



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE POSTGRADO**



**MAESTRÍA EN INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**“SISTEMA DE MONITORIZACIÓN Y ALERTA TEMPRANA PARA  
MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE COMPRESORES EN PROCESOS  
INDUSTRIALES BAJO INDUSTRIA 4.0.”**

Trabajo de Maestría presentada en cumplimiento parcial de los requisitos de la  
Maestría en Mecatrónica Mención Procesos Industriales

**AUTOR:** Ing. Hugo Eduardo Salazar García

**DIRECTOR:** MSc. Cosme Damián Mejía Echeverría

IBARRA - ECUADOR

**2023**

## CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Como director del trabajo de investigación con el tema: “SISTEMA DE MONITORIZACIÓN Y ALERTA TEMPRANA PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE COMPRESORES EN PROCESOS INDUSTRIALES BAJO INDUSTRIA 4.0.”, trabajo que fue realizado por Hugo Eduardo Salazar García, previo a la obtención del título de Magister en mecatrónica mención procesos industriales, doy fe de que la obra mencionada reúne los requisitos y méritos suficientes para ser públicamente sustentada en juicio para ser oportunamente aprobada.

Ibarra, 24 de noviembre de 2022

MSc. Cosme Damián Mejía Echeverría

C.C.: 1002641288

Tutor.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD  
TÉCNICA DEL NORTE**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1002582177		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Salazar García Hugo Eduardo		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Los almendros 7-16 y Vía Chorlavi		
<b>EMAIL:</b>	hesalazarg@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	no	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0998405043

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	“SISTEMA DE MONITORIZACIÓN Y ALERTA TEMPRANA PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE COMPRESORES EN PROCESOS INDUSTRIALES BAJO INDUSTRIA 4.0”
<b>AUTOR:</b>	Hugo Eduardo Salazar García
<b>FECHA:</b>	24/11/2022
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	<input type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input checked="" type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TITULO POR EL QUE OPTA:</b>	Magíster en Ingeniería Mecatrónica Mención Procesos Industriales
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	MSc. Cosme Damián Mejía Echeverría

## **2. CONSTANCIAS**

El autor Hugo Eduardo Salazar García, manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de los terceros.

Ibarra, a los 25 días del mes de enero del año 2023.

### **EL AUTOR:**

Hugo Eduardo Salazar García

**C.I.:** 100258217-7



## REGISTRO BIBLIOGRAFICO

**Guía:** POSGRADO – UTN

**Fecha:** Ibarra 24 de noviembre de 2022

**Hugo Eduardo Salazar García:** “SISTEMA DE MONITORIZACIÓN Y ALERTA TEMPRANA PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE COMPRESORES EN PROCESOS INDUSTRIALES BAJO INDUSTRIA 4.0”, Universidad Técnica del Norte

**DIRECTOR:** MSc. Cosme Damián Mejía Echeverría

**El objetivo general de esta tesis fue:** Implementar un sistema de monitorización y alerta temprana para el mantenimiento preventivo de compresores bajo parámetros de industria 4.0. en un laboratorio de Mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte.

**Entre los objetivos específicos estaban:** Identificar los aspectos asociados al mantenimiento preventivo del compresor de gama media y las principales fallas que pueden presentar en sus ciclos de trabajo.

Diseñar el sistema de monitorización y alerta temprana para el compresor.

Realizar pruebas de funcionamiento con el compresor

Implementar el sistema en los laboratorios para la monitorización del personal a cargo.

MSc. Cosme Damián Mejía Echeverría

**Director**

Ing. Hugo Eduardo Salazar García

**Autor**

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado a mi familia, en especial a mi Esposa, maravillosa mujer, a mis hijos que son la luz de mi vida, para ellos, todo mi amor.

*Hugo*

## RECONOCIMIENTO

Gracias a Dios por cada día de vida; a mi alma mater, la Universidad Técnica del Norte en donde me forme, a mi esposa que siempre me ha apoyado en cada una de mis metas, “te amo”; a mis hijos que con sus sonrisa y juegos le dan color a mi vida; a mis padres y mis hermanas por el apoyo brindado desde siempre; a mis amigos, en especial a Cosme, por el camino andado en este proyecto.

*Con afecto.... Hugo*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS	2
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	3
DEDICATORIA	6
RECONOCIMIENTO	7
ÍNDICE DE TABLAS	9
ÍNDICE DE FIGURAS	10
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
Capítulo I: El Problema	13
Capítulo II: Marco Referencial	20
2.1.    Mantenimiento preventivo de máquinas	20
2.1.1.    Tipos de mantenimiento preventivo.	20
2.2.    Funcionamiento del compresor	21
2.3.    Fallas comunes en compresores	24
2.4.    Industria 4.0	26
2.5.    Sistemas de Monitorización y alerta temprana	27
2.6.    Protocolos de comunicación	28
2.7.    Marco Legal	29
Capítulo III: Marco Metodológico	31
3.1    Descripción del área de estudio/Grupo de estudio	31
3.2    Enfoque y tipo de investigación	31
3.3    Diseño de la investigación	32
3.4    Consideraciones ambientales y bioéticas	41
Capítulo IV: Resultados	43
4.1.    Especificaciones del sistema de monitoreo que se va a diseñar	43
4.2.    Resultados y análisis	43
4.2.1.    Control del encendido y apagado del compresor	43
CONCLUSIONES	50
RECOMENDACIONES	51
REFERENCIAS	52
ANEXOS	56



**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1</b> <i>Principales fallas de los compresores</i>	24
<b>Tabla 2</b> <i>Tabla de fallas a monitorear</i>	25
<b>Tabla 3</b> <i>Parámetros de funcionamiento</i>	40
<b>Tabla 4</b> <i>Tiempo de respuesta al encendido y apagado del compresor</i>	44
<b>Tabla 5</b> <i>Variables de sensores visibles en display</i>	46
<b>Tabla 6</b> <i>Toma de muestras de los sensores en funcionamiento normal</i>	48
<b>Tabla 7</b> <i>Toma de muestras de los sensores con inserción de fallas.</i>	49

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1	<i>Árbol de problemas y consecuencias del trabajo de investigación.</i>	15
Figura 2	<i>Mapa de localización de la Universidad Técnica del Norte</i>	31
Figura 3	<i>Representación de protocolo de comunicación I2C</i>	34
Figura 4	<i>Esquema de la tarjeta ESP32 DEVKIT v1</i>	35
Figura 5	<i>Diagrama de la placa Arduino Uno</i>	36
Figura 6	<i>Sensor SCT013 de 30A/IV</i>	37
Figura 7	<i>Sensor PT100 y Max 31865</i>	37
Figura 8	<i>Sensor DHT22</i>	38
Figura 9	<i>Aplicación Android de sistema de monitoreo</i>	39
Figura 10	<i>Modelo de programación del código de bloques del sistema de monitoreo.</i>	39
Figura 11	<i>Contactador con guardamotor y fusibles para protección</i>	44
Figura 12	<i>Switch de poder del sistema}</i>	44
Figura 13	<i>Botón de Paro y encendido en la Aplicación Android</i>	45
Figura 14	<i>Display con lectura de datos en tiempo real</i>	45
Figura 15	<i>Aplicación Android con datos en tiempo real</i>	46
Figura 16	<i>Determinación de límites en Arduino</i>	47
Figura 17	<i>Carcasas diseñadas en Solidworks.</i>	47
Figura 18	<i>Tablero de control terminado</i>	47

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación comprende diseñar un Sistema de Monitorización y alerta temprana para mantenimiento preventivo de compresores en procesos industriales bajo industria 4.0, mediante la captura de parámetros estandarizados del compresor y ciclos de funcionamiento, utilizando una aplicación Android junto con una tarjeta de adquisición de datos con la capacidad de conectarse a Internet (IoT) y diferentes sensores para monitorizar el compresor; el análisis se realizará sobre ciertos escenarios seleccionados basados en el funcionamiento del compresor y con ello se obtendrán los parámetros estándar de funcionamiento, posterior a esto los sensores estarán monitoreando constantemente a estos parámetros, al momento de presentarse una variación, se enviará una alerta y esta por medio de la tarjeta IoT, enviará la alerta a la aplicación del dispositivo sobre el evento suscitado para que se pueda realizar un mantenimiento pronto y oportuno, cuando se genere la alerta, el compresor automáticamente se detendrá para su revisión y poder evitar posibles daños a la máquina, también se podrá controlar en encendido y apagado del equipo desde la aplicación Android. Los parámetros por condicionar son: temperatura ambiente, temperatura de contacto, ciclos de uso, corriente y humedad relativa. El resultado del proyecto fue un dispositivo capaz de adaptarse no solo a un compresor sino a cualquier tipo de maquinaria, haciendo del proyecto de alta viabilidad.

***Palabras clave:*** IoT, mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo

### ABSTRACT

The present research work includes designing a Monitoring and early warning system for preventive maintenance of compressors in industrial processes under industry 4.0, by capturing standardized parameters of the compressor and operating cycles, using an Android application together with a data acquisition card. with the ability to connect to the Internet (IoT) and different sensors to monitor the compressor; the analysis will be carried out on certain selected scenarios in the operation of the compressor and with this the standard operating parameters will be obtained, after this the sensors will be constantly monitoring these parameters, at the moment of presenting a variation, an alert will be produced and it is due to Through the IoT card, have the device application alert about the event raised so that maintenance can be carried out promptly and timely, when the alert is generated, the compressor will automatically stop for review and you can avoid possible damage to the machine, you can also control the equipment on and off from the Android application. The parameters to be conditioned are: ambient temperature, contact temperature, use cycles, current and relative humidity. The result of the project was a device capable of adapting not only to a compressor but to any type of machinery, making the project highly viable.

***Keywords:*** *IoT, preventive maintenance, predictive maintenance*

## Capítulo I: El Problema

### 1.1. Planteamiento del Problema

En una planta industrial el uso de aire comprimido es considerado uno de los recursos más importantes del que no se puede prescindir, ya que este es transcendental para la operación de máquinas que permiten el funcionamiento de una línea de producción, siendo un tipo de energía segura, rápida y sostenible. (QuimiNet, s.f.).

En muchas empresas generalmente no manejan estrategias adecuadas para reducir el impacto negativo que representa optar por corregir los errores en los equipos industriales cuando dejan de funcionar, lo que conlleva eventualmente al desembolso de grandes cantidades de dinero para la entidad; en otros casos provoca el paro de producción y pérdida de dinero y tiempo. (QuimiNet, s.f.)

En este tipo de situaciones cobra importancia el mantenimiento preventivo, cuya función específica es la conservación de equipos por medio de la revisión y limpieza para garantizar un buen funcionamiento, sin necesidad de detener las máquinas que se encuentran en funcionamiento normal, evitando fallas en el equipo que desencadenarán en gastos y pérdida de tiempo. (QuimiNet, s.f.)

Generalmente, en este tipo de mantenimiento las acciones más comunes están orientadas a sustituir piezas desgastadas, cambiar lubricantes, entre otras; evitando de esta manera la aparición de las fallas en los equipos. (Chicago Pneumatic, 2021)

En el caso particular de un compresor, las fallas están relacionadas por la falta de un adecuado plan de mantenimiento o a su vez, por olvido y/o descuido del técnico encargado del mantenimiento preventivo, en algunos casos del correctivo cuando la situación lo amerite.

Para los compresores y otros equipos, es evidentemente necesario contar con un sistema que alerte, de una manera óptima y temprana, el tiempo de funcionamiento de los equipos para así poder aplicar un mantenimiento preventivo que evite un posible deterioro o desperfecto. Así mismo, cuando un compresor no lleva un adecuado plan de mantenimiento, puede desencadenar en riesgos laborales dentro de los cuales se encuentra la explosión de este, llevando a tener graves heridas incluso mortales al personal que se encuentre a su alrededor. (Chicago Pneumatic, 2021)

Actualmente, la industria está atravesando por lo que se ha considerado la cuarta revolución industrial. Se trata de la puesta en práctica de los principios de la industria 4.0, basados en el concepto de empresas inteligentes y eficientes; aprovechando los recursos al máximo, digitalizando tanto la industria como sus servicios, uniendo el mundo virtual con el real llevando a la empresa a auto gestionarse y haciéndola más autónoma. (Xun, Lu, Vogel-Heus, & Wang, 2021)

Para el caso particular de esta investigación se ha seleccionado un equipo compresor que opera en los laboratorios de la carrera de ingeniería en mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte. Las principales fallas que puede presentar este tipo de compresor son: fallas mecánicas, desgaste de válvulas, lubricación, temperatura de descarga, análisis de vibraciones, entre otras.

Dado lo anterior, se pretende implementar un sistema de monitorización y alerta temprana para el compresor de pistón, a manera de desarrollar un modelo de mantenimiento preventivo para la industria 4.0 que se pueda extender en un futuro a equipos y procesos similares.

En la Figura 1 se muestra el problema principal y las consecuencias que representa realizar los mantenimientos del equipamiento fuera del tiempo y parámetros establecidos por cada equipo:

**Figura 1**

*Árbol de problemas y consecuencias del trabajo de investigación.*



En resumen, se pretende implementar un sistema de monitorización y alerta temprana para un compresor, a manera de desarrollar un modelo de mantenimiento preventivo para la industria 4.0 que se pueda extender en un futuro a equipos y procesos similares.

## 1.2. Antecedentes

La industria 4.0 se considera como la evolución de los sistemas de producción actuales, es así como indican que el desarrollo de la industria 4.0 generó un efecto importante en los sistemas productivos especialmente en los niveles de competitividad y las cadenas de valor, partiendo de las TICs existentes en la industrial, se puede detectar las necesidades de desarrollo adoptando e innovando los productos generando el valor agregado. (Del Giorgio & Mon, 2018)

Según quienes se basan en una investigación bajo industria 4.0 para desarrollar una interfaz de controlador basada en RAMI o OPC UA, que es capaz de proporcionar las funciones de programación, identificación RFID, comunicación de red y supervisión de equipos en tiempo real facilitando una plataforma conectada a la red y que es estandarizada e interoperable. (De Melo & Godoy, 2019)

La industria 4.0 es considerada como una nueva etapa industrial en la que los procesos de fabricación horizontal y vertical integrados a la conectividad de los productos pueden ayudar a las empresas a lograr un mayor rendimiento industrial, utilizando el análisis de regresión se ve como la tecnología 4.0 es prometedora para el rendimiento industrial. (Santos, Benitez, & Ayala, 2018)

Existen cinco métodos para la aplicación de un sistema de mantenimiento, Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM, Reliability Centered Maintenance), repuestos centrados en la confiabilidad (RCS, Reliability Centered Spare part), costo del ciclo de vida (LCC, Life Cycle Cost), efectividad general del equipo (OEE, Overall Equipment Effectiveness) y confiabilidad, disponibilidad, mantenimiento (RAM, Reliability Availability Maintainability). (Alhilman, Dwi Atmaji, & Athari, 2017).

Una nueva metodología para optimizar la planificación del mantenimiento preventivo, así como la cantidad de recursos necesarios para realizarlo, se basa en una simulación de Montecarlo que evalúa el costo esperado del mantenimiento, así como la pérdida económica esperada, describe los diferentes modos de falla del equipo y va priorizando según la disponibilidad de mano de obra y los repuestos utilizando un algoritmo genético para la optimización. (Nguyen & Bagajewicz, 2008)

Los pilares fundamentales en la industria 4.0 es el uso de internet como una nueva forma de crear nuevos productos cuya característica principal es el uso de internet como fuente de



información y no solo como canal de economía para interconectar máquinas, dispositivos sensores y personas, además de manejar grandes volúmenes de datos de sensores reduciendo significativamente el costo de mantenimiento, con ello aumentando la productividad creando nuevos modelos de negocio acorde al uso. (Bassi, 2017)

La confiabilidad y el mantenimiento preventivo de los sistemas coherentes en los que sus componentes están sujetos a fallas por varios choques externos obteniendo una función de confiabilidad basada en la vida útil del sistema. (Zarezadeh & Asadi, 2018)

Los compresores industriales presentan complejidad y son construidos con precisión además de ser costosos, es por ello que para seleccionarlos, operarlos y mantenerlos se debe ser cuidadoso, si se opera incorrectamente pueden llegar a tener oscilaciones de presión es decir se vuelven inestables, esta variación de presión puede dañar los componentes internos y su reparación podría ser muy costosa llegando a tener mucho tiempo en su reparación. (Greene, GUIA PARA EL USO DE COMPRESORES Y VENTILADORES, 1998).

### **1.3. Objetivos de la Investigación**

#### ***1.3.1 Objetivo general***

Implementar un sistema de monitorización y alerta temprana para el mantenimiento preventivo de compresores bajo parámetros de industria 4.0. en un laboratorio de Mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte.

#### ***1.3.2 Objetivos específicos***

- Identificar los aspectos asociados al mantenimiento preventivo del compresor de gama media y las principales fallas que pueden presentar en sus ciclos de trabajo.
- Diseñar el sistema de monitorización y alerta temprana para el compresor.
- Realizar pruebas de funcionamiento con el compresor.
- Implementar el sistema en los laboratorios para la monitorización del personal a cargo.

#### 1.4. Justificación

Los equipos compresores son equipos muy utilizados en las líneas de producción debido a que proporcionan energía, segura, rápida y sostenible, llevando con ello a que los actuadores muevan las líneas de producción. En este caso, si se daña el compresor, se paraliza la producción, trayendo como consecuencia pérdidas económicas importantes.

De acuerdo con lo anterior, resulta de gran relevancia contar con un adecuado y óptimo plan de mantenimiento preventivo, para evitar el riesgo de detener la producción y las consecuencias que genera este hecho.

En el caso muy particular, abordando el compresor de los laboratorios de mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte, aunque se realiza el mantenimiento acorde al plan que se maneja en las instalaciones, sería importante contar con un sistema de monitorización de los equipos, para los compresores que suministran aire comprimido al laboratorio de neumática e hidráulica, así como a los laboratorios de manufactura integrada por computador y mecanizado.

Generalmente, cuando se presenta una falla que se encuentre fuera de los tiempos del plan de mantenimiento, se puede identificar por ejemplo en la caída de presión de aire o las máquinas, en este caso las CNC<sup>1</sup>s, informan en su sistema de detección de errores, que les falta suministro de aire, es allí cuando se hace necesario revisar el equipo compresor.

Contando con el sistema de monitorización, se podrá detectar este tipo de advertencias de una manera oportuna y tomar los correctivos necesarios para en el menor tiempo posible evitar la paralización de servicios de los laboratorios.

---

<sup>1</sup> CNC (Control Numérico Computarizado), es todo aquel dispositivo que posee la capacidad de controlar la posición y velocidad de los motores que accionan los ejes de la máquina para realizar movimientos que no se pueden lograr manualmente

### **1.5. Alcance**

El presente trabajo de titulación comprende el diseño e implementación de un sistema de monitorización remota de un compresor que a partir de diferentes variables que influyen en su normal funcionamiento avisará los ciclos de trabajo que realiza y determinará el momento en el cual la alerta temprana se activará para indicarnos cuando las variables están fuera de los parámetros normales, todo esto a través de una aplicación para un dispositivo móvil.

## Capítulo II: Marco Referencial

### 2.1. Mantenimiento preventivo de máquinas

El mantenimiento preventivo de máquinas es la inspección, revisión y adecuación de una manera sistemática de los equipos para otorgarles un buen funcionamiento, con esto se evita las fallas antes que ocurran la cuales suelen ser producidas por desgaste o uso a lo largo del tiempo. (Vidal, 2021)

Realizar el mantenimiento de los equipos ayuda a evitar que se generen averías que pueden ser muy costosas al momento de reparar además alarga la vida útil del equipo. (Vidal, 2021)

#### 2.1.1. Tipos de mantenimiento preventivo.

El mantenimiento preventivo se divide en tres tipos que son: (Vidal, 2021)

- **Mantenimiento predictivo.** Se realiza al finalizar el tiempo de uso máximo del equipo.
- **Mantenimiento programado.** Se realiza según los parámetros de tiempo, es decir cada cierta hora de uso o a su vez según cantidad de días transcurridos.
- **Mantenimiento de oportunidad.** Se lo realiza mientras el equipo está en uso para evitar paras de producción.

Además, existe dos clases de mantenimiento preventivo según el tipo de servicio que se le hace al equipo y son: (Vidal, 2021)

- **Mantenimiento pasivo.** Se encarga de controlar los factores externos que pueden dañar al equipo brindando las condiciones óptimas para el funcionamiento de este como, por ejemplo, el clima, humedad, etc.
- **Mantenimiento activo.** Se encarga de realizar inspecciones periódicas al equipo para verificar de manera más oportuna el desgaste de piezas producto del uso.

## 2.2. Funcionamiento del compresor

El compresor es una máquina capaz de convertir aire atmosférico en aire presurizado por medio de mecanismos internos, ya sea pistones o sistemas rotativos tipo tornillo. (Chicago Pneumatic, 2020)

Los más utilizados en la industria según la necesidad son el compresor de pistón, siendo este el más común y el compresor de tornillo siendo este el más complejo y robusto, que se detallan a continuación:

### a. Compresor de pistón.

Básicamente el compresor se compone de los siguientes elementos: (Chicago Pneumatic, 2020)

- **Tanque:** Generalmente lo incorporan los compresores de pistón y es en donde se almacena el aire que fue comprimido por efectos mecánicos.
- **Motor:** Es la parte que se encarga de transformar la energía eléctrica en energía mecánica haciendo de esta manera funcionar el cabezal.
- **Cabezal:** Se encuentra en los compresores de pistón y es el que alberga a los mismos los cuales comprimen el aire por medio de la aspiración de aire atmosférico y comprimiéndolo.
- **Válvula de seguridad:** Se acciona de forma manual y es una pieza importante dentro del sistema, la cual sirve para liberar la presión en el tanque cuando se exceden los límites de funcionamiento seguro.
- **Válvula de retención:** Como su nombre lo indica, retiene el aire comprimido para que no existan fugas, se ubica antes de la brida de conexión.

- **Válvula de purgado:** Se encuentra en la parte inferior del tanque y sirve para drenar la humedad que se acumula en el mismo, esta purga debe realizarse con el compresor apagado y libre de aire comprimido.
- **Presostato:** Es un instrumento mecánico que se encarga de hacer la función de un switch, abriendo o cerrando el circuito eléctrico para activar o desactivar el motor que carga al compresor, según parámetros de presión configurados de fábrica.
- **Manómetro:** Indica la presión de aire que se encuentra en el sistema.

#### b. Compresor de tornillo.

El compresor de tornillo se compone de los siguientes elementos: (Chicago Pneumatic, 2021)

- **Tornillos:** Es la parte más importante dentro de este tipo de compresores, y son los que por medio de su rotación a altas velocidades dentro del cilindro que los contiene, el aire atmosférico es aspirado, comprimido, descargado y en algunos casos almacenado en un tanque según sea el modelo del compresor.
- **Cilindros de compresión:** Generalmente contruidos de hierro fundido o acero, alberga a los tornillos, el aire pasa por su cámara y según la cantidad de cilindros que tenga el equipo se puede relacionar la cantidad de presurización que se genera en el compresor.
- **Filtro de aceite:** Los compresores de tornillo producen altas temperaturas y el aceite además de lubricar y limpiar, ayuda a enfriar el sistema para que funcione dentro de los parámetros de seguridad, para ello requiere de un filtro que se coloca cerca de las válvulas de descarga en el interior de la cámara de los rotores entrando el aceite por medio de inyección.

- **Enfriador de aceite:** El aceite es usado para lubricar, enfriar y sellar los tornillos, este procedimiento genera mucho calor, es por ello que este aceite antes de volver a generar ese ciclo de trabajo, debe pasar por el enfriador, el mismo que requiere aire limpio en el radiador para que vuelva a su temperatura adecuada para funcionar.
- **Separador de aceite:** Son pequeños tanques que actúan como un filtro para que el aire comprimido quede libre de residuos de aceite que pudiera aparecer al final del ciclo.
- **Válvula de descarga:** Es la válvula que da por terminado la compresión, el aire presurizado se libera por la misma para llegar al tanque o su uso inmediato, es un equipo delicado ya que si se llegara a estropear puede producir graves daños a las personas cercanas y a la máquina.
- **Filtros de aire:** Como todas las máquinas que necesitan aire para funcionar, este se ubica a la entrada del sistema en el interior de la válvula de apertura y es el que atrapa las partículas de polvo y humedad que pueden existir en el ambiente, garantizando que el aire sea lo más limpio posible para no estropear los rotores.
- **Válvula de apertura:** Es la que permite la entrada de aire atrapándolo para que ingrese a la cámara donde se encuentran los tornillos giratorios.
- **Motor:** Es el que les da movimiento a los tornillos giratorios transformando energía eléctrica en energía mecánica, al igual que el compresor de pistón, a diferencia del anterior este motor debe ser de mayor performance debido al gran y continuo trabajo que realiza.

- **Cojinetes:** Hechos con material anticorrosivo, sirven para garantizar que los tonillos roten de manera óptima, en el compresor de tornillo se puede encontrar cojinetes de carga radial y axial.
- **Tanque:** Algunos compresores de tornillo vienen con un tanque para almacenamiento de aire comprimido, depende mucho del tamaño y la utilidad de compresor y de tenerlo, el compresor de tornillo mantendrá una presión constante en el mismo.

### 2.3. Fallas comunes en compresores

Entre las fallas más comunes que presentan los compresores de aire comprimido se detallan en la tabla 1:

**Tabla 1**  
*Principales fallas de los compresores*

FALLA	CAUSA	SOLUCION
<b>El compresor no enciende</b>	Falta de corriente en la red	Verificar voltaje en la toma de energía eléctrica
	Switch no hace contacto	Revisar que no estén cables sueltos
	Tanque lleno de aire comprimido	Descargar aire del tanque para que arranque el motor
	Motor dañado motor trabado	Sustituir pieza o llevar el equipo a centro técnico Desconectar de la red eléctrica y revisar que el motor gire libremente
<b>Recalentamiento de motor</b>	cabezal trabado	Revisar que no exista fugas de aceite revisar que el presostato funcione adecuadamente y no sature de presión el tanque.
	exceso de trabajo	Revisar que no haga roturas en el cabezal Cambiar un compresor más grande
	fuga de aire en el sistema neumático	Pausar el ritmo de trabajo para evitar el sobreesfuerzo Revisar el estado de los accesorios del sistema
<b>Funcionamiento discontinuo</b>	fuga de aire en el compresor	Verificar mangueras, tuberías y ajustar las conexiones
	Demanda de aire mayor a la normalidad del equipo	Utilizar un regulador de presión
<b>Ruido diferente al normal</b>	Polea o volante flojo	Ajustar los tornillos del volante Revisar que la polea este alineada
	Carter con nivel bajo o nada de aceite	chequear posible daño del cabezote por falta de lubricación



<b>La presión del tanque se llena de manera acelerada</b>	Agua en el tanque	Purgar el tanque pulmón de manera continua
	Aceite saturado	Vaciar el aceite y volver a llenar hasta el nivel indicado por el fabricante
<b>Consumo de aceite poco habitual</b>	Viscosidad no adecuada	Cambiar el aceite que ya llegó a su vida útil
	Pistones o cilindros desgastados	Mantenimiento en centro autorizados
	fuga de aceite	Inspección visual de fugas de aceite, chequear el tanque pulmón porque puede haber filtraciones.
<b>El aire a la salida es insuficiente</b>	filtro obstruido	Realizar limpieza del filtro o reemplazar
		revisar cañerías y accesorios, apretar las conexiones
	fuga de aire	revisar válvula de retención, empaque y resorte y de ser el caso reemplazarla
		limpiar partículas de polvo cristalizadas en los platos de las válvulas que pueden estar obstruidas y reemplazarlas si están rotas

Nota. (Greene, Compresores, 1992)

Para el desarrollo del sistema de monitoreo se ha seleccionado las variables más importantes y que guarda relación con casi todas las fallas que los equipos compresores pueden presentar, que son:

**Tabla 2**  
*Tabla de fallas a monitorear*

VARIABLE	FALLAS RELACIONADAS	MOTIVOS
<b>Temperatura</b>	Calentamiento de cabezote	Fricción por falta de lubricación
		Daños en el cabezote por pistón trabado
	Calentamiento de motor	Aceite que ha perdido sus propiedades lubricantes
		Daños en el cabezote por pistón trabado
		Condiciones ambientales
<b>Corriente</b>	No arranca el compresor	Diferencia de corriente
		Falla en aleta de ventilación
	Alto consumo de corriente	motor averiado
		cables averiados
<b>Tiempo de funcionamiento</b>	Desgaste de propiedades del lubricante	Sin energía en la red de energía eléctrica
		motor dañado
	recalentamiento	cabezal averiado
		variación en la red de electricidad
		tiempo de uso fuera del parámetro de vida útil del lubricante
rotura de bandas	excesivo uso de trabajo fuera del parámetro del fabricante	
Tanque con agua	no se puede determinar el recambio de las bandas sin un control de tiempo de uso	
		Condensación generada por el tiempo de uso hace que sea necesario purgar el compresor

<b>Humedad</b>	fuga de aire	cañerías rotas uniones sueltas válvulas averiadas
	desgaste de componentes	componentes dañados por condiciones climáticas

Nota. (Greene, Compresores, 1992)

## 2.4. Industria 4.0

La industria 4.0 es la respuesta a una combinación entre una tendencia del mercado a la personalización y el uso de nuevas tecnologías. (Ye, Ho Hong, Seok Song, & Chul Kim, 2021).

La 4ta revolución industrial (Industria 4.0) se caracteriza por la introducción de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), que se están convirtiendo en un fenómeno creciente en la automatización industrial. En estos sistemas inteligentes distribuidos, los componentes físicos de producción y sus componentes de producción virtuales basados en datos siguen siendo sistemas cyber físicos (CPS, Cyber-physical systems). Estos CPS, que están interconectados en términos de información, proporcionan los componentes inteligentes de las futuras fábricas inteligentes, en las que los departamentos de producción pueden organizarse y volverse independientes y plenamente competentes, ya que tendrán toda la información necesaria que podrán obtener de forma independiente. Dichos sistemas pueden reconfigurarse y optimizarse por sí mismos y serán ampliables (conectar y producir) sin ingeniería o intervención manual desde el exterior. (Ye, Ho Hong, Seok Song, & Chul Kim, 2021).

Los datos digitalizados sobre la producción de todo el proceso de producción y a lo largo de los ciclos de vida de los productos y otros componentes de producción también se procesan detrás del proceso de producción industrial real. Debido a que estarán interconectados, estos componentes y productos inteligentes pueden incluir una conversación de IoT muy amplia, correspondiente a eventos internos y externos con la capacidad de aprender de ellos, con los beneficios resultantes tanto para los fabricantes como para los consumidores. (Marcon, Jirsa, Venkrbec, Zezulka, & Benesl, 2022)

Bajo estas consideraciones se puede afirmar que la industria 4.0 es el futuro de la misma, la tecnología avanza a grandes pasos y hace viable la simplificación de los procesos de automatización y monitoreo de manera remota gracias a la inteligencia artificial y dispositivos inteligentes, logrando comunicar, ejecutar y monitorear maquinaria y equipos a grandes distancias gracias al internet.

## **2.5. Sistemas de Monitorización y alerta temprana**

Para la vigilancia y control de procesos industriales los sistemas de monitoreo a distancia son los más utilizados, permiten mantener a conocimiento constante del personal de operación, sobre todos los factores que puedan influir en los procesos de ejecución y tomar medidas oportunas y eficientes de forma remota en zonas de alto riesgo o peligrosas; de esta forma evitar riesgos altos o gastos innecesarios. (Campuzano Cervantes , 2017) .

La reducción en el costo de los microcontroladores y demás componentes electrónicos inalámbricos, hace que sea más común desarrollar redes de monitoreo y control inalámbrico en diversos campos industriales en donde es muy necesario monitorear parámetros físicos y ambientales y ejecutar acciones de control en función de ellos.

Las tareas de monitoreo resultan de gran importancia, en conjunto con sistemas compactos y portátiles que sean capaces de identificar parámetros para facilitar las tareas de mantenimiento. (Quinteros, Razzo, Solórzano, & Rubio, 2009)

“El sistema de Alerta Temprana permite crear condiciones de alerta para la comunidad para que tomen las medidas de protección con suficiente tiempo y de manera oportuna” (Servicio Nacional de Gestión de Riesgos , s.f.)

Bajo este análisis se puede decir que un sistema de alerta temprana (SAT) se puede aplicar a diferentes situaciones en donde se necesita determinar con anticipación medidas para

realizar de manera oportuna una intervención de cualquier índole y resolver un problema, y en este caso, una falla de los equipos compresores.

## 2.6. Protocolos de comunicación

“Existen en la actualidad un amplio número de especificaciones de protocolos de alto nivel para entornos inalámbricos, muchos de ellos basados en el estándar IEEE 802.15.4 (IEEE 802.15, 2014), como es el caso de ZigBee (zigbee, 2016) (Vishwakarma, 2012) o Miwi (Microchip MiWi™ Stack, 2010), que han sido desarrollados para usar en la banda ISM teniendo en cuenta el bajo consumo, la seguridad y un rango de uso por debajo de los 100 metros. Además, son varios los fabricantes que han aportado soluciones similares sobre Bluetooth (Bluetooth, 2014) o Wifi (IEEE 802.11: Wireless LANs, 2014)”. (Sasián, Theron, & Gachet, 2016)

Hoy en día existe una gran variedad de protocolos de comunicación, pero para determinar el adecuado a implementar existen varias condiciones a considerar según la aplicación que se quiera desarrollar, como son:

- Costos del producto
- Alquiler de plataforma
- Licencias de hardware y/o software
- Recursos que se usaran
- Consumo de energía
- Hacia dónde va orientada la aplicación.

Para el desarrollo del proyecto se ha utilizado el protocolo de comunicación I2C.

El protocolo I2C es un protocolo de comunicación prometedor para transferir datos procesados de sensores locales a un solo controlador. El protocolo de comunicación I2C utiliza dos líneas de bus para conectar dispositivos esclavos a un bus que permiten a un dispositivo

maestro hacer ping a los dispositivos esclavos por su dirección particular. (Nguyen & Dugenske, 2018)

## **2.7. Marco Legal**

A continuación, se resaltan los fundamentos legales que sustentan la presente investigación:

### **Constitución de la República del Ecuador**

Art. 326.- El derecho al trabajo se sustenta en los siguientes principios:

Numeral 5. Toda persona tendrá derecho a desarrollar sus labores en un ambiente adecuado y propicio, que garantice su salud, integridad, seguridad, higiene y bienestar.

### **Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021**

El proyecto de investigación se encuentra alineado al Objetivo 5, política 5.6 del Plan Nacional de Desarrollo:

**Objetivo 5:** Impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sustentable de manera redistributiva y solidaria

**Política 5.3.** Promover la investigación, la formación, la capacitación, el desarrollo y la transferencia tecnológica, la innovación y el emprendimiento, la protección de la propiedad intelectual, para impulsar el cambio de la matriz productiva.

### **Plan Estratégico Institucional del MINTEL**

OEI 1: INCREMENTAR LA APROPIACIÓN DE LAS TIC EN LA POBLACIÓN PARA EL DESARROLLO SOCIAL E INCLUSIVO DEL PAÍS

- a) Desarrollar competencias digitales en la población
- b) Potenciar el acceso y asequibilidad a las TIC.
- c) Impulsar el desarrollo de servicios digitales

### **Plan de la Sociedad de la Información y el Conocimiento (2018-2021)**

#### **Programas del Plan**

Proyecto 4. Promoción de uso y apoyo a la formación de profesionales en tecnologías emergentes. El presente proyecto busca impulsar la adopción de tecnologías emergentes que apuntalen el desarrollo de la sociedad de la información y del conocimiento, y difundir las recomendaciones internacionales relacionadas con la implementación de estas nuevas tecnologías, con este proyecto se aborda el objetivo de la Política de: “Apoyar al trabajo conjunto entre academia, sector público y privado para la investigación, innovación y transferencia de conocimiento a través de las Líneas de Investigación que tienen una orientación sobre el impacto social y productivo para la mejora de la matriz productiva del país” y “Fomentar el acercamiento entre la oferta y la demanda del sector TIC, a través de eventos de intercambio de experiencias y mejores prácticas”.

#### **Reglamento de Régimen Académico de la UTN:**

“Art. 3.- Objetivos. - Los objetivos del régimen académico son:

Literal d. articular la formación académica y profesional, la investigación científica, tecnológica y social, y la vinculación con la colectividad en un marco de calidad, innovación y pertinencia.

Literal h. Impulsar el conocimiento de carácter multi, inter y transdisciplinarios en la formación de grado y postgrado, la investigación y la vinculación con la colectividad.

Literal j. Desarrollar la educación superior bajo la perspectiva del bien público social, aportando a la democratización del conocimiento para la garantía de derechos y la reducción de inequidades.”

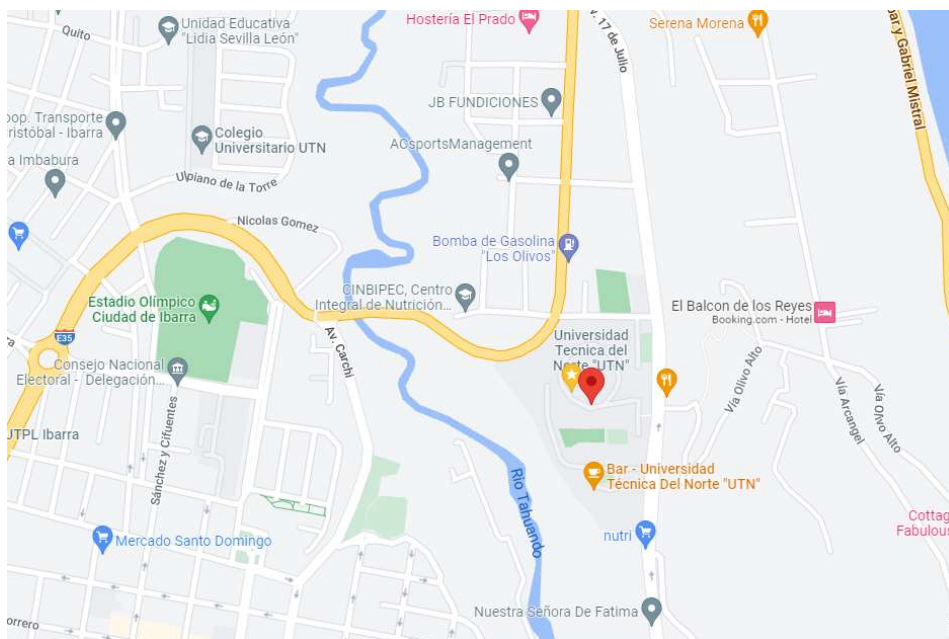
## Capítulo III: Marco Metodológico

### 3.1 Descripción del área de estudio/Grupo de estudio

El estudio se llevó a cabo en los laboratorios de Ingeniería en Mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte, ubicados en el campus El Olivo, concretamente en la Av. 17 de Julio 5-21 y General José María Córdova, en el edificio de Idiomas (CAI), primera planta. En el área de Mecatrónica, la Universidad cuenta con laboratorios de altas prestaciones, está dividido en seis 5 sub-laboratorios de alta tecnología, de los cuales tres de ellos utilizan aire comprimido para su funcionamiento.

#### Figura 2

Mapa de localización de la Universidad Técnica del Norte



Nota. Figura tomada de Google maps.

### 3.2 Enfoque y tipo de investigación

Para el desarrollo de esta investigación se seleccionó el enfoque ingenieril, eso implicó identificar y formular el problema, en el caso particular de esta investigación no existía un método que alerte cuando el compresor estaba por llegar a cumplir sus parámetros que requieren una intervención de mantenimiento preventivo, luego de que se formuló el problema, se analizó y se buscó las posibles alternativas que llevaron a solucionar esta problemática. De

las alternativas tomadas para ello, se hizo una evaluación y se determinó la opción ideal para la implementación. Posterior a esto se realizó una especificación de la solución escogida, determinando el alcance que puede tener a la industria.

El trabajo desarrollado se trata de una investigación aplicada, ya que tiene como fin brindar una solución especializada, para mejorar los tiempos de respuesta en la detección de fallas en el compresor de pistón de los laboratorios de Mecatrónica de la UTN. Además, los resultados de esta investigación pueden ser implementados en otros espacios, en donde se encuentren equipos compresores, y elevarlos al uso industrial.

Los métodos implementados, en esta investigación, corresponden a la investigación descriptiva ya que se revisaron parámetros de la caracterización de componentes y se establecieron lineamientos para el mantenimiento para el compresor.

También se abordaron partes de la investigación documental ya que se revisaron aspectos que se refieren a los sistemas de monitoreo, sistemas de alerta y sistemas de comunicación remota.

Se realizó investigación de campo para tomar datos del equipo y formar una base de datos tanto de los parámetros del compresor como una base gráfica.

Por último, se hizo uso de la investigación experimental ya que se realizaron pruebas de funcionamiento y puesta en marcha del dispositivo.

### **3.3 Diseño de la investigación**

**Fase 1:** Se identificó el proceso asociado al mantenimiento preventivo de compresores, específicamente de tornillo y las fallas que pueden ocurrir en los mismos.

#### **Actividad 1 “Determinación del mantenimiento preventivo de máquinas”**

Se determinaron los tipos de mantenimiento requeridos por las máquinas, haciendo énfasis en el mantenimiento preventivo de las mismas de tal forma que describieran los parámetros que conlleva este tipo de mantenimiento, sus función y utilidad.



**Actividad 2 “Investigación del funcionamiento del compresor”**

Se investigó sobre el funcionamiento del compresor de gama media, eficacia y eficiencia que tiene y su utilidad en la industria.

**Actividad 3 “Evaluación de los tipos de fallas que ocurren generalmente en los compresores”**

Se evaluaron las fallas que presentan los compresores, determinando las fallas recurrentes, soluciones para evitar las fallas y las variables que intervienen.

**Actividad 4 “Estudio sobre la industria 4.0”**

Se hizo un estudio y/o análisis de la industria 4.0 y su utilidad en la industrialización de procesos, su influencia en el aumento del rendimiento de las empresas y la utilidad de la migración de sistemas convencionales a la misma.

**Actividad 5 “Investigación de sistemas de monitorización”**

Se recopiló información sobre los sistemas de monitoreo para determinación de fallas.

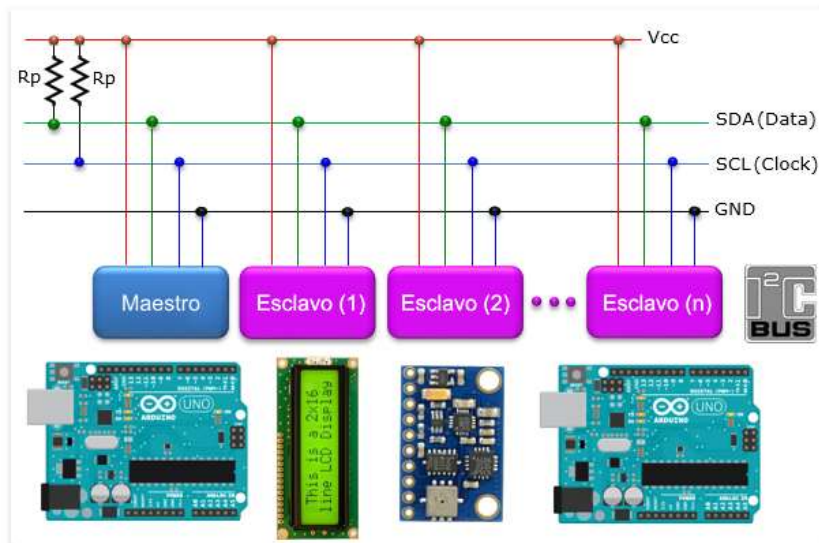
**Actividad 6 “Investigación acerca de los sistemas de alerta o alarma”**

Se investigó sobre los sistemas de alerta temprana para notificar fallas.

**Actividad 7 “Determinación del tipo de comunicación a implementar”**

Se analizaron los diferentes métodos de comunicación y se determinó el óptimo a utilizar para el sistema, para lo cual se escogió el protocolo de comunicación I2C que es el más utilizado para la toma de datos de sensores, además de ser de los más versátiles y fáciles de usar, ya que puede recopilar información de varios de estos donde cada uno tiene un código único llevado por 4 cables, es utilizado de sobremanera en monitoreo de atención médica, observación ambiental y procesamiento de imágenes. (Nguyen V, Dugenske A).

**Figura 3**  
Representación de protocolo de comunicación I2C



Nota. tomado de (<https://robots-argentina.com.ar/didactica/descripcion-y-funcionamiento-del-bus-i2c/>)

**Fase 2:** Se diseñó el sistema de monitorización y alerta temprana del compresor.

### Actividad 1 “Selección de la tarjeta de adquisición de datos”

Para el desarrollo del proyecto se seleccionó dos tarjetas de adquisición de datos, debido a que su costo es bajo y además dentro de los parámetros que se necesita se ajustan completamente a las necesidades. Estas tarjetas son:

**ESP32 DEVKIT V1.** Es una tarjeta de desarrollo que permite el control de varios tipos de sensores y actuadores, es compatible con el shield de Arduino, tiene 30 pines y está dotada de comunicación WIFI y Bluetooth para sus funciones IoT, es económica y más potente que su antecesora (ESP8266). (UNIT Electronics, 2022)

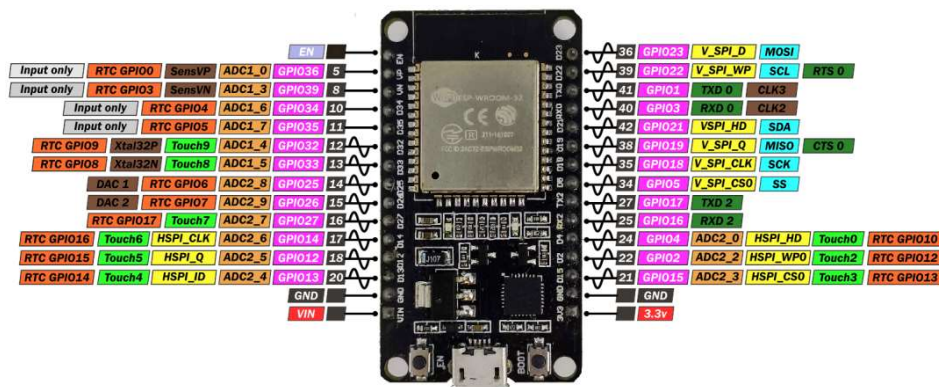
#### Características destacadas:

- Procesador DUAL CORE de 32 bits LX6 (160 a 240 MHz)
- Convertidor Analógico a digital ADC y viceversa DAC.
- Posee PWM
- Compatible con Arduino IDE y MicroPython

- ROM de 448KB
- SRAM de 520 KB
- Bluetooth BLE (Baja energía) y clásico
- WiFi con velocidad de transferencia de datos de 150 Mbps con HT40.

**Figura 4**

*Esquema de la tarjeta ESP32 DEVKIT v1*



Nota: tomado de (<https://www.snapeda.com/parts/ESP32-DEVKIT-V1/Do%20it/datasheet/>)

Esta tarjeta es usada para recibir las señales del Arduino Uno para procesarlas y enviarlas a la aplicación del celular.

**ARDUINO UNO.** Es una placa basada en software libre operada sobre el microcontrolador ATmega328P, cuenta con 14 pines, interfaces de entrada para conectar los periféricos e interfaz de salida para enviar la información procesada a otros periféricos, es por ello que esta tarjeta está funcionando como DAQ (tarjeta de adquisición de datos). (Arduino CC, 2022)

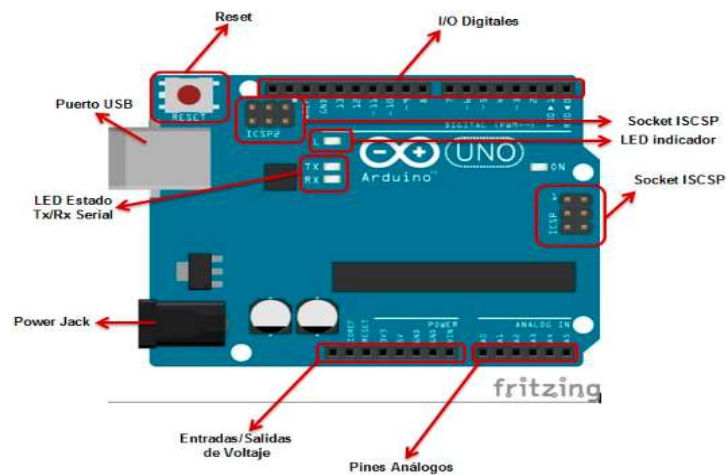
Características destacadas:

- Voltaje de operación: 5V
- 14 pines de entrada y salida digitales
- 6 pines de salida PWM
- SRAM: 2KB

- EEPROM: 1KB
- Reloj de 16MHz
- ROM: 32KB
- Soporta de 7 a 12V

**Figura 5**

*Diagrama de la placa Arduino Uno*



Nota: Tomado de (<https://pluselectric.wordpress.com/2014/09/21/arduino-uno-especificaciones-y-caracteristicas/>)

Esta tarjeta recopila la información de los sensores, los procesa y los envía al ESP32.

## Actividad 2 “Selección de los sensores a utilizar”

Se determinaron los sensores que captan las señales o parámetros a monitorear.

Una vez que se determinaron las variables a analizar, se escogió los sensores que se ajusten más detalladamente al monitoreo del sistema y que guardan una relación buena con respecto al valor monetario de los mismos para hacer el sistema funcional y de bajo costo.

Los sensores son los siguientes:

**SCT- 013.** Es un sensor de corriente no invasivo que permite medir rangos de corriente que van desde los 0 a los 30 amperios, es un sensor de núcleo partido por el cual solo debe atravesar una línea de corriente, la resistencia interna que posee hace que se entregue en la

salida un voltaje que se representa como 1V es equivalente a 30 A. De ahí que para estabilizarlo se utilizó el módulo conversor ADS1115 para tratar estas señales analógicas y convertirlas a señales digitales. (UNIT Electronics, 2022)

**Figura 6**  
*Sensor SCT013 de 30A/1V*



Nota: tomado de (<https://www.yhdc.com>)

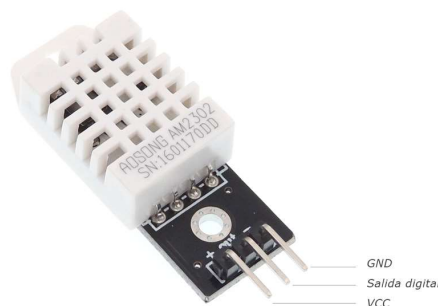
**PT100.** Es un sensor de temperatura ideal para contacto con la superficie a tomar lecturas, es un sensor de temperatura por resistencia o RTD (Resistance Temperature Detector), puede trabajar a altas temperaturas alcanzando los 400 grados centígrados, el funcionamiento apropiado para tener buenas lecturas en la variación de la resistencia térmica es utilizar un módulo MAX31865 que es un conversor análogo digital propio para medir las señales analógicas de los sensores PT100 y convertirlas en señales digitales. (Naylamp Mechatronics SAC, 2021)

**Figura 7**  
*Sensor PT100 y Max 31865*



**DHT22.** Es un sensor de temperatura y humedad relativa, lo conforman un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire que circula a su alrededor, este se utilizó en el proyecto para medir la humedad y temperatura del cuarto en donde opera el compresor además de que es un periférico de bajo costo y muy fiable debido a que viene calibrado de fábrica para tener estabilidad y fiabilidad durante su uso, se implementa con facilidad en el shield de Arduino gracias a las librerías desarrolladas para el mismo. (Naylamp Mechatronics SAC, 2021)

**Figura 8**  
*Sensor DHT22*



Nota: la figura fue elaborada por el autor

**Tiempo.** Se implementó un reloj al sistema para poder controlar el tiempo de funcionamiento que tiene el compresor ya que uno de los problemas que se suelen generar es en el mantenimiento correspondiente al cambio de aceite lubricante, este contador mostrará el tiempo de operatividad del compresor arrojando una alarma cuando se cumplan las horas de trabajo y sea necesario y cambio de lubricante que recomiende la casa fabricante.

### **Actividad 3 “Desarrollo de la app para el monitoreo”**

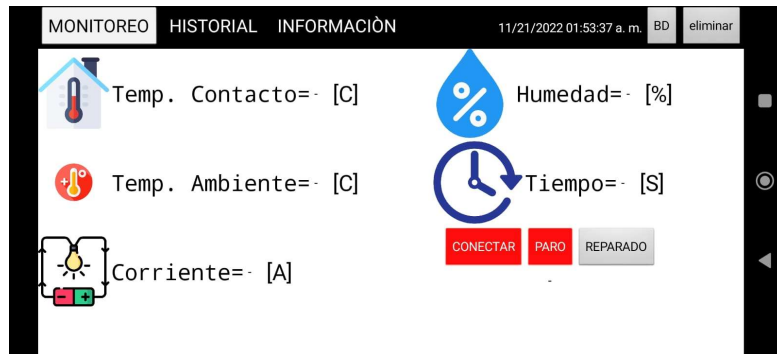
Se desarrolló la aplicación para el sistema móvil Android mediante software libre.

Se desarrolló la aplicación móvil mediante el aplicativo web MIT AppInventor, es gratuita y de fácil programación ya que utiliza bloques de código que pueden combinarse o

agruparse para ir creando la aplicación que puede ser para plataforma Android o IOS, para el presente trabajo se desarrolló como aplicación Android.

**Figura 9**

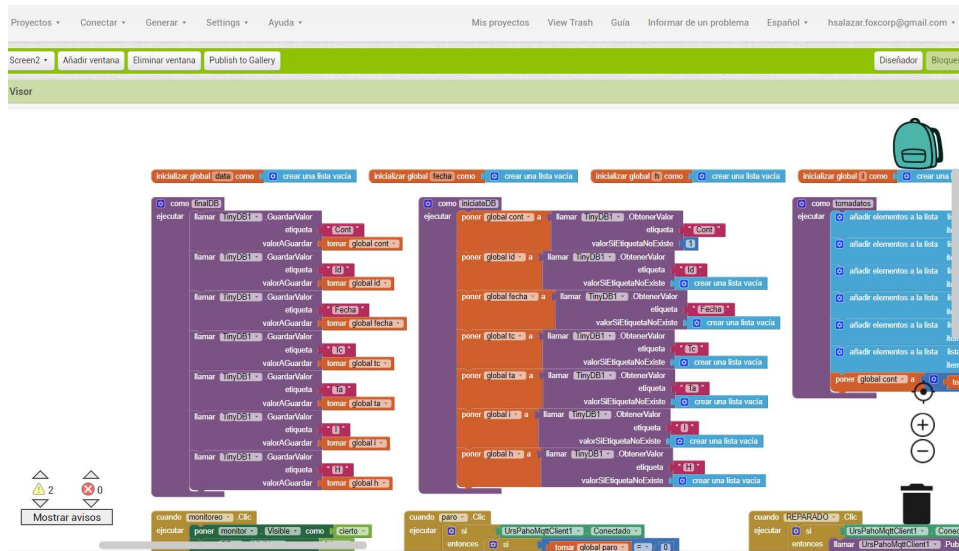
*Aplicación Android de sistema de monitoreo*



Nota: la figura fue elaborada por el autor

**Figura 10**

*Modelo de programación del código de bloques del sistema de monitoreo.*



Nota: la figura fue elaborada por el autor

**Fase 3:** Se realizaron pruebas de funcionamiento con el compresor.

### **Actividad 1 “Montaje y calibración el dispositivo en el compresor”**

Se instaló el sistema en el compresor y se realizó la calibración para el funcionamiento.

## Actividad 2 “Determinación de los parámetros de funcionamiento”

Se determinaron los parámetros que indican la operación en óptimas condiciones, así como la presencia de fallas en el compresor.

Los parámetros generales para un óptimo funcionamiento de un compresor son los siguientes:

**Tabla 3**  
*Parámetros de funcionamiento*

PARAMETRO	OPERATIVIDAD	OBSERVACION
Temperatura ambiente	Entre 5°C y 30°C Máximo 45°	Es la temperatura que se deberá tener en el cuarto de máquinas donde se encuentren los compresores para un óptimo desempeño y evitar problemas con el performance.
Humedad relativa	Entre 40 y 70%	Es el rango de humedad relativa aceptable que puede existir en un entorno de trabajo con maquinarias, por encima de estos valores ya se considera la humedad como excesiva y puede dañar los equipos compresores y maquina en general.
Temperatura del motor y/o cabezal	Máximo 90°C	Si un motor funciona con la temperatura por encima del máximo permitido, puede causar daños a la máquina o reducir la vida útil del equipo.
Vida útil del lubricante	25 horas	Se determina este tiempo para realizar el cambio del aceite en el cabezal del compresor.
Corriente	Entre 3.8 y 6.7 Amp para compresores de 1 a 5HP	Valores por encima de estos parámetros pueden significar un sobreesfuerzo del motor o variaciones en el sistema eléctrico.



### **Actividad 3 “Inserción de fallas a la lectura de los sensores en el compresor para probar el funcionamiento”**

Se determinó el correcto funcionamiento introduciendo fallas o alarmas al sistema y se comprobó que el mismo funciona adecuadamente.

### **Actividad 4 “Toma de datos y generar tablas de resultados”**

Se tomaron datos, se hacen tablas comparativas y se generan resultados.

### **Fase 4: Implementación definitiva del sistema en el compresor del laboratorio”**

#### **Actividad 1 “Instalación el sistema en el compresor”**

En esta fase se instaló el dispositivo de una manera definitiva para su continuo funcionamiento.

#### **Actividad 2 “Socialización de la app para el monitoreo”**

Se facilita la app al personal de los laboratorios y se enseñó su funcionamiento.

#### **Actividad 3 “Conclusiones y recomendaciones”**

Se llevó a cabo un análisis del funcionamiento del dispositivo determinando su eficacia y escalabilidad, elaborando las conclusiones y las recomendaciones.

### **3.4 Consideraciones ambientales y bioéticas**

Desde el punto de vista ambiental, el sistema de monitoreo y alerta temprana para los compresores del Laboratorio de Mecatrónica de la UTN se diseñó considerando el artículo 8 del Código Orgánico del Ambiente. En este contexto el sistema no causará impacto negativo contra el medio ambiente, toda vez que no es contaminante, se alimenta de energía que proviene de la red eléctrica nacional, y además tiene un impacto positivo ya que, al poder monitorear el equipo compresor, se optimiza el mantenimiento de este y los lubricantes son tratados a tiempo para que no lleguen a degradarse y contaminar el medio ambiente. El ruido se podrá mantener a niveles de decibeles permitidos al realizar el mantenimiento de bandas, rodamientos, entre otros.

Específicamente, el artículo 8 del Código Orgánico del Ambiente en su inciso 2 manifiesta: *“Mejor tecnología disponible y mejores prácticas ambientales. El Estado deberá promover en los sectores público y privado, el desarrollo y uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto, que minimicen en todas las fases de una actividad productiva, los riesgos de daños sobre el ambiente, y los costos del tratamiento y disposición de sus desechos. Deberá también promover la implementación de mejores prácticas en el diseño, producción, intercambio y consumo sostenible de bienes y servicios, con el fin de evitar o reducir la contaminación y optimizar el uso del recurso natural”*.

## **Capítulo IV: Resultados**

### **4.1. Especificaciones del sistema de monitoreo que se va a diseñar**

El sistema de monitoreo y alerta temprana para que sea funcional y viable debe contener los parámetros descritos a continuación.

- Se debe poder encender el compresor con el módulo.
- Se puede apagar o activar el compresor con la aplicación Android.
- Debe mostrar los valores de temperatura ambiente, humedad relativa, corriente, temperatura al contacto y tiempo de funcionamiento en horas en la pantalla LCD del módulo como en la aplicación Android.
- Si los valores de las variables sobrepasan los seteados en el sistema, el equipo debe apagarse de manera automática.
- Los parámetros deben ser configurables.
- La fabricación debe ser de bajo costo, no mayor a los 1000 USD.

### **4.2. Resultados y análisis**

Para resolver la necesidad de los laboratorios que funcionan con sistemas neumáticos, se utilizó un compresor para realizar las pruebas sobre el cual se diseñó el sistema, se determinó los componentes, se verificaron variables para monitorear, se diseñó el modelo de funcionamiento y se seleccionó el hardware a utilizar, una vez ensamblado el dispositivo, se realizaron pruebas de funcionamiento para verificar el cumplimiento de las especificaciones del sistema de monitoreo y alerta temprana.

#### **4.2.1. Control del encendido y apagado del compresor.**

El sistema puede encenderse y apagarse con la aplicación una vez que este energizado y conectado a internet, posee un contactor y un guarda motor para protección del compresor, el paro de emergencia anclado al tablero y el switch que apaga el sistema.

**Tabla 4**

*Tiempo de respuesta al encendido y apagado del compresor*

Operación	Tiempo de respuesta
Switch	inmediato
Paro de emergencia	inmediato
App Android	0.5s – 1s

**Figura 11**

*Contactor con guardamotor y fusibles para protección*

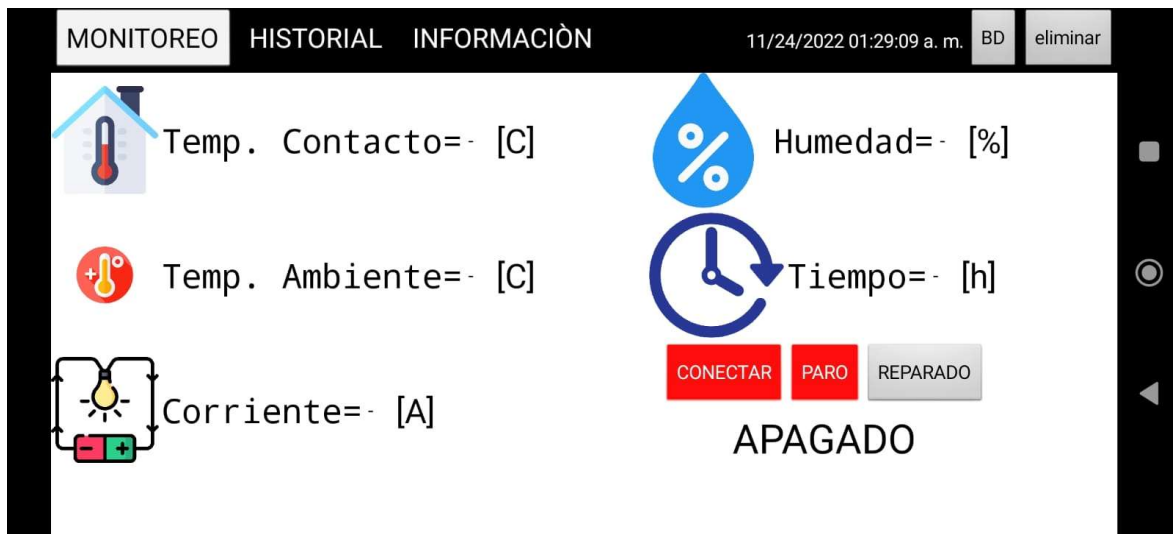
**Figura 12**

*Switch de poder del sistema}*



**Figura 13**

*Botón de Paro y encendido en la Aplicación Android*

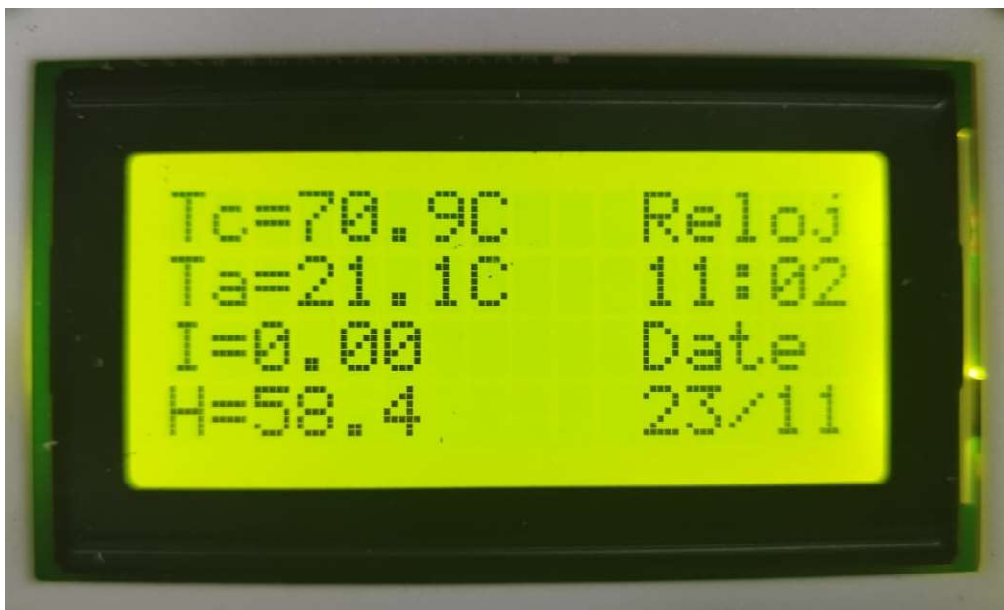


### Lectura de sensores en pantalla display y App

Se utilizó una pantalla LED para indicar los valores de la lectura de los sensores directamente en el gabinete para operar el dispositivo presencialmente. Se refleja datos tomados en una de las pruebas de funcionamiento.

**Figura 14**

*Display con lectura de datos en tiempo real*

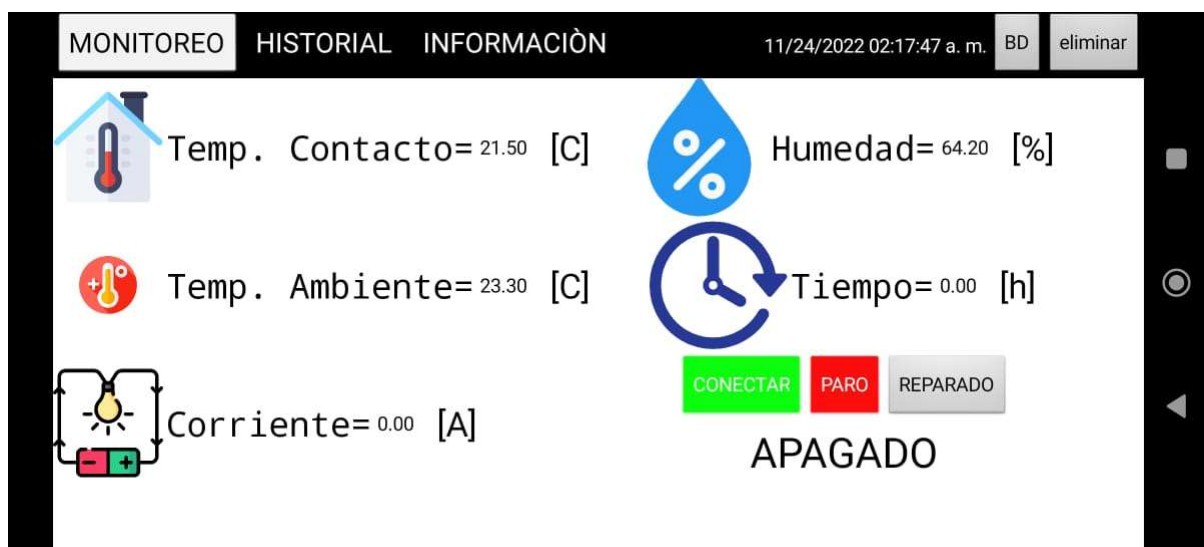


Se aprecia en el dispositivo variables de lectura las que detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 5**  
*Variables de sensores visibles en display*

Variable	Detalle
Tc	Temperatura de contacto
Ta	Temperatura Ambiente
I	Corriente de operación
H	Humedad relativa

**Figura 15**  
*Aplicación Android con datos en tiempo real*



### Configuración de límites de las variables

Los límites de las variables según la tabla 3, se los puede configurar en el código desarrollado en el shield de Arduino, tal como indica la figura 16.

**Figura 16***Determinación de límites en Arduino*

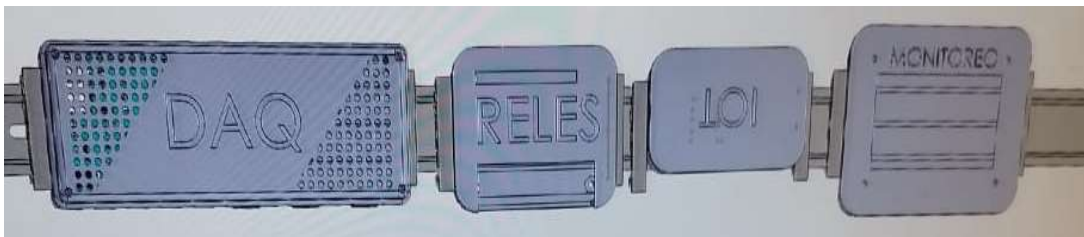
```

79
80 ///////////////////////////////////////////////////
81 //LIMITES////////////////////////////////////
82 ///////////////////////////////////////////////////
83 int templim = 91; // temperatura limite de contacto
84 int clim = 6.8; // corriente limite de operación
85 int hlim = 71; // humedad relativa limite
86 int talim = 45; // temperatura ambiente limite
87 int numalert = 25; // numero de alerta para horas
88

```

**Diseño e impresión de las carcasas de protección.**

Para resguardar las tarjetas de adquisición de datos, así como los módulos de conversión analógico / digital, del polvo o agentes extraños, se diseñó cajas de protección para ser fabricadas en impresión 3D.

**Figura 17***Carcasas diseñadas en Solidworks.***Figura 18***Tablero de control terminado*

## Funcionamiento.

Al encender el Switch, el sistema se energiza, alimenta las bobinas de contactor y permite el paso de corriente, el compresor si no tiene alguna restricción va a arrancar, también se encienden los sistemas adquisición y transmisión de datos.

Cuando una de las variables sobrepasa el umbral de seguridad establecido según la figura 15, este automáticamente corta la energía hacia la bobina de contacto y el compresor se apaga, también puede ser detenido por paro de emergencia o a su vez por el botón de la aplicación.

Las variables se muestran en la pantalla según vaya sensando el equipo compresor, estas fueron recogidas por la placa Arduino uno, la misma que hace las funciones de DAQ, las señales son tratadas y enviadas a la tarjeta ESP32, la misma que por su versatilidad funciona para plataformas IOT, está conectada a internet y envía datos a la aplicación que se desarrolló en la app Android.

**Tabla 6**

*Toma de muestras de los sensores en funcionamiento normal*

<b>Variable</b>	<b>17/11/2022</b>	<b>19/11/2022</b>	<b>20/11/2022</b>
<b>Temp. Ambiente</b>	24°C	28°C	25°C
<b>Temp. Contacto</b>	38°C	40°C	38°C
<b>Humedad relativa</b>	55%	52%	54%
<b>corriente</b>	3.4 A	3.2 A	3.4 A
<b>Horas de uso</b>	2	4	5



**Tabla 7**

Toma de muestras de los sensores con inserción de fallas.

<b>Variable</b>	<b>17/11/2022</b>	<b>19/11/2022</b>	<b>Comportamiento del equipo</b>	<b>Manipulación de variable</b>
<b>Temp. Ambiente</b>	50°C	47°C	Equipo detenido	Calentamiento de sensor dht22 por medios físicos
<b>Temp. Contacto</b>	103°C	108°C	Equipo detenido	Se calentó el sensor termocupla por medios físicos
<b>Humedad relativa</b>	71%	89%	Equipo detenido	Se introdujo humedad por medio de vapor al sensor dht22
<b>corriente</b>	3.4 A	3.2 A	Equipo detenido	Se configuro un parámetro mínimo de corriente (1Amp) para probar esta variable.
<b>Minutos de uso</b>	5	5	Equipo detenido	El equipo es configurable en varias variables de tiempo, se configuro por 5 minutos.

Para probar el funcionamiento del equipo, se insertó las fallas manualmente, el equipo respondió de manera óptima conforme a lo esperado, todas las variables se pueden configurar en función de las necesidad, cuando se presenta una falla, se debe aplicar el paro de emergencia del equipo para solucionar el problema que se presente, mientras se soluciona el error, el equipo se mantiene bloqueado tanto desde el tablero como desde la aplicación celular, garantizando así que se realice de manera oportuna el mantenimiento necesario.

Bajo estos parámetros el sistema cumple con los requerimientos iniciales.

## CONCLUSIONES

- Los compresores son equipos muy útiles para la industria, un fallo en su funcionamiento puede provocar grandes pérdidas en una planta de producción, es por ello que es sumamente necesario un sistema de monitoreo y alerta temprana para ayudar a los operadores a determinar los mantenimientos que se les debe realizar.
- Por las pruebas de funcionamiento realizadas, el sistema demostró ser muy versátil ya que no solo puede servir para ser adaptado a equipos compresores, toda vez que con la correcta reconfiguración de parámetros se puede adaptar a otros equipos del laboratorio como son taladros de pedestal, torno, máquinas de corte o maquinarias a los que se les realiza el mantenimiento preventivo y correctivo alargando la vida útil de los equipos y generando ahorro económico para la Institución al evitar el reemplazo de los mismos.
- El sistema es de fácil implementación debido a que sus sensores no son invasivos, no requiere la manipulación constante del operario debido a la tecnología IoT, con esto se garantiza la seguridad del personal.
- La respuesta a fallas o alertas es de manera inmediata, oscila entre 14ms a 1segundo, esto tomando en cuenta la respuesta de un contactor y la estabilidad y velocidad del internet, logrando así salvaguardar la integridad del equipo y a su vez permite la aplicación del respectivo mantenimiento.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar un sistema de monitoreo para cada equipo compresor que sea de propiedad de la institución, ayudara a mantener en óptimas condiciones los mismos agilizando estos procesos, librando al operador de ejecutar estas tareas frecuentemente.
- Se recomienda utilizar las nuevas tecnológicas para tecnificar no solo estos procesos, el IoT está demostrando ser de gran ayuda para procesos de manipulación remota, monitorización, está en la vida diaria haciendo de gran importancia contar con internet de excelente calidad.

## REFERENCIAS

- Alhilman, J., Dwi Atmaji, F. T., & Athari, N. (2017). Software Application for Maintenance System. *IEEE*, 6.
- Arduino CC. (22 de 11 de 2022). *docs.arduino.cc*. Obtenido de docs.arduino.cc:  
<https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf>
- Bassi, L. (2017). Industry 4.0: hope, hype or revolution? *IEEE*, 5.
- Bhakhra, S. (14 de junio de 2019). *GeeksforGeeks*. Obtenido de www.geeksforgeeks.org:  
<https://www.geeksforgeeks.org/cray-t3e-architecture/>
- Campuzano Cervantes , J. (2017). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO REMOTO DEL DESPLAZAMIENTO DE LOS TUBOS DE EXTENSIÓN DE UNA JUNTA EXPANSIVA PARA TUBERÍA TRANSPORTADORA DE HIDROCARBUROS*.  
 Barranquilla: UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC.
- Charte, F. (s.f.). <https://fcharte.com/>. Obtenido de <https://fcharte.com/>:  
[https://fcharte.com/tutoriales/0000\\_programacionyparalelismo/](https://fcharte.com/tutoriales/0000_programacionyparalelismo/)
- Chicago Pheumatic. (28 de octubre de 2020). *compressors.cp.com*. Obtenido de Chicago Pheumatic: <https://compressors.cp.com/es-latinamerica/expert-corner/blog/que-es-un-compresor-de-aire>
- Chicago Pneumatic. (10 de noviembre de 2020). *compressors.cp.com*. Obtenido de Chicago Pneumatic: <https://compressors.cp.com/es-latinamerica/expert-corner/blog/partes-de-un-compresor-de-piston>
- Chicago Pneumatic. (2021). *compressors.cp.com*. Obtenido de Chicago Pneumatic:  
<https://compressors.cp.com/es-latinamerica/products/compresor-de-aire/compresor-de-tornillo/aprenda-mas-sobre-compresores-de-tornillo/partes-de-un-compresor-de-tornillo>

- Constitucional., P. (10 de diciembre de 2019). Decreto Ejecutivo Nro. 945. *Decreto Ejecutivo Nro. 945*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- De Melo, P. S., & Godoy, E. P. (01 de junio de 2019). Controller Interface for Industry 4.0 based on RAMI 4.0 and OPC UA. Brasil: UNESP.
- Del Giorgio, R. H., & Mon, A. (2018). Niveles de productos software en la industria 4.0. *Universidad de Huelva*, 10.
- Greene, R. W. (1992). *Compresores*. MCGRAW-HILL; 1ª edición.
- Greene, R. W. (1998). *GUIA PARA EL USO DE COMPRESORES Y VENTILADORES*. México: McGraw-Hill.
- Marcon, P., Jirsa, J., Venkrbec, L., Zezulka, F., & Benesl, T. (2022). An Experimental Training Production Line to Demonstrate the Basics of Industry 4.0. *ScienceDirect*, 6.
- Naylamp Mechatronics SAC. (2021). *naylampmechatronics.com*. Obtenido de [naylampmechatronics.com: https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/174-sensor-de-temperatura-rtd-pt100-2-hilos.html](https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/174-sensor-de-temperatura-rtd-pt100-2-hilos.html)
- Naylamp Mechatronics SAC. (2021). *naylampmechatronics.com*. Obtenido de [naylampmechatronics.com: https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/58-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht22-am2302.html](https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/58-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht22-am2302.html)
- Nguyen, D., & Bagajewicz, M. (2008). Optimization of preventive maintenance scheduling in processing plants. *Science Direct*, 6.
- Nguyen, V., & Dugenske, A. (2018). An I2C based architecture for monitoring legacy manufacturing equipment. *Science Direct*, 3.
- QuimiNet. (s.f.). *QuimiNet*. Obtenido de <https://www.quiminet.com/>: <https://www.quiminet.com/articulos/la-importancia-de-contar-con-un-compresor-en-la-industria-2812489.htm>

- Quinteros, C., Razzo, J., Solórzano, M., & Rubio, G. (2009). Análisis y Diseño de un modelo experimental de Mantenimiento Centrado en la confiabilidad para el Sector Industrial. *Revista Tecnológica MCC*, 7.
- Santos, L., Benitez, G. B., & Ayala, N. F. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *Elsevier*, 12.
- Sasián, F., Theron, R., & Gachet, D. (2016). Protocolo para comunicación inalámbrica en instalaciones de energías renovables. *Elsevier*, 12.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo - Senplades. (2017). Plan Nacional para el Buen Vivir 2017-2021. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, Senplades. (2017). *Plan Nacional para el Buen Vivir 2017-2021*. Quito.
- Senplades. (2017). *Plan Nacional para el Buen Vivir 2017-2021*. Quito.
- Servicio Nacional de Gestión de Riesgos . (s.f.). *Servicio Nacional de Gestión de Riesgos* .  
Obtenido de [www.gestionderiesgos.gob.ec](http://www.gestionderiesgos.gob.ec): <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/>
- UNIT Electronics. (2022). *uelectronics.com*. Obtenido de [uelectronics.com](http://uelectronics.com):  
<https://uelectronics.com/producto/devkitv1-esp32-modulo-wifi-bluetooth-esp32-arduino/>
- UNIT Electronics. (2022). *uelectronics.com*. Obtenido de [uelectronics.com](http://uelectronics.com):  
<https://uelectronics.com/producto/sensor-de-corriente-sct-013-000-100a-50ma/>
- Vidal, F. (18 de 05 de 2021). *www.stelorder.com*. Obtenido de Stel Order:  
<https://www.stelorder.com/blog/mantenimiento-preventivo/>
- Xun, X., Lu, Y., Vogel-Heus, B., & Wang, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0—  
Inception, conception and perception. *Science Direct*, 6.
- Ye, X., Ho Hong, S., Seok Song, W., & Chul Kim, Y. (2021). Estos CPS, que están interconectados en términos de información, proporcionan los componentes

inteligentes de las futuras fábricas inteligentes, en las que los departamentos de producción pueden organizarse y volverse independientes y plenamente competentes.

*IEEE*, 12.

Zarezadeh, S., & Asadi, M. (2018). Coherent systems subject to multiple shocks with applications to preventative maintenance. *ELSEIVER*, 9.

## ANEXOS

### Anexo 1. Código para la adquisición de datos.

```

#include <WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
#include <Separador.h>
#include <Wire.h>

//WIFICONFIG
const char* ssid = "xxxxxxx"; //colocar SSID
const char* password = "xxxxxxx"; //colocar password de SSID
WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);
//VARIABLES A TRANSMITIR
float tempt;
float I;
float T;
float H;
int alertnum = 0;
float tiemp;
String PT100;
// CONEXION MQTT CON HIVEMQ
const char *SERVIDOR = "broker.hivemq.com";
const char *USUARIO = "";
const char *CLAVE = "";
const char *TOPIC_SUB = "SUB";
const char *TOPIC_PUB = "PUB";
const int PUERTO = 1883;
//VARIABLES DE MENSAJE
char MENSS[100];
char sms[50];
//VARIABLES DE DATOS A COMUNICAR
String ts;
char a;
boolean TransmisionCompleta = false;
//BUCLES
void callback(char* topic, byte* payload, unsigned int length);
void reconnect();
void setup_wifi();
//RELE
int pin_led = 26;
int pin_led2 = 25;
//SEPARADOR

```



```

Separador sep;
define RXD2 16
#define TXD2 17
int n = 0;
void setup()
{
  // Note the format for setting a serial port is as follows: Serial2.begin(baud-rate, protocol,
  RX pin, TX pin);
  Serial.begin(115200);
  //Serial1.begin(9600, SERIAL_8N1, RXD2, TXD2);
  Serial2.begin(115200, SERIAL_8N1, RXD2, TXD2);
  Serial.println("Serial Txd is on pin: " + String(TX));
  Serial.println("Serial Rxd is on pin: " + String(RX));
  setup_wifi();
  client.setServer(SERVIDOR, PUERTO);
  client.setCallback(callback);
  pinMode(pin_led, OUTPUT);
  pinMode(pin_led2, OUTPUT);
}
void setup_wifi()
{
  delay(10);
  // Nos conectamos a nuestra red Wifi
  Serial.println();
  //Serial.print("Conectando a ssid: ");
  //Serial.println(ssid);
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
  {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println("");
  Serial.println("Conectado a red WiFi!");
  Serial.println("Dirección IP: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
}
void reconnect() {
  while (!client.connected()) {
    Serial.print("Intentando conexión Mqtt...");
    // Creamos un cliente ID
    String clientId = "TEST";
    clientId += String(random(0xffff), HEX);
    // Intentamos conectar

```

```

if (client.connect(clientId.c_str(), USUARIO, CLAVE)) {
  Serial.println("Conectado!");
  // Nos suscribimos
  if (client.subscribe(TOPIC_SUB)) {
    Serial.println("Suscripcion ok");
  } else {
    Serial.println("fallo Suscripción");
  }
} else {
  Serial.print("falló :( con error -> ");
  Serial.print(client.state());
  Serial.println(" Intentamos de nuevo en 5 segundos");
  delay(5000);
}
}
}
}
//*****
//***   CALLBACK   ***
//*****
void callback(char* topic, byte * payload, unsigned int length)
{
  String incoming = "";
  Serial.print("Mensaje recibido desde -> ");
  Serial.print(topic);
  Serial.println("");
  for (int i = 0; i < length; i++) {
    incoming += (char)payload[i];
  }
  incoming.trim();
  Serial.println("Mensaje -> " + incoming);
  if (incoming == "ON")
  {
    Serial.println("Activa compresor");
    digitalWrite(pin_led, HIGH);
    digitalWrite(pin_led2, HIGH);
  }
  if (incoming == "OFF")
  {
    Serial.println("Desactiva compresor");
    digitalWrite(pin_led, LOW);
    digitalWrite(pin_led2, LOW);
  }
  if (incoming == "REPARADO")
  {

```

```

    Serial.println("Activa compresor");
    Serial2.println("a");
  }
}
void loop()
{
  serialEvent();
  String valor1 = sep.separa(ts, '-', 0);
  tempt = valor1.toFloat();
  //Serial.println(tempt);
  String valor2 = sep.separa(ts, '-', 1);
  I = valor2.toFloat();
  //Serial.println(flujo);
  String valor3 = sep.separa(ts, '-', 2);
  T = valor3.toFloat();
  //Serial.println(T);
  String valor4 = sep.separa(ts, '-', 3);
  H = valor4.toFloat();
  //Serial.println(flujo);
  String valor5 = sep.separa(ts, '-', 4);
  tiemp = valor5.toFloat();
  String valor6 = sep.separa(ts, '-', 5);
  alertnum = valor6.toInt();
  //Serial.println(flujo);
  if (TransmisionCompleta)
  {
    ts = "";
    TransmisionCompleta = false;
  }
  if (!client.connected()) {
    reconnect();
  }
  if (client.connected())
  {
    String s = ",";
    String str = tempt + s + I + s + T + s + H + s + tiemp + s + alertnum;
    str.toCharArray(sms, 50);
    client.publish(TOPIC_PUB, sms);
    //Serial.print("res -> ");
    delay(300);
    if (alertnum == 1)
    {
      digitalWrite(pin_led, LOW);
      digitalWrite(pin_led2, LOW);
    }
  }
}

```

```

    }
  }
  client.loop();
}
void serialEvent() {
  while (Serial2.available())
  {
    char b = Serial2.read();
    //Serial.print(a);
    ts += b;
    //n++;
    if (b == '\n')
    {
      TransmisionCompleta = true;
    }
  }
  //Serial.println(ts);
  delay(1000);
}

```

Anexo 2. Codigo para la Adquisición de datos del arduino

```

#include "DHT.h"
#include <Adafruit_MAX31865.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <EEPROM.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include "RTClib.h"

SoftwareSerial IOT(10, 11); // RX | TX
////////////////////////////////////
////////ALARMAS////
////////////////////////////////////
int alarma = 0;
////////////////////////////////////
////RELOJ////
////////////////////////////////////
RTC_DS3231 rtc;
int ano = 0;
int mes = 0;
int dia = 0;
int hora = 0;
int minu = 0;
int seg = 0;
int antiguo = 0;

```

```

int tlim = 10;
int test = minu;
////////////////////////////////////
///

```

```

int clim = 6.8; // corriente limite de operaci3n
int hlim = 71; // humedad relativa limite
int talim = 45; // temeratura ambiente limite
int numalert = 25; // numero de alerta para horas
void setup()
{
  //BAUDIAJE DE COMUNICACION
  Serial.begin(9600);
  IOT.begin(115200);
  Wire.begin();
  rtc.begin();
  //Paso 4
  if (!rtc.begin()) {
    Serial.println("Couldn't find RTC");
    while (1);
  }
  //Paso 5
  if (rtc.lostPower()) {
    rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
    //rtc.adjust(DateTime(2015, 1, 1, 3, 0, 0));
  }
  Serial.println("Iniciando...");
  analogReference(INTERNAL); //PIN ANALOGO SENSOR DE CORRIENTE
  dht.begin();
  tiempo = EEPROM.read(eeAddress);
  thermo.begin(MAX31865_3WIRE); // set to 2WIRE or 4WIRE as necessary
  // initialize the LCD
  lcd.begin();
  // Turn on the backlight and print a message.
  lcd.backlight();
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(3, 0);
  lcd.print("MODULO DE");
  lcd.setCursor(1, 1);
  lcd.print("MONITOREO IOT");
  lcd.setCursor(-4, 2);
  lcd.print("ING.HUGO SALAZAR");
  lcd.setCursor(-2, 3);
  lcd.print("UTN-POSGRADO");
  delay(5000);
  lcd.clear();
}
void loop()
{

```

```

//pPT100
uint16_t rtd = thermo.readRTD();
float ratio = rtd;
ratio /= 32768;
sensorValue1 = thermo.temperature(RNOMINAL, RREF);
reloj();
// DTH22
h = dht.readHumidity(); //Leemos la Humedad
t = dht.readTemperature(); //Leemos la temperatura en grados Celsius
float f = dht.readTemperature(true); //Leemos la temperatura en grados Fahrenheit
//sensor de corriente
sensorValue = analogRead(A0); //Lectura analógica
float voltajeSensor = analogRead(A0) * (1.1 / 1023.0); //voltaje del sensor
corriente = voltajeSensor * 30.0; //corriente=VoltajeSensor*(30A/1V)
//Serial.println(corriente, 3); //enviamos por el puerto serie

//tiempos();
datos();
alertas();
if (numalert == 0)
{
  visualiza();
}
comunicacion();
EEPROM.write(eeAddress, tiempo);
Serial.print("alert= ");
Serial.println(numalert);
}
void alertas()
{
  if (sensorValue1 >= templim)//PT100
  {
    numalert = 1;
    ALERTEMP();
  }
  if (corriente >= clim)//CORRIENTE
  {
    numalert = 2;
    ALERCOR();
  }
  if (h >= hlim)//CORRIENTE
  {
    numalert = 4;
  }
}

```

```

    ALERHUM();
}
if (t >= talim)//CORRIENTE
{
    numalert = 5;
    ALERTAM();
}
}
void tiempos()
{
    if (test > antiguo)
    {
        Serial.println("aqui");
    }
}
oid datos()
{
    Serial.print(sensorValue1);
    Serial.print("-");
    Serial.print(corriente, 3);
    Serial.print("-");
    Serial.print(sensorValue);
    Serial.print("-");
    Serial.print(h);
    Serial.print("-");
    Serial.print(t);
    Serial.print("-");
    Serial.println(tiempo);
    IOT.print(sensorValue1, 1);
    IOT.print("-");
    IOT.print(corriente, 1);
    IOT.print("-");
    IOT.print(t);
    IOT.print("-");
    IOT.print(h);
    IOT.print("-");
    IOT.print(tiempo);
    IOT.print("-");
    IOT.println(numalert);
    //IOT.println(MENSS);
    delay(100);
}
void visualiza()
{

```



```
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Tc=");
lcd.setCursor(3, 0);
lcd.print(sensorValue1, 1);
lcd.setCursor(7, 0);
lcd.print("C");
lcd.setCursor(11, 0);
lcd.print("Reloj");
if (hora > 9)
{
  lcd.setCursor(11, 1);
  lcd.print(hora);
}
else
{
  lcd.setCursor(11, 1);
  lcd.print("0");
  lcd.setCursor(12, 1);
  lcd.print(hora);
}
lcd.setCursor(13, 1);
lcd.print(":");
if (hora > 9)
{
  lcd.setCursor(14, 1);
  lcd.print(minu);
}
else
{
  lcd.setCursor(14, 1);
  lcd.print("0");
  lcd.setCursor(15, 1);
  lcd.print(hora);
}
lcd.setCursor(7, 2);
lcd.print("Date");
lcd.setCursor(7, 3);
lcd.print(dia);
lcd.setCursor(9, 3);
lcd.print("/");
lcd.setCursor(10, 3);
lcd.print(mes);
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Ta=");
```

```

lcd.setCursor(3, 1);
lcd.print(t);
lcd.setCursor(7, 1);
lcd.print("C");
lcd.setCursor(-4, 2);
lcd.print("I=");
lcd.setCursor(-2, 2);
lcd.print(corriente, 1);
lcd.setCursor(-4, 3);
lcd.print("H=");
lcd.setCursor(-2, 3);
lcd.print(h, 1);
}
void reloj()
{
  DateTime now = rtc.now();
  ano = now.year() - 2000;
  mes = now.month();
  dia = now.day();
  hora = now.hour();
  minu = now.minute();
  // Serial.print(minu);
  // Serial.print("/");
  // Serial.println(antiguo);
  Serial.print("t= ");
  Serial.println(tiempo);
  if (minu > antiguo)
  {
    tiempo++;
    if (tiempo > tlim)
    {
      alarma = 1;
      M123();
      numalert = 3;
    }
  }
  antiguo = minu;
  Serial.print(now.year(), DEC);
  Serial.print('/');
  Serial.print(now.month(), DEC);
  Serial.print('/');
  Serial.print(now.day(), DEC);
  Serial.print(' ');
  Serial.print(now.hour(), DEC);

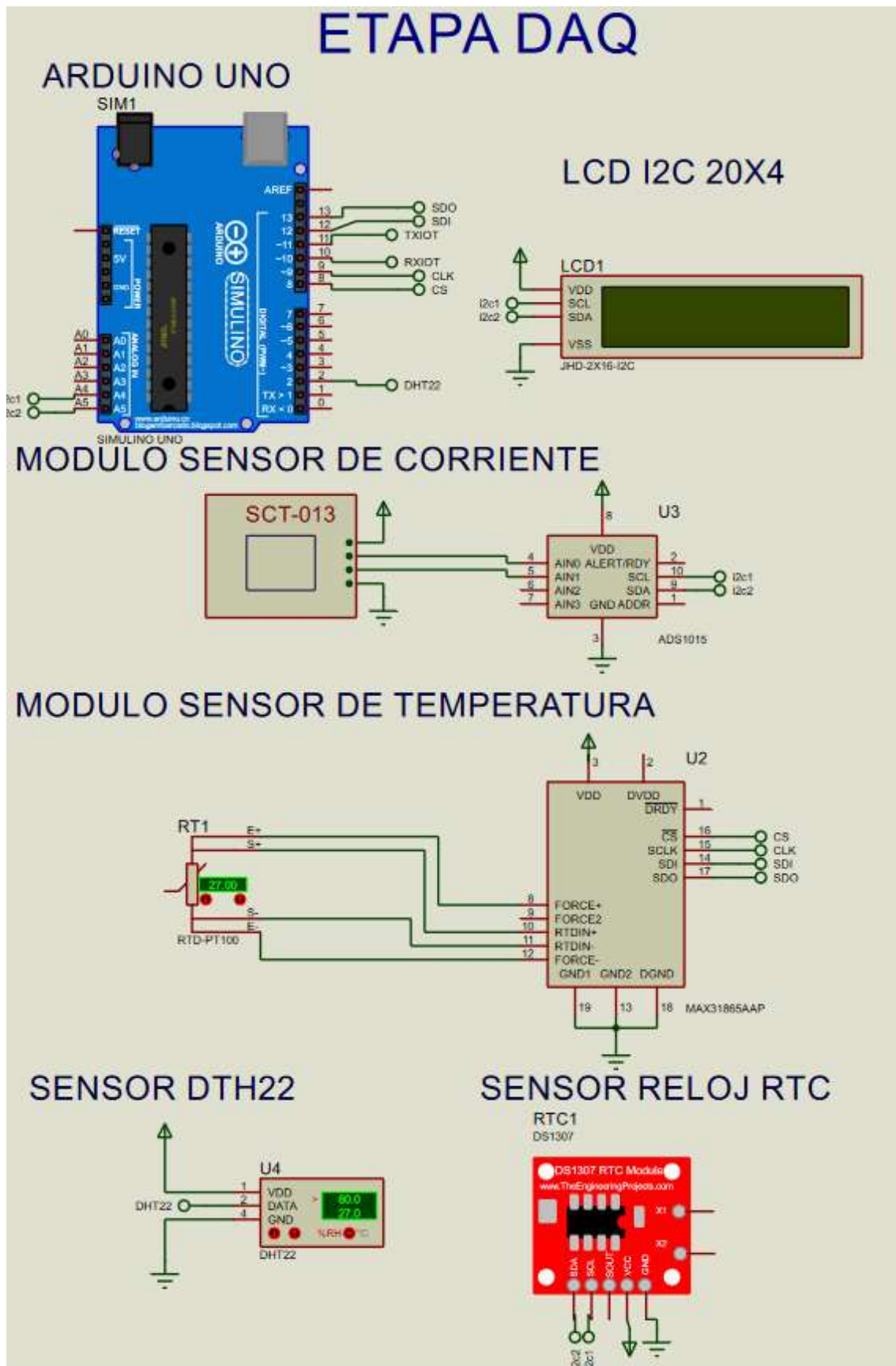
```

```
Serial.print(':');
Serial.print(now.minute(), DEC);
Serial.print(':');
Serial.print(now.second(), DEC);
Serial.println();
delay(500);
}
void M123()
{
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(6, 1);
  lcd.print("MP123");
  lcd.setCursor(-2, 2);
  lcd.print("Se solicita ");
  lcd.setCursor(-3, 3);
  lcd.print("Mantenimiento ");
  delay(1000);
}
void ALERTEMP()
{
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(6, 1);
  lcd.print("ALERTC001");
  lcd.setCursor(-2, 2);
  lcd.print("Se solicita ");
  lcd.setCursor(-3, 3);
  lcd.print("Reparacion ");
  delay(1000);
}
void ALERHUM()
{
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(6, 1);
  lcd.print("ALERH070");
  lcd.setCursor(-2, 2);
  lcd.print("Se solicita ");
  lcd.setCursor(-3, 3);
  lcd.print("Verificacion");
  delay(1000);
}
void ALERTAM()
{
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(6, 1);
```

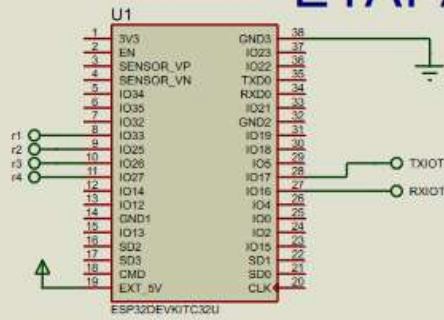
```
lcd.print("ALERTAM130");
lcd.setCursor(-2, 2);
lcd.print("Se solicita ");
lcd.setCursor(-3, 3);
lcd.print("Verificacion");
delay(1000);
}
void ALERCOR()
{
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(6, 1);
  lcd.print("ALERC002");
  lcd.setCursor(-2, 2);
  lcd.print("Se solicita ");
  lcd.setCursor(-3, 3);
  lcd.print("Reparacion ");
  delay(1000);
}

void comunicacion()
{
  if (IOT.available())
  {
    char b = IOT.read();
    Serial.print("dato-");
    Serial.println(b);
    if (b == 'a')
    {
      Serial.println("reparado");
      numalert=0;
      alarma = 0;
      tiempo = 0;
      lcd.clear();
    }
  }
}
```

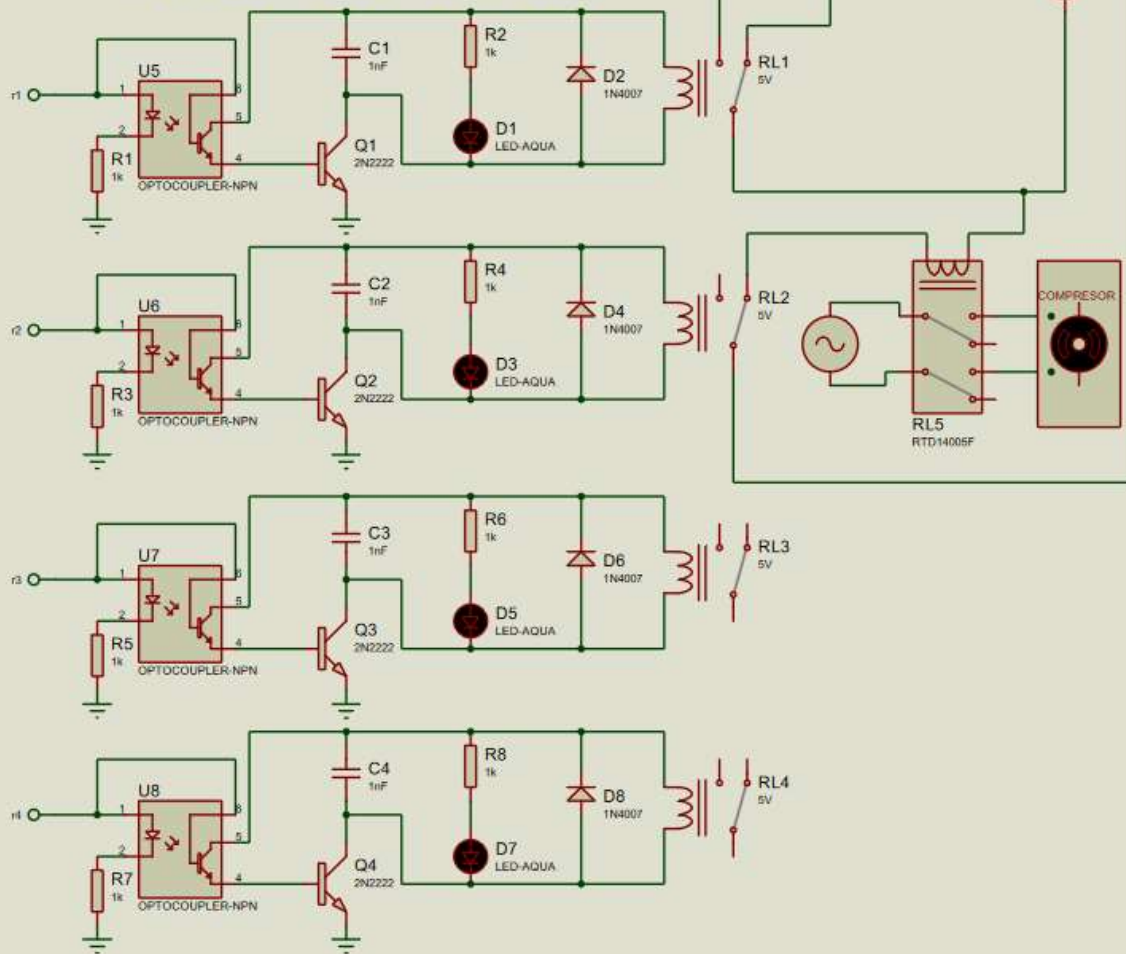
Anexo 2. Diagrama Eléctrico.



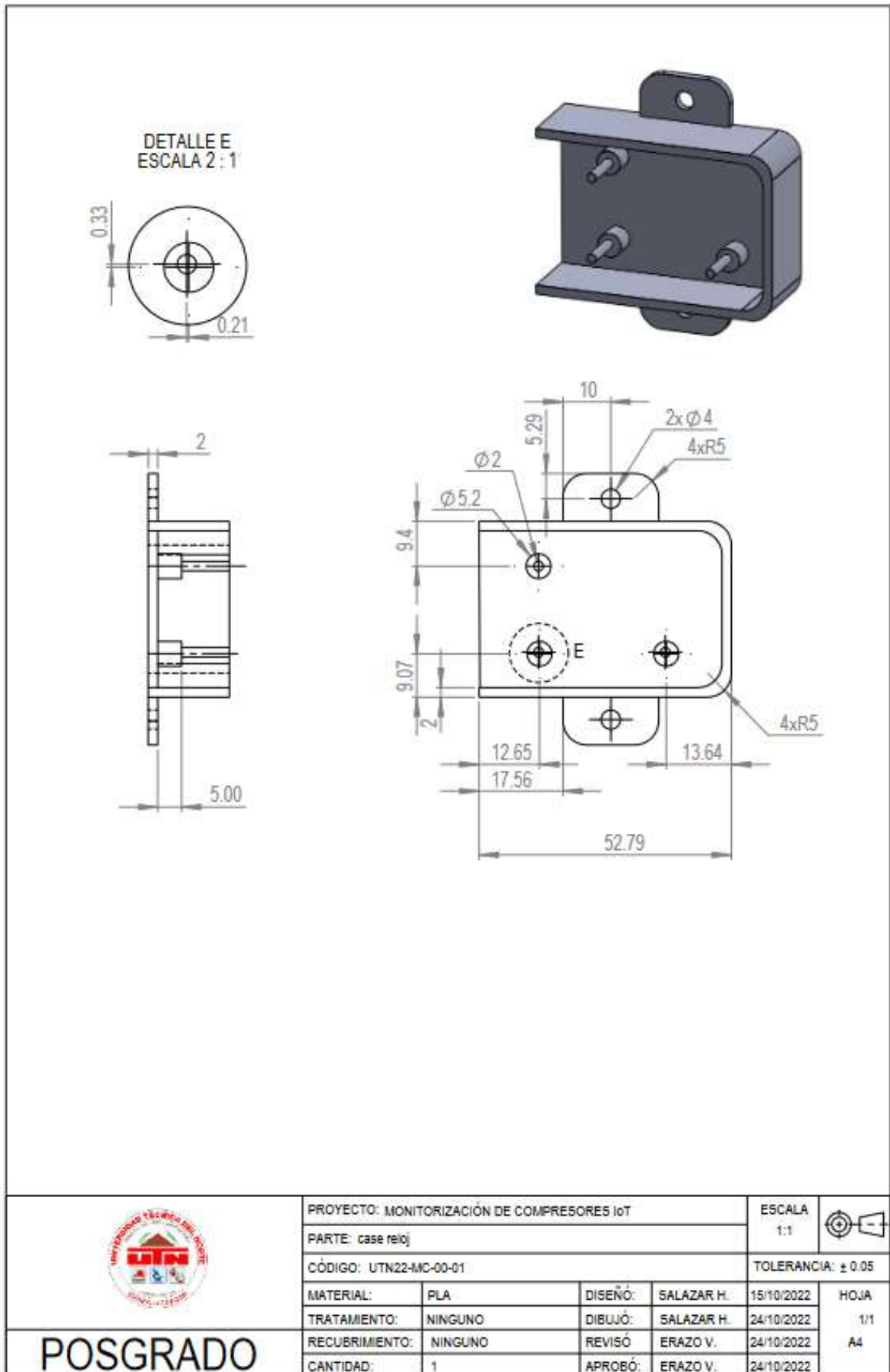
## ETAPA IOT

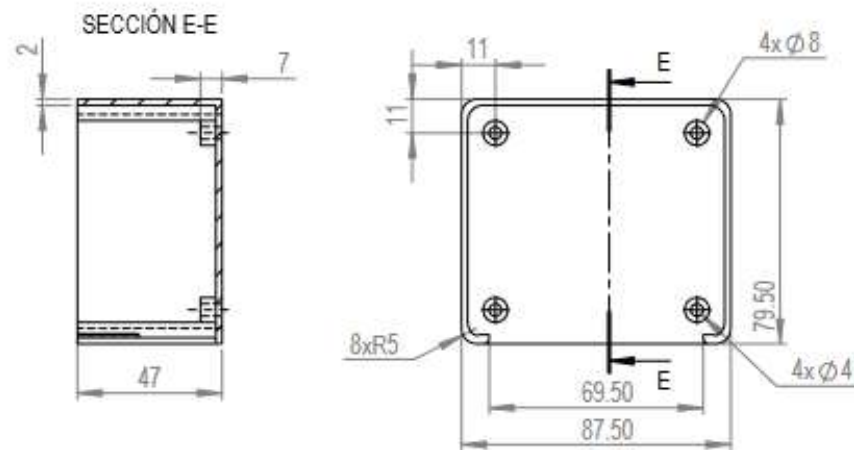
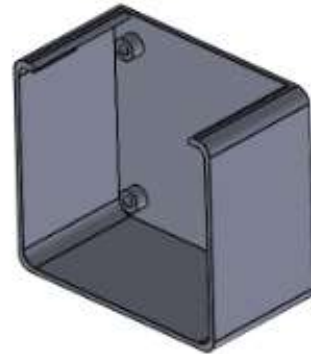


## MODULO RELE 4 CANALES



## Anexo 3. Planos de piezas de soporte.

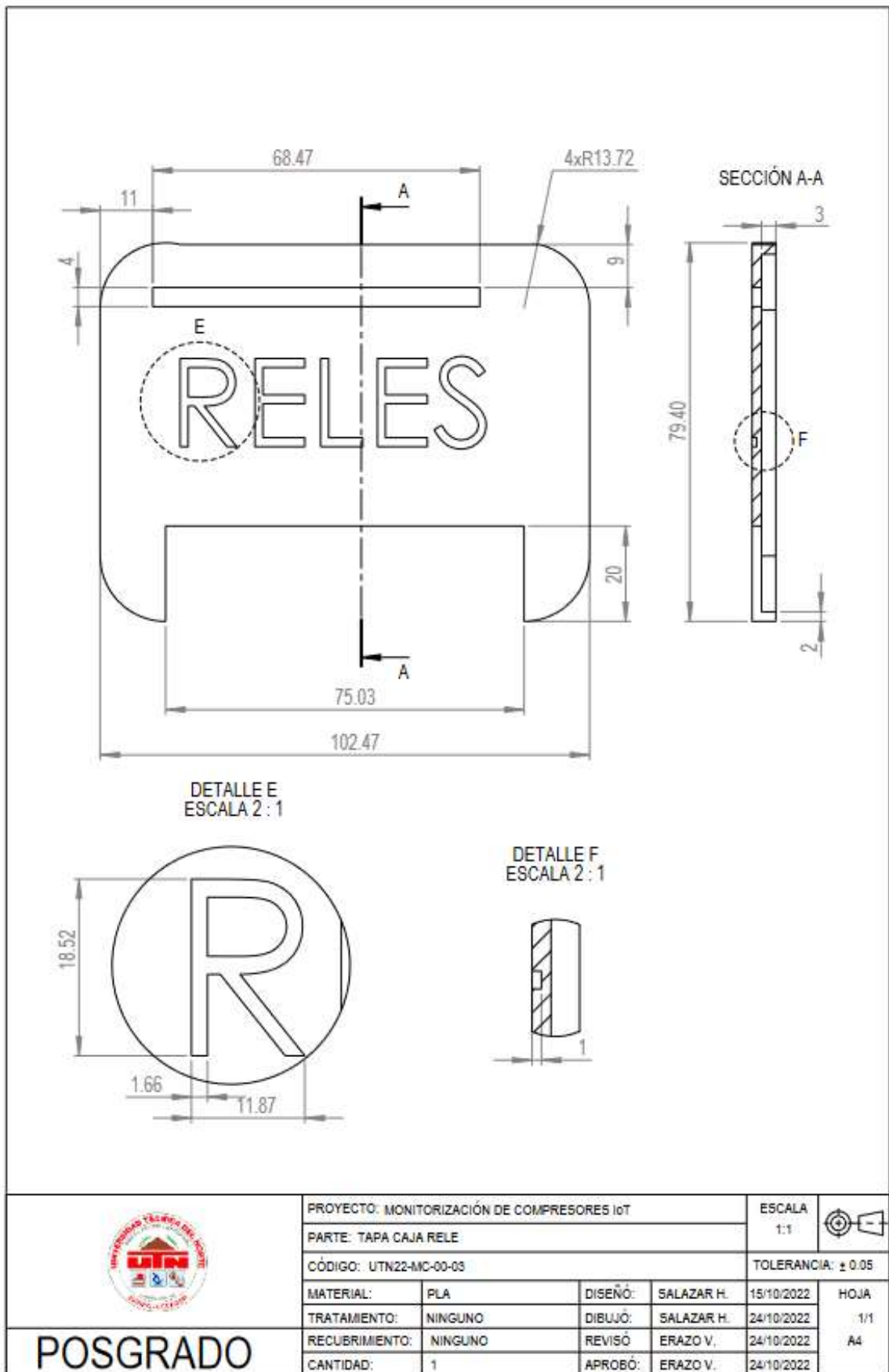




POSGRADO

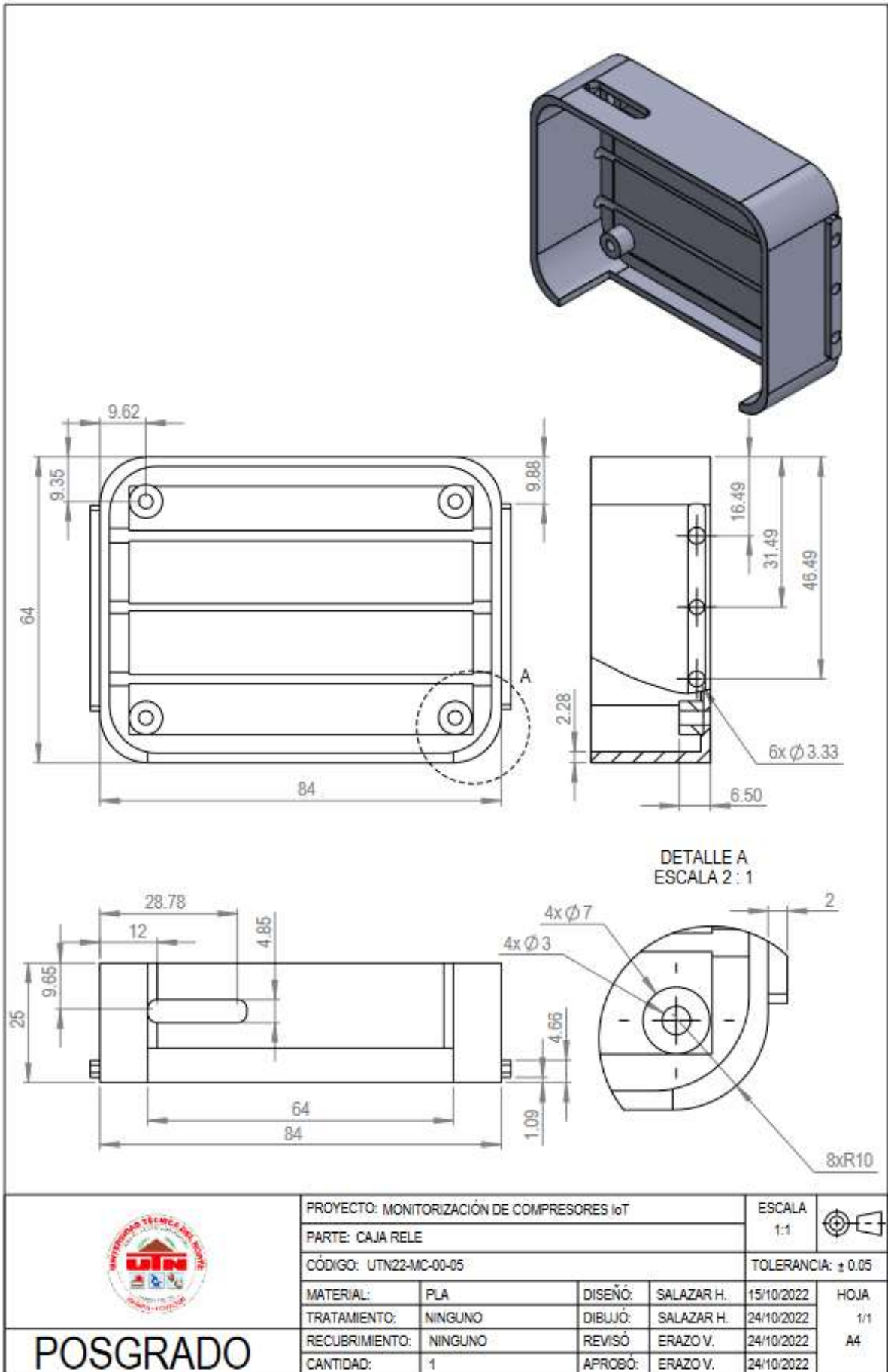
PROYECTO: MONITORIZACIÓN DE COMPRESORES IoT				ESCALA 1:2	
PARTE: fuentacaja				TOLERANCIA: $\pm 0.05$	
CÓDIGO: UTN22-MC-00-02					
MATERIAL:	PLA	DISEÑO:	SALAZAR H.	15/10/2022	HOJA
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	SALAZAR H.	24/10/2022	1/1
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	ERAZO V.	24/10/2022	A4
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	ERAZO V.	24/10/2022	





**POSGRADO**

PROYECTO: MONITORIZACIÓN DE COMPRESORES IoT				ESCALA 1:1	
PARTE: TAPA CAJA RELE				TOLERANCIA: ± 0.05	
CÓDIGO: UTN22-MC-00-03				15/10/2022	HOJA
MATERIAL:	PLA	DISEÑO:	SALAZAR H.	24/10/2022	1/1
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	SALAZAR H.	24/10/2022	A4
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	ERAZO V.	24/10/2022	
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	ERAZO V.	24/10/2022	



	PROYECTO: MONITORIZACIÓN DE COMPRESORES IoT				ESCALA	
	PARTE: CAJA RELE				1:1	
	CÓDIGO: UTN22-MC-00-05				TOLERANCIA: ± 0.05	
	MATERIAL:	PLA	DISEÑO:	SALAZAR H.	15/10/2022	HOJA
	TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	SALAZAR H.	24/10/2022	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	ERAZO V.	24/10/2022	A4	
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	ERAZO V.	24/10/2022		

POSGRADO

