



**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

Monitoreo del sistema de bomba HVAC por medio de una interfaz arduino y  
LabVIEW para disminuir fallas del chiller en la nueva sede del INEN

**TESIS**

Para optar el título profesional de Ingeniero Electrónico

**AUTORES**

Diaz Soto, Jorge Luis

ORCID: 0000-0003-0242-7422

Sandoval Monzón, Jorge Enrique

ORCID: 0000-0002-5517-0774

**ASESOR**

Huamani Navarrete, Pedro Freddy

ORCID: 0000-0002-3753-9777

**Lima, Perú**

**2022**

## **Metadatos Complementarios**

### **Datos del autor(es)**

Diaz Soto, Jorge Luis

DNI: 44420216

Sandoval Monzón, Jorge Enrique

DNI: 41371916

### **Datos de asesor**

Huamani Navarrete, Pedro Freddy

DNI: 10032682

### **Datos del jurado**

#### **JURADO 1**

González Prado, Julio Cesar

DNI: 07702235

ORCID: 0000-0003-0384-7015

#### **JURADO 2**

López Córdova, Jorge Luis

DNI: 09638009

ORCID: 0000-0002-3817-6859

#### **JURADO 3**

Sánchez Bravo, Miguel Ángel

DNI: 08443357

ORCID: 0000-0001-9384-1391

### **Datos de la investigación**

Campo del conocimiento OCDE: 2.02.01

Código del Programa: 712026

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mis padres, hermanos, amigos y familiares que siempre estuvieron presente brindándome su apoyo, consejos y conocimientos a lo largo de estos años de desarrollo profesional.

Diaz Soto, Jorge Luis

Esta tesis la dedico a Dios, a mis padres, tío, hermana, a mi madrina y amigos quienes hicieron posible para lograr el objetivo.

Sandoval Monzón, Jorge Enrique

## **AGRADECIMIENTO**

Nuestro sincero agradecimiento a los profesores de la Universidad Ricardo Palma por brindarnos los conocimientos en la carrera de Ingeniería electrónica, así como a nuestros amigos y familiares que nos brindaron su apoyo incondicional para seguir adelante.

Diaz, Jorge y Sandoval, Jorge

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUCCIÓN .....	iii
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
1.1 Descripción y formulación del problema .....	1
1.1.1 Problema General.....	1
1.1.2 Problemas Específicos .....	1
1.2 Objetivo general y específico .....	2
1.2.1 General .....	2
1.2.2 Específico .....	2
1.3 Delimitación de la investigación .....	2
1.3.1 Temporal .....	2
1.3.2 Espacial .....	3
1.3.3 Temática.....	3
1.4 Justificación e importancia.....	3
1.4.1 Justificación.....	3
1.4.2 Importancia .....	4
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
2.1 Marco Histórico.....	5
2.2 Antecedentes del estudio de investigación .....	7
2.2.1 Investigaciones Internacionales.....	7
2.2.2 Investigaciones Nacionales .....	12
2.3 Bases teóricas vinculadas a la variable o variables de estudio.....	14
2.3.1 Monitoreo del sistema de bomba HVAC .....	14
2.3.2 Software LabVIEW.....	14
2.3.3 Interfaz Arduino .....	15
2.3.4 Sensor de presión .....	15
2.3.5 Bombas centrífugas .....	17
2.3.6 Chiller y sus fallas comunes.....	18
2.4 Definición de términos básicos .....	21

2.5	Diseño de la Investigación .....	22
2.5.1	Variables de investigación .....	22
2.5.2	Tipo y Método de investigación.....	23
2.5.3	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos .....	23
2.5.4	Técnicas para el procesamiento y análisis de la información .....	24
<b>CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL PROYECTO.....</b>		<b>25</b>
3.1	Lecturas históricas de presión de agua .....	25
3.1.1	Presión de agua del sistema de bomba HVAC con el Chiller 01 .....	25
3.1.2	Presión de agua del sistema de bomba HVAC del Chiller 03.....	29
3.2	Esquema y Diagrama.....	33
3.2.1	Descripción de diagrama P&ID .....	33
3.2.2	Instalación de componentes electrónicos y accesorios .....	33
3.3	Desarrollo de interfaz en software LabVIEW .....	35
3.3.1	Integración de Arduino con el software LabVIEW .....	36
3.3.2	Programación de interfaz de usuario en software LabVIEW.....	39
3.3.3	Almacenamiento de datos .....	40
<b>CAPÍTULO IV: PRUEBAS Y RESULTADOS.....</b>		<b>42</b>
4.1	Presentación de Pruebas .....	42
4.1.1	Pruebas y calibración de sensor de presión.....	42
4.1.2	Pruebas de la integración del Arduino con el LabVIEW .....	44
4.2	Resultados obtenidos con las herramientas del LabVIEW .....	45
4.2.1	Resultados con la herramienta LINX del LabVIEW .....	45
4.2.2	Resultados con la herramienta VISA del LabVIEW.....	46
4.2.3	Comparación de resultados LINX vs VISA.....	47
4.3	Diagnóstico y Análisis de Resultados .....	48
<b>CONCLUSIONES .....</b>		<b>53</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>		<b>55</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>56</b>

<b>ANEXOS</b>	<b>59</b>
Anexo 1: Características técnicas de equipos .....	59
Anexo 2: Plano vista superior del Chiller 01 y Chiller 02 .....	61
Anexo 3: Plano vista superior del Chiller 03 y Chiller 04 .....	62
Anexo 4: Válvula reductora de presión.....	63
Anexo 5: Permiso de la empresa INEN .....	64

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Características del sensor de Presión, según ficha técnica.....	18
Tabla N° 2. Descripción de partes de Chiller de la Figura 9 .....	20
Tabla N° 3. Descripción de ubicación de manómetros.....	25
Tabla N° 4. Valores de presión semana 03 de Julio .....	26
Tabla N° 5. Valores de presión del lunes 25 de julio .....	27
Tabla N° 6. Valores de presión de la Semana 4 de Julio .....	28
Tabla N° 7. Valores de presión del Chiller 3 para la semana 4 de Julio.....	30
Tabla N° 8. Valores de presión del Chiller 3 para el 25/Jul .....	31
Tabla N° 9. Muestras experimentales para calcular de ecuación del sensor .....	39
Tabla N° 10. Modelo de datos exportados en archivo CSV .....	41
Tabla N° 11. Rangos de operación para la presión de agua por cada sensor.....	49



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Sistema de riego egipcio .....	5
Figura N° 2. Rueda persa.....	6
Figura N° 3. Tornillo de Arquímedes .....	6
Figura N° 4. Máquina de Avery.....	7
Figura N° 5. Descripción de tarjeta Arduino Uno .....	16
Figura N° 6. Sensor de presión HK3022 0.5 MPa.....	16
Figura N° 7. Respuesta del sensor de presión HK3022 0.5 MPA .....	17
Figura N° 8. Bomba centrífuga.....	19
Figura N° 9. Partes del Chiller.....	19
Figura N° 10.Falla y soluciones para Mini Chiller .....	21
Figura N° 11. Falla y soluciones para Chiller Modulares.....	21
Figura N° 12. Incremento de presión de agua en el manómetro 1.....	26
Figura N° 13.Líneas de presión de agua de la semana 3 de julio .....	27
Figura N° 14.Valores de presión del lunes 25 de julio .....	28
Figura N° 15.Valores de presión semana 4 de julio .....	29
Figura N° 16. Valores de presión semana 4 de julio .....	30
Figura N° 17. Valores de presión del lunes 25 de julio .....	31
Figura N° 18. Distribución de sensores en diagrama P&ID .....	32
Figura N° 19. Ilustración general de la conexión de los sensores .....	33
Figura N° 20. Conexión de tarjeta Arduino en tablero .....	34
Figura N° 21. Conexión de sensores con tarjeta Arduino Uno.....	34
Figura N° 22. Diagrama de bloques del sistema de Gestión .....	35
Figura N° 23. Diagrama de Flujo del sistema de Gestión .....	36
Figura N° 24. Interfaz del compilador Arduino.....	37
Figura N° 25. Ventana del Diagrama de Bloques del LabVIEW para el proyecto .....	38
Figura N° 26. Toma de datos para calcular la respuesta del sensor HK3022.....	39
Figura N° 27. Ventana del Panel Frontal del LabVIEW para el proyecto.....	40
Figura N° 28. Instrucciones para alarmas y almacenamiento de datos .....	41
Figura N° 29. Relación de la presión de agua y valores de String .....	43
Figura N° 30. Relación de la presión con el voltaje para el sensor HK3022.....	43
Figura N° 31. Ruido en la gráfica de la señal de presión de agua .....	44

Figura N° 32. Etapa de adquisición de datos para el LINX.....	45
Figura N° 33. Lectura de presión de agua el 13/set con la herramienta LINX.....	46
Figura N° 34. Valores de presión de agua en la semana 37 del 2022.....	46
Figura N° 35.Lectura de presión de agua con la herramienta VISA .....	47
Figura N° 36. Lectura de presión con la herramienta VISA para el 14/set/ 2022 .....	47
Figura N° 37. Visualización de caídas periódicas de datos .....	48
Figura N° 38. Condiciones para compensar caídas periódicas .....	49
Figura N° 39. Presión de agua en el sensor 1 .....	50
Figura N° 40. Presión de agua para los sensores 2 y 4 .....	50
Figura N° 41.Presión de agua para los sensores 3 y 5 .....	51
Figura N° 42. Presión de agua en el sensor 6 .....	51

## RESUMEN

El presente trabajo de tesis tiene como finalidad mostrar la importancia de realizar un monitoreo de la presión de agua helada que circula por el sistema de bombeo HVAC de la nueva sede del Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (INEN), y así garantizar el buen funcionamiento del sistema de bombeo HVAC en el tiempo. Por lo cual, en este proyecto se planteó contar con un sistema de monitoreo automatizado que permita tener una visualización permanente de la presión de agua en algunas etapas del sistema de bombeo HVAC, y así tomar medidas preventivas o correctivas antes que se afecte el buen funcionamiento de los Chillers, así como de las unidades evaporadoras de aire. Para ello, se utilizaron seis sensores de presión de agua instalados en el sistema de bombas HVAC, que en conjunto con una interfaz Arduino tomaron lectura de los valores de la presión de agua.

Así mismo, para gestionar el monitoreo de la presión de agua del sistema de bomba HVAC, esta interfaz Arduino fue conectada a una PC con el software LabVIEW, donde por medio de un entorno gráfico se visualizó el comportamiento de la presión de agua en el tiempo, y se fueron almacenando para su posterior análisis. Además, por medio de un conjunto de instrucciones se compararon los valores de presión para que se pueda visualizar y oír alertas cuando se presenten valores anómalos que podrían afectar el sistema de aire acondicionado. De los datos almacenados, se visualizó algunos eventos en la presión de agua de entrada al sistema de bomba HVAC. Donde se registraron múltiples caídas de presión de agua de alrededor de 20 PSI con una duración de 5 a 10 minutos que son de manera frecuente. Estas caídas se evaluaron con referencia al valor de presión mínima recomendada y se mostraron en detalle en el desarrollo de este trabajo.

**Palabras claves:** Sistema de bomba, agua helada, HVAC, Arduino, LabVIEW

## **ABSTRACT**

The purpose of this thesis is to show the importance of monitoring the ice water pressure circulating through the HVAC pumping system of the new headquarters of the National Institute of Neoplastic Diseases (INEN), and thus ensure the proper performance of the HVAC pumping system over time. It was proposed to have an automated monitoring system that would allow a permanent visualization of water pressure in some stages of the HVAC pumping system, and thus take preventive or corrective measures before affecting the proper performance of the Chillers and air evaporation units. For this purpose, six water pressure sensors installed in the HVAC pump system were used; which in conjunction with an Arduino interface took reading of the water pressure values.

Likewise, to manage the monitoring of the HVAC pump system, this Arduino interface was connected to a PC with LabVIEW software. Then, by means of a graphical environment, the behavior of the water pressure over time was visualized and stored for later analysis. In addition, due to a set of instructions, the pressure values were compared so that alerts can be displayed and heard when anomalous values occur and that could affect the air conditioning system. From the stored data, some events in the water ingress pressure to the HVAC pump system were visualized. Where multiple water pressure drops of around 20 PSI were recorded with a duration of 5 to 10 minutes, which are frequent. These drops are evaluated with reference to the minimum recommended pressure value and are shown in detail in the development of this project.

**Key words:** Pump system, chilled water, HVAC, Arduino, Labview.

# INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se han desarrollado los conocimientos teóricos y prácticos obtenidos durante los años de estudio en la escuela de Ingeniería Electrónica de la Universidad Ricardo Palma. Donde se plantea realizar un monitoreo de la presión de agua del sistema de bombas HVAC por medio de una interfaz Arduino y LabVIEW para la nueva sede del Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (INEN), con ello se da solución a la problemática descrito en el desarrollo de esta tesis para contar con una presión de agua adecuada que no afecte el buen funcionamiento de los Chillers del INEN. Para ello este trabajo se distribuye de la siguiente manera:

Capítulo I: Se realiza el planteamiento del problema y los objetivos del proyecto. Además, se detalla la delimitación de la investigación, así como su justificación e importancia.

Capítulo II: Este capítulo agrupa los antecedentes del estudio de la investigación separados en investigaciones nacionales e internacionales. También contiene el planteamiento de las bases teóricas vinculadas a las variables del estudio, además de la definición de términos básicos más relevantes y una breve definición de la metodología usada.

Capítulo III: Se describe el desarrollo del proyecto, donde se comienza a detallar valores históricos de la presión de agua en determinados eventos, además se muestra el diagrama de representación de la planta para el desarrollo del proyecto y la integración de la interfaz Arduino con el software LabVIEW. Donde se definen la visualización en tiempo real, las alertas y almacenamiento de presión de agua en el sistema de bombas HVAC de la nueva sede del INEN.

Capítulo IV: Referido como pruebas y resultados, en el cual se reflejan los resultados obtenidos al integrar de la interfaz Arduino con el software LABVIEW en el monitoreo de la presión de agua en el sistema de bombas HVAC de la nueva sede del INEN.

# CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1 Descripción y formulación del problema

Actualmente la nueva sede del INEN dispone de un sistema automatizado de aire acondicionado por agua helada, el cual no cuenta con un monitoreo remoto de la presión de agua para el sistema de bombeo del Chiller; pues, el monitoreo ayudaría a prevenir los riesgos y fallas en el Chiller que climatiza los diversos ambientes de esta nueva sede del INEN.

Para garantizar la óptima utilidad de este sistema de agua helada y pueda estar operando correctamente dentro de sus valores establecidos para su tipo de uso, el personal del INEN viene monitoreando la presión de agua de ingreso al sistema de bomba HVAC de manera presencial y directa, lo cual ante un error humano o falta de revisión incrementa el riesgo de posibles fallas en el sistema de climatización.

### 1.1.1 Problema General

¿Cómo se monitoreará el sistema de bomba HVAC por medio de una interfaz Arduino y LabVIEW para disminuir fallas del Chiller en la nueva sede del INEN?

### 1.1.2 Problemas Específicos

- a) ¿Cómo esquematizar el diagrama P&ID de Monitoreo de la presión del agua helada en el sistema de bomba HVAC por medio de una interfaz Arduino y LabVIEW para disminuir fallas del Chiller en la nueva sede del INEN?
- b) ¿Cómo se realizará la toma de valores de los niveles de presión del agua helada con la interfaz Arduino en el monitoreo del sistema de bomba HVAC para disminuir fallas del Chiller en la nueva sede del INEN?
- c) ¿Cómo se integrará la interfaz Arduino con el software LabVIEW en el monitoreo del sistema de bomba HVAC para disminuir fallas del Chiller en la nueva sede del INEN?
- d) ¿Cómo se mostrarán las alertas en el monitoreo de la presión del agua helada en el sistema de bomba HVAC por medio de una interfaz Arduino y LabVIEW para disminuir fallas del Chiller en la nueva sede del INEN?

## 1.2 Objetivo general y específico

### 1.2.1 General

Monitorear el sistema de bomba HVAC por medio de una interfaz Arduino y LabVIEW para disminuir fallas del Chiller en la nueva sede del INEN.

### 1.2.2 Específico

- a) Esquematizar un diagrama P&ID con la ubicación de los sensores y actuadores para el monitoreo de la presión del agua helada en el sistema de bomba HVAC por medio de una interfaz Arduino y LabVIEW.
- b) Determinar e Implementar la interfaz Arduino que se encargará de la adquisición de datos de los sensores en el monitoreo de la presión del agua helada en el sistema de bomba HVAC.
- c) Integrar la interfaz Arduino con el software LabVIEW para la adquisición y visualización de los valores de presión de agua que ayudarán a disminuir las fallas del Chiller en la nueva sede del INEN.
- d) Desarrollar en el software LabVIEW la alerta que ayudará a verificar las anomalías durante el monitoreo de la presión del agua helada en el sistema de bombas HVAC, y así disminuir las fallas del Chiller en la nueva sede del INEN.

## 1.3 Delimitación de la investigación

La principal limitación que se tiene para este estudio es el permiso de parte de las autoridades que se encuentran a cargo de la ejecución y puesta en marcha del sistema de bomba HVAC, ya que se deben seguir con diferentes gestiones administrativas con el INEN y el MINSA para que se pueda realizar algún cambio que involucre un plan de mejora. Por tal motivo, solo se fue posible la instalación de sensores de presión en puntos específicos para el desarrollo de este estudio.

### 1.3.1 Temporal

En cuanto a la limitación temporal, este trabajo de tesis será desarrollado entre los meses de mayo y noviembre del 2022 donde se plantea un plan de mejora para el sistema de bomba HVAC de la nueva sede del INEN.

### 1.3.2 Espacial

Este estudio está limitado espacialmente para ser desarrollado en el INEN ubicado en el Distrito de Surquillo de Lima, Perú.

### 1.3.3 Temática

Respecto a la limitación teórica, solamente se va considerar la comunicación serial entre la interfaz Arduino y el software LabVIEW, así como la programación de cada uno de ellos. Ya que, por falta de permisos, se realizó una integración separada al sistema de gestión propio del INEN. Dejando de lado los protocolos de comunicación industrial usados en el sistema de gestión por BMS del INEN.

## 1.4 Justificación e importancia

Actualmente la presión de agua del sistema de bomba HVAC no es monitoreada de manera remota, por lo cual no se podrían prevenir fallas en el sistema de refrigeración del INEN; entonces, es importante que esta variable sea monitoreada por un sistema para dar continuidad al sistema de refrigeración en el tiempo. De esta manera, se evitarían fallas o falta de un monitoreo continuo de la presión de agua al ingreso del sistema de bomba HVAC. Por ello, en este proyecto de tesis se planteará la inclusión del monitoreo de la presión de agua de ingreso y salida del sistema de bomba HVAC, a fin de mejorar los tiempos en la detección de problemas en el Chiller y garantizar un adecuado funcionamiento del sistema de climatización, para confort del personal del INEN y sus pacientes. Así como también, mantener una adecuada temperatura para la preservación de medicamentos y equipos médicos, y así reducir un elevado consumo de energía por falta de mantenimiento.

### 1.4.1 Justificación

Mediante la implementación de este monitoreo se pretende evitar contratiempos innecesarios con los mantenimientos, lo cual evitará cortes, riesgos y fallas del sistema de refrigeración que afecten la climatización en los diversos ambientes en la nueva sede INEN.



#### 1.4.2 Importancia

La importancia en la implementación de este monitoreo es prevenir los riesgos y fallas del sistema de refrigeración en la nueva sede del INEN, por anomalías en la presión de agua que pueda afectar el sistema de bomba HVAC.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Marco Histórico

Según el artículo de Bomba de agua publicado por la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, en su curso de Taller de Ingeniería de Procesos Industriales nos describe:

Los seres humanos a través de la historia, se han visto en la necesidad de inventar máquinas y objetos que faciliten sus labores diarias; es así que las bombas nacieron de la obligación del hombre por buscar soluciones más eficientes a problemas que se presentaron en el campo de la agricultura, y es a partir de esta necesidad de progreso que se empezó a dar el desarrollo de estas, hasta llegar a las que conocemos en la actualidad. Los primeros registros históricos de la utilización de un elemento para acarrear agua datan del año 3000 a.C., cuando los mesopotámicos usaron un mecanismo que contaba con una palanca (un balde en un extremo y un contrapeso en el otro), y al realizar empuje sobre esta el contrapeso se encargaba de subir el balde y depositar su contenido. Más adelante, para el 2000 a.C. los egipcios inventaron la bomba “shadoof”, también llamada cigüeña (tal como se observa en la figura 1), que permitió el riego en las orillas del río Nilo. (González, Jaramillo, & Cáceres, 2020, p. 7)

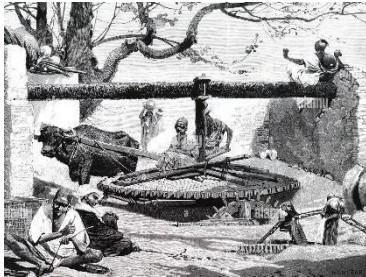


*Figura N° 1.* Sistema de riego egipcio

Fuente: Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales en Taller de Ingeniería de Procesos Industriales

“Para el año 1500 a.C. aparece la primera máquina de elevación de agua llamada la “picota” y más tarde aparecen mecanismos como el molinete y la rueda persa” (González et al., 2020, p. 7), tal como se muestra en la figura 2.

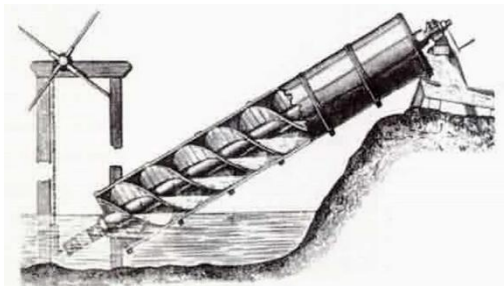
En el siglo III a.C. Arquímedes, inventó su famoso tornillo, que constaba de una estructura tubular exterior y una estructura helicoidal o de tornillo en el interior, permitiendo a través de estas, la elevación de agua y otros líquidos (como se aprecia en la figura 3). De hecho, este invento se sigue utilizando en la actualidad. (González et al., 2020, p. 8)



*Figura N° 2. Rueda persa*

Fuente: Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales en Taller de Ingeniería de Procesos Industriales

“Alrededor del año 250 a.C. se inventó la primera bomba de émbolo accionada a través de rueda hidráulica y para el siglo II d.C. se crea la primera bomba dúplex alternativa”(González et al., 2020, p. 8).



*Figura N° 3. Tornillo de Arquímedes*

Fuente: Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales en Taller de Ingeniería de Procesos Industriales

Es en el año 1600, cuando Denis Papin inventó la primera bomba centrífuga que funcionaba con un fenómeno de succión generado internamente para extraer agua y en 1698 Thomas Avery ideó una bomba funcional a partir de vapor que creaba vacío y así permitía sacar agua. (González et al., 2020, p. 8), la bomba de Avery se puede apreciar en la Figura 4.

En el año 1738 se inauguraron las primeras bombas manufacturadas en fábrica, cuando en Rusia se creó una línea de máquinas hidráulicas. La importancia de lo anterior radica en que hasta ese momento los aparatos habían sido construidos por

sus propios inventores y no se habían producido muchas cantidades de estos. En la década del 40 aparecen las primeras bombas de flujo axial y de chorro, que utilizaban compresores de motores a reacción y más recientemente destaca el uso de bombas electromagnéticas que tienen la particularidad de soportar altas temperaturas, mueven líquidos conductivos y son utilizadas ampliamente en reactores nucleares. (González et al., 2020, p. 9)

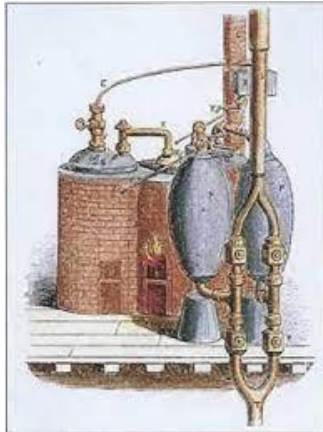


Figura N° 4. Máquina de Avery

Fuente: Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales en Taller de Ingeniería de Procesos Industriales

## 2.2 Antecedentes del estudio de investigación

### 2.2.1 Investigaciones Internacionales

Lopera, J. & Roman, J. (2019) en su Tesis titulada Automatización de planta de tercer orden para el control del nivel de agua en tanque mediante sistemas embebidos y el software LabVIEW; para optar al título de: Ingeniero Electrónico en la Universidad de Antioquia se pueden resaltar las conclusiones: a). La aplicación en LabVIEW cumple las especificaciones planteadas, tanto las funcionales como las estéticas. La interfaz permite visualizar en tiempo real el estado del nivel de flujo de agua que corre por el sistema, gracias a que el maestro puede solicitar mediante el bus de comunicación rs-485 creado, las señales que capta el microcontrolador de los sensores, además de enviar la orden de control de encendido del motor. b). Al implementar a gran escala este proyecto, podría ser de mucha ayuda para las empresas y centros de tratamiento de agua (acueductos urbanos y rurales) y alcantarillado ya que se podría optimizar el uso del agua al tener en constante monitoreo los niveles y el flujo

del líquido que entra y sale de estos centros, evitando así derroches por inundaciones en los tanques y fugas u obstrucciones que se puedan presentar en tuberías.

Comentario: Este proyecto muestra la facilidad con la que se puede desarrollar un sistema de gestión con el software LabVIEW, donde la aplicación planteada ayudaría a empresas que posean plantas de tratamiento de agua que requieran monitorear los niveles y flujo del líquido, así evitaría pérdidas por inundaciones en los tanques y/u obstrucciones en tubos.

Ortega, E. & Torres, J. (2019) en su investigación titulada Diseño e Implementación de un Sistema Scada basado en el software Quick HMI para el monitoreo y operación de los dos Chiller centrífugo con generación de reporte estadístico en el Hotel Hilton Colón Guayaquil; para obtener el título de Ingeniero Electrónico En La Universidad Politécnica Salesiana - Sede Guayaquil se resaltan las siguientes conclusiones: a). Para este proyecto se aprendió del funcionamiento de la red con el protocolo BacNet, con relación a otros protocolos a nivel industrial; para poder trabajar además se debió usar cable blindado y así se evitó interferencia en la comunicación entre dispositivos. b). El proceso de identificación de señales fue la tarea más laboriosa ya que consistió en identificar los cables de señal para la bomba de los Chiller, ya que se encontraban en paneles con demasiados cables. Una vez identificado se le conectó con el nuevo sistema.

Comentario: Este trabajo nos brindó un alcance para considerar a realizar pruebas con diferentes tipos de cableados, a fin reducir una mala calidad en la comunicación al estar en un entorno con equipos industriales y de alta potencia. Donde se recomienda el uso de cable blindado para evitar distorsiones en la señal para estos entornos, el cual ayudaría en la comunicación en entornos bombas de agua y Chillers.

Ceren, M. & González, C. (2017) en su Tesis titulada Desarrollo de un sistema de control y monitoreo remoto de una estación de bombeo en zona rural de El Salvador; para optar al título de: Ingeniero Electricista en la Universidad de El Salvador se pueden resaltar las conclusiones: a). Se comprueba que la

implementación de un sistema de este tipo conlleva una mayor eficiencia en la distribución del agua potable ya que reduce los tiempos de operación, logrando que el servicio sea brindado con más regularidad en la comunidad. b). Se verificó que los datos proporcionados por los sensores utilizados poseen un alto grado de confiabilidad ya que de la precisión de los mismos depende el correcto funcionamiento del sistema de bombeo.

Comentario: En este trabajo nos muestra la versatilidad que tienen las tarjetas Arduino en la aplicación de sistemas de control, como en este caso que se integra con una mini PC Raspberry Pi 3 para ser usado como centro de control.

*Uzair, Al-Janadi, Al-Kafrawi & Al-Bulushi (2022) en su paper científico titulado Sistema de gestión de edificios (BMS) basado en IoT de bajo costo que utiliza Arduino Mega 2560 y Raspberry Pi 4 para monitoreo y automatización inteligente; en el artículo Vol. 13 No. 3 (2022) de la Revista internacional de sistemas de ingeniería eléctrica e informática, IJECES por sus siglas en inglés. Donde se concluye a). La arquitectura del sistema propuesto utiliza cinco capas en lugar de las tres o cuatro capas que utilizan otros sistemas para obtener de manera integral el proceso general del sistema. Después de una revisión exhaustiva de la literatura existente, el documento presenta cómo los diferentes parámetros, es decir, la corriente, el voltaje, la temperatura, la humedad, la potencia, la vibración, la presión, etc., se monitorean utilizando el sistema propuesto con todo detalle. Luego, el documento describe dos tipos diferentes de automatización, es decir, automatización de seguridad y ahorro de energía, en comparación con la mayoría de los sistemas existentes que brindan solo una solución de automatización limitada. Con estas dos acciones de automatización, el sistema propuesto no solo es capaz de monitorear y controlar las cargas de manera segura, sino que también opera las cargas existentes de una manera altamente eficiente, es decir, energéticamente eficiente, etc. b). Otra contribución de este trabajo es que el sistema propuesto también es capaz de rastrear y contar hasta 540 unidades (fácilmente ampliables) en cualquier instalación, es decir, edificios, almacenes, fábricas, etc., lo que mejora aún más la eficiencia del sistema propuesto. El sistema propuesto también es capaz de mantener los niveles de humedad dentro de una*

*habitación entre umbrales de 35-55% activando y desactivando automáticamente el humidificador. El sistema propuesto también es capaz de proporcionar el nivel de polvo en una habitación en comparación con los BMS existentes que no tienen esta función. El sistema propuesto también proporciona retroalimentación constante sobre el estado de las cargas y notifica al operador en caso de cualquier comportamiento inesperado. De esta manera, el sistema propuesto es capaz de operar las cargas en el mejor estado posible, lo que no solo aumenta la vida útil de las cargas, sino que también mejora la eficiencia general del sistema junto con el ahorro de energía. El sistema propuesto se puede instalar en cualquier instalación a gran escala, lo que reducirá el costo operativo, es decir, electricidad, etc., y también el tiempo y esfuerzo del monitoreo humano.*

Comentario: Esta investigación nos permite tener un alcance de las capacidades que puede lograr a tener el hardware Arduino al integrarlo con un software de gestión que permita visualizar y administrar las acciones a tomar según el proyecto a implementar.

Chavarría, Jimenez, Hernandez & Noble (2019) en su artículo titulado Diseño de interfaz de control y adquisición de datos para un prototipo didáctico de refrigeración; publicado en la Revista del Diseño Innovativo Vol.3 No.7 1-7. En el cual se concluye que: Se integraron todas las programaciones de los distintos sensores en el IDE de arduino para lograr una ejecución simultánea con una sola placa, esto permite tener un adquirente de datos de bajo costo, la programación en LabVIEW permite tener una interfaz hombre máquina que monitorea el comportamiento de las variables, así como controlar ciertas funciones del ciclo de refrigeración, de manera automática o virtualmente activadas. Los ajustes de rango de operación también brindan una flexibilidad a la operación del sistema. Las lecturas tienen un rango de error aceptable, comparadas con instrumentos de medición, profesionales y calibrados.

Comentario: Este artículo nos permite contar con una visión de un sistema de control con el uso del LabVIEW y una interfaz arduino con sus sensores y actuadores. Además del uso de una retroalimentación para compensar las

perturbaciones que se generan al integrar el arduino con la herramienta VISA del LabVIEW.

Hernández, Méndez & Dominguez (2019) en su artículo de investigación titulado Diseño e implementación para el control de sensores a través de un instrumento virtual con Arduino publicado en la Revista Académica de la Facultad de Ingeniería en la Universidad Autónoma de Yucatán, Vol. 24, No. 1, 2020, ISSN: 2448-8364. Del cual se puede resaltar la conclusión: La utilización de dispositivos embebidos y sistemas de desarrollo ingenieril (Arduino y LabVIEW) permitió darle al sistema una mayor autonomía, robustez, confiabilidad y repetitividad a sistemas de adquisición, garantizando con ello el correcto funcionamiento de los sensores empleados que cumplieron los requerimientos del usuario final. Las pruebas de cada uno de los sensores, permitieron demostrar que era factible trabajar con todos a la vez, sin riesgos de entrar en conflicto, ya sea con el Arduino o al momento de enviar las señales a LabVIEW.

Comentario: De este artículo descarta el uso de una comunicación entre el LabVIEW y el arduino se da a través del puerto Ethernet utilizando el protocolo TCP/IP, el cual se puede usar cuando se tenga de hasta 100m desde una PC con el LabVIEW al arduino.

Olivo, Verduzco, García, Villalobos & Olivo (2018) en su artículo titulado Prototipo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en una granja de camarón en la revista Científica, vol. 22, núm. 2, pp. 87-95, del Instituto Politécnico Nacional de México. Del cual destaca la conclusión: En el presente trabajo se describe la construcción de un prototipo para monitorear y medir unos de los parámetros más importantes que determinan la calidad del agua en los sistemas acuícolas. Este prototipo en su primera fase es capaz de monitorear los parámetros oxígeno disuelto, pH, salinidad y temperatura en forma continua o de acuerdo con un determinado intervalo de tiempo según sea necesario. También, se pueden presentar los parámetros censados en una interfaz gráfica de ventana en una PC. Además, los datos se almacenan y se pueden consultar y graficar para ver cuál ha sido su comportamiento a través



del tiempo. Finalmente, el prototipo está construido desde un enfoque modular, para consumir poca energía y transmitir los datos de forma eficiente utilizando el estándar 802.15.4 y la especificación Zigbee.

Comentario: De este artículo se puede rescatar el uso de una comunicación inalámbrica (tecnología Zigbee), para que la tarjeta arduino pueda comunicarse y registrar los datos adquiridos por los sensores.

### 2.2.2 Investigaciones Nacionales

Saravia, E. (2019) en su tesis titulada Diseño de un módulo educativo para mejorar la enseñanza en el área de control y automatización de la Universidad de Ciencias y Humanidades; para obtener el título de Ingeniero Electrónico con mención en Telecomunicaciones en la Universidad de Ciencias y Humanidades se puede resaltar las conclusiones: a). El software que se emplea para la programación es el LabVIEW para el registro y control de datos, mientras que la tarjeta Arduino se emplea para la adquisición de datos de los sensores y emisión de datos hacia los actuadores. b). La experiencia nos muestra que LabVIEW es muy dinámico, debido a que nos permite mostrar el comportamiento y control las variables físicas a través de su panel frontal en tiempo real y la fácil programación a través del diagrama de bloques empleando los VI de LINX de LabVIEW para Arduino.

Comentario: Este trabajo nos permite contar con un alcance de facilidad con la que se pueden integrar el LabVIEW diferentes escenarios para el control de la temperatura, caudal y nivel de agua haciendo uso de una interfaz de adquisición con la tarjeta arduino.

Sosa, I. (2018) en su proyecto de investigación titulado Diseño de un programador lógico programable usando microcontrolador ATMEGA y lenguaje LADDER para aplicaciones de laboratorio; para optar por el Título de Ingeniero Electrónico y de Telecomunicaciones en la Universidad Nacional de Piura, se concluye que: a). Se diseñó un programador lógico programable usando microcontrolador ATMEGA y se programó el PLC utilizando software con la opción de trabajar con lenguaje LADDER para aplicaciones de laboratorio. b). Se diseñó los circuitos de acondicionamiento de señal para las

señales de entrada analógica y digital, considerando arreglos de resistencias para la entrada analógica de -10V a +10V y opto acopladores con opto transistor para las entradas digitales, tal como se muestra en el capítulo 4 de la presente tesis. c). Se diseñaron los circuitos de etapa de potencia para las señales de salida analógica y digital, considerando amplificadores de voltaje y de corriente para la salida analógica, y salida tipo relé para la salida digital, tal como se muestra en el capítulo 4 de la presente tesis.

Comentario: En este trabajo podemos ver como realizando un acondicionamiento de la etapa de potencia un arduino con microcontrolador Atmega, es capaz de ser equivalente a un PLC de bajo costo.

Simón, G. (2018) en su tesis titulada Implementación, control y monitoreo de un Sistema de riego por goteo subterráneo con Microcontroladores; para optar por el Título de Ingeniero Agrícola en la Universidad Nacional Agraria La Molina, donde se puede resaltar la conclusión: a). Se hallaron ecuaciones y factores de conversión que pueden ser utilizados para los sensores de las mismas características y modelo, para la conversión de la señal eléctrica al parámetro físico, operando dentro del rango de error según ficha técnica de cada dispositivo, los códigos de programación de los sensores y actuadores se integraron, elaborando un solo código, donde los sensores reciben información y los actuadores envían acciones, además de alertas para el control del nivel de agua en el tanque. El código implementado al microcontrolador se vincula mediante Bluetooth con el aplicativo “Ardunalm”, además se realizaron manuales para el uso de cada sensor.

Comentario: De este trabajo de tesis se puede rescatar las pruebas y análisis realizados para calcular el modelo matemático para representar la respuesta de los sensores y traducirlo a una unidad eléctrica.

López, R. (2016) en su tesis titulada Diseño del sistema de control de temperatura de un invernadero; para optar por el Título de Ingeniero Electrónico en la Pontificia Universidad Católica del Perú, donde se puede resaltar la conclusión: a). La lógica del funcionamiento del algoritmo se implementó en la placa de Arduino que integra las etapas de control y potencia

del circuito. Asimismo, verificó en el monitor serial de Arduino que se entregue el correcto ángulo de disparo hacia los Triacs y también se comprobó que la lectura del sensor de temperatura sea enviada al software de Labview. b). Logró realizar la interfaz de usuario en el software LabView y verificó en el panel frontal la variación en tiempo real de la temperatura. Adicionalmente el registro e historial de esta variable se almacenó en un archivo de la computadora para un posterior uso. c). Logró dimensionar los elementos requeridos para implementar un sistema fotovoltaico, esto no solo permitirá que se utilice la energía necesaria por parte de los equipos internos al invernadero, sino que también su uso no generará sustancias nocivas para la supervivencia de los seres vivos.

Comentario: Esta tesis nos muestra el control de temperatura de un invernadero, para evitar o mejorar los efectos del cambio climático por medio de una aplicación con el software LabVIEW y una placa Arduino el cual nos permite visualizar y almacenar los datos históricos.

## 2.3 Bases teóricas vinculadas a la variable o variables de estudio

### 2.3.1 Monitoreo del sistema de bomba HVAC

El monitoreo del sistema de bomba se realiza por medio de un software de gestión y sirve para identificar de forma temprana los problemas que puedan surgir en el Chiller.

### 2.3.2 Software LabVIEW

“LabVIEW es el acrónimo de Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench. Es un lenguaje y, a la vez, un entorno de programación gráfica en el que pueden crear aplicaciones de una forma rápida y sencilla” (Lajara & Pelegrí, 2011, p. 21).

Además, la interfaz de LabVIEW para Arduino (LIFA) Toolkit es una herramienta gratuita que se puede descargar desde el servidor de NI (National Instruments) y que permite a los usuarios de Arduino adquirir datos del microcontrolador Arduino y procesarlos en el entorno de programación gráfica de LabVIEW. Así mismo, cabe mencionar que para hacer uso de la aplicación

LIFA no es necesario disponer de una versión comercial de LabVIEW, ya que basta con adquirir el software LabVIEW Student Edition que se distribuye por distintos medios a un precio muy asequible. (Ruiz, 2012)

Como evolución de la herramienta LIFA, surgió LINX que es una herramienta que no solo trabaja con Arduino; sino también con hardware como chipKIT, Raspberry Pi, BeagleBone, etc. Además, contiene un asistente con firmware pre compilado que evita el uso del software Arduino IDE, necesario para la herramienta LIFA.

### 2.3.3 Interfaz Arduino

Según la web oficial de Arduino (2018), indica que: “Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software fáciles de usar”.

Se puede resaltar tres características del Arduino: Tiene una placa hardware libre que contiene un microcontrolador AVR reprogramable, un software gratis, libre y multiplataforma que nos permite programar el hardware por medio de un lenguaje de programación libre (Torrente, 2013).

Donde para el desarrollo del estudio se utilizará una tarjeta de Arduino Uno que se muestra en la figura 5, tiene 13 señales digitales que pueden funcionar como entrada o salida (definidas en el programa), o sea, leerá 5V o 0V, o entregará 5V o 0V y tiene 6 entradas analógicas, que soporta una tensión de hasta 5V y pueden ser escaladas a valores menores, pero no superiores. (Lukianova, 2021)

### 2.3.4 Sensor de presión

Según Creus (2011, p. 91): “La presión es una fuerza por unidad de superficie y puede expresarse en unidades tales como pascal, bar, atmósferas, kilogramos por centímetro cuadrado y psi (libras por pulgada cuadrada)”.

Con los sensores y transmisores se realizan las operaciones de medición en el sistema de control. En el sensor se produce un fenómeno mecánico, eléctrico o similar, el cual se relaciona con la variable de proceso que se mide; el transmisor, a su vez, convierte este fenómeno en una señal que se puede

transmitir y, por lo tanto, ésta tiene relación con la variable del proceso. (Smith & Corripio, 1999, p. 177)

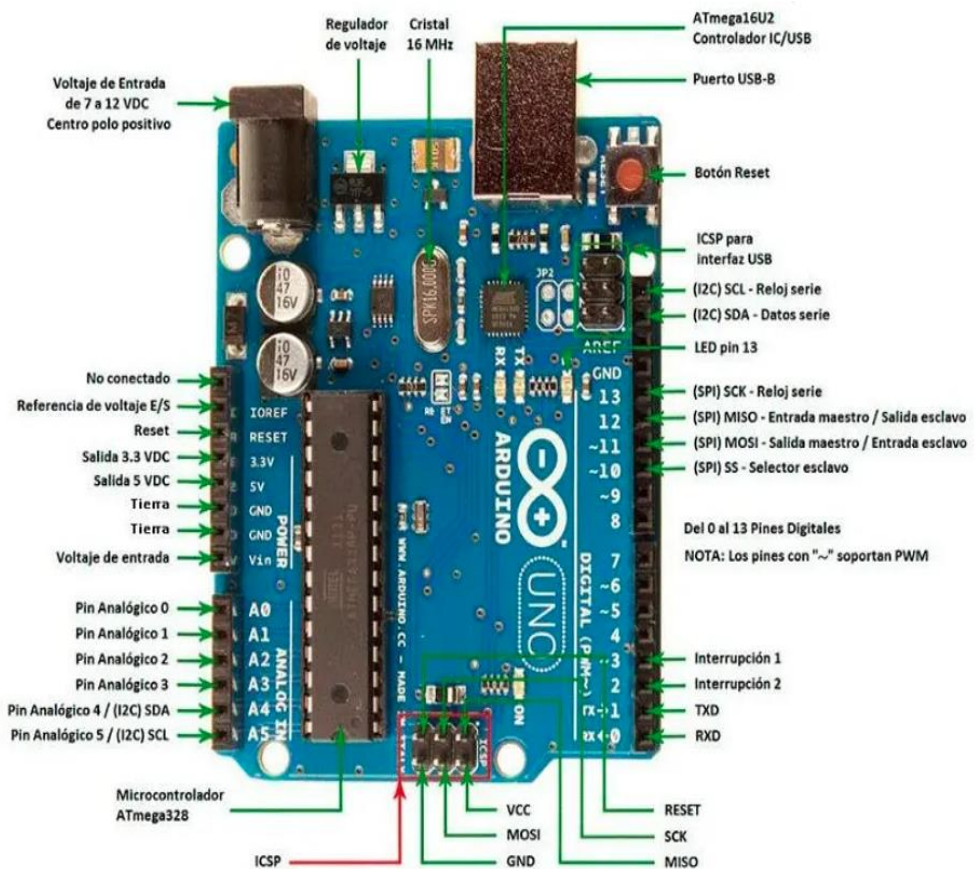


Figura N° 5. Descripción de tarjeta Arduino Uno  
Fuente: Página web de Arduino.cl de la empresa Ingeniería MCI Ltda



Figura N° 6. Sensor de presión HK3022 0.5 MPa  
Fuente: Página web de Naylamp Mechatronics SAC

La web de la empresa Naylamp Mechatronics SAC (2021), nos indica: Los sensores o transductores de presión son usados en muchos procesos industriales, los cuales transforman una magnitud física en una señal eléctrica.

En este tipo de sensores se transforma una fuerza por unidad de superficie (presión) en un voltaje proporcional a la presión ejercida. El Sensor de presión HK3022, que se muestra en la figura 6, trabaja en el rango de 0 a 0.5 MPa, un rango común para aplicaciones experimentales en neumática y sistemas de presión constante (agua, aceite, combustible). La salida del sensor es un voltaje analógico que varía linealmente desde 0.5V para 0 MPa hasta 4.5V para 0.8Mpa. Esta salida analógica es compatible con las entradas analógicas (ADC) de Arduino. Estas características del sensor se pueden apreciar a detalle en la tabla 1. Además, entre las principales aplicaciones del sensor tenemos la medición de presión de agua en tuberías, medición de nivel de columna de agua por presión hidrostática, sistemas de presión constante (para dosificación). Fabricado en acero inoxidable para asegurar robustez, sanidad y larga duración.

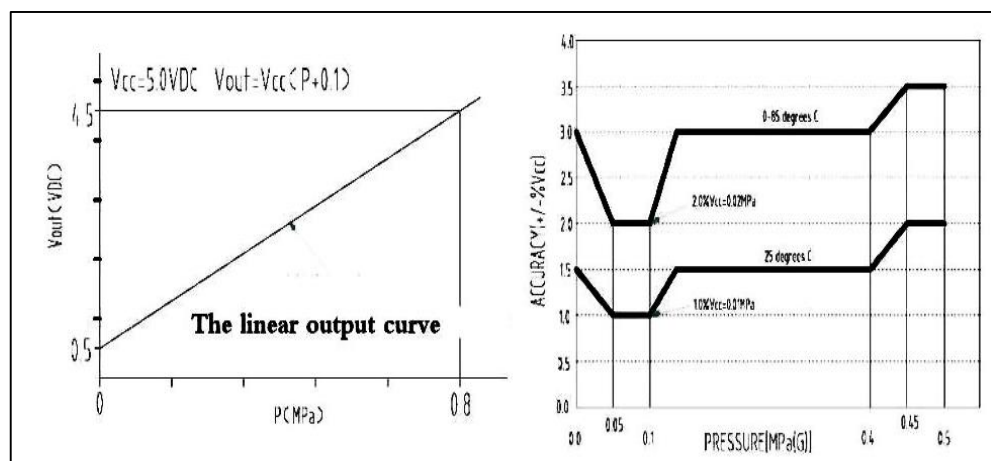


Figura N° 7. Respuesta del sensor de presión HK3022 0.5 MPA  
Fuente: Página web de Naylamp Mechatronics SAC

Adicional a las características de la ficha técnica del sensor, en la figura 7, se puede apreciar la relación que hay entre la presión y el voltaje de salida del sensor HK3022 0.5 MPA. Al lado derecho de la figura 7, se aprecia la respuesta que tiene el sensor ante cambios de temperatura.

### 2.3.5 Bombas centrífugas

De la definición indicada en la revista digital Especificar: Las bombas centrífugas en los sistemas HVAC son consideradas el corazón del sistema, ya que sin ellas no se tendría disponible el agua donde se necesita en condiciones de gasto y presión. En la figura 8, se puede apreciar la bomba centrífuga de un

sistema HVAC, además una selección adecuada es muy importante pues de lo contrario puede resultar en un mal funcionamiento. Para una selección adecuada hay que considerar parámetros como son: El gasto, la presión, la Carga Neta de Succión Positiva (NPSH, por sus siglas en inglés), la eficiencia y la potencia (Revista Especificar, 2021).

Tabla N° 1.

Características del sensor de Presión, según ficha técnica

<b>Modelo</b>	<b>HK3022 0.5MPA</b>
<b>Voltaje de operación</b>	5.0 VDC
<b>Voltaje de salida (analógica)</b>	0.5 - 4.5 VDC
<b>Corriente de funcionamiento</b>	<=10 mA
<b>Rango de presión de trabajo</b>	0 - 0.5 MPa (0-5 Bar ó 0-72.5psi)
<b>Presión máx.</b>	1.5 MPa
<b>Presión de ruptura</b>	3.0 MPa
<b>Tiempo de respuesta</b>	<=2.0 ms
<b>Error de medición</b>	+_1 %FSO
<b>Error por temperatura</b>	+_3.5 %FSO
<b>Temperatura de trabajo</b>	0-85°C
<b>Temperatura de almacenamiento</b>	0-100°C
<b>Rosca de conexión</b>	Macho G1/4 (BSP: Rosca Whitworth para tubos cilíndrica)
<b>Fluido de trabajo</b>	Gas, Aire comprimido, Agua, Aceite.
<b>Dimensiones</b>	26*26*60 mm
<b>Conexiones</b>	Rojo (5V), Negro(tierra), Amarillo (Salida)

Fuente: Página web de Naylamp Mechatronics SAC

### 2.3.6 Chiller y sus fallas comunes

*Los Chiller se usan comúnmente en sistemas de enfriamiento centralizados para extraer calor con el fluido de trabajo del sistema de enfriamiento del edificio y expulsar este calor al exterior. Los enfriadores eléctricos son los tipos más comunes de enfriadores utilizados en los sistemas de refrigeración*

centralizados. También se utilizan enfriadores que utilizan vapor o gas natural como fuente de combustible, pero son menos comunes (Angel, 2011, p. 99).

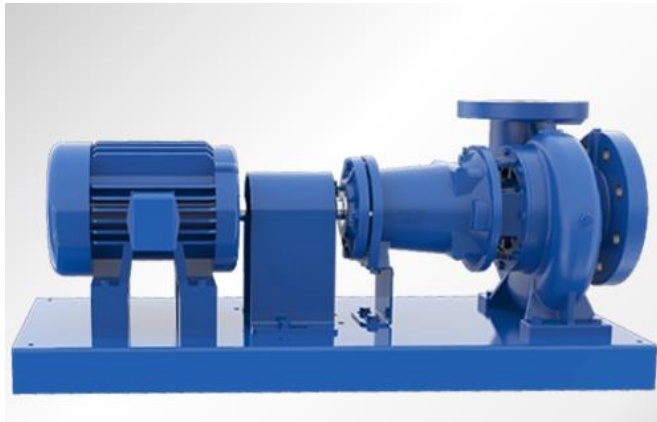


Figura N° 8. Bomba centrífuga  
Fuente: Revista Especificar

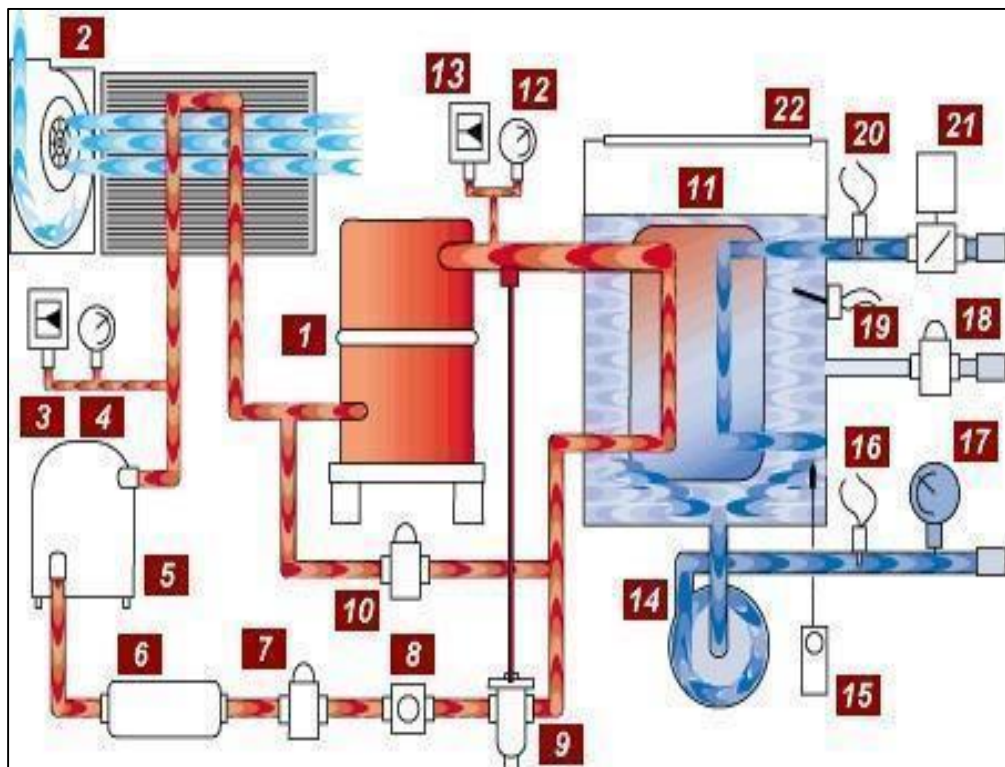


Figura N° 9. Partes del Chiller  
Fuente: <https://www.airsoningenieros.com/que-es-un-Chiller-funcionamiento-y-mantenimiento/>

a) Partes del Chiller

Según nos describe la Web de Airson Ingenieros SAC (2021), las partes del Chiller se pueden apreciar en la figura 9, las cuales se describen en la tabla 2.



b) Fallas de Chiller:

El ingeniero Gerson Mora en su web mundo Chiller nos describe que “las fallas de un Chiller se presentan en el Ciclo de Refrigeración, en el sistema de control y son originadas en el circuito hidráulico” (Mora, 2021).

Donde se puede resaltar que las fallas más comunes que presentan los Chillers: es la falta de presión en la succión del Chiller, además se pueden presentar fallas por falta de limpieza o mal tratamiento de agua y bajo caudal de agua. También, cabe mencionar que el riesgo que se tendrá por una baja presión de agua en el Chiller es la paralización del sistema de refrigeración, además de un menor caudal de agua a través del evaporador comparado a la capacidad del Chiller.

Tabla N° 2.

Descripción de partes de Chiller de la Figura 9

1) Compresor	12) Indicador en baja presión
2) Condensador	13) Límite de presión baja
3) Límite de alta presión	14) Bomba de refrigerante
4) Manómetro de presión alta	15) Límite de Freezestat
5) Receptor de líquido	16) Sonda del sensor
6) Filtro secador	17) Manómetro de refrigerante
7) Solenoide de línea de líquido	18) Solenoide
8) Vista de refrigerante	19) Interruptor flotador nivel depósito
9) Válvula de expansión	20) La Sonda del sensor de proceso
10) Válvula de derivación de gas caliente	21) Interruptor de flujo del evaporador
11) Evaporador	22) Depósito

Fuente: <https://www.airsoningenieros.com/que-es-un-Chiller-funcionamiento-y-mantenimiento/>

A continuación, se muestran 2 cuadros de fallas y soluciones para mini Chiller (ver Figura 10) y para Chiller modulares (ver Figura 11).

SÍNTOMA	POSIBLE CAUSA	SOLUCIÓN
<b>EL COMPRESOR NO ARRANCA</b>	No hay energía eléctrica	Verificar la energía
	Fusibles defectuosos o <i>breakers</i> abiertos	Checar que no haya un cortocircuito, cambiar fusibles o <i>breakers</i>
	Algún elemento de control está disparado	Encontrar el elemento de control disparado y restablecer la energía
	Conductores eléctricos cortados o desconectados	Verificar el reapriete de tornillos y comprobar la conexión de cables
	Compresor defectuoso	Contactar al fabricante para cambio de compresor
<b>LOS VENTILADORES NO OPERAN</b>	No hay energía eléctrica	Checar la energía eléctrica
	Motor defectuoso	Contactar al fabricante para cambio de motor eléctrico
<b>EL CHILLER SÍ OPERA PERO NO ENFRÍA LO SUFICIENTE</b>	Ajuste incorrecto de temperatura	Ajustar la temperatura
	Condensador sucio	Limpiar el condensador
	Succión y descarga de aire obstruidos	Quitar los obstáculos
	Insuficiente refrigerante	Checar fugas, reparar y cargar refrigerante
	Insuficiente flujo de agua en el sistema	Checar el tamaño de la bomba de agua y cambiar por una adecuada si es necesario
	El agua está sucia o contaminada	Tirar el agua sucia y cambiarla por limpia

Figura N° 10. Falla y soluciones para Mini Chiller

Fuente: Aspectos técnicos de Chiller – Revista Cero Grados (0grados.com)

SÍNTOMA	POSIBLE CAUSA	SOLUCIÓN
<b>EL COMPRESOR PARA SIN RAZÓN (LUZ DE ALARMA ENCENDIDA)</b>	Falla en el sistema de control	Contacte al fabricante
	Compresor con posible defecto	
<b>RUIDO Y VIBRACIÓN</b>	Suciedad o polvo en el motor y ventilador	Limpieza del motor ventilador
	Compresor ruidoso	Verificar la instalación del equipo
	Vibración y ruido provocado por paredes o base de montaje	
<b>EL MOTOVENTILADOR SE PROTEGE</b>	Circuito eléctrico incorrecto	Verificar el circuito y reparar si es necesario
	Relay de arranque sobrecalentado	Desconectar
<b>INSUFICIENTE CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO</b>	Compresor con posible defecto	Contactar al fabricante
	Contaminación en el sistema hidráulico	Limpiar el sistema hidráulico
	Condensador obstruido o sucio	Limpiar la pieza
	Poca carga de refrigerante	Verificar fugas, reparar y cargar refrigerante
<b>LA BOMBA DE AGUA NO ARRANCA</b>	No hay energía	Verifique la energía
	Motor de la bomba con posible defecto	Verificar la bomba de agua
	Bomba con posible defecto	Cambiar la bomba si es necesario
<b>FALLA EN LA CIRCULACIÓN DE AGUA</b>	Aire en el sistema hidráulico	Eliminar el aire (purgar el sistema)
	Intercambiador de calor sucio u obstruido	Limpiar el intercambiador
<b>EL EQUIPO NO ARRANCA</b>	Falla en el interruptor de flujo de agua	Verificar el flujo de agua
	Falla en el interruptor de presión	Verificar la presión del sistema

Figura N° 11. Falla y soluciones para Chiller Modulares

Fuente: Aspectos técnicos de Chiller – Revista Cero Grados (0grados.com)

## 2.4 Definición de términos básicos

API NI-VISA: Interfaz del LabVIEW que brinda soporte para clientes que utilizan GPIB, serial, PXI y otros tipos de instrumentos. (Web NATIONAL INSTRUMENTS, 2022)

AVR: “Es una arquitectura de microcontroladores desarrollada y fabricada por la marca Atmel” (Torrente, 2013, p. 64).

AWG: Es un indicador del calibre o grosor de un cable.

Bacnet: Protocolo de comunicación que sirve para la automatización de edificios.

BMS: Sistema de Gestión de Edificaciones o Building Management System, por sus siglas en inglés.

Cable GPT: Es un tipo de cable eléctrico con un núcleo de cobre flexible.

Cable UTP: Es un cable de comunicaciones compuesto por cuatro pares de cables aislados trenzados, el cual es usado en redes de datos.

CSV: Archivo de texto para almacenamiento de datos, donde se usan las comas para separar las columnas de una fila.

HVAC: Son las siglas que hacen referencia a la calefacción, ventilación y aire acondicionado. Por sus siglas en inglés Heating, Ventilating y Air Conditioned.

INEN: Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas.

IPLV: Valor Integrado de Carga Parcial.

LIFA: Librería de herramientas para la comunicación de LabVIEW con Arduino.

LINX: Actualización de librería de herramientas para la comunicación de LabVIEW con diferentes hardware como Arduino, chipKIT, Raspberry Pi, BeagleBone, etc.

MINSA: Ministerio de Salud del Perú.

Modbus: Protocolo de comunicación de estándar abierto donde se trabaja con una topología de maestro/esclavo, y se encuentra basado en las capas 1, 2 y 7 del modelo OSI.

P&ID: Diagrama de instrumentación y canalizaciones de la planta o Piping and instrumentación Diagram, por sus siglas en inglés.

PLC: Controlador Lógico Programable o Programmable Logic Controller, por sus siglas en inglés.

PWM: Modulación por ancho de pulso o Pulse Width Modulation, por sus siglas en inglés.

## 2.5 Diseño de la Investigación

### 2.5.1 Variables de investigación

- a) La variable independiente (VI): Monitoreo del sistema de bomba HVAC
- b) La variable dependiente (VD): Fallas del Chiller

### 2.5.2 Tipo y Método de investigación

#### a) Tipo de investigación

El tipo de investigación es experimental y aplicada porque se desarrollará una programación a través del software del PLC Arduino, la cual permitirá el monitoreo del ingreso de presión de agua del sistema de bomba HVAC.

#### b) Diseño muestral

Monitoreo de la presión de agua del sistema de bomba del Chiller en la nueva sede INEN, Surquillo, Lima Perú.

#### c) Población

Sistema de bomba del Chiller en la nueva sede de INEN, Surquillo, Lima - Perú.

### 2.5.3 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

La recolección de datos se realiza por medio de seis sensores de presión ubicados en el sistema de bomba y visualizado en el software LabVIEW, y la técnica de recolección por mediciones directas.

#### a) Tipos de Técnicas e Instrumentos

Hay dos técnicas e instrumentos:

- Técnica e instrumentos de recolección de datos en campo, la cual se lleva a cabo de manera visual y presencial en el área del sistema de bombas HVAC. Donde, ubicando los manómetros obtenemos las lecturas de presión y compararlas con las mostradas por el sistema de monitoreo.
- Técnica e instrumento de recolección de datos de asignación remota, en la cual se extraen los datos por medio de los sensores de presión. Tomando lectura de señales análogas para luego ser transformadas en señales digitales en la integración del Arduino con el software LabVIEW, para su visualización y análisis con ayuda del almacenamiento histórico de datos.

b) Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos

Para la validez y confiabilidad de los instrumentos se debe realizar pruebas experimentales con el sensor de presión y comparar las lecturas indicadas con un manómetro, lo cual nos ayudará a calibrar el sensor y contar con valores presión correctos. Así mismo, para que el software LabVIEW nos entregue valores confiables se debe ajustar los tiempos de muestreo y el rango de presión adecuada para que el sistema trabaje apropiadamente, mostrando las alertas ante valores de presión fuera del rango planteado.

c) Procedimientos para la recolección de datos

Para realizar la recolección de datos, se instalarán los sensores de presión de agua al ingreso y salida del sistema de bomba HVAC, los cuales estarán conectados a la interfaz Arduino por cable UTP categoría 6. Asimismo, tales datos se encontrarán en forma analógica en el rango de 0.5 a 4.5 VDC. Luego, el Arduino se comunicará con una PC donde se tendrá instalado el software LabVIEW para el almacenamiento y visualización de la presión de agua.

#### 2.5.4 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

Como técnica de procesamiento de datos se utilizará la digitalización de las señales analógicas obtenidas de los sensores de presión de agua, lo cual es realizada directamente por la interfaz Arduino una vez que las señales son adquiridas a través de sus puertos analógicos, y digitalizados los datos, se procederá al análisis comparando, visualizando los valores de presión de agua en el software LabVIEW.

## CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL PROYECTO

### 3.1 Lecturas históricas de presión de agua

En la nueva sede del Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas cuenta con una línea de agua blanda para el sistema de bomba HVAC, que viene desde el cuarto de bombas ubicado en el sótano 3 y está conectado hasta la azotea (Piso 10); por lo tanto, la presión no se mantiene estable.

En el desarrollo de este capítulo, se muestran algunas de las lecturas de presión de agua que se tomaron cuando se presentaron algunos problemas. Para lo cual se consideró la descripción de la tabla 3, donde se muestra la lista de manómetros y sensores (S) instalados, así como sus respectivas ubicaciones.

Tabla N° 3.  
Descripción de ubicación de manómetros

Leyenda	
Manómetro 1 (S1)	Entrada de línea de agua blanda
Manómetro 2 (S2)	Succión de agua hacia el Chiller 01
Manómetro 3 (S3)	Descarga de agua desde el Chiller 01
Manómetro 4 (S4)	Succión de agua hacia el Chiller 03
Manómetro 5 (S5)	Descarga de agua desde el Chiller 03
Manómetro 6 (S6)	Entrada de la bomba de succión

Fuente: Elaboración propia

#### 3.1.1 Presión de agua del sistema de bomba HVAC para el Chiller 01

##### a) Lecturas durante fallas de presión de agua

El día 8 de abril se presentaron problemas en el Chiller 01, a causa de una baja presión en la línea de agua blanda que alimenta al sistema de bomba HVAC. Por lo cual, se instaló un manómetro para verificar la presión de agua en este punto, donde se observó una caída de 14 psi en la presión de agua durante el día. Luego de algunos ajustes, a las 15:47 horas, de ese mismo día, el consorcio encargado del mantenimiento logró corregir el problema. Dejándolo con una presión de agua mínima de 40 psi, lo cual se puede observar en las lecturas mostradas de la figura 12. En tal figura se representa el cambio en la presión de agua durante la corrección del

problema, y donde se puede observar cómo va subiendo la presión de agua durante el día hasta alcanzar un valor de 40 PSI.

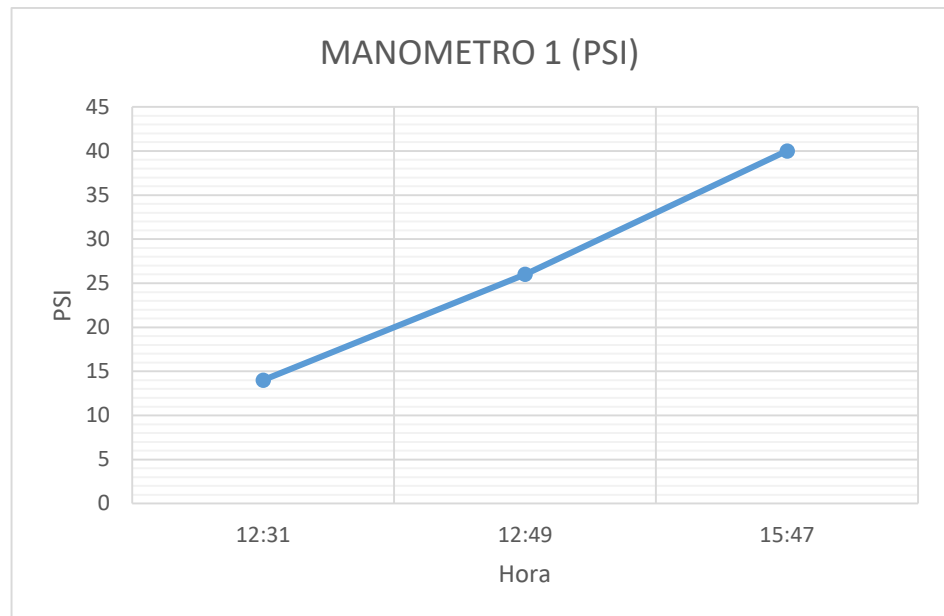


Figura N° 12. Incremento de presión de agua en el manómetro 1  
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.  
Valores de presión en la semana 03 de Julio

Fecha	Entrada	Chiller 1	
	Manómetro 1	Manómetro 2	Manómetro 3
Lunes 11/07	40	60	42
Jueves 14/07	12	50	45
Viernes 15/07	39	62	54
Viernes 15 /07	26	64	54
Promedio	29.25	59	48.75

Fuente: Elaboración propia

b) Con inspección visual

Se muestra la tabla 4, datos recopilados en la semana 3 del mes de julio para describir los cambios en los valores de la presión de agua. Donde, el manómetro 1 es la alimentación o entrada al sistema de bomba HVAC, el

manómetro 2 es la succión de agua hacia el Chiller 01 y el manómetro 3 es la descarga de agua hacia el Chiller 01.

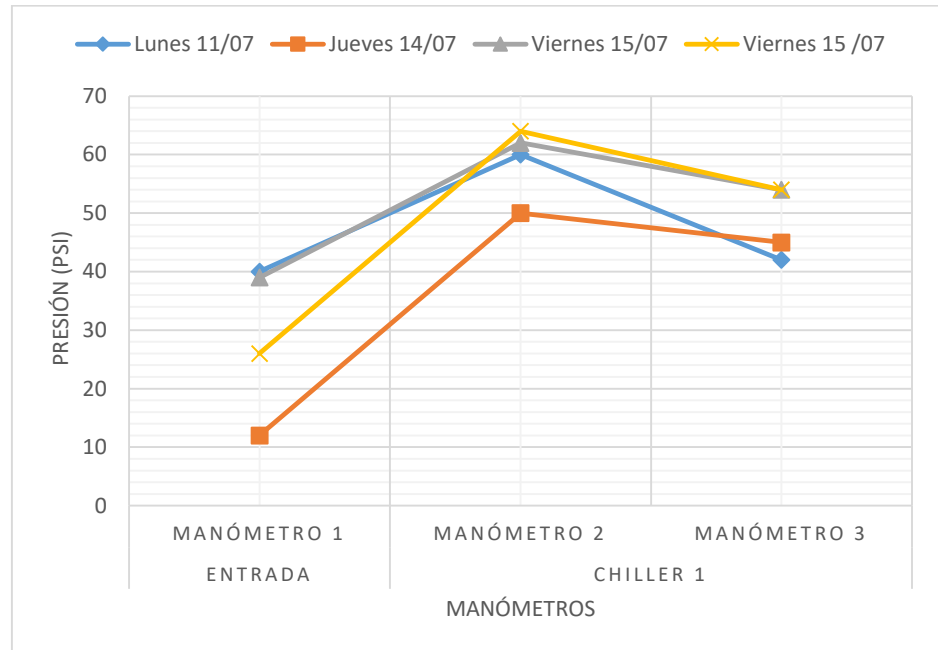


Figura N° 13. Líneas de presión de agua de la semana 3 de julio  
Fuente: Elaboración propia

La figura 13 muestra el comportamiento de la presión de agua extraídas de la tabla 4. Según se observó el día jueves 14 en el manómetro 1, se presentó una caída de presión diferenciada al comportamiento de los otros manómetros. Por lo se comprueba que las presiones de trabajo se mantuvieron, aunque la presión de entrada cayó, ello debido al correcto funcionamiento de la válvula check.

Tabla N° 5  
Valores de presión del lunes 25 de julio

	Entrada	Chiller 1	
Hora	Manómetro 1	Manómetro 2	Manómetro 3
08:27	42	46	42
10:21	41	46	42
16:19	46	52	48
Promedio	43	48	44

Fuente: Elaboración propia



Asimismo, en la tabla 5 se observan los valores de los cambios en la presión de agua para el día lunes 25 de julio, donde el manómetro 1 es la alimentación o entrada al sistema de bomba HVAC, manómetro 2 es la succión de agua hacia el Chiller 01 y manómetro 3 es la descarga de agua hacia el Chiller 01.

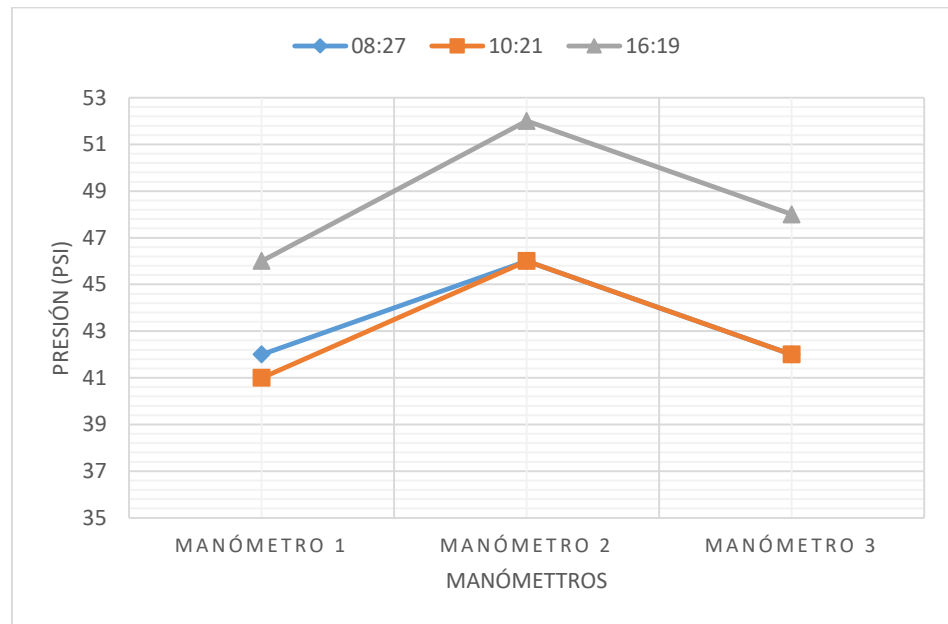


Figura N° 14. Valores de presión del lunes 25 de julio  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 14 se aprecia el comportamiento de la presión de agua en los diferentes manómetros actuantes, donde se observa presiones estables de trabajo con un rango de variación de presión mínima en el Chiller 01 y en el sistema de bombas HVAC; así como también en la alimentación o entrada a dicho sistema la variación es mínima.

Tabla N° 6.  
Valores de presión para la Semana 4 de Julio

Fecha	Entrada	Chiller 1	
	Manómetro 1	Manómetro 2	Manómetro 3
Jueves 21/07	41	54	44
Viernes 22/07	27	96	91

Fuente: Elaboración propia

Se muestra en la tabla 6, valores de presión de agua para la semana 4 del mes de julio. Tomados en el manómetro 1 es la alimentación o entrada al sistema de bomba HVAC, en el manómetro 2 es la succión de agua hacia el Chiller 01 y en el manómetro 3 es la descarga de agua hacia el Chiller 01.

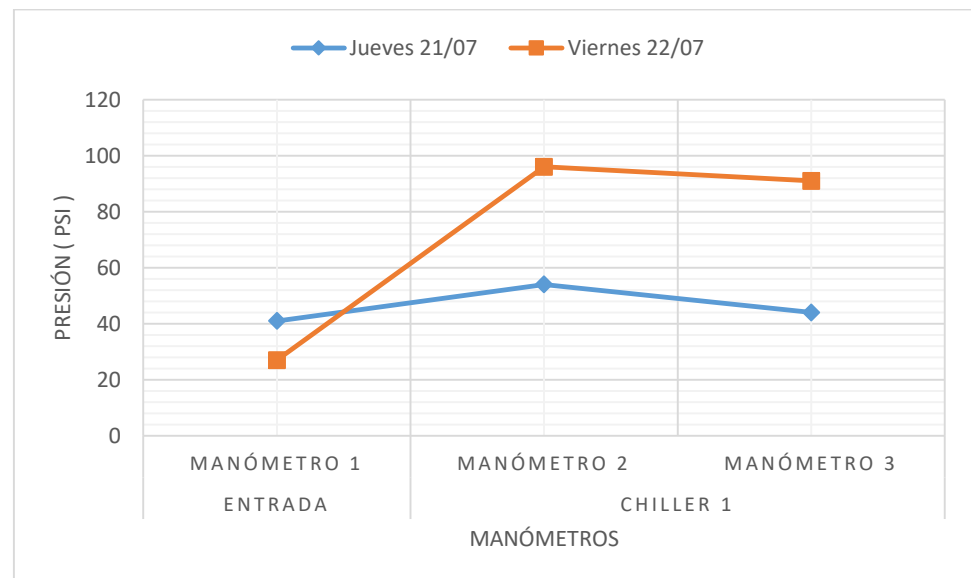


Figura N° 15. Valores de presión semana 4 de julio  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 15 se muestra el comportamiento de las presiones de agua extraídas de la tabla 6, en el cual se aprecia un comportamiento inusual en la presión de agua de alimentación o entrada al sistema de bombeo, lo cual repercute en las presiones del sistema de bombas HVAC y del Chiller 01. Con lo cual, se determina una avería o desperfecto en la válvula de regulaciones de presiones por lo que se tendría que evitar el paso de presiones altas en el momento de subidas de la misma.

### 3.1.2 Presión de agua del sistema de bomba HVAC para el Chiller 03

#### a) Durante fallas de presiones

Se muestra la tabla 7 de la semana 3 del mes de julio para describir los valores de presiones de agua. El manómetro 1 es la alimentación o entrada al sistema de bomba HVAC, el manómetro 4 es la succión de agua hacia el Chiller 03, el manómetro 5 es la descarga de agua hacia el Chiller 03 y manómetro 6 es la entrada de la bomba de succión.

Así mismo, en la figura 16 se muestra el comportamiento de las presiones de agua extraídas de la tabla 7. Según lo observado el día jueves en el manómetro 1, este presenta una caída de presión diferenciada al comportamiento de los otros manómetros. Con lo se comprobó el buen funcionamiento de la válvula check que mantuvo estable las presiones de trabajo pese a la caída de presión en la entrada.

Tabla N° 7.

Valores de presión del Chiller 3 para la semana 4 de Julio

DIA	Entrada	CHILLER 3		
	Manómetro 1	Manómetro 4	Manómetro 5	Manómetro 6
LUNES 18	38	54	44	36
MARTES 19	13	54	42	36
JUEVES 21	41	52	42	36
PROMEDIO	30.67	53.33	42.67	36

Fuente: Elaboración propia

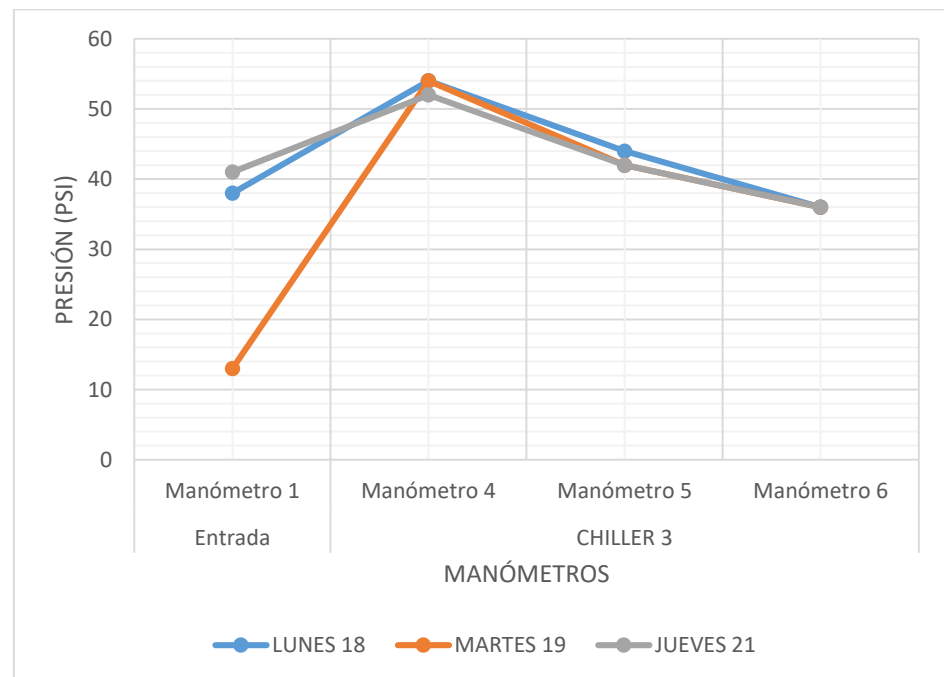


Figura N° 16. Valores de presión semana 4 de julio

Fuente: Elaboración propia

b) Con inspección visual

Se muestra la tabla 8 del día lunes 25 de julio para describir valores de presiones de agua. Donde el manómetro 1 es la alimentación o entrada al sistema de bomba HVAC, el manómetro 2 es la succión de agua hacia el Chiller 03, el manómetro 3 es la descarga de agua hacia el Chiller 03 y el manómetro 6 es la entrada de la bomba de succión.

Tabla N° 8  
Valores de presión del Chiller 3 para el 25/Jul

HORA	Entrada	CHILLER 3		
	Manómetro 1	Manómetro 4	Manómetro 5	Manómetro 6
08:30	42	50	40	34
10:21	41	52	42	34
16:19	46	54	42	34
PROMEDIO	43	52	41.33	34

Fuente: Elaboración propia

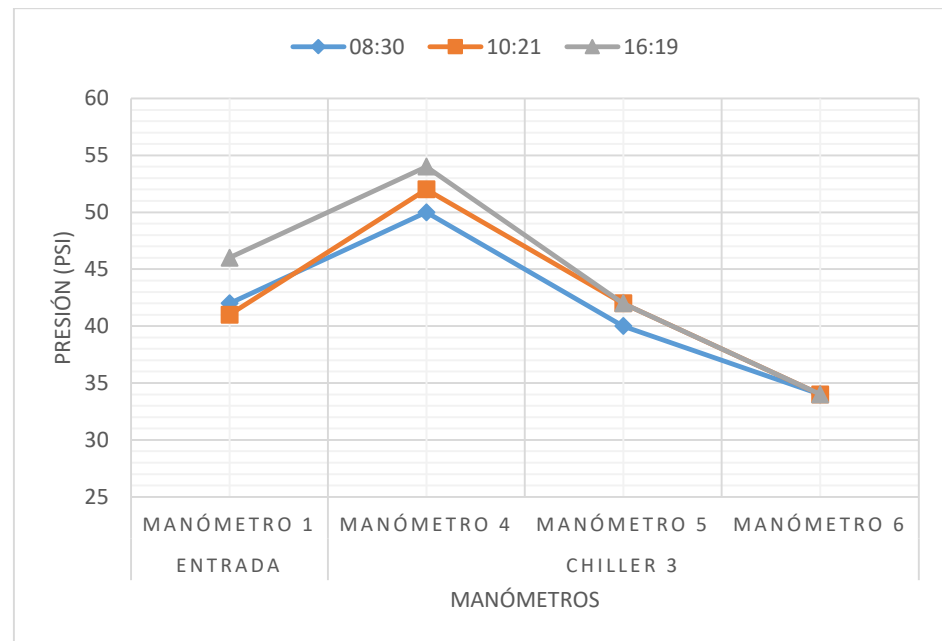


Figura N° 17. Valores de presión del lunes 25 de julio  
Fuente: Elaboración propia

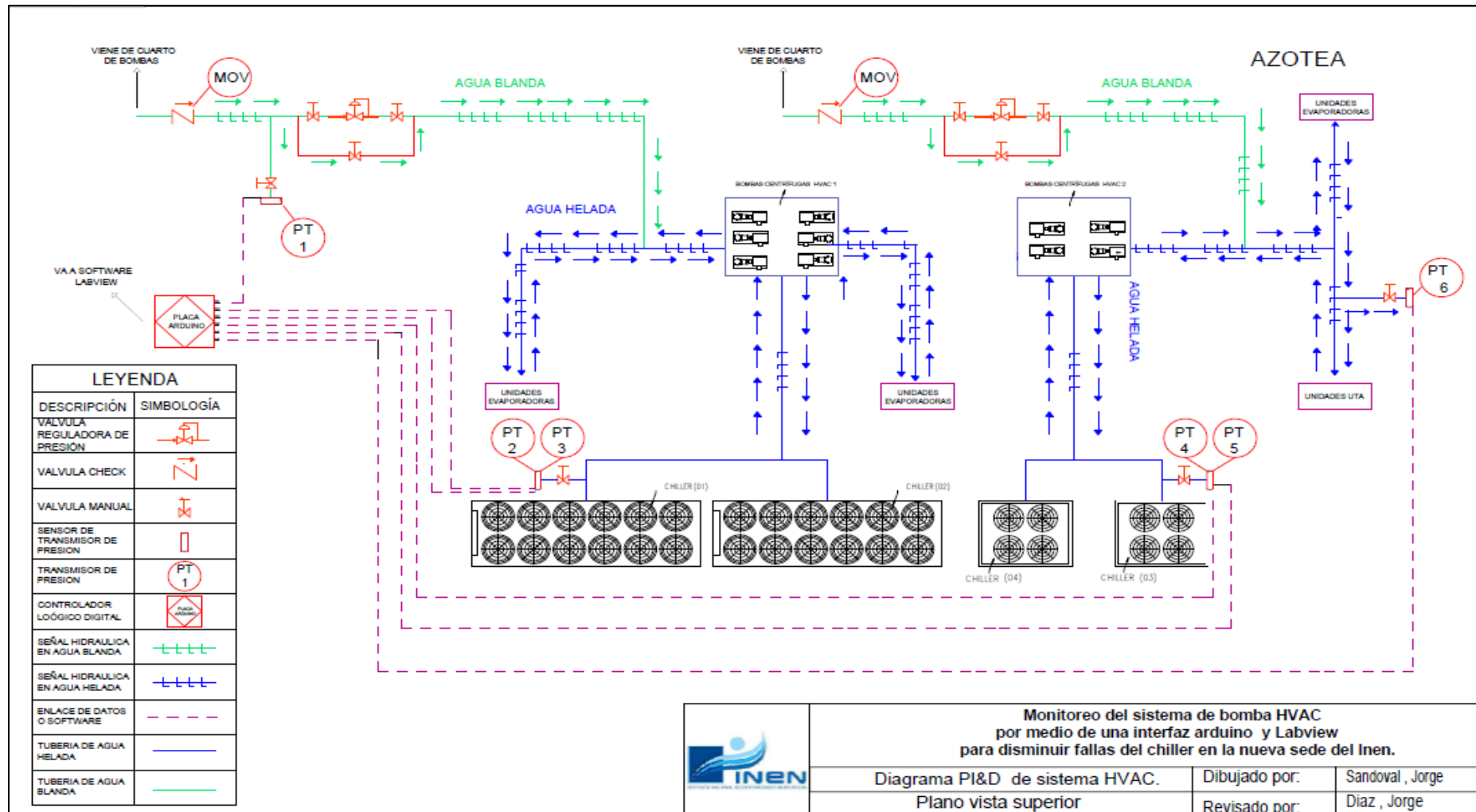


Figura N° 18. Distribución de sensores en diagrama P&ID  
 Fuente: Elaboración propia

En la figura 17, se grafica los datos de la tabla 8. Donde se observa un correcto comportamiento de las presiones en paralelo, con variación mínima de presión de 4 psi y 12 psi que se mantiene las líneas de agua.

## 3.2 Esquema y Diagrama

### 3.2.1 Descripción de diagrama P&ID

El diagrama P&ID permite visualizar la distribución de tuberías del sistema de refrigeración, así como los equipos involucrados para la implementación de este proyecto de tesis. En la figura 18, se muestra el diagrama P&ID con la distribución de las tuberías de agua que interconectan los Chillers y el sistema de bombas HVAC que se encargan en la refrigeración del aire que circula a través de los fan-coil del sistema de aire acondicionado de la nueva sede del INEN. También, muestra la ubicación de los sensores de presión de agua que se instalaron para el monitoreo planteado en este proyecto de tesis.

### 3.2.2 Instalación de componentes electrónicos y accesorios

En el desarrollo de este proyecto de tesis, se instalaron 6 sensores de presión para la recolección de datos. De lo cual, en la figura 19 se aprecia de forma general la instalación de los sensores de presión; donde las salidas de los sensores fueron conectados a las interfaces analógicas de la tarjeta Arduino para la lectura de la presión en cada uno de los sensores, y al mismo tiempo, obtener energía para su funcionamiento desde los puertos complementarios de 5V de la tarjeta Arduino.

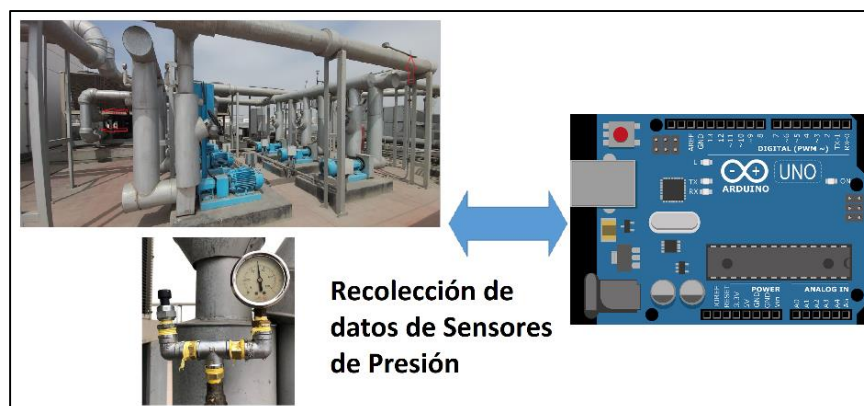


Figura N° 19. Ilustración general de la conexión de los sensores  
Fuente: Elaboración propia

La tarjeta Arduino se encuentra ubicada en el interior de un tablero eléctrico, para protegerlo de cualquier cambio no programado. En el cual llegan los cables de alimentación y señal provenientes de los sensores de presión, así como el cable USB para su conexión serial con la PC donde se encuentra instalado el software LabVIEW. En la figura 20, se puede observar al lado izquierdo (a) la conexión física de la tarjeta Arduino al interior del tablero eléctrico y al lado derecho (b) una visualización de la implementación del software LabVIEW con el Arduino para el monitoreo de la presión de agua del sistema de bomba HVAC.

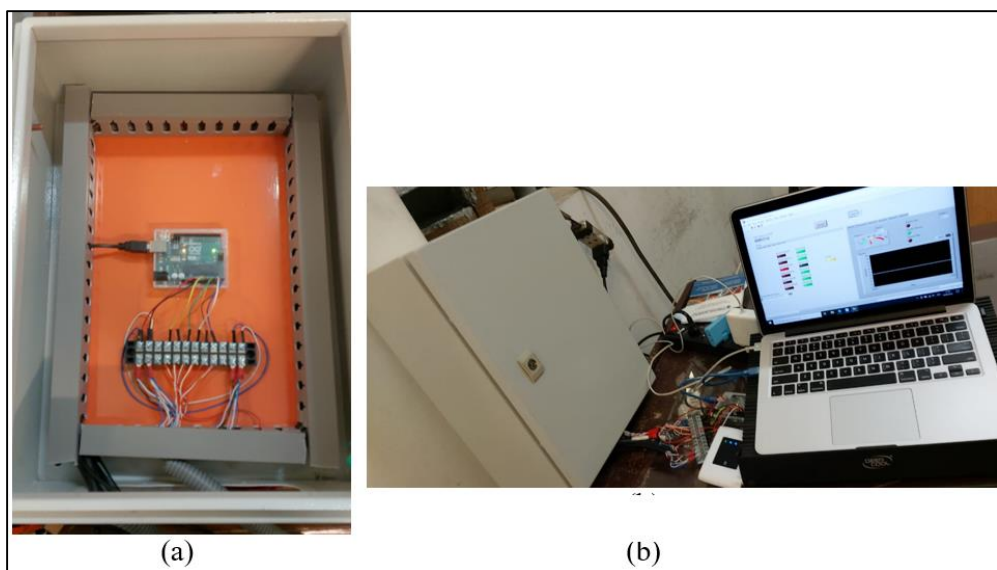


Figura N° 20. Conexión de tarjeta Arduino en tablero  
Fuente: Elaboración propia

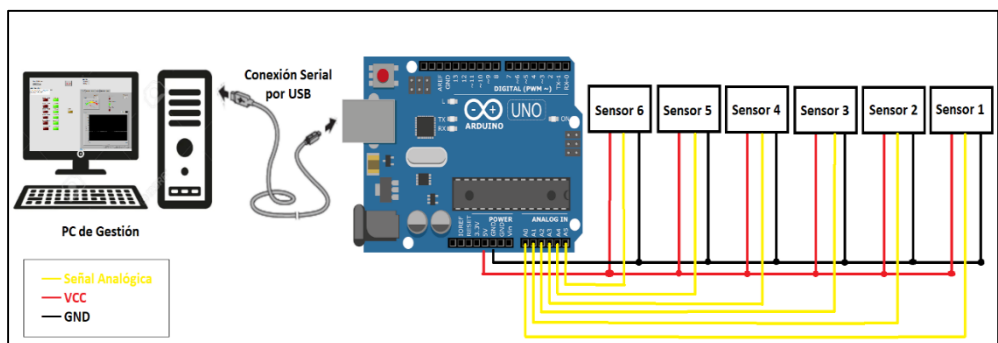


Figura N° 21. Conexión de sensores con tarjeta Arduino Uno  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 21, se aprecia la conexión serial de la interfaz Arduino con el software LabVIEW de la PC de gestión. Así como la conexión realizada para

cada sensor de presión, donde se representa la conexión de señal de cada uno de los sensores con las líneas amarillas que fueron conectados a las entradas analógicas del Arduino Uno, además se utilizaron los pines de potencia del arduino para suministrar energía a cada uno de los sensores de presión. Donde se representa con líneas en color rojo la conexión con el pin de salida de 5Vdc y en color negro la conexión con la tierra o negativo para cada sensor.

### 3.3 Desarrollo de interfaz en software LabVIEW

En el desarrollo de la interfaz de programación para la tarjeta Arduino y el software LabVIEW, se consideró las etapas en las que se separan el proyecto. En la figura 22, se puede observar que el proyecto compete de tres etapas o bloques: Una primera etapa, que es el sistema de aire acondicionado o la planta, de donde se tomaron los valores de presión para la evaluación del sistema de refrigeración. La segunda etapa, que se encarga de la lectura de presión de agua, realizado por los sensores de presión (HK3022 0.5MPA), los cuales están conectados a las interfaces analógicas de la tarjeta Arduino para que esta pueda comunicarse por una conexión serial con el software LabVIEW (en la tercera y última etapa). Esta última etapa, se encarga de mostrar al usuario los valores de presión de agua para evaluar el buen funcionamiento del sistema de refrigeración.



Figura N° 22. Diagrama de bloques del sistema de Gestión  
Fuente: Elaboración propia

Adicional al diagrama de bloques, para resumir la programación realizada en el LabVIEW y su integración con la interfaz Arduino; se muestra en la figura 23 el diagrama de flujo de las instrucciones comandadas desde el LabVIEW para la adquisición de datos, su visualización y la ejecución de las alarmas en el entorno del usuario. Donde se muestran el rango considerado para el sensor 1 ubicado en la entrada del sistema de bombas HVAC, el cual cambiará según el rango de operación para cada sensor.



### 3.3.1 Integración de Arduino con el software LabVIEW

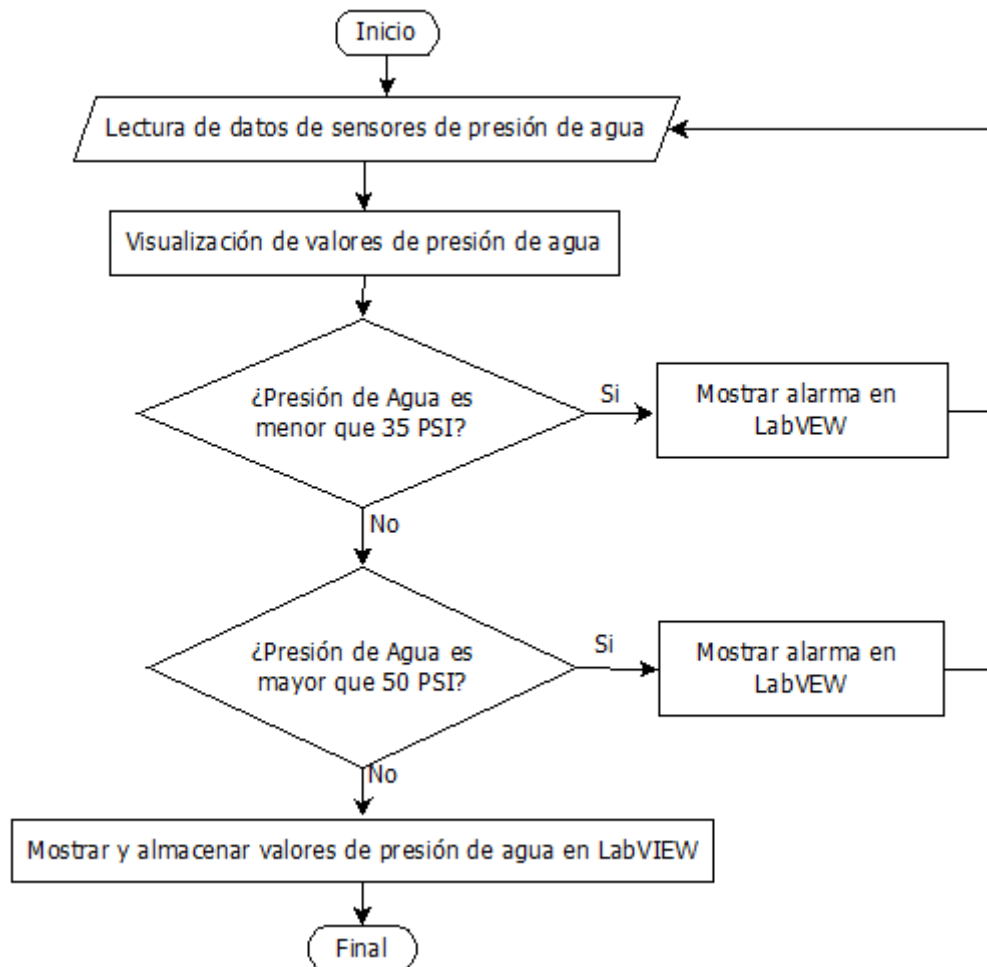
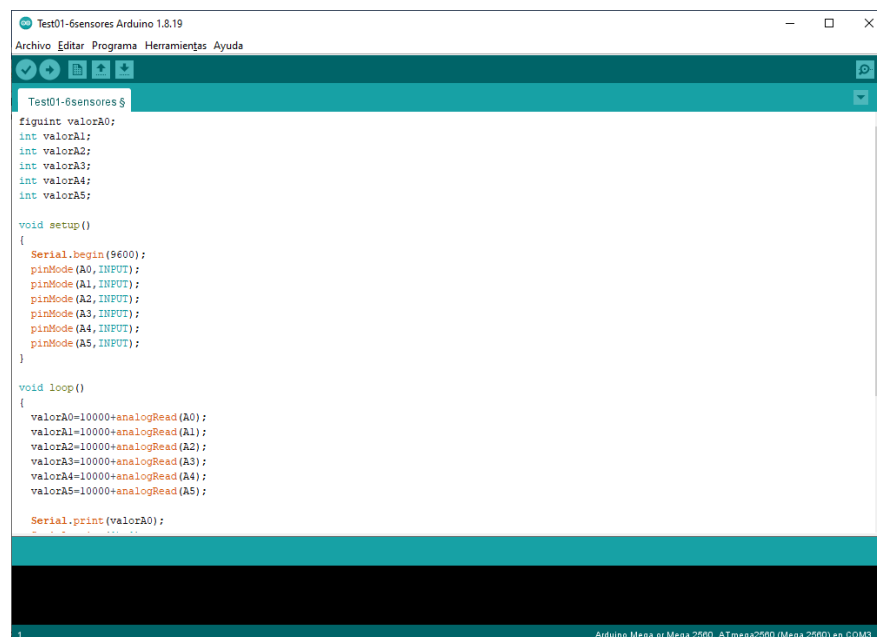


Figura N° 23. Diagrama de Flujo del sistema de Gestión  
Fuente: Elaboración propia

Para la integración de la interfaz Arduino al software LabVIEW se consideró realizar 2 versiones para la adquisición de datos por medio de una comunicación serial entre el arduino y el LabVIEW, esto se realizó usando las herramientas LINX y VISA del LabVIEW. Para la aplicación de este proyecto, la diferencia entre estas herramientas para la adquisición de datos analógicos, es que la herramienta VISA, muestra la data adquirida por medio de valores de string y se muestran en valores que van de 0 a 1023 bits, que a su vez representan a la señal adquirida de 0 a 5 Vdc. Adicional a ello, es necesario ejecutar un conjunto de instrucciones en el compilador del Arduino para que pueda contar con una comunicación con el LabVIEW, como se muestra en la figura 24. En el caso de la herramienta LINX, todas las instrucciones, que se

cargan en el Arduino, se realizan en el entorno de programación del LabVIEW y luego de su ejecución nos muestra los niveles de voltaje que se adquieren en los pines analógicos del Arduino.

Comenzando con los pasos realizados con la herramienta VISA, como se indicó líneas arriba. Esta se realiza en 2 etapas, las cuales se realizan por medio del compilador del Arduino, donde se carga a la tarjeta Arduino un código desde su compilador con las instrucciones para que interprete la lectura del nivel de presión que adquiere de cada sensor por medio de una señal analógica en cada una de los pines analógicos del Arduino; lo cual se puede apreciar en las figuras 21 y 24. Como segunda etapa, se realiza la programación en el software LabVIEW con ayuda del API NI-VISA se toman los valores recibidos por la interfaz Arduino para su interpretación y visualización según la programación desarrollada en la ventana de bloques del LabVIEW, tal como se puede apreciar en la figura 25.



```
Test01-6sensores Arduino 1.8.19
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Test01-6sensores $
figuint valorA0;
int valorA1;
int valorA2;
int valorA3;
int valorA4;
int valorA5;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(A0, INPUT);
  pinMode(A1, INPUT);
  pinMode(A2, INPUT);
  pinMode(A3, INPUT);
  pinMode(A4, INPUT);
  pinMode(A5, INPUT);
}

void loop()
{
  valorA0=10000+analogRead(A0);
  valorA1=10000+analogRead(A1);
  valorA2=10000+analogRead(A2);
  valorA3=10000+analogRead(A3);
  valorA4=10000+analogRead(A4);
  valorA5=10000+analogRead(A5);

  Serial.print(valorA0);
}
```

1 Arduino Mega or Mega 2560, ATmega2560 (Mega 2560) en COM3

Figura N° 24. Interfaz del compilador Arduino  
Fuente: Elaboración Propia

Como parte del proceso de integración realizada, se debió tomar en consideración la respuesta que tiene el sensor HK3022 0.5MPA. Para lo cual, se realizó un breve experimento con este sensor que en conjunto con un barómetro se tomaron diversos valores de la presión de agua y los valores de la señal de salida de este sensor, como se puede ver en la figura 26.

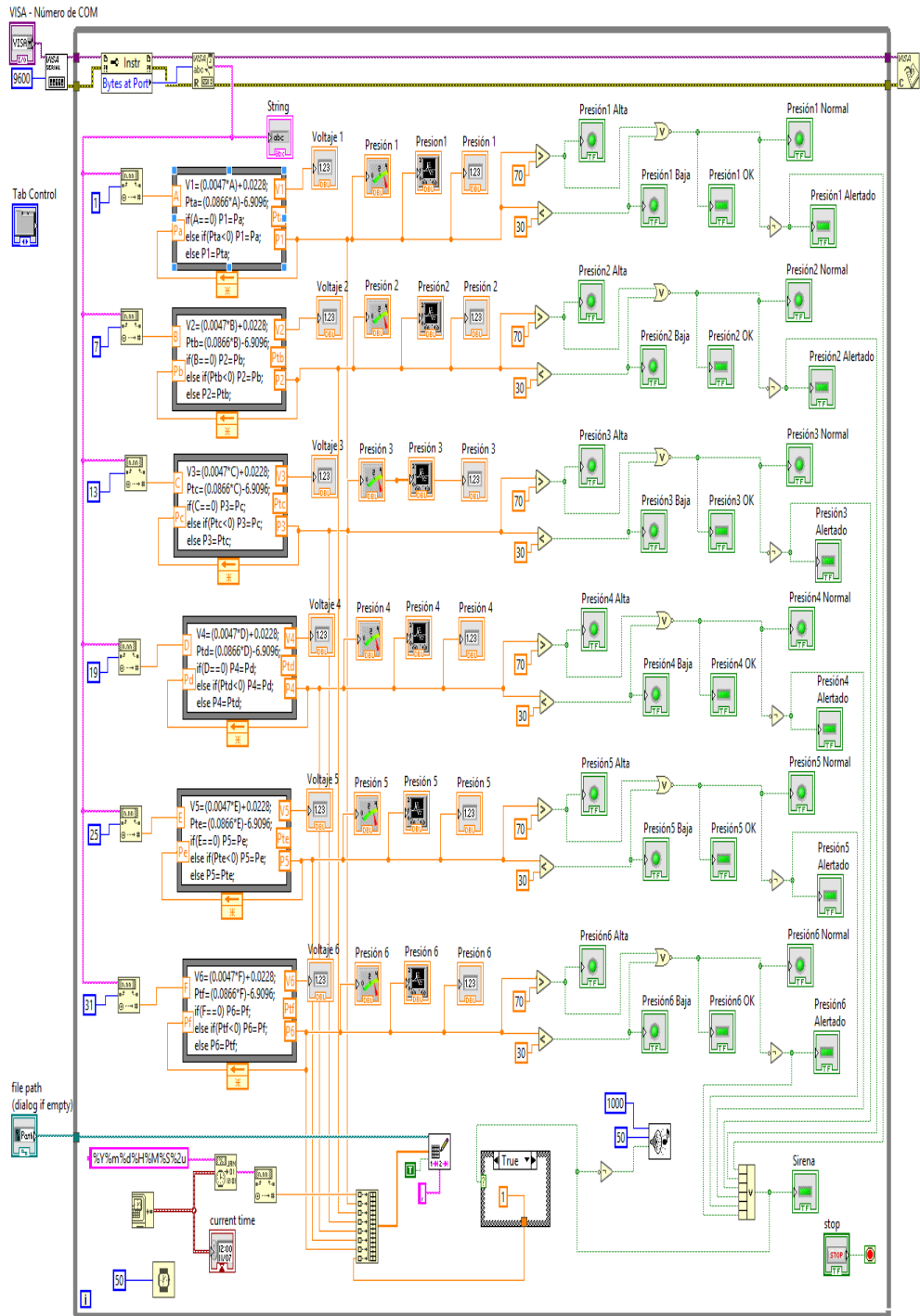


Figura N° 25. Ventana del Diagrama de Bloques del LabVIEW para el proyecto  
Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 9, se muestran los datos experimentales recolectados para calcular una ecuación que nos brinde la respuesta del sensor y así poder usarlo en el desarrollo del proyecto. Donde, por medio de un diagrama de dispersión y considerando los valores de presión de agua en el sensor, el voltaje de salida

del sensor y los valores de string mostrados por el software LabVIEW. Se realizó una relación entre los valores de String con el voltaje y la presión obteniendo las ecuaciones 1 y 2 que se muestran a continuación.

$$\text{Voltaje} = (0.0047 \times \text{String}) + 0.0228 \dots(1)$$

$$\text{Presión} = (0.0866 \times \text{String}) - 6.9096 \dots (2)$$

Tabla N° 9.

Muestras experimentales para calcular de ecuación del sensor

<b>Voltaje</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Presión</b>	<b>Presión</b>
<b>Multímetro</b>	<b>LabVIEW</b>	<b>String</b>	<b>Manómetro</b>
2.91	2.9311	616	46
2.75	2.7713	582	44
2.02	2.0334	425	30
1.61	1.5292	339	22
1.03	1.0464	215	11.9

Fuente: Elaboración Propia

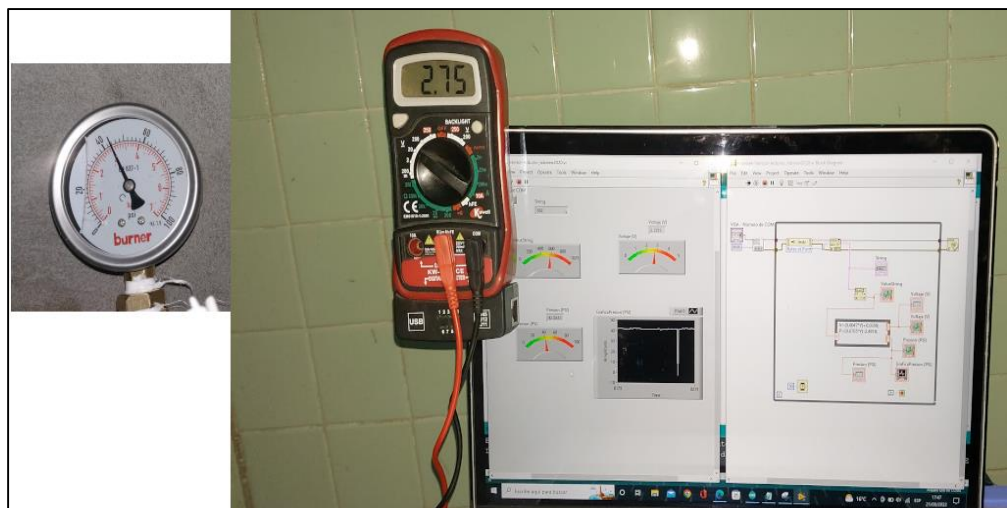


Figura N° 26. Toma de datos para calcular la respuesta del sensor HK3022

Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.2 Programación de interfaz de usuario en software LabVIEW

Para el desarrollo de la interfaz de usuario se debe considerar que toda la programación de instrucciones ejecutadas en el LabVIEW se realiza en la ventana de diagrama de bloques que se muestra en la figura 25.

En este punto se desarrolló el entorno que va interactuar el personal que monitorea el estado del sistema de bomba HVAC, el cual se evalúa por medio de los valores de presión de agua tomados por los sensores instalados. Para facilitar la evaluación en el monitoreo, se muestran los valores de presión en tiempo real, conjuntamente con diferentes indicadores del estado de la presión de agua, además de alertas visuales y sonora que ayuden a detectar cualquier anomalía en el sistema. Adicional a ello, los datos visualizados son almacenados en un archivo CSV, según la ruta donde se quiera guardar, para su posterior revisión y análisis de datos históricos. La interfaz de usuario se puede apreciar en la figura 27.

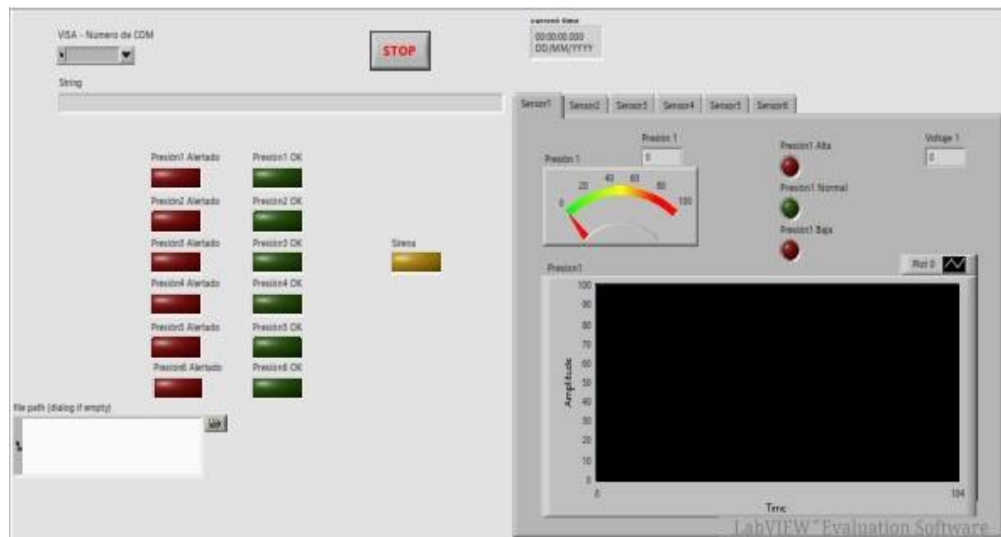


Figura N° 27. Ventana del Panel Frontal del LabVIEW para el proyecto  
Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.3 Almacenamiento de datos

Como se mencionó anteriormente, el almacenamiento de datos se realizó en un archivo con extensión CSV, donde se consideró la estructura que se muestra en la tabla 10 y se explica a continuación: Como primera columna “Time”, donde se registran la fecha y hora en la cual se tomó lectura y visualización de la presión de agua. El cual se encuentra en un formato de texto de valores de string, que es el que nos entrega el software LabVIEW. Donde se debe considerar los primeros 8 caracteres contados desde la izquierda, como la fecha, ordenados en año, mes y día. Y los siguientes dígitos indican las horas, minutos y segundos con 2 decimales; ordenados en grupos de 2 caracteres.

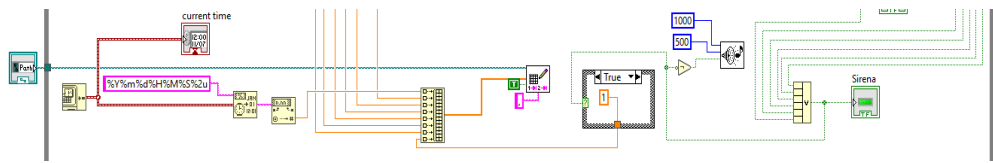


Figura N° 28. Instrucciones para alarmas y almacenamiento de datos  
Fuente: Elaboración Propia

El formato para la fecha y hora descrito, se realizó con el ítem “Format Date/Time String” y se puede visualizar en la figura 28. Adicional a esta primera columna, las siguientes 6 columnas muestran los valores de presión de agua en cada sensor, y se debe considerar estos valores en PSI como unidades de presión. Por último, la columna 8 “Alarma”, nos indica si la presión en alguno de los sensores estuvo fuera del rango del sistema HVAC; considerado para cada uno de los sensores. Donde se muestra el valor de “1”, indicando que al menos la presión de agua en alguno de los sensores esta alertado en ese instante de tiempo y un valor “0”, indicando que ninguna alarma se encontró activa.

Tabla N° 10.  
Modelo de datos exportados en archivo CSV

Time	Sensor 01	Sensor 02	Sensor 03	Sensor 04	Sensor 05	Sensor 06	Alarma
20220923164 929.4	34.14	30.17	26.47	54.69	45.23	40.27	1
20220923164 930.4	33.96	31.52	26.56	54.51	46.49	41.98	1
20220923164 931.4	34.95	30.98	26.38	54.87	44.50	40.99	1
20220923164 932.4	35.31	29.99	26.11	55.23	44.23	40.63	0
20220923164 933.4	35.76	30.35	26.38	54.78	44.59	40.36	0

Fuente: Elaboración Propia

## CAPÍTULO IV: PRUEBAS Y RESULTADOS

Implementado el monitoreo del sistema de bomba HVAC por medio de la interfaz Arduino y LabVIEW, descrito en los capítulos anteriores, en este capítulo se muestran las pruebas realizadas y resultados obtenidos durante el desarrollo de este proyecto de tesis para cumplir con los objetivos planteados.

### 4.1 Presentación de Pruebas

Para la presentación de pruebas se considera las realizadas con el sensor de presión y su implementación con la tarjeta Arduino, además de la integración de estos con el software LabVIEW.

#### 4.1.1 Pruebas y calibración de sensor de presión

Dado que el sensor de presión HK3022 0.5MPA, utilizado para el desarrollo de este proyecto de tesis; es un sensor económico y genérico. Durante las pruebas iniciales se tuvo que considerar realizar diferentes pruebas para corroborar la respuesta indica por el proveedor. La cual indica que para una fuente  $V_{cc} = 5.0V_{dc}$ , se tendrá una respuesta del sensor expresada por las siguientes ecuaciones:

$$V_{out} = V_{cc} * (P + 0.1) \dots (3)$$

$$P = (V_{out} / V_{cc}) - 0.1 \dots (4)$$

Luego de realizar algunas pruebas y reemplazar los parámetros en las ecuaciones 3 y 4, se observó que nos entregaba valores de presión diferentes a las mostradas por el manómetro analógico usado para estas pruebas experimentales, donde en algunos casos se obtenían valores con una diferencia de 10 PSI.

Por tal motivo como se describió en el subcapítulo 3.3.1, para calibrar y calcular la ecuación que representa la respuesta del sensor de presión HK3022 0.5MPA, se realizó una toma de muestras experimentales y así corregir la respuesta desfavorable que se obtuvo con la ecuación indicada por el

proveedor. De estas pruebas, se obtuvo una respuesta lineal que se puede observar en la figura 29, donde se debe tener presente que para este caso se relacionó los valores string mostrados por el LabVIEW al adquirir datos y la presión de un manómetro analógico.

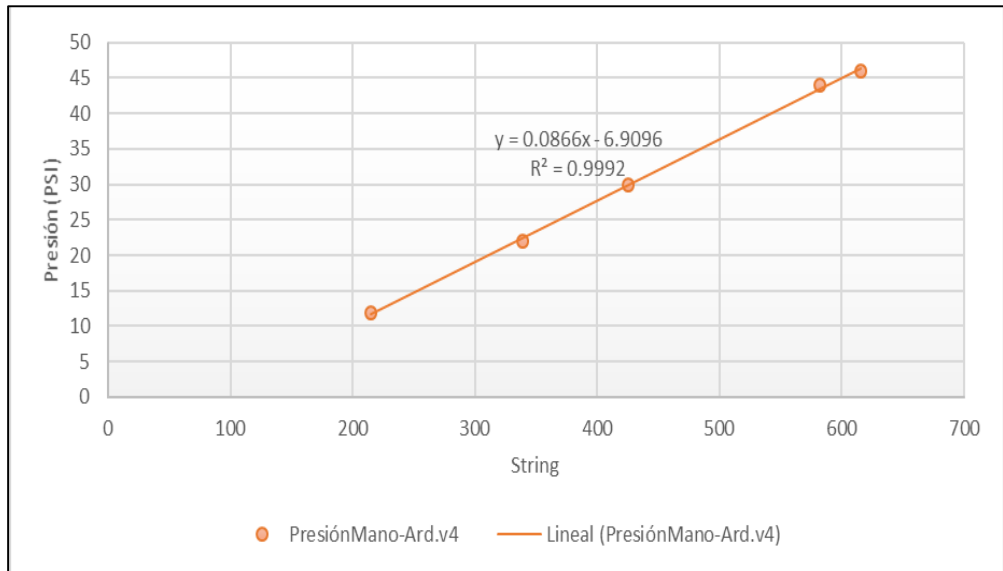


Figura N° 29. Relación de la presión de agua y valores de String  
Fuente: Elaboración Propia

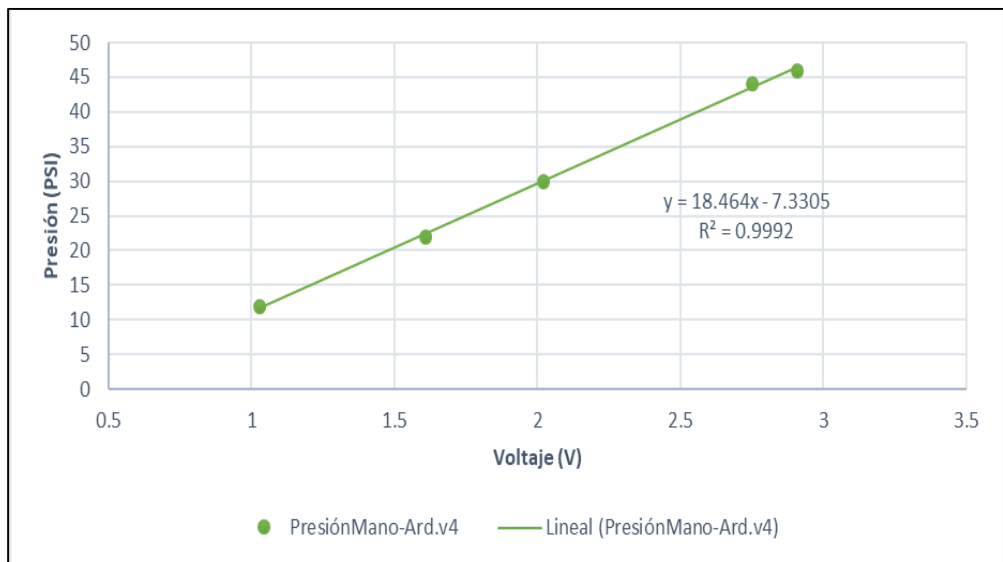


Figura N° 30. Relación de la presión con el voltaje para el sensor HK3022  
Fuente: Elaboración Propia

Así como para el caso anterior, que se muestra en la figura 29, la cual nos sirve para la adquisición de datos con la herramienta VISA del LabVIEW. Se realizó una toma de muestras para calcular la relación entre el voltaje de salida del



sensor de presión y los valores de presión mostrados por el manómetro. Del cual, se pudo obtener la relación mostrada en la figura 30, que nos sirve para la lectura y adquisición de datos con la herramienta LINX del LabVIEW.

#### 4.1.2 Pruebas de la integración del Arduino con el LabVIEW

Durante las pruebas con la interfaz arduino y su integración con el LabVIEW, se realizaron pruebas con algunos tipos de cableado como el cable GPT Dixon 22 AWG, cable STP y cable UTP. Esto por tener un escenario donde hay diferentes maquinas eléctricas pertenecientes al sistema de aire acondicionado y que utilizan líneas trifásicas para su funcionamiento, en el cual, los cables de comunicación para los sensores debieron pasar muy cerca de ellos. Adicional a ello, para la implementación, se requirió un cableado promedio de 60 metros por cada sensor, para la comunicación de la señal de los sensores y suministrarles energía desde la tarjeta arduino que se encontraba en el tablero como se aprecia en la figura 20. De estas pruebas realizadas con los cables en mención, se optó por usar el cable STP categoría 6 por presentar mejor respuesta al ruido y para caídas de tensión al energizar los sensores de presión de agua.

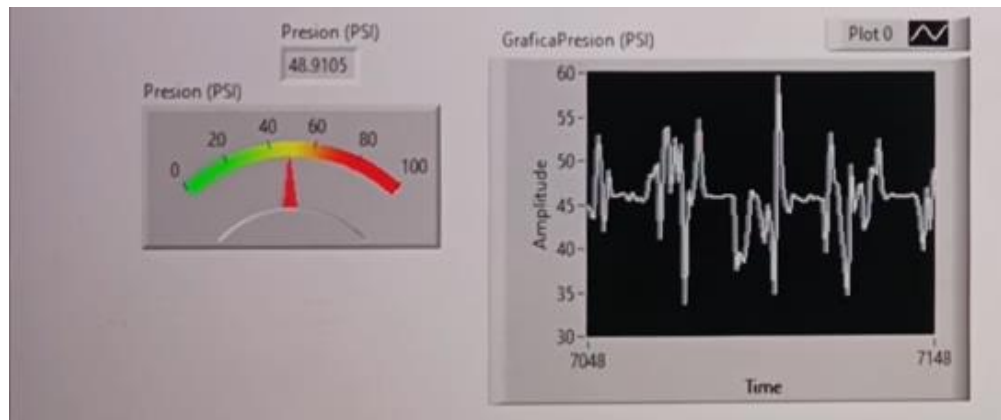


Figura N° 31. Ruido en la gráfica de la señal de presión de agua  
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 31 se muestra una de las perturbaciones que se observó en la gráfica del LabVIEW durante las pruebas para definir un tipo de cableado y al utilizar cableados diferentes al cable STP categoría 6. Cabe indicar que en estas pruebas para definir el tipo de cableado y durante el funcionamiento del

proyecto, se hizo uso de borneras y terminales eléctricos para reducir errores por una mala conexión y que esto pueda incrementar los problemas ruido y caídas de tensión.

#### 4.2 Resultados obtenidos con las herramientas del LabVIEW

En este punto se mostrarán los resultados obtenidos con las herramientas LINX y VISA que tiene el software LabVIEW para la comunicación serial con tarjetas de adquisición de datos. Para lo cual se desarrollaron dos versiones de programación en el LabVIEW, con variaciones en la etapa de adquisición de datos.

##### 4.2.1 Resultados con la herramienta LINX del LabVIEW

Para los resultados obtenidos con la herramienta LINX, se utilizó la etapa de adquisición de datos que se muestra en la figura 32. De donde se puede indicar que, la salida de esta herramienta es en los niveles de voltaje que ingresan en cada puerto analógico de la tarjeta Arduino.

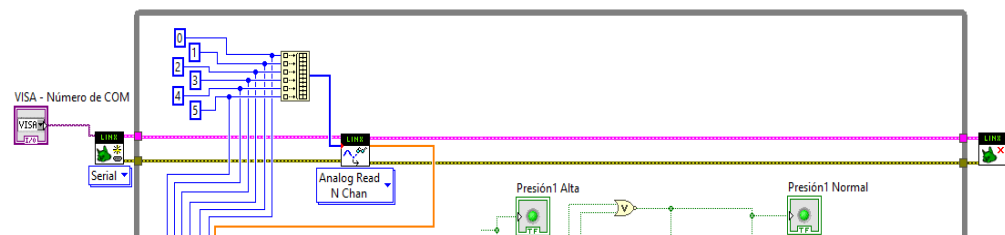


Figura N° 32. Etapa de adquisición de datos para el LINX  
Fuente: Elaboración Propia

De los datos de presión obtenidos y almacenados, se pudo graficar el comportamiento de la presión de agua durante el día 13 de septiembre del 2022 que se muestra en la figura 33. Donde se puede resaltar que el sensor 1, que se encuentra en la entrada del sistema de bombas, presenta repentinas caídas de presión durante el día. Lo cual, si bien no es permanente, estas caídas de presión se presentan de forma continua en diferentes horarios del día. Además, los sensores 2 y 4 presentan un cambio de presión oscilante y repetitivo, que se puede observar mejor en la figura 34. Donde se visualiza las lecturas de presión de los 6 sensores, tomadas durante la semana 37 del 2022 (del 05 al 10 de septiembre). La caída de la presión de agua en el sensor 1, no es un evento que

se presente en determinados días; sino que ocurre de forma recurrente en diferentes días y horarios.

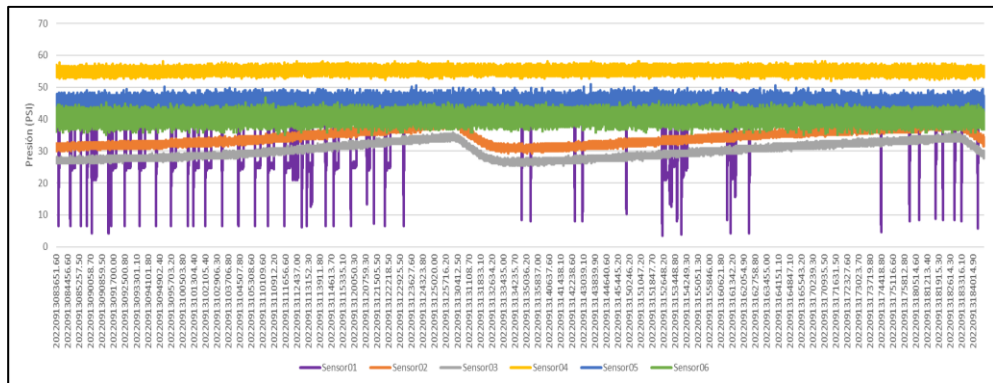


Figura N° 33. Lectura de presión de agua el 13/set con la herramienta LINX  
Fuente: Elaboración Propia

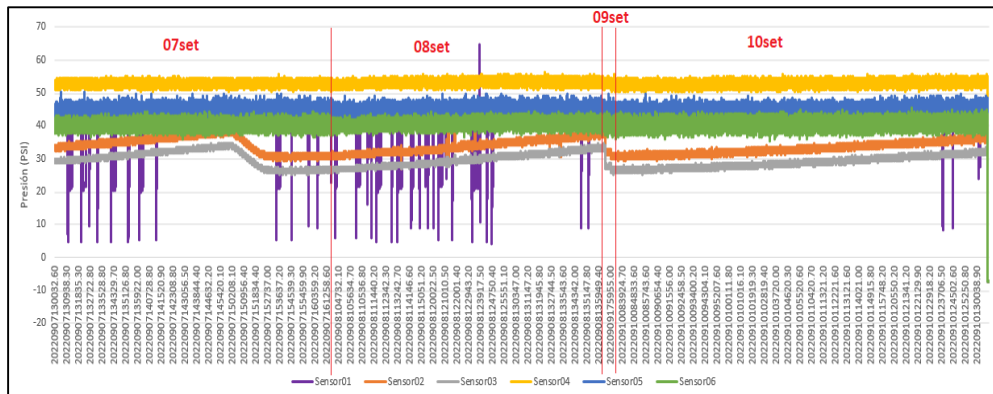


Figura N° 34. Valores de presión de agua en la semana 37 del 2022  
Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.2 Resultados con la herramienta VISA del LabVIEW

Para el caso de la toma de datos con la herramienta VISA, se debió considerar la etapa de adquisición de datos que se muestra en la figura 25. Así como con la herramienta LINX, con la herramienta VISA también se almacenaron los datos en un archivo con extensión CSV, del cual se obtuvo la gráfica que se aprecia en la figura 35. Donde se puede apreciar que con la herramienta VISA, los sensores brindan un comportamiento similar al que se observa con la herramienta LINX.

Cabe indicar que, pese al compartimento que muestran los datos de presión recopilados de los sensores son similares para la herramienta LINX y VISA. En la figura 35, se puede observar que en la señal del sensor 2 presentan algunos picos aleatorios. Por tal motivo, se tomaron muestras durante el día 14

de septiembre y verificar la fiabilidad de las muestras. Donde en la figura 36, se aprecia que estas anomalías o perturbaciones se reducen casi en su totalidad.

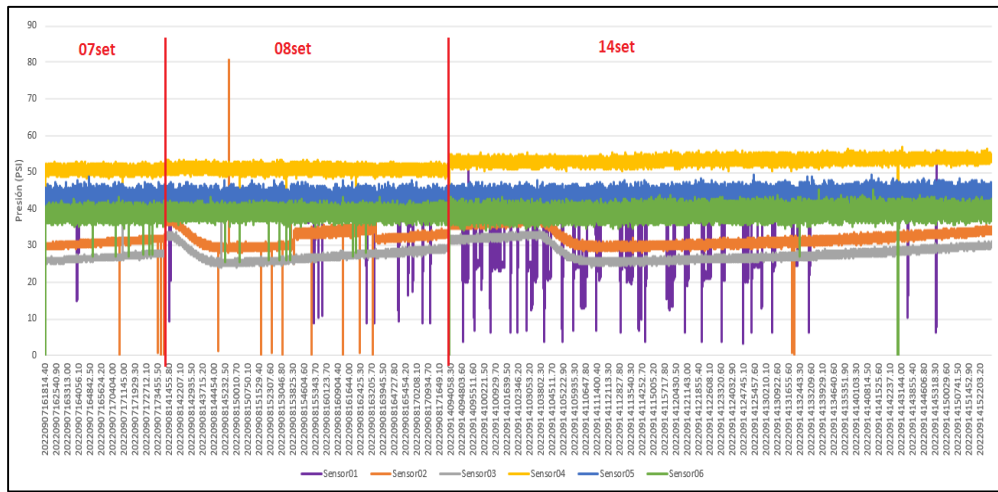


Figura N° 35. Lectura de presión de agua con la herramienta VISA  
Fuente: Elaboración Propia

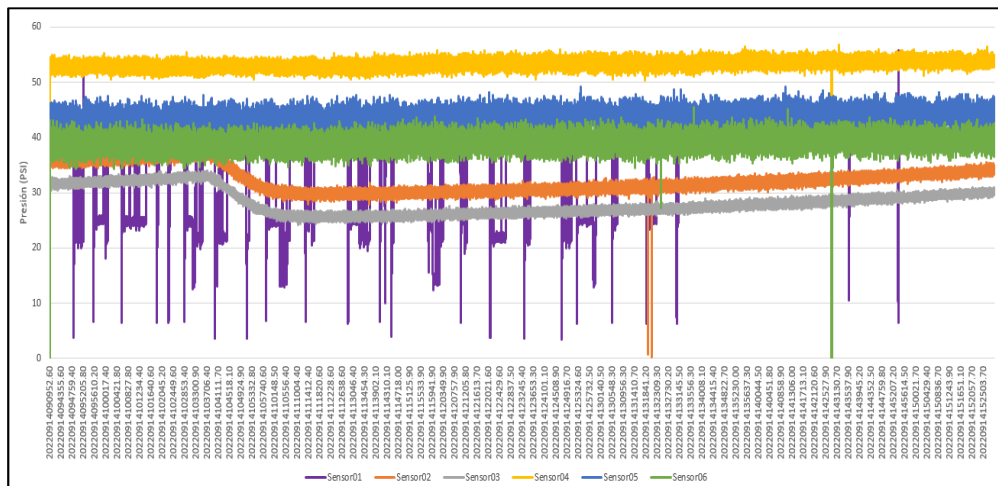


Figura N° 36. Lectura de presión con la herramienta VISA para el 14/set/ 2022  
Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.3 Comparación de resultados LINX vs VISA

Para la comparación de las versiones de programación con las herramientas LINX y VISA del LabVIEW, se debe indicar que para ambos casos se utilizó una misma implementación física que se describe en la sección 3.2.2 de este trabajo.

En las pruebas realizadas con la programación con la herramienta VISA y LINX, se pudo observar que a diferencia de las lecturas con el LINX que obtiene de forma directa los niveles de tensión que nos entregan los sensores

como señal, con la herramienta VISA fue necesario realizar una operación para obtener el voltaje que reciben las entradas analógicas del Arduino. Donde se usó una relación entre los valores de string con el voltaje de entrada, como se puede visualizar en la ecuación 1 del capítulo 3. Adicional a esta relación en mención, se debió realizar un artificio que permita la separación de la señal de cada uno de los puertos analógicos del Arduino que se aprecian en las figuras 24 y 25.

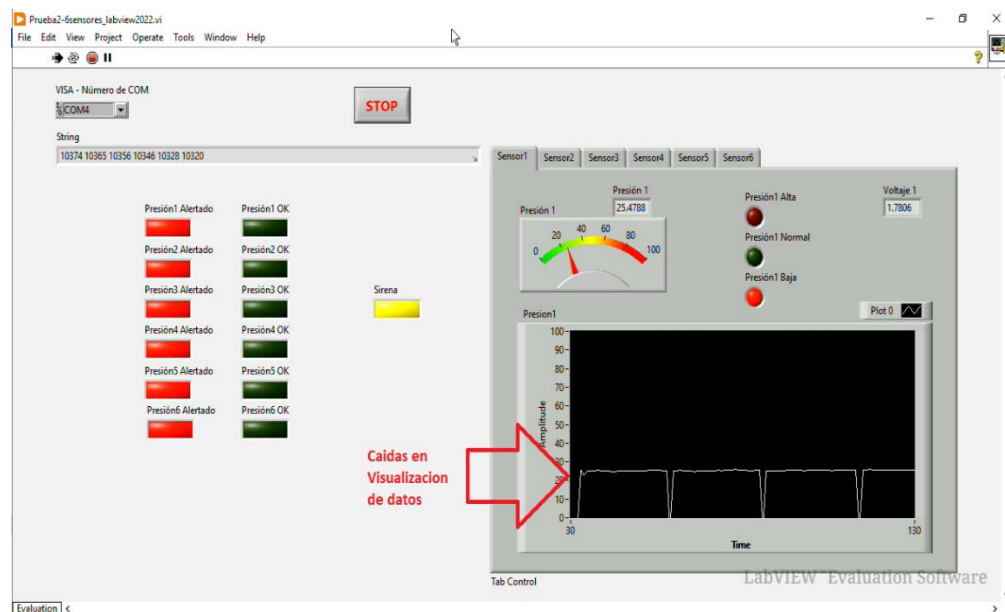


Figura N° 37. Visualización de caídas periódicas de datos  
Fuente: Elaboración Propia

Producto de estos artificios realizados para la adquisición de datos de los sensores con la herramienta VISA, se presentaron algunos problemas con la sincronización que repercutieron caídas periódicas en la señal recolectada; lo cual se aprecia en la figura 37. Entonces para eliminar estas anomalías se agregó una realimentación en conjunto con las condiciones que se representan en el diagrama de flujo de la figura 38.

### 4.3 Diagnóstico y Análisis de Resultados

Para el desarrollo del diagnóstico y análisis de resultados, se debió considerar la tabla 11, que muestra los rangos de presión de agua que considera el INEN para el buen

funcionamiento de los equipos del aire acondicionado; por recomendación de los representantes de la marca de los equipos.

Tabla N° 11.  
Rangos de operación para la presión de agua por cada sensor

	<i>Baja Presión</i>	<i>Alta Presión</i>
<i>Sensor 1</i>	P < 35	P > 50
<i>Sensor 2</i>	P < 30	P > 60
<i>Sensor 3</i>	P < 20	P > 50
<i>Sensor 4</i>	P < 30	P > 60
<i>Sensor 5</i>	P < 20	P > 50
<i>Sensor 6</i>	P < 30	P > 45

Fuente: Elaboración Propia

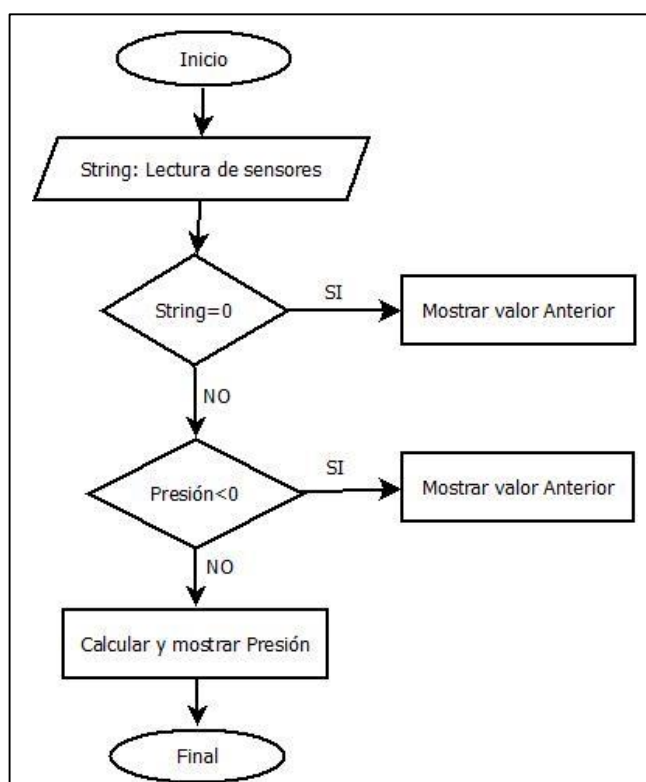


Figura N° 38. Condiciones para compensar caídas periódicas  
Fuente: Elaboración Propia

De los datos almacenados al ejecutar la programación realizada en el software LabVIEW, se pudo obtener las gráficas que vamos a analizar en el desarrollo de este

capítulo. Donde en la figura 39, se puede visualizar el comportamiento de la presión de agua en el sensor 1. En el cual se visualiza que, la presión de agua en este punto presentó muchos valores inferiores a los 10 PSI, cuando su límite inferior es de 35 PSI. Además, si bien estas caídas de presión no son prolongadas ya que duran entre 5 a 10 min, son bastante frecuentes. Y al encontrarse esta falla al inicio del sistema de refrigeración, este sistema se sobre esfuerza reduciendo así su tiempo de vida.

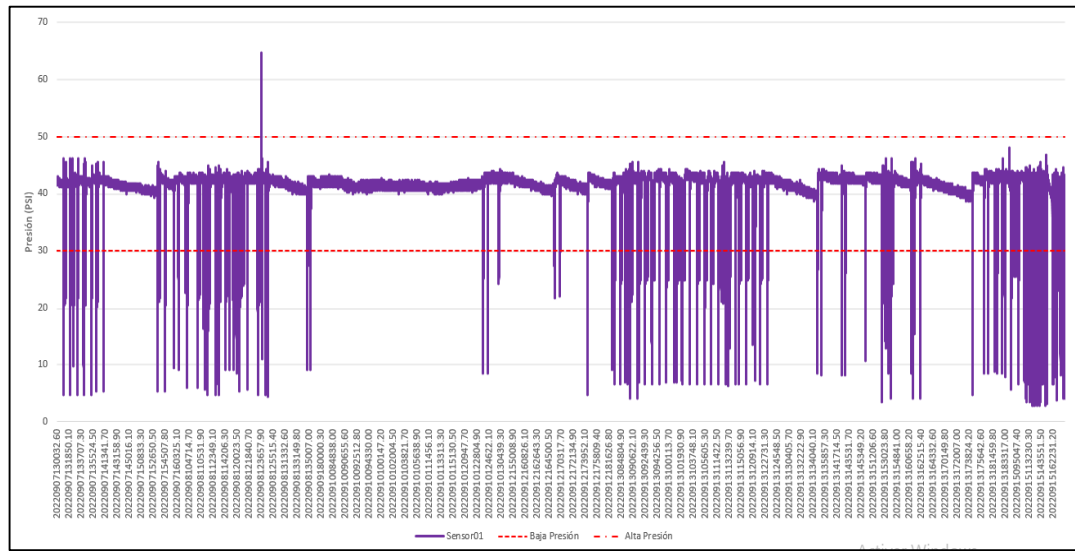


Figura N° 39. Presión de agua en el sensor 1

Fuente: Elaboración Propia

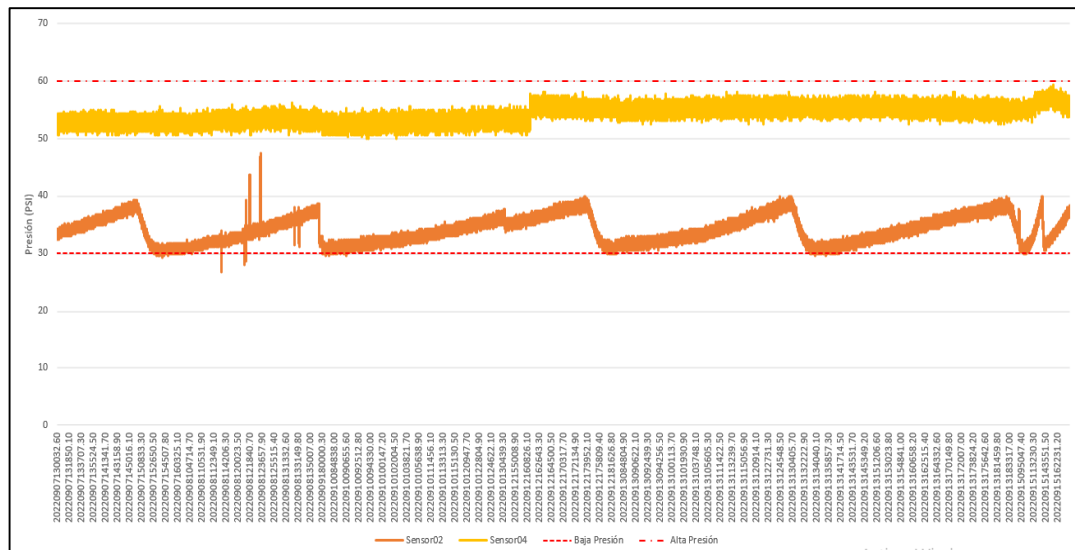


Figura N° 40. Presión de agua para los sensores 2 y 4

Fuente: Elaboración Propia

Así como en el caso anterior, en la figura 40 se puede apreciar el comportamiento de la presión de agua para los sensores 2 y 4 que se encuentran a la entrada de los Chiller

1 y Chiller 3 respectivamente. Cabe indicar también que estos Chillers comparten el mismo rango de presión de agua para su buen funcionamiento que se encuentra de 30 a 60 PSI. Donde el sensor 2 muestra valores de presión que suben y bajan en un rango aproximado de 30 a 40 PSI, mientras que el sensor 4 muestra un valor de presión de agua que sube de forma escalonada desde los 50 PSI y comienza a bajar cuando llega a los 60 PSI.

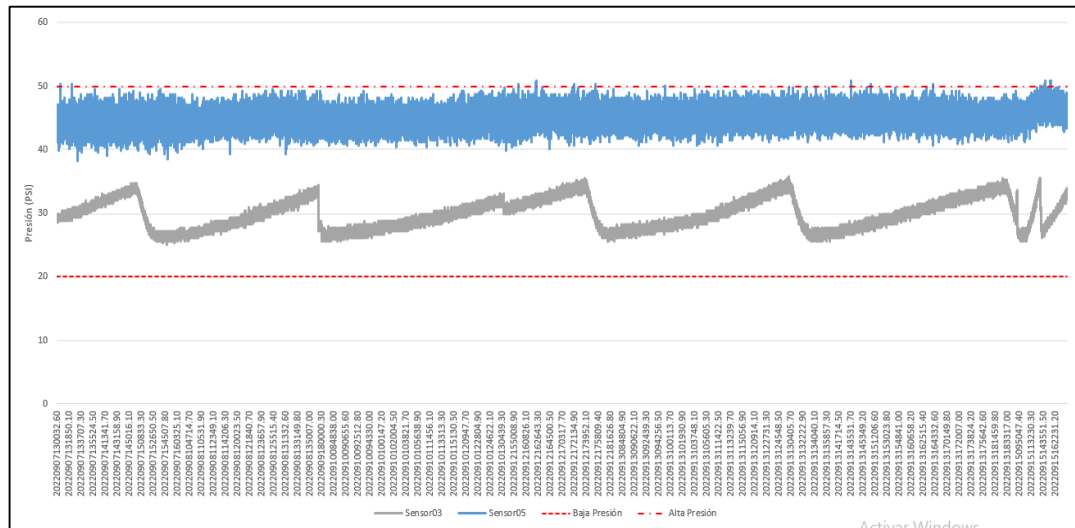


Figura N° 41. Presión de agua para los sensores 3 y 5

Fuente: Elaboración Propia

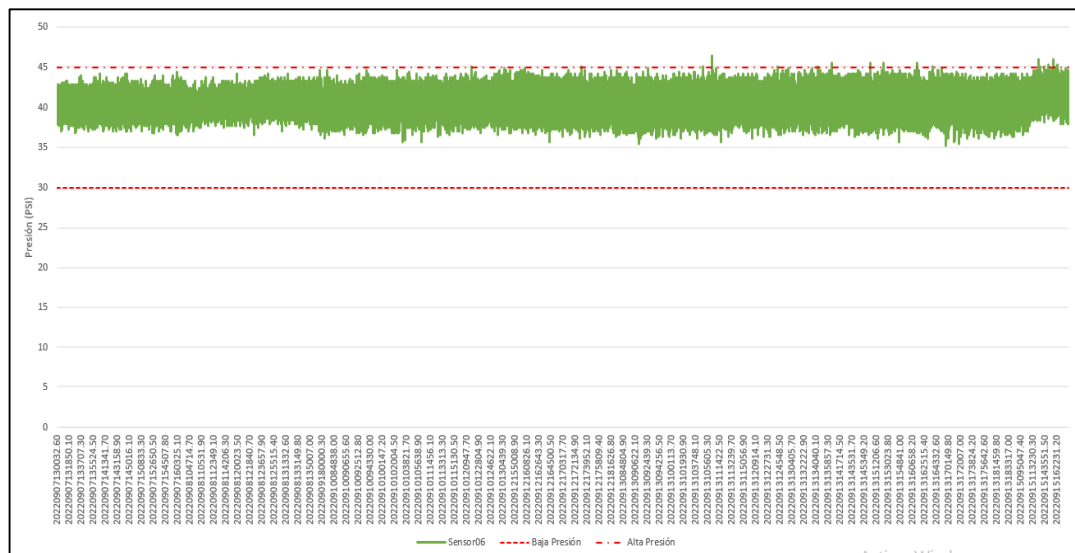


Figura N° 42. Presión de agua en el sensor 6

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 41 se muestra la lectura de la presión de agua a la salida de los Chillers 1 y 3, estas lecturas fueron tomados por los sensores 3 y 5 respectivamente. Donde



se puede observar un comportamiento igual al descrito para la figura 40, pero con un offset negativo de alrededor de 5 PSI. Además, su rango de operación normal se reduce en 10 PSI tanto para el límite superior como para el límite inferior. En el cual se observa una presión de agua más constante para el sensor 4, pero de igual forma esta presión se eleva en el día 15 de setiembre y cuando alcanza su límite superior de 50 PSI esta presión de agua comienza a bajar.

Así como en los casos anteriores, en la figura 42 se muestra el comportamiento de la presión de agua de la succión de la bomba HVAC. Esta presión fue recolectada por el sensor 6, que se muestra un comportamiento similar a la presión en los sensores 3 y 5. Con la diferencia que el rango de presión a la cual debe tenerse en este punto es de 30 a 45 PSI, y que la presión de agua tiene un promedio de 40 PSI.

## CONCLUSIONES

1. La esquematización del diagrama P&ID, brindó un apoyo para la representación del escenario en el cual se implementó el monitoreo de la presión de agua en el sistema de bombas HVAC. Donde, pese a las limitantes de permisos para la ubicación de los sensores de presión, se logró encontrar puntos que no afecten la circulación del agua que alimenta de forma continua a los Chiller y al mismo tiempo se pueda evaluar los niveles de presión de agua según la ubicación de los sensores para la toma de lectura.
2. Para la implementación de la interfaz Arduino, se consideró el uso de una tarjeta Arduino Uno por ser una placa con microcontrolador muy versátil y que cuenta con los puertos analógicos necesarios para la adquisición de señal de los 6 sensores de presión HK3022 0.5 MPa utilizados. Los cuales son de bajo consumo de energético y son compatibles con la tarjeta Arduino; además de contar con los rangos de trabajo para la presión similares al que tienen los Chillers de la nueva sede del INEN.
3. Antes de la integración para la interfaz Arduino con el software LabVIEW, es necesario realizar pruebas experimentales para hallar una ecuación que represente la respuesta del sensor de presión según la tarjeta Arduino que se utilice. Así, esta ecuación pueda ser usado para interpretar la señal analógica adquirida de los sensores en el desarrollo de esta integración, tal como se describe en el capítulo 3 de este trabajo.
4. El Software LabVIEW cuenta con diferentes formas de comunicación con una tarjeta de adquisición de datos, de los cuales para la integración con la tarjeta Arduino se consideró el uso de una comunicación serial con las herramientas VISA y LINX del LabVIEW. Donde, de las pruebas realizadas se pudo observar una mejor respuesta de la herramienta LINX; ya que no necesita ningún tipo de configuración extra o compensación que permita eliminar las perturbaciones que se generan en la sincronización del Arduino con el LabVIEW, como ocurre con la herramienta VISA.
5. En el desarrollo de la programación condicional para las alertas mostradas en la interfaz de usuario del LabVIEW, se consideró los rangos de presión de agua en los que debe trabajar los Chillers de la nueva sede del INEN que se muestran en la tabla 11. Además, ya que la alerta audible se ejecuta como una interrupción, se

debe considerar el uso de un sonido de corta duración para que esta no afecte la adquisición de datos que se está realizando.

6. El monitoreo planteado en este trabajo incorpora una etapa de almacenamiento de datos, los cuales se almacenan en un archivo CSV, para que el personal encargado del mantenimiento del sistema de aire acondicionado pueda utilizarlos para un análisis de los cambios de niveles de presión y pueda realizar los cambios preventivos o correctivos que considere conveniente.
7. En el presente trabajo se implementó el proyecto según los objetivos planteados en la tesis, con el fin de mejorar el análisis y diagnóstico de averías durante el funcionamiento del Chiller, para reducir los costos y tiempos en los mantenimientos.

## RECOMENDACIONES

1. Para un buen funcionamiento de la tarjeta Arduino, es recomendable contar con ambiente controlado para su instalación. El cual, pueda mantenerse fresco, libre de humedad y partículas como el polvo o resinas.
2. Con el fin de evitar interferencias o ruido en la comunicación entre la placa Arduino con los sensores es recomendable considerar el uso de cables apantallados que ayuden a reducir estas perturbaciones y contar así con datos fiables.
3. Se encarga la señalización de áreas de cables expuestos a tropiezos o señalización de áreas de alto tránsito por donde pase parte de las instalaciones de este proyecto que ponga en peligro la continuidad de la señal.
4. Se recomienda proceso de capacitación con Charlas técnicas que contengan información en cuanto al manejo del monitoreo de presión de agua y al área enlazada de HVAC. Para que así trabajen en comunicación alineada y controlada. Este personal de monitoreo debe estar presente en el área de trabajo (sala de control) para registrar presencialmente el comportamiento, sin embargo, el proceso de datos será almacenado automáticamente en software Excel, pero con esta presencia cualquier alarma sería atendida a la brevedad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angel, W. L. (2011). *HVAC Design Sourcebook*. Blacklick: McGraw-Hill Publishing.  
Recuperado de <https://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=4958305>
- Ceren, M., & González, C. (2017). *Desarrollo de un sistema de control y monitoreo remoto de una estación de bombeo en zona rural de El Salvador* (Universidad de El Salvador). Universidad de El Salvador, El Salvador. Recuperado de <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/12852/>
- Chavarría, F., Jimenez, J. I., Hernandez, F., & Noble, H. (2019). Diseño de interfaz de control y adquisición de datos para un prototipo didáctico de refrigeración. *Revista del Diseño Innovativo*, 3(7 1-7), 7. <https://doi.org/10.35429/JID.2019.7.3.1.7>
- Creus, A. (2011). *Instrumentación industrial [recurso electrónico]*. México: Alfaomega.
- González, J. D., Jaramillo, N. E., & Cáceres, J. J. (2020). *BOMBA DE AGUA*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MANIZALES. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/462478211/Bomba-de-agua#>
- Hernández, J., Méndez, P., & Dominguez, I. S. (2019). Diseño e implementación para el control de sensores a través de un instrumento virtual con Arduino. *Revista Académica de la Facultad de Ingeniería en la Universidad Autónoma de Yucatán*, 24(1), 11.
- Lajara, J. R., & Pelegrí, J. (2011). *LabVIEW: Entorno gráfico de programación*. Marcombo.
- Lopera, J., & Roman, J. (2019). *Automatización de planta de tercer orden para el control del nivel de agua en tanque mediante sistemas embebidos y el software LabVIEW* (Universidad de Antioquia). Universidad de Antioquia, Colombia. Recuperado de <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/15106>
- López, R. (2016). *Diseño del sistema de control de temperatura de un invernadero* (Pontificia Universidad Católica del Perú). Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú. Recuperado de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6856>

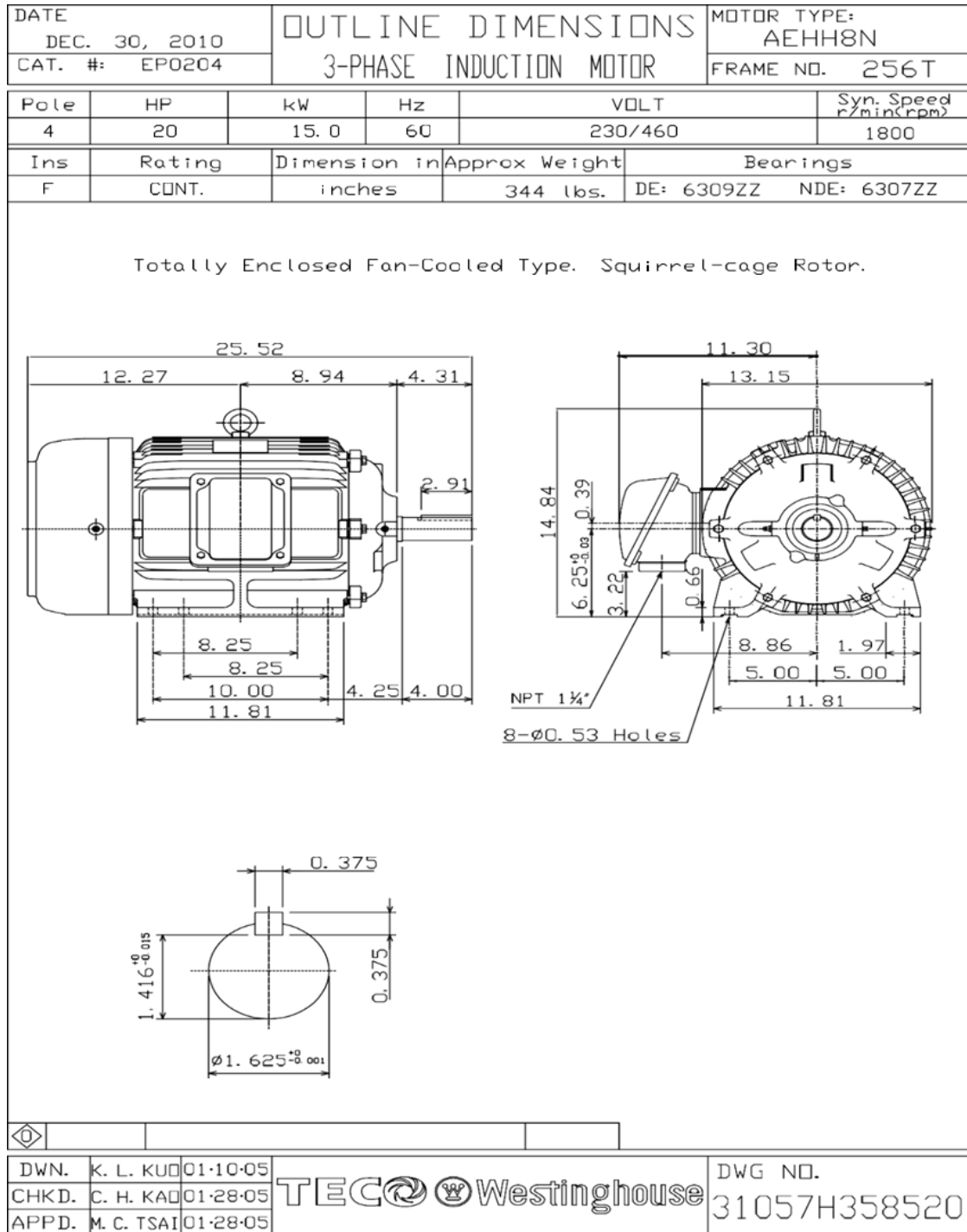
- Lukianova, N. (2021, junio 8). Principales partes de un Arduino | Arduino.cl—Compra tu Arduino en Línea [Empresa Ingeniería MCI Ltda]. Recuperado 9 de julio de 2022, de <https://arduino.cl/principales-partes-de-un-arduino/>
- Mora, I. G. (2021, junio 1). ATENCIÓN Fallas de un chiller MUY FACIL. Recuperado 25 de junio de 2022, de MundoChiller website: <https://mundochiller.com/fallas-de-un-chiller/>
- NATIONAL INSTRUMENTS. (2022). Información General sobre NI-VISA. Recuperado 3 de septiembre de 2022, de Información General sobre NI-VISA website: <https://www.ni.com/es-cr/support/documentation/supplemental/06/ni-visa-overview.html>
- Naylamp Mechatronics SAC. (2021). Sensor de presión HK3022 0.5MPa [Empresarial]. Recuperado 26 de junio de 2022, de Naylamp Mechatronics—Perú website: <https://naylampmechatronics.com/sensores-liquido/318-sensor-de-presion-hk3022-p5mpa.html>
- Olivo, M., Verduzco, J., García, N., Villalobos, J., & Olivo, A. (2018). Prototipo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en una granja de camarón. *Revista Científica del Instituto Politécnico Nacional de México*, 22(2), 87-95.
- Ortega, E., & Torres, J. (2019). *Diseño e Implementación de un Sistema Scada basado en el software Quick HMI para el monitoreo y operación de los dos Chiller centrífugo con generación de reporte estadístico en el Hotel Hilton Colón Guayaquil* (Universidad Politécnica Salesiana - Sede Guayaquil). Universidad Politécnica Salesiana - Sede Guayaquil, Ecuador. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17258>
- Revista Especificar. (2021, agosto 22). Bombas centrífugas para sistemas HVAC, ¿qué debo saber? – Revista Especificar. Recuperado 6 de julio de 2022, de Bombas centrífugas para sistemas HVAC, ¿qué debo saber? website: <https://especificarmag.com.mx/bombas-centrifugas-para-sistemas-hvac-que-debo-saber/>

- Ruiz, J. M. (2012). *Labview + Arduino: Utilización de Labview para la Visualización y Control de la Plataforma Open Hardware Arduino* (Ver. 1.0). Recuperado de <http://josemanuelruizgutierrez.blogspot.com>
- Saravia, E. (2019). *Diseño de un módulo educativo para mejorar la enseñanza en el área de control y automatización de la Universidad de Ciencias y Humanidades* (Universidad de Ciencias y Humanidades). Universidad de Ciencias y Humanidades, Perú. Recuperado de <https://repositorio.uch.edu.pe/handle/20.500.12872/482>
- Simón, G. (2018). *Implementación, control y monitoreo de un Sistema de riego por goteo subterráneo con Microcontroladores* (Universidad Nacional Agraria La Molina). Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú. Recuperado de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3610>
- Smith, C. A., & Corripio, A. B. (1999). *Control automático de procesos: Teoría y práctica* (S. D. Manzanares Basurto, Trad.). México: Limusa.
- Sosa, I. (2018). *Diseño de un programador lógico programable usando microcontrolador ATMEGA y lenguaje LADDER para aplicaciones de laboratorio* (Universidad Nacional de Piura). Universidad Nacional de Piura, Perú. Recuperado de <https://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/2160>
- Torrente, Ó. (2013). *Arduino: Curso práctico de formación*. San Fernando de Henares, Madrid: RC Libros.
- Uzair, M., Al-Janadi, K. M., Al-Kafrawi, S. Y., & Al-Bulushi, I. A. (2022). A Low-Cost IoT Based Buildings Management System (BMS) Using Arduino Mega 2560 And Raspberry Pi 4 For Smart Monitoring and Automation. *International Journal of Electrical and Computer Engineering Systems (IJECEs)*, 13(3), 18.
- Web Airson Ingenieros SAC. (2021, julio 19). ¿Qué es un Chiller? Funcionamiento y Mantenimiento. Recuperado 24 de junio de 2022, de Airson Ingenieros website: <https://www.airsoningenieros.com/que-es-un-chiller-funcionamiento-y-mantenimiento/>
- Web Arduino. (2018, febrero 5). What is Arduino? Recuperado 26 de junio de 2022, de <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>

## ANEXOS

### Anexo 1: Características técnicas de equipos


#### a) Características técnicas de la bomba centrífuga



Fuente: [https://www.mrosupply.com/electric-motors/5050515\\_ep0204\\_teco-westinghouse/#product-specification](https://www.mrosupply.com/electric-motors/5050515_ep0204_teco-westinghouse/#product-specification)

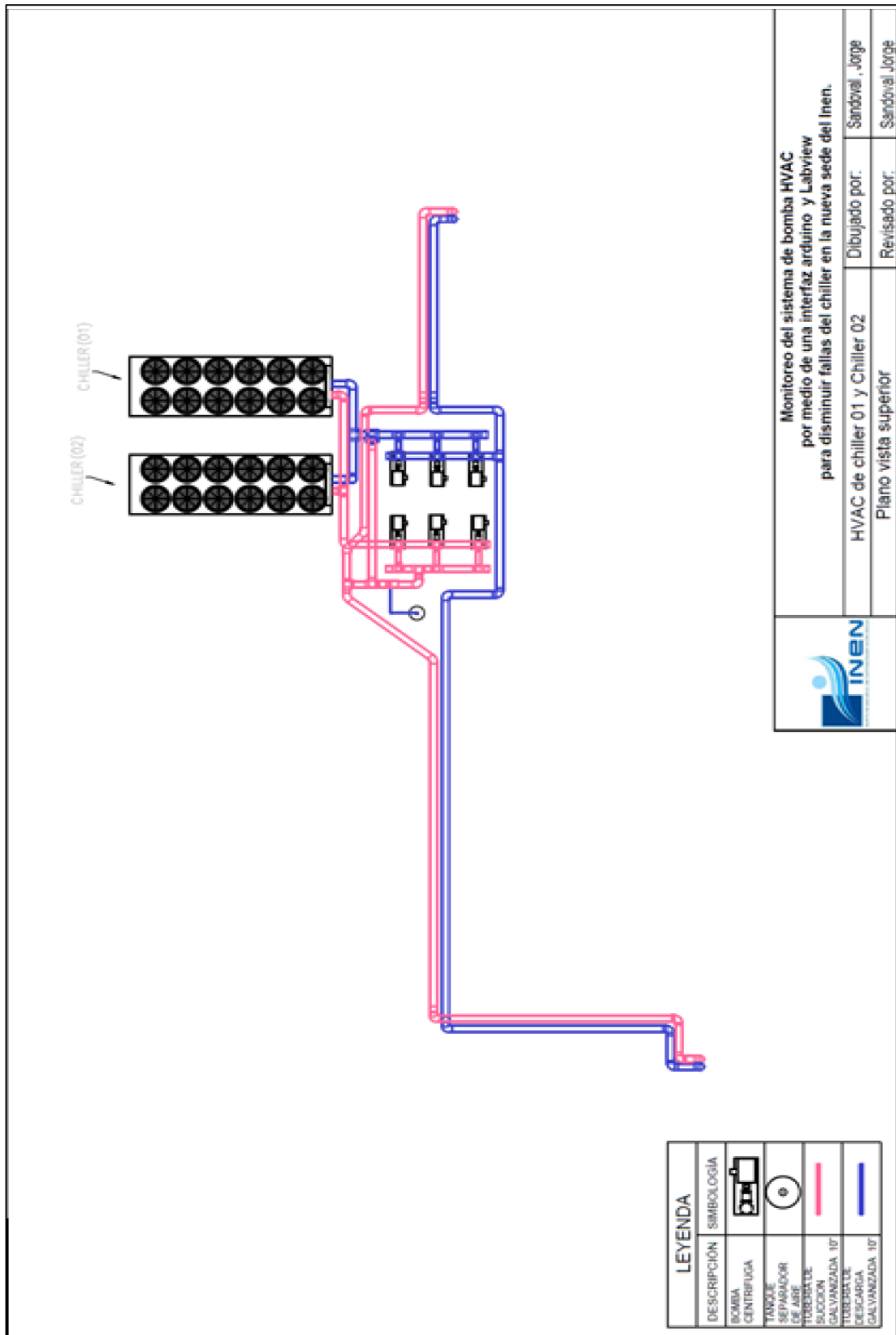


b) Características técnicas de la bomba centrífuga

											
ISSUED		<b>PERFORMANCE DATA</b>							ENCLOSURE		
8/15/2014		<b>3-PHASE INDUCTION MOTOR</b>							TEFC		
TYPE									CATALOG#		
AEHH8N									EP0204		
NAMEPLATE INFORMATION											
OUTPUT		POLE	FRAME SIZE	VOLTAGE	HZ	RATED AMBIENT	INS. CLASS	NEMA DESIGN	TIME RATING	SERVICE FACTOR	
HP	KW										
20	14.9	4	256T	230/460	60	40°C	F	B	CONT.	1.15	
VARIABLE FREQUENCY DRIVE SERVICE											
VARIABLE TORQUE					OHMS/PHASE EQUIVALENT WYE CIRCUIT (AT RATED OPERATING TEMPERATURE 25°C)						
HZ	HP	RPM	TORQUE (lb-ft)		R1	R2	X1	X2	X <sub>0</sub>		
3-60	0.0025-20	90-1800	0.146-59.66		0.1871	0.3098	1.2198	2.074	40.381		
CONSTANT TORQUE				CONSTANT HORSEPOWER							
HZ	HP	RPM	TORQUE (lb-ft)		HZ	HP	RPM	TORQUE (lb-ft)			
6-60	2-20	180-1800	59.66		60-120	20	1800-3600	59.66-29.83			
TYPICAL PERFORMANCE											
FULL LOAD RPM	EFFICIENCY				POWER FACTOR			SOUND PRESSURE LEVEL @ 3 FT Db(A)			
	FULL LOAD		3/4 LOAD	1/2 LOAD	FULL LOAD	3/4 LOAD	1/2 LOAD				
	MIN.%	NOM.%	%	%	%	%	%				
1760	91.7	93	92.4	92.4	87.5	84.5	78.5	65			
CURRENTS											
NO LOAD			FULL LOAD			LOCKED ROTOR			NEMA KVA CODE LETTER	SAFE STALL TIME IN SECONDS	
AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT		COLD	HOT
208 VOLT	230 VOLT	460 VOLT	208 VOLT	230 VOLT	460 VOLT	208 VOLT	230 VOLT	460 VOLT	G	39	27
TORQUE				INERTIA			ACCEL TIME (DOL)		ALLOWABLE STARTS PER HOUR		
FULL LOAD (lb-ft)	LOCKED ROTOR %FLT	PULL UP %FLT	BREAK DOWN %FLT	ROTOR WR <sup>2</sup> (lb-ft <sup>2</sup> )	NEMA LOAD WK <sup>2</sup> (lb-ft <sup>2</sup> )	MAX ALLOWABLE WK <sup>2</sup> (lb-ft <sup>2</sup> )	NEMA LOAD WK <sup>2</sup> Sec	MAX ALLOWABLE WK <sup>2</sup> Sec	COLD	HOT	
59.66	200	145	240	2.871	99	234	4.80	11.16	2	1	

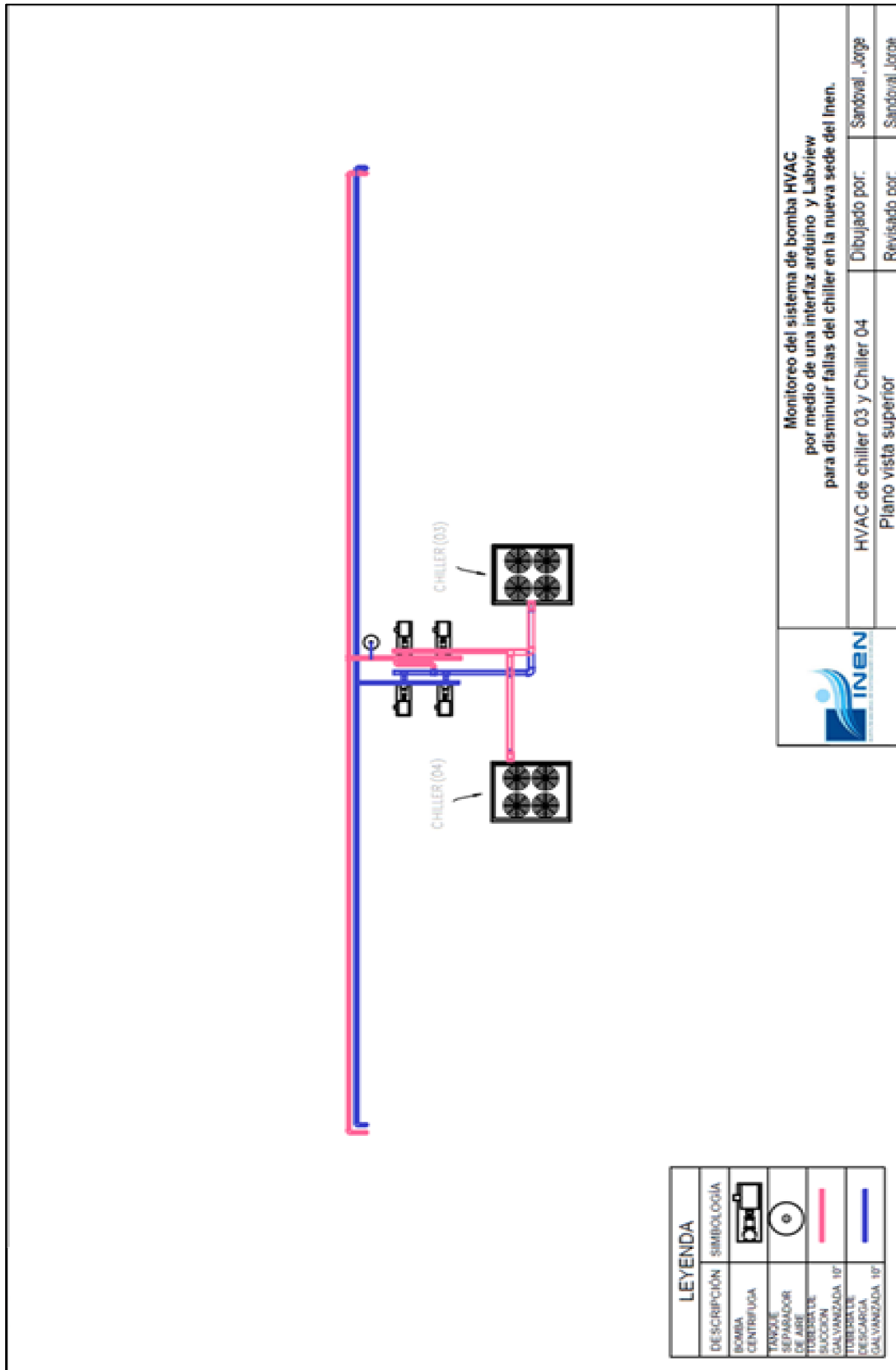
Fuente: [https://www.mrosupply.com/electric-motors/5050515\\_ep0204\\_teco-westinghouse/#product-specification](https://www.mrosupply.com/electric-motors/5050515_ep0204_teco-westinghouse/#product-specification)

Anexo 2: Plano vista superior del Chiller 01 y Chiller 02




Fuente: Elaboración propia

Anexo 3: Plano vista superior del Chiller 03 y Chiller 04



Fuente: Elaboración propia

	
Monitoreo del sistema de bomba HVAC por medio de una interfaz arduino y Labview para disminuir fallas del chiller en la nueva sede del Inen.	
HVAC de chiller 03 y Chiller 04 Plano vista superior	Dibujado por: Sandoval Jorge Revisado por: Sandoval Jorge

#### Anexo 4: Válvula reductora de presión

Funcionamiento de pistón con asiento compensado.

Conexiones roscadas hembra/hembra.

Cuerpo de latón niquelado.

Temperatura mínima y máxima de trabajo: 0°C, 80°C.

Presión máxima entrante: 25 bar.

Pre calibración en fábrica a 3 bares.

Conexiones manómetro 1/4 en los dos lados para el control de la presión de salida.



Válvula reductora

#### MEDIDAS

Medida	Presione	Código	Embalaje
1/2" (DN 15)	25bar/362.5psi	1430012	1/22
3/4" (DN 20)	25bar/362.5psi	1430034	1/22
1" (DN 25)	25bar/362.5psi	1430100	1/11
1"1/4 (DN 32)	25bar/362.5psi	1430114	1/6
1"1/2 (DN 40)	25bar/362.5psi	1430112	1/6
2" (DN 50)	25bar/362.5psi	1430200	1/3
2"1/2 (DN 65)	25bar/362.5psi	1430212	1/2
3" (DN 80)	25bar/362.5psi	1430300	1/2
4" (DN 100)	25bar/362.5psi	1430400	1/2

Fuente: <https://www.itap.it/es/products/filtros-filtros-desfangador-magnetico-reductores-de-presion/reductoras-de-presion/143>

Anexo 5: Permiso de la empresa INEN

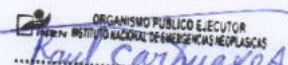


Lima, 05 de octubre de 2022

Por la presente, autorizamos al Sr. Jorge Enrique Sandoval Monzón a fin de que pueda utilizar los datos, figuras, o fotografías de la empresa para la elaboración de su tesis.

Sin otro particular, me despido

Atentamente,

  
ORGANISMO PUBLICO EJECUTOR  
INEN INSTITUTO NACIONAL DE EMERGENCIAS NEOPLASTICAS  
ING. RAUL ALFREDO CARHUAYO ASCENCIO  
UNDA FUNCIONAL DE MANTENIMIENTO, INFRAESTRUCTURA  
Y EQUIPAMIENTO ELECTROMECANICO - OIMS  
Ingeniero de mantenimiento