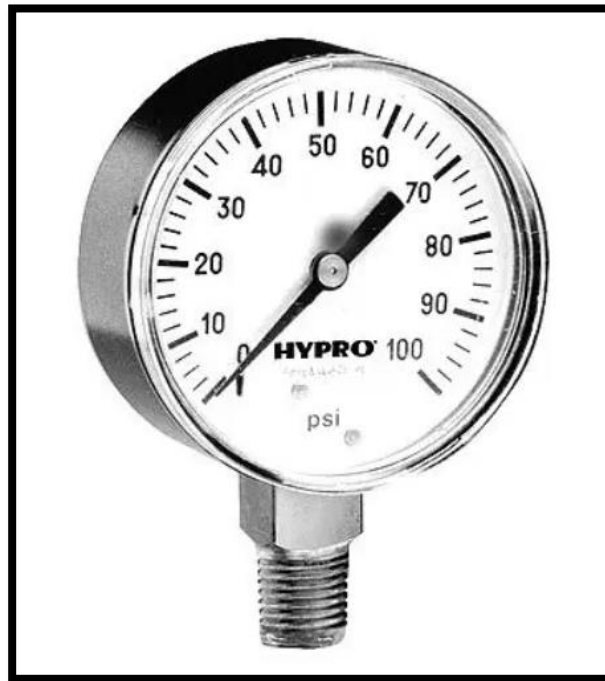
## Figura 11

### *Manómetro de Bourdon*

#### a) Partes del Manómetro de Bourdon



b) Manómetro de Bourdon de 0 a 100 PSI de rango



*Nota.* En el gráfico se puede observar: a) Partes del Manómetro de Bourdon b) Manómetro de Bourdon de 0 a 100 PSI de rango. (Browne, 2013)

### **Sistema de medición**

Los sistemas de medición típicos contienen ruido, los mismos que se dan por errores de calibración, la respuesta dinámica del sensor y la no linealidad del mismo, por lo que pueden afectar la exactitud, precisión y resolución de las mediciones. Existen estándares modernos, físicos y eléctricos utilizados por el NIST de EE. UU. (Instituto Nacional de Estándares y Tecnología, anteriormente la Oficina Nacional de Estándares) los cuales crean estándares secundarios que se usan para la calibración práctica de los sistemas de medición. Los sistemas de medición se utilizan tradicionalmente para medir cantidades físicas y eléctricas, como: masa, temperatura, presión, capacitancia y voltaje.

El sistema de medición se usa para discriminar y contar objetos, como glóbulos rojos o peces de cierto tamaño que pasan nadando por un punto de control. Un sistema de medición a menudo forma parte del sistema de control.

### **Errores en las medidas**

Los errores en las mediciones pueden surgir por diversas causas; existen algunos errores que se pueden corregir, pero otros contienen propiedades intrínsecas en su sistema de medición, por lo que se necesita un rediseño del sistema.

### **Errores brutos**

Estos errores en una medición pueden surgir de errores humanos tales como:

1. Lectura del instrumento antes de que haya alcanzado su estado estable. Este tipo de la lectura prematura produce un error dinámico
2. No interpolar de manera correcta entre la escala de las diversas marcas del medidor analógico
3. Errores en el registro de datos medidos
4. Mal uso del instrumento.

### **Estándares utilizados en las mediciones**

La calibración es necesaria, para permitir que se realicen mediciones precisas. La calibración implica observar el desempeño del instrumento al medir un estándar de algún tipo. Se produjeron cambios importantes en las definiciones de las normas a fines de la década de 1980 y, el 1 de enero de 1990, la comunidad internacional adoptó varias de estas nuevas normas. En los Estados Unidos, la responsabilidad de mantener los estándares primarios y secundarios recae en el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST). NIST también busca establecer nuevos estándares, así como los medios para transferir su precisión al calibrar instrumentos. (Northrop, 2012)

### **Exactitud y precisión de la medida en manómetros digitales**

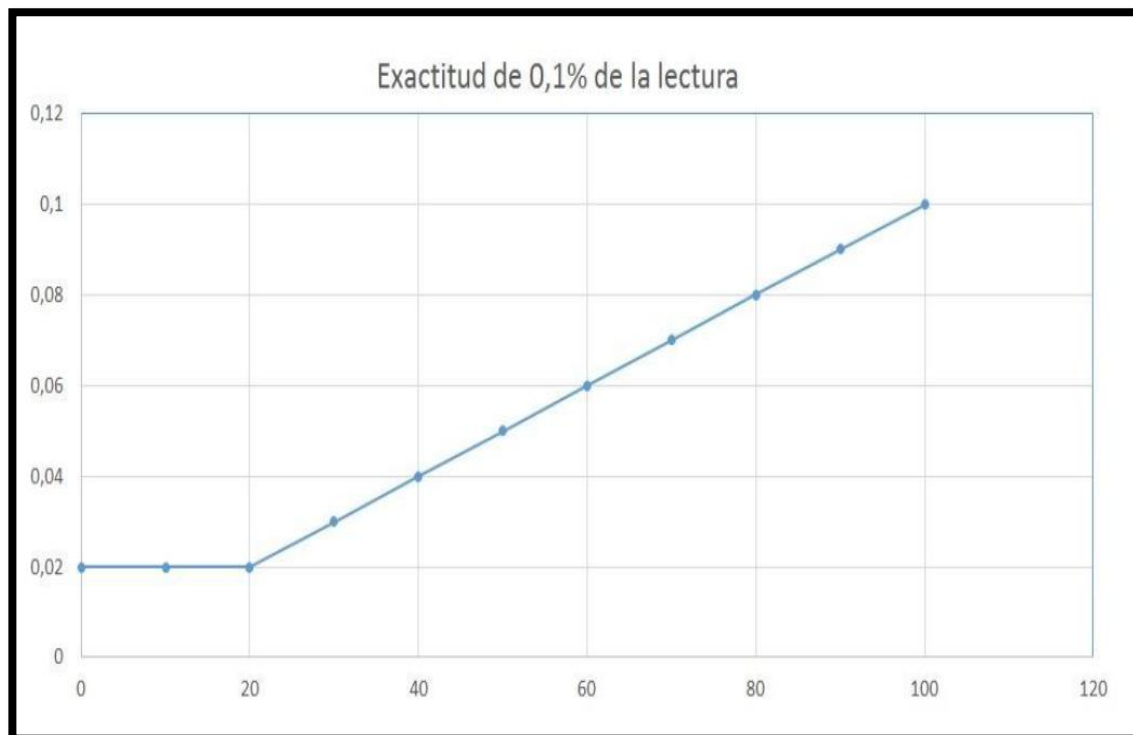
Existen sensores de presión que especifican su exactitud con porcentaje del fondo de escala (%FS) mientras otros especifican con porcentaje de la lectura (%RD) o incluso usan una combinación de las dos.

La exactitud de la medida expresada como porcentaje de lectura (%RD) se obtiene de multiplicar el mismo valor por el valor de la lectura que marco el instrumento de presión en ese instante. Por lo tanto, cuanto menor sea la presión del sistema, mayor será la exactitud en la medida. Los instrumentos de presión que muestran su exactitud como porcentaje de la medida van acompañados de una especificación de suelo que tiene en cuenta más parámetros. Esta especificación incluye incertidumbres como la resolución y el ruido en la medida, que pueden no ser muy relevantes o incluso despreciables a presiones elevadas, pero que son mucho más significativas a presiones bajas. (Corporation, 2015)

Por ejemplo, la exactitud puede decir 0,1% RD entre el 20-100% del rango de presión del instrumento 0,02% FS por debajo del 20% del rango de presión. La especificación del 0,02% FS es considerada el suelo de la especificación, como se puede observar en la Figura 12.

**Figura 12**

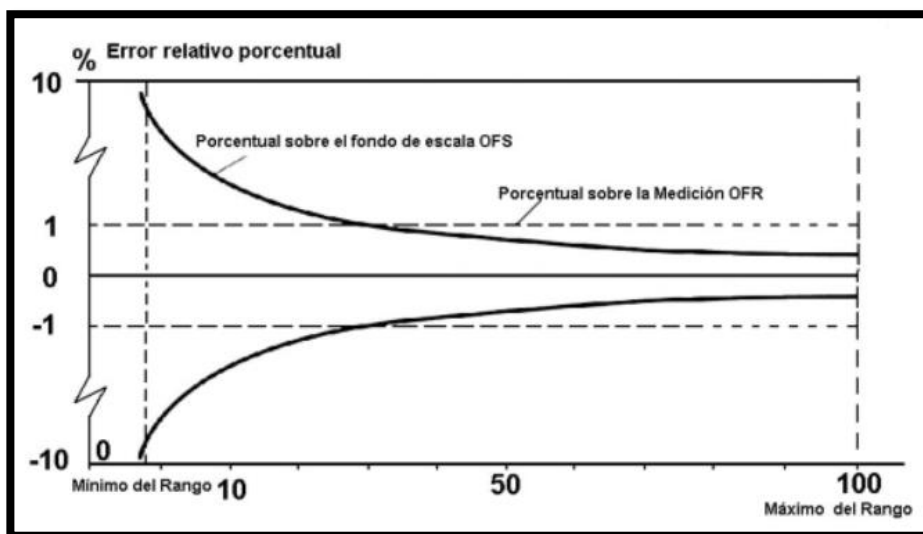
*Exactitud en la lectura*



*Nota.* En el gráfico se puede observar la exactitud del 0,1% RD entre el 20-100% del rango de presión del instrumento 0,02% FS por debajo del 20% del rango de presión. La especificación del 0,02% FS es considerada el suelo de la especificación. (Corporation, 2015)

**Figura 13**

Error relativo porcentual vs Rango



*Nota.* En el gráfico se puede observar la gráfica del error relativo porcentual vs Rango. La exactitud en la medida como porcentaje del fondo de escala (%FS) se calcula multiplicando el rango de presión del instrumento por la exactitud (%FS)

En la Figura 13 se observa la gráfica del error relativo porcentual vs Rango. La exactitud en la medida como porcentaje del fondo de escala (%FS) se calcula multiplicando el rango de presión del instrumento por la exactitud (%FS). Este método es muy más sencillo y más usado en la industria por su fácil de interpretación.

### Estado del Arte

En función de la investigación exploratoria realizada en bases de datos científicas se identificó trabajos relacionados al perfil de tesis propuesto, según muestra la Tabla 1:



**Tabla 1***Estado del Arte*

No	ARTÍCULO / PROYECTO	AUTOR	AÑO	DESCRIPCIÓN
1	Control de presión usando visión artificial a través de un procesador digital de señales DSP	Jorge Linares, Lauren Galvis	2017	Manifiestan en su investigación el diseño de un sistema de control de presión por medio de visión artificial, centrando el proyecto en el desarrollo de un algoritmo capaz de realizar este proceso en tiempo real y con una alta confiabilidad, para esto se inició con la implementación del software MATLAB el cual cuenta con toolbox especializados en el procesamiento de imágenes lo cual facilita el análisis y la implementación del sistema.
2	Diseño e implementación de un sistema de monitoreo inalámbrico de variables físicas mediante el empleo de visión artificial para la interpretación de las escalas numéricas de instrumentos analógicos industriales	Leandro Corrales Tibán y Catherine Gálvez	2017	Hacen referencia al diseño y desarrollo de un sistema de monitoreo de bajo costo aplicando visión artificial en el reconocimiento y la digitalización de la medida de los instrumentos analógicos comúnmente utilizados en las industrias, como son el termómetro, el manómetro y el rotámetro, que miden las variables de temperatura, presión y flujo respectivamente; presentando la característica de ser un sistema no invasivo que permite obtener datos de las variables en tiempo real a través de una red inalámbrica basada en tecnología WIFI.

No	ARTÍCULO / PROYECTO	AUTOR	AÑO	DESCRIPCIÓN
3	Machine Vision Based Automatic Detection Method of Indicating Values of a Pointer Gauge	Lei Liu	2015	Consiste en el estudio de la lectura automática para un indicador de puntero basado en visión por computadora. Además, el estudio tiene como objetivo resaltar los defectos del método actual de reconocimiento automático del medidor de puntero e introduce un método que tiene un rendimiento superior en la precisión y estabilidad de su identificación de lectura.

*Nota.* En la tabla se presentan los trabajos relacionados al perfil de tesis propuesto

## Capítulo III:

### Desarrollo e Implementación

#### Selección e Implementación de los Componentes del Sistema

En la Tabla 2, se presentan la elección de los materiales según la escala de evaluación de (Izurieta, 1997) para el diseño de la digitalización de información de un manómetro analógico a través de visión artificial para generar un registro en la web.

**Tabla 2**

*Escala de evaluación*

Puntuación	Porcentaje Óptimo	Significado
0	<35	Insatisfactorio
1	35-50	Poco Satisfactorio
2	51-75	Medianamente Satisfactorio
3	76-90	Satisfactorio
4	91-100	Muy Satisfactorio

*Nota.* En la tabla se presentan los se presentan la elección de los materiales según la escala de evaluación. (Izurieta, 1997)

#### Criterios técnicos

Es necesario establecer criterios técnicos para el correcto funcionamiento del proyecto, los mismos que son:

- Seleccionar los componentes que componen el sistema de digitalización y monitoreo del

manómetro analógico

- Definir de manera correcta el software a utilizar para la digitalización y registro de datos

### **Parámetros de diseño**

El proyecto debe cumplir con las siguientes etapas para poder realizar un correcto proceso de digitalización y registro de datos:

- Reconocimiento del manómetro analógico
- Reconocimiento de la aguja del manómetro análogo
- Determinar el ángulo de la aguja para poder calcular el valor de presión que indica el manómetro.
- Enviar a la nube los valores para poderlos ir registrando y a la vez tener una gráfica del comportamiento del equipo.

### **Selección de Componentes**

Según el análisis de los parámetros de diseño se puede establecer la siguiente selección de elementos:

- Cámara de alta resolución
- Un controlador que permita realizar el procesamiento de imágenes

### **Procesador**

El proyecto requiere de un computador, en el cual se pueda ejecutar los softwares de visión artificial, para lo cual se tomaron en consideración los siguientes controladores.

### **Raspberry Pi 4 Model B**

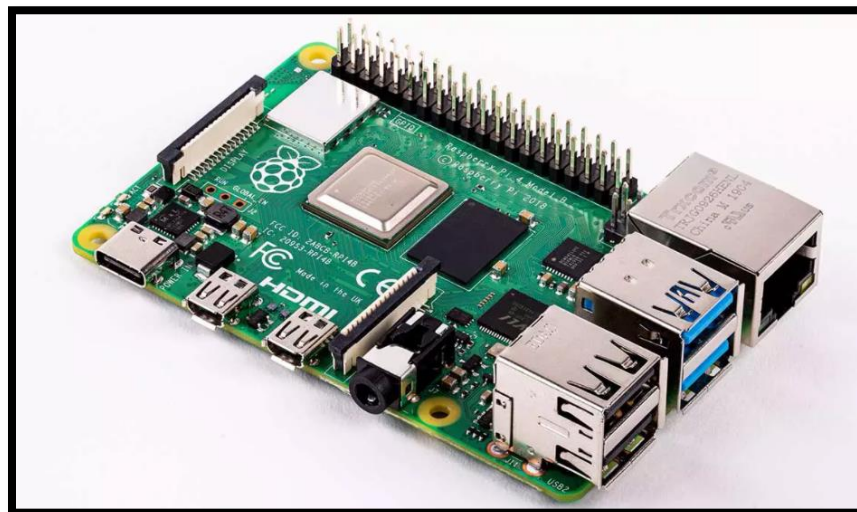
Es el último producto de la popular gama de computadoras Raspberry Pi. Ofrece aumentos innovadores en la velocidad del procesador, el rendimiento multimedia, la memoria y la conectividad en comparación con la generación anterior de Raspberry Pi 3 Model B+, al tiempo que conserva la compatibilidad con versiones anteriores y un consumo de energía

similar. Para el usuario final, Raspberry Pi 4 Modelo B proporciona un rendimiento de escritorio comparable al de los sistemas de PC x86 de nivel de entrada.

En la tabla 3 se presenta las características clave de este producto incluyen un procesador de cuatro núcleos de 64 bits de alto rendimiento, compatibilidad con dos pantallas a resoluciones de hasta 4K a través de un par de puertos micro-HDMI, decodificación de video por hardware de hasta 4Kp60, hasta 4 GB de RAM, doble LAN inalámbrica de banda 2,4/5,0 GHz, Bluetooth 5.0, Gigabit Ethernet, USB 3.0 La LAN inalámbrica de doble banda y el Bluetooth tienen certificación de cumplimiento modular, lo que permite que la placa se diseñe en productos finales con pruebas de cumplimiento significativamente reducidas, mejorando tanto el costo como el tiempo de comercialización. (raspberrypi, 2021). En la Figura 14 se presenta el modelo Raspberry Pi 4 Model B.

#### **Figura 14**

*Raspberry Pi 4 Model B*



*Nota.* En el gráfico se puede observar el modelo Raspberry Pi 4 Model B. (raspberrypi, 2021)

**Tabla 3**

*Características de la Raspberry Pi 4 Model B*

Características	Descripción
Procesador	Broadcom BCM2711, quad-core Cortex-A72 (ARM v8)
Memoria	1GB, 2GB or 4GB LPDDR4 (depending on model)
Pines	Standard 40-pin GPIO (totalmente compatible con versiones anteriores de placas anteriores)
SD card	Micro SD card ranura para cargar sistema operativo yalmacenamiento de datos
Precio	150

*Nota.* En la tabla se presenta las características clave de este producto.

**ASUS Tinker Board S**

En la Tabla 4 se presenta las características de la ASUS Tinker Board S, la misma que tiene un conector de 40 pines para conectar cualquier accesorio, con un procesador Rockchip RK3288 de cuatro núcleos a 1,8 GHz con 2 GB de memoria RAM y con GPU Mali-T764 capaz de soportar vídeo 1080p. También incluye de serie 16 GB de memoria eMMC y no necesita microSD para funcionar. Cuenta también con jack de 3.5 milímetros y admite los principales sistemas operativos: Retropie, cualquier distribución Linux o Android. (adslzone, 18). En la Figura 15 se observa un modelo de ASUS Tinker Board S

**Figura 15**

*ASUS Tinker Board S*



*Nota.* En el gráfico se puede observar el modelo de ASUS Tinker Board S. (adslzone, 18)

**Tabla 4***Características de ASUS Tinker Board S*

Características	Descripción
Procesador	Rockchip RK3288
Memoria	2GB
Pines	40 pines
SD card	16 GB de memoria eMMC y no tiene slot para microSD
Precio	250

*Nota.* En la tabla se presenta las características de la ASUS Tinker Board S

En la tabla 5 se presenta la comparativa entre los 2 computadores, en la cual se puede observar que la raspberry Pi 4 tiene mejores características, por lo cual es la mejor elección para el proyecto

**Tabla 5***Comparativa de controladores*

Características	Raspberry	ASUS Tinker
	Pi 4 Model B	Board S
Procesador	3	2
Memoria	4	1
Pines	3	3
SD card	3	1
Precio	3	1
Total	<b>16</b>	8



*Nota.* En la tabla se presenta la comparativa entre los 2 computadores

## **Cámara**

El proyecto necesita una cámara la misma que debe ser de alta resolución, para poder obtener las imágenes del manómetro manual, para lo cual se han considerado las siguientes cámaras.

### **Cámara MetFut 1080P Full HD Webcam USB PC**

En la tabla 6 se presenta las características de la cámara MetFut de ordenador, la cual cuenta con un lente de cristal Full HD ofrece una imagen nítida y CMOS de 2 megapíxeles con una velocidad de transmisión de hasta 1080P a 30 fps. La webcam de pantalla ancha de 110 grados se puede fijar en el ordenador o monitor a través del orificio del tornillo del trípode en la parte inferior o la cámara se monta en el trípode. En la Figura 16 se observa el modelo de una cámara MetFut 1080P Full HD Webcam USB PC

## **Tabla 6**

### *Características de la Cámara MetFut 1080P Full HD Webcam USB PC*

Características	Descripción
Características especiales	USB, Zoom
Resolución de la captura de video	1080p
Tecnología de conectividad	USB 2.0
Angulo de visión	110
Precio	25

*Nota:* En la tabla se presenta las características de la cámara MetFut de ordenador

### **Figura 16**

*Cámara MetFut 1080P Full HD Webcam USB PC*



*Nota.* En el gráfico se puede observar modelo de una cámara MetFut 1080P Full HD Webcam USB PC

### **Cámara WEB COOAU1080 FULL HD 1080p DE 2MP CON MICROFON INTEGRADO USB**

#### **2.0**

Esta Cámara digital Full HD cuenta con funciones de video y cámara, en la Tabla 7, se presentan las características de la Cámara WEB COOAU1080 FULL HD 1080p y en la Figura 17 se puede observar, el modelo de esta cámara.

**Tabla 7**

*Características de la Cámara Web Cooua1080 Full Hd 1080p De 2mp Con Micrófono Integrado Usb 2.0*

Características	Descripción
Características especiales	USB, Zoom
Resolución de la captura de video	1920 x 1080
Tecnología de conectividad	USB 2.0
Ángulo de visión	90
Precio	44

*Nota.* En la tabla se presentan las características de la Cámara WEB COOAU1080 FULL HD 1080p

**Figura 17**

*Cámara WEB COOAU1080 FULL HD 1080p DE 2MP CON MICRÓFONO INTEGRADO USB 2.0*



*Nota.* En el gráfico se puede observar el modelo de la Cámara WEB COOAU1080 FULL HD 1080p

En la Tabla 8 se comparan las 2 cámaras, en la cual se puede observar que la Cámara MetFut 1080P Full HD Webcam USB PC tiene mejores características, por lo cual es la mejor elección para el proyecto.

**Tabla 8***Comparativa de cámaras*

		Cámara WEB
Características	MetFut 1080P Full HD Webcam USB PC	COOAU1080 FULL HD 1080p DE 2MP CON MICRÓFONO INTEGRADO USB 2.0
Características especiales	3	3
Resolución de la captura de video	3	3
Tecnología de conectividad	3	3
Ángulo de visión	3	2
Precio	3	1
<b>Total</b>	<b>15</b>	<b>12</b>

*Nota.* En la tabla se presenta la comparación las 2 cámaras

### **Servidor de nube virtual**

En el proyecto se deben transmitir los datos generados por el algoritmo de visión artificial, para ser monitoreados en varios dispositivos y en cualquier lugar, por lo cual es necesario contar con un servidor en la nube. Para ello se han considerado las siguientes plataformas.

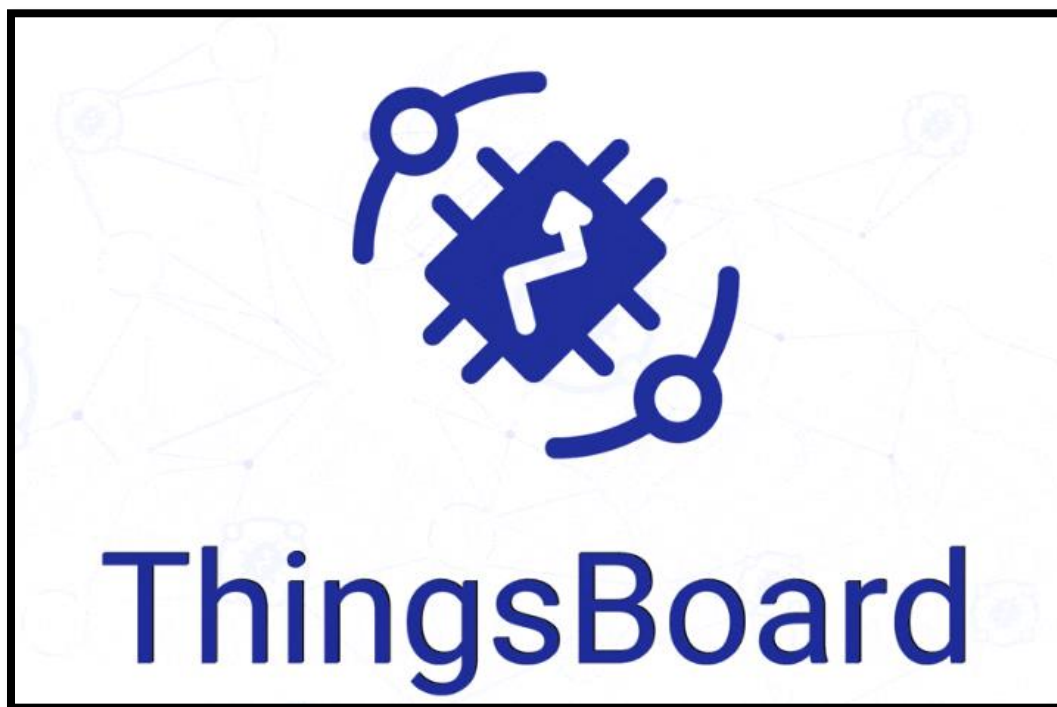
### **ThingsBoard**

Esta plataforma es ideal para recopilar, el procesar, visualizar y gestionar diversos dispositivos de datos. Contiene la mayoría de protocolos estándar del Internet de las cosas como lo son: CoAP, MQTT y HTTP. Su implementación en la nube es rápidas y sencillas. Permite crear flujos de trabajo según el evento de ciclo de vida de diseño, eventos de API

REST, solicitudes de RPC. (geekflare, 2020). En la Figura 18 se puede ver el logo de la Plataforma ThingsBoard y en la Tabla 9 se presentan sus características.

### Figura 18

*Plataforma ThingsBoard*



*Nota.* En el gráfico se puede observar el logo de la Plataforma ThingsBoard. (geekflare, 2020)

**Tabla 9***Plataforma ThingsBoard*

Características	Descripción
Protocolos	CoAP, HTTP o MQTT
Dificultad de Uso	Fácil
Manejo de datos	Almacena y recopila datos de objetos
Gráficas	Información vs Tiempo
Precio	3 meses gratis

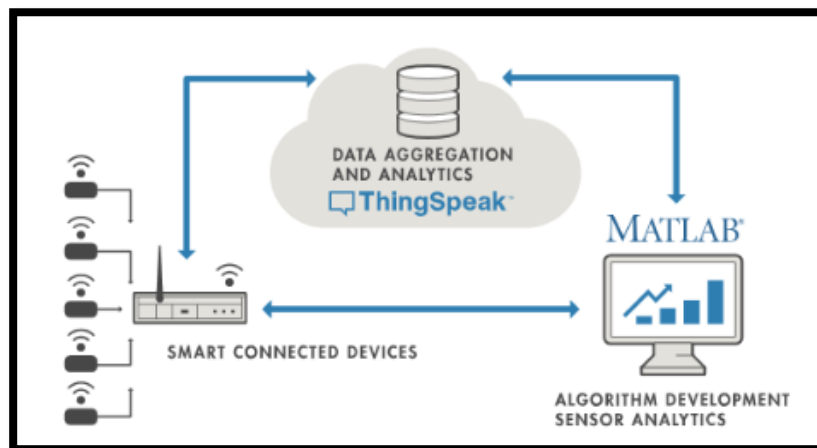
*Nota.* En la tabla se presenta las características de la plataforma ThingsBoard

**ThingSpeak**

Es un servicio de plataforma de análisis de IoT que le permite agregar, visualizar y analizar flujos de datos en vivo en la nube. ThingSpeak proporciona visualizaciones instantáneas de los datos publicados por sus dispositivos en ThingSpeak, como se observa en la Figura 19. Con la capacidad de ejecutar código MATLAB en ThingSpeak, se puede realizar análisis y procesamiento en línea de los datos a medida que ingresan. ThingSpeak se usa a menudo para la creación de prototipos y la prueba de concepto de sistemas IoT que requieren análisis. (thingspeak, 2022). En la Tabla 10 se presentan las características de la Plataforma ThingSpeak

**Figura 19**

*Plataforma ThingSpeak*



*Nota.* En el gráfico se puede observar la representación de la Plataforma ThingSpeak.  
(thingspeak, 2022)

**Tabla 10**

*Características de la Plataforma ThingSpeak*

Características	Descripción
Protocolos	MQTT
Dificultad de Uso	Fácil
Manejo de datos	Almacena y recopila datos de objetos
Gráficas	Información vs Tiempo
Precio	Gratis y Pago

*Nota.* En la tabla se presenta las características de la plataforma ThingSpeak



## DeviceHive

Es una plataforma que contiene licencia Apache 2.0, mediante la cual se puede correr en un servidor propio para poder ofrecerlo comercialmente como una marca propia. Esta plataforma no cuenta con paneles de visualización (dashboards), pero permite enviar datos a otras plataformas para su presentación y traficación de información. (iotconsulting, 2021). En la Figura 20 se observa el logo de la plataforma DeviceHive y en la Tabla 11 se presentan sus características.

### Figura 20

*DeviceHive*



*Nota.* En el gráfico se puede observar el logo de la plataforma DeviceHive. (iotconsulting, 2021)

**Tabla 11***Plataforma DeviceHive*

Características	Descripción
Protocolos	HTTP, WebSocket y MQTT
Dificultad de Uso	Medio
Manejo de datos	Almacena y recopila datos de objetos
Gráficas	No cuenta con paneles de visualización
Precio	Pago

*Nota.* En la tabla se presenta las características de la plataforma DeviceHive

**Azure**

Azure es una plataforma de almacenamiento en la nube de Microsoft para almacenamiento de datos. Azure Storage ofrece almacenamiento de alta disponibilidad, escalable de forma masiva, duradero y seguro para una gran variedad de objetos de datos en la nube. A los objetos de datos de Azure Storage se puede acceder desde cualquier lugar del mundo a través de HTTP o HTTPS por medio de una API REST. (docs.microsoft, s.f.). En la Figura 21 se observa el logo de la plataforma Azure y en la Tabla 12 se presentan sus características

**Figura 21***Azure*

*Nota.* En el gráfico se puede observar el logo de la plataforma Azure. (docs.microsoft, s.f.)

**Tabla 12***Plataforma Azure*

Características	Descripción
Protocolos	HTTP, HTTPS
Dificultad de Uso	Fácil
Manejo de datos	Volúmenes de almacenamiento en el nivel de bloque para máquinas virtuales
Gráficas	No posee un esquema de datos estructurados.
Precio	Pago

*Nota.* En la tabla se presenta las características de la plataforma Azure

En la tabla 13 se comparan las plataformas más viables para el proyecto, en la cual se puede observar que la Plataforma ThingSpeak tiene mejores características, por lo cual es la mejor elección para poder recolectar y procesar los datos

**Tabla 13**

*Comparativa de Plataformas*

Características	ThingsBoard	ThingSpeak	DeviceHive	Azure
Protocolos	4	3	4	4
Dificultad de Uso	4	4	3	4
Manejo de datos	4	4	4	4
Gráficas	3	4	0	0
Precio	2	4	2	2
Total	17	19	13	14

*Nota.* En la tabla se presenta la comparativa entre las plataformas más viables para el proyecto

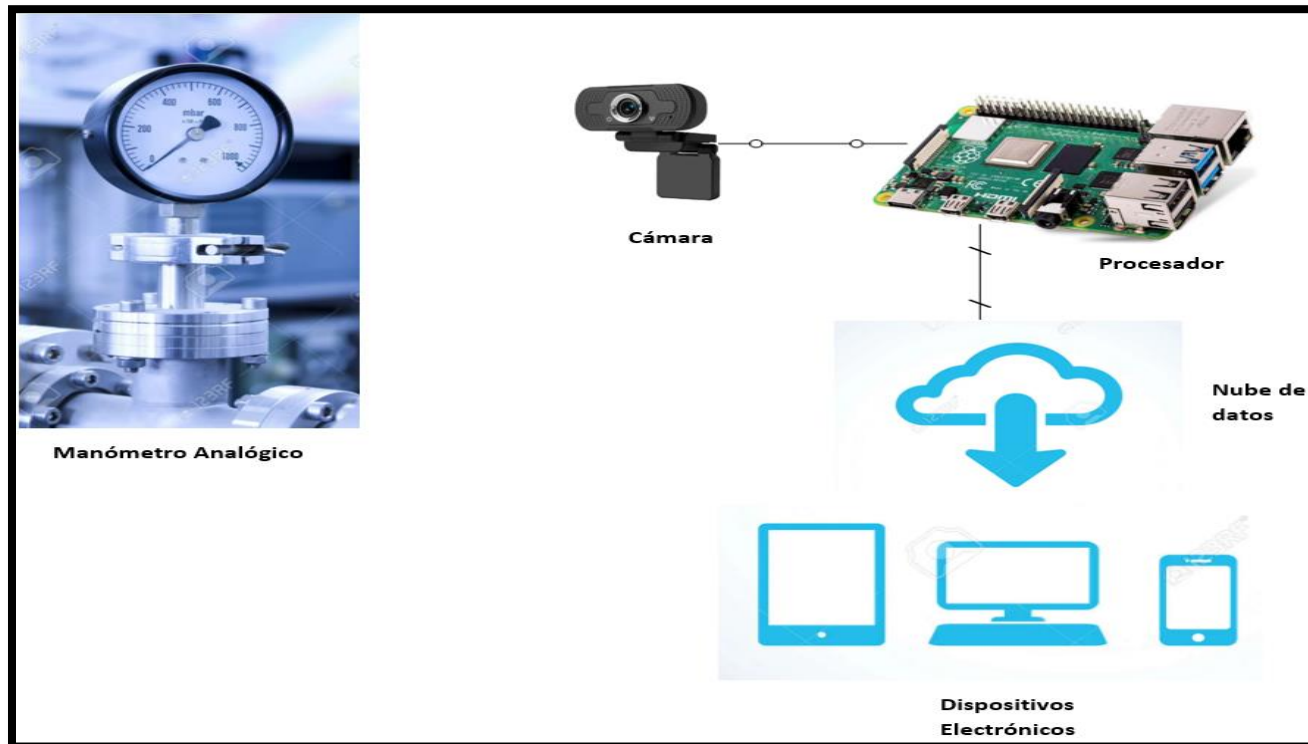
**Desarrollo del Algoritmo**

Mediante el siguiente proyecto se pretende ayudar al manómetro analógico para que se compatible con el entorno digital mediante visión artificial.

El sistema debe ser capaz de leer los valores del manómetro de aguja, a fin de minimizar la necesidad de inspección e intervención manual. Con la ayuda de una cámara la misma por la cual se transmite un video en tiempo real para que el procesador pueda procesar las imágenes a través de un algoritmo de visión artificial, después generar un flujo de datos digitales. Estos datos digitales luego van a ser monitoreados y registrados en la nube para que distintos usuarios puedan ver el comportamiento del equipo. En la Figura 22 se puede observar el proceso explicado anteriormente.

**Figura 22**

*Diagrama del sistema de digitalización de un manómetro analógico*



*Nota.* En el gráfico se puede observar el proceso del Diagrama del sistema de digitalización de un manómetro analógico

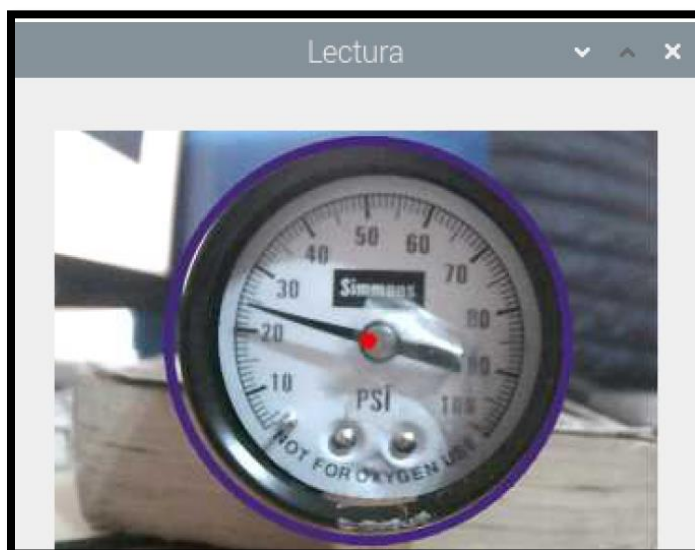
### **Detección y Seguimiento del Manómetro Análogo**

Para digitalizar el valor del manómetro análogo, se necesita primero que el algoritmo detecte el medidor de aguja, para lo cual se utilizó el detector de círculos Hough Circle. Dado que el proyecto necesita transmitir los videos en tiempo real, y el buscar círculos en cada trama del video, puede generar errores debido a que el programa debe volver a empezar. Por lo cual es importante usar un algoritmo de seguimiento para ayudar al detector de círculos. Hace robusto y más rápido el programa el cual conserva las características del manómetro detectado y es más resistente a errores. El seguidor se encarga de extraer los detalles del círculo detectado, para después seguirlo en cada trama del video. (JIMÉNEZ ARTURO, 2018). En la figura 23 se puede observar el reconocimiento del manómetro analógico por parte del algoritmo de visión artificial, en la parte a un manómetro de 0 a 100 PSI y en la parte b un manómetro de 20 a 300 mm Hg y en la figura 24 se puede ver el diagrama de flujo del algoritmo de reconocimiento y seguimiento del medidor de presión analógico.

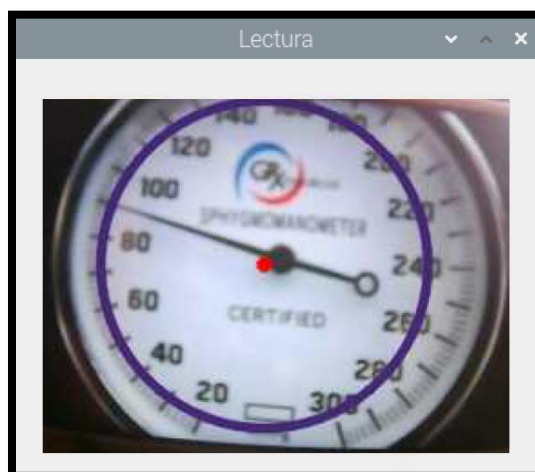
**Figura 23**

*Algoritmo de detección del manómetro analógico*

a) *Manómetro de 0 a 100 PSI*



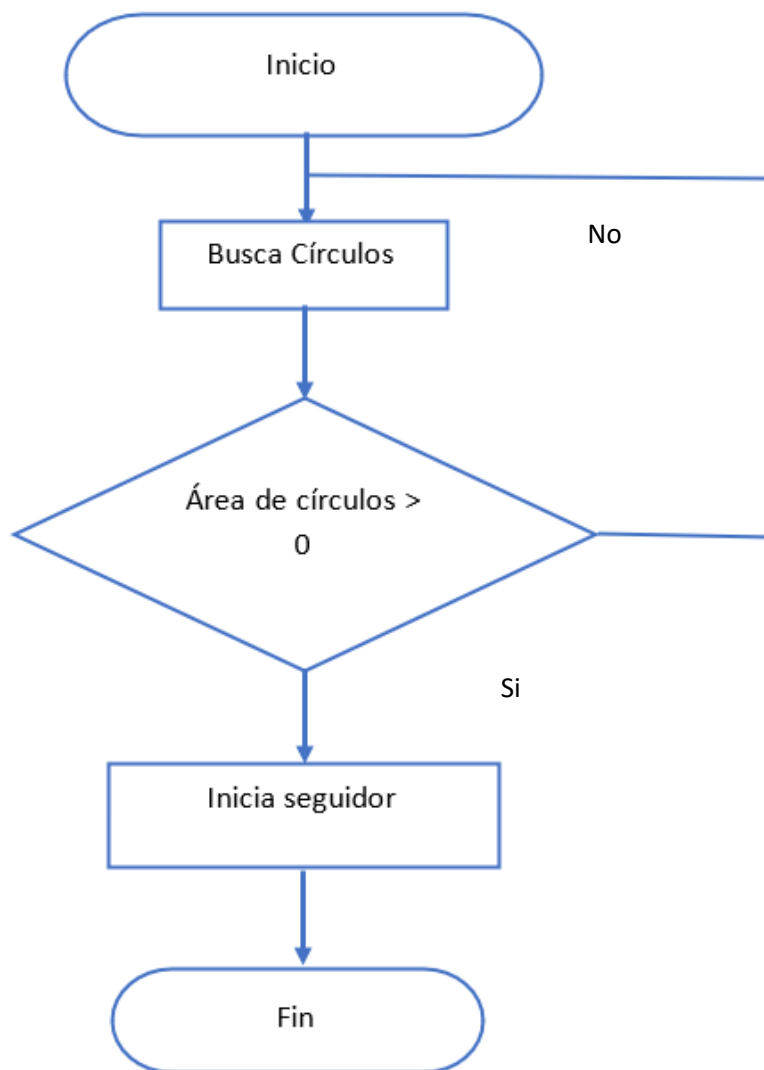
b) *Manómetro de 20 a 300 mm Hg*



*Nota.* En el gráfico se puede observar manómetros analógicos a) manómetro de 0 a 100 PSI y b) manómetro de 20 a 300 mm Hg

**Figura 24**

*Diagrama de Flujo del Algoritmo de Reconocimiento del Manómetro Analógico*



*Nota.* En el gráfico se puede observar el Diagrama de Flujo del Algoritmo de Reconocimiento del Manómetro Analógico



### Detección de la aguja del manómetro análogo

Después de que el algoritmo encontró el manómetro analógico se procede a encontrar la aguja del medidor para lo cual el algoritmo empieza a buscar líneas dentro del área del manómetro con la ayuda de la función Hough Line. Para determinar hacia donde señala la aguja del manómetro se divide en 2 a la línea encontrada y se procede a calcular la distancia entre el centro del círculo y los puntos de la recta encontrada, con la ayuda de la siguiente formula

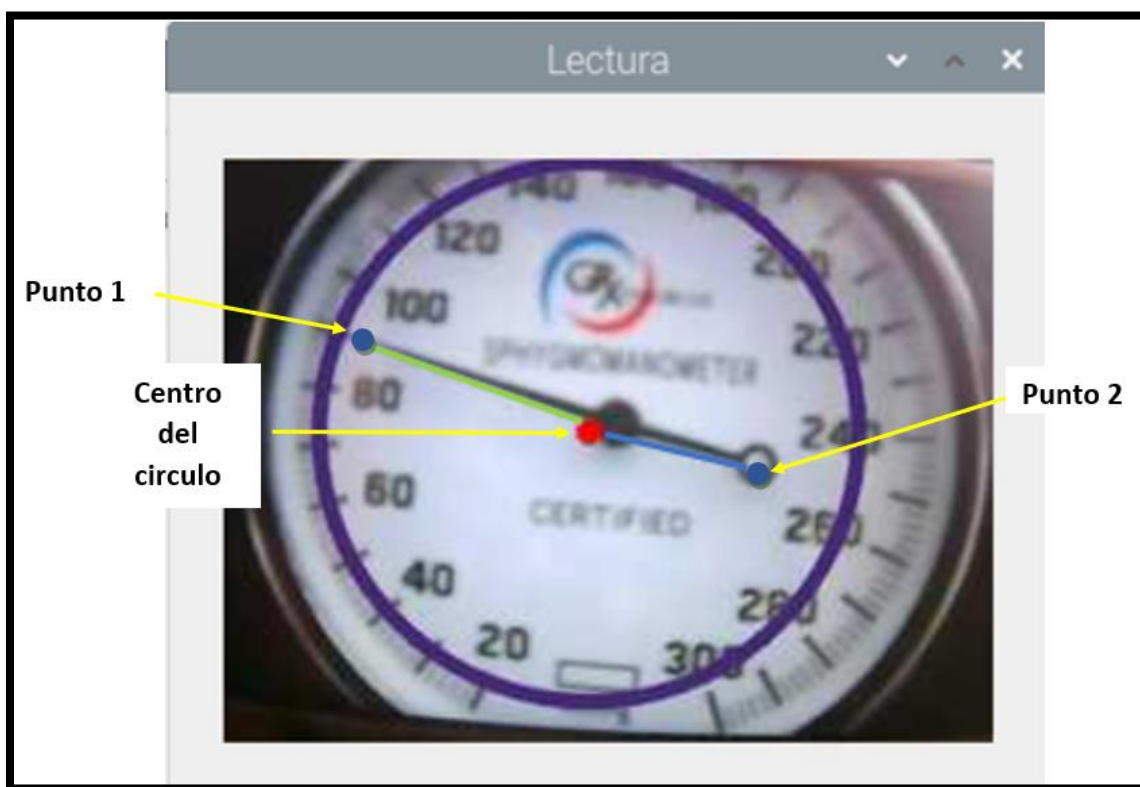
$$D = \sqrt{(X_1 - X)^2 + (Y_1 - Y)^2} \quad (1)$$

$$D_1 = \sqrt{(X_2 - X)^2 + (Y_2 - Y)^2} \quad (2)$$

Donde  $(X, Y)$  es el punto del centro del círculo,  $(X_1, Y_1)$  es el punto 1 y  $(X_2, Y_2)$  es el punto 2 de la recta, como se puede observar en la figura 25. Después se realiza la comparación entre las distancias obtenidas, para determinar el valor más alto, ya que representa a la línea que indica el valor al cual el manómetro señala.

Figura 25

Detección de la aguja del manómetro analógico



*Nota.* En el gráfico se puede observar  $(X, Y)$  es el punto del centro del círculo,  $(X_1, Y_1)$  es el punto 1 y  $(X_2, Y_2)$  es el punto 2 de la recta

### Cálculo del Ángulo de la aguja del manómetro análogo

Después se procede a calcular el ángulo de la aguja:

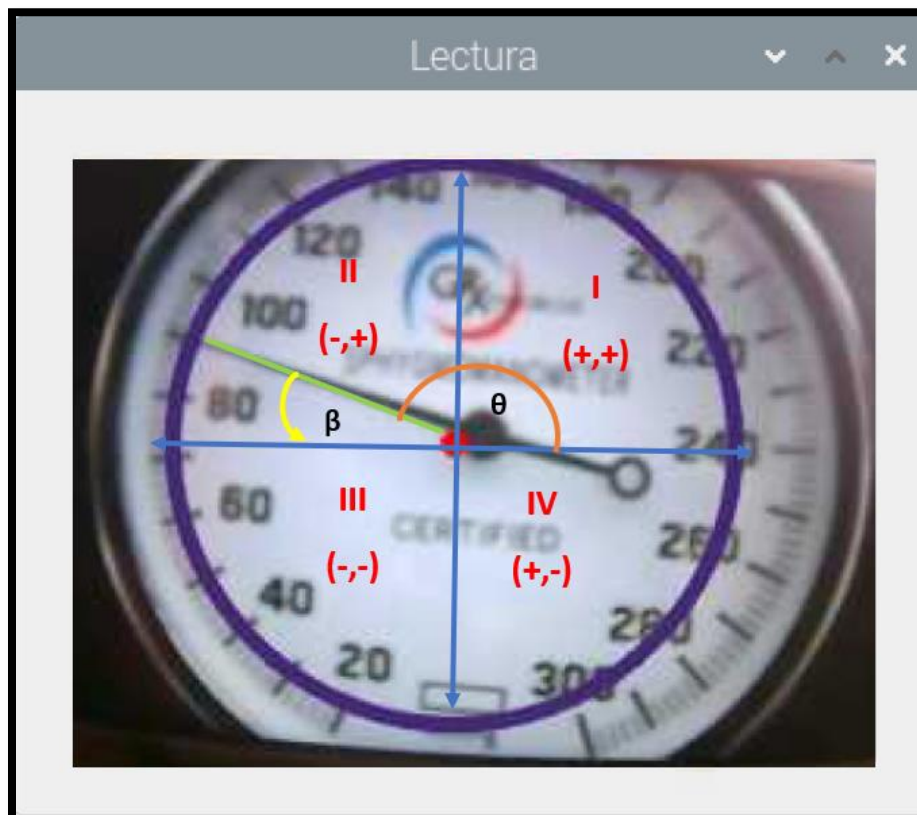
$$X_3 = X_1 - X \quad (3)$$

$$Y_3 = Y_1 - Y \quad (4)$$

$$\beta = \text{Tg}^{-1}\left(\frac{Y_3}{X_3}\right) \quad (5)$$

**Figura 26**

*Angulo formado por la aguja del manómetro*



*Nota.* En el gráfico se puede observar el ángulo de referencia  $\beta$  de la aguja del manómetro y también se puede ver el ángulo de rotación  $\theta$

En la figura 26 se puede observar el ángulo de referencia  $\beta$  de la aguja del manómetro y también se puede ver el ángulo de rotación  $\theta$ , el mismo que se puede calcular en base a los

signos de  $X_3, Y_3$ . Para calcular  $\theta$  se utilizan las siguientes ecuaciones en base al cuadrante que se encuentre la aguja del medidor.

Cuadrante I

$$\theta = 270 - \beta \quad (6)$$

Cuadrante II

$$\theta = 90 - \beta \quad (7)$$

Cuadrante III

$$\theta = 90 - \beta \quad (8)$$

Cuadrante IV

$$\theta = 270 - \beta \quad (9)$$

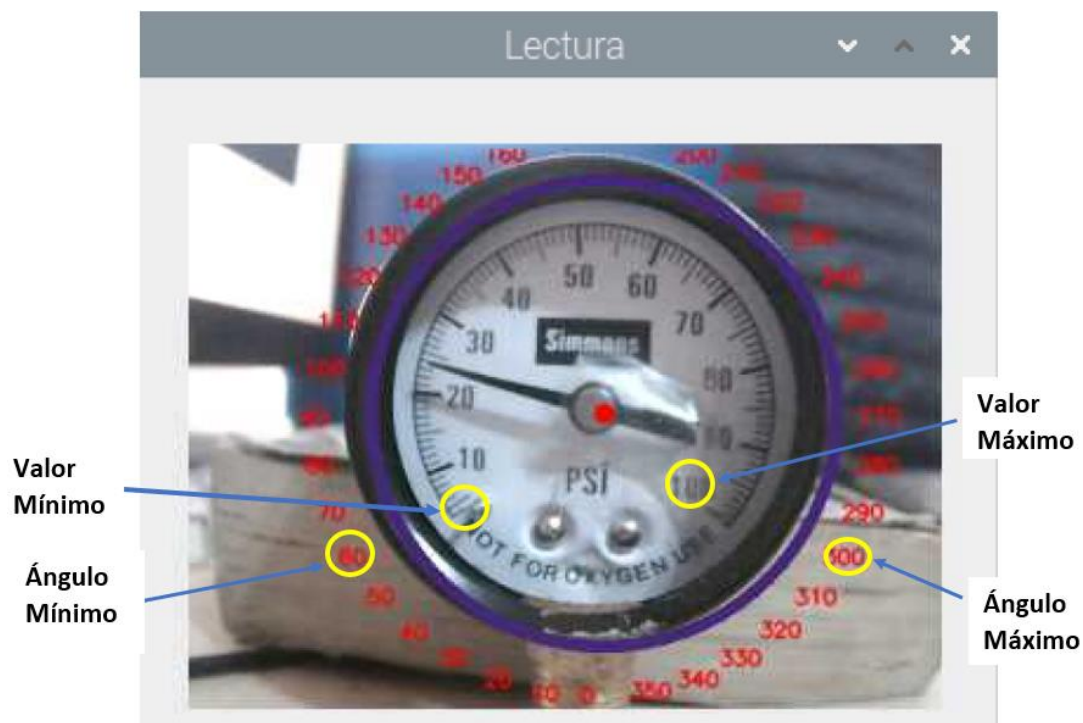
Para calcular el valor en el que se encuentra el manómetro, es necesario que el usuario proporcione los siguientes datos del medidor a utilizar en el equipo:

- **Valor Mínimo del manómetro:** Se refiere al valor mínimo determinados por el fabricante
- **Valor Máximo del manómetro:** Se refiere al valor máximo determinados por el fabricante
- **Ángulo mínimo:** Se refiere al ángulo donde se encuentra el valor mínimo del manómetro
- **Ángulo máximo:** Se refiere al ángulo donde se encuentra el valor máximo del manómetro

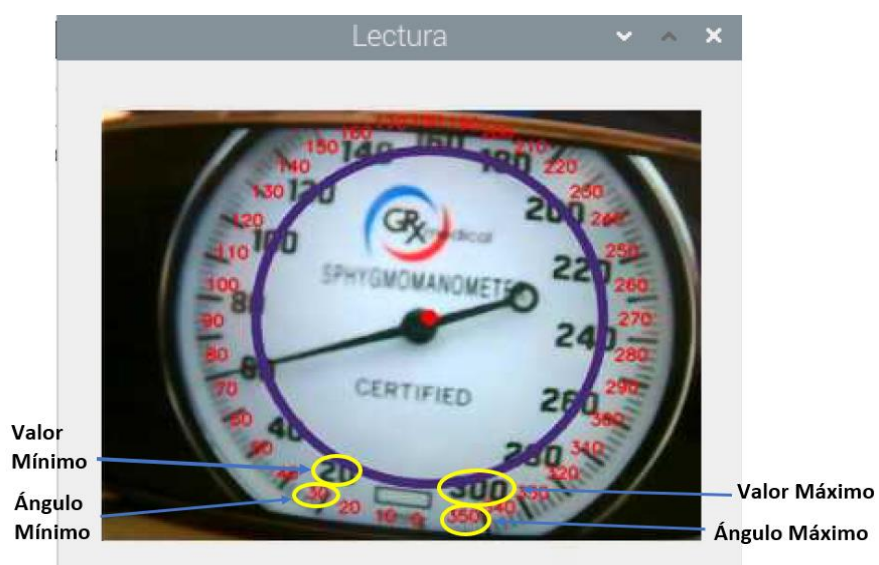
**Figura 27**

*Valores y Ángulos de los Manómetros*

a) *Valores y Ángulos del Manómetro de rango de 0 a 100 PSI*



b) *Valores y Ángulos del Manómetro de rango de 0 a 100 PSI*



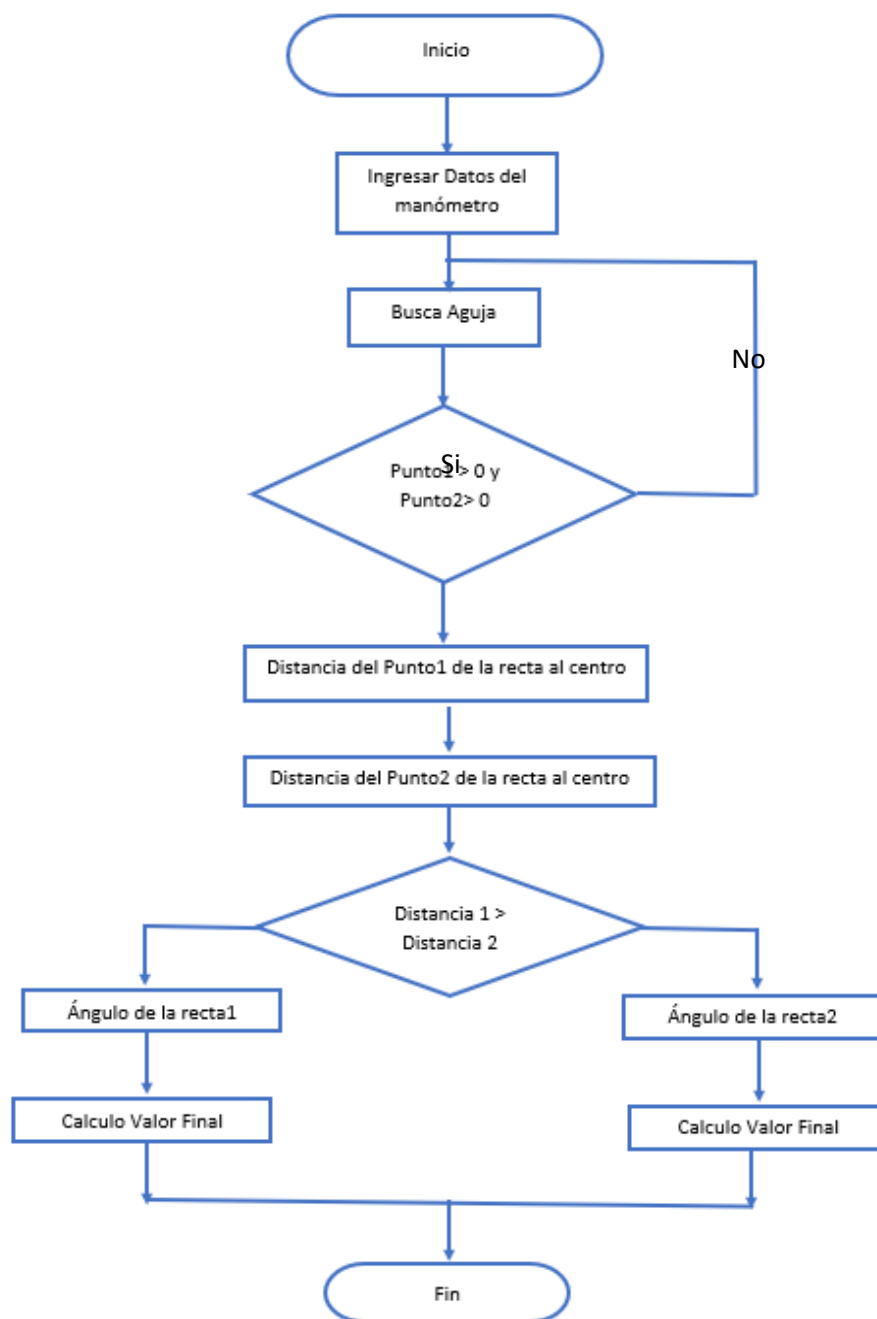
*Nota.* En el gráfico se puede observar a) Valores y Ángulos del Manómetro de rango de 0 a 100 PSI y b) Valores y Ángulos del Manómetro de rango de 0 a 100 PSI

En la figura 27 se puede observar los valores y ángulos máximos y mínimos de dos manómetros manuales, el primero esta expresado en PSI, mientras el segundo esta expresado en mm Hg. Con lo antes expuesto se procede a calcular el valor del medidor de aguja mediante la siguiente ecuación:

$$valor\ final = \frac{(\theta - \text{Ángulo mínimo}) * (Valor\ Máximo - Valor\ Mínimo)}{\text{Ángulo máximo} - \text{Ángulo mínimo}} + Valor\ Mínimo \quad (10)$$

Figura 28

Diagrama de flujo de la detección de la aguja y cálculo del valor final



Nota. En el gráfico se puede observar el Diagrama de flujo de la detección de la aguja y cálculo del valor final

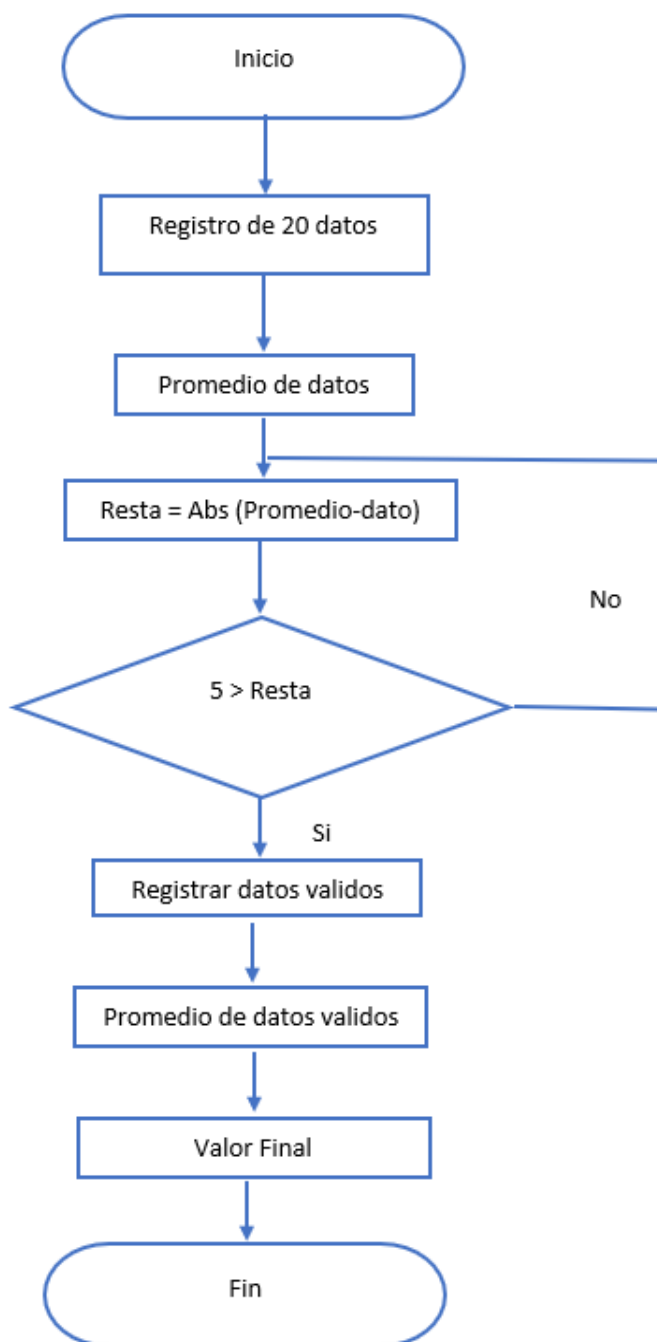
### **Procesamiento de datos y disminución el error**

Después de calcular el valor final del medidor se obtuvieron valores aceptables, con un bajo porcentaje de error. Los errores generados en la medición son producidos debido a causas que no se pueden controlar. Para minimizar el porcentaje de estos errores se debe medir varias veces en las mismas condiciones y se considera el último valor, al calculado mediante el promedio de 20 datos obtenidos. (fisicalab, 2021). Para mejorar la precisión de los resultados y debido a que existen datos que pueden ser erróneos debido a diversos factores; se realiza una comparación de los valores obtenidos y el promedio generado con lo cual se puede eliminar los datos atípicos, y volver a promediar los datos para de esta forma tener un resultado más robusto.



**Figura 29**

Diagrama de flujo del procesamiento de datos y disminución el error



*Nota.* En el gráfico se puede observar el Diagrama de flujo para el registro y procesamiento de datos, obteniendo un algoritmo más robusto y un valor leído más exacto.

En la Figura 29 se puede observar el diagrama de flujo para el registro y procesamiento de datos, obteniendo un algoritmo más robusto y un valor leído más exacto.

### **Transmisión y almacenamiento de datos**

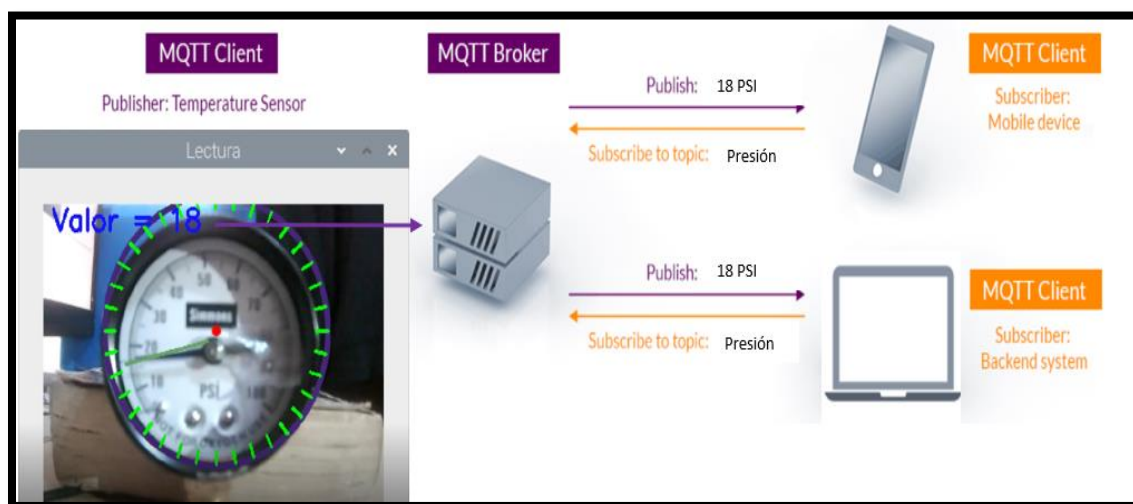
Para la transmisión y almacenamiento de datos se utilizó MQTT el mismo que es un protocolo de mensajería estándar de OASIS para el Internet de las cosas (IoT). Está diseñado como un transporte de mensajería de publicación y suscripción extremadamente ligero que es ideal para conectar dispositivos remotos con un espacio de código pequeño y un ancho de banda de red mínimo. MQTT hoy en día se utiliza en una amplia variedad de industrias, como la automotriz, la manufactura, las telecomunicaciones, el petróleo y el gas, etc.

Los mensajes MQTT se pueden enviar utilizando TCP no seguro, que es el más fácil y tiene menos requisitos de RAM, CPU y ancho de banda. Los mensajes MQTT también se pueden enviar mediante websockets.

En Raspberry Pi, se requiere una biblioteca de cliente MQTT para enviar datos a ThingSpeak. Paho es una biblioteca de cliente MQTT de código abierto que se utiliza en este proyecto.

**Figura 30**

*Transmisión de datos a través de MQTT*



*Nota.* En el gráfico se puede observar el proceso de envío de datos mediante el protocolo MQTT

En la figura 30 se puede observar el proceso de envío de datos mediante el protocolo MQTT, para enviar datos a ThingSpeak. La biblioteca cliente Requests MQTT de código abierto se utilizó en este proyecto ya que se ha adaptado a muchos lenguajes, incluido Python. En este proyecto se utiliza el canal de ThingSpeak para publicar datos utilizando la biblioteca Requests. Los datos generados por la Raspberry Pi se publican en ThingSpeak cada 20 segundos.

### **Configuración de alarma en la plataforma ThingSpeak**

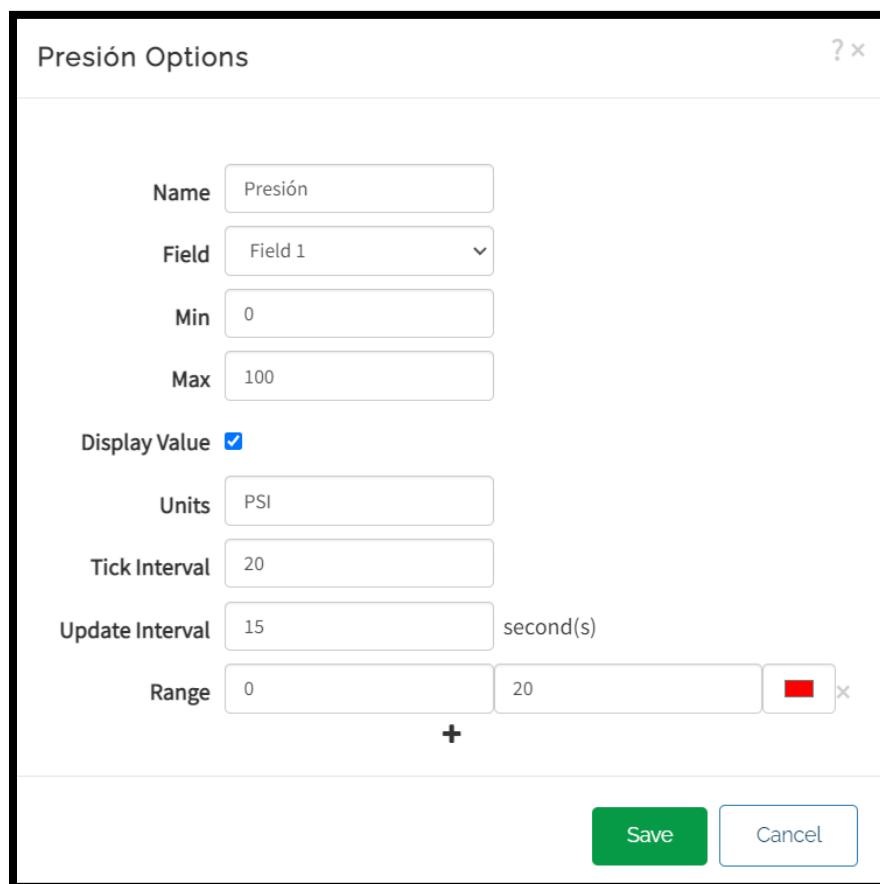
La plataforma ThingSpeak, además de procesar los datos, también permite crear un manómetro con los mismos rangos e intervalos, en el cual se puede visualizar el último valor enviado por el algoritmo y establecer una alarma cuando se tengan valores bajos en el medidor. En la Figura 31, en la parte a se presenta la configuración del manómetro de rango 0 a 100 PSI y en la parte b, se visualiza el medidor el cual cuenta con una advertencia cuando el aire se encuentre a un 20%, de su capacidad. En la parte c se presenta la configuración del

manómetro de rango 20 a 300 mm Hg y en la parte d, se observa el medidor el cual cuenta con una advertencia cuando el aire se encuentre a un 10%, de su capacidad, y en la parte e, se encuentra la gráfica de los datos procesados por la plataforma con el medidor indicando el ultimo valor recibido por parte del programa.

### Figura 31

#### Configuración del manómetro

##### a) Configuración del manómetro de rango 0 a 100 PSI



Presión Options

Name

Field

Min

Max

Display Value

Units

Tick Interval

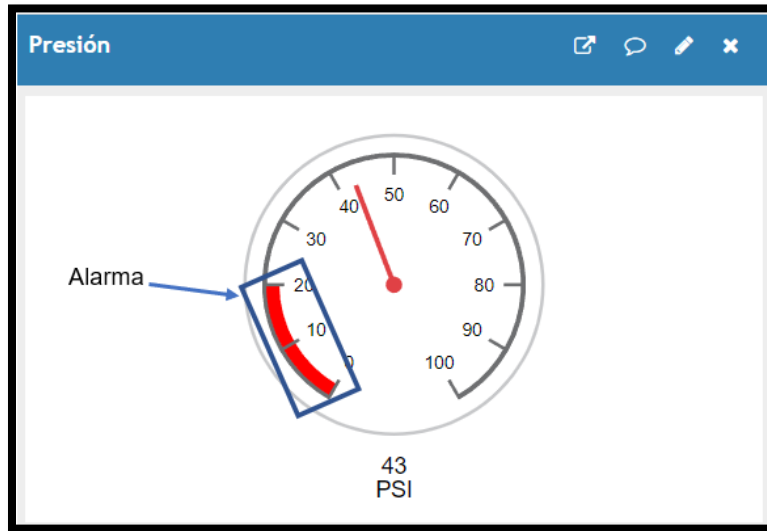
Update Interval  second(s)

Range

+

Save Cancel

b) manómetro de rango 0 a 100 PSI



c) Configuración del manómetro de rango 20 a 300 PSI

Presión Options

Name

Field

Min

Max

Display Value

Units

Tick Interval

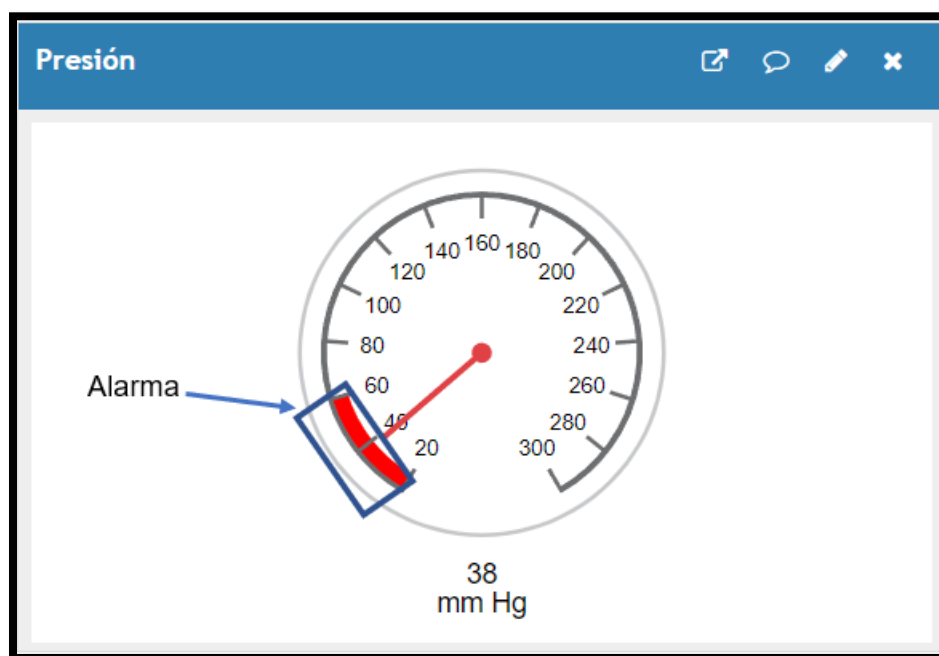
Update Interval  second(s)

Range

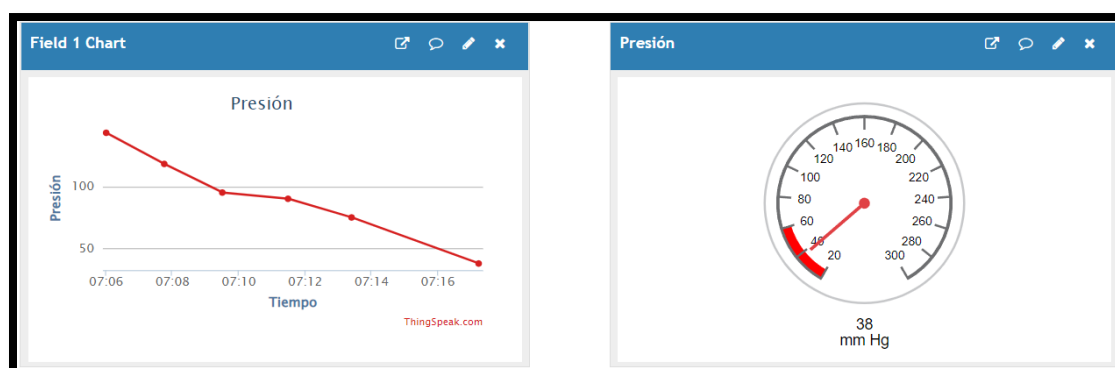
+

Save Cancel

d) Manómetro de rango 20 a 300 PSI



e) Grafica de los datos procesados con su respectivo manómetro de la plataforma



Nota. En el gráfico se puede observar a) Configuración del manómetro de rango 0 a 100 PSI, b) manómetro de rango 0 a 100 PSI, c) Configuración del manómetro de rango 20 a 300 PSI, b)

manómetro de rango 20 a 300 PSI, e) grafica de los datos procesados con su respectivo manómetro de la plataforma

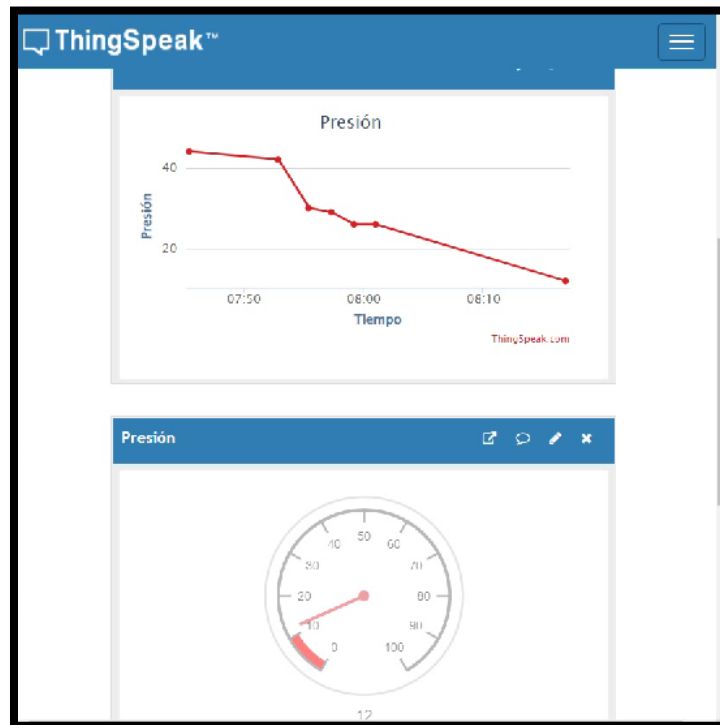
### Figura 32

*Implementación de la plataforma ThingSpeak*

a) *Reconocimiento de los datos mediante el algoritmo*



b) Plataforma ThingSpeak



*Nota.* En el gráfico se puede observar a) Reconocimiento de los datos mediante el algoritmo, b) Plataforma ThingSpeak

En la figura 32 se observa el registro y almacenamiento de datos en la plataforma ThingSpeak, en tiempo real del manómetro de aguja, a la vez la plataforma realiza una gráfica con los valores obtenidos para ver el comportamiento del equipo, el mismo que puede ser un tanque de gas o tanque de oxígeno, dado que en su funcionamiento estos van perdiendo presión.



## Capítulo IV:

### Pruebas y análisis de resultados

Para poder comprobar el correcto funcionamiento del proyecto de digitalización de un manómetro analógico a través de visión artificial se realizaron diversas pruebas del mismo para ver su comportamiento y evaluar sus resultados.

Se realizó una comparación del error absoluto de los 3 métodos utilizados en el sistema para calcular el valor del manómetro:

**Primer Método.** Es la recolección de datos directamente de la parte de visión

**Segundo Método.** Es el promedio de 20 datos recolectados.

**Tercer Método.** Es una comparación de los datos con el promedio obtenido para desechar los datos atípicos

También se ha realizado pruebas en dos manómetros, el primero de un rango de 0 a 100 PSI y el segundo de 0 a 300 mm Hg En cada prueba se realizaron dos mediciones en los medidores manuales, una mediante la visualización humana y la otra con el algoritmo, a la vez generando las gráficas para poder ver poder compararlas, y de esta manera ver la eficiencia del algoritmo.

### Comparación del error de los 3 métodos utilizados en el sistema

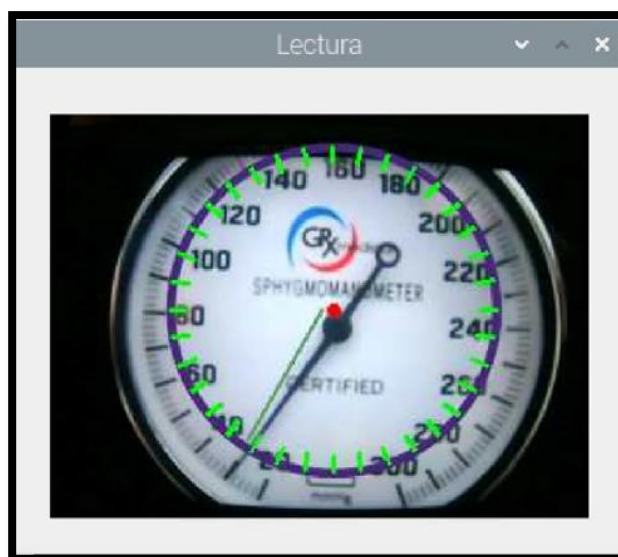
En cada método se recolectó datos del manómetro a través del sistema y del usuario. Después se comparan los valores obtenidos para conocer la efectividad de cada método y su error absoluto.

### Error absoluto en el primer método

En esta prueba los datos recolectados por el sistema de visión artificial se comparan de forma directa con los leído por el usuario.

**Figura 33***Primer Método*

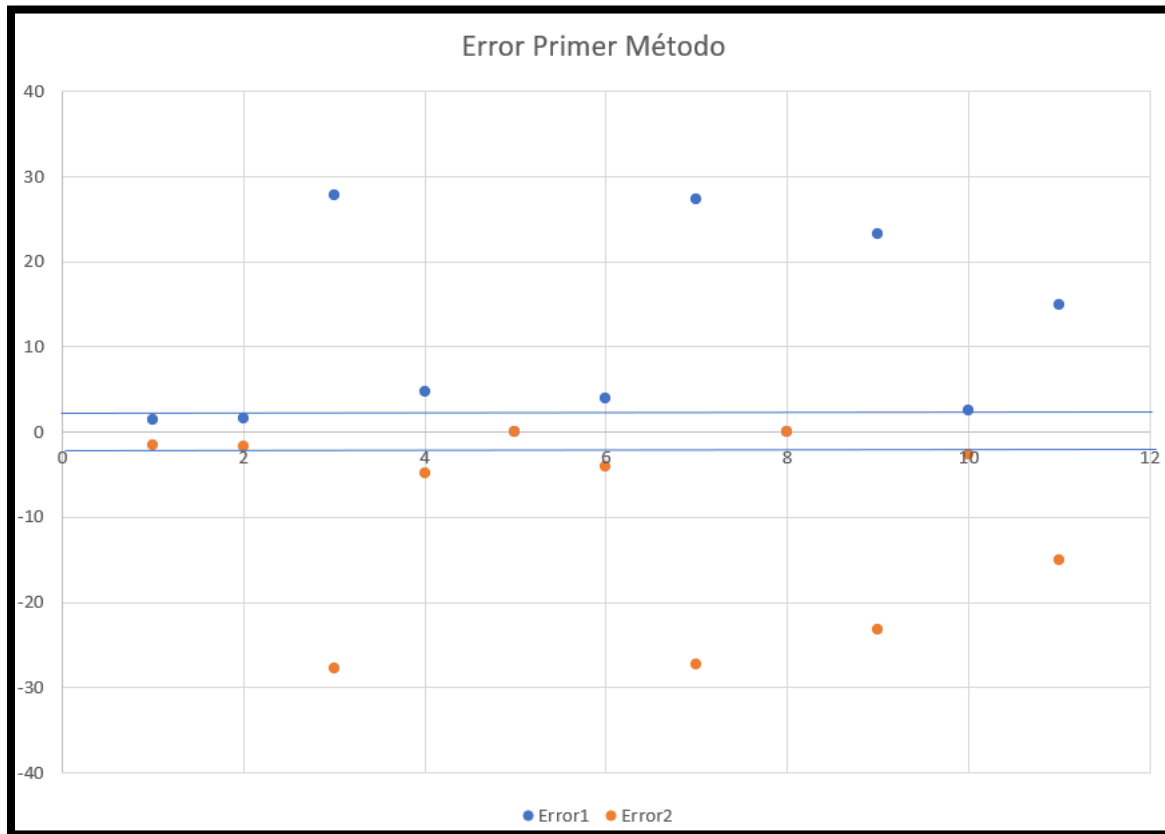
a) *Reconocimiento de los datos mediante el algoritmo*



b) *Recolección y procesamiento de datos en Plataforma ThingSpeak*



*Nota.* En el gráfico se puede observar a) Reconocimiento de los datos mediante el algoritmo, b) Recolección y procesamiento de datos en Plataforma ThingSpeak

**Figura 34***Error absoluto del primer método*

*Nota.* En el gráfico se puede observar al sistema tomar los datos del manómetro y la gráfica de los datos

En la figura 33 se observa al sistema tomar los datos del manómetro y la gráfica de los datos en la cual se ve una curva descendente, que describe el funcionamiento del equipo. En este caso también se determina que la curva presenta ruido el mismo que está representado con los picos en la gráfica. En la figura 34 se puede ver que el error del sistema en base a los valores obtenidos es inestable, presentando errores de cero y también existen valores atípicos los mismos que incrementan de forma significativa el error.

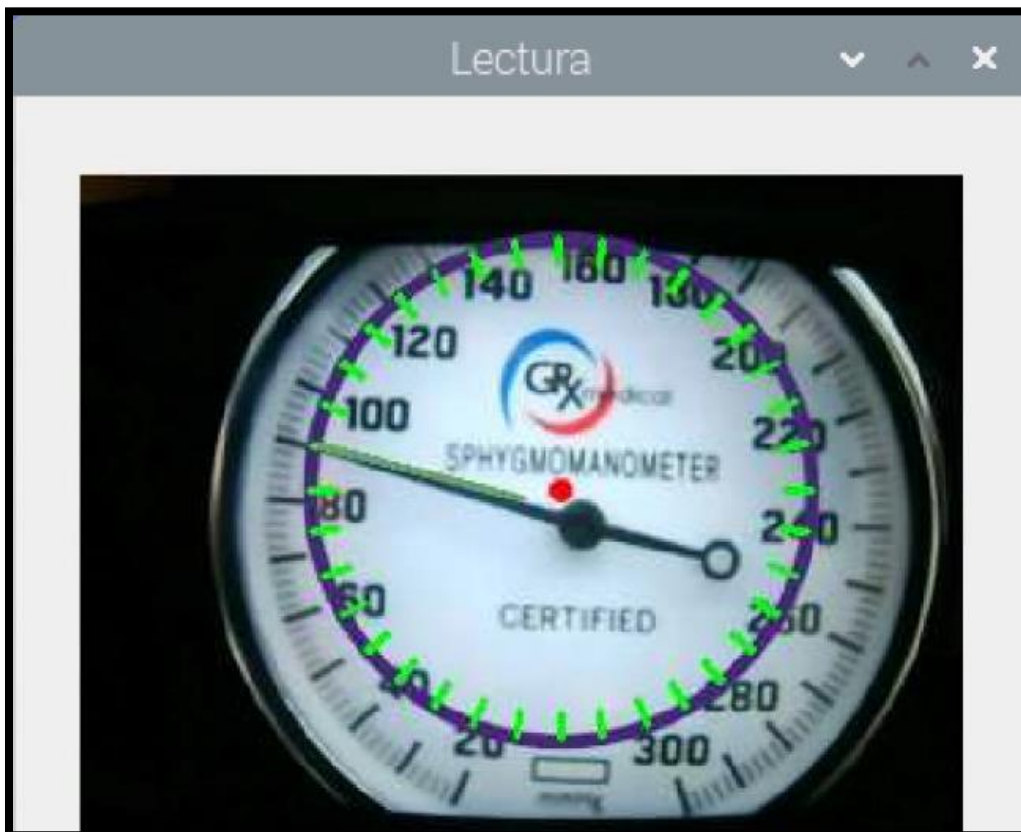
### Error absoluto en el segundo método

Para eliminar el error provocado por los valores atípicos se procede a obtener un promedio de una muestra de 20 valores, con lo que se procede a disminuir el error de manera significativa

### Figura 35

*Segundo método*

a) *Reconocimiento de los datos mediante el algoritmo*



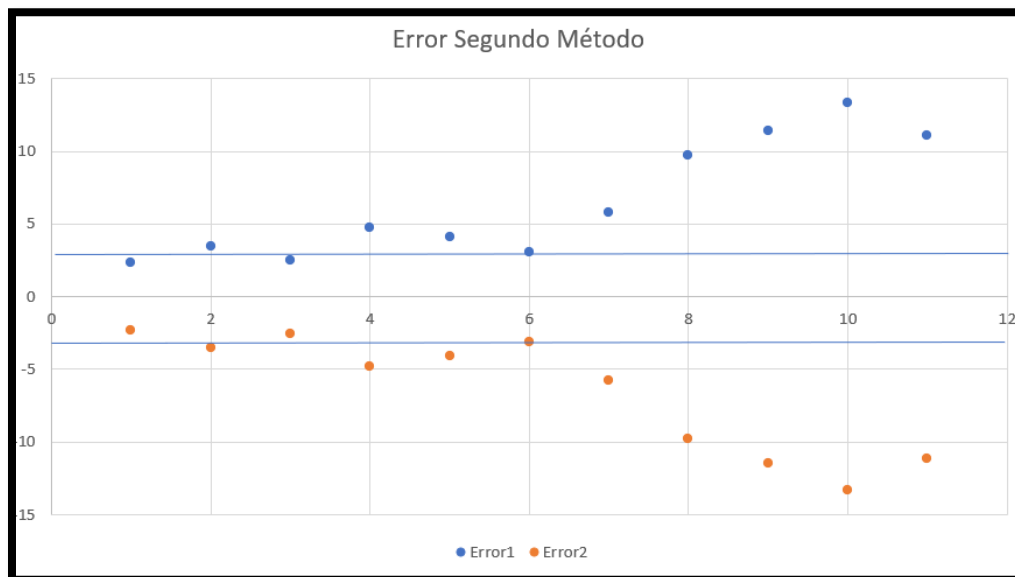
b) Reconocimiento de los datos mediante el algoritmo



Nota. En el gráfico se puede observar a) Reconocimiento de los datos mediante el algoritmo, b) Recolección y procesamiento de datos en Plataforma ThingSpeak

**Figura 36**

Error en el segundo método



Nota. En el gráfico se puede observar al sistema tomando datos del manómetro y a la vez su gráfica que se va dibujando con los promedios calculados y se va formando una curva descendente

En la figura 35 se muestra al sistema tomando datos del manómetro y a la vez su gráfica que se va dibujando con los promedios calculados y se va formando una curva descendente, demostrando el funcionamiento del equipo. También se puede ver que presenta ruido, el cual no es muy alto en comparación al primer método. En la figura 36 se observa la gráfica del error en la cual presenta  $\pm 5$  por ciento de error y en valores bajos se obtiene  $\pm 15$  por ciento de error; por lo cual se puede determinar que el error ha bajado y el sistema es más estable en comparación al primer método.

### Error absoluto en el tercer método

Para disminuir el error generado en el segundo método, se compara cada dato obtenido con el promedio, seguidamente se calcula el promedio de los valores comparados para poder excluir los valores atípicos y que los mismos no interfieran en el valor final

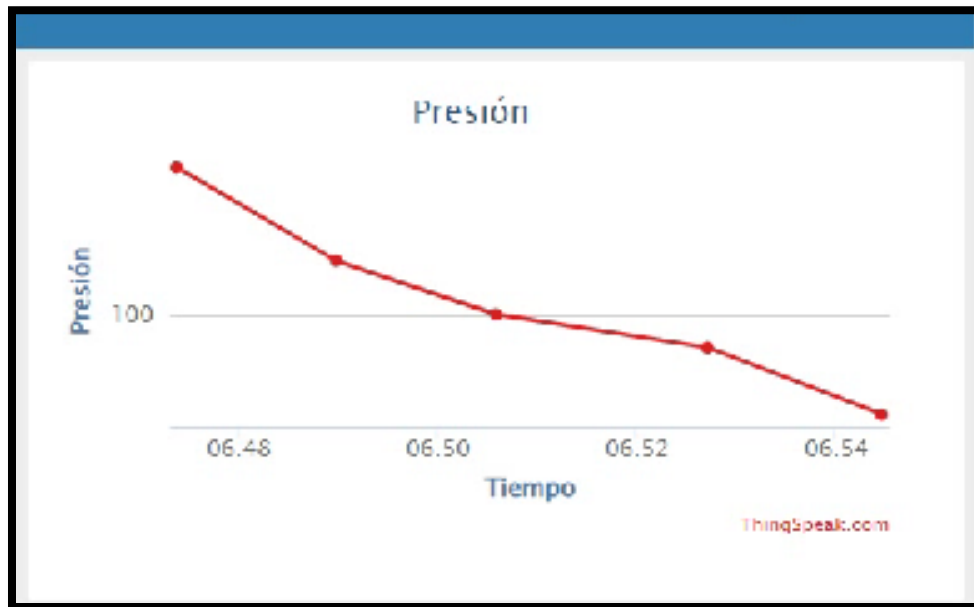
### Figura 37

*Tercer método*

a) *Reconocimiento de los datos mediante el algoritmo*



b) *Recolección y procesamiento de datos en Plataforma ThingSpeak*

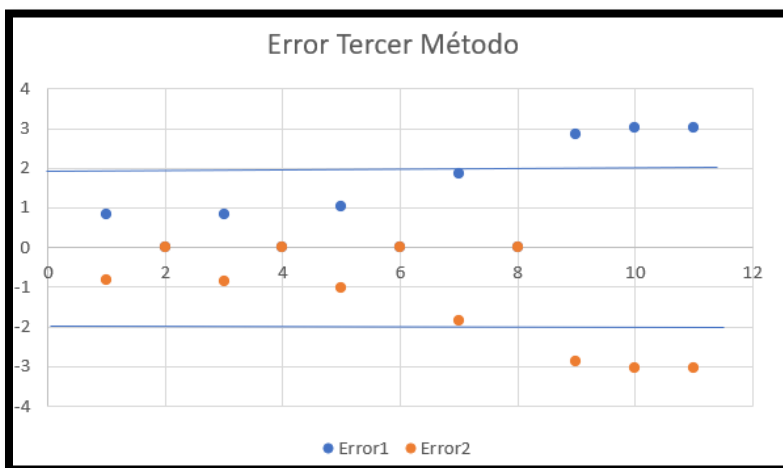


*Nota.* En el gráfico se puede observar a) Reconocimiento de los datos mediante el algoritmo, b) Recolección y procesamiento de datos en Plataforma ThingSpeak



### Figura 38

*Error en el tercer método*



*Nota.* En el gráfico se puede observar al sistema recolectando datos del manómetro manual y en la parte derecha se visualiza la gráfica que se va dibujando con los valores optimizados la misma que forma una curva descendente

En la parte izquierda de la figura 37 se puede observar al sistema recolectando datos del manómetro manual y en la parte derecha se visualiza la gráfica que se va dibujando con los valores optimizados la misma que forma una curva descendente, demostrando el funcionamiento del equipo. También se observa que en la curva es más estable En la figura 38 se observa la gráfica del error en la cual presenta  $\pm 2$  por ciento de tolerancia de error, en la cual también se presentan valores con cero por ciento de error, para valores bajos el error aumenta un uno por ciento. Con lo cual se demuestra que el tercer método es más efectivo debido a que presenta una tolerancia de error más baja que el primer y segundo método.

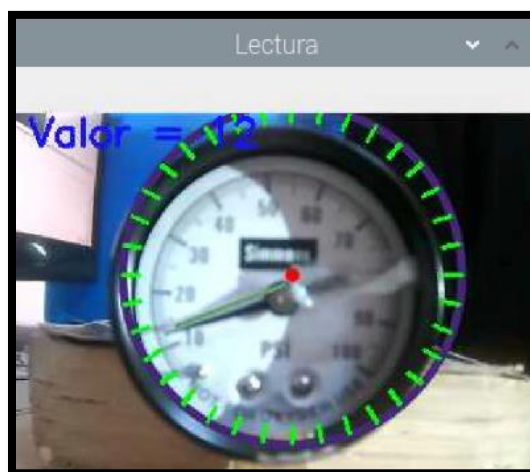
## Prueba del sistema en un equipo en funcionamiento normal con un manómetro de 100 PSI.

En esta prueba el sistema digitalizo los datos de un equipo en su funcionamiento normal, y los valores fueron medidos por un usuario, por el sistema de digitalización.

### Figura 39

*Prueba en el manómetro de 100 PSI*

a) *Reconocimiento de los datos mediante el algoritmo*



b) *Recolección y procesamiento de datos en Plataforma ThingSpeak*



*Nota.* En el gráfico se puede observar al a) Reconocimiento de los datos mediante el algoritmo,  
b) Recolección y procesamiento de datos en Plataforma ThingSpeak

**Tabla 14**

*Valores obtenidos en la medición del sistema y mediante un usuario del manómetro de 100 PSI*

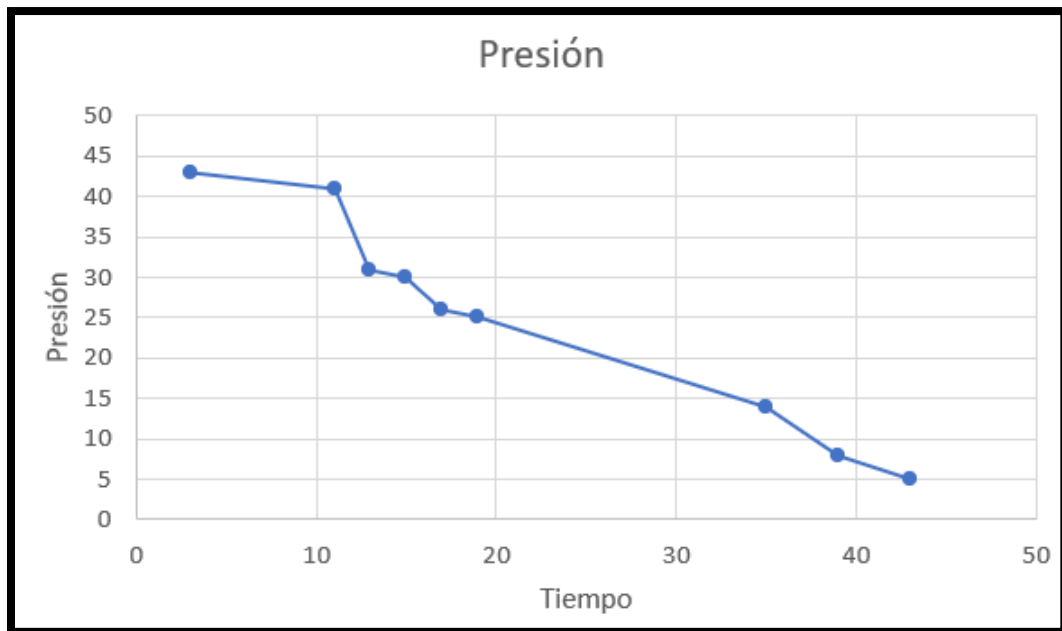
Valor de presión medido por el usuario	Valor de presión medido por el sistema	$\square - X_i$
43	44	1
41	42	1
31	33	2
30	29	1
26	26	0
25	26	1
14	12	2
8	7	1
5	7	2
Imprecisión absoluta		1.22

*Nota.* En la tabla se pueden observar los valores obtenidos por el sistema, el mismo que ha realizado un promedio de 20 valores medidos excluyendo valores atípicos

En la tabla 14 se pueden observar los valores obtenidos por el sistema, el mismo que ha realizado un promedio de 20 valores medidos excluyendo valores atípicos, en la otra columna están los datos los visualizados por el usuario. En la última columna, se obtiene la diferencia entre los resultados del usuario y el los del sistema, de esta forma se ha calculado el error de cada una de las medidas obtenidas, para después encontrar la imprecisión absoluta, la cual se considera como el error absoluto del conjunto de medidas que se han tomado. Con lo que se puede decir que el sistema presenta una precisión  $\pm 1.22$  PSI de error.

**Figura 40**

Valores tomados por el usuario en el manómetro de 100 PSI



*Nota.* En el gráfico se puede observar la gráfica de los valores obtenidos por el usuario

**Figura 41**

*Valores tomados por el sistema en el manómetro de 100 PSI*



*Nota.* En el gráfico se puede observar la gráfica con los valores del sistema

En la figura 40 se pueden observar la gráfica de los valores obtenidos por el usuario, mientras que en la figura 41 se representa la gráfica con los valores del sistema. Al comparar las gráficas se puede determinar que son similares y a la vez comprobar que existe una tolerancia mínima de  $\pm 1.22$  PSI de error en los datos que el sistema recopiló

### **Prueba del sistema en un equipo en funcionamiento normal con un manómetro de 300 mmHg.**

En esta prueba el sistema digitalizó los datos de un equipo en su funcionamiento normal, y los valores fueron medidos por un usuario, por el sistema de digitalización.

## Figura 42

Prueba en el manómetro de 300 mmHg

a) Reconocimiento de los datos mediante el algoritmo



b) Recolección y procesamiento de datos en Plataforma ThingSpeak



Nota. En el gráfico se puede observar a) Reconocimiento de los datos mediante el algoritmo, b) Recolección y procesamiento de datos en Plataforma ThingSpeak

**Tabla 15**

Valores obtenidos en la medición del sistema y mediante un usuario del manómetro de 300 mm Hg

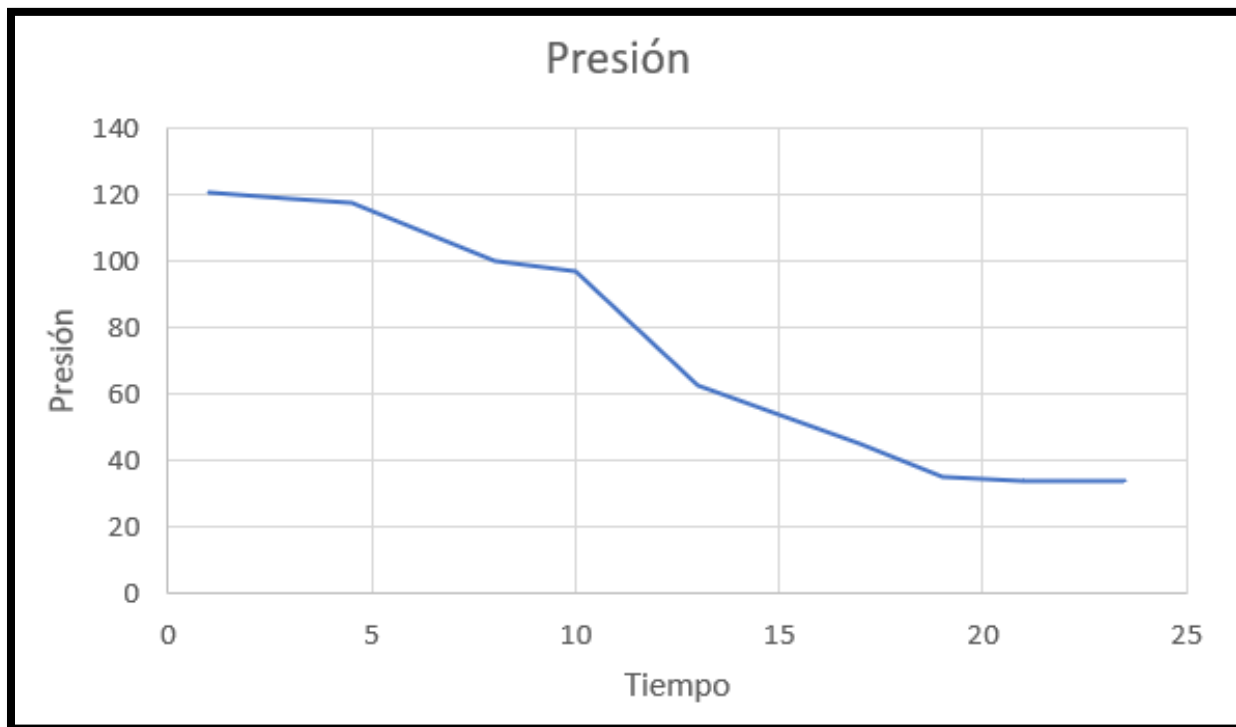
Valor de presión medido por el usuario	Valor de presión medido por el sistema	$\square - X_i$
121	120	1
119	119	0
118	119	1
100	100	0
97	98	1
63	63	0
54	55	1
45	45	0
35	34	1
34	34	0
34	34	0
Imprecisión absoluta		1.25

*Nota.* En la tabla se observan los valores obtenidos por ThingSpeak

En la tabla 15 se observan los valores obtenidos por ThingSpeak, los mismos que son el promedio de 20 datos tomados por el sistema excluyendo valores atípicos, también se encuentran los valores medidos por el usuario. En la última columna, se encuentra la diferencia entre los resultados del usuario y el los del sistema, para poder calcular el error de cada una de las medidas realizadas, en la parte final de la columna esta la imprecisión absoluta, misma que se considera como el error absoluto del conjunto de medidas que se han tomado. Con lo que se puede decir que el sistema presenta una precisión  $\pm 1.25$  mm Hg de error.

**Figura 43**

Valores tomados por el usuario en el manómetro de 300 mm Hg



Nota. En el gráfico se puede observar la gráfica de los datos recopilados por el usuario



**Figura 44**

Valores obtenidos por ThingSpeak



*Nota.* En el gráfico se puede observar la gráfica dibujada con los valores del sistema.

En la figura 43 se pueden observar la gráfica de los datos recopilados por el usuario, mientras que en la figura 44 se puede ver la gráfica dibujada con los valores del sistema. Al comparar las gráficas se puede comprobar que los datos obtenidos por el sistema y el usuario son similares con una tolerancia mínima de  $\pm 1.25$  mm Hg de error

#### **Prueba del sistema liberando la presión de aire con un manómetro de 100 PSI.**

En esta prueba el sistema digitalizo los datos de un equipo, que liberó el aire comprimido, y los valores obtenidos fueron comparados con los datos que tomo el usuario.

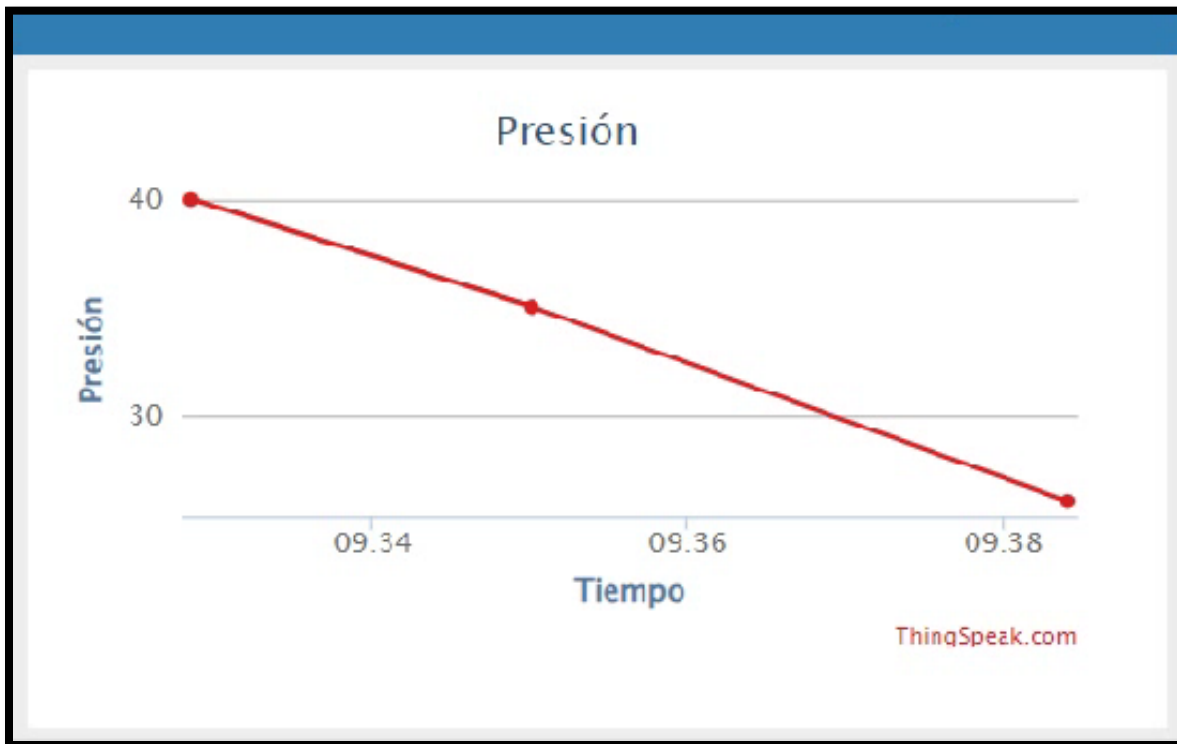
**Figura 45**

*Prueba del sistema liberando la presión de aire*

a) *Reconocimiento de los datos mediante el algoritmo*



b) *Recolección y procesamiento de datos en Plataforma ThingSpeak*



*Nota.* En el gráfico se puede observar: a) Reconocimiento de los datos mediante el algoritmo,  
b) Recolección y procesamiento de datos en Plataforma ThingSpeak

**Tabla 16**

*Prueba del sistema liberando la presión de aire con un manómetro de 100 PSI*

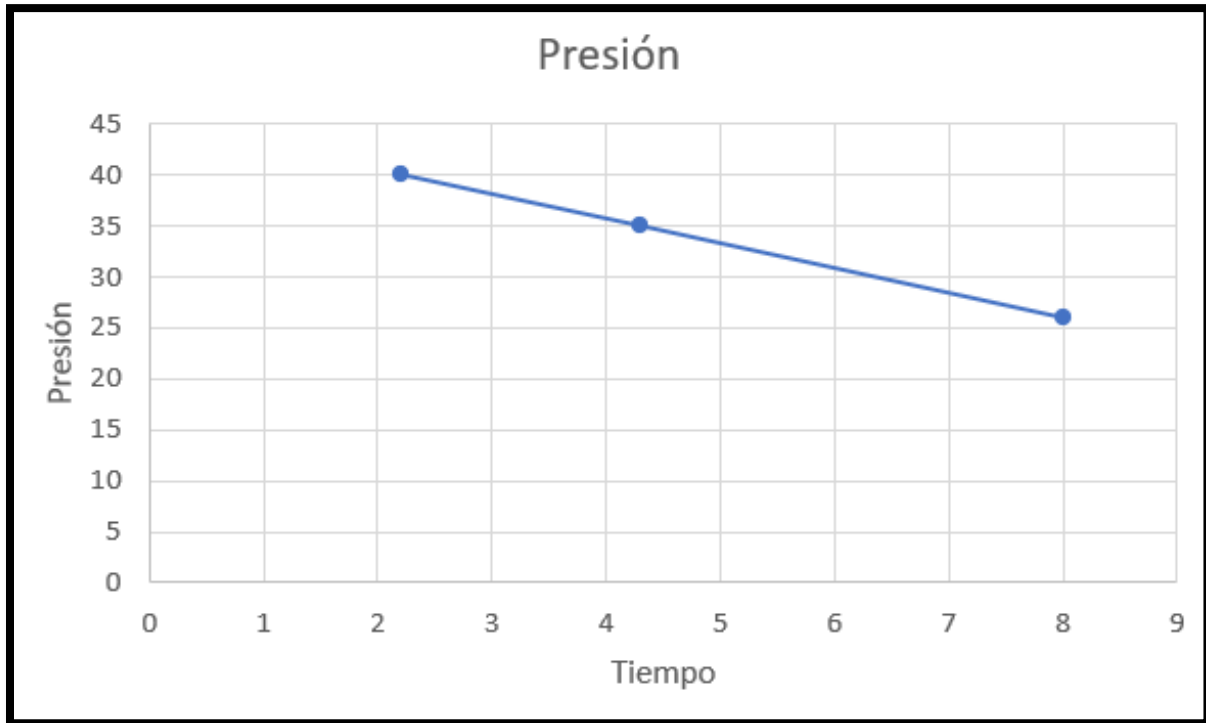
Valor de presión medido por el usuario	Valor de presión medido por el sistema	$\square - X_i$
41	40	1
34	35	1
28	26	2
Imprecisión absoluta		1.33

*Nota.* En la tabla se observan los valores obtenidos por ThingSpeak

En la tabla 16 se observan los valores obtenidos por ThingSpeak, los mismos que son el promedio de 20 datos tomados por el sistema excluyendo valores atípicos, también se puede ver los valores medidos por el usuario. En la última columna, se encuentra la diferencia entre los resultados del usuario y el los del sistema, con la cual se tiene una tolerancia de  $\pm 1.33$  PSI de error. Al liberar el aire comprimido, los valores del manómetro empiezan a disminuir de manera rápida. En las figuras 46 y 47 se observan una línea recta con la cual se describe el descenso de aire.

**Figura 46**

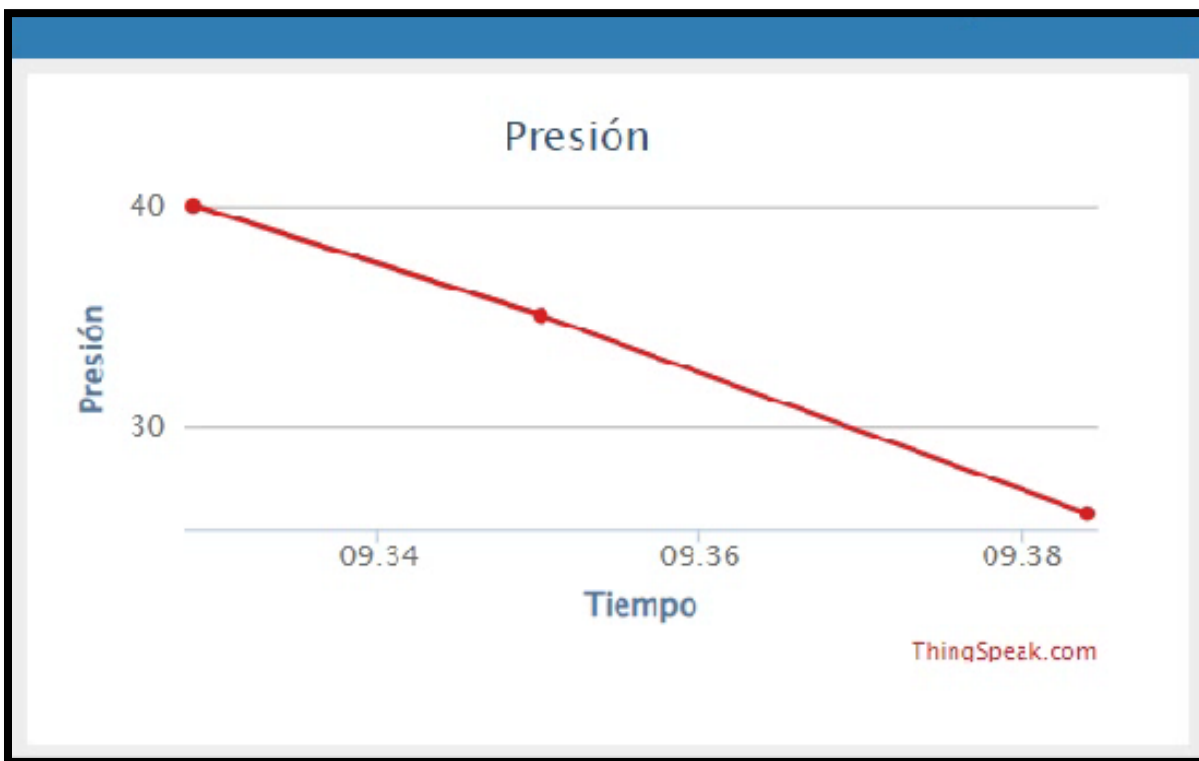
*Datos tomados por el usuario para la prueba del sistema liberando la presión de aire con un manómetro de 100 PSI*



*Nota.* En el gráfico se puede observar los Datos tomados por el usuario para la prueba del sistema liberando la presión de aire con un manómetro de 100 PSI

**Figura 47**

*Datos tomados por el sistema para la prueba del sistema liberando la presión de aire con un manómetro de 100 PSI*



*Nota.* En el gráfico se puede observar los Datos tomados por el sistema para la prueba del sistema liberando la presión de aire con un manómetro de 100 PSI

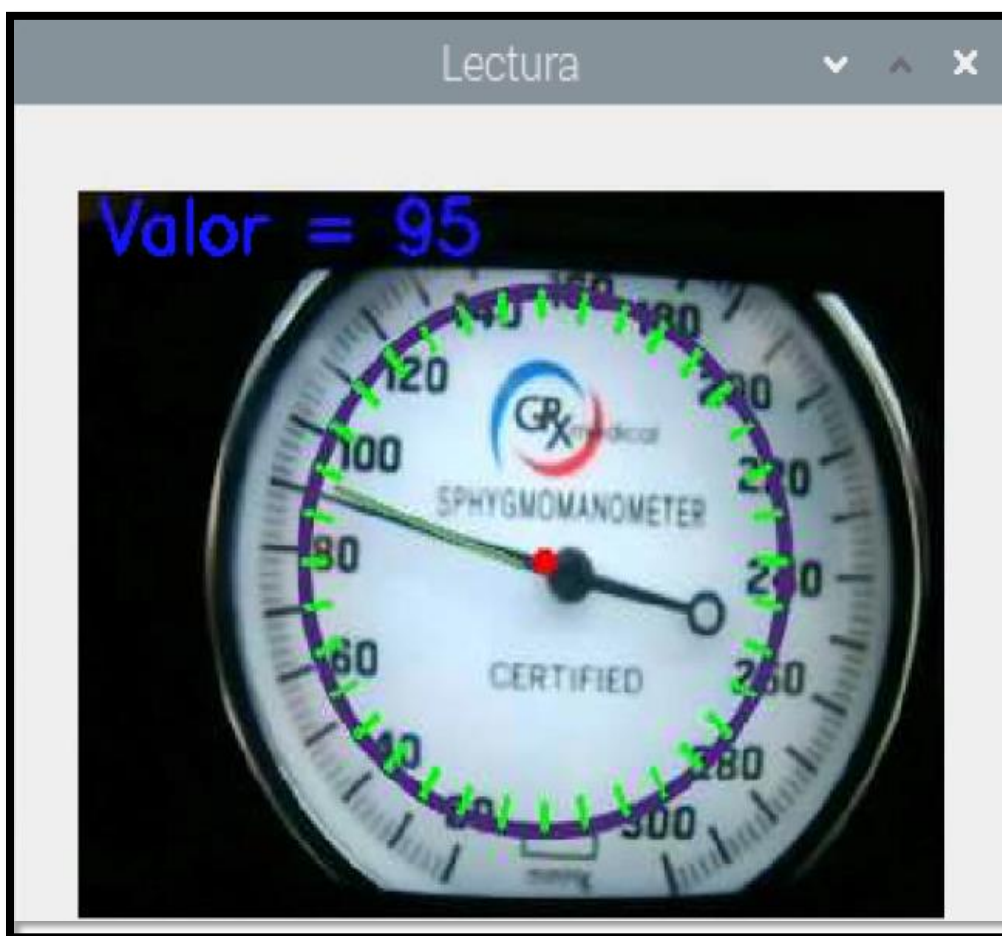
Prueba del sistema liberando la presión de aire con un manómetro de 300 mm Hg.

En esta prueba el sistema digitalizó los datos de un equipo, que liberó el aire comprimido, y los valores obtenidos fueron comparados con los datos que recolectó el usuario.

#### Figura 48

*Prueba del sistema liberando la presión de aire con un manómetro de 300 mm Hg*

a) *Reconocimiento de los datos mediante el algoritmo*



b) *Recolección y procesamiento de datos en Plataforma*



*Nota.* En el gráfico se puede observar a) Reconocimiento de los datos mediante el algoritmo, b) Recolección y procesamiento de datos en Plataforma



**Tabla 17**

*Prueba del sistema liberando la presión de aire con un manómetro de 300 mm Hg*

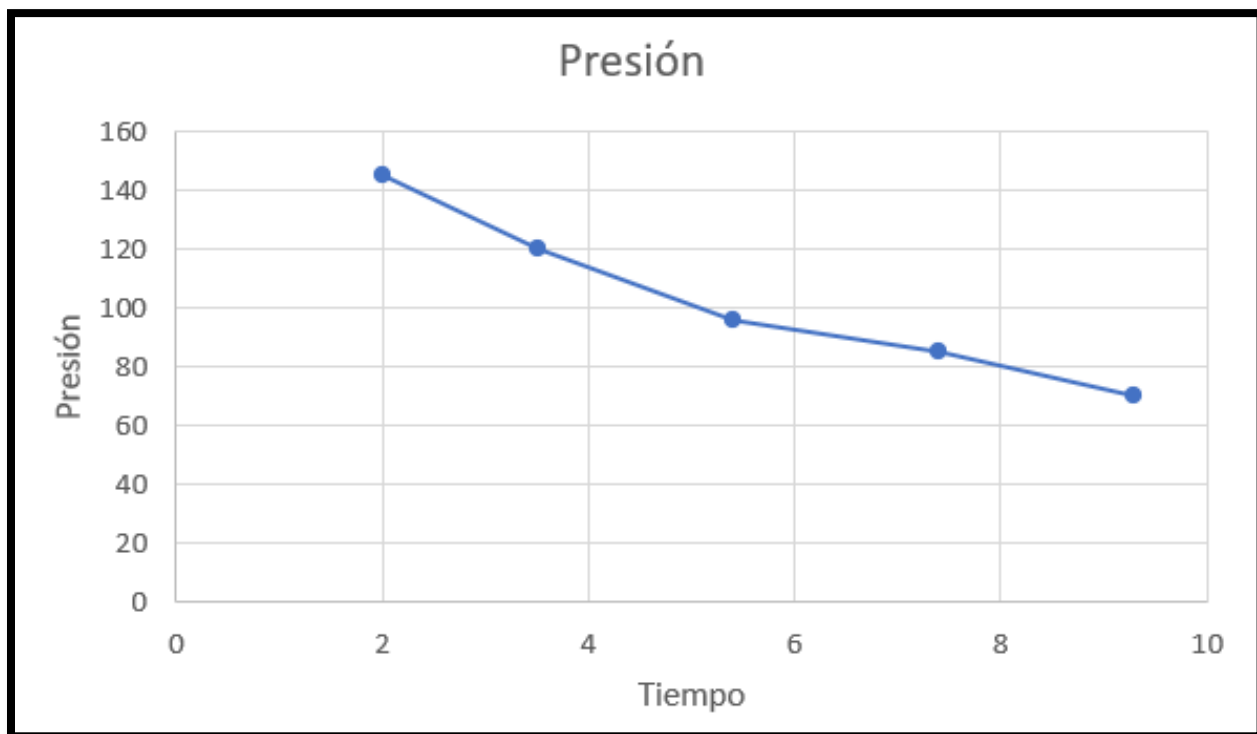
Valor de presión medido por el usuario	Valor de presión medido por el sistema	$\square - X_i$
145	143	2
120	118	2
96	95	1
85	90	5
68	75	5
Imprecisión absoluta		3

*Nota.* En la tabla se observan los valores obtenidos por ThingSpeak

En la tabla 17 se observan los valores obtenidos por ThingSpeak, los mismos que son el promedio de 20 datos tomados por el sistema excluyendo valores atípicos, también se indican los datos medidos por el usuario. En la última columna, se encuentra la diferencia entre los resultados del usuario y el los del sistema, con la cual se tiene una tolerancia de  $\pm 3$  mm Hg de error.

**Figura 49**

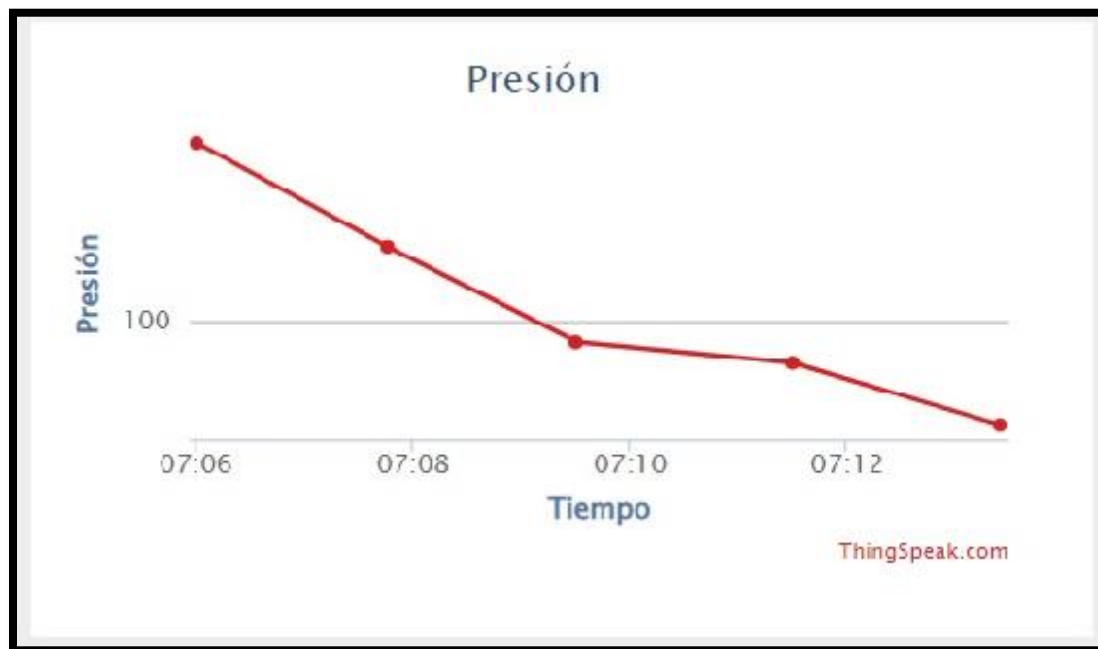
*Datos recolectados por el usuario en la prueba del sistema liberando la presión de aire con un manómetro de 300 mm Hg.*



*Nota.* En el gráfico se puede observar los Datos recolectados por el usuario en la prueba del sistema liberando la presión de aire con un manómetro de 300 mm Hg.

**Figura 50**

*Datos tomados por el sistema en la prueba del sistema liberando la presión de aire con un manómetro de 300 mm Hg.*



*Nota.* En el gráfico se puede observar los datos tomados por el sistema en la prueba del sistema liberando la presión de aire con un manómetro de 300 mm Hg

Al liberar el aire comprimido, los valores del manómetro empiezan a disminuir de manera significativa y se empiezan a dibujar las gráficas de la figura 49 con valores tomados por el usuario y la figura 50 mediante los datos recolectados por el sistema. Las figuras 49 y 50 presentan una similitud debido a que tienen una tolerancia de  $\pm 3$  mm Hg

**Prueba del sistema subiendo la presión de aire con un manómetro de 100 PSI.**

En esta prueba el sistema digitalizo los datos mientras se sube la presión de aire, y los valores obtenidos fueron comparados con los datos que ha recolecto el usuario.

**Figura 51**

*Prueba del sistema subiendo la presión de aire con un manómetro de 100 PSI*

*a) Reconocimiento de los datos mediante el algoritmo*



b) *Recolección y procesamiento de datos en Plataforma*



*Nota.* En el gráfico se puede observar a) Reconocimiento de los datos mediante el algoritmo, b) Recolección y procesamiento de datos en Plataforma

**Tabla 18**

*Datos de la prueba del sistema subiendo la presión de aire con un manómetro de 100 PSI*

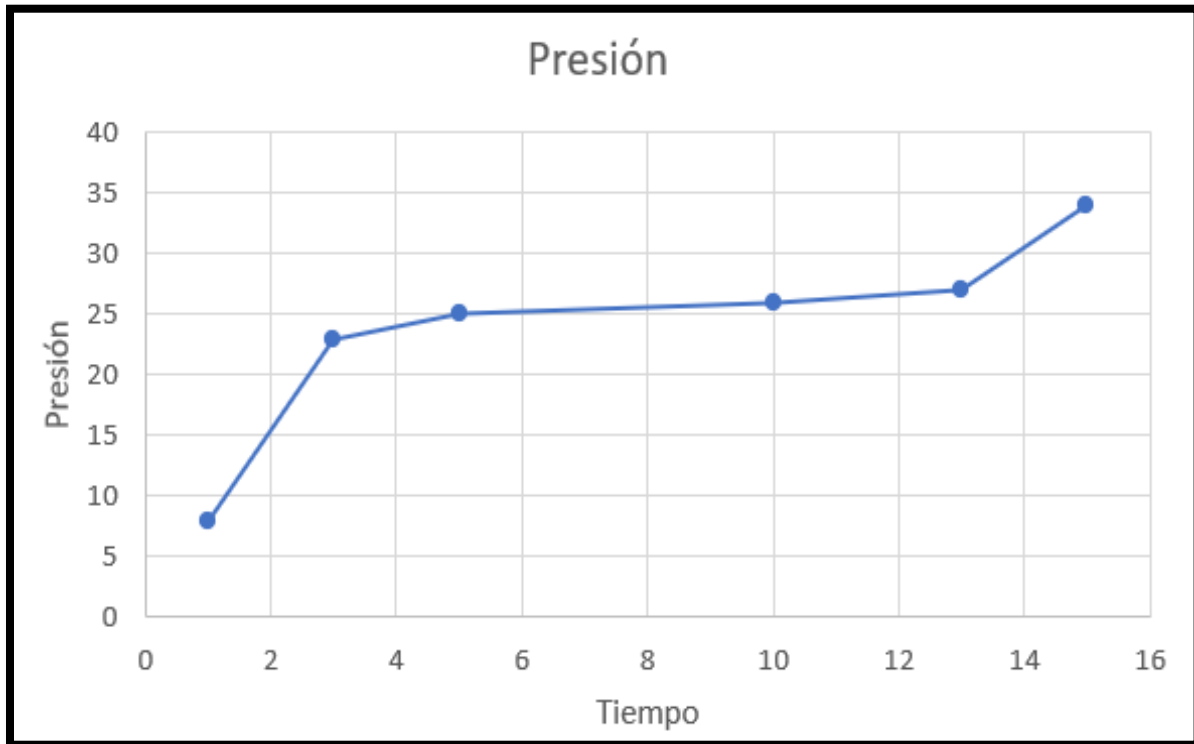
Valor de presión medido por el usuario	Valor de presión medido por el sistema	$\square - X_i$
8	10	2
23	24	1
25	25	0
26	25	1
27	26	1
Imprecisión absoluta		1

*Nota.* En la tabla se muestran los datos del sistema por medio de ThingSpeak

En la tabla 18 se muestran los datos del sistema por medio de ThingSpeak, los mismos que usan el método del promedio de 20 datos tomados por el sistema excluyendo valores atípicos, también se indican los valores medidos por el usuario y en la última columna, se encuentra la diferencia entre los resultados del usuario y el los del sistema, con la cual se tiene una tolerancia de  $\pm 1$  PSI de error.

**Figura 52**

Valores de presión tomados por el usuario en la prueba del sistema subiendo la presión de aire con un manómetro de 100 PSI



*Nota.* En el gráfico se puede observar los Valores de presión tomados por el usuario en la prueba del sistema subiendo la presión de aire con un manómetro de 100 PSI

**Figura 53**

Valores de presión recolectados por el sistema y representados por ThingSpeak en la Prueba del sistema subiendo la presión de aire con un manómetro de 100 PSI



*Nota.* En el gráfico se puede observar los Valores de presión recolectados por el sistema y representados por ThingSpeak en la Prueba del sistema subiendo la presión de aire con un manómetro de 100 PSI

En las figuras 52 se observa la representación gráfica de los datos de presión tomados por el usuario en la prueba del sistema subiendo la presión de aire con un manómetro de 100 PSI. En la figura 53 la gráfica en ThingSpeak representa los valores de presión recolectados por el sistema en la Prueba del sistema subiendo la presión de aire con un manómetro de 100 PSI. Al contrario de las gráficas anteriores se dibuja una curva ascendente, dado que el aire se encuentra subiendo.



### Prueba del sistema subiendo la presión de aire con un manómetro de 300 mm Hg.

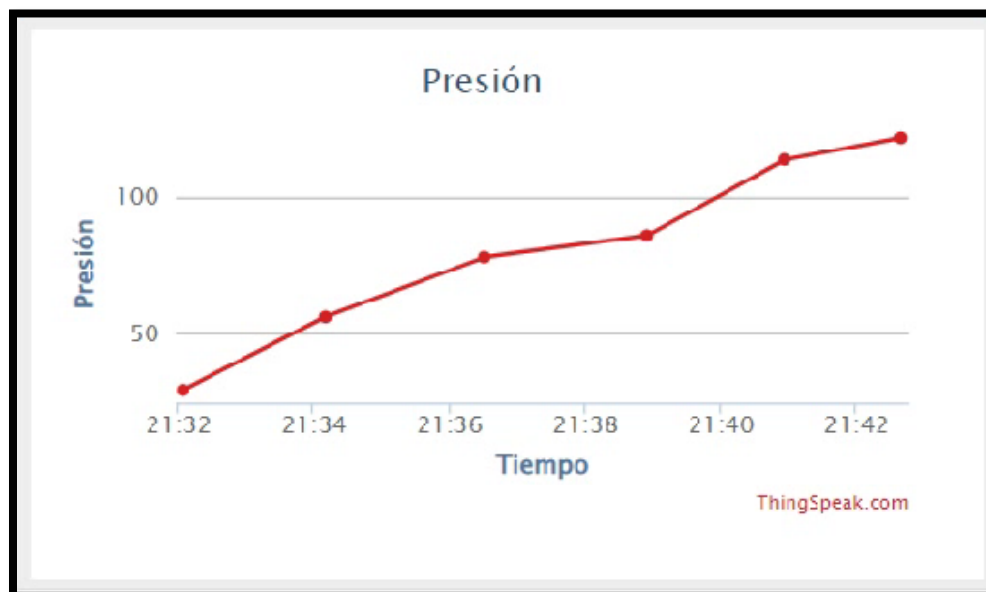
En esta prueba el sistema digitalizo los datos mientras se sube la presión de aire, y los valores obtenidos fueron comparados con los datos que ha recolecto el usuario.

#### Figura 54

*Prueba del sistema subiendo la presión de aire con un manómetro de 300 mm Hg*

a) *Reconocimiento de los datos mediante el algoritmo*



a) *Recolección y procesamiento de datos en Plataforma*

*Nota.* En el gráfico se puede observar a) Reconocimiento de los datos mediante el algoritmo, b) Recolección y procesamiento de datos en Plataforma

**Tabla 19**

Prueba del sistema subiendo la presión de aire con un manómetro de 300 mm Hg.

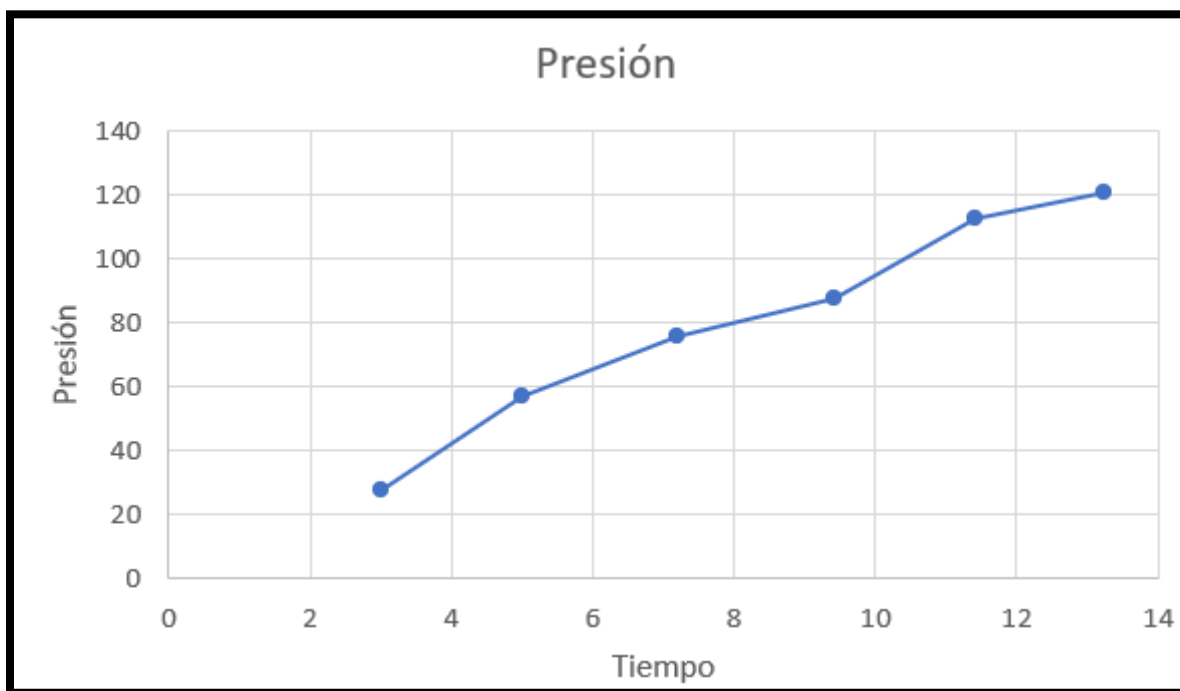
Valor de presión medido por el usuario	Valor de presión medido por el sistema	$\square - X_i$
28	29	1
57	56	1
76	78	2
88	86	2
113	114	1
121	122	1
Imprecisión absoluta		1.33

*Nota.* En la tabla se muestran los datos del sistema por medio de ThingSpeak

En la tabla 19 se muestran los datos del sistema por medio de ThingSpeak, los mismos que usan el método del promedio de 20 datos tomados por el sistema excluyendo valores atípicos, también se indican los valores medidos por el usuario y en la última columna, se encuentra la diferencia entre los resultados del usuario y el los del sistema, con la cual se tiene una tolerancia de  $\pm 1.33$  mm Hg de error.

### Figura 55

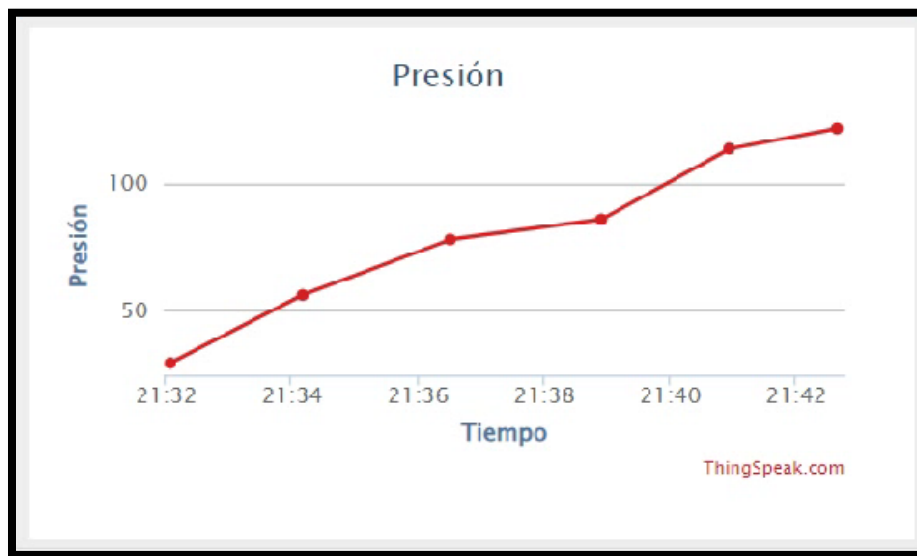
*Valores de presión tomados por el usuario en la Prueba del sistema subiendo la presión de aire con un manómetro de 300 mm Hg.*



*Nota.* En el gráfico se puede observar los valores de presión tomados por el usuario en la Prueba del sistema subiendo la presión de aire con un manómetro de 300 mm Hg

**Figura 56**

Valores de presión tomados por el usuario en la Prueba del sistema subiendo la presión de aire con un manómetro de 300 mm Hg.



*Nota.* En el gráfico se puede observar los Valores de presión tomados por el usuario en la Prueba del sistema subiendo la presión de aire con un manómetro de 300 mm Hg.

En las figuras 55 se observa la representación gráfica de los datos de presión tomados por el usuario en la prueba del sistema subiendo la presión de aire con un manómetro de 100 PSI. En la figura 56 la gráfica en ThingSpeak representa los valores de presión recolectados por el sistema en la Prueba del sistema subiendo la presión de aire con un manómetro de 300 mm Hg. Al contrario de las gráficas anteriores se dibuja una curva ascendente, dado que el aire se encuentra subiendo.

## Capítulo V:

### Conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros

#### Conclusiones

- Los datos recolectados del manómetro analógico mediante visión por computadora son analizados y almacenados en tiempo real, con esta información generada se puede mejorar la productividad, mantener los niveles de calidad y aumentar el rendimiento del equipo en un período de mejora constante.
- Como se ha podido observar en las pruebas realizadas, la Visión Artificial tiene diversas aplicaciones en la industria, por lo que posee un futuro prometedor, con un mercado en desarrollo que se espera que crezca a largo plazo.
- El proyecto se desarrolló en softwares de código abierto tanto para la parte de visión artificial, el cual permite realizar procesamiento de imágenes y para la parte de transmisión de datos en tiempo real, lo cual es muy importante en los sistemas actuales.
- Se implementó un seguidor de correlación dlib, para hacer más robusto el algoritmo; ya que mediante este rastreador se tiene un seguimiento visual del manómetro más preciso a lo largo de la transmisión de video en tiempo real y no es necesario volverlos a buscar en cada cuadro de video.
- Para mejorar la precisión del resultado final y disminuir el error provocado por datos erróneos debido a diversos factores; se realiza una comparación de los valores obtenidos y el promedio generado con lo cual se puede eliminar los datos atípicos, y volver a promediar los datos para de esta forma tener un resultado más preciso.
- El protocolo de comunicación MQTT, no requiere un controlador de recursos elevados, también es sencillo y ligero dado que necesita un mínimo de ancho de banda. Dado que MQTT es un protocolo de código abierto el cual se ejecuta a través de TCP/IP, permitiendo que distintos dispositivos y diferentes lenguajes de programación, consigan enviar y recibir

mensajes sin problemas de comunicación o de incompatibilidad.

- Se ha podido unir el manómetro analógico a procesos digitales ya que mediante las pruebas realizadas se obtuvieron una tolerancia mínima de  $\pm 1.22$  PSI de error en los datos que el sistema recopiló en el manómetro de rango de 0 a 100 PSI y
- Se ha podido unir el manómetro analógico a procesos digitales ya que mediante las pruebas realizadas se obtuvieron una tolerancia de  $\pm 3$  mm Hg en el manómetro de rango de 20 a 300 mm Hg
- La digitalización de la información de los manómetros análogos permitió la automatización de los diferentes procesos de aire comprimido, donde se pudo determinar que el algoritmo de visión artificial presenta  $\pm 2$  por ciento de tolerancia de error, también contienen valores con cero por ciento de error y para valores bajos se tienen un  $\pm 3$  por ciento de tolerancia de error. Tolerancias con las cuales se validan la hipótesis planteada en el proyecto
- La Industria 4.0 se refiere a crear una 'planta inteligente', mediante procesamiento de datos obtenidos a través de los diferentes sensores para mejorar las técnicas de fabricación. La visión artificial se presenta como una alternativa dinámica de producción inteligente, que permite que las computadoras que vean el mundo a través de la extracción, el procesamiento y el análisis de imágenes. Mediante la visión artificial se pueden conservar los sensores analógicos, dado que su implementación no es muy costosa.
- Al digitalizar los manómetros analógicos, permite al controlador leer la variable de acumulación de aire, para mantener las condiciones deseadas de un proceso. De esta manera se puede usar al algoritmo de visión artificial en un lazo de control automático.
- Para la transmisión de datos generados en la Raspberry Pi, se utiliza el canal de ThingSpeak, el cual publica valores mediante la biblioteca Requests y se van actualizando cada 20 segundos, los valores. El tiempo de transmisión es alto, pero es ideal para el proyecto, dado que un tanque de gas de uso doméstico tiene una duración de

aproximadamente un mes y el valor de la presión va cambiando de manera paulatina.

**Recomendaciones**

- En este proyecto es necesario tener una buena iluminación y se debe evitar en lo posible que no exista sombras, para generar valores más precisos.
- Si se va a cambiar de manómetro es necesario configurar los parámetros de rango inicial y final del nuevo medidor analógico y reiniciar la plataforma ThingSpeak.
- Usar una cámara de iguales o mejores características para el para poder tener un procesamiento de imagen optimo y a la vez el resultado final sea más preciso
- Tratar de usar manómetros con agujas que no sean muy delgados o pequeñas para tener una mejor precisión en el valor final.
- Si se desea disminuir el tiempo en la transmisión de datos se puede hacer uso de la opción pagada de ThingSpeak



**Trabajos futuros**

- Fortalecer el algoritmo para poder leer más de un manómetro a la vez, con lo cual se podrán digitalizar los datos de una manera más sencilla
- Hacer más robusto el algoritmo para poder leer los datos del manómetro mediante una cámara de visión nocturna, para poder leer datos en la oscuridad.
- Mejorar el tiempo de procesamiento de imagen y transmisión de datos, para no perder valores y llevar un mejor registro de datos.

## Bibliografía

adslzone. (2021 de 05 de 18). *adslzone*. Obtenido de

<https://www.adslzone.net/listas/gadgets/alternativas-raspberry-pi/>

branom. (2021). *branom*. Obtenido de <https://www.branom.com/instruments-type-pressure.html>

Browne, A. (2013). *REMOTE SENSING OF A CAPACITANCE MANOMETER PRESSURE MEASUREMENT HEAD*. R.A. EDWARDS.

Corporation, A. (2015). *primametrology*. Obtenido de <https://primametrology.com/entendiendo-las-especificaciones-de-exactitud-de-medida-en-manometros-digitales/>

docs.microsoft. (s.f.). *docs.microsoft*. Obtenido de <https://docs.microsoft.com/es-es/azure/storage/common/storage-introduction>

fiscalab. (2021). *fiscalab*. Obtenido de <https://www.fiscalab.com/apartado/errores-absolutos-relativos>

geekflare. (2020). *geekflare*. Obtenido de <https://geekflare.com/es/iot-platform-tools/>

geeksforgeeks. (05 de 10 de 2021). *geeksforgeeks*. Obtenido de [geeksforgeeks: https://www.geeksforgeeks.org/how-to-install-opencv-for-python-in-windows/](https://www.geeksforgeeks.org/how-to-install-opencv-for-python-in-windows/)

IBM. (2020). *IBM*. Obtenido de IBM: <https://www.ibm.com/topics/industry-4-0>

iotconsulting. (2021). *iotconsulting*. Obtenido de <https://iotconsulting.tech/3-plataformas-open-source-para-iot/>

Izurieta, A. (1997). *Manual para la Medición de la Eficiencia de Manejo de un Sistema*.

JIMÉNEZ ARTURO, A. K. (2018). *Investigación, diseño e implementación de un algoritmo de control visual basado en posición para comandar el movimiento de un brazo robótico*

*que permita la alimentación independiente de personas afectadas con osteoartritis.*

Latacunga.

Linares, J. (2017). *Control de presión usando visión artificial a través de un procesador digital de señales DSP.*

Linares, L. (2017). *Diseño e implementación de un sistema de monitoreo inalámbrico de variables físicas mediante el empleo de visión artificial para la interpretación de las escalas numéricas de instrumentos analógicos industriales.*

Liu, L. (2015). *Machine Vision Based Automatic Detection Method of Indicating Values of a Pointer Gauge.*

Mohd Javaida, A. H. (2021). Exploring impact and features of machine vision for progressive industry 4.0 culture. *Sensors International.*

Northrop, R. B. (2012). *Introduction to Instrumentation and measurements.* Boca Raton: Taylor & Francis Group.

*opencv.* (2020). Obtenido de *opencv*:

[https://docs.opencv.org/4.x/d6/d10/tutorial\\_py\\_houghlines.html](https://docs.opencv.org/4.x/d6/d10/tutorial_py_houghlines.html)

*opencv.* (2020). *opencv.* Obtenido de *opencv*:

[https://docs.opencv.org/3.4/dd/d1a/group\\_\\_imgproc\\_\\_feature.html#ga47849c3be0d0406ad3ca45db65a25d2d](https://docs.opencv.org/3.4/dd/d1a/group__imgproc__feature.html#ga47849c3be0d0406ad3ca45db65a25d2d)

Oracle. (2021). *Oracle.* Obtenido de <https://www.oracle.com/internet-of-things/what-is-iot/>

*pyimagesearch.* (2020). Obtenido de *pyimagesearch.*:

<https://pyimagesearch.com/2018/10/22/object-tracking-with-dlib/>

*raspberrypi.* (2021). *raspberrypi.* Obtenido de [www.raspberrypi.org](http://www.raspberrypi.org)

thingspeak. (2022). *thingspeak*. Obtenido de thingspeak:

[https://thingspeak.com/pages/learn\\_more](https://thingspeak.com/pages/learn_more)

wika. (2021). *wika*. Obtenido de [https://dk.shop.wika.com/cpg1500\\_shop\\_en\\_co.WIKA](https://dk.shop.wika.com/cpg1500_shop_en_co.WIKA)

## Anexos