

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA
LA CÁMARA DE NIEBLA SALINA DEL
LABORATORIO DE CORROSIÓN DE LA
UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO UTILIZANDO
EL SOFTWARE LABVIEW.**

*Edinson Silva Núñez
Ricardo Benítez Camacho*

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Bucaramanga, Colombia
2020

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA
LA CÁMARA DE NIEBLA SALIDA DEL
LABORATORIO DE CORROSIÓN DE LA
UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO UTILIZANDO
EL SOFTWARE LABVIEW.**

Edinson Silva Núñez
Ricardo Benítez Camacho

Trabajo de grado presentado para optar por el título de:
Ingeniero Electromecánico.

Director(a)
MsC. Camilo Leonardo Sandoval.

Línea de Investigación:
Automatización Industrial

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Bucaramanga, Colombia
2020

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecen a Dios quien nos da la salud y los recursos para poder estudiar, al MsC Camilo Sandoval quien nos aportó sus conocimientos y experiencia para lograr terminar con éxito el diseño que permite automatizar la cámara de niebla salina de la Universidad Antonio Nariño.

Dedicatoria.

Dedico este trabajo a Dios, a mi familia, profesores y compañero Ricardo, ya que todos ellos me apoyaron en los momentos de incertidumbre e hicieron posible este logro.

Edinson.

A mi familia, quienes continuamente con sus esfuerzos y palabras no me dejaron retroceder, a los docentes de la Universidad Antonio Nariño, quienes con su conocimiento y aportes hicieron posible que finalizara la carrera de ingeniería electromecánica y a mi compañero Edinson quien fue la ayuda idónea en este trabajo.

Ricardo.

Contenido

	Pág.
Resumen	16
1. Introducción.....	18
2. Planteamiento del problema.....	19
3. Objetivos del proyecto.	22
3.1. Objetivo General.	22
3.2. Objetivos Específicos.	22
4. Marco conceptual.	23
4.1. Ensayos de corrosión.....	23
4.2. Norma ASTM B117.....	24
4.3. Cámara de niebla salina de la universidad Antonio Nariño, sede Bucaramanga.....	25
4.4. Elementos principales de la cámara de niebla.	25
4.5. Software Labview National Instrument.	26
4.5.1. Entorno de programación.....	26
4.6. Sistemas embebidos.....	29
4.6.1. Periféricos más comunes de sistemas embebidos.	30
4.6.2. Puertos de entrada / salida.....	30
4.6.3. Conversor análogo a digital (ADC).....	30
4.7. Instrumentación de la cámara de niebla salina.....	31
4.7.1. Unidades y clases de presión.....	32
4.7.2. Medida de temperatura.	33

4.7.3. Medidas de caudal	34
4.7.4. pH.	35
5. RANGOS OPERACIONALES DE LAS VARIABLES DE PROCESO EN LA CÁMARA DE NIEBLA SALINA.....	36
5.1. Revisión literaria para identificar señales del proceso.	36
5.1.1. Tags y sus funciones.	37
5.2. Ventanas operacionales de los sensores conectados a las entradas digitales.	39
5.2.1. Ventana operacional del termostato para detectar pérdidas de control de temperatura.	39
5.2.2. Ventana operacional del presostato para detectar pérdidas de control de presión.	40
5.2.3. Ventana operacional de señales digitales en voltaje.....	40
5.2.4. Ventana operacional del consumo de agua de la cámara de niebla.	40
5.3. Ventanas operacionales de los sensores conectados a las entradas análogas.	41
5.3.1. Medición de pH y nivel de agua.....	41
5.4. Selección de sensores para entradas digitales.	42
5.4.1. Selección del termostato y presostato.	42
5.4.2. Selección de parada de emergencia.	45
5.4.3. Selección de sensor de flujo.....	46
5.5. Selección de sensores para entradas análogas.	48
5.5.1. Selección del sensor de pH.	48
5.5.2. Selección del sensor de nivel.....	49
5.5.3. Selección del sensor de temperatura.	50
5.5.4. Selección del sensor de condiciones ambientales de humedad y temperatura ambiente. ..	51
5.5.5. Selección del sensor de presión.....	53

5.5.6. Selección del contactor para operar el compresor.	55
6. ALGORITMOS E INTERFAZ GRAFICA EN LABVIEW.	57
6.1. Programacion del sistema embebido Arduino Mega 2560.	57
6.2. Interfaz grafica utilizando panel frontal de Labview.	58
6.2.1. Etapa 1, Almacenamiento de agua en panel frontal.	58
6.2.2. Etapa 2, Cámara de niebla en panel frontal.	59
6.2.3. Etapa 3, Aire comprimido.	60
6.2.4. Etapa 4, Condicoines ambientales.	60
6.3. Conexión de sensores.	61
6.3.1. Conexión del sensor de condiciones ambientales HE-67N2-0N00P.	62
6.3.2. Conexión del sensor de presión.	63
6.3.3. Conexión del sensor de nivel.	65
6.3.4. Conexión del sensor de temperatura de la cámara.	66
6.3.4. Conexión del sensor de pH.	67
6.3.5. Conexión del sensor de flujo.	67
6.3.5. Conexión de las entradas digitales al microcontrolador.	68
6.3.6. Conexión de salidas digitales al Microcontrolador.	69
6.4. Diagrama de bloques en Labview.	70
6.4.1. Diagramas de flujo.	70
6.4.2. Lectura de entradas digitales desde Labview.	72
6.4.3. Escritura sobre salidas digitales desde Labview.	73
6.4.4. Lectura de entradas análogas desde Labview.	73
6.4.5. Control de temperatura desde Labview.	74

7. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS, A TRAVÉS DE SIMULACIÓN DE LECTURA DE VARIABLES DE PROCESO Y CONTROL DE SALIDAS DIGITALES.....	75
7.1. Lectura señales análogas desde panel frontal.....	75
7.2. Lectura de los sensores con salida digital.....	77
7.3. Estado y manipulación de los actuadores.....	77
7.4. Relacion entre salidas digitales y circuito de potencia.....	78
7.4.1. Encendido de compresor desde Labview.....	78
7.4.2. Apagado del compresor por exceso de presión.....	80
7.5. Resultado y analisis de la etapa de cámara de niebla.....	82
7.5.1. Control de temperatura.....	82
8. CONCLUSIONES.....	84
BIBLIOGRAFÍA.....	86

Listado de figuras

	Pág.
Figura 1 Estabilidad de la temperatura según ASTM B117.....	20
Figura 2 Ensayos de corrosión.	23
Figura 3 Ensayos de laboratorio pruebas de corrosión.	23
Figura 4 Aspectos importantes en el diseño de cámaras de niebla.	24
Figura 5 Cámara de niebla salina Universidad Antonio Nariño.....	25
Figura 6 Diagrama de bloques y panel frontal.....	27
Figura 7 Barra de herramientas de Labview.....	28
Figura 8 Diferentes paletas de trabajo en Labview.	28
Figura 9 Modelo expandido de un sistema microprocesador.....	29
Figura 10 Esquema interno de un ADC	31
Figura 11 Clases de presión.	32
Figura 12 Termopar.....	33
Figura 13 Sensor de flujo YF-S201.....	35
Figura 14 División por etapas de cámara de niebla salina.....	37
Figura 15 Termostato RT14E.....	44
Figura 16 Presostato 031E020066.....	44
Figura 17 Parada de emergencia XB4BS9445.....	46
Figura 18 Sensor de temperatura de cámara de niebla salina Universidad Antonio Nariño.....	51
Figura 19 Sensor de condiciones ambientales.....	53
Figura 20 Sensor de presión Cole Parmer 07356-53.....	54

Figura 21 Compresor de cámara de niebla salina.....	55
Figura 22 Primer paso para programar Arduino Mega.....	57
Figura 23 Seleccionar el dispositivo Arduino Mega.....	57
Figura 24 Interfaz gráfica desarrollada en Labview.....	58
Figura 25 Etapa 1 desarrollada en el panel frontal de Labview.....	58
Figura 26 Etapa 2 desarrollada en el panel frontal de Labview.....	59
Figura 27 Etapa 3 desarrollada en el panel frontal de Labview.....	60
Figura 28 Etapa 4, desarrollada en panel frontal de Labview.....	60
Figura 29 Entradas análogas de microcontrolador Atmel 2560.....	61
Figura 30 Salida de tensión de sensor de condiciones ambientales.....	62
Figura 31 Salida de señal del sensor HE-67N2-0N00P.....	62
Figura 32 Salida de señal de temperatura del sensor HE-67N2-0N00P.....	63
Figura 33 Conexión del sensor de presión.....	64
Figura 34 Relación de voltaje y presión.....	64
Figura 35 Pines del sensor de presión diferencial XCX01DNH.....	65
Figura 36 Circuito amplificador de señal de Termocupla tipo J.....	66
Figura 37 Convertidor de frecuencia a voltaje.....	68
Figura 38 Conexión de entradas digitales.....	68
Figura 39 Conexión de 110V con relés de estado sólido.....	69
Figura 40 Conexión de salidas digitales.....	70
Figura 41 Diagrama de flujo del control de temperatura y alarma.....	70
Figura 42 Diagrama de flujo del control de presión y alarma.....	71
Figura 43 Lectura de entradas digitales en Labview.....	72

Figura 44 Escritura de salidas digitales en Labview.	73
Figura 45 Escritura de entradas análogas en Labview.....	73
Figura 46 Bloque PID.....	74
Figura 47 Control para seleccionar puerto de comunicación.	75
Figura 48 Primer paso para encender compresor.	79
Figura 49 Accionamiento del contactor del compresor.	79
Figura 50 Encendido del compresor.	80
Figura 52 Bloques para activar válvula desde Labview.	81
Figura 52 Lógico ante activación de AL-1.....	82
Figura 53 Circuito de potencia que permite controlar temperatura.	83

Listado de tablas.

	Pág.
Tabla 1 Parámetros físico químicos del agua tipo IV.....	24
Tabla 2 Clases de presión.....	32
Tabla 3 Medidores volumétricos.	34
Tabla 4 Variables a medir en cada una de las etapas del proceso.....	37
Tabla 5 Listado de señales que permite automatizar la cámara de niebla salina.	38
Tabla 6 Resumen de señales para automatizar cámara de niebla.	39
Tabla 7 Ventana operacional de temperatura dentro de la cámara de niebla.....	40
Tabla 8 Ventana operacional de presión dentro de la cámara de niebla.	40
Tabla 9 Ventana operacional de presión dentro de la cámara de niebla.	40
Tabla 10 Ventana operacional de flujo de agua de la cámara de niebla.....	41
Tabla 11 Ventana operacional de condiciones ambientales.....	41
Tabla 12 Ventana operacional de pH.	41
Tabla 13 Ventana operacional de nivel de agua.....	42
Tabla 14 Criterios para seleccionar termostato.....	43
Tabla 15 Valor de importancia para cada criterio del termostato.....	43
Tabla 16 Criterios para seleccionar parada de emergencia.....	45
Tabla 17 Valor de importancia para cada criterio de la parada de emergencia.	45
Tabla 18 Criterios para seleccionar sensor de flujo.....	47
Tabla 19 Valor de importancia para cada criterio del sensor de flujo.....	47
Tabla 20 Criterios para seleccionar sensor de pH.	48
Tabla 21 Valor de importancia para cada criterio del sensor de flujo.....	49

Tabla 22 Criterios para seleccionar sensor de nivel.	50
Tabla 23 Valor de importancia para cada criterio del sensor de nivel.	50
Tabla 24 Criterios para seleccionar sensor de condiciones ambientales.	52
Tabla 25 Valor de importancia para cada criterio del sensor de condiciones ambientales.	52
Tabla 26 Criterios para seleccionar sensor de presión.	54
Tabla 27 Valor de importancia para cada criterio del sensor de presión.	54
Tabla 28 Características del compresor.	55
Tabla 29 Criterios para seleccionar sensor de condiciones ambientales.	56
Tabla 30 Valor de importancia para cada criterio del contactor.	56
Tabla 31 Ubicación de señales análogas.	61
Tabla 32 Conexión entre microcontrolador y sensor de presión.	66
Tabla 33 Pines para conectar entradas digitales.	69
Tabla 34 Pines para conectar salidas digitales.	70
Tabla 35 Simulación de variables de proceso digitales de entrada.	77
Tabla 35 Simulación de salidas digitales.	78

Listado de ecuaciones.

	Pág.
Ecuación 1 Concentración en iones H.....	35
Ecuación 2 Relación entre voltaje y humedad relativa.....	63
Ecuación 3 Relación entre voltaje y presión.....	65
Ecuación 4 Relación entre voltaje y nivel de agua.....	66
Ecuación 5 Relación entre voltaje y temperatura.....	67
Ecuación 6 Relación entre voltaje y pH.	67
Ecuación 7 Relación entre voltaje y flujo.....	67

Resumen

- Título:** Diseño de un sistema de control para la cámara de niebla salida del laboratorio de corrosión de la Universidad Antonio Nariño utilizando el software Labview.
- Autor(es):** Edinson Silva Núñez, Ricardo Benítez Camacho
- Descripción:** Actualmente la Universidad Antonio Nariño cuenta con equipos que requieren ser ajustados según diversas normas que los rigen, es por eso que para este proyecto y según lo describe la ASTM B117, la operación de la cámara de niebla salina debe cumplir requerimientos como tolerancia en temperatura de $\pm 2^{\circ}\text{C}$, regulación de presión a 20Psi, control automático de nivel, registro de PH del agua y medición de condiciones climáticas, por lo tanto la solución planteada es diseñar un sistema de control que permita automatizar este proceso instalando una serie de instrumentos que se logren conectar con Labview, permitiendo una operación confiable y segura, de tal forma que el resultado sea dar cumplimiento con lo indicado en la norma ASTM B117.

Abstract

Title: Design of a control system for the cloud chamber output from the corrosion laboratory of the Antonio Nariño University using Labview software.

Authors: Edinson Silva Núñez, Ricardo Benítez Camacho

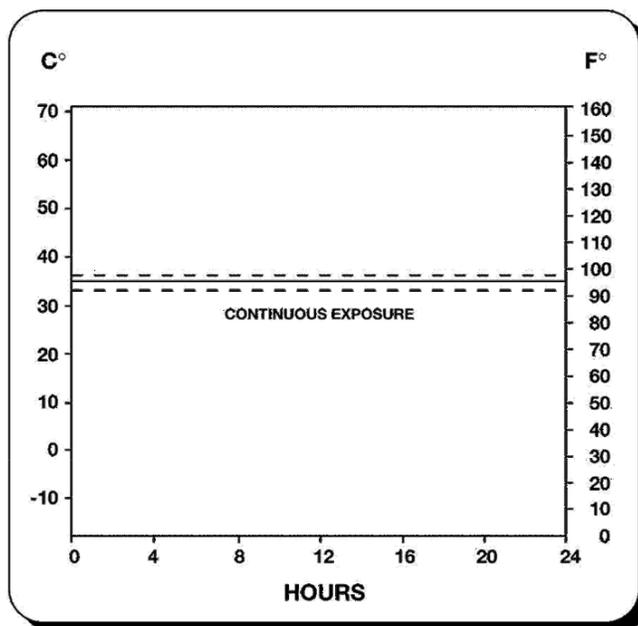
Description: As described in ASTM B117, the operation of the salt spray chamber must meet requirements such as temperature tolerance of $\pm 2^\circ \text{C}$, pressure regulation at 20Psi, automatic level control, recording of water PH and measurement of climatic conditions. Therefore, the proposed solution is to design a control system that automates this process by installing a series of instruments that connect to Labview and thus comply with the provisions of ASTM B117.

1. Introducción

A través de este trabajo se desea conseguir la automatización de la cámara de niebla salina de la Universidad Antonio Nariño, aplicando los criterios requeridos bajo la norma ASTM B117, estableciendo las características para un diseño que permita mejorar su operación, para tal fin se utilizará un desarrollo de automatización aplicando librerías de Linx del software Labview, así mismo se realizará la selección de los elementos de automatización idóneos y que cumplan ciertos rangos operacionales que de igual manera son recomendados por la norma ASTM B117. Durante el desarrollo del proyecto se conjugaran tanto el desarrollo como una serie de simulaciones, las cuales nos demostrarán la factibilidad de dicha implementación, también se podrá garantizar que es posible cumplir con lo exigido en los ítems de la norma ASTM B117. Este diseño contemplará un sistema de control completo que integrara las variables que hacen parte del proceso y que a su vez podrán ser visualizadas en una interfaz gráfica en el software Labview, todo esto buscará encaminar una mejor respuesta en cuanto al control ON-OFF con el que actualmente cuenta la cámara de niebla salina, ayudando a mejorar tiempos de respuesta, menor error en estado estable y mejor precisión, adicional a esto se tendrán en cuenta lazos de control redundantes para la operación segura de la cámara, lo cual contara con sensores de presión de aire, válvula de seguridad, flujo y nivel de agua, PH, temperatura ambiente, lo cual y de forma análoga permitirá darle trazabilidad a las condiciones de operación, según lo indica la norma ASTM B117.

2. Planteamiento del problema.

De acuerdo a lo indicado por (Fontana, 1990) la corrosión en un proceso electroquímico en el cual un metal reacciona con su medio ambiente para formar óxido o algún otro compuesto, esto trae como resultado daño en los materiales, por esta razón es necesario explicar las causas de los daños mediante ensayos naturales o de laboratorio (Jekayinfa, 2003), es por ello que en la Universidad Antonio Nariño en el año 2012 se realizó el proyecto titulado “implementación de un banco de estudio de corrosión en diferentes materiales metálicos”, y durante el año 2015 se realizó una serie de ajustes con el ánimo de habilitar la operación de este equipo bajo el título “Habilitación de una cámara de niebla salina para el laboratorio de materiales”; a pesar de las mejoras operacionales en la cámara de niebla salina, es necesario mencionar que la norma ASTM B117 hace referencia en la nota de aclaración (3) (p. 10) figura 1, se debe garantizar una estabilidad de $\pm 2^{\circ}\text{C}$, sin embargo el controlador instalado en la cámara no garantiza estas condiciones dado que desarrolla la acción de control bajo el método ON-OFF, el cual por su naturaleza permite variaciones cíclicas de la variable controlada, con lo cual aumenta la posibilidad de estar fuera de la tolerancia aceptada.

Figura 1 Estabilidad de la temperatura según ASTM B117.

Fuente: ASTM B117, p. 10.

Adicional a esto en la tabla 2 de la ASTM B117, la máxima presión de operación sería 20psi, por esta razón la cámara actual cuenta con un regulador e indicador de presión, sin embargo el manómetro de caratula aumenta errores en la medición por paralelismo, por lo cual no es confiable la lectura de esta variable; además en el numeral 9.2 de la ASTM B117 indica que el nivel de agua debe ser mantenido automáticamente para asegurar la adecuada humidificación, es por ello que la cámara cuenta con un sistema de bolla para esta condición, sin embargo este método no puede ser conectado al sistema de control de forma que se logre establecer una lógica que permita operación segura de la prueba. Cabe señalar también que el numeral 10.2 indica que el PH debe estar dentro del rango de 6.5 a 7.2, sin embargo el sistema actual no cuenta con un sensor que permita realizar monitoreo de esta variable. Finalmente el sistema actual no permite realizar lo indicado en el numeral 10.1 donde se menciona que la temperatura del área donde se realiza la prueba debe ser grabada por lo menos una vez al día. Teniendo en cuenta estos aspectos, se formula la hipótesis ¿Cómo mejorar la operación de la cámara de niebla salina del laboratorio de materiales

de la Universidad Antonio Nariño según lo indicado en la norma ASTM B117? El desarrollo de este trabajo dará solución a la problemática planteada, al diseñar una solución técnicamente viable para monitorear las variables mencionadas anteriormente y controlar la temperatura de la cámara, y para ello se realizara una serie de simulaciones utilizando el software Labview.

3. Objetivos del proyecto.

3.1. Objetivo General.

Diseñar un sistema de control para la cámara de niebla salina del laboratorio de corrosión de la Universidad Antonio Nariño utilizando el software Labview.

3.2. Objetivos Específicos.

Identificar las ventanas operacionales de las variables, temperatura, presión, PH, nivel de agua, flujo de agua según lo indica la ASTM B117, para seleccionar los sensores, mediante la comparación de sus características utilizando matrices de Holmes.

Desarrollar los algoritmos e interfaz gráfica para monitorear las variables, presión, flujo y nivel de agua, PH y controlar la temperatura de la cámara, utilizando el microcontrolador Atmel 2560 y el software Labview con la librería LINX.

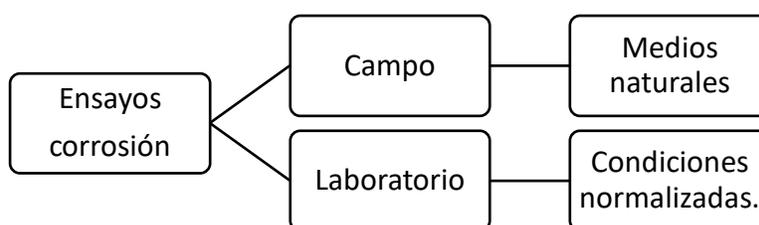
Comprobar que el algoritmo desarrollado en Labview puede realizar la lectura y control de las variables de proceso, mediante el desarrollo de pruebas que permitan simular las señales analógicas y digitales que hacen parte de la cámara de niebla salina.

4. Marco conceptual.

4.1. Ensayos de corrosión.

De acuerdo a lo indicado por (González, 2018), los ensayos de corrosión permiten simular condiciones ambientales extremas a las cuales se puede ver sometida una pieza y su objetivo principal es que permiten determinar el grado de corrosión de materiales, recubrimientos y pinturas, estas pruebas pueden ser de dos tipos como lo indica la figura 2.

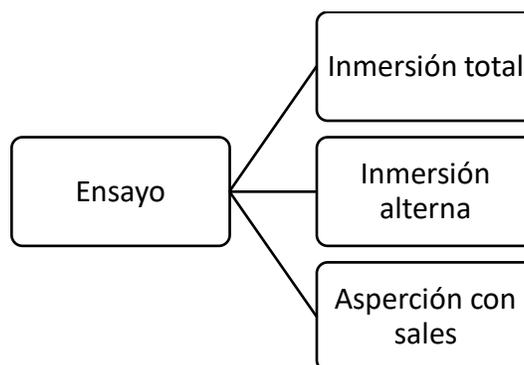
Figura 2 Ensayos de corrosión.



Fuente: González, M (2018).

Ahora bien, como lo indica (González, 2018) los ensayos de laboratorio pueden encontrarse tres tipos de pruebas (ver figura 3).

Figura 3 Ensayos de laboratorio pruebas de corrosión.



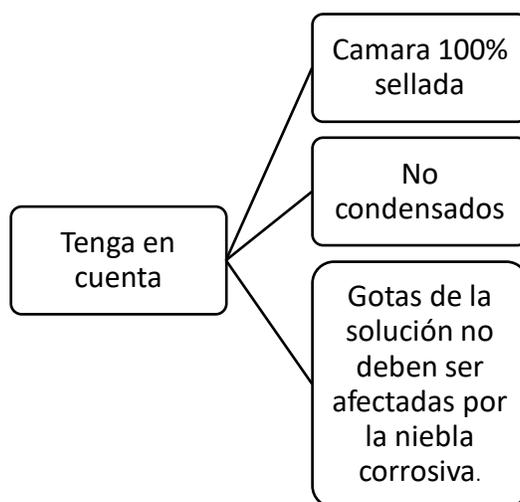
Fuente: González, M (2018).

La aspersión con sales, se realiza en cámaras de atmosfera controlada donde se crea una niebla de sal húmeda a la que se le puede añadir otro tipo de corrosivo.

4.2. Norma ASTM B117.

De acuerdo a lo indicado en (Ramos, 2012), la norma ASTM B117 describe, partes, procedimientos y condiciones requeridas para crear y mantener un ambiente de niebla salina; en la figura 4 se hace referencia a algunos aspectos a tener en cuenta desde el diseño.

Figura 4 Aspectos importantes en el diseño de cámaras de niebla.



Fuente: (Ramos, 2012).

Adicional a esto toda el agua en la práctica debe ser tipo IV según lo indica la norma ASTM C 1193 (ver tabla 1).

Tabla 1 Parámetros físico químicos del agua tipo IV.

Parámetro	Tipo IV
Conductividad $\mu\text{s}/\text{cm}$	5.0
Resistividad mínima Mohm	0.2
PH	5 – 8
Carbono orgánico total mg/L	Sin límite establecido

Fuente: (Valdez & Gómez, 2010).

4.3. Cámara de niebla salina de la universidad Antonio Nariño, sede Bucaramanga.

En la figura 5 se presenta la cámara de niebla salina de la Universidad Antonio Nariño, la cual es un equipo de laboratorio planteado para realizar ensayos de corrosión de forma acelerada, proporcionando una atmosfera corrosiva formada por niebla salina.

Figura 5 Cámara de niebla salina Universidad Antonio Nariño.



Fuente (Galván, S & Camacho F, 2012)

4.4. Elementos principales de la cámara de niebla.

Según lo indican (Galván, S & Camacho F, 2012), los principales elementos que componen esta cámara son los indicados a continuación:

- **Estructura:** es una tina de madera recubierta en fibra de vidrio y contiene en su interior una mezcla de NaCl.
- **Estructura fija:** Soporta el tablero de control, compuesta por perfiles en L.
- **Resistencia calefactora:** Ubicada en el interior de la cámara y permite mantener la temperatura en $35^{\circ}\text{C} \pm 2$.

- **Sensor de temperatura:** compuesta por una Termocupla tipo K con bulbo en acero inoxidable.
- **Torre de aspersión:** encargado de llevar la mezcla hacia las muestras.
- **Tanque auxiliar o reservorio:** encargada de mantener el nivel de solución recomendable para que el funcionamiento de la boquilla sea constante.
- **Boquilla pulverizadora:** pulveriza la solución salina.
- **Compresor:** Mantiene los 20 Psi necesarios para la prueba.

4.5. Software Labview National Instrument.

LabVIEW es el acrónimo de Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench. Es un lenguaje y a su vez un entorno de programación gráfica en la que se pueden crear aplicaciones de forma rápida y sencilla (Vizcaino, 2007). El desarrollo de esta herramienta de automatización se remonta al año de 1976 en el estado de Texas Estados Unidos, los primeros desarrollos se basaron en protocolos denominados GPIB, y para el año de 1986 se realiza el lanzamiento de la primera versión de Labview para Macintosh (Lajara, p. 3). La programación en este software se realiza en diagramas de bloques utilizando controles que sirven de entradas de datos como pulsadores, sensores, etc.; y funciones VI que se encargan de realizar diferentes funciones según se establezca la lógica operacional del proceso que se desee automatizar.

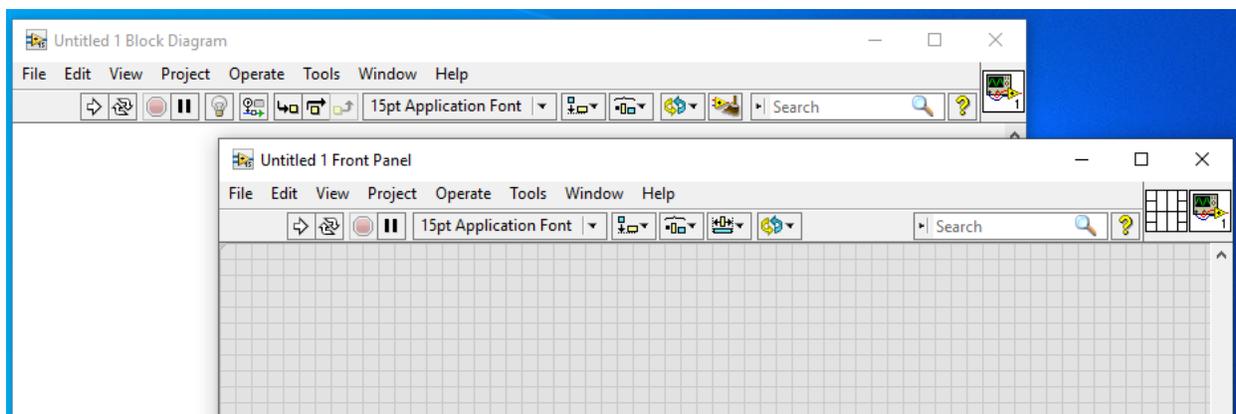
4.5.1. Entorno de programación.

Labview es una herramienta de programación gráfica. Inicialmente estaba orientada a aplicaciones de control de instrumentos electrónicos usados en el desarrollo de sistemas de instrumentación, lo que se conoce como instrumentación virtual. En Labview estas partes reciben el nombre de panel frontal y diagrama de bloques respectivamente.

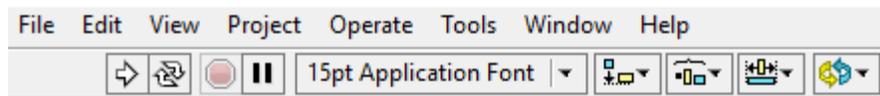
- **Panel frontal:** es la parte que vera el usuario, es generalmente de fondo gris. En esta ventana es posible agregar texto, botones, interruptores, graficas, indicadores LED y elementos que representen el proceso que se desea automatizar, todos estos pueden ser enlazados en el diagrama de bloques (Molina, p. 6).
- **Diagrama de bloques:** es donde se realiza la programación y generalmente es de fondo blanco. Aquí según lo indica (Molina, p. 6) se ubican todos los bloques que contienen el código fuente, y se conectan entre sí, el diagrama de bloques contiene las funciones y estructuras incorporadas en las bibliotecas de Labview. Para la conexión entre bloques se utilizan cables entre los nodos que son controles e indicadores de terminal, funciones y estructuras.

En la figura 6 pueden verse las dos ventanas mencionadas anteriormente. En primer plano se encuentra el panel frontal, y en el fondo se encuentra el diagrama de bloques. En la parte superior de estas ventanas se sitúa una barra con varias herramientas como se ve en la figura 7.

Figura 6 Diagrama de bloques y panel frontal.

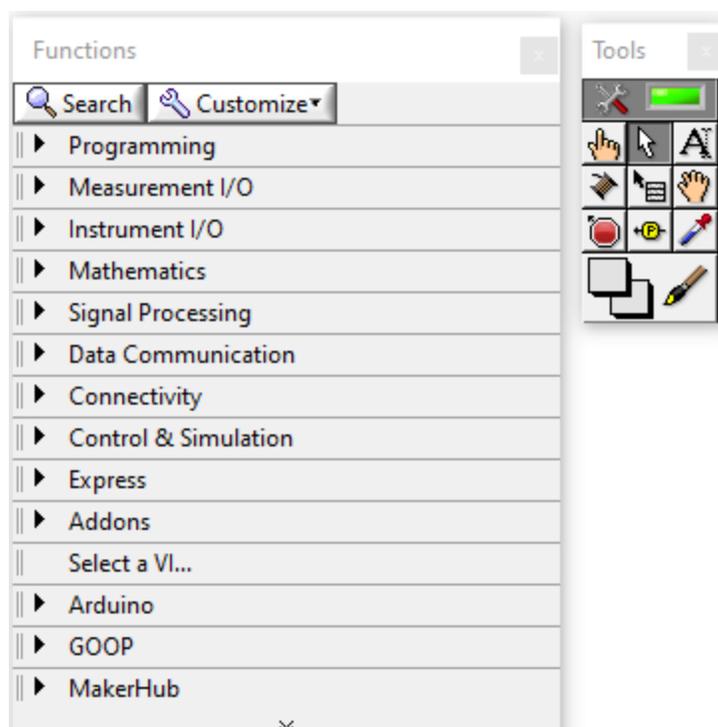


Fuente: Autores.

Figura 7 Barra de herramientas de Labview.

Fuente: Autores.

Para colocar funciones en el diagrama de bloques y terminales en el panel frontal se tienen las paletas o menús flotantes, llamadas paleta de funciones y controles respectivamente. Además también se tiene la paleta de herramientas que consta de diferentes útiles, en la figura 8 puede verse el aspecto de estas paletas.

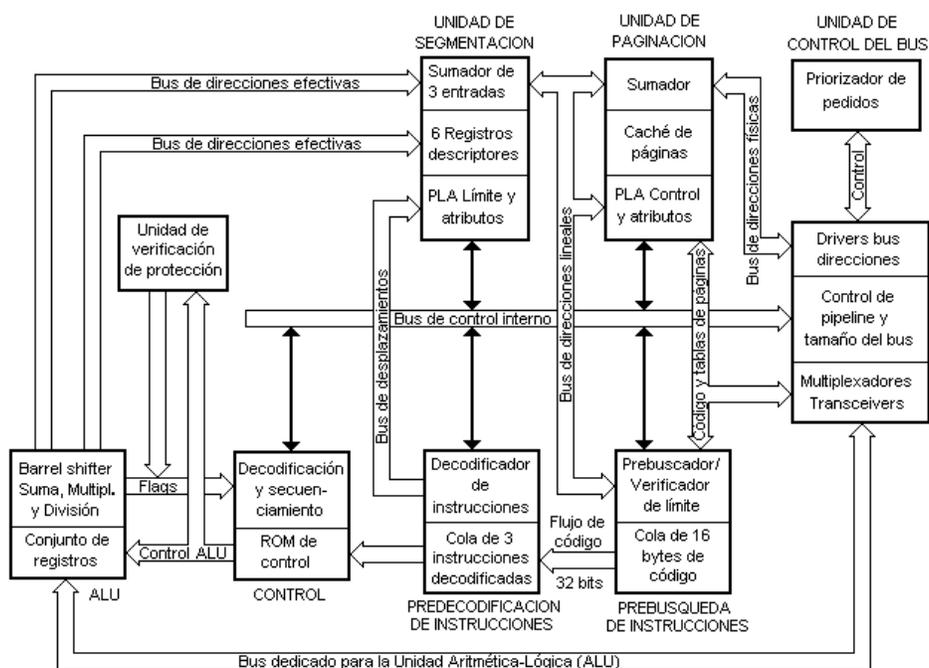
Figura 8 Diferentes paletas de trabajo en Labview.

Fuente: Autores.

4.6. Sistemas embebidos.

Se conoce como sistema embebido a un circuito electrónico computarizado que está diseñado para cumplir una labor específica en un producto (Galeano, 2009). La inteligencia artificial, secuencias y algoritmos de un sistema embebido, están residentes en la memoria de una pequeña computadora denominada microcontrolador. Se sabe que en general, un consumidor promedio interactúa con alrededor de 400 microcontroladores por día; y seguirá creciendo en los próximos años. El número de aplicaciones y de ambientes soportados por los sistemas embebidos crece cada vez más, una de las principales razones fue la llegada de los procesadores en una sola capsula, en la figura 9 se puede observar el modelo expandido de un sistema microprocesador, en los cuales la mayor parte de la electrónica está incorporada y permite reducciones de tamaño, menor consumo y facilidades de producción.

Figura 9 Modelo expandido de un sistema microprocesador.



Fuente: (Galeano, 2009)

4.6.1. Periféricos más comunes de sistemas embebidos.

La gran mayoría de los microcontroladores en el mercado, y dependiendo del derivativo específico y de la aplicación, incluyen varios periféricos internos, los cuales facilitan la integración de un sistema y hacen que la aplicación final sea compacta, pequeña, optimizada para bajo consumo de energía, pocos elementos externos y por consiguiente bajo costo (Galeano, 2009).

4.6.2. Puertos de entrada / salida.

Este periférico es la interfaz entre el bus de datos interno y los pines asignados a funciones de entrada y salida del microcontrolador. Es tarea del diseñador configurar el sentido, ya sea de entrada o salida de cada uno de los pines dependiendo del Hardware asociado a cada uno de ellos, lo mismo el valor inicial que tomara el pin una vez se configure su sentido (Galeano, 2009). Para el control y manejo de cada puerto existen principalmente dos registros:

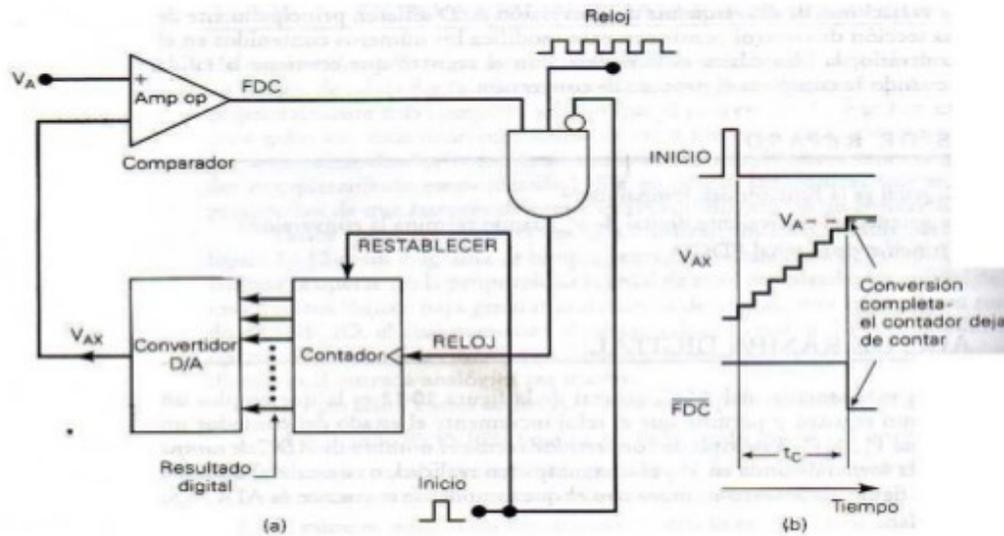
- En el registro de datos del puerto PDT.
- El registro de dirección del puerto DDR.

4.6.3. Conversor análogo a digital (ADC).

Consiste en un módulo que permite al microcontrolador recibir una señal analógica del mundo exterior, cuyos límites de voltaje oscilan entre 0 hasta el nivel de alimentación y convertirla en un valor digital equivalente. El resultado estará en un registro interno del microcontrolador permitiendo al software tomar decisiones de control dependiendo del comportamiento de la señal analógica. Según el microcontrolador la resolución puede variar entre 8 bits, 10 bits o 12 bits. La técnica comúnmente usada para la conversión es la denominada “Aproximaciones sucesivas o SAR” típicamente un microcontrolador contiene un solo sistema de ADC, lo que no obliga a que

solo soporte una señal analógica externa, ya que la entrada puede ser multiplexada con varios pines del microcontrolador. En la figura 10 se puede apreciar el esquema interno de un microcontrolador.

Figura 10 Esquema interno de un ADC



Fuente: Esquema interno de un ADC. Recuperado de

<<https://es.slideshare.net/AdrianAntonio1/acondicionadores-de-seal-50052553>>

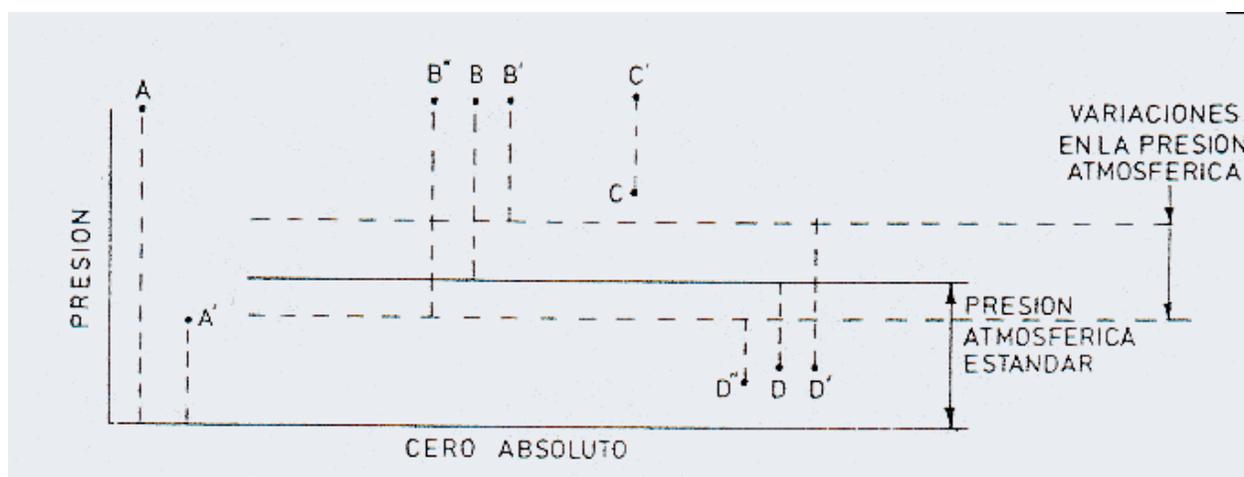
4.7. Instrumentación de la cámara de niebla salina.

La cámara de niebla salina deberá contar con una serie de instrumentos que permitirán su conexión a un sistema de adquisición de datos, por esta razón a continuación se entra a detallar conceptos básicos de instrumentación y equipos de medida.

4.7.1. Unidades y clases de presión.

La presión es una fuerza por unidad de superficie y puede expresarse en unidades tales como Pascal, Bar, Atmosferas, kilogramo por centímetro cuadrado y Psi. La presión puede medirse en valores absolutos o diferenciales, en la figura 11 se indican las clases de presión que los instrumentos miden comúnmente en la industria (Creus, 2009).

Figura 11 Clases de presión.



Fuente: (Creus, 2009).

En la tabla 2 se describen cada una de las presiones que se presentan en la figura 11, y que será necesario tener claro para la comprensión del desarrollo metodológico de este trabajo.

Tabla 2 Clases de presión.

Presión	Descripción.
Absoluta	Mide la presión con relación al cero absoluto.
Atmosférica	Es la presión ejercida por la atmosfera terrestre.
Relativa	Diferencia entre la absoluta y la atmosférica.
Diferencial	Es la diferencia entre dos presiones.
Vacío	Diferencia entre la presión atmosférica y la presión absoluta.

Fuente: (Creus, 2009).

4.7.2. Medida de temperatura.

La medida de temperatura constituye una de las mediciones más comunes y más importantes que se efectúan en los procesos industriales, las limitaciones del sistema de medida quedan definidas en cada tipo de aplicación por la precisión, por la velocidad de captación, por la distancia entre los elementos de medida, por el tipo de instrumento indicador. Uno de los elementos de mayor uso a nivel industrial es el termopar, el cual se basa en el efecto descubierto por Seebeck en 1821, de la circulación de una corriente en un circuito formado por dos metales diferentes cuyas uniones (unión de medida caliente y unión de referencia o fría) se mantienen a distinta temperatura (figura 12).

Figura 12 Termopar.



Fuente: Junta fría y caliente. Recuperado de <
<https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensor-temperatura-termopar/>>

El termopar tipo K (cromel-alumel) se recomienda en atmósferas oxidantes y a temperaturas de trabajo entre 500 y 1250°C. No debe ser utilizado en atmósferas sulfurosas a menos que esté protegido por un bulbo protector.

4.7.3. Medidas de caudal.

La mayor parte de las operaciones realizadas en los procesos industriales, laboratorios y plantas piloto es muy importante la medición de caudales, de líquidos y gases. Existen diferentes métodos para medir caudal según sea el tipo de caudal volumétrico o másico deseado. Entre los transductores más importantes figuran los citados en la tabla 3.

Tabla 3 Medidores volumétricos.

Sistema	Elemento	Transmisor.
Presión diferencial	Placa de orificio.	Equilibrio de fuerzas
Área variable	Rotámetro	Puente de impedancias
Velocidad	Turbina	Potencio métrico
Fuerza	Placa de impacto.	Galgas extensiométricas
Tensión inducida	Medidor magnético	Efecto Hall

Fuente: (Creus, 2009).

Para poder determinar el flujo de agua que consume la cámara de niebla salina se puede pensar en los sensores de flujo YF-S201 (Ver figura 13) por su bajo costo, este cuenta con un sensor de efecto Hall que consiste en la aparición de una diferencia de potencial transversal en un conductor o semiconductor, por el cual circula una corriente, cuando un campo magnético aplicado en la dirección perpendicular lo atraviesa (Areny, 2003)

Figura 13 Sensor de flujo YF-S201.



Fuente: Sensor de flujo. Recuperado de < <https://naylampmechatronics.com/sensores-liquido/108-sensor-de-flujo-de-agua-12-yf-s201.html>>

4.7.4. pH.

El pH es una medida de acidez o alcalinidad del agua. Su expresión viene dada por el algoritmo a la inversa de la concentración del ion H expresada en moles por litro como lo indica la ecuación 1 (Creus, 2009).

Ecuación 1 Concentración en iones H.

$$pH = \log \frac{1}{H^+}$$

Una disolución ácida tiene mayor concentración de ion hidrógeno que el agua pura y por tanto su pH será menor a 7. A una disolución básica le ocurre a la inversa y su pH será mayor a 7. Las medidas prácticas de pH se encuentran entre valores de 0 a 14. Para realizar la medición de esta variable pueden utilizar varios métodos, de entre los cuales el más exacto y versátil de aplicación industrial es el sistema de electrodo de vidrio; el cual consiste en un tubo de vidrio cerrado en su parte inferior con una membrana de vidrio especialmente sensible a los iones de hidrógeno del pH.

5. RANGOS OPERACIONALES DE LAS VARIABLES DE PROCESO EN LA CÁMARA DE NIEBLA SALINA.

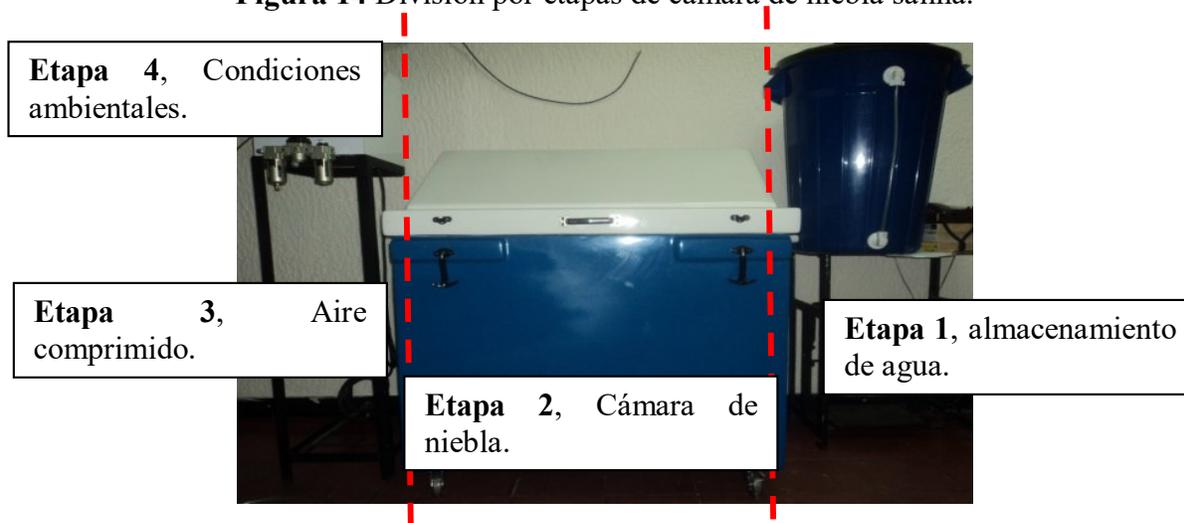
Antes de identificar los rangos operacionales de las variables que se desean medir es necesario saber cuales son las que intervienen en la cámara de niebla salina, por esta razón esta será la primera actividad a realizar.

5.1. Revisión literaria para identificar señales del proceso.

La revisión literaria para identificar las señales y variables que intervienen en este proceso estará basada en los documentos finales que dieron como resultado el diseño e implementación de la cámara de niebla (Galván, S & Camacho F, 2012) y la posterior puesta en marcha (Yepes, O & Bautista, C, 2015). El proceso se dividió en cuatro etapas como lo indica la figura 14.

- Almacenamiento de agua para proceso.
- Cámara de niebla.
- Aire comprimido.
- Condiciones ambientales.

Figura 14 División por etapas de cámara de niebla salina.



Fuente: (Galván, S & Camacho F, 2012).

De cada una de las etapas se plantea adecuar una serie de sensores de tal forma que se cumpla lo establecido en la ASTM B117 y tal como se planteó en los objetivos, por esta razón se identifica cuáles son las variables que se desea medir en cada una de las etapas que fueron mencionadas anteriormente y como lo establece en la tabla 4

Tabla 4 Variables a medir en cada una de las etapas del proceso.

Etapa	Variables a medir.
Almacenamiento de agua	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel. • pH. • Flujo.
Cámara de niebla	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura.
Aire comprimido	<ul style="list-style-type: none"> • Presión.
Condiciones ambientales.	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura y humedad relativa.

Fuente: Autores.

5.1.1. Tags y sus funciones.

Adicional a las variables que deben ser monitoreadas según lo establece la ASTM B117 se deben agregar una serie de señales que permitan controlar el proceso desde Labview utilizando entradas / salida digitales. En la tabla 5 se asignan los Tag, pines y funciones.

Tabla 5 Listado de señales que permite automatizar la cámara de niebla salina.

Etapa	Variable a medir o controlar	TAG	Descripcion.
Almacenamiento de agua.	Flujo	AI7-FT-01	Entrada análoga utilizada para medir el flujo de agua que esta consumiendo la cámara de niebla salina.
	pH	AI1-PH-01	Entrada análoga utilizada para medir el pH del agua ubicada en el tanque de almacenamiento.
	Nivel	AI2-DP-01	Entrada análoga para medir el nivel de agua que se encuentra en el tanque de almacenamiento
Cámara de niebla	Temperatura	AI3-TC-01	Entrada análoga para medir la temperatura de la cámara.
	Salida de control de temperatura.	DO-PWM-01	Conmutara el elemento de potencia para controlar la temperatura.
	Alarma por perdida de control.	DI-01	Temorstato encargado de dar redundancia ante perdida de control.
	Salida para activar alarma por perdiada de control	DO-01	Permite activar un contactor que desenergiza la resistencia de calefacción.
Aire comprimido.	Presión.	AI4-PT-01	Sensor de presión a la salida del regulador.
	Alarma por alta presion	DI-02	Presostato que detecta perdida de control de presión.
	Salida digital para encender compresor	DO-02	Permite encender o apagar el compresor de aire.
	Confirma encendido de compresor.	DI-03	Identifica que el compresor esta encendido o apagado.
	Salida digital por perdidad de control.	DO-03	Activa válvula solenoide por perdida de control de presión.
Condiciones ambientales	Temperatura ambiente	AI5-TI-01	Entrada análoga para determinar la temperatura ambiente durante la prueba.
	Humedad relativa	AI6-HI-01	Entrada análoga para determinar la humedad relativa durante la prueba.
	Parada de emergencia.	DI-PE	Entrada digital que indica que se activo la parada de emergecia.

Fuente: Autores.

Entonces ahora se resumiran las señales en la tabla 6 según sean análogas o digitales tanto entradas como salidas, esto ayudará para saber cuantos pines seran utilizados por el microcontrolador Atmel 2560 que fue definido en los objetivos de este trabajo. Despues de esto se entraran a seleccionar los elementos sensores y actuadores según sean los rangos operacionales de la cámara de niebla salina y para ello se utlizaran las matrices de Holmes.

Tabla 6 Resumen de señales para automatizar cámara de niebla.

Tipo de señal	Numero
Entrada análoga	7
Salida PWM	1
Entrada digital	4
Salida digital.	3

Fuente: Autores.

5.2. Ventanas operacionales de los sensores conectados a las entradas digitales.

Los elementos o sensores que deben ser seleccionados para garantizar una operación automatizada y segura en cuanto a las señales digitales que serán conectadas a las entradas digitales serán seleccionadas a continuación, iniciando con la identificación de las ventanas operativas de cada una de ellas.

5.2.1. Ventana operacional del termostato para detectar pérdidas de control de temperatura.

Este elemento llamado termostato de bulbo y capilar, consiste en un bulbo conectado por un capilar a una espiral. Cuando la temperatura en el bulbo cambia el gas se expande y el espiral tiende a desenrollarse moviendo un mecanismo que actúa sobre un contacto que cambia de estado. De acuerdo a lo establecido en el numeral 10 de la norma ASTM B117 la temperatura debe ser mantenida en $35.6\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Entonces la ventana operativa referente a la temperatura que debe ser mantenida dentro de la cámara de niebla, se indica en la tabla 7.

Tabla 7 Ventana operacional de temperatura dentro de la cámara de niebla.

Variable	ASTM B117	Rango
Temperatura	Numeral 10.	33.6°C hasta 37.6°C.

Fuente: Autores.

5.2.2. Ventana operacional del presostato para detectar pérdidas de control de presión.

La solución planteada en este trabajo para detectar fallas o pérdidas de control de presión, consiste en utilizar un presostato, el cual es un aparato activado por presión que tienen la función de abrir o cerrar un contacto. En la tabla 8 se indica cual es la ventana operativa según lo establece la ASTM B117.

Tabla 8 Ventana operacional de presión dentro de la cámara de niebla.

Variable	ASTM B117	Rango
Presión	Numeral 9, tabla 2.	12 psi hasta 18psi.

Fuente: Autores.

5.2.3. Ventana operacional de señales digitales en voltaje.

En este apartado se identificara la ventana operacional para las señales de confirmación de encendido del compresor y parada de emergencia, esto se basara en la tensión del circuito de control que será utilizado como parte del diseño de este trabajo y se indican en la tabla 9.

Tabla 9 Ventana operacional de presión dentro de la cámara de niebla.

Variable	Circuito de control	Rango
DI-03, DI-PE	Condiciones de diseño	0Vdc hasta 24Vdc.

Fuente: Autores.

5.2.4. Ventana operacional del consumo de agua de la cámara de niebla.

En cuanto al consumo de agua, según lo indica la literatura técnica sobre cámaras de niebla es la indicada en la tabla 10.

Tabla 10 Ventana operacional de flujo de agua de la cámara de niebla.

Variable	ASTM B117	Rango
Flujo	Nota 4, figura X2.1.	1mL/h hasta 2mL/h

Fuente: Autores.

5.3. Ventanas operacionales de los sensores conectados a las entradas análogas.

En cuanto a las medidas de temperatura dentro de la cámara de niebla esto ya ha sido establecido en la tabla 7, la señal asociada a esta condición es AI3-TC-01, en cuanto a la medida de presión asociada al Tag AI4-PT-01 es la indicada en la tabla 8. Para el caso de las condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa estos valores se definen en la tabla 11.

Tabla 11 Ventana operacional de condiciones ambientales.

Variable	ASTM B117	Rango
Temperatura ambiente	No específica.	20°C hasta 40°C
Humedad relativa ambiente	No específica.	0% hasta 100%

Fuente: Autores.

5.3.1. Medición de pH y nivel de agua.

En cuanto al pH de la solución salina según lo indica la norma ASTM B117 es la indicada en la tabla 12, y para el caso del nivel de agua según lo indica el diseño inicial la capacidad del tanque principal es de 100 L y cuya altura máxima será la indicada en la tabla 13.

Tabla 12 Ventana operacional de pH.

Variable	ASTM B117	Rango
pH	Nota 2, figura X2.1.	6.5 hasta 7.2

Fuente: Autores.

Tabla 13 Ventana operacional de nivel de agua.

Variable	Condiciones de diseño	Rango
Nivel	Condiciones de diseño	0 cm hasta 60 cm

Fuente: Autores.

5.4. Selección de sensores para entradas digitales.

Para seleccionar los sensores que se encuentran conectados a las entradas digitales del microcontrolador Atmel 2560 se tendrán en cuenta las ventanas operacionales que fueron establecidas anteriormente y para ello se utilizaran las matrices de Holmes.

5.4.1. Selección del termostato y presostato.

La matriz de Holmes permite comparar varias alternativas para identificar cual termostato y presostato utilizar, los pasos relacionados a continuación indican el paso a paso para llevar a cabo esta selección. Inicialmente se establecen los criterios que son:

- Salida de contacto seco.
- Rango de medida.
- Precio.

A cada uno de ellos se le asigna un valor entre 1 y 10 siendo este último tomado como un criterio muy importante y 1 como menos importante, de esto se obtienen los resultados de la tabla

Tabla 14 Criterios para seleccionar termostato.

Criterios para seleccionar termostato.						
	Output	Rango	Precio	Total filas	Valor normalizado	
Criterios	Output		5	5	10	25
	Rango	10		10	20	50
	Precio	5	5		10	25
	Total				40	100

Fuente: Autores.

Para continuar se establece un valor de prioridad entre 1 y 10 siendo este último el que indica mayor prioridad, la sumatoria que indique el valor más elevado será la mejor alternativa, esto se indica en la tabla 15.

Tabla 15 Valor de importancia para cada criterio del termostato.

	Valor normalizado	Prioridad	Prioridad normalizada	Danfoss		Honeywell		Siemens	
Output	25	4	0,29	5	1,43	1	0,29	1	0,29
Rango	50	6	0,43	10	4,29	5	2,14	5	2,14
Precio	25	4	0,29	5	1,43	1	0,29	1	0,29
		14	1		7,14		2,71		2,71

Fuente: Autores.

Al revisar la documentación técnica teniendo en cuenta que el criterio más importante es el rango de medición se encuentra que el Danfoss RT14E (ver figura 15) presenta una buena alternativa ya que según lo indica su hoja de datos su rango de operación es -5°C hasta 150°C .

Figura 15 Termostato RT14E.



Fuente: Termostato Danfoss. Recuperado de <https://store.danfoss.com/es/es/Refrigeraci%C3%B3n/Interruptores/Termostatos/Termostato%2C-RT14E/p/017-509866>

Para el caso del presostato aplican las tablas 14 y 15, por esta razón se entra a revisar la literatura y se identifica que el sensor de presión Danfoss 031E020066 (ver figura 16). El rango de operación de este sensor es tiene un valor máximo de 87 psi lo cual lo ubica en el rango establecido en la ASTM B117.

Figura 16 Presostato 031E020066.



Fuente: Termostato Danfoss. Recuperado de <https://store.danfoss.com/es/es/Refrigeraci%C3%B3n/Interruptores/Termostatos/Termostato%2C-RT14E/p/017-509866>

5.4.2. Selección de parada de emergencia.

Para el caso de la parada de emergencia se aplica la matriz de Holmes teniendo en cuenta los criterios mencionados a continuación, haciendo especial énfasis en que todas las señales serán contactos secos. En la tabla 16 se entran a comparar estos criterios.

- Desenclavamiento automático
- Desenclavamiento manual.
- Desenclavamiento manual con llave.

Tabla 16 Criterios para seleccionar parada de emergencia.

Criterios para seleccionar parada de emergencia.						
		Automático	Manual	M con llave	Total filas	Valor normalizado
Criterios	Automático		5	5	10	25
	Manual	5		5	10	25
	M con llave	10	10		20	50
	Total				40	100

Fuente: Autores.

Para continuar se establece un valor de prioridad entre 1 y 10 siendo este último el que indica mayor prioridad, la sumatoria que indique el valor más elevado será la mejor alternativa, esto se indica en la tabla 17.

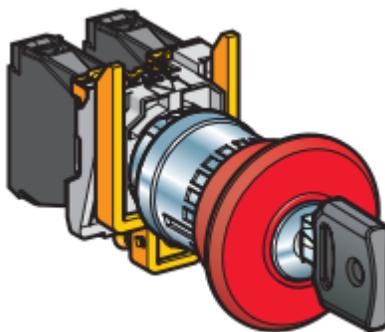
Tabla 17 Valor de importancia para cada criterio de la parada de emergencia.

	Valor normalizado	Prioridad	Prioridad normalizada	Schneider		Siemens		ABB	
Automático	25	4	0,20	5	1,00	5	1,00	5	1,00
Manual	25	6	0,30	5	1,50	5	1,50	5	1,50
M con llave	50	10	0,50	10	5,00	1	0,50	1	0,50
		20	1		7,50		3,00		3,00

Fuente: Autores.

Al revisar la documentación técnica teniendo en cuenta que el criterio más importante es que la parada de emergencia se desactive con llave de forma manual para darle mayor seguridad a la operación se opta por el producto de marca Schneider Electric indicado en la figura 17 de referencia XB4BS9445.

Figura 17 Parada de emergencia XB4BS9445



Fuente: Parada de emergencia, Schneider electric. Recuperado de <
<https://www.se.com/co/es/product/XB4BS8445/parada-de-emergencia-rojo-%C3%B8-22---cabeza-redonda-%C3%B8-40---girar-para-liberar/>>

5.4.3. Selección de sensor de flujo.

La matriz de Holmes permite comparar varias alternativas para identificar cual sensor de flujo se debe utilizar. Inicialmente se establecen los criterios que son:

- Modelo

- Conexión.
- Caudal.

A cada uno de ellos se le asigna un valor entre 1 y 10 siendo este último tomado como un criterio muy importante y 1 como menos importante, de esto se obtienen los resultados de la tabla 18.

Tabla 18 Criterios para seleccionar sensor de flujo

Criterios para seleccionar sensor de flujo						
	Modelo	Conexión	Caudal	Total filas	Valor normalizado	
Criterios	Modelo		5	5	10	25
	Conexión	5		5	10	25
	Caudal	10	10		20	50
	Total				40	100

Fuente: Autores.

Para continuar se establece un valor de prioridad entre 1 y 10 siendo este último el que indica mayor prioridad, la sumatoria que indique el valor más elevado será la mejor alternativa, esto se indica en la tabla 19.

Tabla 19 Valor de importancia para cada criterio del sensor de flujo.

	Valor normalizado	Prioridad	Prioridad normalizada	YF-S201		FS300A		FS400A	
Modelo	25	4	0,20	5	1,00	5	1,00	5	1,00
Conexión	25	6	0,30	5	1,50	5	1,50	5	1,50
Caudal	50	10	0,50	10	5,00	1	0,50	1	0,50
		20	1		7,50		3,00		3,00

Fuente: Autores.

5.5. Selección de sensores para entradas análogas.

Para las entradas análogas se determinaran las mejores alternativas utilizando de igual forma matrices de Holmes, en este caso se evaluarán, sensores de temperatura, nivel, presión, humedad, pH como se verá a continuación.

5.5.1. Selección del sensor de pH.

Para seleccionar el sensor de pH que será utilizado en la etapa de almacenamiento de agua se tendrán en cuenta los criterios mencionados a continuación:

- Voltaje de alimentación.
- Precisión.
- Rango.

A cada uno de ellos se le asigna un valor entre 1 y 10 siendo este último tomado como un criterio muy importante y 1 como menos importante, de esto se obtienen los resultados de la tabla 20.

Tabla 20 Criterios para seleccionar sensor de pH.

Criterios para seleccionar sensor de pH.						
	Modelo	Conexión	Caudal	Total filas	Valor normalizado	
Criterios	Voltaje.		5	5	10	25
	Precisión.	5		5	10	25
	Rango	10	10		20	50
	Total				40	100

Fuente: Autores.

Para continuar se establece un valor de prioridad entre 1 y 10 siendo este último el que indica mayor prioridad, la sumatoria que indique el valor más elevado será la mejor alternativa, esto se indica en la tabla 21.

Tabla 21 Valor de importancia para cada criterio del sensor de flujo.

	Valor normalizado	Prioridad	Prioridad normalizada	DFROBOT SEN0161		SEN0169		SEN0161-V2	
Voltaje.	25	4	0,20	5	1,00	5	1,00	5	1,00
Precisión.	25	6	0,30	5	1,50	5	1,50	5	1,50
Rango	50	10	0,50	10	5,00	1	0,50	1	0,50
		20	1		7,50		3,00		3,00

Fuente: Autores.

5.5.2. Selección del sensor de nivel.

Para realizar la medición de nivel se realizara medición de presión diferencial del tanque de almacenamiento, por esta razón se entra inicialmente a determinar cuál será el rango de medición de presión teniendo en cuenta que la columna de agua tendrá una altura máxima de 60cm. A continuación se detallan estos primeros pasos.

- Se debe convertir el valor de 60cm a pulgadas lo que equivale a 23.6pulgadas.
- Ahora bien estas 23.6 pulgadas de agua se convierten a psi cuyo resultado es **0.85psi**.

La empresa DATA INSTRUMENT ofrece una amplia gama de sensores de presión diferencial, sin embargo se entrara a analizar cuál es la mejor alternativa y se establecen los siguientes criterios:

- Rango de medición.
- Voltaje de alimentación
- Salida análoga.

A cada uno de ellos se le asigna un valor entre 1 y 10 siendo este último tomado como un criterio muy importante y 1 como menos importante, de esto se obtienen los resultados de la tabla 22.

Tabla 22 Criterios para seleccionar sensor de nivel.

Criterios para seleccionar sensor de nivel.						
	Rango	Voltaje	Salida	Total filas	Valor normalizado	
Criterios	Rango		10	10	20	45
	Voltaje	5		5	10	23
	Salida	7	7		14	32
	Total				44	100

Fuente: Autores.

Para continuar se establece un valor de prioridad entre 1 y 10 siendo este último el que indica mayor prioridad, la sumatoria que indique el valor más elevado será la mejor alternativa, esto se indica en la tabla 23.

Tabla 23 Valor de importancia para cada criterio del sensor de nivel.

	Valor normalizado	Prioridad	Prioridad normalizada	XCX01DNH		XCX03DNH		XCX150DN	
Rango	45	10	0,42	5	2,08	5	2,08	5	2,08
Voltaje	23	6	0,25	5	1,25	5	1,25	5	1,25
Salida	32	8	0,33	10	3,33	1	0,33	1	0,33
		24	1		6,67		3,67		3,67

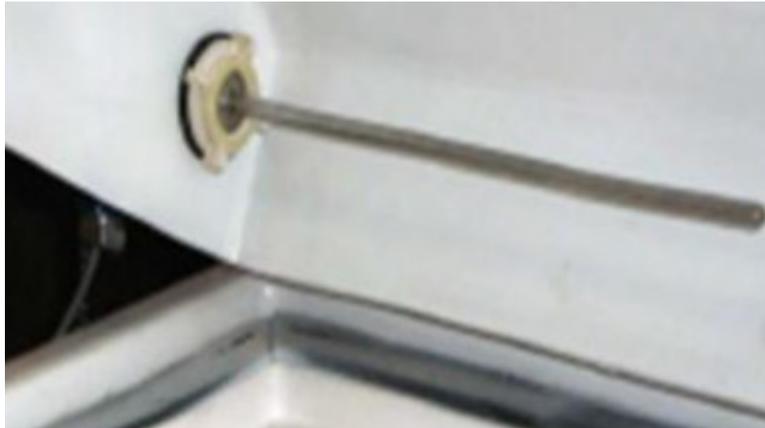
Fuente: Autores.

5.5.3. Selección del sensor de temperatura.

Actualmente la cámara de niebla cuenta con un sensor de temperatura tipo J (ver figura 18) y un bulbo en acero inoxidable que garantiza su operación bajo las condiciones de la cámara de niebla salida, y adicional a ello según las especificaciones técnicas de este sensor su rango de

operación se encuentra dentro de lo que establece la norma ASTM B117, por esta razón se mantendrá esta opción.

Figura 18 Sensor de temperatura de cámara de niebla salina **Universidad Antonio Nariño**.



Fuente: Autores.

5.5.4. Selección del sensor de condiciones ambientales de humedad y temperatura ambiente.

Según lo establece la norma ASTM B117 se deben registrar las condiciones ambientales del lugar donde opera la cámara de niebla salina, por esta razón se entra a evaluar los criterios mencionados a continuación:

- Rango.
- Precisión.
- Voltaje.

A cada uno de ellos se le asigna un valor entre 1 y 10 siendo este último tomado como un criterio muy importante y 1 como menos importante, de esto se obtienen los resultados de la tabla

24.

Tabla 24 Criterios para seleccionar sensor de condiciones ambientales.

Criterios para seleccionar sensor de condiciones ambientales						
	Modelo	Conexión	Caudal	Total filas	Valor normalizado	
Criterios	Rango		9	9	18	32
	Precisión	10		10	20	36
	Voltaje	9	9		18	32
	Total				56	100

Fuente: Autores.

Para continuar se establece un valor de prioridad entre 1 y 10 siendo este último el que indica mayor prioridad, la sumatoria que indique el valor más elevado será la mejor alternativa, esto se indica en la tabla 25. El sensor seleccionado se puede observar en la figura 19.

Tabla 25 Valor de importancia para cada criterio del sensor de condiciones ambientales.

	Valor normalizado	Prioridad	Prioridad normalizada	HE-67N2-0N00P		BME280		BMP180	
Rango	32	9	0,32	5	1,61	5	1,61	5	1,61
Precisión	36	10	0,36	5	1,79	5	1,79	5	1,79
Voltaje	32	9	0,32	10	3,21	1	0,32	1	0,32
		28	1		6,61		3,71		3,71

Fuente: Autores.

Figura 19 Sensor de condiciones ambientales.



Fuente: Sensor de condiciones ambientales. Recuperado de < <https://www.pinterest.de/pin/620159811158288491/> >

5.5.5. Selección del sensor de presión.

Para realizar la medición de presión a la cual ira a trabajar la cámara de niebla es necesario realizar la selección del sensor, por esta razón los criterios que se tienen en cuenta son los mencionados a continuación.

- Rango.
- Conexión
- Salida de señal.

A cada uno de ellos se le asigna un valor entre 1 y 10 siendo este último tomado como un criterio muy importante y 1 como menos importante, de esto se obtienen los resultados de la tabla 26.

Tabla 26 Criterios para seleccionar sensor de presión.

Criterios para seleccionar sensor de presión.						
Criterios		Rango	Conexión.	Salida.	Total filas	Valor normalizado
	Rango		10	10	20	45
	Conexión	5		5	10	23
	Salida.	7	7		14	32
	Total				44	100

Fuente: Autores.

Para continuar se establece un valor de prioridad entre 1 y 10 siendo este último el que indica mayor prioridad, la sumatoria que indique el valor más elevado será la mejor alternativa, esto se indica en la tabla 27. El sensor seleccionado se puede observar en la figura 20.

Tabla 27 Valor de importancia para cada criterio del sensor de presión.

	Valor normalizado	Prioridad	Prioridad normalizada	07356-53		07356-54		07356-55	
Rango	45	10	0,42	5	2,08	5	2,08	5	2,08
Conexión.	23	6	0,25	5	1,25	5	1,25	5	1,25
Salida	32	8	0,33	10	3,33	1	0,33	1	0,33
		24	1		6,67		3,67		3,67

Fuente: Autores.

Figura 20 Sensor de presión Cole Parmer 07356-53

Fuente: Autores.

5.5.6. Selección del contactor para operar el compresor.

El contactor es un elemento de maniobra que permite prender o apagar el compresor de aire (ver figura 21), es muy importante mencionar las características eléctricas (ver tabla 28) para establecer los criterios de selección.

Figura 21 Compresor de cámara de niebla salina.



Fuente: Autores.

Tabla 28 Características del compresor.

Característica	Descripción.
Potencia:	1500 W
Velocidad:	3400 RPM
Voltaje:	110 VAC
Presión:	115 psi

Fuente: Autores.

Teniendo estas características claras se establecen los criterios que se mencionan a continuación:

- Potencia.
- Voltaje.

- Clase.

A cada uno de ellos se le asigna un valor entre 1 y 10 siendo este último tomado como un criterio muy importante y 1 como menos importante, de esto se obtienen los resultados de la tabla 29.

Tabla 29 Criterios para seleccionar sensor de condiciones ambientales.

Criterios para seleccionar contactor.						
	Potencia	Voltaje	Clase	Total filas	Valor normalizado	
Criterios	Potencia		10	10	20	45
	Voltaje	3		3	6	14
	clase	9	9		18	41
	Total				44	100

Fuente: Autores.

Para continuar se establece un valor de prioridad entre 1 y 10 siendo este último el que indica mayor prioridad, la sumatoria que indique el valor más elevado será la mejor alternativa, esto se indica en la tabla 30.

Tabla 30 Valor de importancia para cada criterio del contactor.

	Valor normalizado	Prioridad	Prioridad normalizada	LC1D25		LC1D18		LC1D09	
Potencia	45	9	0,32	5	1,61	5	1,61	5	1,61
Voltaje	14	10	0,36	5	1,79	5	1,79	5	1,79
clase	41	9	0,32	10	3,21	1	0,32	1	0,32
		28	1		6,61		3,71		3,71

Fuente: Autores.

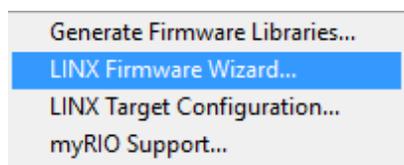
6. ALGORITMOS E INTERFAZ GRAFICA EN LABVIEW.

Tal como se planteo para el desarrollo de este trabajo se utilizara la librería Linx, sin embargo se puede decir que Linx es un proyecto de fuente abierta el cual fue desarrollado para facilitar aplicaciones embebidas usando el software Labview, incluyendo VI para mas de 30 sensores, asi como acceso a perifericos como E/S digitales, análogos, PWM, I2C, SPI y UART.

6.1. Programacion del sistema embebido Arduino Mega 2560.

Para realizar la programación del sistema embebido Arduino Mega 2560 es necesario conectarlo inicialmente al puerto USB del PC que cuenta con Labview, después de esto se ingresa a la opción indicada en la figura 22. Después de esto se debe seleccionar la placa que se desea programar (ver figura 23). Después de esto se selecciona el puerto, para finalmente dar next en cada una de las ventanas.

Figura 22 Primer paso para programar Arduino Mega.



Fuente: Autores.

Figura 23 Seleccionar el dispositivo Arduino Mega.

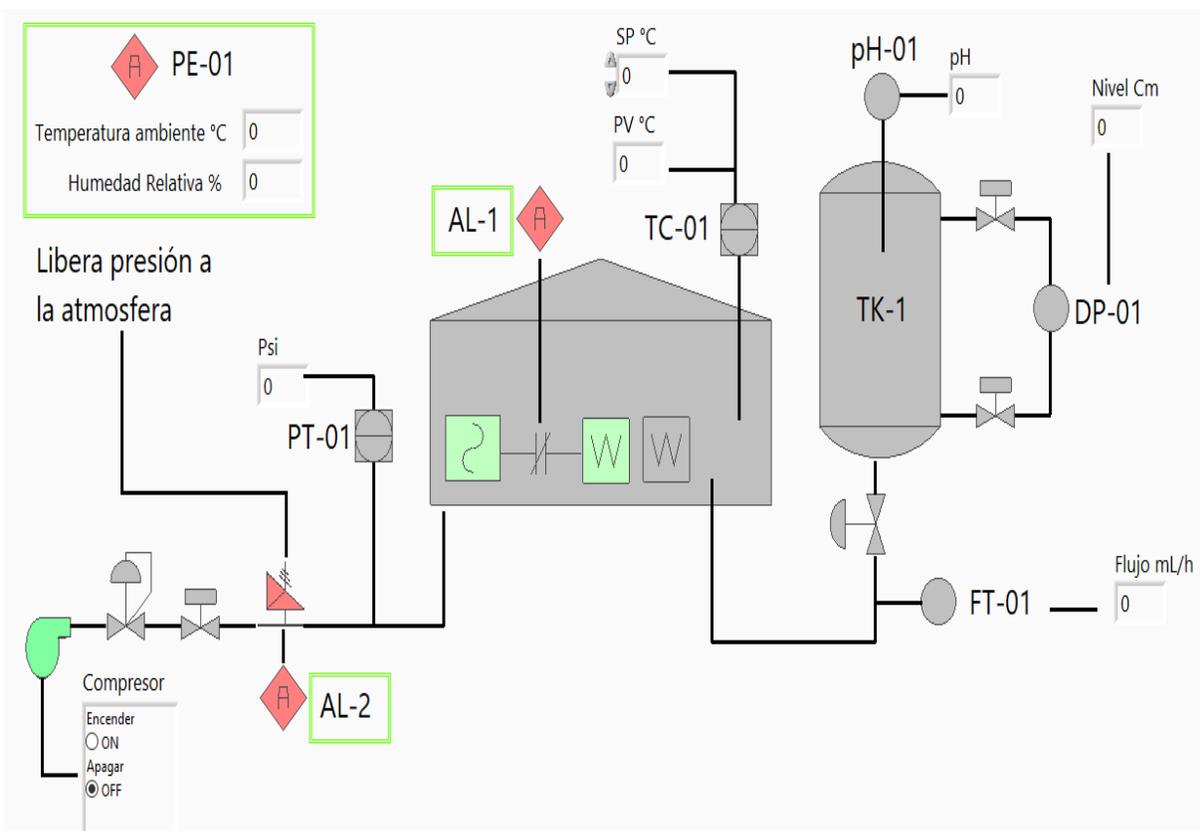


Fuente: Autores.

6.2. Interfaz grafica utilizando panel frontal de Labview.

En la figura 24 se encuentra la interfaz grafica que fue desarrollada en el panel frontal de Labview, aquí se logran evidenciar las cuatro etapas que se plantearon en el capítulo anterior.

Figura 24 Interfaz gráfica desarrollada en Labview.

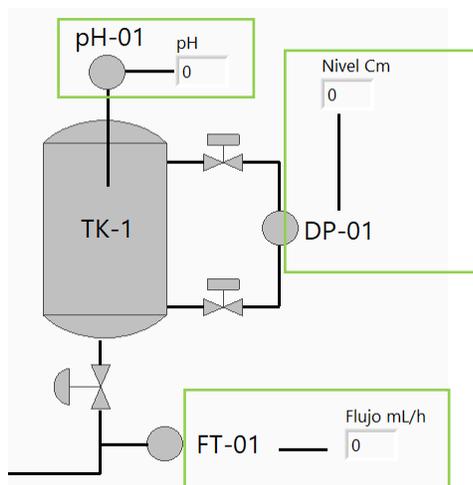


Fuente: Autores.

6.2.1. Etapa 1, Almacenamiento de agua en panel frontal.

En la figura 25 se observa la primera etapa que consiste en el sistema de almacenamiento de agua, aquí se incluyen todas las variables que se establecieron en la tabla 5, de esta forma sera posible visualizar las variables de nivel de agua, flujo y pH.

Figura 25 Etapa 1 desarrollada en el panel frontal de Labview.

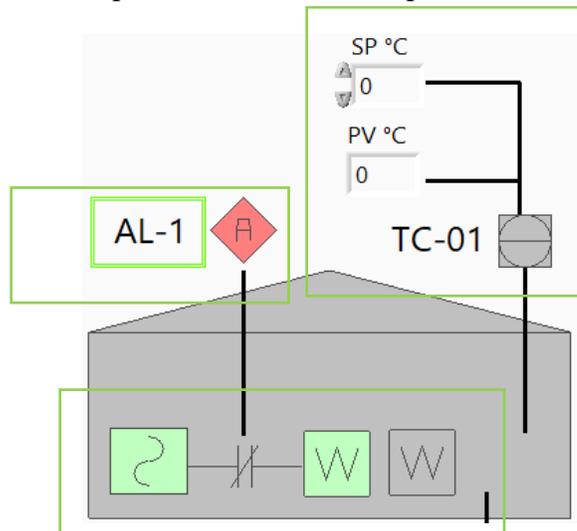


Fuente: Autores.

6.2.2. Etapa 2, Cámara de niebla en panel frontal.

Esta etapa se desarrollo tal como se observa en la figura 26, aqui se hace mención a la salida del lazo de control de temperatura, alarma por perdida de control, setpoint y valor de proceso de temperatura.

Figura 26 Etapa 2 desarrollada en el panel frontal de Labview.

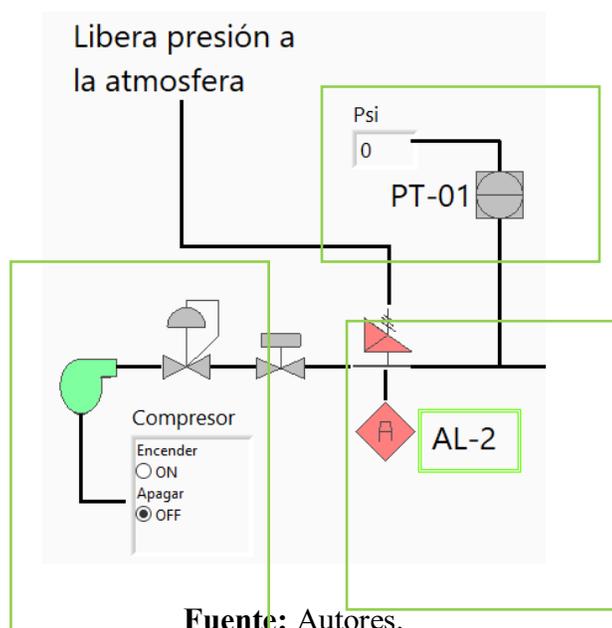


Fuente: Autores.

6.2.3. Etapa 3, Aire comprimido.

En la etapa de aire comprimido (ver figura 27) se observan las señales de proceso que se deben tener en cuenta para operar de manera segura ya que se incluye la alarma AL-2 que actuara si la presión supera los 20Psi maximos que puede soportar la cámara de niebla.

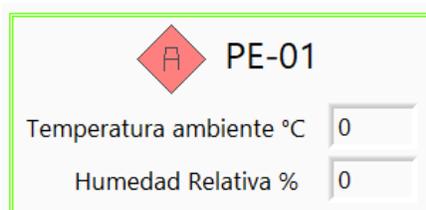
Figura 27 Etapa 3 desarrollada en el panel frontal de Labview.



6.2.4. Etapa 4, Condiciones ambientales.

En la figura 28 se observa como se visualizaran las condiciones climaticas de temperatura y humedad relativa, adicional a esto se agrega el estado de la parada de emergencia.

Figura 28 Etapa 4, desarrollada en panel frontal de Labview.



6.3. Conexión de sensores.

Para realizar la conexión de las señales análogas al Microcontrolador Atmel 2560 se tienen una serie de pines disponibles (ver figura 29) indicando que el máximo voltaje a ingresar será de 5Vdc.

Figura 29 Entradas análogas de microcontrolador Atmel 2560.



Fuente: Autores.

Para empezar a organizar como serán ubicadas las señales de los sensores cuya salida es análoga se utilizara la tabla 31 como referencia.

Tabla 31 Ubicación de señales análogas.

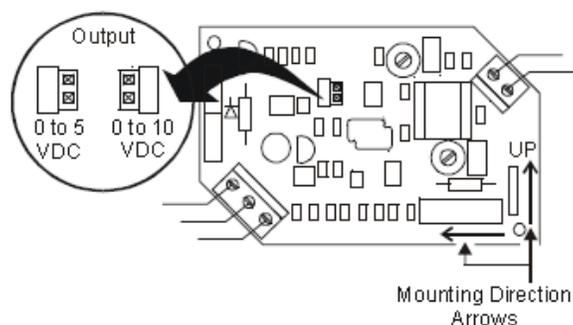
Pin	Señal.
A0	Humedad relativa.
A1	Temperatura ambiente.
A2	Presión.
A3	Nivel de tanque.
A4	Temperatura de la cámara.
A5	pH.
A7	Flujo

Fuente: Autores.

6.3.1. Conexión del sensor de condiciones ambientales HE-67N2-0N00P.

Este dispositivo incorpora un sensor de temperatura y uno de Humedad relativa, de acuerdo a lo que indica la hoja de datos, la salida de humedad puede variar entre 0-10Vdc o 0-5Vdc y para ello se cuenta con un Jumper (ver figura 30) y se utiliza la salida 5Vdc dado que es el nivel de tensión soportado por la entrada análoga del microcontrolador.

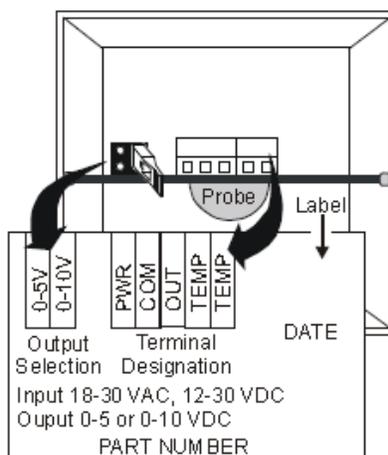
Figura 30 Salida de tensión de sensor de condiciones ambientales.



Fuente: Autores.

En la misma hoja de datos se indica cuáles son los pines de alimentación y la salida de señal proporcional (ver figura 31), para saber cuál es la humedad relativa se deberá multiplicar el voltaje por 20 y la salida de temperatura es una RTD PT 100.

Figura 31 Salida de señal del sensor HE-67N2-0N00P



Fuente: Autores.

Los pines asignados como TEMP se conectaran uno al suministro de voltaje de 5Vdc y el otro a una resistencia de 100ohm de tal forma que se genere un divisor de tensión (ver figura 32) y a medida que varíe la resistencia de la RTD también se modificara la tensión de salida que está conectada en la entrada A1 del microcontrolador. La relación que se establece entre el voltaje y la temperatura deberá ser realizada en pruebas reales que permitan caracterizar dicha salida, para efectos de la simulación se establecerá que 2.5Vdc equivalen a 0°C y 5Vdc equivalen a 100°C.

Figura 32 Salida de señal de temperatura del sensor HE-67N2-0N00P



Fuente: Autores.

Para realizar la conexión de la salida de señal del sensor de humedad se utilizan los pines COM y OUT al pin A0 del microcontrolador, y la ecuación 2 incida la relación entre estas variables y que deberá ser programada en Labview.

Ecuación 2 Relación entre voltaje y humedad relativa.

$$\text{Humedad relativa} = (\text{Voltaje de salida}) * 20$$

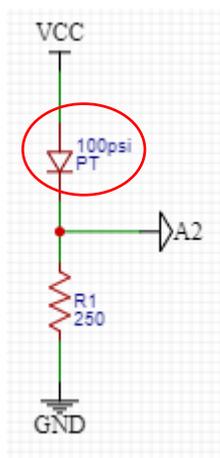
Fuente: Autores.

6.3.2. Conexión del sensor de presión.

Para realizar la conexión del sensor de presión es necesario tener claro que la salida de señal del sensor corresponde a un valor proporcional de 4-20mA pero las entradas análogas del

microcontrolador solo reciben señales de 0-5Vdc, por esta razón es necesario realizar la conexión indicada en la figura 33 en la cual se instala una resistencia de 250ohm por la cual se generara una diferencia de potencial de 5Vdc cuando la corriente sea de 20mA al aplicar la ley de ohm, la salida de este circuito se podrá conectar a la entrada análoga A2.

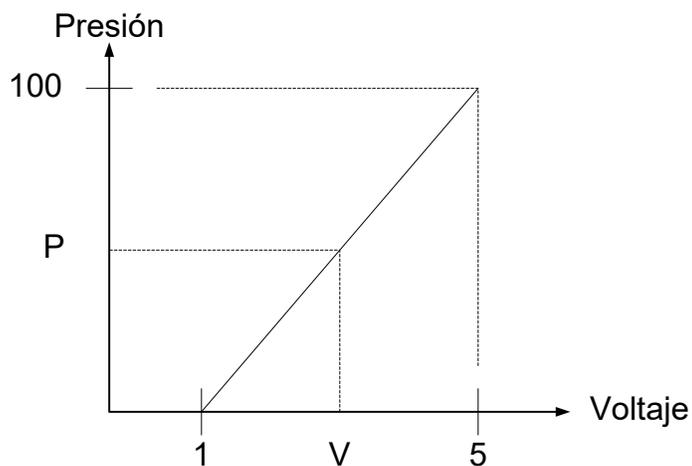
Figura 33 Conexión del sensor de presión.



Fuente: Autores.

Para determinar la ecuación que sería programada en Labview se utiliza como guía la gráfica de la figura 34 de la cual es posible obtener la ecuación 3.

Figura 34 Relación de voltaje y presión.



Fuente: Autores.

Ecuación 3 Relación entre voltaje y presión.

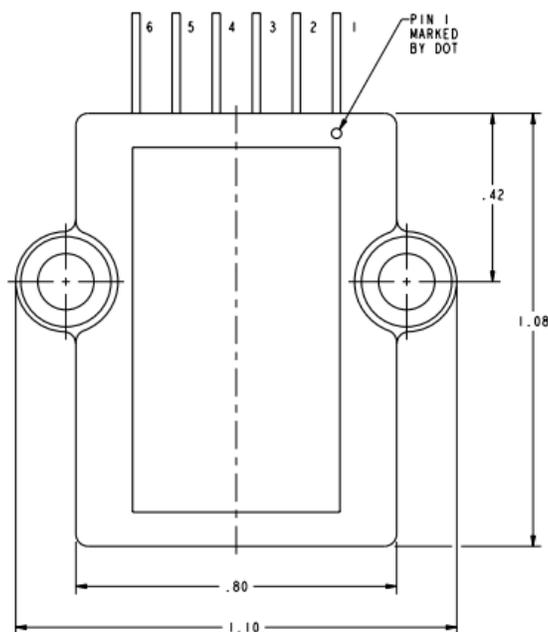
$$Presión = \frac{100 * (Voltaje - 1)}{4}$$

Fuente: Autores.

6.3.3. Conexión del sensor de nivel.

En la figura 35 se observa la ubicación de los pines de salida del sensor de presión diferencial XCX01DNH, en el pin 2 (+Vcc), en el 5 (GND), pin 3 (Salida +), y en el pin 4 (salida -). Entonces la conexión de esta señal a la entrada análoga del microcontrolador se realiza pin a pin como se indica en la tabla 32.

Figura 35 Pines del sensor de presión diferencial XCX01DNH



Fuente: Autores.

Según lo indica la hoja de características de este sensor la salida de señal es lineal, de esta forma se puede entonces establecer la ecuación 4 que relaciona el nivel con el voltaje que llega a la entrada análoga del microcontrolador.

Ecuación 4 Relación entre voltaje y nivel de agua.

$$Altura(cm) = \frac{Voltaje * 60}{5 * 0.85}$$

Fuente: Autores.

Tabla 32 Conexión entre microcontrolador y sensor de presión.

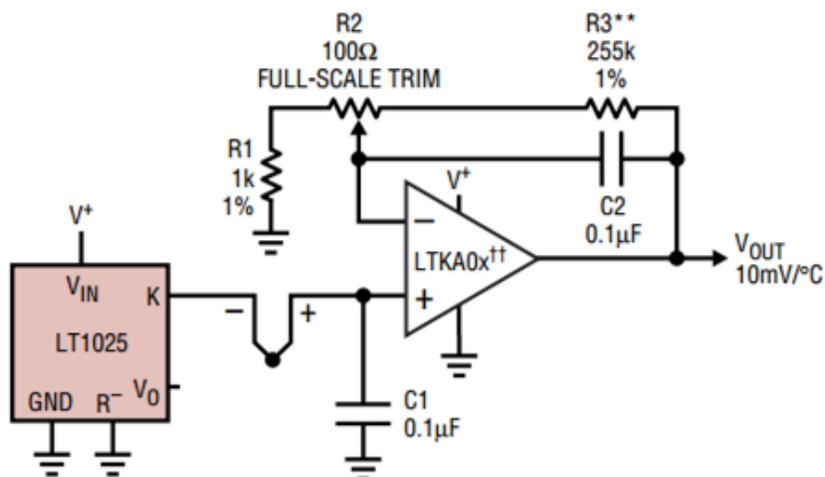
Sensor PIN	Microcontrolador PIN
3	A3
4	GND

Fuente: Autores.

6.3.4. Conexión del sensor de temperatura de la cámara.

El sensor de temperatura consiste en una Termocupla tipo J, a pesar que la salida de señal de este sensor es análoga, esta tiene una amplitud muy pequeña lo cual ocasionaría que se pierda resolución durante la medición, por esta razón se plantea el circuito de la figura 36 el cual cuenta con dos amplificadores operacionales teniendo en cuenta que la salida de este circuito será de 10mV/°C de esta forma se tiene la ecuación 5 y esta señal será conectada en la entrada AN4.

Figura 36 Circuito amplificador de señal de Termocupla tipo J.



Fuente: Autores.

Ecuación 5 Relación entre voltaje y temperatura.

$$Temperatura = 100 * (Voltaje)$$

6.3.4. Conexión del sensor de pH.

De acuerdo a lo indicado en la hoja de características del sensor seleccionado, para determinar o relacionar el voltaje con el valor de pH se debe utilizar la ecuación 6 cuya salida debe ser conectada al pin A5 del microcontrolador.

Ecuación 6 Relación entre voltaje y pH.

$$pH = 3.5 * voltaje$$

Fuente: Autores.

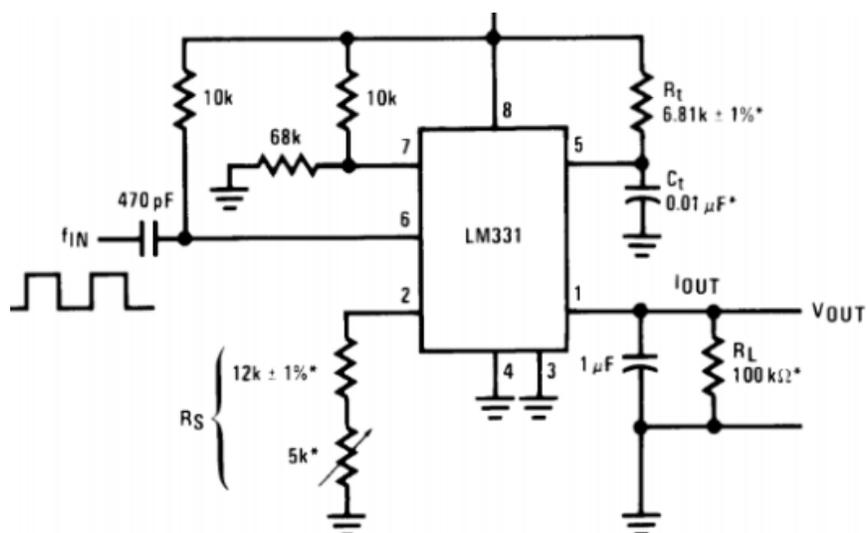
6.3.5. Conexión del sensor de flujo.

LA salida de flujo del sensor es una señal proporcional en frecuencia, pero al revisar los bloques de LINX no se cuenta con una entrada de este tipo se decide convertir esta señal en un valor analogo proporcional entre 0-5Vdc para efectos de la simulacion, para realizar esta conversion se hara uso del circuito indicado en la figura 37, este basa su funcionamiento en un comparador diferencial de referencia LM311. La relacion que se establecera entre el voltaje y el flujo será el idndicado en la ecuación 7 y esta sera la programada en Labview.

Ecuación 7 Relación entre voltaje y flujo.

$$Flujo mL = \frac{2 * Voltaje}{5}$$

Figura 37 Convertidor de frecuencia a voltaje.

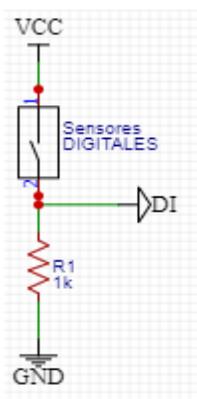


Fuente: LM311. Recuperado de <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm311.pdf>>

6.3.5. Conexión de las entradas digitales al microcontrolador.

Todas las señales se conectarán de igual forma, por esta razón se plantea un único esquema que se replicará para todos los sensores y elementos que se conectarán en las entradas digitales, para ello uno de los pines del sensor se conectará a 5Vdc y la otra será conectada a uno de los pines de la resistencia que estará conectada a 0Vdc (ver figura 38). Estas señales serán ubicadas tal como lo indica la tabla 33.

Figura 38 Conexión de entradas digitales.



Fuente: Autores.

Tabla 33 Pines para conectar entradas digitales.

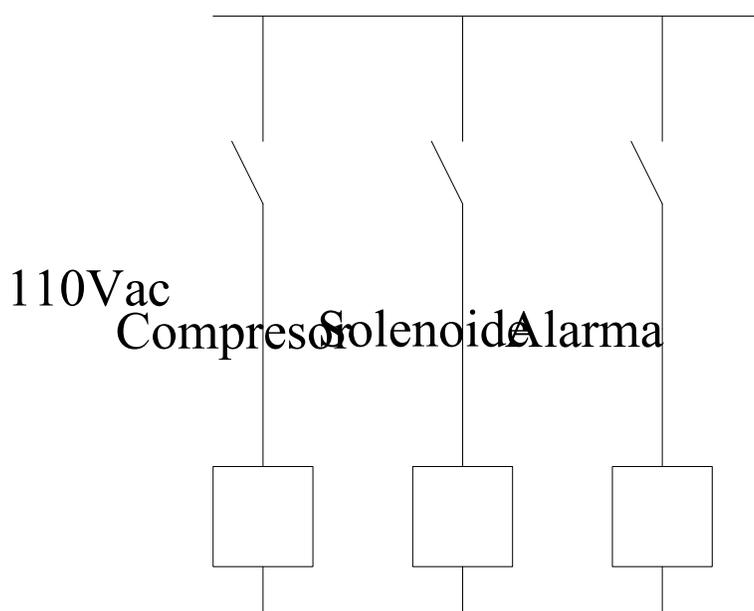
Señal	Pin del microcontrolador.
Alarma por perdida de control de temperatura.	20
Alarma por perdida de control de presión.	22
Confirmacion de encendido de compresor.	24
Parada de emergencia.	26

Fuente: Autores.

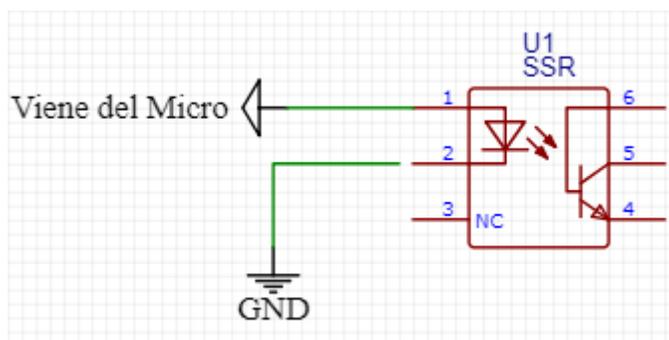
6.3.6. Conexión de salidas digitales al Microcontrolador.

Las salidas digitales tienen la función de lograr encender o apagar los equipos que trabajan con una tensión de 110Vac (ver figura 39) es por esta razón que los pines del microcontrolador serán inicialmente conectados a relés de estado sólido que permiten aislar los dos circuitos (ver figura 40).

Figura 39 Conexión de 110V con relés de estado sólido.



Fuente: Autores.

Figura 40 Conexión de salidas digitales.**Fuente:** Autores.

La distribución de las salidas digitales se conectan según lo indica la tabla 34, donde se presenta el pin del microcontrolador y la función que este cumplirá.

Tabla 34 Pines para conectar salidas digitales.

Señal	Pin del microcontrolador.
Salida de control de temperatura	7
Salida para encender compresor	25
Activar válvula de solenoide	27
Alarma por alta temperatura	29

Fuente: Autores.

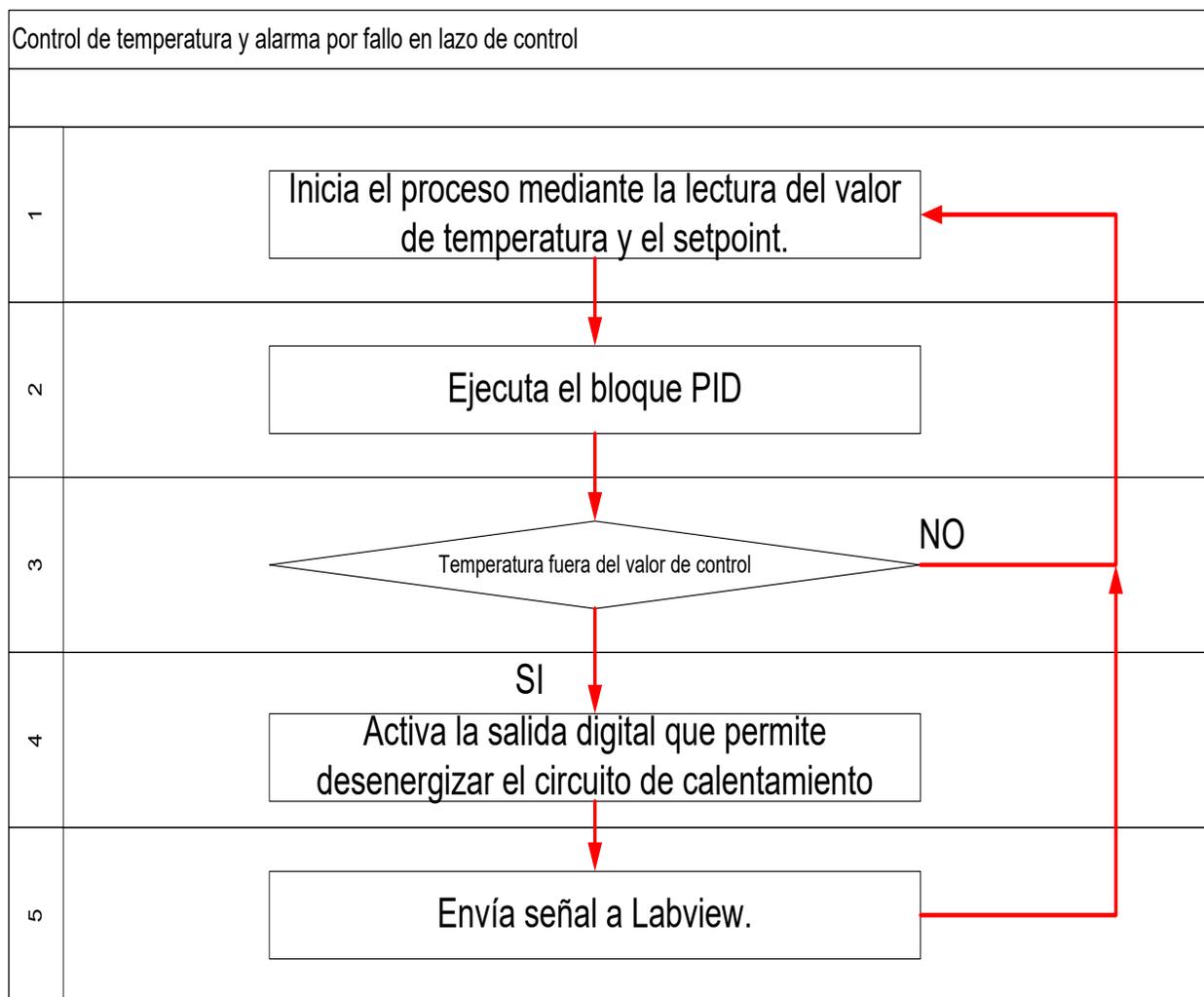
6.4. Diagrama de bloques en Labview.

Para iniciar el desarrollo de la programación de los diagramas de bloques se plantean los algoritmos bajo los cuales estará basada su operación.

6.4.1. Diagramas de flujo.

La programación en Labview basa su operación en los diagramas de flujo que se presentan en las siguientes páginas. El diagrama de la figura 41 indica como opera el lazo de control de temperatura y la alarma que actuara en caso que se llegase a presentar una pérdida de control.

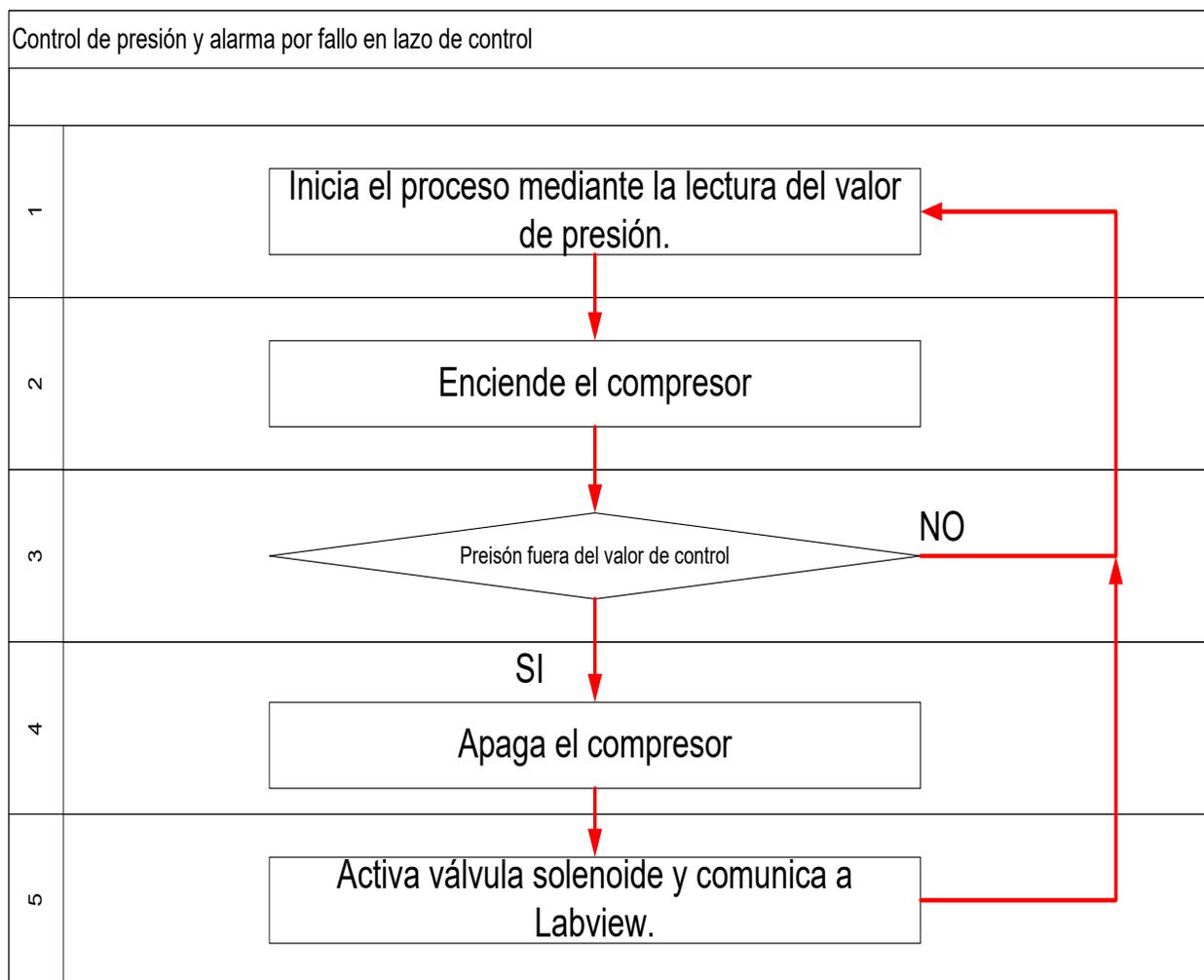
Figura 41 Diagrama de flujo del control de temperatura y alarma.



Fuente: Autores.

Para realizar el control de presión se debe tener en cuenta que lo primero que debe realizar Labview es registrar la presión del sistema y el estado del presostato, si no hay condición de alarma se mantendrá prendido el compresor y si se llega a superar los 20psi límite para la prueba se activará la válvula solenoide, todo esto se observa en la figura 42.

Figura 42 Diagrama de flujo del control de presión y alarma.

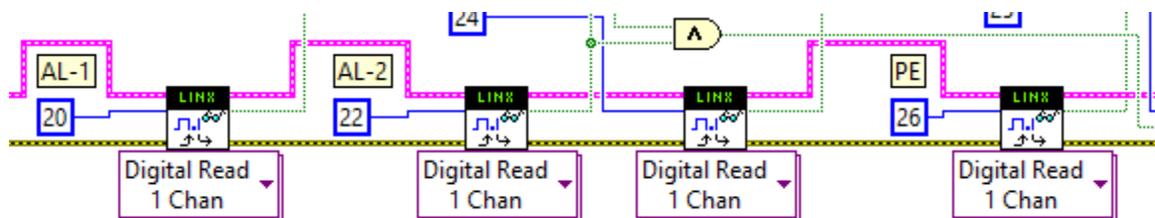


Fuente: Autores.

6.4.2. Lectura de entradas digitales desde Labview.

Para realizar la lectura de las entradas digitales se utiliza el bloque Linx Digital Read (ver figura 43), al bloque se le indica cual será la entrada digital que se desea leer, y este entregara un valor booleano del estado y posterior a esto se convierte a un valor numérico y ya con esto se puede visualizar en el panel frontal.

Figura 43 Lectura de entradas digitales en Labview.

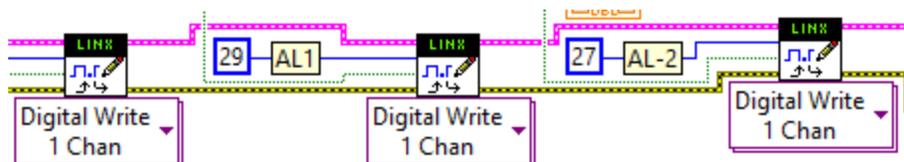


Fuente: Autores.

6.4.3. Escritura sobre salidas digitales desde Labview.

El bloque digital Write de Linx (ver figura 44) es utilizado para realizar manipular el estado de las salidas digitales que permitirán activar los elementos como el compresor, válvula solenoide, y alarmas.

Figura 44 Escritura de salidas digitales en Labview.



Fuente: Autores.

6.4.4. Lectura de entradas análogas desde Labview.

Para el caso de las entradas análogas donde estarán conectados todos los sensores se utiliza el bloque Analog Read de Linx (ver figura 45), con este y al aplicar las ecuaciones que fueron establecidas en este capítulo es posible visualizar el valor correspondiente a la variable física del proceso.

Figura 45 Escritura de entradas análogas en Labview.

7. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS, A TRAVÉS DE SIMULACIÓN DE LECTURA DE VARIABLES DE PROCESO Y CONTROL DE SALIDAS DIGITALES.

En este capítulo se evidencia que las variables de proceso al ser simuladas son registradas desde el panel frontal de Labview y con ello sería posible automatizar el proceso de la cámara de niebla salina. Antes de iniciar a la simulación se debe seleccionar el puerto de comunicación donde se encuentra conectado el microcontrolador, para ello se incluyó el control de la figura 47.

Figura 47 Control para seleccionar puerto de comunicación.

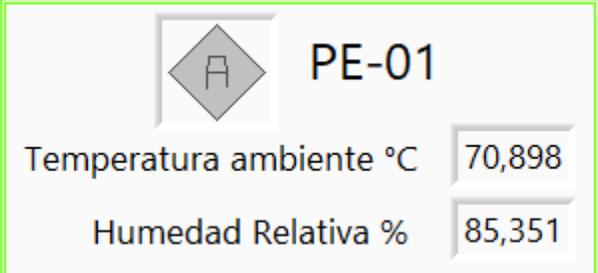
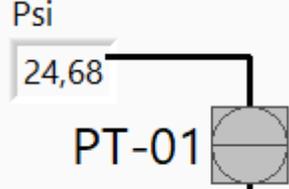
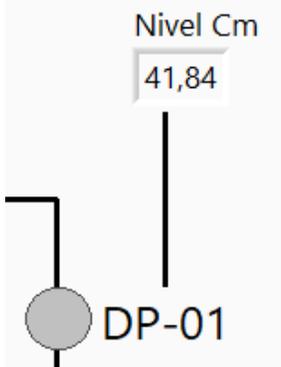
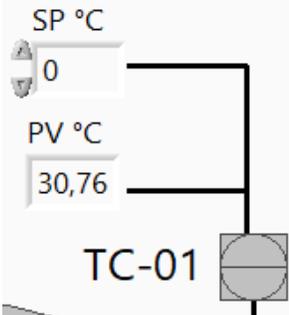


Fuente: Autores.

7.1. Lectura señales análogas desde panel frontal.

En esta ocasión para mostrar que las variables análogas que hacen parte del proceso de la cámara de niebla salina se van a visualizar correctamente desde el panel frontal de Labview se utilizara un potenciómetro que permite modificar la tensión que será un valor proporcional de la variable física que se desea leer, en la tabla 35 se observa a la izquierda el valor simulado y a la derecha se observa el valor visualizado en Labview.

Tabla 35 Simulación de variables de proceso análogas.

Valor simulado	Lectura de proceso en Labview.
<p>Para simular las condiciones ambientales se inicia estableciendo un valor de voltaje proporcional que fue de 4.26V, de esta forma se observa que es posible obtener una temperatura y humedad relativa ambiente.</p>	 <p>PE-01</p> <p>Temperatura ambiente °C 70,898</p> <p>Humedad Relativa % 85,351</p>
<p>Para el caso del sensor de presión se establece un valor de 2V en la entrada análoga lo cual corresponde a un valor aproximado de 25psi.</p>	 <p>Psi</p> <p>24,68</p> <p>PT-01</p>
<p>Al establecer un valor de voltaje de 2.95V se observa un valor proporcional de 41 cm de nivel en el tanque de almacenamiento de agua.</p>	 <p>Nivel Cm</p> <p>41,84</p> <p>DP-01</p>
<p>En el caso de la temperatura de la cámara se tiene que cuando el valor de voltaje es de 0.30V la temperatura indicada en Labview será de 30°C.</p>	 <p>SP °C</p> <p>0</p> <p>PV °C</p> <p>30,76</p> <p>TC-01</p>
<p>El pH cuando el voltaje es de 0.30V en la entrada análoga su valor proporcional indicado en el panel frontal de Labview es 1.0 aproximadamente.</p>	 <p>pH-01</p> <p>pH</p> <p>1,076</p>
<p>Si en la entrada A7 se establece un valor de 5Vdc el valor proporcional será 2mL.</p>	 <p>Flujo mL/h</p> <p>FT-01</p> <p>1,998</p>

Fuente: Autores.

7.2. Lectura de los sensores con salida digital.

Para el caso de la lectura de los sensores con salida digital y que por ende están conectadas a las entradas digitales del microcontrolador se simularan estas señales conectado a +5vdc que equivale a señal activada y a 0Vdc para señal desactivada, la visualización de estas señales se indican en la tabla 36.

Tabla 36 Simulación de variables de proceso digitales de entrada.

Parada de emergencia desactivada  PE-01	Parada de emergencia desactivada  PE-01
Compresor apagado. 	Compresor encendido. 
Alarma 2 desactivada  AL-2	Alarma 2 activada  AL-2
Alarma 1 desactivada AL-1 	Alarma 1 activada. AL-1 

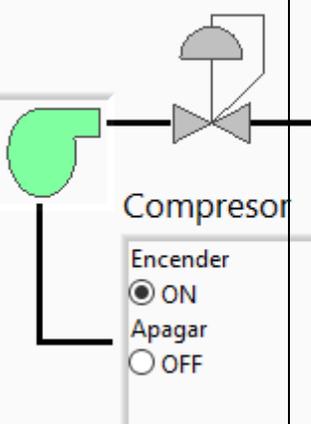
Fuente: Autores.

7.3. Estado y manipulación de los actuadores.

Los actuadores son los elementos que conmutaran las cargas que componen la cámara de niebla, sin embargo tal como se estableció en el capítulo 6 cada una de las salidas del

microcontrolador deben ser conectadas a relés de estado sólido que permiten aislar las cargas, en la tabla 37 se observa cual sería el efecto de activar por ejemplo la salida del compresor. Esto ocasionara que se active el SSR, lo cual traería como resultado que se active la señal que confirma el encendido del compresor.

Tabla 37 Simulación de salidas digitales.

Señal enviada desde Labview	Se activa la salida digital	Se confirma el encendido.
<p>Compresor</p> <p>Encender <input checked="" type="radio"/> ON Apagar <input type="radio"/> OFF</p>		 <p>Compresor</p> <p>Encender <input checked="" type="radio"/> ON Apagar <input type="radio"/> OFF</p>

Fuente: Autores.

7.4. Relacion entre salidas digitales y circuito de potencia.

La etapa de aire comprimido está basada en la operación del compresor de aire y la válvula de solenoide de seguridad que actuaría ante una pérdida del lazo de control. En esta parte del trabajo se analizara como funcionarían estas acciones.

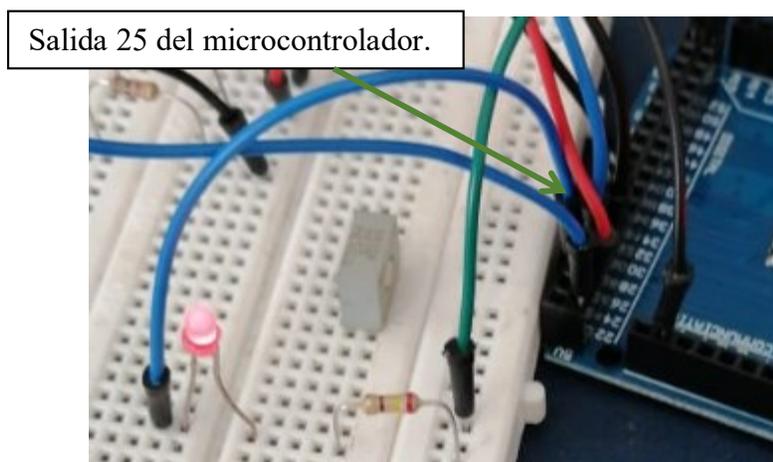
7.4.1. Encendido de compresor desde Labview.

Con el animo de que el lector evidencie que es posible operar el compresor de la cámara de niebla salina se detallan las acciones que se realizarían ante una posible implementación simulando las señales. De acuerdo al diseño planteado en Labview, cuando se activa la opción

que permite activar el compresor, esto ocasionara que la salida digital 25 del microcontrolador se active siempre y cuando no este activada la alarma 2 como se vera mas adelante. Entonces electricamente las acciones que ocurren al enviar la accion de activar compresor son las mencionadas a continuacion:

- Se activa la opcion de ON adjunta al simbolo del compresor.
- Esto ocasiona que la salida digital 25 se active y como se observa en la figura 48 se activa el Led que simula la entrada del rele de estado solido.

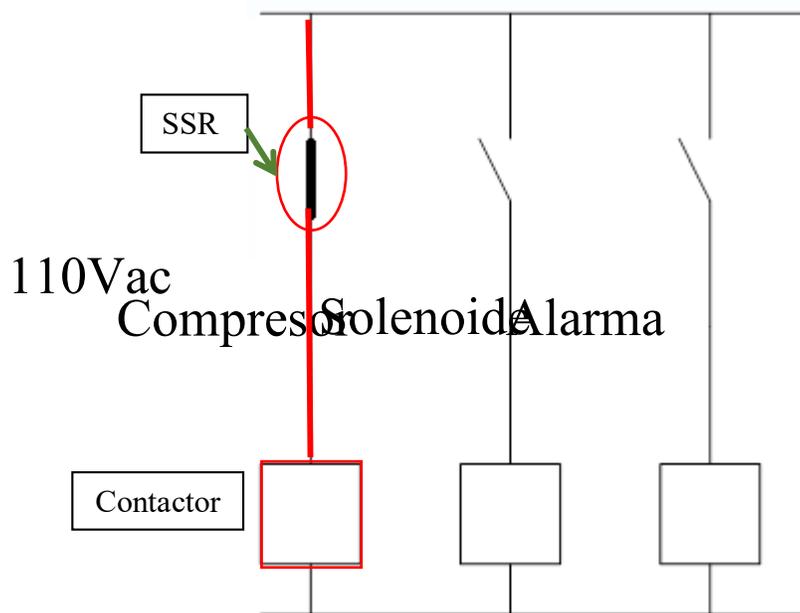
Figura 48 Primer paso para encender compresor.



Fuente: Autores.

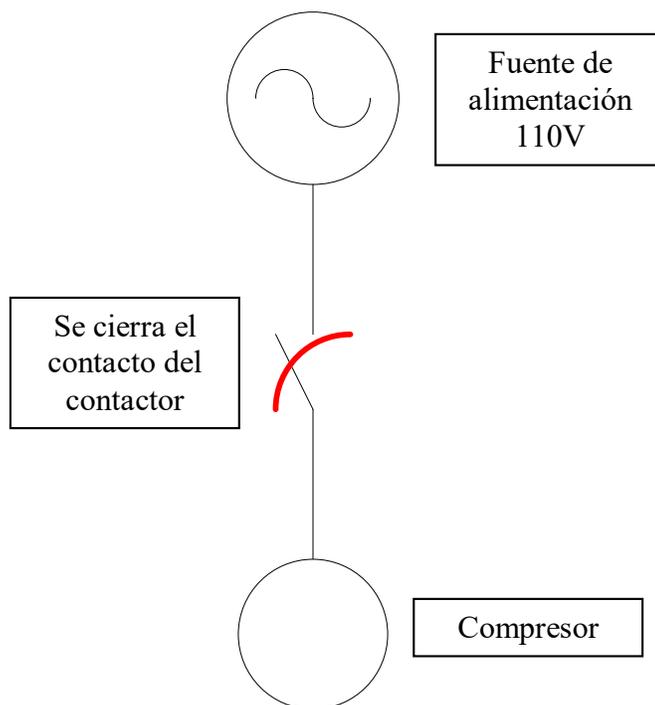
- Cuando se activa el SSR o rele de estado solido se activara este cerrara el contacto que activa el contactor que energiza el compresor, esto se observa en la figura 49 que es el circuito de control, y cuando se activa el contactor se cierran los contactos que energizan el compresor como lo indica la figura 50.

Figura 49 Accionamiento del contactor del compresor.



Fuente: Autores.

Figura 50 Encendido del compresor.



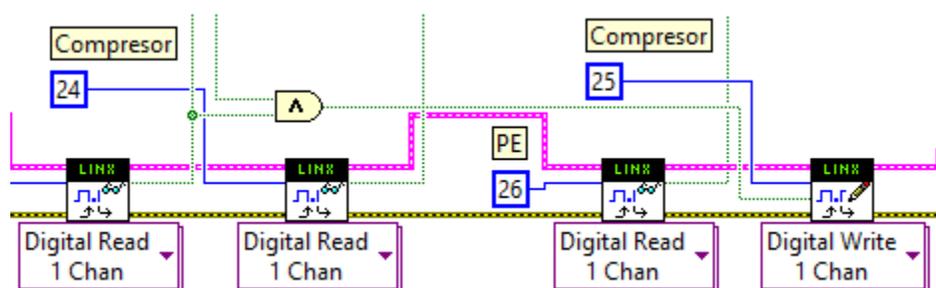
Fuente: Autores.

7.4.2. Apagado del compresor por exceso de presión.

Cuando se supera el valor limite de presión que para el caso de la cámara de niebla salina seran 20psi se activara la válvula solenoide que librerara el exceso a la atmosfera, para que esto ocurra se llevaran a cabo de forma automatica los pasos que se describen a continuacion:

- El encargado de detectar el exceso de presión es el presostato que estara ubicado en la descarga del compresor, cuando este cierra su contacto se enviara una señal a la entrada digital 22 y como resultado de ello se mostrara en Labview que se ha activado la alarma AL-1.
- Esto traera como resultado que el circuito de control cableado que alimenta el compresor se apage ya que se desactivara la salida digital 25 ocasionando que el SSR se desenergice y que el contactor se apage, ocasionando finalmente el apagado del compresor.
- Adicional a ello, se activara la salida digital 27 que activa el SSR que energiza la válvula solenoide que descarga el exceso de presión, para ello Labview utiliza los bloques inidcados en la figura 51, aquí se tiene en cuenta que la compuerta AND es la que desactiva del compresor ante la falla.

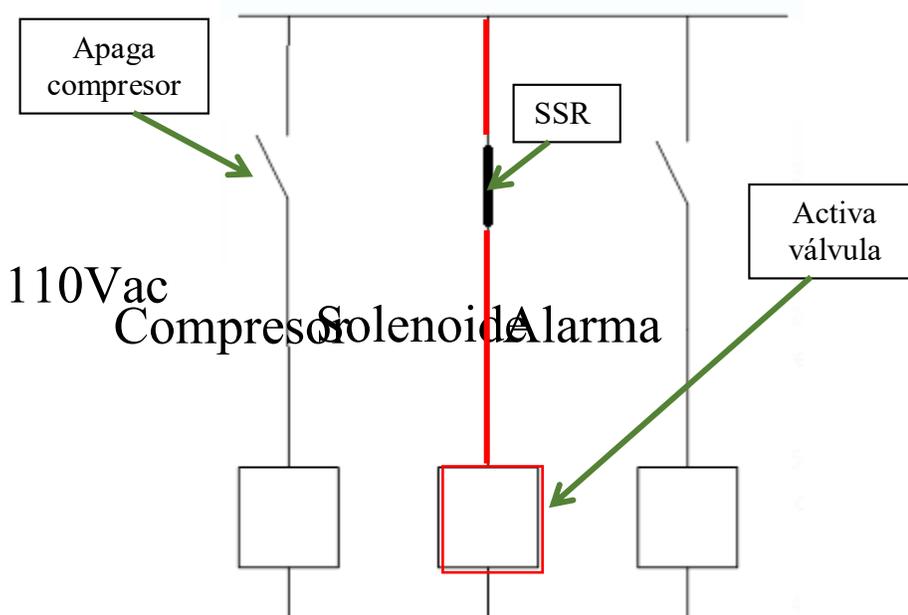
Figura 51 Bloques para activar válvula desde Labview.



Fuente: Autores.

- En la logica cableada esto se vera reflejado con la activacion de la válvula solenoide que se presenta en la figura 52, aquí tambien se muestra que la desactivacion de la salida 25 ocasionara que el compresor se apage.

Figura 51 Lógico ante activación de AL-1.



Fuente: Autores.

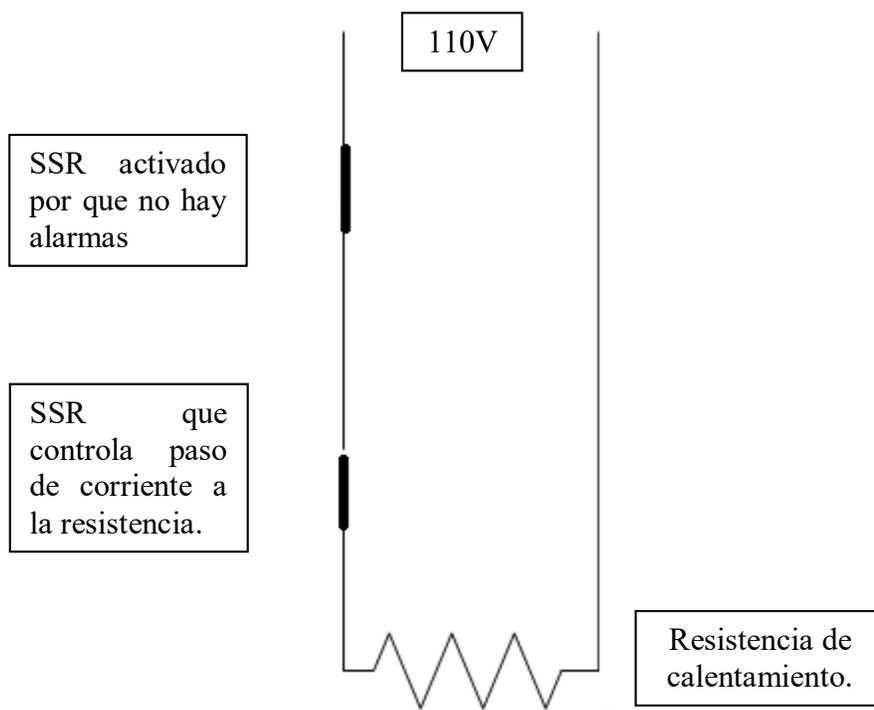
7.5. Resultado y análisis de la etapa de cámara de niebla.

Esta etapa operará de forma automática y segura, eso se analizará en las siguientes páginas de este documento.

7.5.1. Control de temperatura.

En la figura 53 se indica cuál es el circuito de potencia que permite realizar el control de temperatura de la cámara de niebla, la salida desde Labview para conmutar el relé de estado sólido aquí presentado es realizado a través del pin número 27 del microcontrolador y su activación estará determinada por el bloque PID de esta forma es claro que si es posible controlar la temperatura de la cámara. Sin embargo cuando se presenta una pérdida en el control de temperatura se activará la salida 29 y como este SSR se encuentra en serie con el SSR de control se desenergizará inmediatamente la resistencia de calentamiento.

Figura 52 Circuito de potencia que permite controlar temperatura.



Fuente: Autores.

8. CONCLUSIONES.

Las ventanas operacionales de la cámara de niebla salina son, temperatura de 33.6°C hasta 37.6°C, presión de 12 hasta 18psi, de pH del agua 6.5 hasta 7.2, todas estas son establecidas por la norma ASTM B117 y flujo de agua y nivel son establecidas por las condiciones de diseño, esto permitió establecer cuál es la mejor alternativa para realizar la medición de cada una de estas variables, y para ello fueron utilizadas matrices de Holmes, teniendo claras las especificaciones técnicas de los sensores y actuadores se establece que para automatizar la cámara de niebla será necesario contar con 7 entradas análogas, 1 salida PWM, 4 entradas digitales y 3 salidas digitales, lo cual lleva a concluir que es posible utilizar un microcontrolador Atmel 2560 el cual cumple con estos requerimientos.

Labview cuenta con diversas herramientas que permiten establecer comunicación con el microcontrolador Atmel 2560, sin embargo para el caso de este trabajo se utilizó MakerHub con la librería Linx la cual incluye una serie de bloques o Vi de lectura de entradas análogas para monitorear las variables de proceso como humedad, temperatura, pH, flujo, nivel de agua y Vi de entradas y salidas digitales que actúan sobre relés de estado sólido que permiten gobernar el encendido del compresor, la válvula de seguridad y el control de la resistencia de calentamiento.

De las simulaciones realizadas se evidencia que es posible visualizar las variables de proceso que son establecidas en la ASTM B117 ya que todas ellas tienen salidas de 0-5V que pueden ser conectadas a las entradas análogas del microcontrolador; adicional a esto también es posible controlar los equipos como compresor, válvula de seguridad, resistencia de calentamiento ya que la salida digital del microcontrolador se puede conectar directamente a la entrada del relé de estado sólido y este se conectaría al circuito de 110V, de esta forma se evidencia que es posible automatizar la cámara de niebla salina utilizando Labview y el microcontrolador Atmel 2560.

Con respecto a la etapa de implementación, se recomienda seguir al pie de la letra los ajustes realizados a las diferentes entradas digitales y análogas, todo en base a lo relacionado en el numeral 6, esto teniendo en cuenta que el desarrollo implementado bajo Labview tiene los ajustes establecidos acorde a dichos pasos, también cabe recalcar que una vez se tengan los elementos seleccionados bajo la matriz Holmes, es necesario realizar las respectivas pruebas de verificación de señales, así mismo, una vez se tenga el montaje implementado se debe realizar la respectiva sintonización al módulo PID, para dar un ajuste ideal al control de temperatura de la cama de niebla salina, verificando la estabilidad del rango operacional establecido en el numeral 5, así también, cabe recalcar que de ser necesario la modificación en la selección de alguno de los dispositivos descritos en dicho numeral y que son parte del desarrollo, se debe revisar con detalle los ajustes realizados a los lazos de control, ya sea de entradas digitales o análogas y salidas digitales, de tal manera que no se presenten alteraciones en la repuesta del control de la cama de niebla salina.

BIBLIOGRAFÍA.

- Areny, R. (2003). Sensores y acondicionadores de señal. Marcombo Ediciones técnicas, p. 228.
- Creus, A. Instrumentación industrial, cuarta edición, Marcombo Boixareu editores.
- FONTANA, M.G. Corrosion engineering. Third edition. Ed. Mc. Graw Hill. 1990.
- SO Jekayinfa, Ojediran JO, PO Okekunle, (2003); Evaluación de las prácticas de prevención de la corrosión en los equipos agrícolas fabricados y utilizados en Nigeria.
- Fuentes, R. (2015). Estudio comparativo entre el control PID y difuso. Universidad Nacional Autónoma de México, p. 5.
- Galeano, C. (2009). Programación de sistemas embebidos. Alfaomega ediciones técnicas.
- González, M (2018). Protección de superficies, editorial IC, p. 50.
- Ramos, E. (2012), Diseño y construcción de un cámara de niebla salina para ensayos de corrosión, Universidad del Salvador.
- Valdez, P & Gómez, L. (2010). Agua para el uso en laboratorios, Instituto nacional de investigaciones en metrología, Cuba.
- L.A. Zadeh. Outline of a new approach to the analysis of complex system. IEEE Transaction on System Man and Cybernetics, 1:28– 44, 1973.
- Morcillo, C. 2011. Lógica difusa una introducción practica, p. 6.
- L.A. Zadeh. Fuzzy set. Information and Control, 8:338–353, 1965.
- Chacon, J. (2005). Lógica Borrosa. Universidad Industrial de Santander. 2005.
- Molina José Miguel, Programación grafica para ingenieros, editorial Marcombo ediciones técnicas, p. 5, 6.

Lajara José, LABVIEW entorno grafico de programación, editorial Marcombo ediciones técnicas,
p. 7.

Galván, S & Camacho F, 2012. IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE ESTUDIO DE
CORROSIÓN EN DIFERENTES MATERIALES METÁLICOS. Universidad Antonio
Nariño.

Vizcaino, J. 2007. Labview entorno grafico de programación. Alfaomega ediciones técnicas.