



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**



**FACULTAD DE POSTGRADO**

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**“SISTEMA DE MONITORIZACIÓN Y ALERTA TEMPRANA PARA  
MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE ACTUADORES NEUMÁTICOS EN  
PROCESOS INDUSTRIALES BAJO I4.0”**

Tesis de Maestría presentada en cumplimiento parcial de los requisitos de la Maestría en  
Ingeniería Mecatrónica: Mención Procesos Industriales

**AUTOR:** Ing. Jorge Javier Narváez Cazar

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

IBARRA - ECUADOR

2023



## **CERTIFICACIÓN DE DIRECTOR DE TESIS**

Como director del trabajo de investigación con el tema: “SISTEMA DE MONITORIZACIÓN Y ALERTA TEMPRANA PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE ACTUADORES NEUMATICOS EN PROCESOS INDUSTRIALES BAJO I4.0”, trabajo que fue realizado por Cazar Narváez Javier Jorge, previo a la obtención del título de Magister en mecatrónica mención procesos industriales, doy fe que la obra mencionada reúne los requisitos y méritos suficientes para ser públicamente sustentada en juicio para ser oportunamente aprobada.

Ibarra, 30 de enero de 2023

Msc. Cosme Damián Mejía Echeverría

**Director de Tesis**



# 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:

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1002886065		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Narváez Cazar Jorge Javier		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Panamericana Norte y 11 de Noviembre		
<b>EMAIL:</b>	Jnarvaez292@gmail.com		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	062922518	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0998686464

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	Sistema de Monitorización y Alerta Temprana para Actuadores Neumáticos en Procesos Industriales Bajo I4.0
<b>AUTOR:</b>	Jorge Javier Narváez Cazar
<b>FECHA:</b>	02/10/2022
<b>SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO</b>	
<b>PROGRAMA:</b>	<input type="checkbox"/> PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Magister en Ingeniería Mecatrónica Mención Procesos Industriales
<b>ASESOR / DIRECTOR:</b>	MSc. Cosme Mejía Ing.

## **CONSTANCIAS**

El autor 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 la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 30 de enero de 2023

## **EL AUTOR:**

.....

Ing. Jorge Narváez



**UTN** Instituto de  
IBARRA - ECUADOR Postgrado

## REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

**Guía:** POSGRADO – UTN

**Fecha:** Ibarra, 30 de enero del 2023

**Narváez Cazar Jorge Javier:** “SISTEMA DE MONITORIZACIÓN Y ALERTA TEMPRANA PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE ACTUADORES NEUMÁTICOS EN PROCESOS INDUSTRIALES BAJO I4.0” / **GRADO MAGISTER EN MECATRÓNICA MENCIÓN INDUSTRIALES**, Universidad Técnica del Norte, Ibarra.

**DIRECTOR:** MSc. Cosme Mejía Echeverría

**El objetivo general de esta tesis fue:** Implementar un Sistema de monitorización y alerta temprana para mantenimiento de actuadores neumáticos bajo la fisiología industria 4.0

**Entre los objetivos específicos estaban:** Analizar las fallas más recurrentes en los actuadores neumáticos y las variables que influyen en su funcionamiento.

Diseñar el sistema de monitoreo de las variables que influyen en su funcionamiento que permita una transmisión de datos de manera continua.

Implementar el sistema de monitoreo y alerta temprana en actuadores neumáticos lineales.

Manipular el sistema de monitoreo y alerta temprana en actuadores neumáticos lineales de manera que permita un análisis de los resultados obtenidos.

Msc. Cosme Damián Mejía Echeverría

**Director**

Ing. Jorge Javier Narváez Cazar

**Autor**

## **DEDICATORIA**

*Javier*

Este trabajo se lo dedico a mis abnegados padres que siempre me supieron guiar por el camino del conocimiento y me han apoyado de muchas formas en el transcurso de mi vida.

A mi esposa e hijos que fueron la fuente vital de inspiración para que el día de hoy pueda cumplir con una más de mis metas.

A mi hermana que desde el cielo nos protege a mí y a toda la familia y vela por nuestro bienestar.

## **AGRADECIMIENTOS**

Un agradecimiento especial a la Universidad Técnica del Norte por abrirme las puertas en su prestigioso programa de postgrados el cual tuvo la participación de profesores con altísimo nivel académico.

Al Cuerpo de Ingenieros del Ejército que me ayudaron con las facilidades para que pueda continuar con mi preparación profesional.

## ÍNDICE

CERTIFICACIÓN DE DIRECTOR DE TESIS .....	II
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN.....	III
REGISTRO BIBLIOGRÁFICO .....	V
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTOS .....	VI
ÍNDICE .....	VII
ÍNDICES DE TABLAS .....	X
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT .....	XV
CAPÍTULO 1 .....	16
1. INTRODUCCIÓN .....	16
1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	16
1.2 ANTECEDENTES.....	17
1.3 OBJETIVOS .....	20
1.3.1 Objetivo general .....	20
1.3.2 Objetivos específicos.....	20
1.4 JUSTIFICACIÓN .....	20
1.5 ALCANCE .....	21
2 CAPÍTULO II .....	22
MARCO REFERENCIAL .....	22
2.1 MARCO TEÓRICO.....	22
2.1.1 <i>Definición de Mantenimiento Preventivo, Correctivo y Predictivo</i> .....	22
2.1.2 <i>Generación de aire comprimido</i> .....	23
2.1.3 <i>Actuadores Neumáticos Lineales</i> .....	24



2.1.4	<i>Cilindros neumáticos de doble acción</i> .....	24
2.1.5	<i>Fallos comunes en los cilindros neumáticos.</i> .....	28
2.1.6	<i>Sistemas de monitorización y control de un actuador neumático.</i> .....	28
2.1.7	<i>Adaptabilidad estructural y electrónica de la máquina</i> .....	36
2.2	MARCO LEGAL .....	37
2.2.1	<i>Artículos de constitución</i> .....	37
2.2.2	<i>Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo.</i> .....	38
2.2.3	<i>Convenios internacionales</i> .....	39
3	CAPÍTULO III .....	40
	MARCO METODOLÓGICO .....	40
3.1	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO / GRUPO DE ESTUDIO .....	40
3.2	ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN / TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	41
3.3	PROCEDIMIENTOS (DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN).....	42
3.3.1	FASE 1:.....	42
3.3.2	FASE 2:.....	42
3.3.3	FASE 3:.....	43
3.4	CONSIDERACIONES AMBIENTALES Y BIOÉTICAS .....	45
4	CAPÍTULO IV .....	46
	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	46
4.1	ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA A DISEÑAR .....	46
4.2	RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	47
4.2.1	SOLUCIÓN PROPUESTA.....	47
4.2.2	DIAGRAMA DE CONEXIONES.....	48
4.2.3	EJECUCIÓN DEL PROGRAMA .....	50
7	CAPITULO V .....	62

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	62
BIBLIOGRAFIA.....	64

## ÍNDICES DE TABLAS

Tabla 1 Entradas y Salidas del Arduino PLC .....	29
Tabla 2 Características válvula neumática solenoide.....	32
Tabla 3 Especificaciones técnicas del sensor de presión .....	35
Tabla 4 Descripción de sistema de monitorización.....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Componentes de aire comprimido .....	23
<b>Figura 2</b> Cilindro de varilla pasante .....	24
<b>Figura 3</b> Cilindro de tándem .....	25
<b>Figura 4</b> Cilindro neumático de impacto.....	25
<b>Figura 5</b> Cilindro neumático rotatorio.....	26
<b>Figura 6</b> Cilindro de cable.....	26
<b>Figura 7</b> Cilindro de conjunto amortiguado .....	27
<b>Figura 8</b> Arduino PLC.....	29
<b>Figura 9</b> Shield Arduino Nano .....	30
<b>Figura 10</b> Arduino nano implementado en shield.....	30
<b>Figura 11</b> Sensor Magnético CS1F .....	31
<b>Figura 12</b> Módulo Reloj .....	31
<b>Figura 13</b> Válvula neumática .....	32
<b>Figura 14</b> Cilindro neumático T16x100.....	33
<b>Figura 15</b> Racores Neumáticos .....	33
<b>Figura 16</b> Raspberry Pi.....	34
<b>Figura 17</b> Pantalla 3.5 RPI LCD .....	34
<b>Figura 18</b> Sensor de presión.....	35
<b>Figura 19</b> SoapBox.....	36
<b>Figura 20</b> Localización del área de estudio.....	40

<b>Figura 21</b>	Sistema de monitorización y alerta temprana .....	47
<b>Figura 22</b>	Diagrama de conexiones.....	49
<b>Figura 23</b>	Simulación cilindro neumático sin ser accionado.....	50
<b>Figura 24</b>	Simulación cilindro neumático accionado.....	50
<b>Figura 25</b>	Compresor de aire.....	51
<b>Figura 26</b>	Sistema de monitorización para actuadores neumáticos.....	52
<b>Figura 27</b>	Esquemático de la gestión de datos. ....	53
<b>Figura 28</b>	Archivo .Py .....	53
<b>Figura 29</b>	Desarrollo de interfaz gráfica. ....	54
<b>Figura 30</b>	Pantalla implementada.....	54
<b>Figura 31</b>	Plataforma Twilio .....	55
<b>Figura 32</b>	Sistema de alerta temprana .....	56
<b>Figura 33</b>	Mensaje de alerta de cambio de presión .....	56
<b>Figura 34</b>	Cilindro neumático en posición A0 .....	57
<b>Figura 35</b>	Posición A0 en pantalla .....	57
<b>Figura 36</b>	Posición A1 en pantalla .....	58
<b>Figura 37</b>	Posición A1 en pantalla .....	58
<b>Figura 38</b>	Base de datos .....	59
<b>Figura 39</b>	Alerta de cambio de presión. ....	60
<b>Figura 40</b>	Gráfico de datos del sistema de alerta temprana.....	61
<b>Figura 41</b>	Porcentaje de error del sistema .....	61



## RESUMEN

El mantenimiento deficiente en los actuadores neumáticos lineales reduce el tiempo de producción en las industrias por que se presentan paros no programados en estos equipos, motivo por el cual se hace necesario la implementación de un sistema de monitoreo y alerta temprana para el mantenimiento preventivo de actuadores neumáticos lineales, bajo la filosofía de industria 4.0, se estudió las fallas más frecuentes en estos elementos para así establecer las variables a ser monitoreadas por los sensores de presión, flujo y calidad de aire recopilando esta información mediante un microcontrolador que compila los datos, se analizan los mismos para posteriormente cargar esta información a una base de datos, si hay alguna anomalía de funcionamiento el mismo sistema se encarga de enviar un mensaje de texto al personal de mantenimiento para tomar las medidas correctivas que resuelvan el problema requerido, con la ayuda de varias pruebas se demostró que el sistema funciona correctamente en diferentes escenarios de fallas.

**Palabras clave:** Actuadores, Mantenimiento, Monitoreo.

## **ABSTRACT**

Poor maintenance in linear pneumatic actuators reduces production time in industries due to unscheduled stoppages in this equipment, which is why it is necessary to implement a monitoring and early warning system for preventive maintenance of actuators. linear tires, under the philosophy of industry 4.0, the most frequent faults in these elements were studied in order to establish the variables to be monitored by the pressure, flow and air quality sensors, collecting this information through a microcontroller that compiles the data, They analyze them to later upload this information to a database, if there is any operating anomaly, the same system is responsible for sending a text message to the maintenance staff to take corrective measures to resolve the required problem, with the help of Several tests showed that the system works correctly in different failure scenarios.

Keywords: Actuators, Maintenance, Monitoring.



# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta el planteamiento del problema, los objetivos y la justificación del trabajo a desarrollar, además de los antecedentes relacionados con la investigación.

### 1.1 Problema de investigación

Los sistemas neumáticos son muy usados en la industria ecuatoriana y en el sector automotriz en la actualidad por su bajo costo de equipos e instalación; sin embargo, debido a que las personas de mantenimiento que laboran en estas industrias no reciben capacitación en la intervención preventiva de nuevos equipos, olvidan implementar en el plan de mantenimiento actividades de servicio para los actuadores neumáticos. Como consecuencia del desconocimiento de estos equipos el personal de mantenimiento no toma en consideración el análisis del costo – beneficio, entre los favores del mantenimiento preventivo en relación con el mantenimiento correctivo de los actuadores neumáticos, lo cual provocaría que la inversión al implementar este tipo de sistemas en una empresa no tenga la tasa de retorno esperada, debido a los continuos paros no programados que la falta de mantenimiento preventivo puede ocasionar.

Los actuadores neumáticos trabajan con presiones elevadas, los filtros secadores y depuradores “generalmente” no son revisados por los operadores de los equipos y tampoco por el personal de mantenimiento provocando fallas como son falta de lubricación por falla del filtro lubricador, presencia de humedad en el interior del cilindro neumático lo cual causa un sobre esfuerzo en el mismo debido a que los líquidos no son compresibles, fisuras en los empaques que provocan fugas de aire o contaminación del mismo, que afecta a los elementos mecánicos del actuador. Cabe mencionar que las fugas de aire provocan que el compresor que alimenta al sistema de aire comprimido trabaje un mayor tiempo y de esta manera reduzca el tiempo de vida útil del mismo.

Las condiciones subestándares que pueden presentar en el funcionamiento los actuadores neumáticos intensifican la probabilidad de accidentes de trabajo. Muchas veces las condiciones laborales de los equipos son inadecuadas con alta humedad o elevada temperatura

que causan daños a los actuadores provocando corrosión en los equipos y deterioro de partes y piezas neumáticas.

Al no recibir mantenimiento estos equipos se paran provocando cuantiosas pérdidas económicas a las industrias porque detienen la producción de un bien o servicio, retrasos en la entrega de productos. Las intervenciones de mantenimiento toman un mayor tiempo debido a la disponibilidad de personal y de repuestos lo cual provoca que se incrementen los costos de mantenimiento al pagar horas extras al personal y adquirir los repuestos de forma emergente.

Es difícil establecer un tiempo desde que ha ocurrido este problema, y no se puede realizar una particularización debido a que cada empresa tiene su propio plan de mantenimiento y puede incluir o no la intervención de mantenimiento de los actuadores neumáticos, esto producirá un mayor o menor número de fallos dependiendo del grado de atención que se realice a los mismos.

El desarrollo de la presente investigación permitirá la implementación de un sistema de monitorización y alerta temprana para mantenimiento preventivo de actuadores neumáticos en procesos industriales bajo I4.0, solucionando de esta forma el problema de la falta de mantenimiento de los actuadores neumáticos e identificando las fallas más comunes de estos equipos.

## **1.2 Antecedentes**

(Chung y Chyang 2018) desarrollaron la monitorización y control de un actuador neumático lineal a través de tipos de señales que son emitidas de forma inalámbrica en este caso la señal se envía vía Bluetooth a un celular el cual mediante una aplicación muestra el funcionamiento del cilindro en tiempo real, con ayuda de un control de lazo cerrado con retroalimentación. Se controlan dos variables que son la posición y el tiempo de funcionamiento del actuador neumático. El estudio realizado puede ser aplicado a la industria 4.0 debido a que se basa en el monitoreo de un equipo sin conexiones físicas y utilizando el internet de las cosas IoT y el análisis de datos Big Data.

(Cabrera M., et al. 2020) implementaron una solución para controlar un actuador neumático cuya característica principal es un comportamiento no lineal tanto los actuadores con amortiguamiento como sin amortiguamiento. Se propone el uso de una electroválvula de 3

posiciones y 5 terminales, dos reguladores de flujo de aire, mediante dos tipos de señales las dos primeras que controlan el sentido de movimiento del vástago y las otras dos señales controlan el flujo de aire a presión que ingresa en el actuador y la última señal regula el flujo de aire que sale por el actuador, mediante un controlador PI y algoritmos inteligentes programados en simulink. El sistema de monitoreo se hace mediante sistemas de monitoreo IoT que visualizan el proceso en tiempo real, trasladan la información a un servidor web y usan bases de datos brindando seguridad en el sistema de control. Al realizar las pruebas de funcionamiento del sistema se pudo visualizar que se puede implementar y añadir más sistemas de control, añade los factores de posición y velocidad en un tiempo deseado permitiendo el correcto funcionamiento del actuador neumático.

(Graves J., et al 2018) pronosticaron las fallas en un sistema de control de circuito cerrado a través del principio de interferencia reducida. El método se fundamenta en señales multisinusoidales, bancos de filtros y análisis espectral. Mediante este estudio se demostró que es factible introducir una perturbación en el circuito de control neumático de una aeronave para medir la degradación de los componentes del sistema debido a diferentes factores. Tomando en consideración un modelo no lineal de un sistema neumático de una aeronave se puede concluir que el método presentado se puede utilizar para detectar o aislar fallas en sistemas, estimar el tiempo de falla y diseñar sistemas de gestión de salud.

(Graves J., et al 2019) plantearon un método para establecer características que puedan ser utilizadas para la gestión de salud de un equipo. Con la información obtenida de los sensores mediante señales relacionadas que hacen referencia cada una a tipos de degradación específicos. El caso de estudio para comprobar esta investigación fue un actuador neumático de una aeronave basada en operaciones de control de circuito cerrado. Utilizando los sensores disponibles se podría caracterizar la degradación de la válvula.

(Seyedmohsen H., et al. 2019), desarrollaron un algoritmo para programar el mantenimiento preventivo de multi componentes, para conservar el equipo en condiciones operativas. El método de elaboración del algoritmo se realiza con base al cálculo del tiempo medio entre fallas del equipo, tomando en consideración tres fases para realizarlo 1) fase de la construcción determina cuantos componentes deben incluirse en el análisis de mantenimiento preventivo. 2) La fase de mejora de la etapa de construcción. 3) la fase de búsqueda local

iterando los tiempos de mantenimiento de los diferentes componentes para determinar la penalización por anticipo o tardanza en el servicio de mantenimiento.

GHLISA, produce soluciones de buena calidad e indica una diferencia estadísticamente más significativa, motivo por el cual es más confiable.

(Swati y Chenke 2019), aplicaron el logaritmo de programación dinámica probabilística a cables de potencia, este método se compone de dos partes que son el primero se considera todos los estados posibles que el cable de potencia puede adoptar durante el periodo de vida útil y en el segundo la probabilidad de transmisión del estado futuro y los costos de mantenimiento resolviendo las ecuaciones recursivas, la longitud del horizonte de planificación puede considerarse finita o infinita. Las posibles fallas en un cable se deben a una degradación del aislamiento o el envejecimiento del material. Se toman cuatro tipos de acciones de mantenimiento en un cable sin acción, mantenimiento preventivo, reemplazo, mantenimiento correctivo. La presente investigación trabaja con etapas de mantenimiento en las cuales el cable puede estar en estado operativo con antigüedad efectiva o en estado fallido. En conclusión, este modelo es muy útil para sugerir el momento adecuado para ejecutar el mantenimiento preventivo y las acciones de reemplazo, además permite establecer políticas de mantenimiento óptimo con base a los costos generados durante el tiempo de vida útil del cable de potencia.

(Van Coung S., et al 2019), se enfocaron en las últimas tendencias de mantenimiento aplicando técnicas de mantenimiento basadas en condiciones (CBM), este modelo brinda un soporte para adoptar decisiones proactivas que ayuda a construir un mecanismo de aprendizaje en base a un estándar basado en técnicas de aprendizaje automático y aprendizaje profundo. El marco propuesto permite crear y evaluar modelos de mantenimiento predictivo, esto lo realiza con base a ciertas características que son validación y preparación de datos, exploración y visualización de datos, procesamiento de datos. En conclusión, el modelo ayuda a tomar decisiones para la determinación de la vida útil restante de un equipo.

(Tibor y Andrea 2020), analizaron los datos sacados del mundo real, enfocado en la detección de fallas en los actuadores neumáticos, el cual es capaz de reconocer las señales durante largo tiempo, agruparlas que puedan detectar diferente estado de la máquina e identificar un comportamiento anormal de la misma. Se aplicó detección de picos, muestreo

descendente, interpolación para el procesamiento y eliminación de señales erráticas, se utilizaron los métodos de agrupamiento de Ward con cálculo de distancia euclidiana multi variable y mapa auto organizado de Kohonen. El estudio determinó que el comportamiento de equipos complejos se puede monitorear con este método, la siguiente fase es desarrollar un modelo predictivo de fallas del equipo.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Implementar un sistema de monitorización y alerta temprana para mantenimiento preventivo de actuadores neumáticos bajo la filosofía industria 4.0

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Analizar las fallas más recurrentes en los actuadores neumáticos y las variables que influyen en su funcionamiento
- Diseñar el sistema de monitoreo de las variables que influyen en su funcionamiento que permita una transmisión de datos de manera continua.
- Implementar el sistema de monitoreo y alerta temprana en actuadores neumáticos lineales
- Manipular el sistema de monitoreo y alerta temprana en actuadores neumáticos lineales de manera que permita un análisis de los resultados obtenidos.

## **1.4 Justificación**

La presente investigación está enfocada al monitoreo y mantenimiento preventivo de los actuadores neumáticos que son muy utilizados en la industria por su bajo costo y su fácil instalación, motivo por el cual estos sistemas se encuentra en la gran mayoría de las cadenas productivas de las empresas a nivel nacional. Este trabajo servirá para reducir las pérdidas económicas que puedan generar estas empresas a causa de fallos repentinos de los actuadores neumáticos y a una mala planificación de mantenimiento preventivo.

Muchos de los sistemas neumáticos trabajan con grandes presiones, al obtener un sistema de monitoreo del funcionamiento de los actuadores neumáticos, se pueden evitar accidentes laborales a causa de equipos que funcionen en condiciones sub estándar lo cual está

normado en el control de los riesgos laborales del reglamento de riesgos del trabajo del IESS y en el código del trabajo vigentes, en los cuales dicen que el empleador deberá proveer todos los equipos de protección personal y brindar las facilidades para que los trabajadores cumplan sus labores en un ambiente seguro.

La implementación de este sistema de monitorización en los actuadores neumáticos servirá para tecnificar los departamentos de mantenimiento de la industria ecuatoriana al implementar este tipo de dispositivos de control en otros bienes de la empresa donde se puede controlar otras variables y que funcionan con altas temperaturas.

Se puede coordinar el mantenimiento de este tipo de dispositivos con antelación, disponiendo del personal y repuestos necesarios para la ejecución del mantenimiento, reduciendo de esta manera el tiempo de servicio de mantenimiento.

## **1.5 Alcance**

La presente investigación establece el diseño de un sistema de monitoreo y alerta temprana para el mantenimiento preventivo de un actuador neumático lineal bajo I4.0, a través del cual se realizará el seguimiento de ciertas variables de funcionamiento del actuador neumático y determinar el momento en el cual el equipo requiere mantenimiento, posteriormente se implementará el sistema en un actuador neumático lineal para probar su funcionamiento y analizar los resultados obtenidos.

## CAPÍTULO II

### MARCO REFERENCIAL

#### 2.1 Marco Teórico

Mediante el diseño de un sistema de monitoreo y alerta temprana de mantenimiento bajo industria 4.0 se plantea solucionar el problema de la deficiente intervención de mantenimiento en los actuadores neumáticos que se analizó en el capítulo anterior. Para elaborar el sistema se debe estudiar el funcionamiento, estructura, fallas y características de los actuadores neumáticos lineales principalmente los cilindros neumáticos de doble acción. Tomando en consideración los tipos de falla más recurrentes en los actuadores neumáticos lineales, se estudian las variables a usar para elaborar la programación del sistema de monitorización bajo I4.0.

##### *2.1.1 Definición de Mantenimiento Preventivo, Correctivo y Predictivo*

El mantenimiento preventivo se fundamenta en la aplicación de una planificación de actividades periódicas relacionadas con la lubricación y revisión del equipo, para conservar la maquinaria en condiciones óptimas de operación y prolongar su vida útil. (jiménez, 2013)

El mantenimiento correctivo se considera como una intervención puntual a un equipo para reemplazar partes y componentes que fallaron por diversos factores tales como desgaste, exceso de temperatura, sobre esfuerzos, materiales, etc. Este tipo de mantenimiento se realiza cuando se suscita un paro no programado de la maquinaria, esto genera una paralización en la cadena productiva y requiere de un periodo de tiempo para su reparación. (Sole, 2014)

El mantenimiento predictivo consiste en realizar una serie de mediciones y pruebas no destructivas con equipo especializado a una máquina que está en funcionamiento. Esta clase de actividades permite predecir el fallo de un elemento antes que ocurra y como consecuencia detenga toda la actividad productiva, esto permite al personal de mantenimiento realizar una intervención de mantenimiento planificada a la maquinaria. (palencia, 2013)

Tomando en consideración las definiciones que se expusieron anteriormente es necesario realizar un sistema de monitoreo y alerta temprana bajo industria 4.0 para actuadores

neumáticos que favorezca la continuidad de la producción tal como lo hace el mantenimiento predictivo.

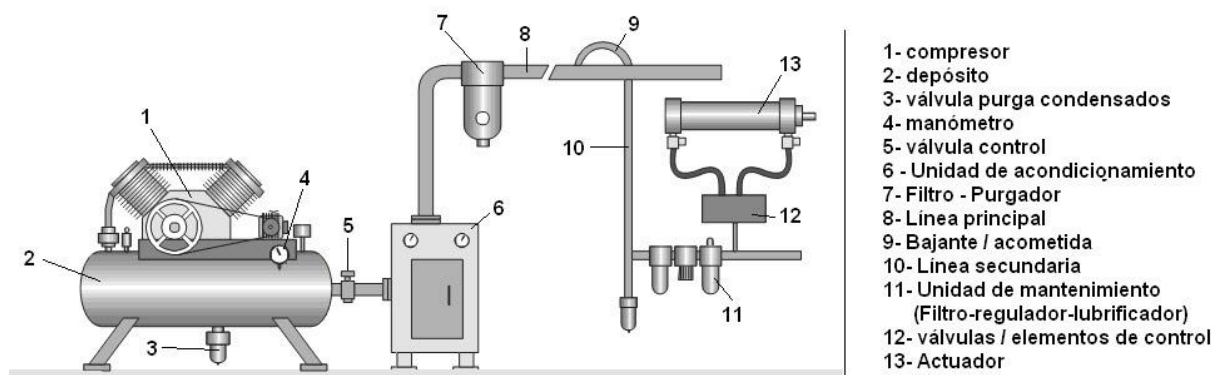
### 2.1.2 Generación de aire comprimido

El aire a presión atmosférica es absorbido por un compresor el cual eleva su presión en un rango entre 4 a 6 bares comprimiendo de esta manera este elemento con la finalidad de impulsar por un sistema hacia los actuadores neumáticos, los cuales aprovechan la alta presión del aire para convertirlo en energía mecánica la cual es utilizada para realizar un sinnúmero de procesos en diversas industrias (Ebel, Idler, Prede & Scholz, 2009).

A continuación, se muestra una figura 1 los componentes de aire comprimido

**Figura 1**

*Componentes de aire comprimido*



**Nota:** Etapas del procesamiento de aire comprimido. Tomada de Sistemas Neumáticos. María [Imagen], María m. c.,2021.

En la figura 1 se observan las partes que componen un sistema de distribución de aire comprimido antes de ingresar a los actuadores neumáticos. Básicamente el aire comprimido es generado por el compresor y almacenado en un depósito, posteriormente se impulsa hacia la válvula de purga de condensado, luego ingresa a la unidad de acondicionamiento donde se elimina impurezas y se seca el aire. A través de las tuberías se distribuye el aire comprimido hacia las unidades de mantenimiento las cuales se encargan de volver a retener impurezas y el condensado generado, se atomiza el aceite para que se mezcla con el aire comprimido el cual sirve para lubricar a los actuadores neumáticos, por último, el aire pasa por la válvula de control la cual regula la presión de aire antes que ingrese a los elementos de consumo.



### 2.1.3 Actuadores Neumáticos Lineales

Son elementos mecánicos que transforman la potencia neumática en energía mecánica para realizar movimientos lineales, de acuerdo con las aplicaciones se clasifican en actuadores para servicio liviano, mediano y pesado. Según el principio de operación se dividen en cilindros de simple acción y doble acción. Por el requerimiento y aplicación en la industria la presente investigación tiene como objetivo implementar el sistema de monitorización y alerta temprana a un cilindro de doble acción. (Creus, 2007).

### 2.1.4 Cilindros neumáticos de doble acción

Son actuadores que usan la fuerza del aire comprimido para moverse en dos direcciones opuestas, el pistón realiza trabajo en la carrera de avance y retroceso. Se compone de un cilindro, pistón, vástago, rines en los pistones, empaque del vástago, buje, cubierta del extremo, conjunto amortiguador. Según el principio de funcionamiento los cilindros neumáticos pueden dividirse en las siguientes clases: cilindro de varilla pasante, cilindro de conjunto amortiguado, cilindro en tándem, cilindro de impacto, cilindro rotatorio, cilindro de cable, para el análisis se usará el primero (Creus, 2007).

Cilindro de varilla pasante: Es aquel que mantiene velocidades iguales en ambos lados debido a que tiene dos vástagos que sobresalen del cilindro, como se muestra en la figura 2.

**Figura 2**

*Cilindro de varilla pasante*

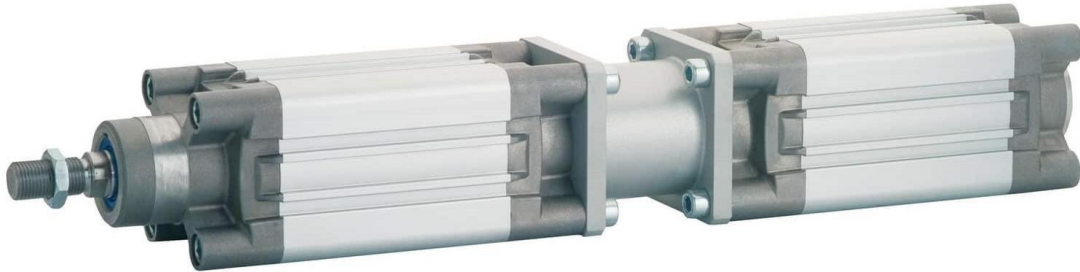


**Nota:** Cilindro de doble acción de varilla pasante. Tomada de *AGNEP* [Fotografía], Direct Industry, 2021, (<https://www.directindustry.es/prod/aignep/product-20091-1744727.html>)

Cilindro en tándem: Son dos cilindros instalados en serie los cuales se usan para aumentar la fuerza del actuador, como se muestra en la figura 3.

**Figura 3**

*Cilindro en tándem*



**Nota:** Cilindro de doble acción en tándem. Tomada de *AIGNEP* [Fotografía], Direct Industry ,2021, (<https://www.directindustry.es/prod/aignep/product-20091-1744762.html>)

Cilindro de impacto: El vástago del cilindro soporta cargas de impacto, el cilindro tiene resistencia a la fricción debido a que este elemento trabaja a altas velocidades, como se muestra en la Figura 4.

**Figura 4**

*Cilindro neumático de impacto*



**Nota:** Cilindro de doble acción de doble impacto. Tomada de *NORGREN* [Fotografía], Rodavigo. net ,2021, (<https://rodavigo.net/es/p/cilindro-neumatico-de-impacto-ref-norgren-m3020/168M3020>)

Cilindro rotatorio: Tiene ranuras en el vástago como un tronillo sin fin que se mueve por la acción de un mecanismo que aplica una carga axial al mismo mediante una rueda dentada que gira a 45°, 90° y 180°, como se muestra en la figura 5.

**Figura 5**

*Cilindro neumático rotatorio*



**Nota:** Cilindro de doble acción rotatorio. Tomada de *AIGNEP* [Fotografía], AIGNEP, 2021, (<https://www.aignep.com/es/Actuadores-Neumaticos/Serie-XR/CILINDRO-ROTATIVO-MACHO-CON-REGULACION-DEL-ANGULO-5>)

Cilindro de cable: Son actuadores neumáticos que usan cables en lugar de varillas del pistón, como se muestra en la figura 6.

**Figura 6**

*Cilindro de cable*

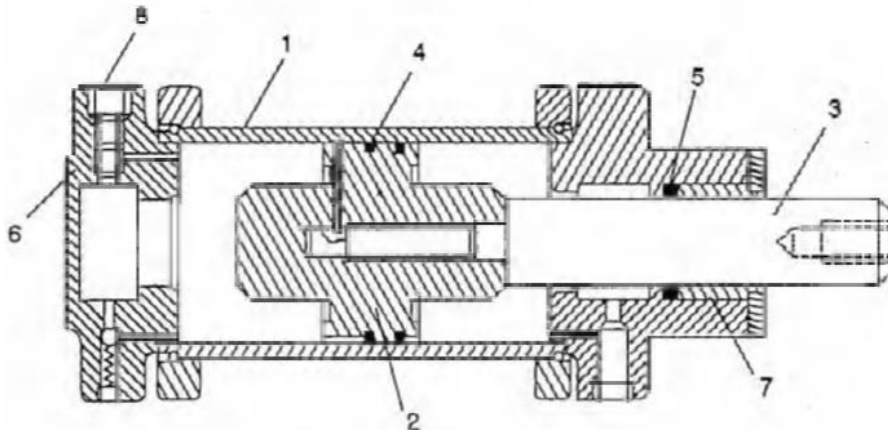


**Nota:** Cilindro de doble acción de cable. Tomada de *Tolomatic* [Fotografía], Direct Industry, 2021, (<https://www.directindustry.es/prod/tolomatic-tol-o-matic/product-7066-1780345.html>)

Cilindro de conjunto amortiguado: Mediante una regulación de la salida del aire por el extremo se evita que la carcasa del actuador sufra impactos al reducir la velocidad del pistón, como se muestra en la figura 7. (Clippard, 2018)

**Figura 7**

*Cilindro de conjunto amortiguado*



1. Tubo; 2. Pistón; 3. Varilla del pistón; 4. Doble empaquetadura de anillo en O sobre el pistón; 5. Anillo en O para varilla del pistón; 6. Cubierta del extremo; 7. Buje; 8. Conjunto amortiguado

**Nota:** Cilindro de doble acción amortiguado. Tomada de *Sistemas Neumáticos Principios y Mantenimiento* [Imagen], S. R. Majumdar, 1997, (Pág. 93)

Para la presente investigación se instalará el sistema de monitoreo y alerta temprana a un cilindro neumático de doble efecto amortiguado.

Cabe señalar que los elementos de un cilindro neumático de doble efecto que tienen mayor probabilidad de falla son los rines de anillo del pistón y el vástago, los empaques que sellan el ingreso y salida del aire comprimido en el actuador, todos estos elementos pueden agrietarse a causa de la presión y el desgaste, provocando fugas de aire que afectan el funcionamiento y el rendimiento del actuador neumático. (millán, 2019)

El vástago del pistón es un elemento que puede sufrir rayaduras por efecto de aire contaminado, el buje del vástago se desgasta con el tiempo producto de la naturaleza del trabajo del vástago.

### ***2.1.5 Fallos comunes en los cilindros neumáticos.***

Las principales fallas que se producen en los cilindros neumáticos de doble acción son las fisuras en los empaques que provocan una fuga de aire por las mismas, la contaminación de los lubricantes que ayudan a la movilidad del pistón y el vástago del cilindro, otro aspecto a tomar en consideración es que la presión en el sistema neumático debe ser constante motivo por el cual los cilindros neumáticos pueden sufrir daños por corrosión en sus partes metálicas.

El suministro de energía eléctrica con la cual activa las electroválvulas que suministran el aire comprimido para el funcionamiento de los actuadores neumáticos también debe ser monitoreado para evitar paros no programados prolongados en el cilindro neumático de doble acción. (serrano, 2020)

### ***2.1.6 Sistemas de monitorización y control de un actuador neumático.***

Para desempeñar la función de monitorización de la operación del actuador neumático se debe determinar el controlador más adecuado para compilar la información proveniente de los datos recolectados de las variables de funcionamiento del actuador neumático de doble efecto, después de revisar las fallas más comunes que se presentan en estos elementos se puede establecer con claridad el tipo de sensores que se debe emplear para este fin. A continuación, se establece los componentes que conforman el sistema de monitoreo:

Tarjeta Arduino PLC: Es un microcontrolador elaborado por A&D Ingeniería, empresa dedicada a la ingeniería en automatización y diseño electrónico, La alimentación de la tarjeta puede ser de 9v hasta los 24vdc, Todas las salidas son activas en alto para activar los relés, Las cargas de los relés en sus contactos NA y NC pueden ser a 120 – 240 VAC o 28 Vdc hasta 10 Amp, sin embargo según el fabricante se recomienda no conectar motores directamente a estos relés ya que acortan notablemente la vida útil y puede causar daños en la tarjeta, se seleccionó esta tarjeta debido a su bajo costo y a su fácil adaptación a un Arduino Nano o Arduino Mega. (Candelo, 2020)

A continuación, en la siguiente tabla 1 se muestra las entradas y salidas de la tarjeta Arduino PLC, la cual se utilizó para realizar las conexiones correctas al utilizar la placa, además en la figura 8 se muestra la Placa Arduino PLC.

**Tabla 1**

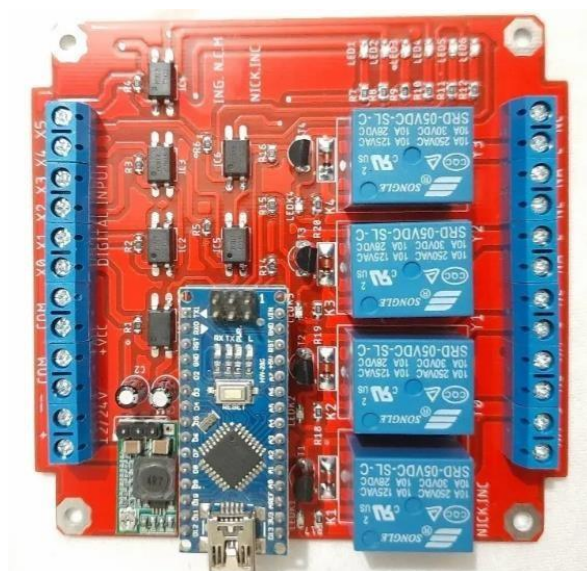
*Entradas y Salidas del Arduino PLC*

ENTRADA 12/24 VDC	PIN ARDUINO NANO	SALIDA A RELE	PIN ARDUINO NANO
X0	D2	Y0	D8
X1	D3	Y1	D9
X2	D4	Y2	D10
X3	D5	Y3	D11
X4	D6		
X5	D7		

**Nota:** Tabla de Entradas y Salidas. Arduino PLC (Candelo, 2020)

*Figura 8*

*Arduino PLC*



Fuente: (Candelo, 2020)

**Nota:** Arduino PLC. Tomada de *Arduino A&D Ingeniería* [Fotografía], (Candelo, 2020)

Shield Tarjeta Arduino Nano: Permite la conexión de varios módulos externos, se puede ampliar la capacidad de hardware y facilitar la conexión entre un Arduino y proyectos de manera mucho más sencilla y eficiente, permite conectar un LCD por I2C, cuenta con un slot para instalación de un reloj de tiempo módulo DS3231, también cuenta con pines para la conexión de Arduino nano, como se muestra en la siguiente figura 9.

**Figura 9**

*Shield Arduino Nano*

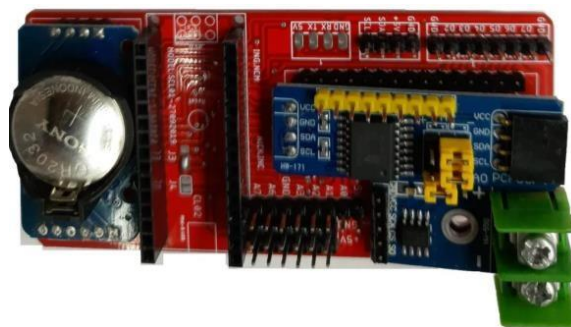


**Nota:** Shield Tarjeta Arduino Nano. Tomada de Arduino A&D Ingeniería [Fotografía], (Candelo, 2020)

Arduino Nano: es una placa de desarrollo, es pequeño, completo y compatible con protoboards, basada en el microcontrolador Atmega328P. Dispone de 14 pines de entrada/salida, como se muestra en la figura 10 a continuación es adaptable al Shield tarjeta Arduino Nano.

**Figura 10**

*Arduino Nano implementado en shield*



**Nota:** Arduino Nano. Tomada de Arduino A&D Ingeniería [Fotografía], (Candelo, 2020)

Sensor Magnético CS1F: está diseñado para trabajar con cilindros neumáticos y posee un indicador led que permite monitorear su operatividad, como se muestra en la figura 11.

**Figura 11**

*Sensor Magnético CS1F*

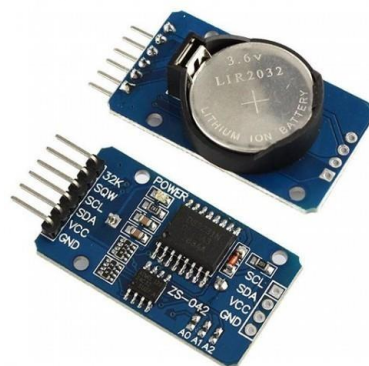


**Nota:** Sensor Magnético CS1F, Tomada de Pneumatic. [Fotografía], <https://www.pneumatic-service.com.ar/categoria-producto/neumatica/>

Modulo Reloj: es un reloj en tiempo real de alta exactitud, permite mantener un registro de segundos, minutos, horas, días de la semana, fecha, mes y año, además se puede configurar para dar una fecha automática, es capaz de generar señales y brindar 2 alarmas programables como se muestra en la figura 12 a continuación.

**Figura 12**

*Modulo reloj*



**Nota:** Modulo reloj, Tomada de Tecnopura. [Fotografía], <https://www.tecnopura.com/producto/modulo-rtc-ds3231-interface-i2c-reloj-en-tiempo-real-compatible-arduino/>



Válvula Neumática Solenoide: Cumple con la función principal de dirigir y distribuir el aire comprimido dentro de un circuito neumático, tienen las siguientes características que se muestran en la tabla 2 (Hyde, 2019)

**Tabla 2**

*Características válvula neumática solenoide*

<b>Descripción</b>	<b>Características</b>
<b>Voltaje de alimentación:</b>	24VDC
<b>Tipo de Válvula</b>	5 puertos, 2 posiciones
<b>Área de orificio</b>	16mm <sup>2</sup>
<b>Rosca</b>	Entrada=Salida=G1/4" Escape=G1/8"
<b>Tiempo de respuesta</b>	0.05 seg

**Nota:** Tabla características de válvula solenoide basado en (Hyde, 2019)

A continuación en la figura 13 se muestra la válvula neumática la cual será implementada para el sistema de monitorización y alerta temprana.

**Figura 13**

*Válvula neumática*



Nota. Válvula neumática solenoide. Tomada de electrónica & servicios. <https://ipowerelectronics.com/productos/2853-airtac-52-valvula-neumatica-12v-dc-modelo-4v210-08.html>

Cilindro Neumático T16x100: El cilindro de doble efecto tiene un buen efecto de sellado, alta precisión, hecho de aleación de aluminio de alta calidad, por lo cual tiene una vida larga útil, alta consistencia de entrada y salida, como se muestra en la figura 14 a continuación. (millán, 2019)

**Figura 14**

*Cilindro neumático T16x100*



**Nota:** Cilindro neumático, Tomada de automation.(  
<https://ar.automation.camozzi.com/noticias-y-eventos/blog/extender-la-vida-de-un-cilindro-neumatico.kl>)

Racores Neumáticos: Son conocidos como conectores o racores de aire comprimido, son un componente importante al momento de realizar conexiones de neumática como se muestra en la figura 15 a continuación

**Figura 15**

*Racores Neumáticos*

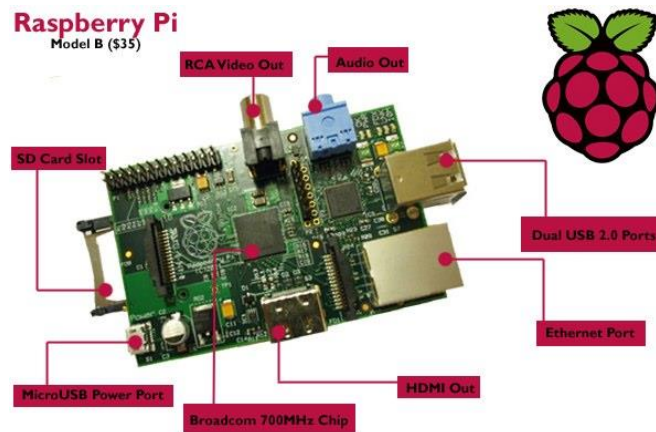


**Nota:** Racores Neumáticos. Tomada de multiracores.  
(<https://www.mltracores.com/racores/racores-neumaticos>)

Raspberry Pi: Es una plataforma de desarrollo para proyectos electrónicos dispone de su estructura hardware puertos USB, conector HDMI, conector de salida de video, puerto de comunicaciones TCP/IP, salida de audio, slot para tarjeta SD, como se muestra en la siguiente figura 16. (Raspberry, 2021)

**Figura 16**

*Raspberry Pi*



**Nota:** Raspberry Pi tomada de Raspberry ( <https://www.raspberrypi.org/learn/>)

Pantalla 3.5" RPI LCD: Las pantallas de Raspberry Pi son necesarias al momento de programar con esta placa permitiendo el control de manera táctil como se muestra en la siguiente figura 17. (Raspberry, 2021)

**Figura 17**

*Pantalla 3.5" RPI LCD*



**Nota:** Pantalla 3.5 RPI tomada de Solectro, ( <https://solectroshop.com/es/150312-pantallas-raspberry-pi>)

Sensor de presión: son dispositivos enfocados en transformar la medida de fuerza sobre la superficie en una magnitud de voltaje proporcional a la presión ejercida, este tipo de sensor debe ser compatible con las entradas analógicas de la placa Arduino, el rango de presión en el cual trabaja es de 0-5 MPA, como se muestra en la figura 18. (MECHATRONICS, 2021, parrafo 2).

**Figura 18**

*Sensor de presión*



Nota. Sensor de presión. Tomada de *Naylamp Mechatronics* [Fotografía], Tienda Virtual *Naylamp Mechatronics*, 2021, (<https://naylampmechatronics.com/sensores-liquido/387-sensor-de-presion-hk3025-5mpa.html>)

**Tabla 3**

*Especificaciones técnicas del sensor de presión*

DESCRIPCIÓN	CARACTERISTICAS
Voltaje de operación	5.0 V DC
Voltaje de salida	0.5-4.5 VDC
Corriente de funcionamiento	$\leq 0.5$ mA
Rango de presión de trabajo	0- 5 MPa (0-50 Bar ó 0-725 PSI)
Presión máxima	7.5 MPA

Nota. Especificaciones técnicas del sensor de presión. *Naylamp Mechatronics*, 2021, (<https://naylampmechatronics.com/sensores-liquido/387-sensor-de-presion-hk3025-5mpa.html>)

### 2.1.7 Adaptabilidad estructural y electrónica de la máquina

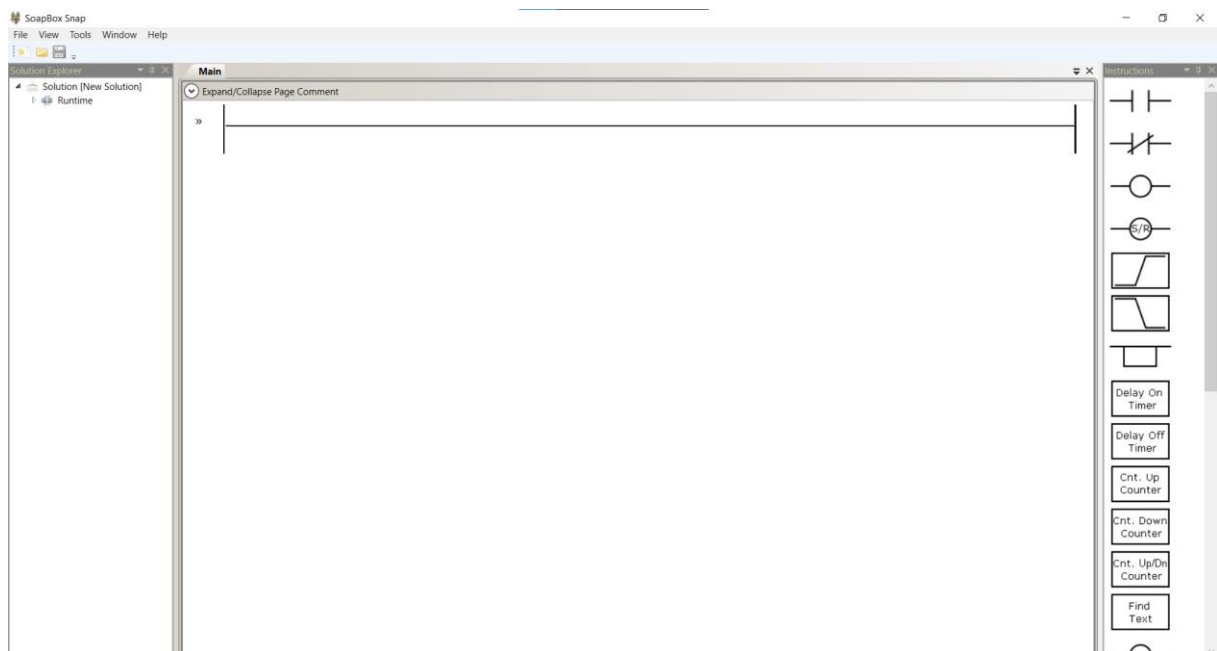
La implementación del controlador lógico programable Arduino PLC requiere del uso del software llamado SoapBox el cual aporta flexibilidad a los cambios de procesos, aportando un sistema de supervisión y control en una interfaz hombre – maquina.

El proceso de fabricación de distintos productos se flexibiliza, sin cambios en la estructura de la máquina, lo que beneficia a las empresas al no afectar los costos de producción.

SoapBox: es una plataforma de automatización la cual incluye en la placa Arduino PLC es gratuita y de código abierto. Incluye un editor de lenguaje Ladder incluye contactos, bobinas, contactores, temporizadores.

A continuación, en la figura 19 se muestra la interfaz del programa

**Figura 19**  
*SoapBox*



Nota. SoapBox tomada por autor.

## **2.2 Marco Legal**

La falta de mantenimiento de los actuadores neumáticos y las líneas de alimentación de aire comprimido provocan condiciones inseguras en los equipos que pueden afectar a los trabajadores que desarrollan sus actividades con esta maquinaria, motivo por el cual la justificación legal para realizar esta investigación se enmarca en las siguientes normativas.

### **2.2.1 Artículos de constitución**

Art. 276.- El régimen de desarrollo tendrá los siguientes objetivos:

1. Mejorar la calidad y esperanza de vida, y aumentar las capacidades y potencialidades de la población en el marco de los principios y derechos que establece la Constitución.
2. Construir un sistema económico, justo, democrático, productivo, solidario y sostenible basado en la distribución igualitaria de los beneficios del desarrollo, de los medios de producción y en la generación de trabajo digno y estable.

Art. 277.- Para la consecución del buen vivir, serán deberes generales del Estado:

1. Garantizar los derechos de las personas, las colectividades y la naturaleza.
2. Dirigir, planificar y regular el proceso de desarrollo.
3. Generar y ejecutar las políticas públicas, y controlar y sancionar su incumplimiento.
4. Producir bienes, crear y mantener infraestructura y proveer servicios públicos.
5. Impulsar el desarrollo de las actividades económicas mediante un orden jurídico e instituciones políticas que las promuevan, fomenten y defiendan mediante el cumplimiento de la Constitución y la ley.
6. Promover e impulsar la ciencia, la tecnología, las artes, los saberes ancestrales y en general las actividades de la iniciativa creativa comunitaria, asociativa, cooperativa y privada.

Art. 304.- La política comercial tendrá los siguientes objetivos:

1. Desarrollar, fortalecer y dinamizar los mercados internos a partir del objetivo

estratégico establecido en el Plan Nacional de Desarrollo.

2. Regular, promover y ejecutar las acciones correspondientes para impulsar la inserción estratégica del país en la economía mundial.
3. Fortalecer el aparato productivo y la producción nacionales.
4. Contribuir a que se garanticen la soberanía alimentaria y energética, y se reduzcan las desigualdades internas.
5. Impulsar el desarrollo de las economías de escala y del comercio justo.
6. Evitar las prácticas monopólicas y oligopólicas, particularmente en el sector privado, y otras que afecten el funcionamiento de los mercados

Art. 385.- El sistema nacional de ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales, en el marco del respeto al ambiente, la naturaleza, la vida, las culturas y la soberanía, tendrá como finalidad:

1. Generar, adaptar y difundir conocimientos científicos y tecnológicos.
2. Recuperar, fortalecer y potenciar los saberes ancestrales.
3. Desarrollar tecnologías e innovaciones que impulsen la producción nacional, eleven la eficiencia y productividad, mejoren la calidad de vida y contribuyan a la realización del buen vivir.

### ***2.2.2 Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo.***

En el capítulo IV UTILIZACIÓN Y MANTENIMIENTO DE MAQUINARIA FIJA, establece en su Art. 91 UTILIZACIÓN inciso 3 dice “No se utilizará una máquina si no está en perfecto estado de funcionamiento, con sus protectores y dispositivos de seguridad en posición y funcionamiento correctos” (Decreto Ejecutivo 2393, 1986)

En el capítulo IV UTILIZACIÓN Y MANTENIMIENTO DE MAQUINARIA FIJA estipula en su Art. 92 MANTENIMIENTO inciso 1 dice textualmente “El mantenimiento de máquinas deberá ser de tipo preventivo y programado”, en el índice 2 establece lo siguiente

“Las maquinas, sus resguardos y dispositivos de seguridad serán revisados, engrasados y sometidos a todas las operaciones de mantenimiento establecidas por el fabricante, o que aconseje el buen funcionamiento de las mismas” (Decreto Ejecutivo 2393, 1986 ).

### **2.2.3 Convenios internacionales**

En el CVN 119 PROTECCIÓN DE LA MAQUINARIA establece en su Art. 2 en el inciso 4 lo siguiente “Todos los volantes, engranajes, conos o cilindros de fricción, levas, poleas, correas, cadenas , piñones, tornillos sin fin, bielas y correderas, así como los árboles (comprendidos sus extremos) y otros órganos de trasmisión que pudieran presentar también peligro para las personas que entren en contacto con estos órganos cuando están en movimiento y que designare la autoridad competente se deberá diseñar o proteger de manera que se prevenga este peligro”. (CVN 119, 1963).

En el CVN 148 PROTECCIÓN DE LOS TRABAJADORES CONTRA RIESGOS PROFESIONALES establece en su Art. 14 “Deberán adoptarse medidas, habida cuenta de las condiciones y los recursos nacionales, para promover la investigación en el campo de la prevención o limitación de los riesgos debidos a la contaminación del aire, el ruido y las vibraciones en el lugar de trabajo” (CVN 148, 1978).



## CAPÍTULO III

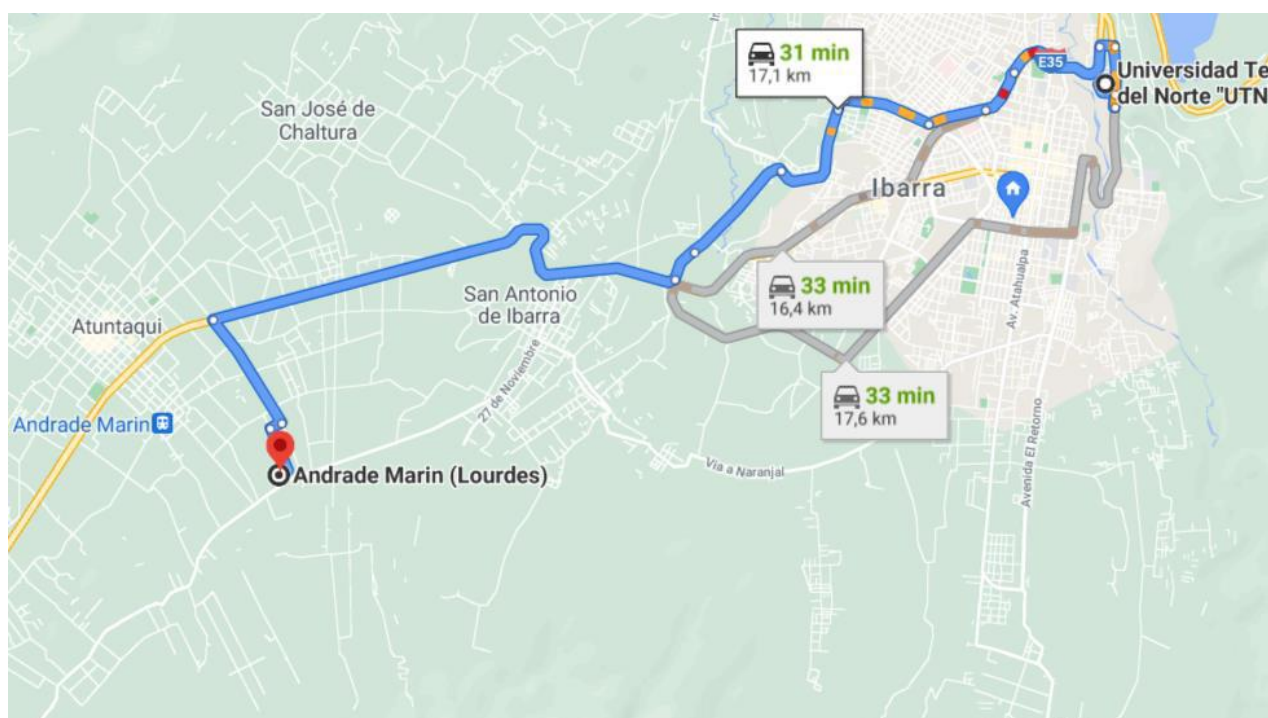
### MARCO METODOLÓGICO

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

El estudio se desarrolló en los laboratorios de mecatrónica de la Universidad Técnica Norte, ubicada en la Provincia de Imbabura, cantón Ibarra, parroquia El Olivo, específicamente en la avenida 17 de julio 5-21. Es un centro de estudios superiores donde se dictan varias carreras de diferentes áreas de estudio en favor del desarrollo tecnológico y científico del país. En la figura 20 se muestra la ubicación del establecimiento educativo donde se realizó el estudio.

**Figura 20**

*Localización del área de estudio*



Nota. Dirección. Tomada de *Google Maps* [Imagen], Google, 2021,

<https://www.google.com.ec/maps/place/Universidad+Tecnica+del+Norte+%22UTN%22/@0.3581941,78.1136969,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x8e2a3cad309ad309:0xc97eab5c0f6a095e!8m2!3d0.3581887!4d-78.1115082?hl=es>

### **3.2 Enfoque de investigación / Tipo de investigación**

El enfoque de la investigación que se utilizó para desarrollar el sistema de monitoreo y alerta temprana de mantenimiento preventivo para un actuador lineal bajo la industria 4.0 es el ingenieril debido a que este enfoque utiliza criterios de diseño, agrega parámetros y variables y optimiza las soluciones encontradas, permitiendo de esta manera solucionar el problema planteado.

Para cumplir con el objetivo general se realizó una investigación documental que permitió encontrar un marco teórico sólido y artículos tecnológicos sobre el funcionamiento de los actuadores neumáticos, las fallas más frecuentes y las investigaciones para solucionar el problema que se ha desarrollado hasta la fecha, en base a estos antecedentes se desarrolló e implementó el sistema de monitoreo y alerta temprana en un actuador neumático

Se inspeccionaron los equipos y el sistema de aire comprimido al cual se encuentra conectado el actuador neumático lineal, observando datos de placa del equipo, en definitiva, se realizó una investigación de campo.

Una vez instalado el sistema de monitoreo en el actuador neumático se procedió a realizar pruebas de funcionamiento del equipo simulando algunas fallas que alteren las variables en el actuador neumático, para observar si el sistema detecta las perturbaciones de las variables y envía un mensaje de alerta temprana al personal de mantenimiento informando que la máquina requiere de atención preventiva. Se analizaron los resultados obtenidos de las pruebas de funcionamiento del sistema y se determinó que realizó el trabajo para el cual está programado.

Cabe mencionar que la implementación de este sistema de monitoreo y alerta temprana implicó que el mismo funciona en cualquier equipo de similares características que se encuentren en la industria ecuatoriana, representando de esta forma una nueva tecnología en materia de gestión y control de mantenimiento de equipos neumáticos industriales. Tomando en consideración lo anteriormente expuesto el presente trabajo estuvo enmarcado como una investigación aplicada

### 3.3 Procedimientos (Diseño de la investigación)

#### 3.3.1 Fase 1:

**Fase 1:** Se analizaron las fallas más recurrentes en los actuadores neumáticos y las variables que influyen en su funcionamiento.

**Actividad 1:** “*Se determinaron las variables de funcionamiento del actuador neumático lineal*”; con base al estudio del funcionamiento de los actuadores neumáticos se definieron las variables que se utilizaron para monitorear el equipo con las cuales se especificó el requerimiento de mantenimiento preventivo.

**Actividad 2:** “*Análisis de tipos de fallas recurrentes en actuadores neumáticos*”; tomando en consideración las variables de funcionamiento se procedió a determinar las fallas más recurrentes y se analizaron las consecuencias de cada una sobre el actuador neumático lineal.

#### 3.3.2 Fase 2:

**Fase 2:** Se diseñó el sistema de monitoreo de las variables que influyeron en su funcionamiento que permitió una transmisión de datos de manera continua.

Con base a las variables de funcionamiento, se procedió a seleccionar los sensores más adecuados para la monitorización de estas, así como el dispositivo para la transmisión de datos hacia la nube Industria 4.0, tomando en consideración estos antecedentes se diseñó el sistema de monitoreo del funcionamiento del actuador neumático.

**Actividad 1:** “*Establecimiento de tipo de sensores*”; Con base a las variables de funcionamiento se definió los sensores que monitoreen el desempeño del actuador en tiempo real.

**Actividad 2:** “*Definición del dispositivo de transmisión de datos*”; tomando en consideración el tipo de sensores se definió el dispositivo de transmisión de datos más adecuado que comunique las señales obtenidas de los sensores hacia la nube de industria 4.0 para que esta emita una señal hacia el personal de mantenimiento que informe el requerimiento de mantenimiento preventivo para el actuador neumático.

**Actividad 3:** *“Establecimiento de las conexiones entre los sensores, el equipo de recolección de datos y el dispositivo de transmisión de datos”*; se definió el circuito eléctrico que conecta los sensores que monitorean el actuador neumático hacia la unidad de recolección de datos y el enlace hacia el dispositivo de transmisión de datos.

**Actividad 4:** *“Definición del mecanismo de comunicación de señales entre el dispositivo de transmisión de datos hacia la nube de industria 4.0”*; se establecieron las frecuencias de conexión inalámbrica adecuada para que la información emitida por el dispositivo llegue a la nube Industria 4.0 y se genere la alerta temprana de mantenimiento.

**Actividad 5:** *“Diseño del programa de monitoreo de las variables de funcionamiento del actuador neumático”*; En base a las variables de operación del actuador neumático lineal, y el fundamento teórico que describe el comportamiento de los actuadores, se diseñó un programa de monitoreo del funcionamiento del equipo y recolección de datos para ser emitidos hacia el dispositivo de transmisión de datos.

### **3.3.3 Fase 3:**

Implementación del sistema de monitoreo y alerta temprana en actuadores neumáticos lineales

Se instalaron y conectaron elementos tales como, los sensores de monitoreo de variables de funcionamiento en el actuador neumático lineal, el equipo de recolección de datos y el dispositivo de transmisión de datos con la ayuda de herramienta menor y verificando el circuito eléctrico de conexión

**Actividad 1:** *“Instalación de los sensores en el actuador neumático lineal”*; se ubicaron los sensores de monitoreo en las salidas y entradas del actuador neumático lineal, se empalmaron las conexiones eléctricas necesarias para la transmisión de las señales hacia una central donde se recopile la información.

**Actividad 2:** *“Ejecución de las conexiones de todo el sistema de monitoreo y alerta temprana”*; Se conectaron los sensores hacia el dispositivo de recolección de datos de las variables de funcionamiento del actuador neumático lineal, posteriormente se conectaron los cables desde el equipo de recolección de datos hacia la unidad de transmisión la cual debe emitir señales de alerta hacia la nube.

**Actividad 3: “Configuración y calibración de todos los equipos”;** Tomando en consideración el programa de monitoreo y las variables de funcionamiento del equipo se calibraron y configuraron los elementos que intervienen en el sistema de monitoreo del actuador neumático lineal.

**3.3.4 Fase 4:** Manipulación del sistema de monitoreo y alerta temprana en actuadores neumáticos lineales de manera que permita un análisis de los resultados obtenidos.

Se puso en acción el actuador neumático lineal y se ejecutó el sistema de monitoreo y alerta temprana para observar el desempeño del mismo. Se realizaron pruebas al actuador en diferentes escenarios de funcionamiento para verificar si el sistema de monitoreo era capaz de detectar anomalías en el funcionamiento del equipo e informar de las mismas a la nube.

**Actividad 1: “Activación del sistema de monitoreo y el actuador neumático lineal”;** Se encendió el sistema de monitoreo, alerta temprana y el actuador neumático verificando de esta forma la recolección de datos de las variables de funcionamiento.

**Actividad 2: “Alteración de los valores de las variables de funcionamiento mediante simulación de daños en el actuador neumático”;** Se verificaron diferentes tipos de fuga por ejemplo se retiró un empaque de los conductos de ingreso o salida de aire del actuador neumático lineal de doble efecto, simulando una fuga de aire y verificando que el sistema de monitorización detectara esta anomalía, y procediera a emitir una alerta al dispositivo de transmisión de datos el cual emite una señal, hacia la nube la cual por medio de un mensaje de texto alerte al personal de mantenimiento de la falla y se coordine el mantenimiento de este elemento.

**Actividad 3: “Verificación de datos obtenidos por parte del sistema del comportamiento de las variables y el tiempo de funcionamiento del actuador neumático”;** Se analizó la base de datos donde se almacenan los cambios sufridos por las variables de funcionamiento en el transcurso de la operación del actuador neumático y se observó el tiempo de funcionamiento del equipo.

**Actividad 4: “Análisis de resultados”;** En base a los resultados obtenidos en las pruebas de funcionamiento del sistema se verificó la efectividad del sistema y se calibraron de nuevo los equipos a fin de que se pueda detectar las fallas del actuador neumático de una forma más

precisa y de esta forma retroalimentar los conocimientos obtenidos para mejorar el sistema si es posible.

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

Tomando en consideración el cumplimiento del **Código Orgánico del Ambiente** que en su artículo 8.- *Responsabilidades del Estado* que dice en su inciso 2 “*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*”.

Se propuso la implementación del sistema de monitoreo y alerta temprana de mantenimiento preventivo para actuadores neumáticos para corregir posibles fallas en estos equipos las cuales causan un incremento en las horas de trabajo de los compresores que funcionan con combustibles fósiles provocando de esta manera un incrementando en la contaminación al medio ambiente.

En el caso de los compresores que funcionan con energía eléctrica la cual las empresas la obtienen del sistema integrado de electrificación nacional, el suponer un incremento en el tiempo de trabajo de los compresores para compensar las fugas de aire de los actuadores neumáticos supone una sobrecarga del sistema eléctrico lo cual puede provocar apagones que afecten la seguridad de los ciudadanos y pongan en riesgo vidas en los hospitales que requieren del suministro continuo de energía eléctrica para que funcionen ciertos aparatos en las unidades de cuidados intensivos.

El desarrollo del sistema de monitoreo y alerta temprana ayudará a evitar mayor contaminación ambiental, al no obligar a los compresores a trabajar más tiempo del necesario, salvaran vidas en los hospitales ya que se reducirá la sobrecarga al sistema de electrificación nacional

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se detalla el diseño de un sistema de monitorización y alerta temprana para un cilindro neumático de doble acción bajo industria 4.0. Para lo cual se analizaron las fallas más recurrentes que se presentan en estos elementos, sus especificaciones técnicas y tomando en atención a estos aspectos se procedió a establecer las variables a monitorear para analizar la idoneidad del tipo de sensores para monitorear el funcionamiento del actuador neumático. Se conecta el actuador neumático a una red de aire comprimido y posteriormente se ejecuta el montaje del sistema de monitorización y alerta temprana para finalmente realizar varias simulaciones de falla, de esta manera se comprueba la efectividad del sistema de monitoreo y su capacidad de transmitir los datos, desde la cual se envía un mensaje de texto al personal de mantenimiento, cumpliendo de esta manera las especificaciones que satisfacen el requerimiento planteado.

#### 4.1 Especificaciones del sistema a diseñar

A continuación, se presenta una descripción de las especificaciones técnicas que debe cumplir el sistema de monitorización y alerta temprana de mantenimiento para su diseño, implementación y óptimo desempeño.

**Cilindro neumático de doble acción:** Por la versatilidad de movimiento este elemento es muy utilizado en las líneas de producción.

**Software libre:** La programación del sistema de monitoreo y alerta temprana se realizó con software libre para reducir costos y permitir una fabricación de este sin impedimentos.

**Costo:** el sistema debe ser de un costo moderado para que se pueda implementar en pequeñas empresas que busquen automatizar sus procesos de mantenimiento.

**Seguridad:** el sistema debe brindar confianza al personal que labora con actuadores neumáticos para evitar accidentes de trabajo gracias a la permanente monitorización de su funcionamiento y la detección oportuna de fallos.

**Trasmisión de datos:** el dispositivo debe ser capaz de transmitir datos de operación del actuador neumático en tiempo real.

**Presión:** detectar alteraciones en la presión que ingresa al actuador neumático, a fin de evitar condensación del aire comprimido o sobre presiones que afecten al actuador neumático.

**Componentes:** en la medida de lo posible se debe usar dispositivos y elementos que se comercialicen en el mercado nacional.

## 4.2 Resultados y Análisis

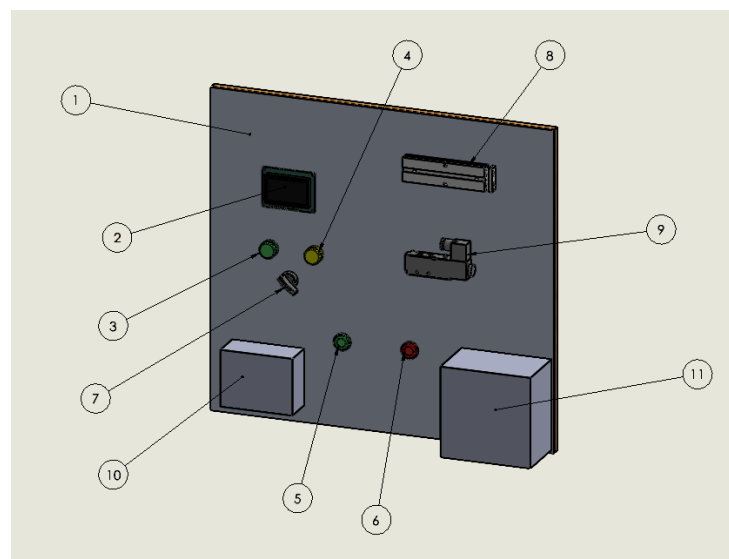
Para resolver esta necesidad en procesos industriales, en primera instancia, se presenta el sistema de monitorización y alerta temprana para mantenimiento preventivo de actuadores neumáticos, luego se realizó un análisis con los cuales se determinó los procesos a intervenir; se seleccionó los elementos a implementar y se desarrolló el software que comande el proceso, finalmente se realizaron pruebas de funcionamiento para verificar los resultados esperados.

### 4.2.1 Solución propuesta

El sistema de monitorización y alerta temprana está conformado por partes que se muestran en la siguiente figura 21 en el cual se presenta el diseño CAD previo a su implementación, y se describen en la tabla 4

**Figura 21**

*Sistema de monitorización y alerta temprana*



**Nota:** Sistema de monitorización y alerta temprana tomada por autor.



**Tabla 4***Descripción de sistema de monitorización*

Número	Descripción
1	Tablero de soporte
2	Pantalla LCD
3-4-5-6	pulsadores
7	Selector
8	Cilindro Neumático
9	Válvula Neumática
10	Arduino PLC
11	Caja de conexiones

Nota: Descripción de sistema de monitorización realizada por autor

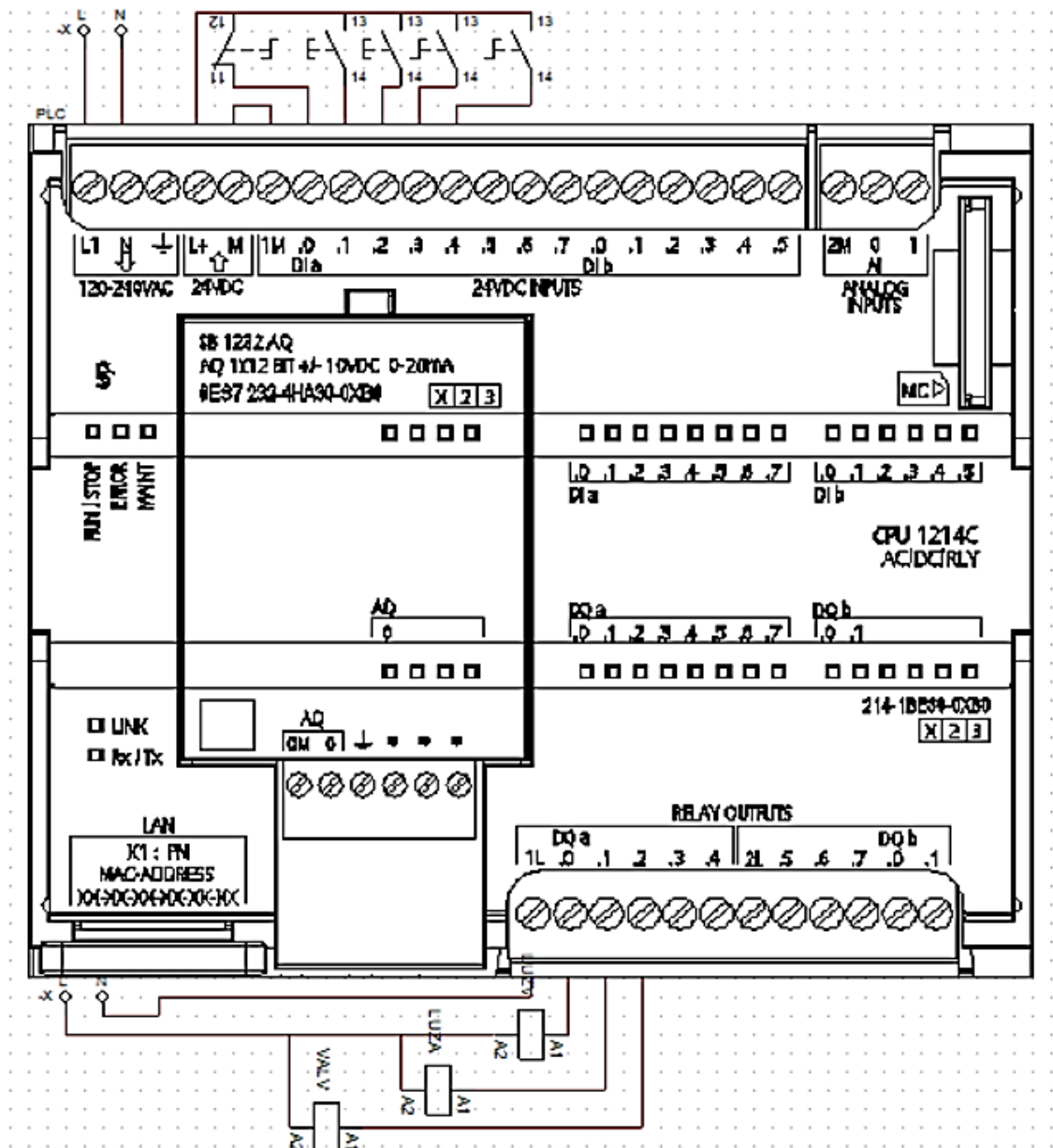
Con estas consideraciones, se propuso un sistema conformado por un PLC para comandar a los demás dispositivos, como se mencionó en el capítulo 1 epígrafe 2.1.6 se utilizará un ARDUINO PLC, una pantalla LCD que sea la interfaz con el operador, componentes neumáticos como son: válvula neumática, cilindro neumático, racores, sensores magnéticos los cuales servirán para simular errores recurrentes en el sistema.

#### **4.2.2 Diagrama de conexiones**

Con este conjunto de elementos se realiza el diagrama de conexiones con su respectiva simulación, como se muestra en la figura 22 donde se representa un PLC con sus respectivas conexiones. Los componentes fueron seleccionados en base a los requerimientos planteados en el apartado anterior garantizando técnicamente la mejor solución.

Figura 22

Diagrama de conexiones



Nota. Autor

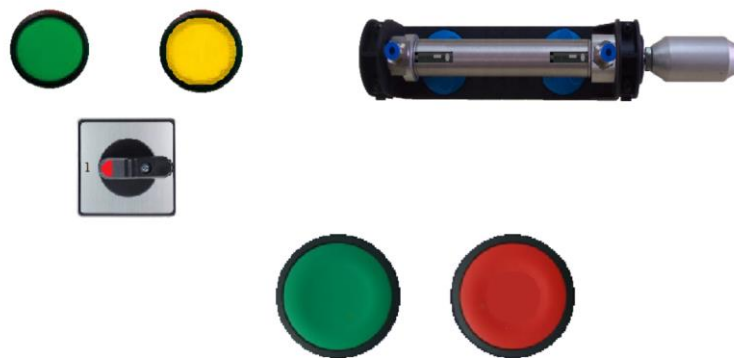
El diagrama de control fue realizado en el software CADESIMU, para el control del Arduino PLC es necesario desarrollar la programación en lenguaje LADDER, el cual es un lenguaje de programación gráfico muy utilizado a la hora de automatizar un sistema, se desarrolló un sistema de monitorización en el cual con ayuda de un selector se permite elegir modo manual y modo automático para los cuales se ha desarrollado un sistema de alerta temprana con el fin de brindar un mantenimiento preventivo en el actuador neumático.

### 4.2.3 Ejecución del programa

La simulación fue desarrollada en PC SIMU con el fin de comprobar el correcto funcionamiento de cada uno de los componentes antes de ser implementados, y muestra los pulsadores, un selector el cual permite elegir entre manual o automático y el cilindro neumático sin ser accionado en la figura 23

**Figura 23**

*Simulación cilindro neumático sin ser accionado*



Nota. Autor

En la siguiente figura 24 se muestra el cilindro una vez accionado

**Figura 24**

*Simulación cilindro neumático accionado*



Nota. Autor.

Una vez comprobado el correcto funcionamiento de cada uno de los componentes en la simulación se procede a implementar el sistema de monitorización y alerta temprana para mantenimiento preventivo como se muestra en la Figura 25 en la cual se encuentra el compresor de aire utilizado.

**Figura 25**

*Compresor de aire*



**Nota.** Compresor de aire marca porten de 2hp con tanque 24 litros

A continuación, en la figura 26 se muestran los componentes implementados en el proceso de monitorización para actuadores neumáticos, para el cual se utilizó un cilindro neumático, una válvula neumática, racores, caja de conexión, sensores de presión y posición, unidad de mantenimiento y el Arduino PLC el cual es el que controla el correcto funcionamiento.

**Figura 26**

*Sistema de monitorización para actuadores neumáticos*



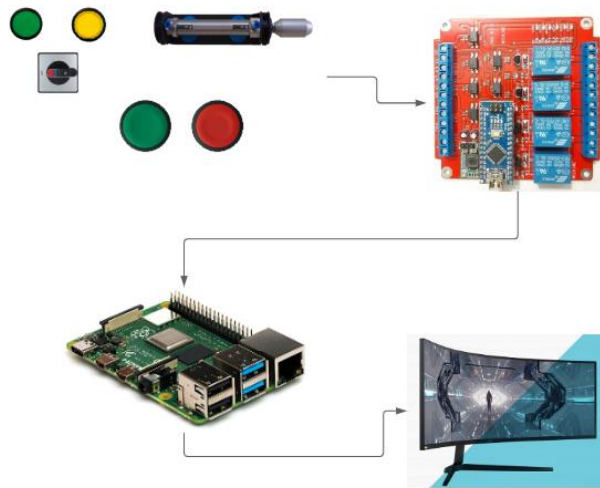
**Nota.** Autor.

Una vez implementado el sistema de monitorización para actuadores neumáticos se procede a implementar las alertas tempranas bajo I4.0 que debe enviar el sistema para ello se utilizó un módulo de gestión de datos.

**Módulo de gestión de datos:** Cada una de las alertas adquiridas por el módulo de adquisición de datos se envían a la placa Raspberry Pi 4, la cual realiza el envío de SMS, a continuación, en la figura 27 se muestra un diagrama esquemático del proceso realizado.

**Figura 27**

*Esquemático de la gestión de datos.*



**Nota:** Autor.

El sistema implementado cuenta con una programación el cual se encuentra en Anexos B y tiene la función de activar ciertas alertas vinculadas al cambio de posición, la presión y el número de ciclos como se muestra en la Figura 28.

**Figura 28**

*Archivo .Py*

```
Thonny - /home/p/Documentos/Proyecto/main.py @ 86 x 20
New Load Save Run Debug Over Info Out Stop Zoom Quit Switch to regular mode

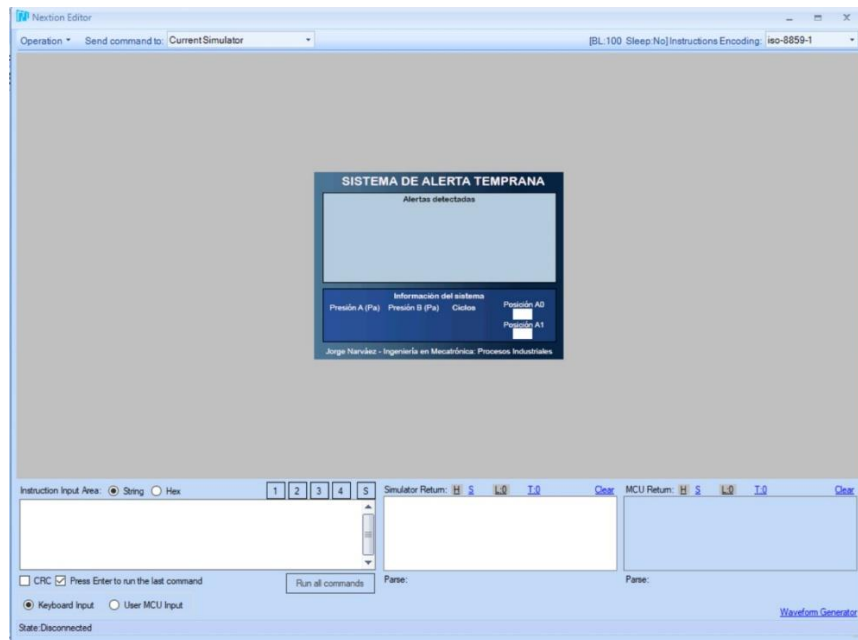
main.py
22 posA0 = pos.sensorA0()
33 posA1 = pos.sensorA1()
34 if posA0 == 1:
35     pos.a00N()
36     if estado == 3:
37         estado = 0
38         ciclos += 1
39 if posA0 == 0:
40     pos.a00FF()
41     if estado == 0:
42         estado = 1
43         t0 = time.time()
44         if presionA >= presionRefA*1.3 or presionA <= presionRefA*0.7:
45             if statePA == 0:
46                 alert.alertaPA()
47                 statePA = 1
48             else:
49                 alert.limpiar('presion A')
50                 statePA = 0
51 if posA1 == 1:
52     pos.a10N()
```

**Nota:** Autor.

Una vez obtenido los datos de cada sensor se procede a realizar la interfaz gráfica como se muestra en la figura 29 la cual fue desarrollada en el programa nextion editor en la cual se puede visualizar las lecturas de los sensores de presión, los ciclos y posición, así como las alertas detectadas como se muestra en la figura 30.

**Figura 29**

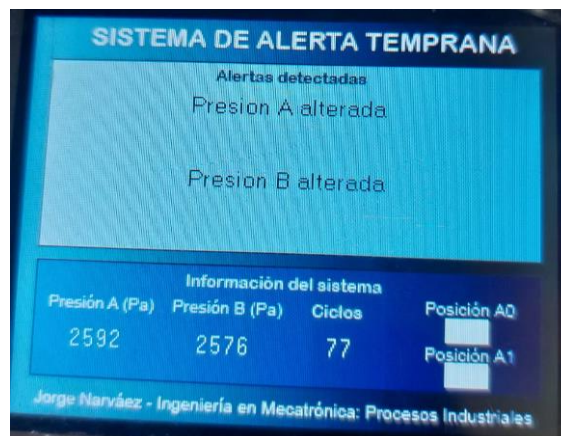
*Desarrollo de interfaz gráfica.*



**Nota:** Autor.

**Figura 30**

*Pantalla implementada*

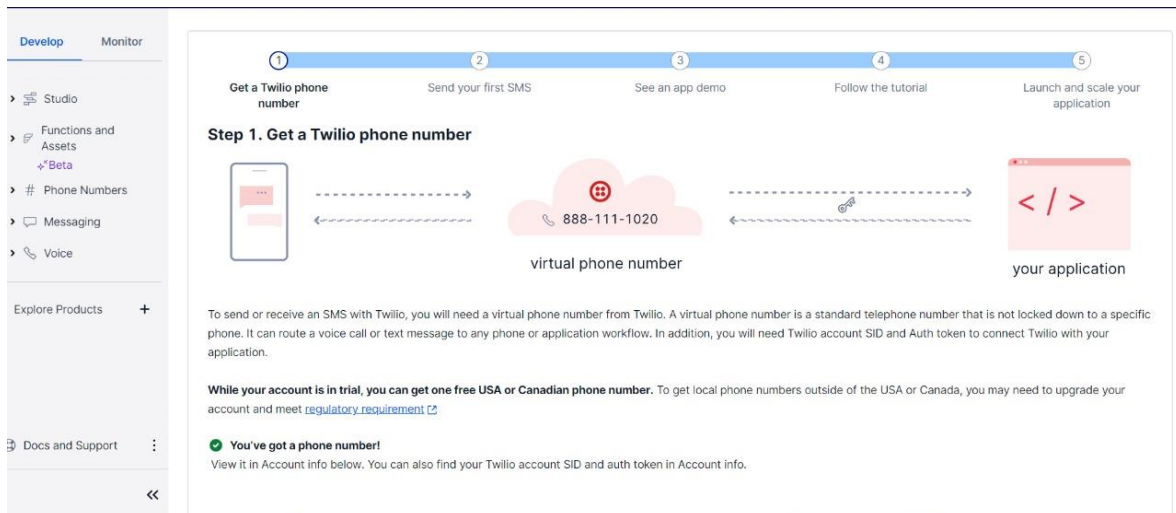


**Nota:** Autor.

El envío de SMS se lo obtuvo en la plataforma de comunicación Twilio, la cual permite la entrega de mensajes a usuarios finales sin importar donde se encuentren, en la figura 31 se muestra el primer paso a seguir

**Figura 31**

*Plataforma Twilio*



**Nota.** Twilio tomada de la plataforma Twilio (<https://www.twilio.com/es-mx/>)

Una vez que el programa se encuentra listo, así como la interfaz de usuario, el sistema de monitorización y alerta temprana envía SMS permitiendo brindar alertas tempranas para mantenimiento preventivo cumplimiento con la filosofía industria 4.0.

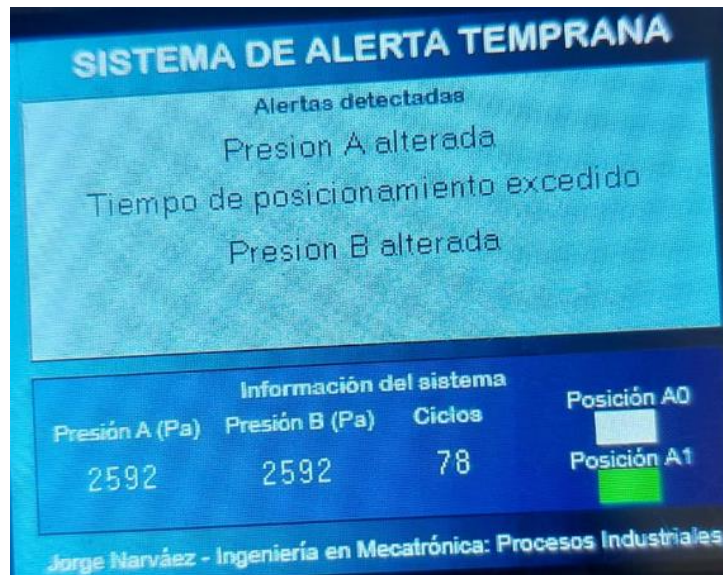
A continuación, en la figura 32 se puede visualizar las posibles alertas programadas, presión A alterada, presión B alterada, tiempo de posicionamiento excedido, así como se puede identificar el valor de la presión A y B en Pascales, el número de ciclos y el cambio de posición del cilindro neumático.

En el caso del cilindro neumático envía una alerta vía SMS, los cuales pueden visualizarse en la figura 33 a los números registrados con antelación.



**Figura 32**

*Sistema de alerta temprana*



**Nota:** Autor.

**Figura 33**

*Mensaje de alerta de cambio de presión*



**Nota.** Autor.

Con el fin de comprobar el correcto funcionamiento se muestra en la figura 34 la posición del cilindro neumático en este caso es de A0 y se comprueba su correcta lectura en la figura 35, en la cual se indica las posiciones del cilindro siendo A0 y A1, en este caso se muestra encendido la posición A0 ya que el cilindro en su posición

**Figura 34**

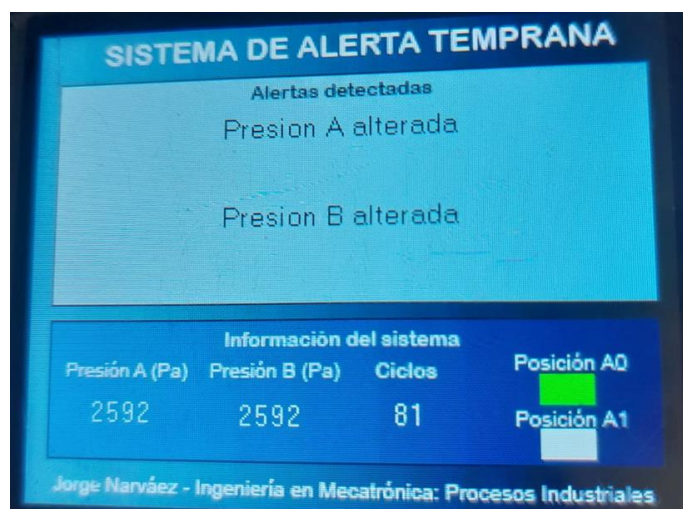
*Cilindro neumático en posición A0*



**Nota:** Autor.

**Figura 35**

*Posición A0 en pantalla*

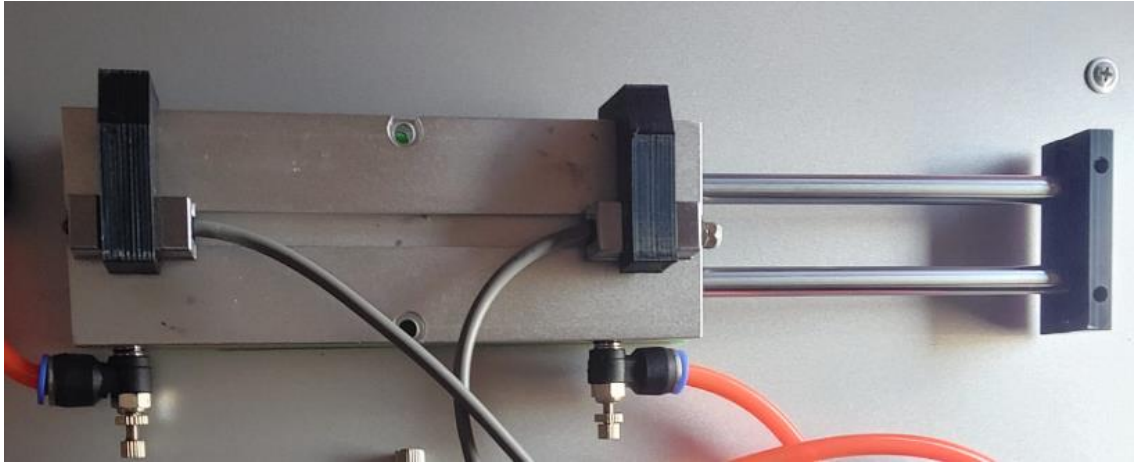


**Nota:** Autor.

A continuación, en la figura 36 se puede visualizar la posición del cilindro neumático en este caso es de A1 y se comprueba su correcta lectura en la figura 37.

**Figura 36**

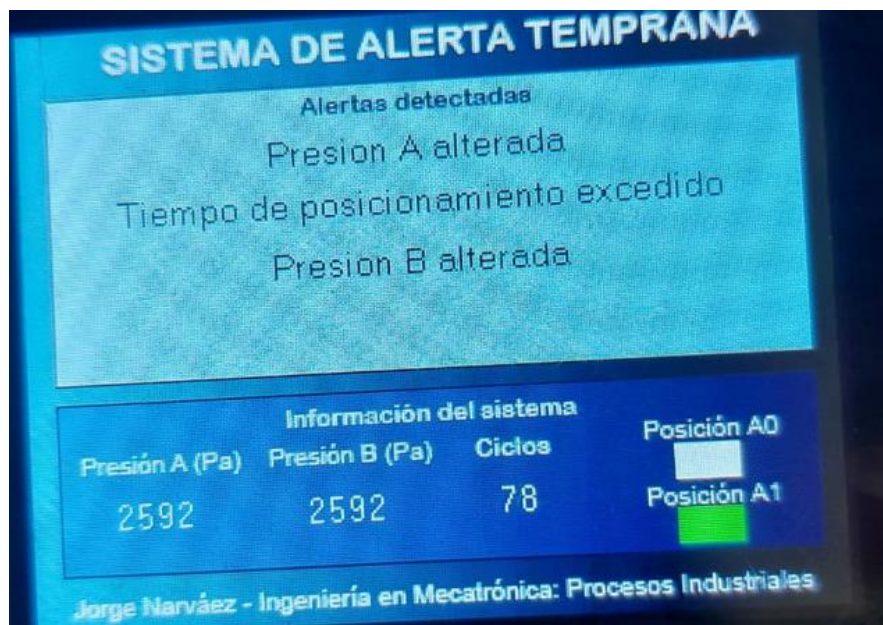
*Posición A1 en pantalla*



**Nota:** Autor.

**Figura 37**

*Posición A1 en pantalla*



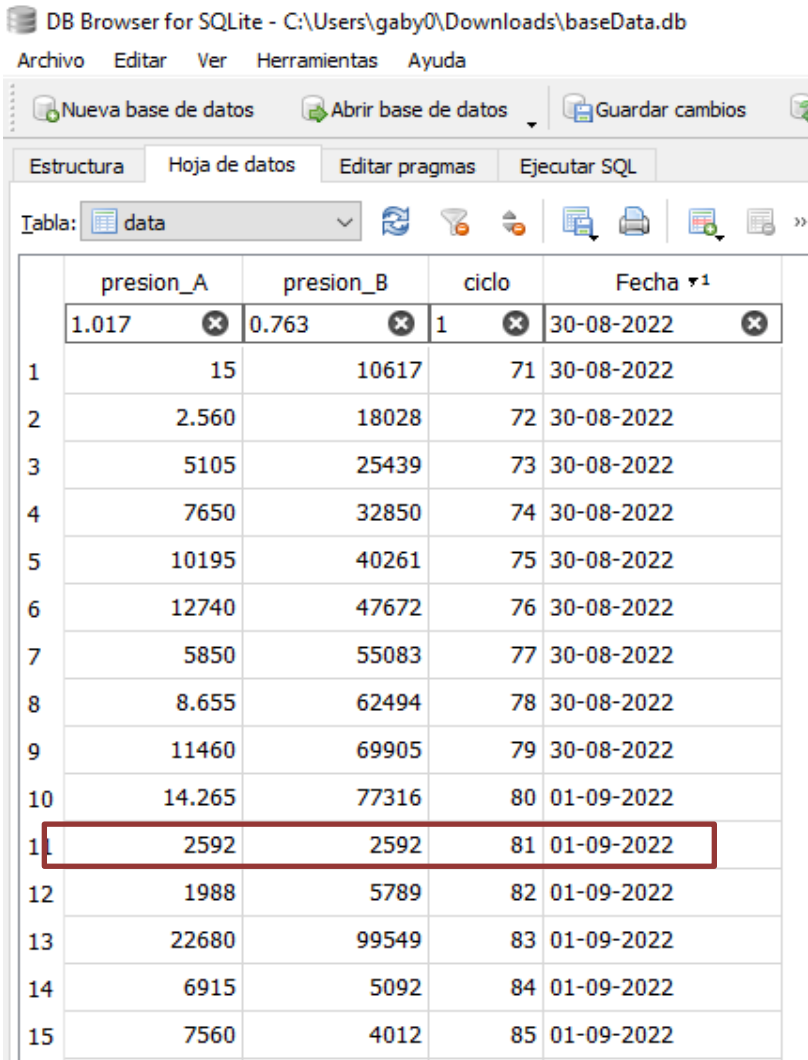
**Nota:** Autor.

Al finalizar el proceso se puede verificar que el programa funciona con eficiencia y acorde a las necesidades del proyecto, emitiendo alertas tempranas para el mantenimiento preventivo de actuadores neumáticos bajo la industria 4.0.

A continuación, en la figura 38 se muestra la base de datos en la cual se indica cada prueba de funcionamiento realizada como se puede ver en el recuadro rojo al indicar una presión en A de 2592 y en B 2592 con 81 ciclos el 1 de septiembre del 2022 emite una alerta.

**Figura 38**

*Base de datos*



DB Browser for SQLite - C:\Users\gaby0\Downloads\baseData.db

Archivo Editar Ver Herramientas Ayuda

Nueva base de datos Abrir base de datos Guardar cambios

Estructura Hoja de datos Editar pragmas Ejecutar SQL

Tabla: data

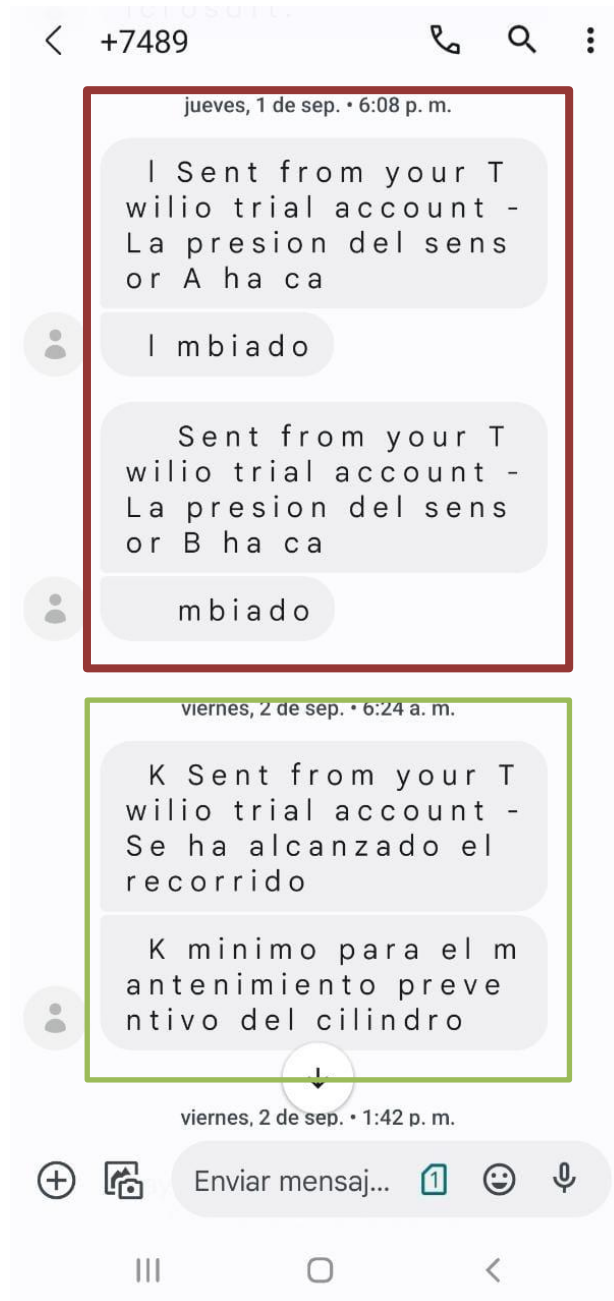
	presion_A	presion_B	ciclo	Fecha
	1.017	0.763	1	30-08-2022
1	15	10617	71	30-08-2022
2	2.560	18028	72	30-08-2022
3	5105	25439	73	30-08-2022
4	7650	32850	74	30-08-2022
5	10195	40261	75	30-08-2022
6	12740	47672	76	30-08-2022
7	5850	55083	77	30-08-2022
8	8.655	62494	78	30-08-2022
9	11460	69905	79	30-08-2022
10	14.265	77316	80	01-09-2022
11	2592	2592	81	01-09-2022
12	1988	5789	82	01-09-2022
13	22680	99549	83	01-09-2022
14	6915	5092	84	01-09-2022
15	7560	4012	85	01-09-2022

**Nota:** Autor.

En la figura 39 se muestra la alerta en el recuadro rojo al cambiar de presión y en el recuadro verde cuando el cilindro ha alcanzado su recorrido y necesita un mantenimiento preventivo.

**Figura 39**

*Alerta de cambio de presión.*

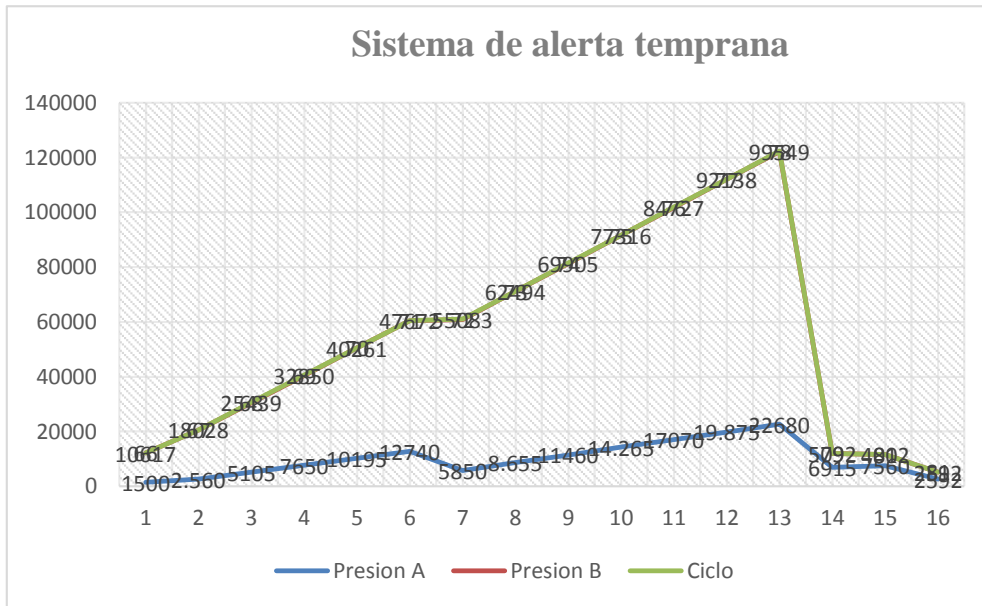


**Nota:** Autor.

En la figura 40, se muestra un diagrama de dispersión de la toma de datos presentados por la presión A, presión B y los ciclos.

**Figura 40**

*Gráfico de datos del sistema de alerta temprana*

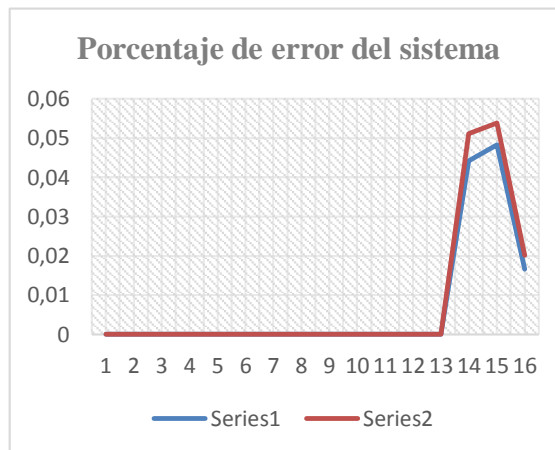


**Nota:** Autor.

A continuación, en la figura 41, se muestra el porcentaje de error siendo el más alto de 6% de error para la emisión de alertas en el sistema.

**Figura 41**

*Porcentaje de error del sistema*



**Nota:** Autor.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### Conclusiones

La mayoría de los cilindros neumáticos requieren un mantenimiento preventivo por lo que la implementación del sistema de monitorización y alerta temprana satisface la necesidad de brindar alertas en actuadores neumáticos y fue desarrollada bajo la industria 4.0.

El sistema de alerta temprana cuenta con una tarjeta Raspberry para la gestión de datos de los sensores de presión y posición la cual permite controlar todo el sistema de monitoreo, además, permite generar una base de datos y así poder controlar el sistema.

El envío de SMS mediante la plataforma Twilio permite brindar alertas en caso de cambios significativos acoplándose a la integración con el operativo según los lineamientos de la industria 4.0.

En este proyecto se realizó varias pruebas, donde se obtuvo las lecturas de los sensores de presión, el número de ciclos, el cambio de posición de los sensores, cada uno con su respectiva fecha, Previamente, las lecturas se determinaron para comparar su funcionamiento adecuado por el sistema, el cual logra determinar las lecturas de los sensores con un error máximo del 6%, se desarrolló tablas de dispersiones presentadas en el documento donde se muestra dicho porcentaje

## **Recomendaciones**

La compatibilidad de sensores a la tarjeta controladora de Arduino permite tener una variedad de opciones al momento de medir una variable por lo que es recomendable establecer el lugar, tipo de variable a censar.

El orden en el cableado es recomendable con el fin de facilitar la conexión de los componentes electrónicos previniendo errores de conexión y fallos en el funcionamiento.

Es recomendable contar con otros sensores comerciales con el fin de mejorar el proceso de calibración.

Se recomienda para futuras investigaciones incorporar más sensores como sensores de humedad y temperatura permitiendo solventar las anomalías no registradas, generar datos y con ello una acción de respuesta de manera autónoma y automática.

La implementación de algoritmos de machine learning o Deep learning para predecir fallos en actuadores neumáticos lineales como proyecto a futuro.



## BIBLIOGRAFIA

- Almalki, S. (2016). Integrating Quantitative and Qualitative Data in Mixed Methods Research - Challenges and Benefits. *Journal of Education and Learning*, 288-296.
- Altun, M. (2020). The Effect of Cooperative Learning Strategies in the Enhancement of EFL Learners' Speaking Skills. *Asian EFL Journal*, 144-171.
- Andrade, C. (2019, December 19). Emotional factors affecting the oral production in English students from 8th school year of basic general education of the "28 de Septiembre" educational unit, Ibarra Cantón. *Emotional factors affecting the oral production in English students from 8th school year of basic general education of the "28 de Septiembre" educational unit, Ibarra Cantón*. Ibarra, Imbabura, Ecuador: Universidad Técnica del Norte.
- Anora, J. (2020). The role of case study technology in teaching English classes. *Jizzakh State Pedagogical Institute Jabbarova, JSPI*, 1-4.
- Arkiang, F., & Adwiah, R. (2020). The implementation of team teaching learning method on Islamic education subject in Kupang elementary school. *Jurnal Conciencia*, 66-76.
- Aspers, P. (2019). What is Qualitative in Qualitative Research. *Qualitative Sociology*, 139-160.
- Bolen, J. (2014). *ESL SPEAKING*. Retrieved from Approaches and Methods in Language Teaching: <https://eslspeaking.org/approaches-methods-language-teaching/>
- Cabadiana, B. (2019, May 17). Analysis of Cooperative Learning in teaching process in development of speaking skill at décimo año de educación general básica"A" at Unidad Educativa " Monseñor Leonidas Proaño" in Riobamba city, Chimborazo Province, during the academic year 2018-2019. *Analysis of Cooperative Learning in teaching process in development of speaking skill at décimo año de educación general básica"A" at Unidad Educativa " Monseñor Leonidas Proaño" in Riobamba city, Chimborazo Province, during the academic year 2018-2019*. Riobamba, Chimborazo, Ecuador: Universidad Nacional de Chimborazo.
- Candelo, N. (2020). *Configuración PLC ARDUINO NANO*. Colombia: A&D INGENIERIA .

- Chuquín, L. (15 de Enero de 2016). Implementación de Estrategias Interactivas de motivación para desarrollar la destreza de hablar en el idioma Inglés en los estudiantes de los segundos niveles del Centro Académico de Idiomas CAI de la Universidad Técnica del Norte, del Cantón Ibarra, Prov. *Implementación de Estrategias Interactivas de motivación para desarrollar la destreza de hablar en el idioma Inglés en los estudiantes de los segundos niveles del Centro Académico de Idiomas CAI de la Universidad Técnica del Norte, del Cantón Ibarra, Prov.* Ibarra, Imbabura, Ecuador: Universidad Técnica del Norte.
- Churuchumbi, C. (2020, February 07). Affective factors that influence English oral production in the 8th level students of basic general education at Mariano Suárez Veintimilla High School in Ibarra . *Affective factors that influence English oral production in the 8th level students of basic general education at Mariano Suárez Veintimilla High School in Ibarra* . Ibarra , Imbabura, Ecuador: Universidad Técnica del Norte.
- Clippard. (2018). *cilindros amortiguados*. Barcelona.
- Daly, N., & Sharma, S. (2018). Language-As-Resource: Language Strategies Used By New Zealand Teachers Working In An International Multilingual Setting. *Australian Journal of Teacher Education*, 15-29.
- Diyab, E. A. (2014). Using a Multimedia-Based Program for Developing Student Teachers' EFL Speaking Fluency Skills . *Journal of Faculty of Education*, 1-31.
- Elman, C., Gerring, J., & Mahoney, J. (2020). *The Production of Knowledge: Enhancing Progress in Social Science*. United Kingdom: Cambridge University Press.
- Ferreira, V., & Griffffin, Z. (2003). Phonological Influences On Lexical (Mis Selection). *Psychological Science*, 86-90.
- Gamba, A. (2017). Collaborative and Self-directed Learning Strategies to Promote Fluent. *Canadian Center of Science and Education*, 139-157.
- Goldie, J. D. (2016). Connectivism: a knowledge learning theory for the digital age? *Enlighten University of Glasgow*, 1-15.

- Golkova, D., & Hubackova, S. (2014). Productive Skills in Second Language Learning. *Procedia Social and Behavior Sciences*, 477-481.
- Guevara, S., & Flores, F. (2020). English Majors' Perceptions on Factors Influencing the Development of their Oral Fluency. *Revista Electrónica Cooperación Universidad Sociedad*, 11-18.
- Halls, J. (2014). *Memory and Cognition in Learning*. USA: Association for Talent Development.
- Herrera, L. (2017). Impact of Implementing a Virtual Learning Environment (VLE) in the EFL Classroom. *Íkala, Revista de Lenguaje y Cultura*, 479-498.
- Hoy, W., & Adams, C. (2016). *Quantitative Research in Education: A Primer*. United States of America: SAGE Publications.
- Hyde, J. (2019). *Control Electroneumático y electrónico*. Barcelona: Norgren.
- jiménez, R. C. (2013). *Montaje y reparación de sistemas neumáticos e hidráulicos*. Málaga: Innovación y cualificación.
- Khan, A., & Mansoor, H. (2020). Integrated Collaborative Learning Approach (ICA) Conceptual Framework of Pedagogical Approach for the Integration of Language Skills. *Competitive Social Sciences Research Journal*, 13-28.
- Kohli, A., Sharma, S., & Padhi, S. (2018). Specific Learning Disabilities: Issues that Remain Unanswered. *Indian Journal of Psychological Medicine*, 399-405.
- Kumar, G. (2019). A framework to improve the quality of teaching-learning process - A case study. *Procedia Computer Science*, 92-97.
- Lata, H., & Ranjan, P. (2016). Enhancing students interest in English language via multimedia presentation. *International Journal of Applied Research*, 275-281.
- Laubstein, A. (1999). Word Blends as Sublexical Substitutions. *Canadian Journal of Linguistics*, 127-148.

- Mantilla, M., & Guevara, S. (2018). La incidencia de la ansiedad en el desarrollo de la habilidad de expresión oral en la clase de lengua extranjera. *Revista Sarance*, 29-42.
- Mc, M. (2021). *Etapas del procesamiento de aire comprimido*. Sistemas Neumaticos.
- Meckbach, J. (2013). Exergames as a Teaching Tool in Physical Education. *Sport Science Review*, 369-385.
- Mero, C. (2020). The Motivation and its Importance in the Teaching-Learning Process. *International Research Journal of Management, IT & Social Sciences*, 138-144.
- millán, s. (2019). *automatización neumática y electroneumatica*. España: Biblioteca técnica norgren.
- Miralpeix, I., & Muñoz, C. (2018). Receptive Vocabulary Size and its Relationship to EFL Language Skills. *International Review of Applied Linguistics in Language Teaching IRAL*, 1-24.
- Molina, M., & Briesmaster, M. (2017). The Use of the 3/2/1 Technique to Foster Students' Speaking Fluency. *Inquiry in Education*, 1-13.
- Moreno, Lenín Presidente Constitucional de la República del Ecuador, SENPLADES. (22 de September de 2017). Plan Nacional de Desarrollo 2020-2021 Toda una vida. *Plan Nacional de Desarrollo 2020-2021 Toda una vida*. Quito, Pichincha, Ecuador: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo SENPLADES.
- Namanzandost, E., Shatalebi, V., & Nasri, M. (2020). The impact of cooperative learning on developing speaking ability and motivation toward learning English. *Journal of Language and Education*, 1-28.
- Namaziandost, E., Homayouni, M., & Rahmani, P. (2020). The impact of cooperative learning approach on the development of EFL learners' speaking fluency. *Cogent Arts & Humanities*, 1-14.
- Paaki, H. (2020). Normativity in English oral production in Finland and Japan. *Apples Journal of Applied Language Studies*, 23-45.

- palencia, o. g. (2013). *Mantenimiento*. Colombia: Universidad tecnologica de colombia.
- Pérez, J., Sánchez, R., González, J., & Cózar, R. (2019). The effect of personalized feedback on listening and reading skills in the learning of EFL. *Routledge, Taylor and Francis Group*, 1-24.
- Prieto, C. (2007). Improving Eleventh graders' oral production in English class through Cooperative Learning Strategies. *Profile Issues in Teachers Professional Development*, 75-90.
- Pritchard, A., & Woollard, J. (2010). *Psychology for the Classroom: Constructivism and Social Learning*. USA: Routledge Taylor and Francis Group.
- Puteri, M., Dahalan, W., Yusop, M., Nurain, J., Rasid, N., Yahaya, A., . . . Rahman, F. (2019). Barriers to Speaking in English Among Maritime Students. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 5577-5584.
- Raspberry. (2021). *Raspberry Pi para desarrolladores*. Mexico.
- Ryzin, M., Roseth, C., & Biglan, A. (2020). Mediators of Effects of Cooperative Learning on Prosocial Behavior in Middle School. *International Journal of Applied Positive Psychology*, 1-16.
- Safont, P., & Campoy, M. (2002). *Oral Skills: Resources and Proposals for the Classroom*. Castelló de la Plana, Spain: Publicaciones de la Universitat Jaume I.
- Sánchez, S. (2019, May). Improving Speaking Fluency and Self Confidence through Timed Monologue Recordings in Beginner EFL Students . *Improving Speaking Fluency and Self Confidence through Timed Monologue Recordings in Beginner EFL Students* . Guayaquil, Guayaquil, Ecuador: Universidad Casa Grande.
- Sarbah, B. (2020). Constructivism Learning Approaches. *Runninghead*, 1-7.
- serrano, n. (2020). *Neumatica práctica*. España: Paraninfo.

- Sharma, V. (2019). Challenges in teaching communication skills (ENGLISH) to undergraduates students in Himachal Pradesh (INDIA). *Indian Journal of Applied Research*, 25-26.
- Shenoy, V., Mahendra, S., & Vijay, N. (2020). COVID 19 – Lockdown: Technology Adaption, Teaching, Learning, Students Engagement and Faculty Experience. *Mukt Shabd Journal*, 698-702.
- Siedlecki, S. (2020). Understanding Descriptive Research Designs and Methods . *The International Journal for Advanced Nursing Practice*, 8-12.
- Sim, M., & Pop, A. (2016). Teaching Speaking Skills. *Department of International Business, Faculty of Economic Sciences, University of Oradea*, 264-273.
- Skinner, B. F. (2011). *About Behaviorism*. New York: Knopf Doublday Publishing Group.
- Soares dos Reis da Luz, F. (2015, May 01). The Relationship between Teachers and Students in the Classroom: Communicative Language Teaching Approach and Cooperative Learning Strategy to Improve Learning. *The Relationship between Teachers and Students in the Classroom: Communicative Language Teaching Approach and Cooperative Learning Strategy to Improve Learning*. Cape Verde, Santiago, Africa: Bridgewater State University.
- Sole, A. C. (2014). *Neumática e hidraulica*. Barcelona: Bcn packagers.
- Sumardi, L. (2020). Does the Teaching and Learning Process in Primary Schools Correspond to the Characteristics of the 21st Century Learning? . *International Journal of Instruction*, 358-370.
- Tekliuk, H. (2020). Communicative Language Teaching. *Актуальні питання гуманітарних наук*, 215-219.
- Tinitana, J. (2016, March 31). Improvement of speaking skill through the use of role play and simulations with the second year of Bachillerato, at 27 de Febrero High School in Loja City, during the academic period 2014-2015. *Improvement of speaking skill through the use of role play and simulations with the second year of Bachillerato, at 27 de Febrero*

*High School in Loja City, during the academic period 2014-2015.* Loja, Loja, Ecuador: Universidad Nacional de Loja.

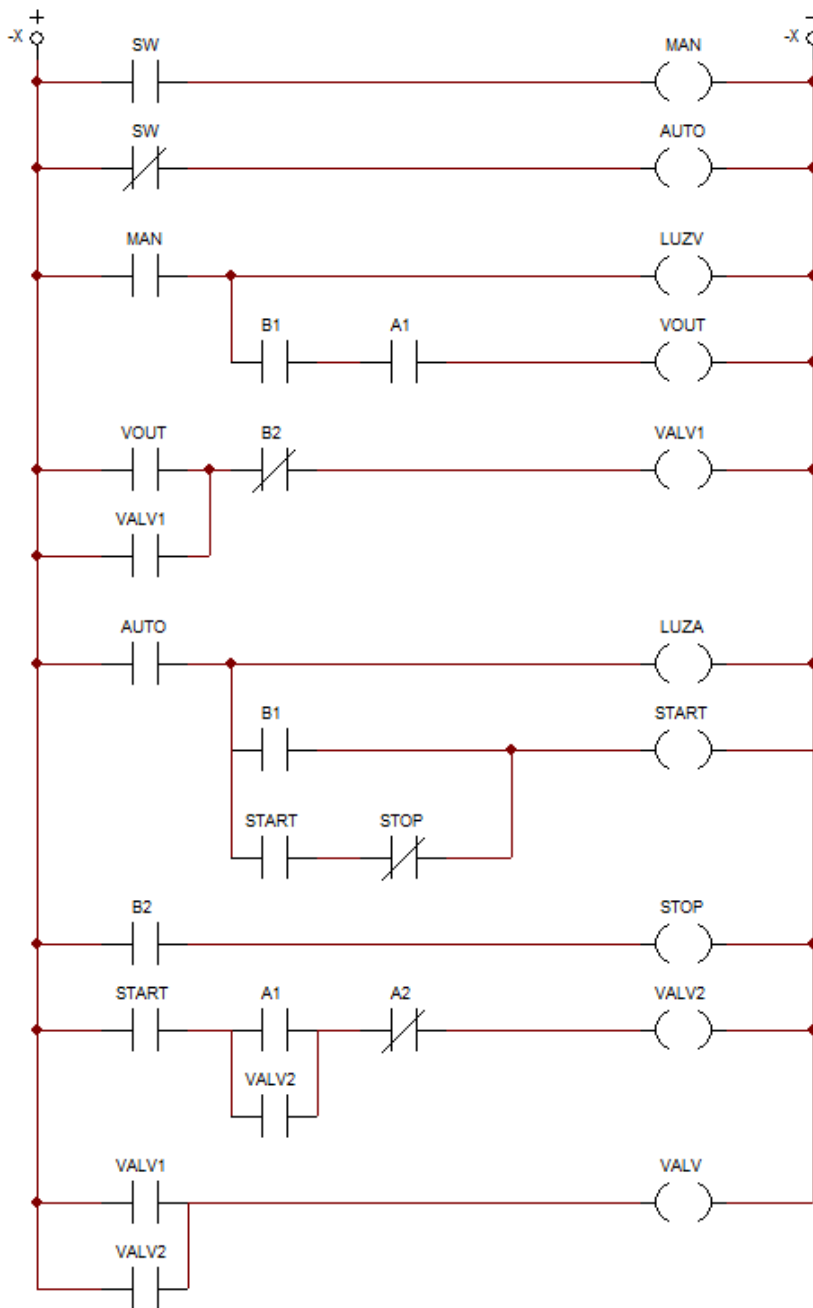
- Toro, V., Camacho, G., Pinza, E., & Paredes, F. (2018). The Use of the Communicative Language Teaching Approach to Improve Students' Oral Skills. *Canadian Center of Science and Education*, 110-118.
- Tran, V. (2014). The Effects of Cooperative Learning on the Academic Achievement and Knowledge Retention. *International Journal of Higher Education*, 131-140.
- Veldman, M., Doolard, S., Bosker, R., & Snijders, T. (2020). Young children working together. Cooperative learning effects on group work of children in Grade 1 of primary education. *ELSEVIER*, 1-13.
- Wandersman, A., Poppen, P., & Ricks, D. (2011). *Humanism and Behaviorism: Dialogue and Growth*. Australia: Pergamon Press.
- Zaman, B. (2020). Implementation of Cooperative Learning Strategies in Islamic Religious Education. *International Journal of Education and Curriculum Application*, 91-97.
- Zambrano, J., Mendoza, J., Moya, M., & Rodríguez, M. (2020). Mobile devices on teaching-learning process for high school level. *International Journal of Psychosocial Rehabilitation*, 330-340.
- Zuparova, S., Shegay, A., & Orazova, F. (2020). Approaches to learning English as the source of all subjects. *European Journal of Research and Reflection in Educational Sciences*, 102-107.





# ANEXOS

## Anexo A: Programación Ladder



ENTRADAS	
SW	I0.0
B1	I0.1
B2	I0.2
A1	I0.3
A2	I0.4
	I0.5
	I0.6
	I0.7

SALIDAS	
LUZV	Q0.0
LUZA	Q0.1
VALV	Q0.2
	Q0.3
	Q0.4
	Q0.5
	Q0.6
	Q0.7

## Anexo B: Programación en Python (Raspberry)

```
import presionSensor as ps
import time
import posicionSensor as pos
import serial
import txtCiclos as tc
from pathlib import Path
import alertas as alert

txtCiclo = Path('/home/pi/Documents/Proyecto/ciclos.txt')
estado = 0
presionRefA = 15000
presionRefB = 22000
statePA = 0
statePB = 0
stateCiclos = 0
stateTime = 0
t0 = 0
t1 = 0

try:
    if txtCiclo.exists():
        ciclos = int(tc.leerCiclo())
    else:
        ciclos = 0
        tc.crearCiclo()
except:
    ciclos = 0

while True:
    presionA = ps.presionA()
    presionB = ps.presionB()
    posA0 = pos.sensorA0()
    posA1 = pos.sensorA1()

    if posA0 == 1:
        pos.a0ON()
        if estado == 3:
            estado = 0
            ciclos += 1
    if posA0 == 0:
        pos.a0OFF()
        if estado == 0:
            estado = 1
            t0 = time.time()
            if presionA >= presionRefA*1.3 or
presionA <= presionRefA*0.7:
                if statePA == 0:
                    alert.alertaPA()
                    statePA = 1
                else:
                    alert.limpiar('presion A')
                    statePA = 0
    if posA1 == 1:
```

```

pos.a1ON()

if estado == 1:
    estado = 2
    t1 = time.time()

if posA1 == 0:
    pos.a1OFF()

if estado == 2:
    estado = 3

    if presionB >= presionRefB*1.3 or
presionB <= presionRefB*0.7:
        if statePB == 0:
            alert.alertaPB()
            statePB = 1
        else:
            alert.limpiar('presion B')
            statePB = 0

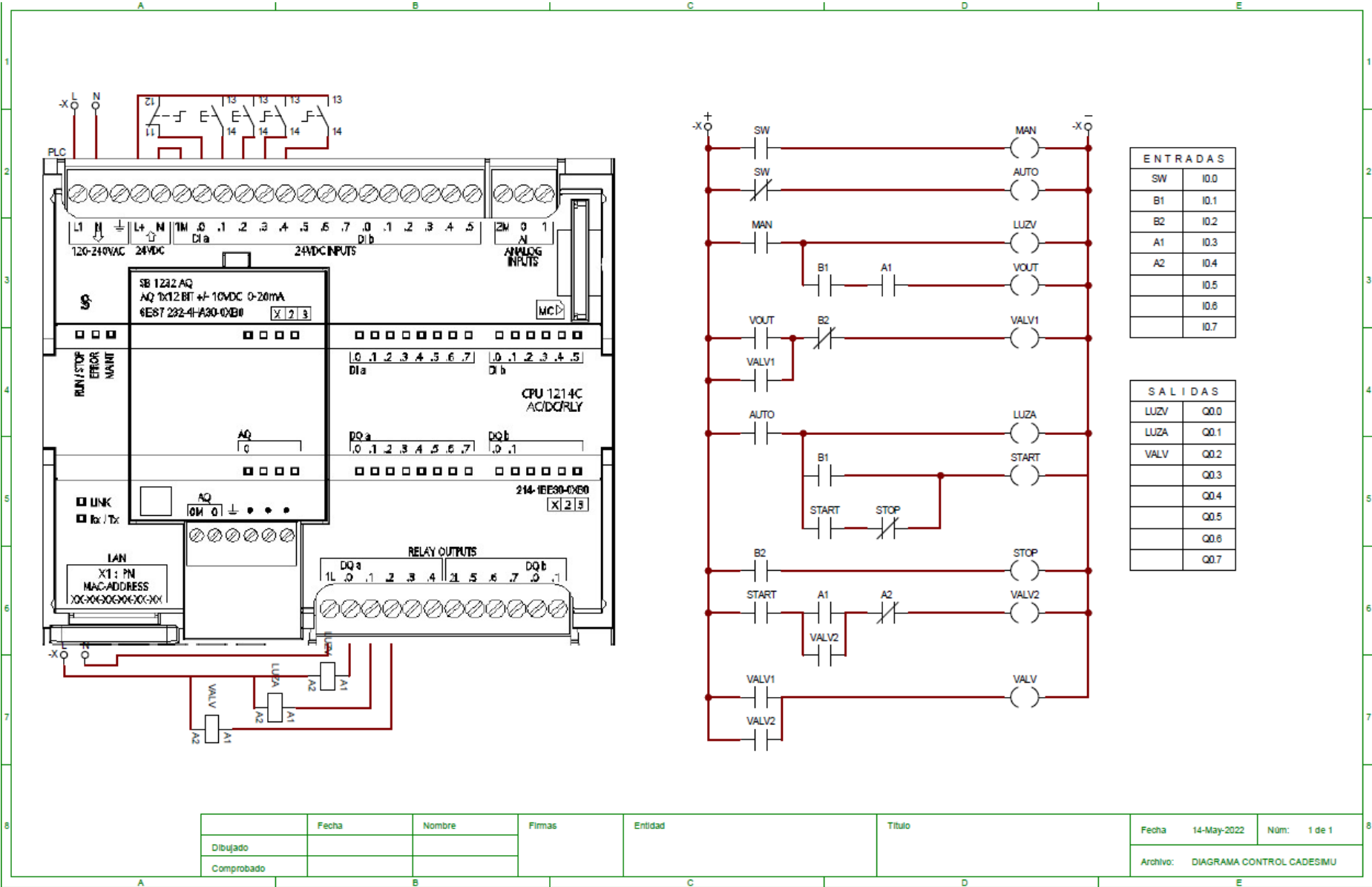
pos.ciclosCount(ciclos)
tc.agregaCiclo(str(ciclos))

if ciclos > 100:
    if stateCiclos == 0:
        alert.alertCiclos()
        stateCiclos = 1
    else:
        alert.limpiar('ciclos')
        stateCiclos = 0

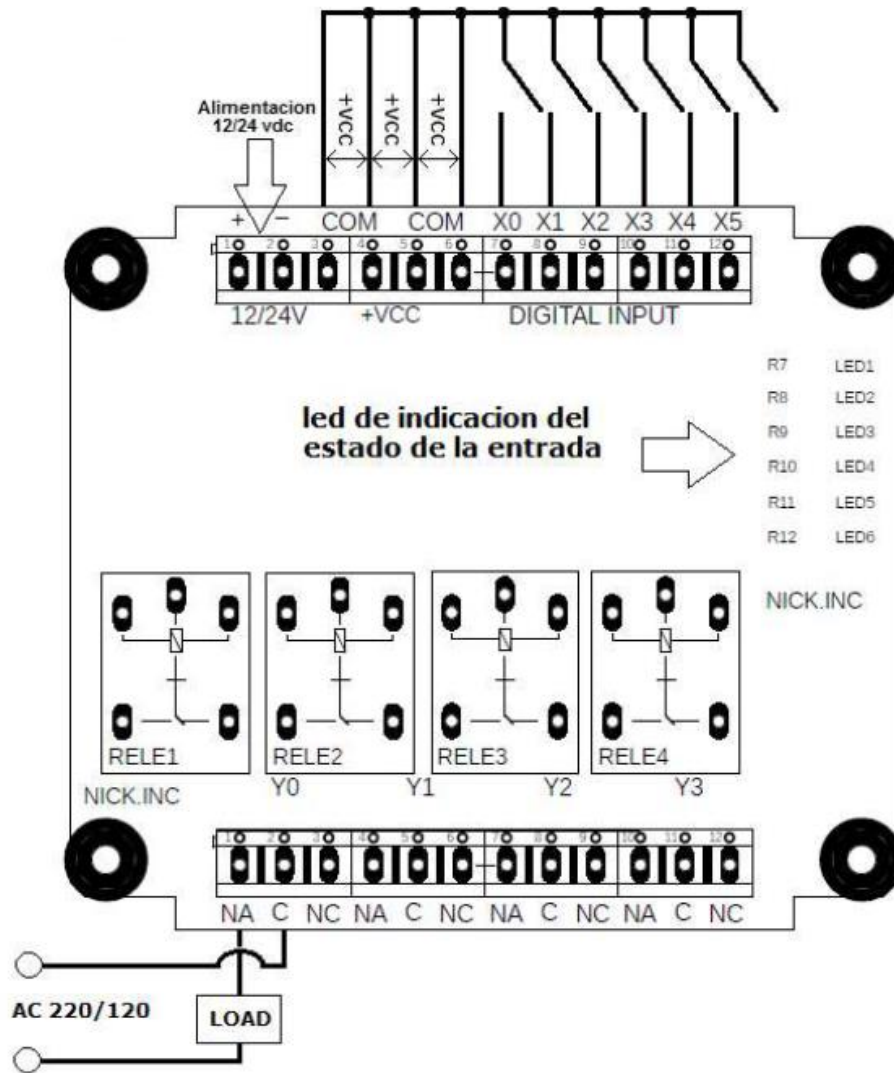
if (t1-t0) > 7:
    if stateTime == 0:
        alert.alertTime()
        stateTime = 1
    else:
        alert.limpiar('tiempo')
        stateTime = 0
    time.slee

```

# Anexo C: Diagrama de control CADESIM



## Anexo D: Plano de Conexiones



# Anexo E: Datasheet

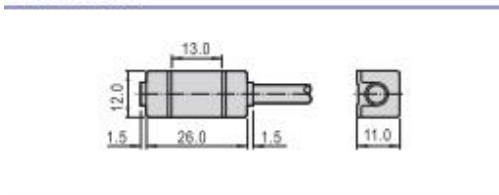
## Sensor switch



### CS1-F Series



### Dimensions



### The ordering code of mounting accessories

Core size/Series	SC,SCL	SU,SUL	SI,SIL	JSI
12	F-SC32H	F-SU32H	F-SI32H	F-SI32H
10	F-SC32H	F-SU40H	F-SI40H	F-SI40H
10	F-SC32H	F-SU50H	F-SI50H	F-SI50H
13	F-SC63H	F-SU63H	F-SI63H	F-SI63H
10	F-SC80H	F-SU80H	F-SI80H	F-SI80H
100	F-SC80H	F-SU100H	F-SI100H	F-SI100H
125	-	-	F-SI125H	F-SI125H
160	-	-	F-SI160H	-
100	-	-	F-SI200H	-

### Specification

Item/Type	CS1-F	CS1-FX
Switch logic	STSP Normally opened type	
Switch type	Reed switch with contact	
Operating voltage(V)	5-240V AC/DC	
Max. Switching current(A)	100	
Switching rating(W)	Max. 10	
Current consumption	No	
Voltage drop	2.5V Max. @100mA DC	
Cable	Φ4.0,2C Gray oil resistant PVC (Flame retarded)	
Indicator	Red LED	No
Leakage current	No	
Sensitivity(Gauss)	60-75	
Max. Frequency(Hz)	200	
Shock(m/s <sup>2</sup> )	300	
Vibration(m/s <sup>2</sup> )	90	
Temperature range(°C) (1)	-10-70	
Enclosure classification	IP67(NEMA6)	
Protection circuit	No	

(1) Note: Please contact us for high temperature resistant(125°C), low temperature resistant(-40~-25°C) and explosion-proof sensor switch.

### Ordering code

**CS1 F X 020**

- Number of sensor switch**  
CS1: Sensor switch
- Specification of sensor switch**  
Specification | Product Series  
F: F type | SI, SU, SC, JSI/MI/MA50/63
- Model of sensor switch**  
Blank: two-line magnetic spring pipe with contact/normally opened  
X: two-line magnetic spring pipe with contact, without indicator light/normally opened
- Connecting way (1)**  
C08: M8 quick joint, length of wire is 150mm  
C12: M12 quick joint, length of wire is 150mm  
020: length of wire is 2m  
030: length of wire is 3m  
050: length of wire is 5m  
100: length of wire is 10m

(1) Note: The quick joint that is attached at the end of wire is three-needle-male joint-linear-rotary screw thread type. The female joint plug has to be ordered additionally. Please refer to P420 for the specific data.

### Mounting

Installation example	Installation method
<p>Fastening screw, Sensor switch, Mounting bracket, Fastening screw, Body</p> <p>Outline 1: Used with SU, SI, JSI series</p>	<p>When the CS1-F, CS1-FX series sensor switch used with different cylinders, different mounting accessories must be ordered, the details are below.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>When it used with MI, MA50, 63 series cylinders, you must order the band unit(the ordering code is GXPAB-01), then depend on the below outline 3, fixed the sensor switch on the proper position of the cylinder's body with the band unit.</li> <li>When it used with SC series cylinders, you must order the Mounting bracket ( the ordering code is below table ) , then depend on the below outline 2, fixed the sensor switch on the proper position of the cylinder's body with the mounting bracket.</li> <li>When it used with SU, SI, JSI cylinders, you must order the mounting bracket( the ordering code is below table), then depend on the below outline 1, fixed the sensor switch on the proper position of the cylinder's body with the mounting bracket.</li> </ol>
<p>Sensor switch, Body, Mounting bracket, Fastening screw, Tie rod</p> <p>Outline 2: Used with SC series</p>	
<p>Mounting accessories, Fastening screw, Band unit, Sensor switch, Body</p> <p>Outline 3: Used with MI, MA series</p>	

**Anexo E: Fotografías adicionales**

