



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE UNA
CAMARA DE CLIMATIZACIÓN PARA PRUEBAS DE EQUIPOS DE
LINEA BLANCA

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniero Mecatrónico

AUTOR: JONNATHAN SANTIAGO SANCHEZ ABAMBARI
TUTOR: ING. EDY LEONARDO AYALA CRUZ, MSc. PhD.
CO-TUTOR: ING. ANGEL EUGENIO CARDENAS CADME, MSc.

Cuenca – Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jonnathan Santiago Sanchez Abambari con documento de identificación N° 0302157193; manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 16 de septiembre del 2022

Atentamente,



Jonnathan Santiago Sanchez Abambari
0302157193

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Jonnathan Santiago Sanchez Abambari con documento de identificación N° 0302157193, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: "Diseño de un sistema de monitoreo y control de una cámara de climatización para pruebas de equipos de línea blanca", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecatrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 16 de septiembre del 2022

Atentamente,



Jonnathan Santiago Sanchez Abambari

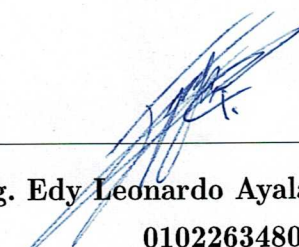
0302157193

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Edy Leonardo Ayala Cruz con documento de identificación N° 0102263480, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE UNA CAMARA DE CLIMATIZACION PARA PRUEBAS DE EQUIPOS DE LINEA BLANCA, realizado por Jonnathan Santiago Sanchez Abambari con documento de identificación N° 0302157193, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 16 de septiembre del 2022

Atentamente,



Ing. Edy Leonardo Ayala Cruz, Ph.D

0102263480

Dedicatoria

Jonnathan Sanchez

Dedico este trabajo con mucho amor y cariño para mis padres Heriberto y Elsa, mi esposa Elsitita y mi amado hijo Jose mi pepes. Sin uds esto nunca hubiera sido posible. Los amo.

Agradecimientos

Jonnathan Sanchez

Primero quiero agradecer a Dios por permitirme haber llegado a esta etapa de mi vida. A mis padres, que siempre han sido un pilar fundamental en mi carrera, a pesar de los problemas, siempre han estado apoyándome a pesar de las caídas, supieron brindarme su apoyo incondicional. A mi amada esposa Elsita, gracias por estar conmigo apoyándome y nunca permitir que retroceda siempre impulsándome a ser mejor cada día. Muchas gracias por estar en mi vida. Y por ultimo a mi pepes mi cabezón, que con solo una sonrisa me daba esas fuerzas para seguir adelante y no dejarme vencer. Familiares, amigos que siempre han estado apoyándome. Muchas gracias. A los ingenieros Edy Ayala y Eugenio Cardenas, por su paciencia y enseñanza lograron que esto sea posible. Muchas gracias

Este documento fue realizado enteramente en L^AT_EX

Índice

Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación	I
Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana	II
Certificado de dirección del trabajo de titulación	III
Dedicatoria	IV
Agradecimientos	V
Resumen	XIII
Abstract	XIV
1. Introducción	1
2. Problema	2
2.1. Antecedentes	2
2.2. Descripción del Problema	3
2.3. Importancia y Alcances	3
2.4. Delimitación	3
2.4.1. Espacial o Geográfica	3
2.4.2. Temporal	4
2.4.3. Sectorial o Institucional	4
2.5. Problema General	4
2.6. Problemas Específicos	4
3. Objetivos	4
3.1. Objetivo General	4
3.2. Objetivos Específicos	5
4. Hipótesis	5
4.1. Hipótesis General	5
4.2. Hipótesis Específicas	5

5. Matriz de Consistencia Lógica	6
6. Marco Teórico	7
6.1. Cámara de Climatización	7
6.1.1. Características de las Cámaras de Climatización.	8
6.1.2. Equipo de Climatización Tipo Chiller.	9
6.1.3. Aislamiento Térmico.	9
6.1.4. Sistemas de Refrigeración.	10
6.2. Instrumentación del Sistema	11
6.2.1. Termocupla Tipo J Digital (DS18B20)	12
6.2.2. Sensor Dual (Temperatura y Humedad) DHT22	21
6.2.3. Sensor de Corriente SCT-013-030	24
6.2.4. Sistemas de Adquisición de Datos	26
6.3. Micro-controlador STM32 NÚCLEO-64	28
6.4. Protocolos de Comunicación Industrial del Sistema	29
6.4.1. Modbus	29
6.4.2. Comunicación Serial	29
6.4.3. 1-Wire	30
6.5. Sistemas de Control	32
6.5.1. Sistemas de Control de Lazo Abierto	32
6.5.2. Sistemas de Control de Lazo Cerrado	32
6.5.3. Controlador PID	33
6.5.4. Sistemas de Control BANG/BANG	33
6.6. Sistemas de Monitoreo	34
6.6.1. Modelo del Usuario.	34
6.6.2. Modelo del Diseñador.	35
6.6.3. Modelo del Programador.	35
7. Marco Metodológico	35
7.1. Metodología de la Investigación	35
7.2. Parámetros Termodinámicos	35
7.2.1. Temperatura	35
7.2.2. Humedad	36
7.2.3. Voltaje	36
7.2.4. Intensidad y Corriente Eléctrica.	38

7.2.5. Potencia Eléctrica	40
7.3. Diseño del Sistema de Monitoreo y Control	40
7.3.1. Circuito de los Sensores de Temperatura DS18B20	41
7.3.2. Circuito del Sensor de Temperatura y Humedad Relativa DHT22	42
7.3.3. Circuito del Sensor de Corriente SCT-013-030	51
7.3.4. Programación	52
7.3.5. Interfaz Gráfica	57
7.4. Funcionamiento del Sistema de Monitoreo y Control	63
7.4.1. Menú del Sistema.	63
7.4.2. Análisis del Sistema de Monitoreo y Control	70
8. Resultados	73
8.1. Parámetros Termodinámicos.	73
8.2. Diseño del Sistema de Monitoreo y Control	73
8.3. Funcionamiento y Análisis del Sistema de Monitoreo y Control.	74
9. Conclusiones	74
9.1. Parámetros Termodinámicos.	74
9.2. Diseño del Sistema de Monitoreo y Control.	74
9.3. Funcionamiento y Análisis del Sistema de Monitoreo y Control.	75
10. Recomendaciones	75
11. Referencias	76

Lista de Tablas

1.	Matriz de consistencia.	6
2.	Escenarios climáticos.	9
3.	Tipo de termocuplas.	13
4.	Elección de resistencias.	16
5.	Configuración de bits del sensor DS18B20.	16

Lista de Figuras

1.	Cámara de climatización	7
2.	Sistema de refrigeración	11
3.	Termocupla	12
4.	DS18B20	14
5.	Conexión DS18B20	15
6.	Activación del maestro.	17
7.	Escritura del sensor.	18
8.	Lectura del sensor.	19
9.	Funcionamiento de One Wire.	20
10.	Sensor de temperatura y humedad	21
11.	Inicialización del Sensor DHT22.	22
12.	Escritura de los valores 0/1 en el Sensor DHT22.	23
13.	Lectura de los valores 0/1 en el Sensor DHT22.	23
14.	Sensor de corriente	25
15.	Jack macho del sensor de corriente.	26
16.	Diagrama de conexión de Jack de Audio.	26
17.	Etapas de la adquisición de datos	27
18.	STM32 NÚCLEO-64	28
19.	Comunicación Serial	30
20.	Etapas del One Wire	31
21.	Sistema de control lazo abierto	32
22.	Sistema de control lazo cerrado	32
23.	Controlador	33
24.	Representación de ON/OFF	34
25.	Humedad.	36
26.	Fuentes de alimentación o fuentes de voltaje.	37
27.	Excitación de electrones en los conductores o semi-conductores	38
28.	Onda de voltaje constante.	39
29.	Onda de voltaje variado.	40
30.	Esquema eléctrico de los sensores de temperatura.	42
31.	Esquema eléctrico del Sensor DHT22.	43
32.	System Identification.	44
33.	Porcentaje de la función.	45

34.	Gráfica de la planta.	46
35.	Gráfica de la planta controlada.	47
36.	Diagrama en simulink con el controlador PID.	48
37.	Salida en simulink.	49
38.	Porcentaje de la Función	50
39.	CONTROL BANG/BANG	50
40.	Comportamiento de la Gráfica	51
41.	Esquema eléctrico del sistema de monitoreo.	52
42.	Diagrama de flujo.	54
43.	Resultados de Arduino.	56
44.	Programación de la interfaz de temperatura y humedad relativa	58
45.	Programación de la interfaz para las termocupas	60
46.	Programación de la interfaz para Corriente y Potencia	61
47.	Programación de la interfaz para Menú	62
48.	Programación de la interfaz para guardar datos	63
49.	MENÚ	64
50.	Interfaz de temperatura	65
51.	Instrumento a medir	66
52.	Interfaz de corriente.	67
53.	Interfaz de Potencia.	68
54.	Interfaz de temperatura y humedad del ambiente en la cámara	69
55.	DATA, adquisición de datos en un documento de excel.	70
56.	Gráfica de temperatura ambiente en excel.	71
57.	Gráfica de Humedad ambiente en excel.	71
58.	Gráfica de termocupla ambiente en excel.	72
59.	Gráfica de la corriente del condensador.	72
60.	Gráfica de la potencia del condensador.	73

Resumen

En el presente trabajo se propone un diseño de software y hardware para la monitorización y control de las variables que interviene en una cámara de climatización, dando a conocer el estado funcional en los equipos de línea blanca, de esta manera obteniendo un estudio detallado con el objetivo de que el electrodoméstico sea aprobado para la venta al público. Este sistema de monitoreo se basa en la visualización y adquisición de variables los cuales nos entrega una gama de datos, mediante el uso de microcontroladores que reciben señales provenientes de los dispositivos de medición que son enviadas a través de protocolos de comunicación a programas de interfaz gráfica.

Palabras clave: Diseño de Software y Hardware, Equipos de linea blanca, Adquisición de datos.

Abstract

This work proposes a software and hardware design for the monitoring and control of the variables involved in an air conditioning chamber, revealing the functional status of the white line equipment, thus obtaining a detailed study with the objective of being approved for sale to the public. This monitoring system is based on the visualization and acquisition of variables which gives us a range of data, through the use of microcontrollers that receive signals from the measuring devices that are sent through communication protocols to graphic interface programs.

Keywords: Software and Hardware Design, White line equipment, Data Acquisition.

1. Introducción

En los últimos tiempos la producción de electrodomésticos ha mejorado para garantizar la durabilidad, funcionamiento y seguridad. Las compañías han adaptado la manufactura flexible y automática, con la finalidad de tener mayor producción en menor tiempo, así generando reducir los costos de producción; poniendo en marcha la llegada de la cuarta generación industrial. En los productos de línea blanca, con respecto al campo de calidad existe el proceso de adquisición de datos donde la problemática es analizar y visualizar valores de puntos específicos antes de salir de la empresa para su comercialización.

Muchos de estos productos tienen alguna falla en su producción, por lo cual son analizados en el laboratorio y por siguiente son sometidos a una metodología de prueba. Dicha metodología interviene la adquisición de datos que son comparados con valores establecidos por normativas, donde se realiza una inspección más general con los componentes eléctricos, revisión de cables, circuitos y actuadores. Realizando inspecciones de voltaje, corriente y temperatura.

El proyecto se basa en el diseño de una plataforma de adquisición de datos donde tendrá un menú de las variables mencionadas anteriormente con una interfaz gráfica a través de un control sencillo para los operarios, generando una tabla de datos y los cuales son comparados con datos obtenidos por normas y reglamentos de producción de la empresa.

Esta comparación se genera mediante los analistas del campo de control, dando así a conocer el estado del producto por lo cual será enviado a el programa de ventas o caso contrario reingresado para un análisis profundo y corregir el error.

2. Problema

2.1. Antecedentes

La industria de producción de equipos de línea blanca existentes en el Ecuador ha ido creciendo continuamente en los últimos años. A pesar de este crecimiento siguen presentándose grandes problemáticas las cuales sobrepasan los alcances de los distintos grupos empresariales. Una de las principales problemáticas es el tiempo de espera de la importación de diferentes equipos que son esenciales a la hora de realizar el proceso de manufacturación. Estos problemas ocasionan retrasos en la fabricación dando como resultados pérdidas económicas que afectan a la industria.

El diseño de un sistema de monitoreo y control que facilite la adquisición de datos será el caso de estudio del proyecto de titulación. Esto se debe ya que al no disponer de un sistema que facilite con la información del funcionamiento de los equipos, no se puede corroborar que cumplan con las normas establecidas para poder salir a la venta. Por lo cual, se necesita una herramienta que facilite todo este proceso y sobre todo que se encuentre al alcance del mercado evitando demoras y contratiempos.

Se debe tener en cuenta los diferentes parámetros ya que la fábrica al tener una Cámara de climatización, esta puede producir distintos escenarios que asemejan a las diferentes regiones del Ecuador. Estas simulaciones hacen que los electrodomésticos funcionen de distintas formas y sean adaptables al ambiente donde se encuentren. De esta manera se puede controlar que cumplan con las normas impuestas por el ente rector, de no ser así, serían devueltas nuevamente para su verificación y posteriormente revisión, corrigiendo daños que pueden estar afectando al equipo.

Contextualizando el párrafo anterior, es importante recalcar que uno de los principales parámetros a medir es el consumo energético. Al no poder capturar estos datos de forma precisa, implicaría un efecto negativo en la economía de los futuros compradores y también influiría desfavorablemente la reputación de las empresas que posteriormente estarían dispuestas a utilizar este nuevo modelo de adquisición de información. El problema en estos parámetros se da al instante en el que no se pueda obtener valores de lo que se consume por lo que no se puede tomar decisiones de cómo controlar esta problemática, que afecta tanto en lo económico como en lo ambiental.

2.2. Descripción del Problema

Una de las dificultades más evidentes en el proceso de fabricación de los electrodomésticos, es la medición de los parámetros quienes permiten analizar si los equipos de línea blanca funcionan adecuadamente cumpliendo con las normas establecidas y rangos de tolerancias permitidas por dicha entidad, verificando que sean aptas y aprobadas para la venta o en su defecto reingresadas nuevamente a la planta para ser examinadas en busca de los errores que producen el mal funcionamiento de dichos equipos salvaguardando el prestigio de la empresa fabricante. Al producirse retardos en los procesos de compra e importación de los equipos de medición se produce un paro en la fabricación de los equipos dando como resultados: pérdidas de tiempo en los procesos de manufactura, déficit económico y sobre todo la integridad de la industria frente a la competencia.

2.3. Importancia y Alcances

El proyecto de titulación tiene trascendental importancia en los tiempos de procesamiento de las señales, específicamente en el análisis de los parámetros para que cumplan con las normas a las que se rige la empresa. En este contexto, al tener la maquinaria parada sin funcionamiento, se generan pérdidas económicas sustanciales, afectando directamente a la industria que se dedica a la producción de electrodomésticos.

Bajo lo señalado anteriormente, el trabajo de grado pretende evitar paros innecesarios en los procesos de manufacturación mediante el diseño de un sistema de monitoreo y control que sea accesible y no genere retardos ya sea por su compra o la importación de dicho implemento.

2.4. Delimitación

El problema de estudio se delimitará en las siguientes dimensiones:

2.4.1. Espacial o Geográfica

El proyecto de titulación con enfoque de investigación cuantitativo se destinará a las industrias que se dedican a la fabricación de electrodomésticos de línea blanca en el Ecuador.

2.4.2. Temporal

El desarrollo del presente proyecto de titulación se llevó a cabo en los meses de septiembre del 2021 hasta agosto del año 2022, dividiendo así las actividades en tres segmentos principales: recopilación, muestreo de datos y el diseño electrónico.

2.4.3. Sectorial o Institucional

El proyecto de titulación sera dirigido a las fabricas dedicadas a la producción de electrodomésticos a nivel nacional dependiendo de las necesidades de la industria.

2.5. Problema General

- ¿Sera posible diseñar un sistema de monitoreo y control de una Cámara de climatización para pruebas de equipos de línea blanca?

2.6. Problemas Específicos

- ¿Se podrá determinar los parámetros termodinámicos de funcionamiento de la cámara de climatización para pruebas de equipos en línea blanca?
- ¿Se podrá realizar el diseño de un sistema de monitoreo y control de los parámetros termodinámicos definidos?
- ¿Se podrá realizar pruebas del sistema de monitoreo y control para la verificación de su funcionamiento en ambientes industriales?
- ¿Se podrá analizar el diseño del sistema de monitoreo y control para minimizar el error de medición de los datos?

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

- Diseñar un sistema de monitoreo y control de una cámara de climatización para pruebas de equipos de línea blanca.

3.2. Objetivos Específicos

- Determinar los parámetros termodinámicos de funcionamiento de la cámara de climatización para pruebas de equipos en línea blanca.
- Diseñar un sistema de monitoreo y control de las variables definidas en el primer objetivo.
- Realizar pruebas del sistema de monitoreo y control para la verificación de su funcionamiento en ambientes industriales.
- Analizar el diseño del sistema de monitoreo y control para minimizar el error de medición de los datos.

4. Hipótesis

4.1. Hipótesis General

- Se diseñará un sistema de monitoreo y control de una cámara de climatización para pruebas de equipos de línea blanca.

4.2. Hipótesis Específicas

- Se determinará los parámetros termodinámicos de funcionamiento de la cámara de climatización para pruebas de equipos en línea blanca.
- Se diseñará el sistema de monitoreo y control de las variables que determine los parámetros termodinámicos de funcionamiento.
- Se realizará pruebas del sistema de monitoreo y control para la verificación de su funcionamiento en ambientes industriales.
- Se llevará un análisis del diseño del sistema de monitoreo y control para minimizar el error de medición de los datos.

5. Matriz de Consistencia Lógica

Tabla 1

Matriz de consistencia.

MATRIZ DE CONSISTENCIA				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Será posible diseñar un sistema de monitoreo y control de una Cámara de climatización para pruebas de equipos de línea blanca?	Diseñar un sistema de monitoreo y control de una cámara de climatización para pruebas de equipos de línea blanca.	Se diseñará un sistema de monitoreo y control de una cámara de climatización para pruebas de equipos de línea blanca. .	-VI: Diseño. -VD: Equipos de línea blanca.	Sistemas de refrigeración
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Se podrá determinar los parámetros termodinámicos de funcionamiento de la cámara de climatización para pruebas de equipos en línea blanca?	Determinar los parámetros termodinámicos de funcionamiento de la cámara de climatización para pruebas de equipos en línea blanca.	Se determinará los parámetros termodinámicos de funcionamiento de la cámara de climatización para pruebas de equipos en línea blanca.	-VI: Diseño. -VD: Equipos de línea blanca.	Cámara de climatización
¿Se podrá realizar un diseño del sistema de monitoreo y control de las variables ya definidos?	Diseño del sistema de monitoreo y control de las variables definidas en el 1er objetivo.	Se diseñará el sistema de monitoreo y control de las variables que determine los parámetros termodinámicos de funcionamiento.	-VI: Diseño. -VD: Equipos de línea blanca.	Sistemas de adquisición de datos Interfaz gráfica
¿Se podrá realizar pruebas del sistema de monitoreo y control para la verificación de su funcionamiento en ambientes industriales?	Realizar pruebas del sistema de monitoreo y control para la verificación de su funcionamiento en ambientes industriales.	Se realizará pruebas del sistema de monitoreo y control para la verificación de su funcionamiento en ambientes industriales.	-VI: Diseño. -VD: Equipos de línea blanca.	Sistemas de adquisición de datos Interfaz gráfica
¿Se podrá analizar el diseño del sistema de monitoreo y control para minimizar el error de medición de los datos?	Analizar el diseño del sistema de monitoreo y control para minimizar el error de medición de los datos.	Se llevará un análisis del diseño del sistema de monitoreo y control para minimizar el error de medición de los datos.	-VI: Diseño. -VD: Equipos de línea blanca.	Materiales de Instrumentación

Nota: La matriz de consistencia presentada permite identificar la relación que existe entre las variables y los objetivos además de como se relaciona con el marco teórico referencial, la información a sido tomada por el autor del proyecto.

6. Marco Teórico

6.1. Cámara de Climatización

Consiste en el control de las propiedades físicas del aire dentro de un espacio cerrado, originando condiciones climáticas que se pretenden conseguir en un proceso o actividad específica; dicho de otro modo, ofrece ciertas condiciones de temperatura, humedad relativa, calidad del aire y presión necesarios con la finalidad de generar un bienestar a las personas y/o la preservación del producto (Grimm y Rosaler, 1996).

Figura 1

Cámara de climatización.



Nota: *Se puede observar un ejemplo de una cámara de climatización, según MPCControl (2022).*

Estos equipos generan diversos escenarios ambientales ya que pueden estar conformados por sistemas de control que regulen los diferentes tipos de simulación, pantallas táctiles o sistemas computacionales que sean amigables con el operario y además de diferentes software que permitan registrar los datos mediante la programación de estos. Además, son utilizados en innumerables aspectos como los son:

- a. **Cámaras climáticas de estabilidad:** estas cámaras permiten simular escenarios climáticos

estables, manteniendo los parámetros definidos los mismo que sirven para realizar pruebas de estabilidad en procesos productivos o normativos (MPCControl, 2022).

- b. Cámaras climáticas de cultivo:** también llamadas fitotrones. Estas cámaras permiten simular escenarios climáticos de biotecnología, siendo capaces de reproducir condiciones de temperatura, humedad relativa e iluminación y foto-periodo para que de esta manera se puedan producir efectos o ciclos programados a través de la utilización de software simulando el día o la noche así como las fases de orto, ocaso, crepúsculo, etc (MPCControl, 2022).
- c. Cámaras climáticas de ensayos:** llamadas también cámaras de testing, estas cámaras se encargan de producir condiciones climáticas de temperatura y humedad relativa extremas donde se puede realizar cambios rápidos de los parámetros establecidos y repetir ciclos del mismo a través de la utilización de un software. El tiempo de duración, las condiciones y el gradiente térmico varían de acuerdo a la finalidad del proyecto para las cuales están dirigidas pero actuando bajo una normativa específica dependiendo del producto o del fabricante (MPCControl, 2022).

6.1.1. Características de las Cámaras de Climatización.

Para el diseño y construcción de las cámaras de climatización, se realiza una selección de materiales y equipos los cuales son establecidos bajo la norma NTE INEN-IEC 62552. En la realización del diseño de la cámara, es importante tener en cuenta el aislamiento térmico que debe de poseer el techo, paredes y puertas. Ya que se debe recrear distintos escenarios climáticos en donde se debe controlar el cambio de diferentes variables, respetando los rangos de tolerancia establecidos por la norma INEN (INEN, 2014).

Según la norma NTE INEN-IEC 62552, los refrigeradores puede ser clasificados según la clase climática a donde serán dirigidos. En la siguiente tabla se realiza la clasificación de los refrigeradores según su zona climática y las temperaturas a las cuales deben ser sometidas durante los procesos de ensayo dentro de la cámara de climatización. Además, se debe tomar en cuenta que la Humedad no debe sobrepasar el 75% y que la toma de datos para el registro de mediciones no debe ser menor a 60s (INEN, 2014).

Tabla 2*Escenarios climáticos.*

ESCENARIOS CLIMÁTICOS				
Clasificación	Región	Temperatura en la región	Temperatura de ensayo	Humedad de ensayo
Tipo SN	Zona Subnormal	10°C a 32°C	25°C	+19 °C ± 0,5 °C
Tipo N	Zona Normal	16°C a 32°C	25°C	+19 °C ± 0,5 °C
Tipo ST	Zona Subtropical	18°C a 38°C	32°C	+27 °C ± 0,5 °C
Tipo T	Zona Tropical	18°C a 43°C	32°C	+27 °C ± 0,5 °C

Nota: *Se puede observar un ejemplo de una cámara de climatización, la información a sido tomada por el autor del proyecto.*

Con respecto a la velocidad del aire, este no debe sobrepasar los valores de 0.25m/seg. Estos valores deben ser medidos con la utilización de anemómetros externos, los cuales pueden ser ubicados en las esquinas de la cámara (INEN, 2014).

La cámara debe contar con suministros de 115 V, los mismos que entregaran energía a cada uno de los dispositivos a realizar el ensayo. También debe contar con suministros de 220 V. Estos podrían tener una tolerancia permisible de error de +/- 2%, a una frecuencia de 60 Hz (INEN, 2014). Para la realización de las pruebas de ensayo, el tiempo de duración debe ser de al menos 24 horas, en donde el equipo debe de contener todos los dispositivos que permita la adquisición de los datos. Cabe recalcar que las refrigeradoras deben permanecer con todas sus puertas cerradas para realizar los ensayos (INEN, 2014).

6.1.2. Equipo de Climatización Tipo Chiller.

Consiste en un sistema condensador, que recoge la carga térmica que requiere ser retirada de la cámara, a través de un fluido refrigerante. Esto llega a un intercambiador de calor, formado por tubos de transferencia armados en el interior de un envoltivo de acero. Este se encarga de transferir la cantidad de calor del refrigerante hacia el agua que se encuentra en circulación. Esta formado por un sistema de Tubo-Coraza, en donde el refrigerante principal circula por el tubo, mientras que el refrigerante secundario circula por la coraza (Carrier, 2009).

6.1.3. Aislamiento Térmico.

En los diferentes procesos de construcción de diversas cámaras de climatización, se utiliza Poliuretano expandido. Este material es el resultado de la unión de Isocianato y Polioli. Este material al ser sometido a distintas pruebas mecánicas, no presenta daño en su constitución,

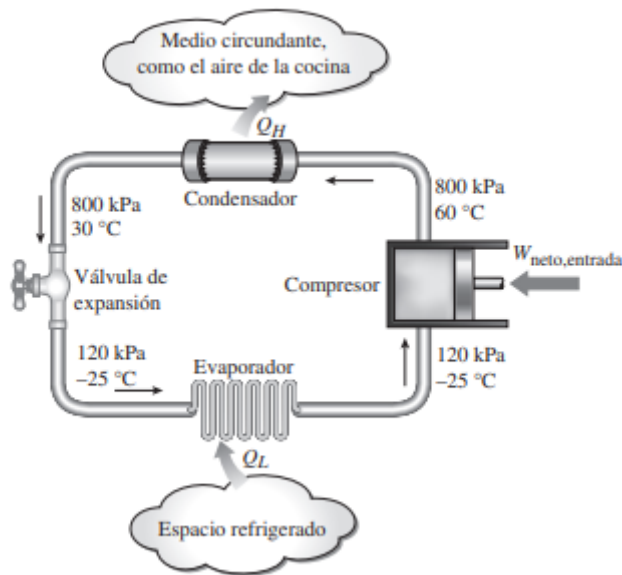
por lo que resulta ser un material casi irrompible. En la mayor parte de la industria, este material es utilizado debido a sus propiedades de aislante térmico ya que presenta una conductividad térmica de 0.023 W/mK , aislante hidrófugo y antihumedad, siendo aplicado en techos y paredes (De Maquinas y Herramientas, 2014-2018). Este material se presenta en un modulo de tipo San-duche. Esta compuesto por dos chapas de acero galvanizado pintados por pintura poliéster blanco, los cuales son resistentes en ambientes altamente corrosivos. Mientras que en el interior se encuentra el poliuretano. En cuanto al ancho de cada panel de poliuretano, teniendo el cuenta los valores de temperatura a la que va a estar sometido, se elige un espesor de 100 mm ya que presenta un coeficiente de transmisión de 0.021 W/m^2 ideales para este tipo de fabricación (Balboa, 2012).

6.1.4. Sistemas de Refrigeración.

Al igual que las bombas de calor, son equipos cíclicos. El fluido de trabajo utilizado en el ciclo se llama refrigerante. El ciclo de refrigeración más utilizado es el de compresión de vapor, que esta compuesto por: un compresor, un condensador, una válvula de expansión y un evaporador (Cengel y Boles, 2012).

Figura 2

Sistema de refrigeración.



Nota: Se observa los componentes básicos de un sistema de refrigeración y sus condiciones de operación, según Cengel y Boles (2012).

En la figura anterior, el refrigerante ingresa al compresor a medida que se comprime a la presión del condensador, luego el compresor a una temperatura relativamente alta se condensa a medida que fluye a través de los serpentines del mismo, rechazando el calor hacia el entorno circundante; a continuación, entra al tubo capilar donde su presión y temperatura caen de forma drástica debido al efecto de estrangulamiento en el que el refrigerante de baja temperatura ingresa al evaporador, absorbiendo el calor del espacio refrigerado y por último el ciclo se completa cuando el refrigerante sale del evaporador y entra al compresor (Cengel y Boles, 2012).

6.2. Instrumentación del Sistema

Para realizar la medición y control de diferentes procesos industriales se procede a la utilización de innumerables herramientas que, con el avance de la tecnología han hecho posible que la automatización de procesos avance a grandes pasos con respecto a su desarrollo según

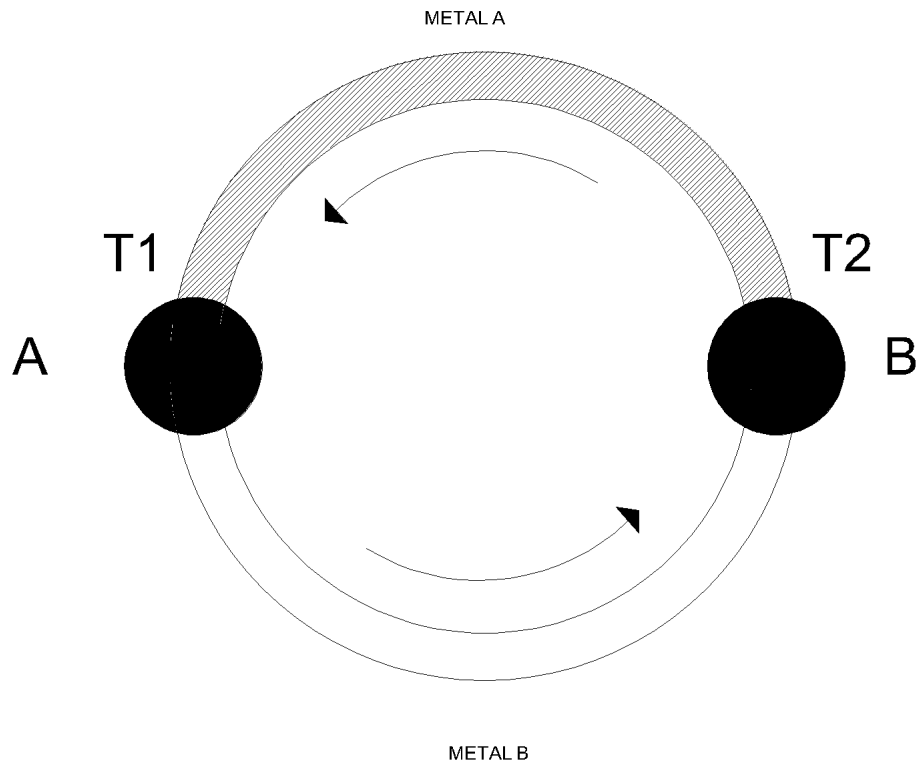
(Gutierrez y Iturralde, 2017) “es el conjunto de ciencias y tecnologías mediante las cuales se miden cantidades físicas o químicas con el objeto de obtener información para su archivo, evaluación o actuación sobre los Sistemas de control automático” (pag.2).

6.2.1. Termocupla Tipo J Digital (DS18B20)

La termocupla es una herramienta que se encuentra compuesta por dos materiales distintos M_A y M_B unidos en dos puntos A y B como se observa en la figura 2. La unión de estos puntos se encuentran a temperaturas T_2 y T_1 respectivamente(Arian S.A., 2010). Al estar en temperaturas distintas forman un ecuación matemática dependiendo del material del cual se encuentran compuesto (Lara y Gaspar, 2010).

Figura 3

Termocupla.



Nota: Se puede observar la unión de dos materiales que forman una termocupla.

Existen a disposición varios tipos de termocuplas los cuales depende del rango de temperatura a medir y además del porcentaje de error que estos pueden representar.

Tabla 3

Tipo de termocuplas.

TIPOS DE TERMOCUPLAS				
Calibración	Elemento Positivo	Elemento Negativo	Rango de temperatura	Error
Tipo T	Cobre	Constantan (Cu-Ni-Mn)	-270°C a 400°C	+/-1°C
Tipo J	Hierro	Constantan (Cu-Ni-Mn)	-210°C a 760°C	+/-2.2°C
Tipo E	Cromel (Ni-Cr)	Constantan (Cu-Ni-Mn)	0°C a 870°C	+/-1.7°C
Tipo K	Cromel (Ni-Cr)	Alumel (Ni-Mn-Al-Si)	-270°C a 1370°C	+/-2.2°
Tipo N	Nicrosil(Ni-Cr-Si-Mg)	Nisil (Ni-Si)	0°C a 1260°C	+/-2.2°C
Tipo S	90% Platino / 10% Rhinate	Pt 100%	0°C a 1760°C	+/-1.5°C
Tipo R	87% Platino / 13% Rhinate	Pt 100%	0°C a 1760°C	+/-1.5°C
Tipo B	70% Platino / 30% Rhinate	94% Platino / 6% Rhinate	0°C a 1820°C	+/-0.5°C

Nota: La tabla muestra los diferentes tipos de termocuplas, su composición, rangos de temperatura y error, la información a sido tomada por el autor del proyecto.

El DS18B20, es una termocupla digital de temperatura que utiliza el protocolo 1-Wire para comunicarse. Este protocolo permite el uso de un solo pin de datos para la comunicación lo que posibilita conectar mas de un sensor en el mismo bus. Este sensor puede medir la temperatura desde los -55°C hasta los 125°C, con una resolución programable de los 9 bits hasta los 12 bits. Cada termocupla posee direcciones únicas de 64 bits, que son establecidos de fabrica, permitiendo identificar a cada sensor debido a que un bus 1-Wire puede contener mas de un elemento (Dallas, 2021).

Figura 4

DS18B20.



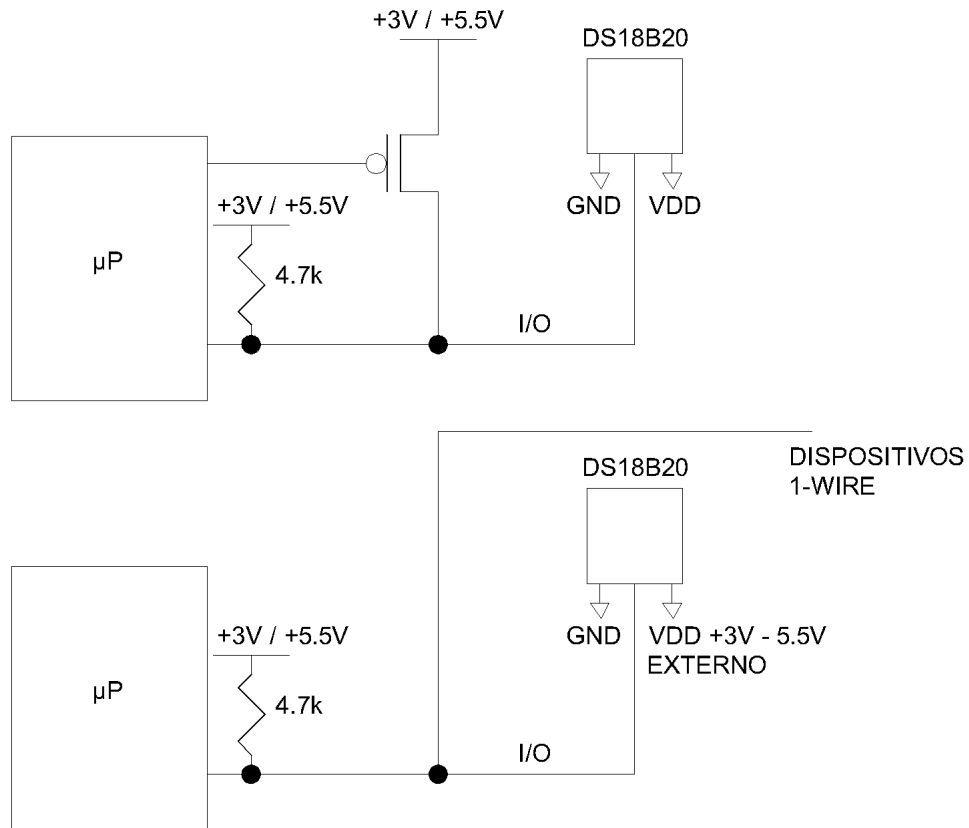
Nota: *Termocupla J digital DS18B20.*

Esta termocupla presenta dos formas de alimentación:

- a. **A través de pin de datos:** El sensor obtiene energía mediante el pin de datos cuando se encuentran en un estado alto, el cual almacena carga en un condensador para cuando el pin de datos se encuentre en estado bajo. Este tipo de conexión se le conoce como “Energía Parásita”. Se utiliza este método cuando se debe conectar a grandes distancias o en espacios limitados para así de esta forma no sea indispensable el uso de VDD(Dallas, 2021).
- b. **A través de una fuente externa:** La termocupla es alimentada directamente de VDD, por lo que su voltaje es estable y no necesita del trafico de bus. Esta conexión es la mas recomendable (Dallas, 2021).

Figura 5

Conexión DS18B20.



Nota: *Se puede observar los tipos de conexión para el DS18B20.*

Además se debe tomar en cuenta que al utilizar una resistencia de pull-up se debe considerar la longitud

Tabla 4*Elección de resistencias.*

Elección de resistencias	
Distancia	Resistencias
De 0 m a 5 m	4,7 k Ω
De 5 m a 10 m	3,3 k Ω
De 10 m a 20 m	2,2 k Ω
De 20 m a 50 m	1,2 k Ω

Nota: La siguiente tabla se determina los valores referenciales de las resistencias a utilizar dependiendo de la distancia en la que se encuentra los dispositivos, la información a sido tomada por el autor del proyecto.

6.2.1.1 Principio de Funcionamiento del Sensor

El principio de funcionamiento del sensor, se debe definir el numero de bits al cual se va a trabajar. En la siguiente tabla se observa la cantidad de bits y valores de la velocidad que se pueden medir de acuerdo a esta configuración (Dallas, 2021).

Tabla 5*Configuración de bits del sensor DS18B20.*

Configuración de bits	
Bits	Velocidad
9 bits	93.75 ms
10 bits	187.5 ms
11 bits	375 ms
12 bits	750 ms

Nota: La siguiente tabla se observa las configuración de los bits y sus velocidades de respuestas de datos, la información a sido tomada por el autor del proyecto.

Al determinar los valores de bits y sus velocidades correspondientes, se opta por la configuración de 9 bits ya que la respuesta al entregar los datos de medición es la mas baja siendo

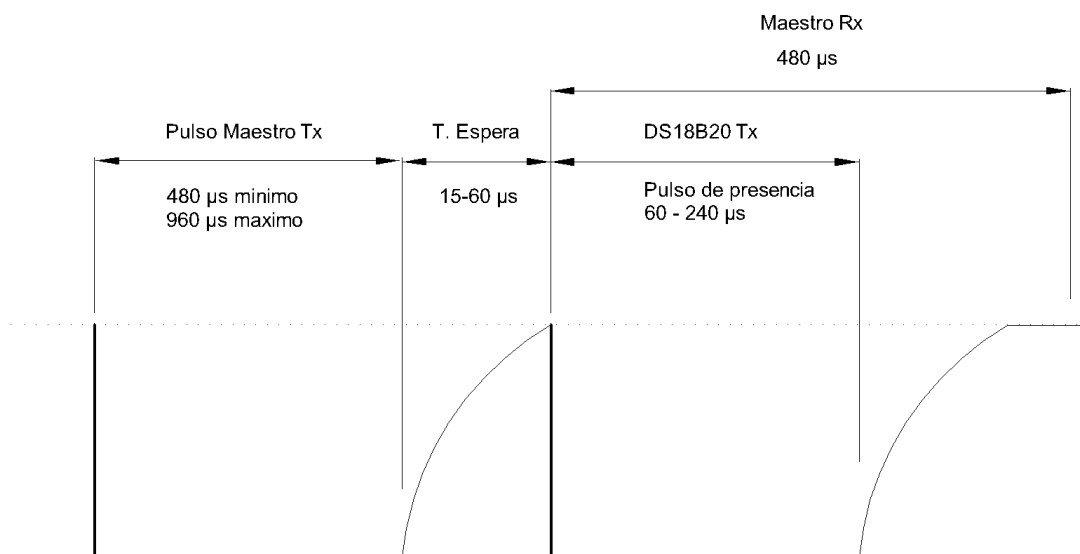
de 93.75 ms.

6.2.1.2 Inicialización del Sensor

Para la inicialización del sensor, el maestro debe enviar una señal en bajo durante $480 \mu s$ como mínimo y máximo un valor de $960 \mu s$ (Dallas, 2021).

Figura 6

Activación del maestro.



Nota: *Se puede observar la señal que envía el maestro para la activación del sensor.*

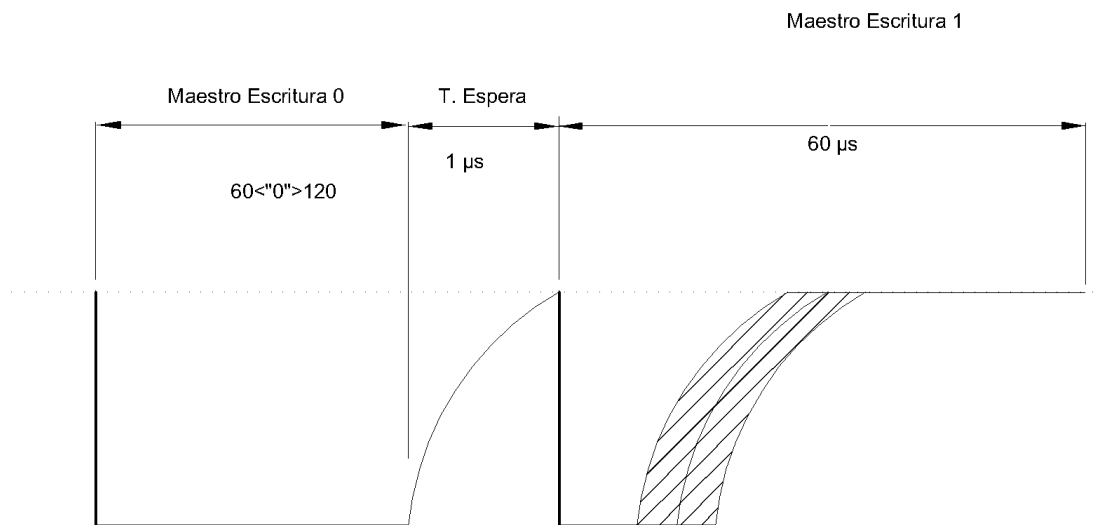
Una vez receptada la señal que es suministrada por el maestro, se debe configurar el pin como entrada, esto permite que el sensor envíe su señal de presencia. Este proceso toma alrededor de $15 \mu s$ a $60 \mu s$. Al encontrarnos en esta línea de tiempo se debe verificar el estado del pin. Si el pin de datos se encuentra en bajo significa que el sensor se encuentra presente, el mismo dispositivo se encarga de realizar este cambio. Este proceso dura alrededor de $60 \mu s$ a $240 \mu s$. Todo este proceso se lo llama ciclo de respuesta por lo que el sensor debería esperar a completar los $480 \mu s$ para iniciar nuevamente el proceso de inicialización (Dallas, 2021).

6.2.1.3 Escritura de Datos en el Sensor

Una vez terminado ya el proceso de inicialización, para escribir un valor de 0 , se debe configurar el pin de datos como salida, y establecer todos los bits de igual manera. Se debe esperar un tiempo de 60 μs a 120 μs . Al finalizar este periodo, se debe liberar el pin y configurarlo como entrada, esto toma alrededor de 1 μs , posteriormente se debe esperar 60 μs para que llegue el siguiente ciclo. Este proceso se repite de la misma forma para escribir un valor de 1 (Dallas, 2021).

Figura 7

Escritura del sensor.



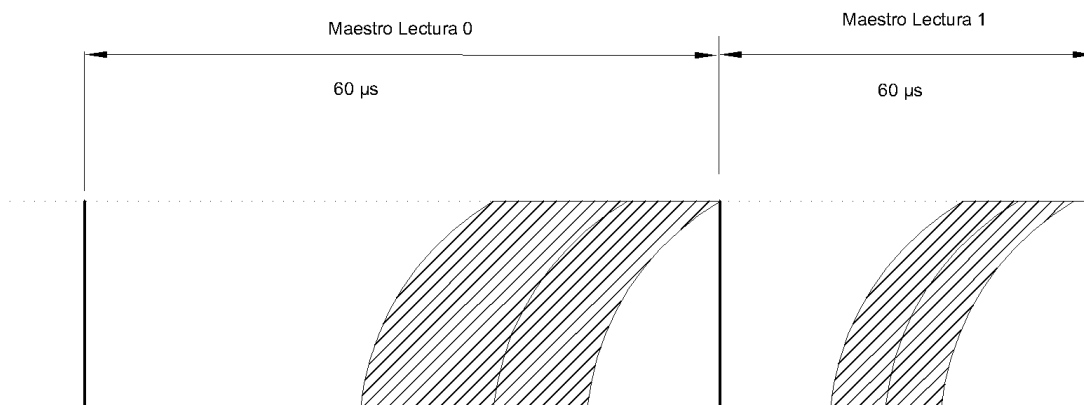
Nota: *Se puede observar observar la respuesta del sensor para realizar la escritura de datos.*

6.2.1.4 Lectura de Datos del Sensor

Para el proceso de lectura de un 0, primero se debe configurar el pin de datos como salida, se lo debe mantener en estado bajo durante 2 μs . Posteriormente se debe configurar el pin como entrada, dándose el proceso de lectura de datos. En este punto el microprocesador toma de referencia una muestra de datos, y verifica si el estado se encuentra en alto el valor es de 1, caso contrario al encontrar en estado bajo su valor seria un 0. Al finalizar se debe esperar 60 μs para que llegue el siguiente ciclo (Dallas, 2021).

Figura 8

Lectura del sensor.



Nota: Se puede observar observar la respuesta del sensor para realizar la lectura de datos.

6.2.1.5 Conversión de Datos en el Sensor

Para realizar este proceso, el controlador envía la señal de inicio para verificar la presencia del sensor y con la utilización de los comando ROM (0xCC) y Convert (0x44) se inicia con el proceso de la interpretación de los datos, donde lee los 9 bits y finalmente realiza el calculo de la temperatura. Una vez realizada la conversión, se utiliza el comando Scratchpad (0xBE), que permite borrar los datos para iniciar nuevamente la interpretación (Dallas, 2021).

6.2.1.6 Protocolo de Comunicación del Sensor

La comunicación que utiliza el sensor es el protocolo One-Wire. Esta comunicación se basa en diferentes etapas:

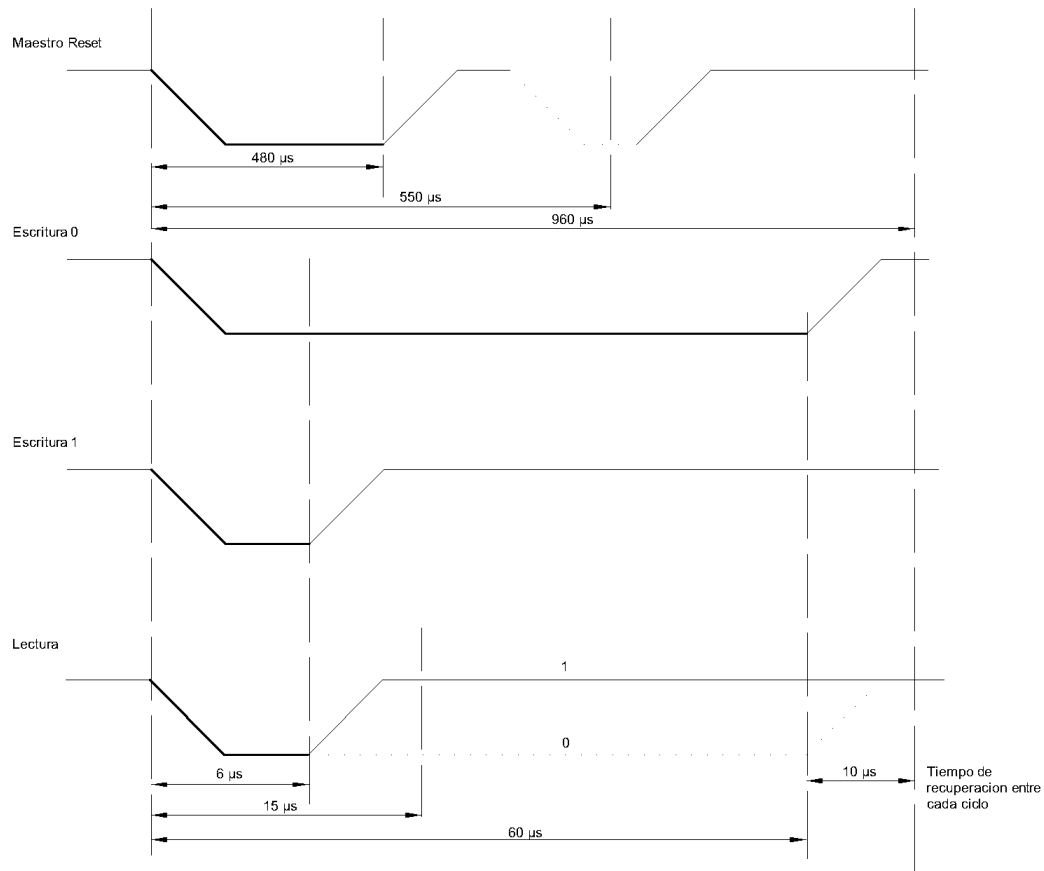
- a. **Reset:** los esclavos se encargan de enviar un impulso bajo de 480μs, posteriormente dejan de utilizar el bus mientras que este regresa a su estado lógico alto el mismo que tiene una duración de alrededor de 70μs, al encontrarse el bus en estado alto, los esclavos vuelven a enviar otro impulso bajo indicando su presencia. Este proceso realiza la sincronización del bus con los esclavos e indica que el maestro envía toda la información (Dallas, 2021).
- b. **Escritura:** Para la escritura de un 0 el maestro envía un pulso bajo de 60μs y libera el

bus. Mientras que para la escritura de 1 realiza el mismo proceso con la diferencia que el tiempo es $6\mu s$ (Dallas, 2021).

- c. **Lectura desde el esclavo:** Para la lectura de un valor de 0 el maestro comprueba durante $6\mu s$ cual es el estado si se encuentra en bajo el valor a leer sera 0, mientras que para el valor de 1 se toma un tiempo de espera de $15\mu s$ y si verifica que el estado se encuentra en alto, el valor a leer sera 1 (Dallas, 2021).

Figura 9

Funcionamiento de One Wire.



Nota: Se puede observar observar el proceso de transmisión de datos con el protocolo One Wire.

6.2.2. Sensor Dual (Temperatura y Humedad) DHT22

Integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor que mide el aire circundante, enviando datos a través de una señal digital hacia el pin de datos. Se utiliza en aplicaciones de control de aire acondicionado entre otros (Aosong, 2021).

Figura 10

DHT22.



Nota: Sensor de humedad y temperatura DHT22.

6.2.2.1 Funcionamiento del Sensor

El funcionamiento del sensor se da de forma digital, a través de un solo bus, donde envía y recibe la información.

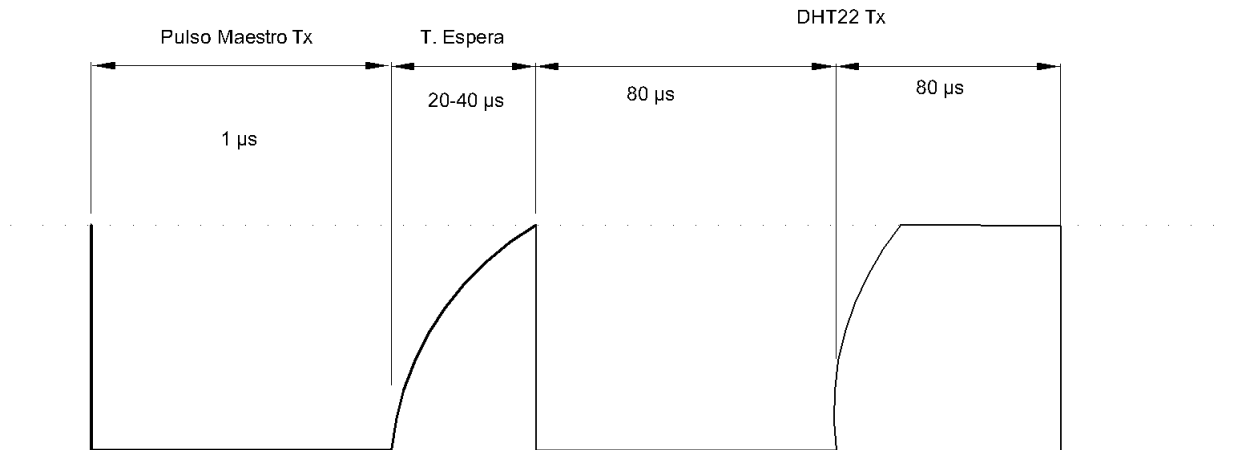
Para comenzar con su funcionamiento el maestro debe enviar una señal en estado bajo de al menos de $1\mu s$, luego debe cambiar su estado en alto de $20\mu s$ a $40\mu s$ por lo que el pin de datos debe liberarse en este proceso. Una vez recibida la señal de inicio, inmediatamente se envía la respuesta por parte del sensor, este envía un estado lógico bajo durante $80\mu s$ e invierte nuevamente el estado durante el mismo lapso tiempo.

En el transcurso del ciclo de respuesta, el microcontrolador debe verificar que el estado del pin se encuentre en estado bajo a los $40\mu s$ y realizar nuevamente la verificación en el mismo lapso de tiempo pero esta vez el estado debe encontrarse en alto. Si se cumple con esta

especificación, se comprueba la presencia del sensor (Aosong, 2021).

Figura 11

Inicialización del Sensor DHT22.



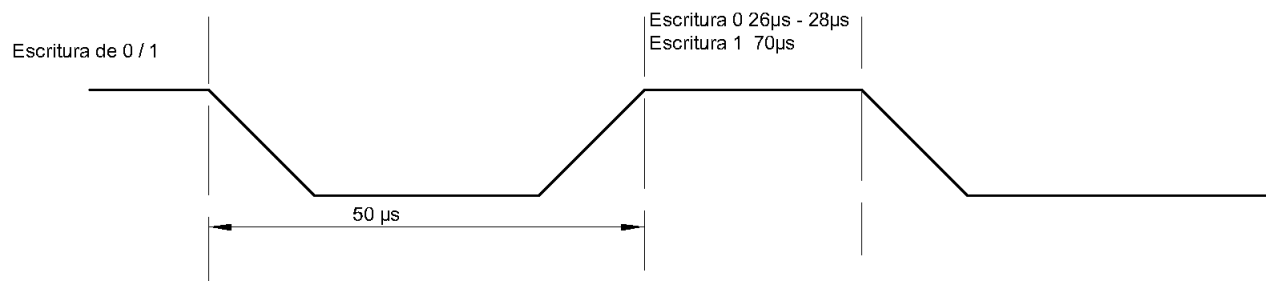
Nota: *Se puede observa la inicialización del sensor DHT22.*

6.2.1.2 Escritura de Datos en el Sensor

Cuando el sensor realiza la escritura de un 0, baja su estado durante $50\mu s$, y vuelve a subirlo de $26\mu s$ a $28\mu s$, mientras que para el proceso de transmisión de 1, el dispositivo realiza el mismo método con la diferencia en que al momento de cambiar su estado en alto la duración sera de $70\mu s$ (Aosong, 2021).

Figura 12

Escritura de los valores 0/1 en el Sensor DHT22.



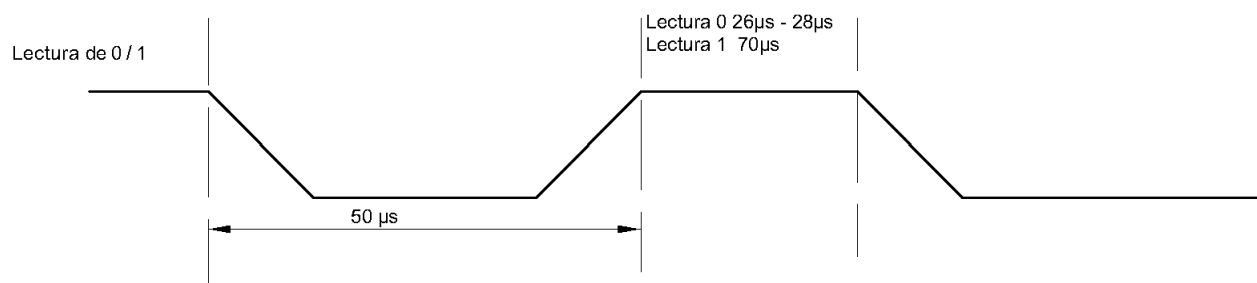
Nota: *Se puede observa el proceso de escritura de los valores 0/1 en el sensor DHT22.*

6.2.1.3 Lectura de Datos en el Sensor

Para la lectura, el microcontrolador debe esperar que el pin de datos se encuentre en alto, una vez comprobado esto, se espera 50μs. En ese instante el controlador debe verificar el lapso de tiempo en el que el bit se encuentra en alto, si este es de 70 μs corresponde a 1 caso contrario se registrara el valor de 0 (Aosong, 2021).

Figura 13

Lectura de los valores 0/1 en el Sensor DHT22.



Nota: *Se puede observa el proceso de lectura de los valores 0/1 en el sensor DHT22.*

6.2.1.4 Conversión de Datos en el Sensor

En la conversión de datos, el microcontrolador envía una señal hacia el dispositivo el cual responde con 40 bits de datos (Aosong, 2021). Estos se componen de:

- 8 bits enteros de Humedad relativa.
- 8 bits decimales de Humedad relativa.
- 8 bits enteros de Temperatura relativa.
- 8 bits decimales de Temperatura relativa.
- 8 bits de la sumatoria de verificación.

Se debe realizar la unión de los bits enteros y decimales tanto en la temperatura y humedad, de esta manera se realiza la combinación de los datos obteniendo los valores necesarios.

6.2.3. Sensor de Corriente SCT-013-030

Funcionan como transformador, la corriente que circula por el cable que se desea medir actúa como devanado primario (1 espira), dentro del sensor existe un devanado secundario, que puede tener hasta 2000 espiras.

La cantidad de espiras que representa la relación entre la corriente que circula por el cable y la corriente que entrega el sensor, tienen una resistencia de carga en la salida para obtener un voltaje. Este sensor nos permite rangos de medida de 3A. La relación es de 30A/1V (SAC, 2021).

Figura 14

Sensor de corriente.

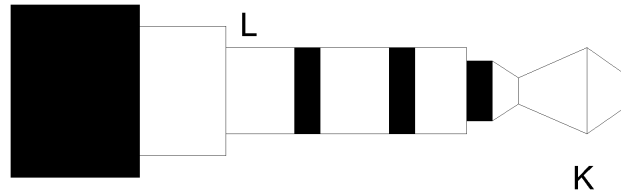


Nota: *El siguiente dispositivo nos permite medir el consumo de corriente SCT-013-030.*

El sensor de corriente trabaja como transformador, su acople se da mediante el uso de una conexión de audio jack macho. Como se observa en la figura 20, sus dos líneas de salida L que representa su voltaje de referencia y la línea K representa la entrada analógica (Electronics, 2016).

Figura 15

Jack Macho.

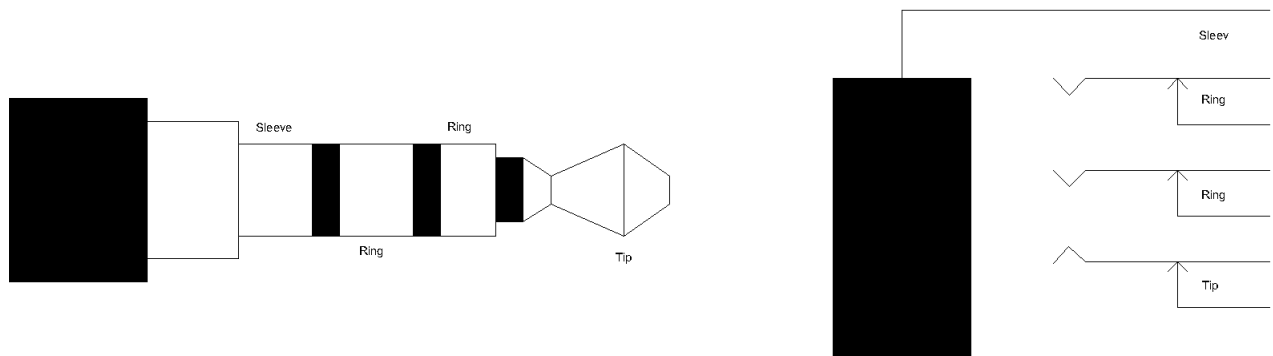


Nota: *Conexión de las salidas L y K del sensor.*

Este va conectado a un jack hembra o modulo TRSS, en las cuales la linea L Y K van acoplados a los pines Sleeve y Tip respectivamente como se observa en la siguiente figura. Estas señales tiene que recibir un tratamiento con la utilización de un amplificador operacional LM358 (SAC, 2021).

Figura 16

Diagrama de conexión de Jack de Audio..



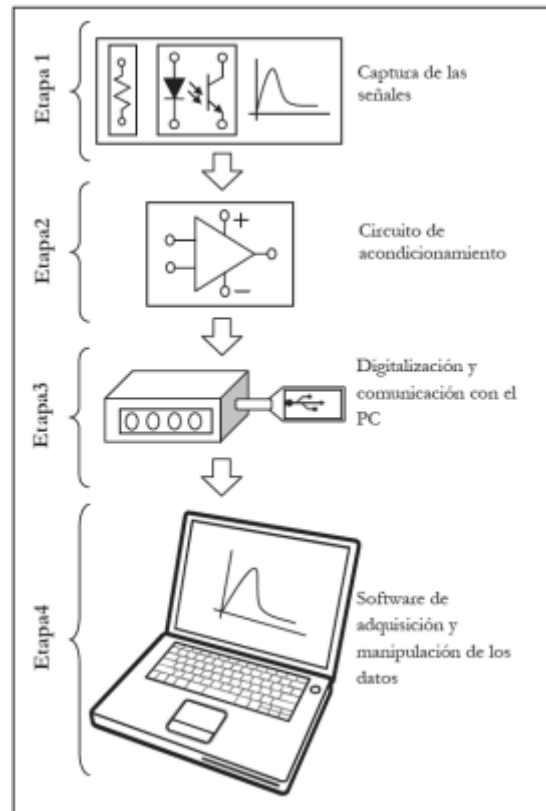
Nota: *Se observa un esquema para la conexión del jack hembra con el jack macho para establecer la conexión con el sensor.*

6.2.4. Sistemas de Adquisición de Datos

El SAD son herramientas o programas que se encargan de monitorizar o controlar datos provenientes de distintos artefactos como por ejemplo sensores digitales o analógicos.

Figura 17

Etapas de la adquisición de datos.



Nota: Se observa las etapas de adquisición de datos, según Osorio, Pérez, y Rodríguez (2010).

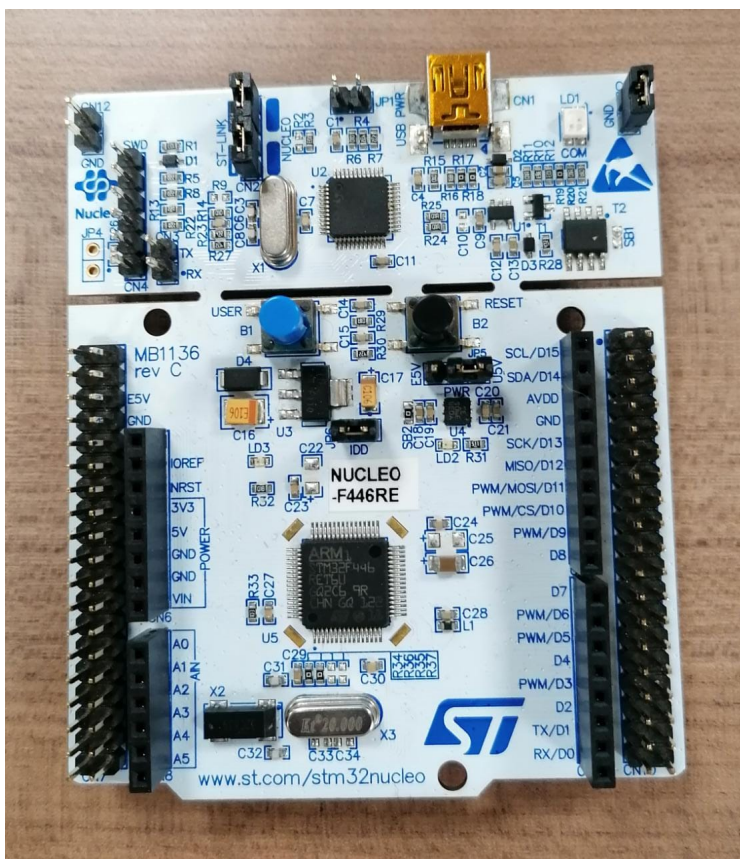
En la figura 17 el sistema esta formado de etapas diferentes. En la primera etapa, se determinan las variables a medir las cuales son requeridas para su análisis y tipo de transductores que serán utilizados. La segunda etapa, se realiza el acondicionamiento de las variables, con el propósito de convertirlas en señales que se encuentren dentro de las especificaciones del sistema a monitorizar. La tercera etapa, utiliza las señales obtenidas y las convierte en un código entendible para el ordenador las cuales son entregadas al mismo a través de un protocolo de comunicación. Y finalmente en la cuarta etapa, se da el uso de un software especializado que se encarga de procesar los datos para su análisis y manipulación de acuerdo a su función específica (Creus, 2005).

6.3. Micro-controlador STM32 NÚCLEO-64

La Placa STM32 Núcleo-64 permite la accesibilidad y flexibilidad en el manejo de nuevo concepto y construcción de prototipos con mejores rendimientos. Las placas compatibles, SMPS externo reduce significante el consumo de energía en modo de RUN. Tiene un soporte de conectividad de ARDUINO, que permite la fácil expansión de la funcionalidad de la plataforma, la placa STM32 NÚCLEO-64 no requiere ninguna sonda ya que tiene su propio integrador/programador ST-LINK (STMicroelectronics, 2022).

Figura 18

STM NÚCLEO-64.



Nota: Placa STM32F446RE Núcleo-64.

6.4. Protocolos de Comunicación Industrial del Sistema

La RAE define como el desarrollo de un proceso de mecanismo por si solo, con la finalidad de sustituir de un operador humano por un operador artificial con dispositivos mecánicos o electrónicos en una tarea previamente programada que consiste en el estudio y aplicación de control de procesos industriales, incorporamos un determinado proceso con un conjunto de dispositivos eléctricos, electromecánicos interconectados entre si, asegurando un propósito con un control y su respectivo funcionamiento, su comunicación genera una serie de procesos cuya maquinaria y equipos actúan de forma automática (Fernández, Filio, Bezos, y Sánchez-Horneros, 2014).

6.4.1. Modbus

Tiene una filosofía de maestro esclavo y existen dos modos: uno en modo ASCII en el cual se transmiten dos caracteres (2 bytes) por cada mensaje y el modo RTU en el que se transmiten cuatro caracteres por mensaje. Existe una versión que emplea comunicación mediante RS-485 con la que se aumentan sus prestaciones. El medio físico está compuesto por un cableado de par de hilos trenzados con alimentación independiente para cada dispositivo (Fernández y cols., 2014).

6.4.2. Comunicación Serial

Es un protocolo que permite la transmisión-recepción de bit a bit de un byte la cual puede alcanzar grandes distancias. La transmisión de datos se da en formato ASCII. Al ser una transición asíncrona se puede enviar datos por una línea y al mismo tiempo recibir datos por otra (Plaza, 2017). La comunicación se da en tres líneas de transmisión:

- a. Tierra o GND(Plaza, 2017).
- b. Transmisión o TXD(Plaza, 2017).
- c. Recepción o RXD(Plaza, 2017).

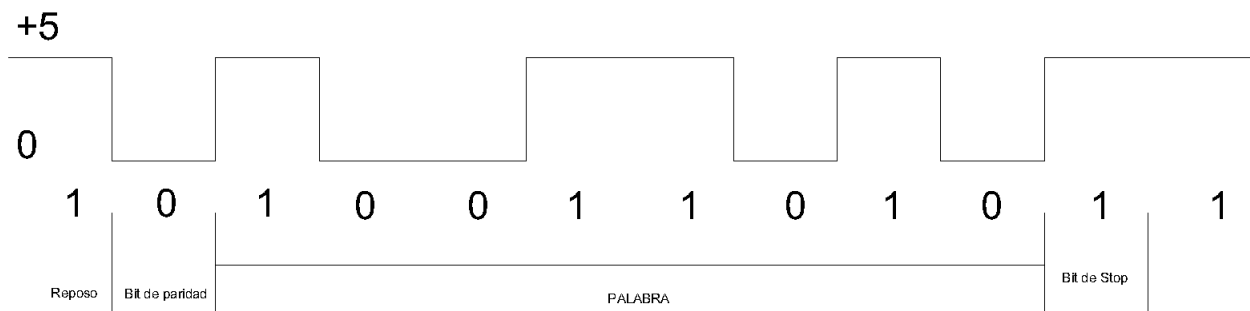
Las principales características de este protocolo son las siguientes:

- a. **Velocidad:** indica la transmisión de bits por segundo. Esta velocidad se mide en baudios. Esto significa que si tenemos una velocidad de 9600 baudios, se interpreta que se transmite 9600 bits por segundo. Al mencionar ciclos de reloj, se interpreta como la velocidad de transmisión por lo que si el sistema esta a 4800 ciclos de reloj, esto indica que el reloj esta corriendo a una frecuencia de 4800 Hz (Plaza, 2017).

- b. Bits de datos:** Es la cantidad de bits o palabra en la transmisión. Cuando se envía un paquete de información, este no necesariamente es de 8 bits, esto siempre dependerá de la información que se enviara (Plaza, 2017).
- c. Bits de paro:** Se los utiliza para indicar el fin de la comunicación, al presentar cada dispositivo su propio reloj, es posible que los sensores no se encuentren sincronizados. Es por esto que los bits de paro no solo indican el fin de las comunicaciones, indica el margen de tolerancia para la diferencia de relojes. Al usar mas bits de paro, mayor es el margen de tolerancia pero la velocidad disminuye (Plaza, 2017).
- d. Paridad:** Permite identificar si existe error en la comunicación. Al utilizar la paridad par e impar, el puerto serial fija un bit de paridad para que el valor de transmisión tenga un valor par o impar en su estado lógico alto. Al utilizar un bit de marcada y espaciada estos no indican los estados en los que se encuentra los bits, fija el estado lógico alto tanto para el bit de marcada como para el de espaciada. Esto permite establecer en que estado se encuentra el bit, además permite verificar si existe la presencia de ruido o si los relojes se no están sincronizados afectando a la comunicación (Plaza, 2017).

Figura 19

Comunicación Serial.



Nota: *Transmisión de serial de bit a bit.*

6.4.3. 1-Wire

El protocolo 1-Wire esta diseñado por Dallas Semiconductor. Esta compuesto por un bus, un maestro y varios esclavos conectados a una misma linea, de la que se alimentan y

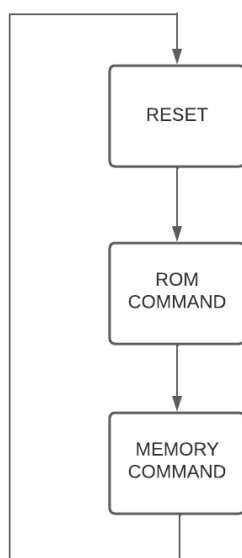
transmiten los datos. Su comunicación es bidireccional y half dúplex. Cada dispositivo cuenta con una dirección única e irrepitable de 64 bits. El maestro es quien se encarga de iniciar la comunicación, mientras que los esclavos se sincronizan con el reloj del maestro. Este proceso se da en $60 \mu s$ (Aosong, 2021).

De los 64 bits el primer byte LSB es el que se encarga de detectar que tipo de dispositivo se trata, los siguientes 6 bytes identifican uno de 2^{48} de los posibles dispositivos conectados, y el ultimo byte que es el MSB es de redundancia cíclica el cual se basa en la información recopilada en los primeros 7 bytes. De esta manera se permite la identificación de los errores y además no permite que se produzca una duplicación en la información de los dispositivos conectados (De-María y Szklanny, 2011). La comunicación se da en tres etapas:

- a. Reset: se realiza la sincronización de los dispositivos (Cambronero, 2017).
- b. ROM Command: se elige al dispositivo que realiza la operación de medición (Cambronero, 2017).
- c. Memory Command: Comienza el funcionamiento del dispositivo (Cambronero, 2017).

Figura 20

Etapas del One Wire.



Nota: *Etapas de la comunicación de One Wire.*

6.5. Sistemas de Control

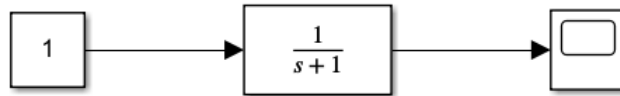
Es un conjunto de dispositivos los cuales entregan una respuesta deseada, esta fundamentado en la teoría de sistemas lineales que se relaciona en causa y efecto de los equipos que conformen el sistema (Nise, 2011).

6.5.1. Sistemas de Control de Lazo Abierto

Es un sistema que utiliza regulador, el mismo que entrega una respuesta deseada. La diferencia de este tipo de control es que no posee realimentación, por este motivo la señal obtenida no puede ser evaluada nuevamente(Nise, 2011).

Figura 21

Sistema de control lazo abierto.



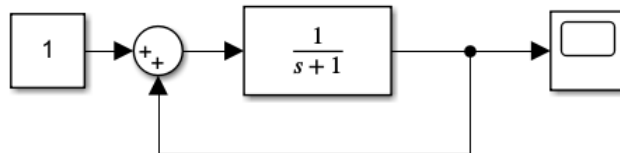
Nota: Se puede observar en el siguiente ejemplo un sistema de lazo abierto.

6.5.2. Sistemas de Control de Lazo Cerrado

El sistema de lazo cerrado, entrega una señal de respuesta, misma que a través de una realimentación realiza una comparación entra la salida real y la deseada (Nise, 2011).

Figura 22

Sistema de control lazo cerrado.



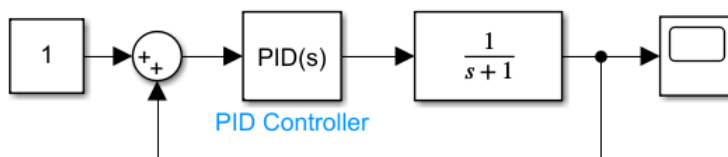
Nota: Se puede observar en el siguiente ejemplo un sistema de lazo cerrado.

6.5.3. Controlador PID

El controlador PID permite modificar el sistema de lazo cerrado obteniendo una respuesta de salida deseada. Esta conformado por tres elementos de ganancias los cuales se dividen en: Proporcional, Integral y Derivativo (Nise, 2011).

Figura 23

Controlador.



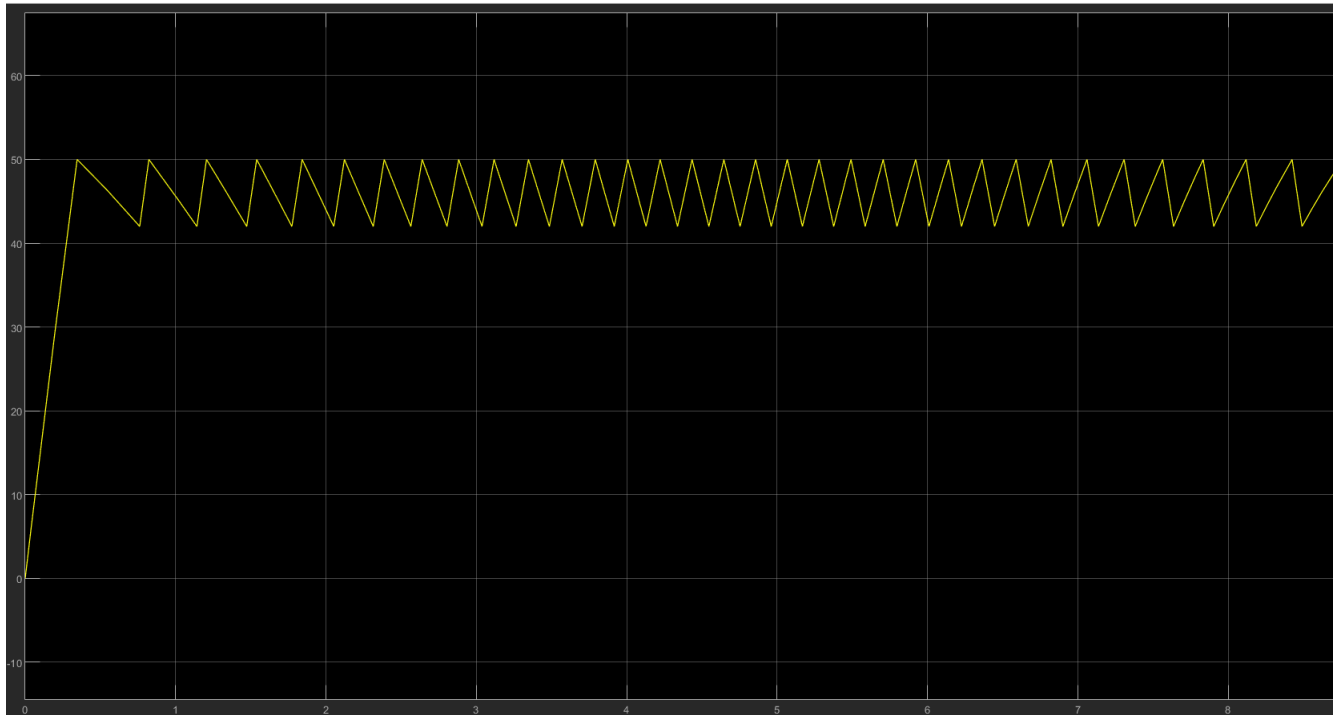
Nota: *Controlador PID en lazo cerrado.*

6.5.4. Sistemas de Control BANG/BANG

El sistema BANG/BANG tiene como función dos elementos, que interactúan en sus posiciones de ENCENDIDO-APAGADO. Su error es proporcional a la acción de cualquier otro tipo de control (Gaviño, 2010).

Figura 24

Representación de ON/OFF.



Nota: Comportamiento del control de nivel SÍ-NO.

6.6. Sistemas de Monitoreo

Es la parte del software que las personas pueden ver, oír, tocar, hablar; es decir, donde se pueden entender. Esta conformado principalmente por una o mas entradas y una o mas salidas. Las entradas se refieren a las necesidades de la persona u operario las cuales serán plasmadas hacia el ordenador mientras que la salida corresponde a la respuesta del ordenador donde transmite los resultados solicitados por el operador (Albornoz, 2014).

6.6.1. Modelo del Usuario.

El usuario o el operador tiene su propia forma de ver el sistema esperando una respuesta determina. Esta especificación se la puede obtener a través de test, entrevistas o realimentaciones propias del usuario (Gomez, 2000).

6.6.2. Modelo del Diseñador.

El diseñador es el encargado de tomar todas las solicitudes y necesidades del usuario y plasmarlas en el programa mediante la utilización de herramientas propias para el diseño de software. Esta es constituido de tres partes: la presentación en donde se observa si es agradable a la vista del operario. A continuación, la interacción en donde se analiza si el programa satisface las necesidades de la persona y la tercera y última es la relación entre objetos en donde se define el modelo mental del operario y los objetos de la interfaz (Gomez, 2000).

6.6.3. Modelo del Programador.

Este punto se encuentra agrupados todos los objetos que el programador puede manipular para la realización del sistema. En esta etapa el usuario no es consciente de las herramientas que utiliza el programador para cumplir las expectativas del mismo (Gomez, 2000).

7. Marco Metodológico

7.1. Metodología de la Investigación

El método de investigación a utilizar será el de Richard G. Budynasy J. Keith Nisbett. La cual consiste en encontrar una solución a la necesidad planteada a través de las fases y procesos determinados en el diseño.

7.2. Parámetros Termodinámicos

En este proceso se denomina como recolección de variables, es decir identificar cada variable que actúa en el proyecto, en este caso tenemos la temperatura, humedad, corriente, voltaje y potencia.

Las condiciones iniciales de este proyecto se basa con las variables independientes ya nombradas, las cuales serán analizadas.

7.2.1. Temperatura

La temperatura es una propiedad que determina el equilibrio térmico. Se determina con la idea de medir el calor sobre un cuerpo producida por una variación de temperatura, mientras no se produzca la fusión o ebullición. Al detectar un estado frío o calor depende su temperatura y su capacidad para conducir el calor y otros factores. La temperatura es una variable básica

mientras que el calor es un flujo de energía producida por las variaciones de temperatura (Bustos, 2019).

la temperatura es una medida relativa, sus medidas se basa en escalas, las cuales existen tres: la escala Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$), la escala Celsius ($^{\circ}\text{C}$), y la escala Kelvin (K). Todas estas escalas se basan en varios puntos de referencias (Day y Carpi, 2003).

7.2.2. Humedad

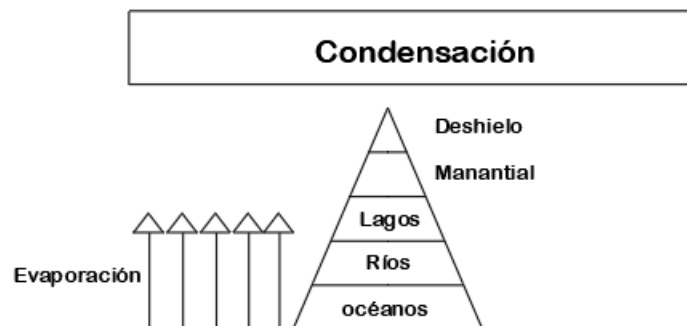
La humedad es algo que no se puede ver pero si se puede sentir e incluso tiene algunos olores, la humedad tiene varios significados como tenemos la del aire, que es vapor de agua, gas invisible e inodoro, en bajas temperaturas se condensa (Martínez, 2018).

La humedad específica, es la masa de agua por unidad de masa de aire (seco más vapor).

La humedad relativa, demuestra el cociente entre la presión de vapor y la presión de vapor de saturación (Martínez, 2018).

Figura 25

Humedad.



Nota: Observamos como fluye la humedad en el ambiente.

7.2.3. Voltaje

Es la energía potencial por unidad de carga, en otras palabras la tensión de dos puntos de un circuito establecido. Existe una fuerza de atracción en carga positiva y negativa por lo cual se debe de aplicar una cantidad de energía, para poder vencer la fuerza separando las cargas, como toda carga opuesta tienen una energía potencial debido a la separación entre ellas por lo cual existe un diferencial de potencial o voltaje. En los circuitos eléctricos, el voltaje es la

fuerza y es esta la que determina la corriente (Mora, 2012).

$$V = \frac{W}{Q} \quad (1)$$

Donde:

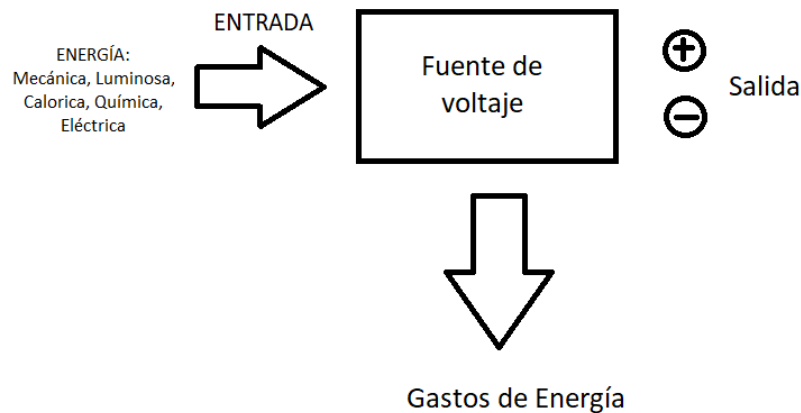
v= Voltaje en voltios.

W= Energía en joules.

Q= Carga en coulomb.

Figura 26

Fuentes de alimentación o fuentes de voltaje.



Nota: Diagrama de una fuente de alimentación, donde la entrada se realiza una transformación de energía, para finalmente entregar a la salida una diferencia de potencial eléctrico o voltaje, que se cuantifica en volts, según Floyd (2007).

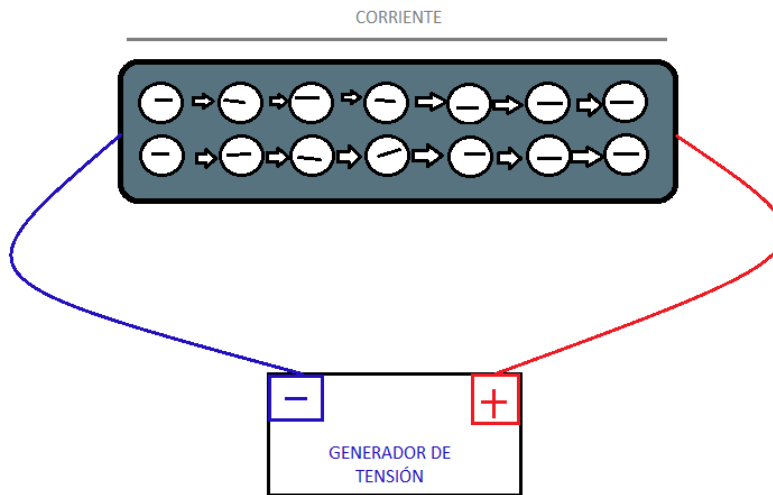
Las fuentes de voltaje se basan por el principio de que la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma, esta significa cuando una fuente genera o proporciona energía eléctrica a algún sistema o circuito, mediante un diferencial de potencial, por la misma razón recibe en su entrada, energía de algo como: (calórica, química mecánica, cuantificada o eléctrica), entregando así en su salida una energía eléctrica en forma de potencial eléctrico. El osciloscopio es un instrumento que permite analizar el comportamiento de los dispositivos electrónicos, es de gran utilidad para señales eléctricas (Gómez, 2011).

7.2.4. Intensidad y Corriente Eléctrica.

La corriente eléctrica es el flujo de electrones que circula en un conductor, que puede ser un material conductores o semiconductores, las direcciones de los electrones se guía por la estructura del material de un polo positivo a un polo negativo.

Figura 27

Excitación de electrones en los conductores o semi-conductores.



Nota: *Movimiento de electrones.*

La intensidad de corriente eléctrica, es la cantidad de carga que se trasporta por un material en un segundo.

Donde tenemos:

Dada una función

$$I = \frac{Q}{t} \quad (2)$$

I= intensidad de corriente, ampers.

Q= carga eléctrica, expresada en columbs.

t= tiempo, expresado en segundos.

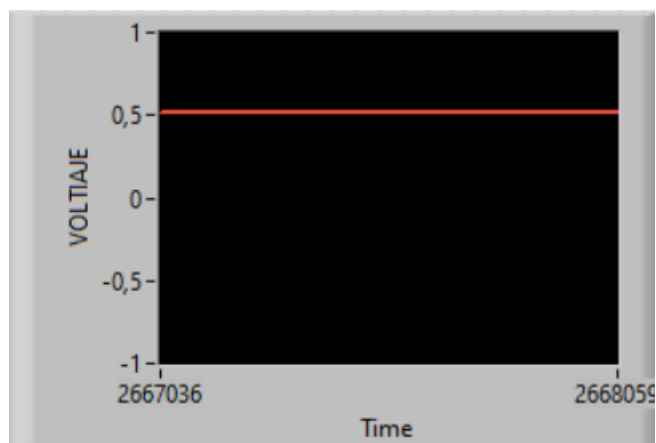
Existen dos tipos de corrientes, corriente alterna y corriente continua.

Corriente Continua(C.C o D.C) Se mantiene con un valor constante en una dirección. Se

encuentra en las pilas acumuladores o dinamos.

Figura 28

Onda de voltaje constante.



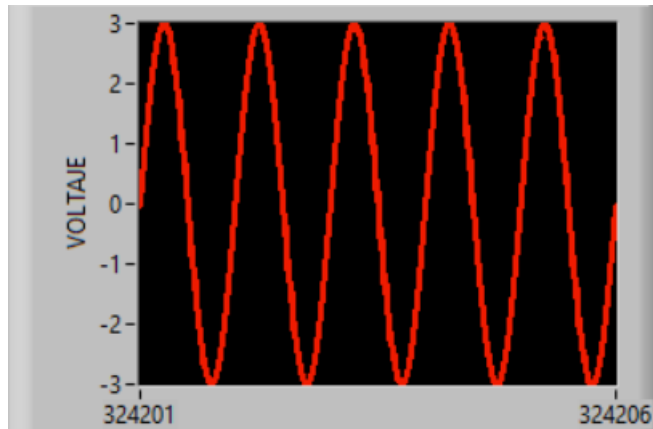
Nota: *Onda de una batería.*

Corriente Alterna (C.A o A.C)

Actúa de forma alterna, es decir tiene valores de dos sentidos que varían al mismo tiempo. Los materiales conductores o semiconductores deben de soportar cargas que se conduce por los mismos, mientras mas es la carga, mas deberá ser la resistencia de la composición del material. Existen algunos conductores como la plata, cobre, oro, aluminio y níquel. Estos materiales tienen grandes resistencias para grandes cantidades de carga eléctrica (Floyd, 2007).

Figura 29

Onda de voltaje variado.



Nota: *Onda de un voltaje de variación.*

Para medir correctamente la intensidad en alguna trayectoria, será conectando el amperímetro en serie por la rama de interés.

7.2.5. Potencia Eléctrica

La potencia eléctrica se mide en vatios (W). Depende de dos variables: tensión y corriente, habrá que tener en cuenta los sentidos de referencia de ambas magnitudes para obtener la forma correcta (Floyd, 2007).

Dada una función

$$P = V \cdot I \quad (3)$$

V= voltaje.

I=corriente.

7.3. Diseño del Sistema de Monitoreo y Control

Una vez definida las variables se realiza el proceso de diseño del sistema de monitoreo que se basa en adquirir todas estas variables ya planteadas mediante instrumentos de medida, al realizar la medición de estos valores, serán controlados mediante un sistema de comunicación con microcontroladores que enviaran los datos a una interfaz gráfica diseñado en el programa de LabView.

7.3.1. Circuito de los Sensores de Temperatura DS18B20

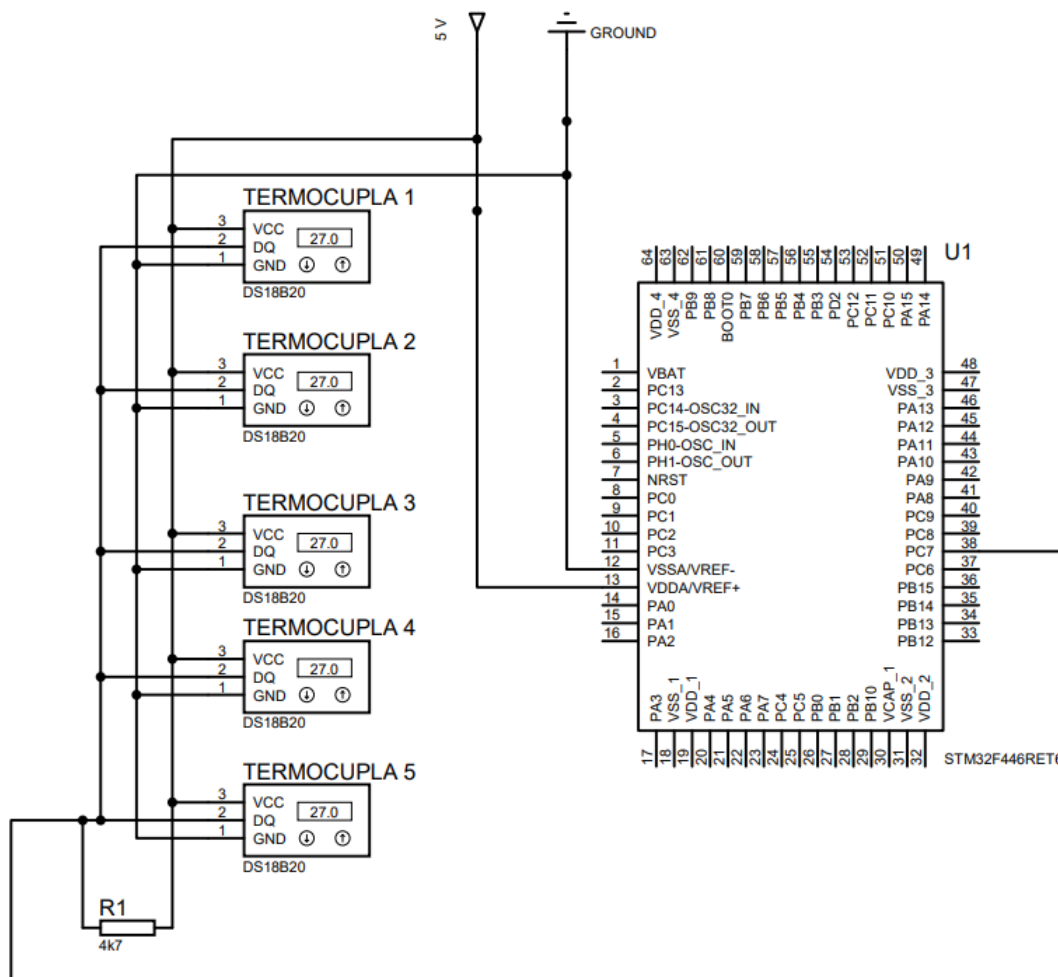
Para iniciar con el diseño del sistema de monitoreo, se realiza un esquema eléctrico estableciendo el tipo de conexión, el número de dispositivos que se va a utilizar, y la comunicación que se utiliza para el acoplamiento con el microprocesador.

7.3.1.1. Tipo de Conexión Sensor DS18B20

En base a la información recopilada en el marco teórico, existe dos tipos de conexiones para el uso de sensores DS18B20, la primera conexión se trata de una alimentación a través del pin de datos por donde obtienen su fuente de energía y la segunda conexión es la alimentación a través de una fuente externa en donde las termocuplas se acoplan directamente a una fuente de voltaje externo, por lo que se utiliza la segunda opción, siendo la más confiable y segura para los dispositivos. Además, se debe tener en consideración que tipo de resistencia de pull-up se colocara, esto depende de la distancia que se encuentre el dispositivo del equipo a monitorizar, cabe recalcar que esta resistencia proveerá de mejores resultados al realizar la obtención de los datos. Al tratarse de una cámara de climatización, esta dispone de 6 puestos donde se colocan diferentes equipos de línea blanca para la verificación de su funcionamiento, esta distancia no es más de 2 metros ya que cada puesto debe contar con su propio sistema de adquisición. Por esta razón se utiliza una resistencia de $4,7\text{ k}\Omega$. El tipo de comunicación que se empleara será One-Wire, ya que este protocolo permite realizar la conexión de hasta 64 dispositivos conectados en paralelo tanto su alimentación como la conexión de datos entre sí la misma que será a través de un solo bus que va conectado al microprocesador en este caso el STM32F446RE. El número de sensores a utilizar será de 5 termocuplas DS18B20, quienes se encargaran de medir las temperaturas, para este caso una refrigeradora de uso doméstico. Subsiguientemente, se realiza el esquema eléctrico de como serán las conexiones de las termocuplas conjuntamente con el microcontrolador. Al determinar los valores de bits y sus velocidades correspondientes, se opta por la configuración de 9 bits ya que la respuesta al entregar los datos de medición es la más baja siendo de 93.75 ms.

Figura 30

Esquema eléctrico de los sensores de temperatura.



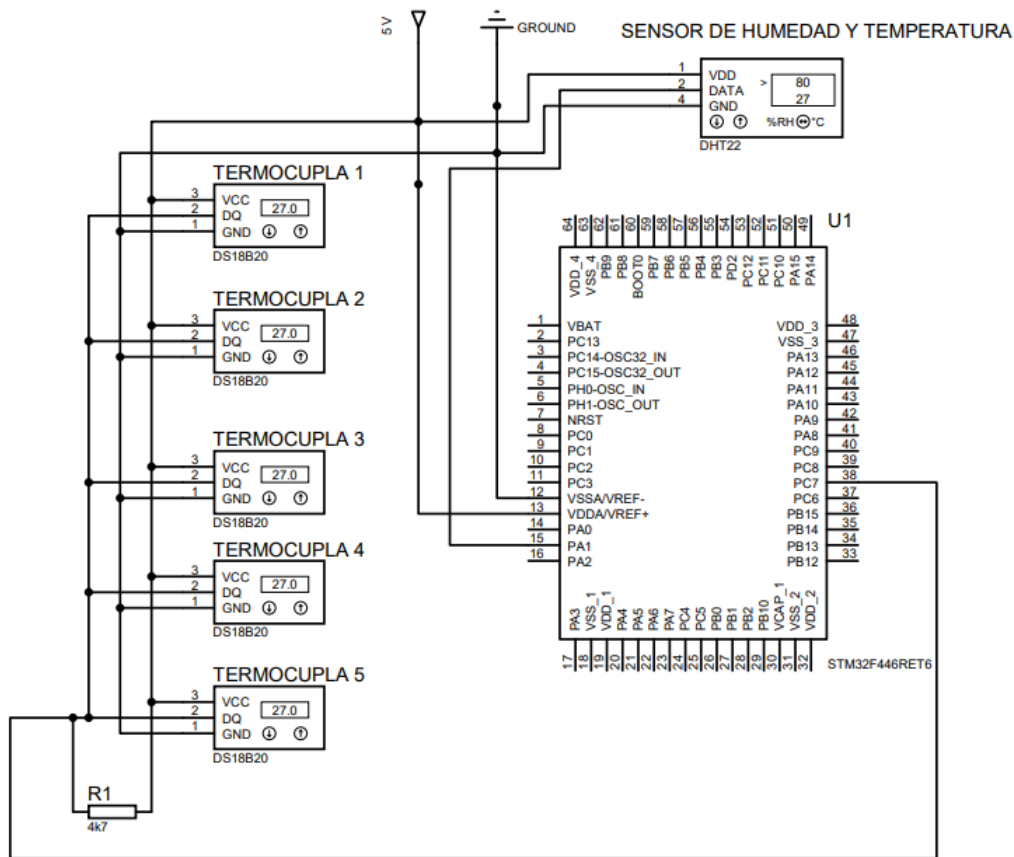
Nota: *Diseño del esquema eléctrico de la conexión de termocuplas.*

7.3.2. Circuito del Sensor de Temperatura y Humedad Relativa DHT22

El sensor DHT22 es un sensor de temperatura y humedad que envía datos de forma digital. Su conexión es sencilla, sus pines tanto positivo como negativo se acoplan a VDD y Ground respectivamente. Mientras que su pin de datos se conecta directamente al microcontrolador.

Figura 31

Esquema eléctrico del Sensor DHT22.



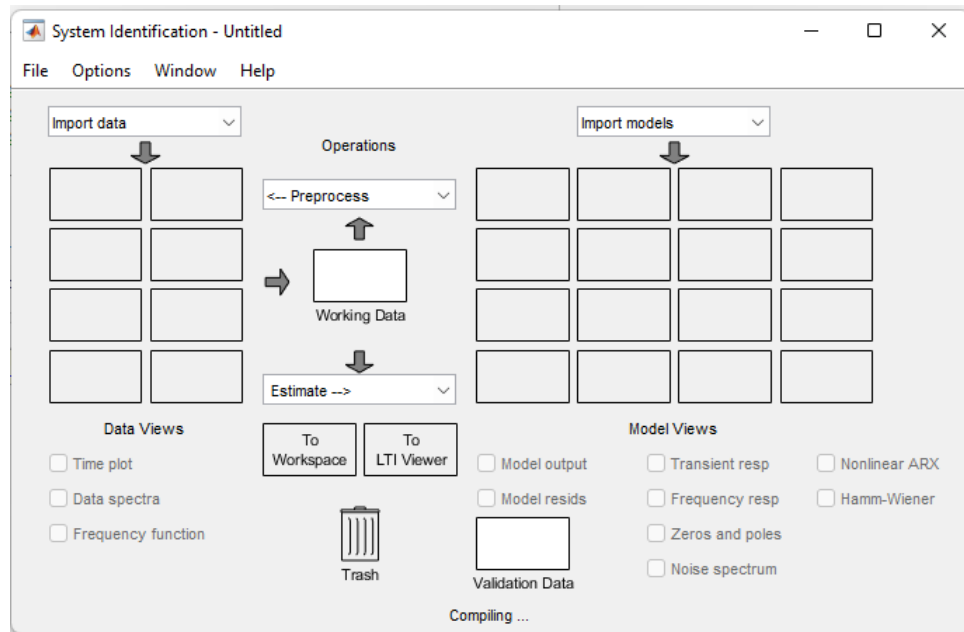
Nota: *Diseño del esquema eléctrico de la conexión del sensor DHT22.*

7.3.2.1. Sistema de Control PID para Temperatura

Para la formulación del sistema de control, se debe establecer la función de transferencia. En este caso al no disponer los datos de la planta pero si sus valores de salida, se puede obtenerla mediante el uso de la herramienta "System Identification" que pertenece al programa de Matlab.

Figura 32

Bloque “System Identification” de Matlab.



Nota: Con este bloque se puede obtener una función de transferencia a partir de los resultados, según MathWorks (1994-2022).

Esta herramienta nos permite modelar funciones de transferencia, a partir de datos de entrada o salida sea en tiempo continuo o discreto. Una de las sugerencias al momento de obtener las funciones es ir filtrando la señal, con las diferentes herramientas que dispone. Al terminar de realizar el tratamiento de la señal y obtener la función de transferencia, se debe tomar en cuenta el porcentaje de similitud que se obtiene al formular la ecuación, se recomienda utilizar funciones superiores al 75% (MathWorks, 1994-2022). En este caso se obtuvo un porcentaje de 79.67% como se observa en la figura.

Figura 33

Porcentaje de la función.

```
From input "ul" to output "yl":
      0.01943
-----
      s^2 + 0.1719 s + 0.01163
Name: tfl
Continuous-time identified transfer function.

Parameterization:
  Number of poles: 2   Number of zeros: 0
  Number of free coefficients: 3
  Use "tfdata", "getpvec", "getcov" for parameters and their uncertainties.

Status:
Estimated using TFEST on time domain data "mydata".
Fit to estimation data: 79.67% (stability enforced)
```

Nota: Se determina el porcentaje de estimación de la función de acuerdo a sus valores de salida.

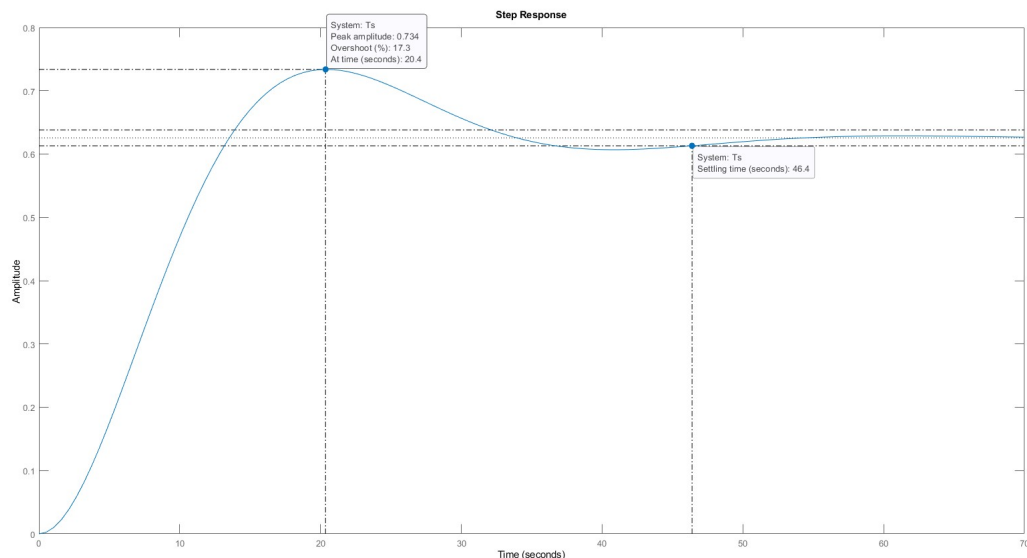
Ya terminado el proceso de filtración y tratamiento de los datos, obtenemos la ecuación que representa a la planta:

$$\frac{0.01943}{s^2 + 0.1719s + 0.01163} \quad (4)$$

En la siguiente figura observamos el comportamiento de la planta.

Figura 34

Gráfica de la planta.



Nota: *Se puede observar los valores correspondiente de la planta a controlar.*

Al observar el comportamiento de la planta, se determina los valores de sobrepaso que son el 17.3% y un tiempo de asentamiento de 46.4s. Analizando la salida del sistema sin controlar se puede deducir que el tiempo en que toma en estabilizarse es demasiado largo, principalmente por la presencia de sobre pasos que producen que el sistema le tome mas tiempo en llegar a la estabilidad.

La propuesta del diseño de controlador es disminuir el sobrepaso a valores menores del 10% y un tiempo de asentamiento de 20s, lo que permitirá que la planta tenga una respuesta inmediata y estable. Para establecer estos parámetros se opta por el controlador PID. Este método nos permite calcular los valores de ganancias que permitirán obtener una mejor respuesta y estabilidad del sistema.

$$Kp + Ki * \frac{1}{s} + Kd * s \quad (5)$$

La ecuacion 5 corresponde al controlador PID, donde se puede observar las ganancias que

permitirán controlar el sistema. Una vez aplicado el sistema obtenemos los siguientes valores:

$$Kp = 3.4627 \quad (6)$$

$$Ki = 0.25567 \quad (7)$$

$$Kd = 11.296 \quad (8)$$

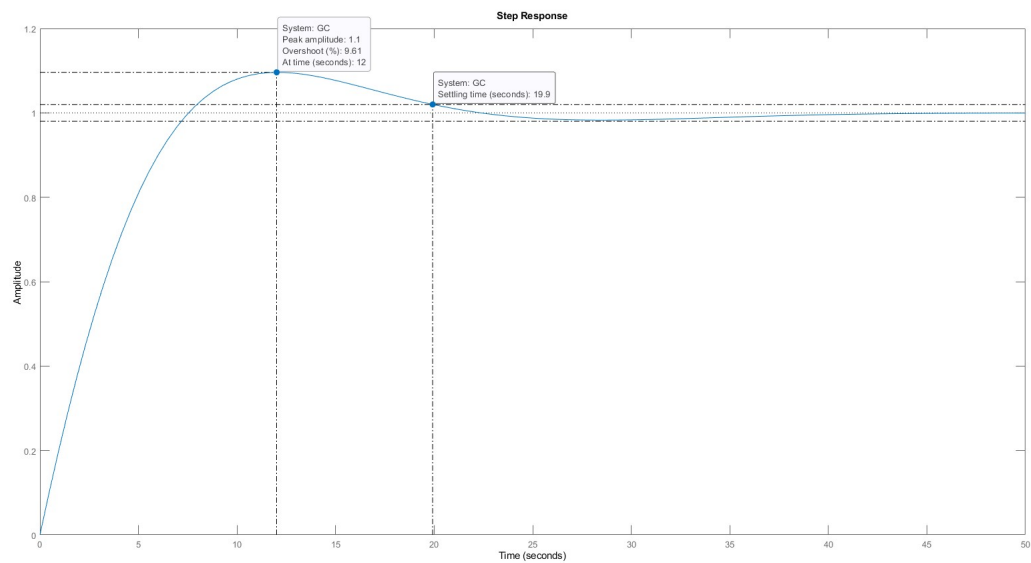
Ya obtenidos los valores de la ganancia se realiza la aplicación en la planta obteniendo la siguiente función de transferencia.

$$\frac{0.2195s^2 + 0.06728s + 0.004968}{s^3 + 0.3914s^2 + 0.07891s + 0.004968} \quad (9)$$

A continuación, graficamos el comportamiento de la planta para determinar que cumpla con los condiciones de diseño.

Figura 35

Gráfica de la planta controlada.

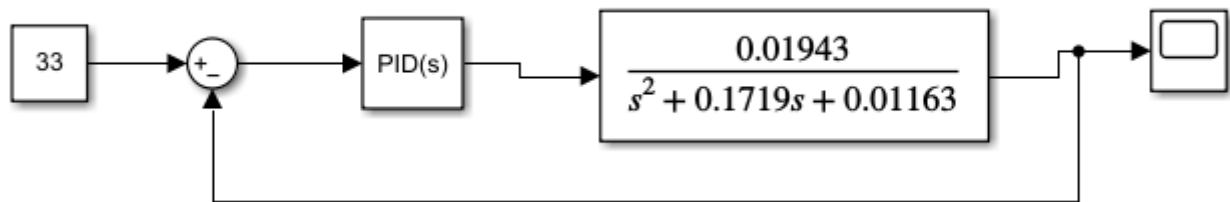


Nota: *Se puede observar los valores correspondiente de la planta controlada cumpliendo las condiciones de diseño.*

En la gráfica anterior se observa el comportamiento de la planta con el controlador PID, como se puede notar el tiempo de asentamiento es de 19.9 s mientras que el sobre disparo tiene un valor de 9.61%, cumpliendo con las condiciones de diseño impuestas previamente. Se comprueba el diseño mediante el uso de simulink.

Figura 36

Diagrama en simulink con el controlador PID.

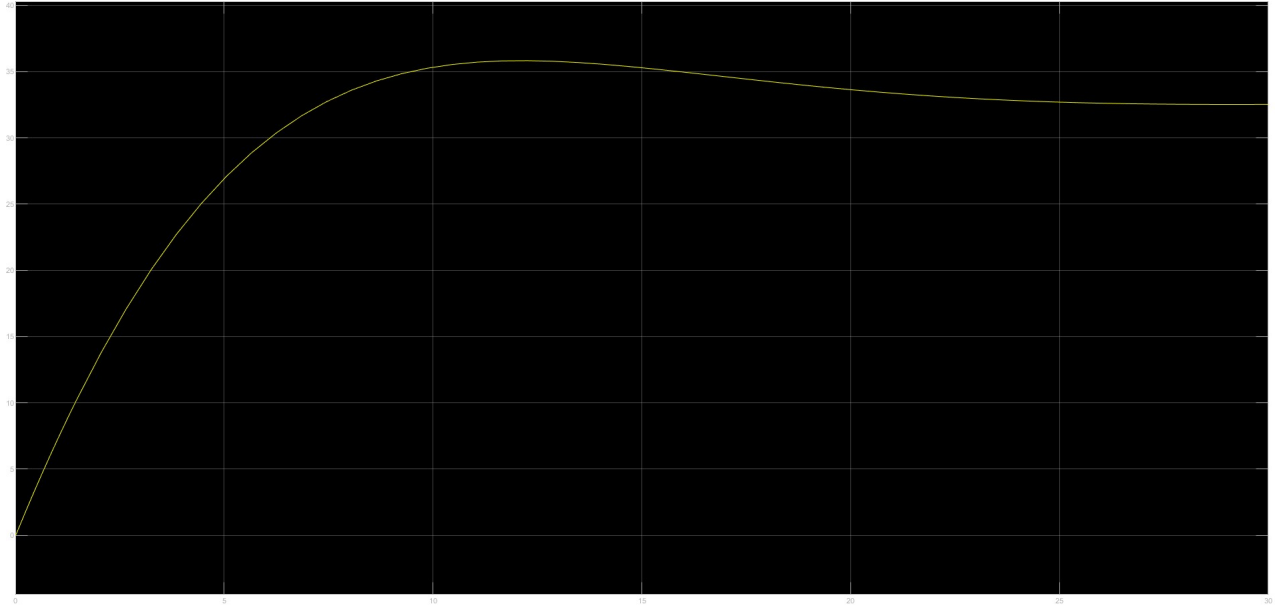


Nota: *Se puede observar el diseño del controlador con la planta mediante el uso del programa de simulink.*

Al aplicar el controlador en la planta, se puede observar que cumple con los requisitos de diseño en donde se coloca una referencia en este caso de 33°C. En la siguiente gráfica podemos verificar que al momento de estabilizarse el sistema, este sigue la referencia por lo que se logra obtener la señal de salida deseada.

Figura 37

Salida en simulink.



Nota: *Se puede observar la salida de la planta siguiendo su referencia.*

7.3.2.2. Sistema de Control BANG/BANG en la Humedad

Debido que la humedad no necesita ser medida por corto periodo de tiempo, entonces se opta por diseñar un control BANG/BANG en los ventiladores de la cámara de climatización así obteniendo un margen de medidas establecidas.

Como se realizo con la planta de temperatura, obtenemos la dinámica del sistema de humedad.

Figura 38

Porcentaje de la función.

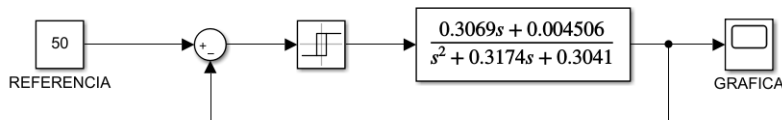
```
From input "u1" to output "y1":  
  0.3069 s + 0.004506  
-----  
s^2 + 0.3174 s + 0.3041  
Name: tfl  
Continuous-time identified transfer function.  
  
Parameterization:  
  Number of poles: 2  Number of zeros: 1  
  Number of free coefficients: 4  
  Use "tfdata", "getpvec", "getcov" for parameters and their uncertainties.  
  
Status:  
Estimated using TFEST on time domain data "mydata".  
Fit to estimation data: 87.75% (stability enforced)
```

Nota: Se determina la función de transferencia del sistema de Humedad.

El control se genero mediante una herramienta de MatLab-SIMULINK donde diseñamos nuestro sistema BANG/BANG y obtenemos el comportamiento del mismo.

Figura 39

CONTROL BANG/BANG.

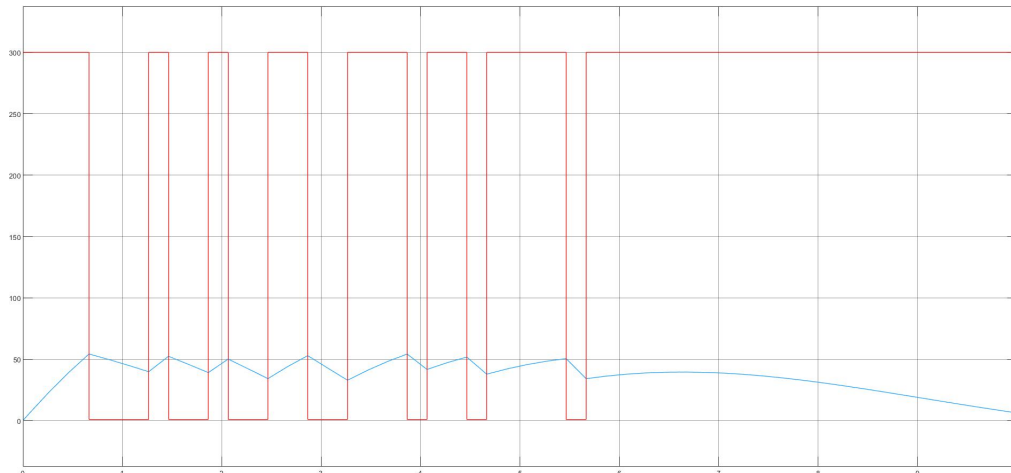


Nota: Diagrama de bloques del control establecido.

Ya controlado el sistema observamos el comportamiento en la gráfica.

Figura 40

Comportamiento de la Gráfica.



Nota: Control establecido para la planta de humedad.

7.3.3. Circuito del Sensor de Corriente SCT-013-030

Este sensor no entrega una señal de corriente alterna, lo cual es imposible ser detectado por el microcontrolador. Para corregir el error utilizaremos un amplificador operacional.

7.3.3.1. Circuito Operacional LM358

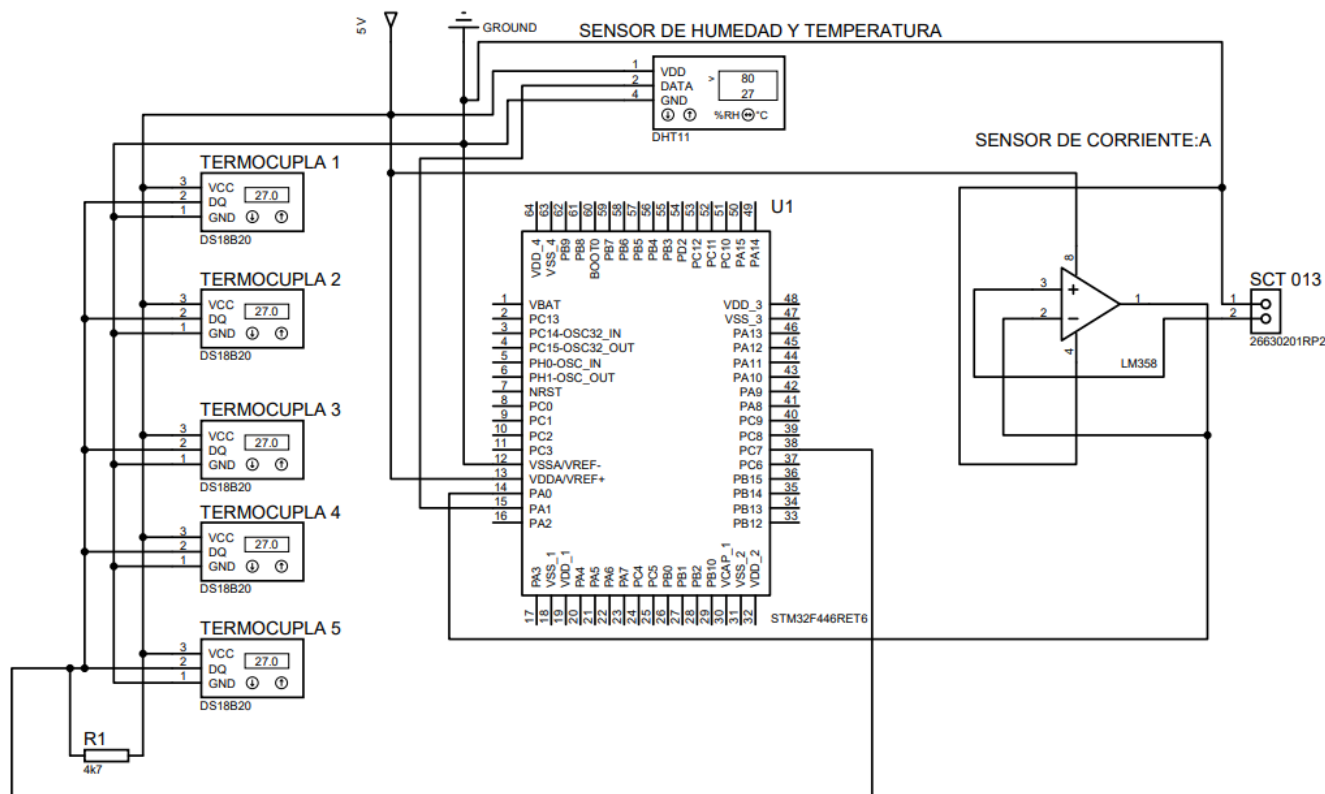
La señal del SCT-013-030, es una señal alterna cuyo valor no está en el rango de la recepción de la placa, ya que la placa acepta de (0 a +5V). Por eso se convertirá una señal de corriente a voltaje a un rango de [-1V +1V]), luego amplificar a ([-2.5V +2.5V]) y finalmente un sumador para eliminar la parte negativa([0 5V]). En otras palabras rectificamos la entrada, asumiendo que la señal es simétrica. Para realizar este proceso se utiliza un amplificador operacional LM358 realizando una rectificación de media onda(SAC, 2021).

7.3.3.2. Esquema Eléctrico

Una vez realizado el tratamiento de la señal con el amplificador, realizamos el esquema eléctrico completando el circuito del sistema de monitoreo.

Figura 41

Esquema eléctrico.



Nota: Diseño del esquema eléctrico del circuito total.

7.3.4. Programación

Para iniciar con el proceso de programación, primero se realiza un diagrama de flujos en donde se establece las distintas etapas para llegar a la ejecución del programa.

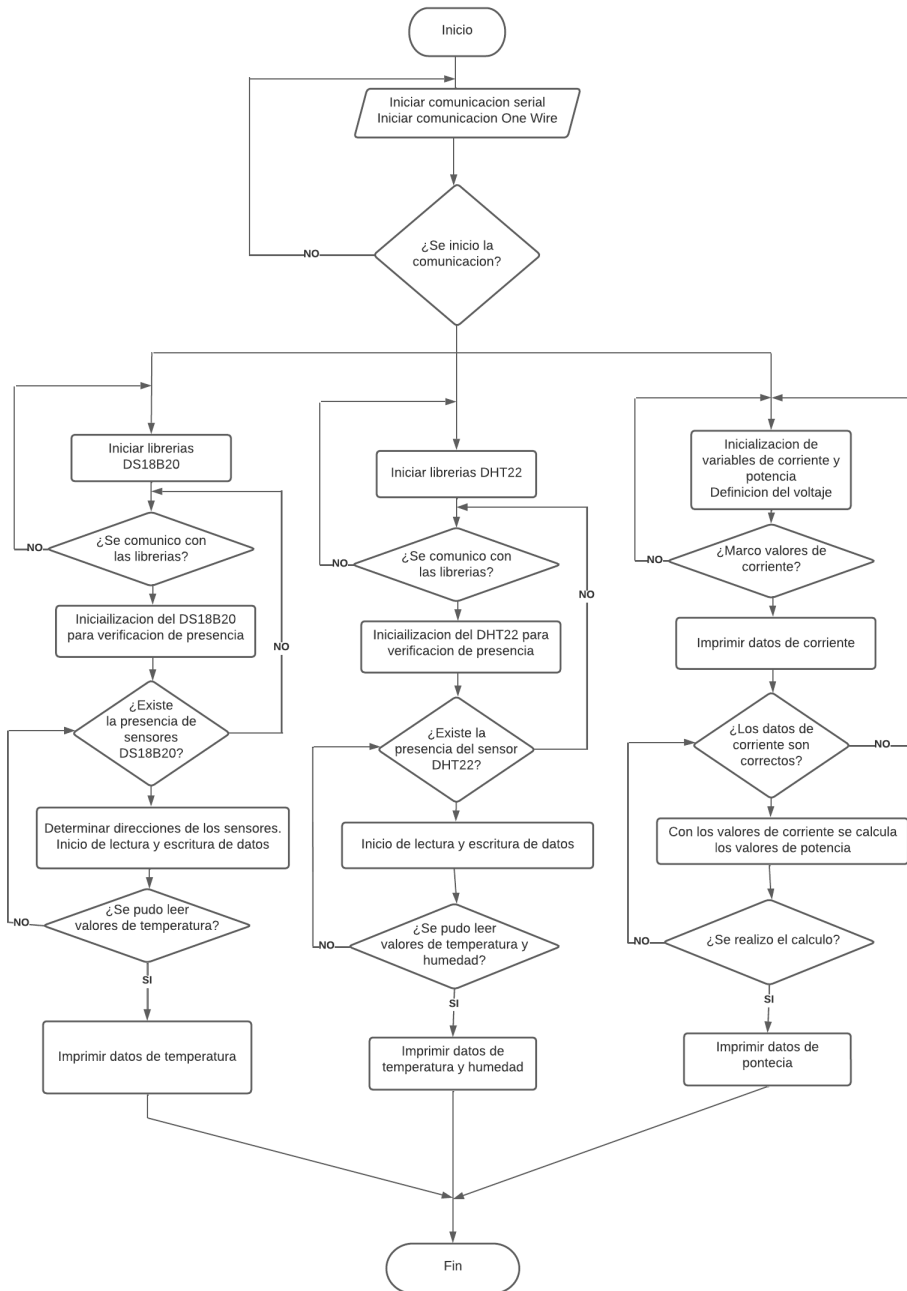
7.3.4.1. Diagrama de Flujo

En el diagrama de bloques, como primer punto se define los bloques de entrada en donde se realiza la inicialización de los protocolos de comunicación serial y One-Wire. De la misma forma se inicializa los bloques de los dispositivos DS18B20, el bloque del sensor de temperatura y humedad relativa DHT22 y finalmente la corriente y potencia, quienes se

encargan de determinar si los dispositivos correspondientes se encuentran presentes. En el sistema de temperatura, se deben obtener las direcciones de los dispositivos, al determinar estas direcciones se puede proceder con el proceso de impresión de temperaturas, caso contrario se debería regresar nuevamente al de inicio de los sensores. Mientras que en el sistema de temperatura y humedad relativa, se realiza el procesamiento de los datos. Una vez verificado estos datos se procede con la impresión de los mismo, caso contrario, se vuelve a verificar la presencia del dispositivo e inicio del mismo. Y por ultimo el sistema de corriente y potencia tendría el mismo funcionamiento que el de temperatura y humedad relativa con la diferencia de que previamente se realizara el calculo de la potencia.

Figura 42

Diagrama de flujo.



Nota: *Diseño del diagrama del flujo de programación.*

7.3.4.2. Programación en la Plataforma de Arduino IDE

Antes de realizar la programación de cada uno de los dispositivos del sistema de monitoreo, se debe tomar en cuenta que tanto en el DS18B20, DHT22 y el protocolo One Wire existen dos maneras de realizar dicha acción.

- a. La programación de forma manual se refiere a que, al realizar la comunicación, la recepción y envío de datos se lo puede hacer programando cada etapa ya vista anteriormente en el funcionamiento de cada sensor. De esta manera se puede ir escogiendo los parámetros de cada dispositivo a decisión propia.
- b. Con la ejecución de librerías realizadas propiamente por los fabricantes de los dispositivos. En estos archivos ya se encuentra establecido la forma de comunicación, el envío y recepción de datos a través del microcontrolador. Todos los parámetros de los dispositivos se rigen a las normas establecidas por sus autores pero con la posibilidad de ser modificados.

Por lo cual, se toma la decisión de utilizar las librerías realizadas por los fabricantes las cuales se encuentran existentes de forma libre en sus plataformas correspondientes.

Como es de conocimiento, los microcontroladores de STM32 tienen su propia interfaz de programación como lo son el STM Cube IDE, Keil Microvision y MBed. La razón por la cual se los menciona es que no son compatibles con programas para la realización de interfaces gráficas. La plataforma Arduino permite la compatibilidad entre el microcontrolador y programas de interfaz gráfica mediante la utilización de librerías que se encuentran libres en la red.

7.3.4.2.1. Lectura de Datos de Programación

Después de crear el código, se ejecuta el programa obteniendo los siguiente datos:

Figura 43

Resultados de Arduino.

```
20.20;48.00;20.75;21.25;20.75;20.06;20.50;12.97;1563.18
20.20;48.00;20.69;21.25;20.75;20.06;20.50;12.98;1563.87
20.20;48.00;20.69;21.25;20.75;20.12;20.50;12.99;1564.72
20.20;48.00;20.75;21.31;20.75;20.12;20.44;12.97;1562.65
20.20;48.00;20.75;21.25;20.75;20.12;20.50;13.00;1566.41
20.20;48.00;20.69;21.25;20.75;20.12;20.44;13.01;1568.03
20.20;48.00;20.75;21.25;20.75;20.12;20.44;13.00;1566.81
20.20;48.00;20.81;21.31;20.75;20.12;20.50;12.99;1565.00
20.40;48.00;20.75;21.31;20.75;20.12;20.50;12.98;1563.92
20.40;48.00;20.75;21.31;20.75;20.12;20.50;12.98;1563.97
20.60;48.00;20.75;21.31;20.75;20.12;20.50;12.96;1561.27
20.60;48.00;20.75;21.31;20.81;20.12;20.50;12.95;1559.93
20.60;48.00;20.75;21.31;20.75;20.19;20.50;12.97;1562.43
20.60;48.00;20.75;21.31;20.75;20.19;20.50;12.98;1563.82
20.60;48.00;20.75;21.31;20.81;20.19;20.50;12.96;1561.28
20.60;48.00;20.81;21.31;20.75;20.19;20.50;12.99;1565.09
20.60;48.00;20.75;21.31;20.69;20.19;20.50;12.98;1563.88
20.60;48.00;20.75;21.31;20.75;20.19;20.56;12.97;1563.08
20.60;48.00;20.75;21.31;20.81;20.19;20.56;12.99;1565.43
20.60;48.00;20.75;21.31;20.75;20.19;20.50;13.00;1566.69
```

Nota: *Se puede observar el resultado que se obtiene de la programación realizada en Arduino.*

Al ejecutar y verificar los resultados, se obtiene nueve columnas de datos, los que corresponden a:

- a. Temperatura Ambiente.
- b. Humedad Relativa.
- c. Termocupla 1.
- d. Termocupla 2.
- e. Termocupla 3.
- f. Termocupla 4.
- g. Termocupla 5.
- h. Corriente.

i. Potencia.

Como se puede observar, los dispositivos marcan valores reales, los mismos que sirven como referencia para realizar comparación con otros instrumentos de medición.

7.3.5. Interfaz Gráfica

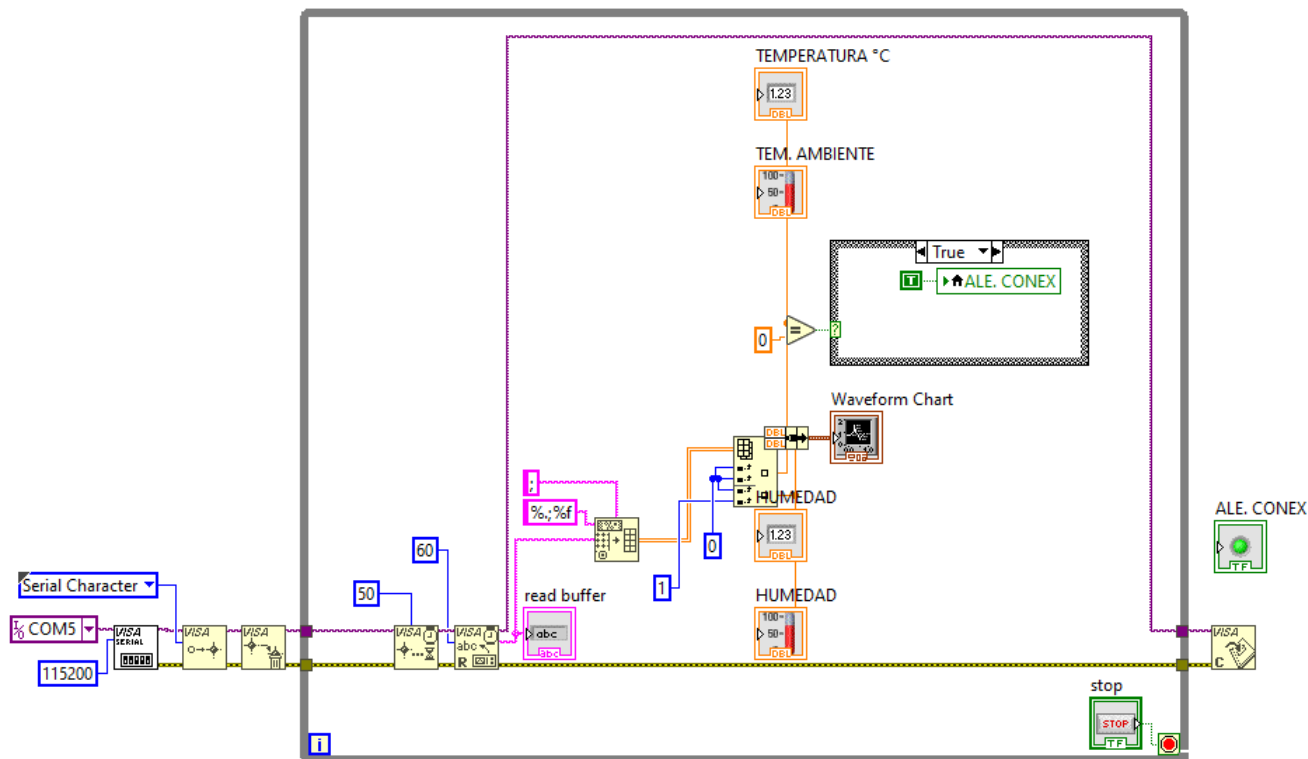
La creación del entorno virtual es el ultimo punto del diseño del sistema de monitoreo. El programa a utilizar para el diseño de la interfaz sera Labview. La razón para utilizar este software es que, los operarios de la industria ya se encuentra familiarizados con este entorno, ya que existe maquinaria que trabaja mediante el uso de este programa.

7.3.5.1. Interfaz para la Temperatura y Humedad Ambiente

El desarrollo del entorno gráfico, permitirá visualizar los datos que son enviados por el microcontrolador, estos deben estar representados en una gráfica, la que facilitara entender cual es el comportamiento del sistema. Además, cuenta con un sistema de alarma que indica si el dispositivo no se encuentra presenta y en otros casos si los valores sobrepasan o no alcanzan los rangos mínimos impuestos por la industria.

Figura 44

Programación de la interfaz de temperatura y humedad relativa.



Nota: *Menú de Inicio.*

Para la elaboración de la interfaz gráfica, se debe realizar la comunicación serial del microprocesador con el programa labview. Esto lo realizamos mediante el uso del bloque NI Visa. Estas funciones nos permiten recibir los datos provenientes del microprocesador, determinando la velocidad de los baudios que en este caso corresponde a los 115200 y por ultimo definiendo el puerto correspondiente al STM 32 determinado en COM 5. Se utiliza el bloque NI VISA Event el cual esta dividido en Enable, Discard y Wait . Con el bloque Event definimos los datos que llegaran a traves de la comunicación, en este caso se lo define como una transmisión serial de caracteres, el bloque Discard se encarga de prohibir el paso de eventos que no correspondan al tipo ya definido anteriormente y por ultimo el evento Wait define el lapso de tiempo en que se dará la transmisión de datos. En este caso sera cada 50ms (Instruments, 2022).

Mediante el uso del Bloque NI VISA Read, este se encarga de interpretar los datos y

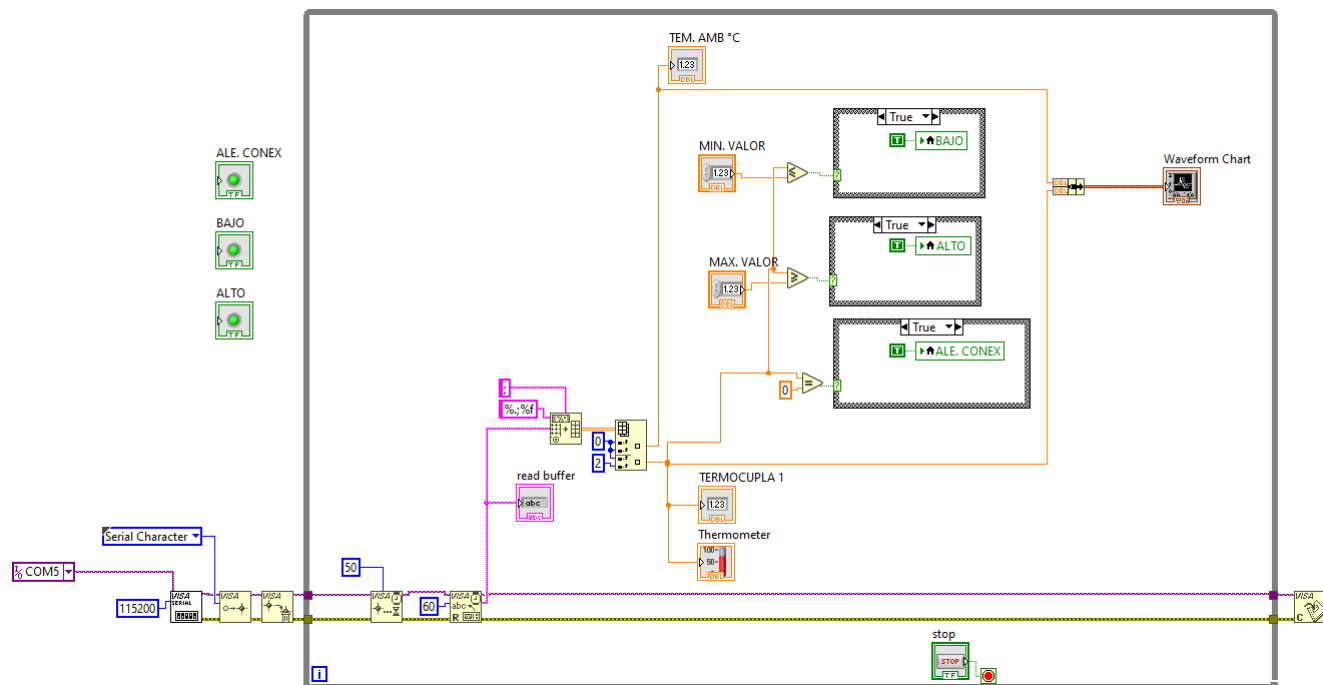
leerlos, en su configuración se puede determinar el número total de caracteres que pueden ser recibidos. En este caso fueron definidos en 60. Mediante el uso de Spreadsheet String To Array podemos definir el tipo de variable y como se encuentran separados. Para este caso el código el carácter “;” se encarga de separar los valores de cada dispositivo, mientras que determina que los valores que son de tipo flotante. Una vez definido los valores y su separación, mediante el uso de Index Array estos valores se irán ordenando en matrices, los que al definir el número de columna y fila permite que el dato salga, utilizando estos valores para las comparaciones de alertas de conexión y el uso de valores mínimos y máximos. Finalmente con el uso del bloque Waveform Chart realizamos la gráfica en donde se interpretan los datos obtenidos. Y por último con el Bloque NI VISA Close cerramos la comunicación terminado el proceso (Instruments, 2022).

7.3.5.2. Interfaz para Termocuplas 1-5

Como se definió anteriormente en el punto 7.3.5.1., el funcionamiento del entorno correspondiente a termocuplas, tiene el mismo procedimiento con la diferencia que se debe establecer que posición de la matriz será llamada para utilizarla en la representación a través de una gráfica.

Figura 45

Programación de la interfaz para las termocuplas.



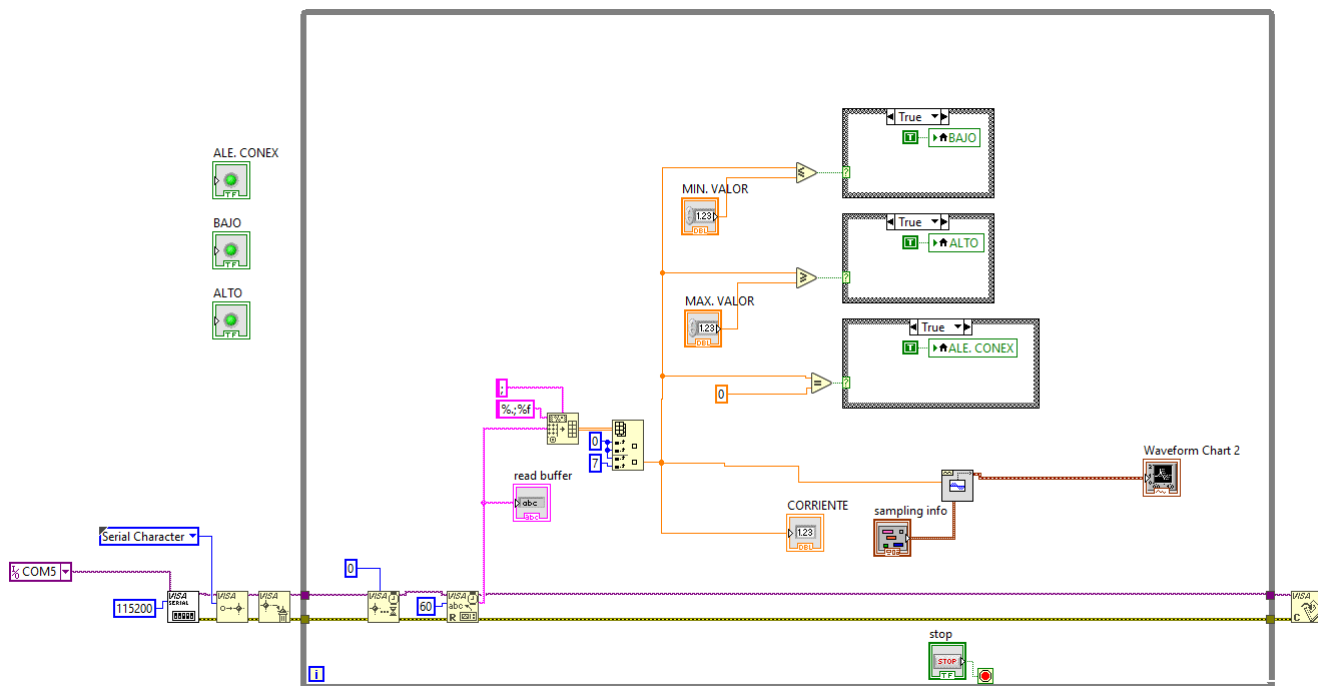
Nota: *Interfaz de termocuplas.*

7.3.5.3. Interfaz para la Corriente y Potencia

Como se menciona anteriormente, el funcionamiento de las interfaces se basan en el mismo procedimiento, a diferencia de la corriente que con el uso del Bloque SINE WAVEFORM, podemos establecer la frecuencia y la cantidad que de muestras que se necesita para poder interpretar la gráfica (Instruments, 2022).

Figura 46

Programación de la interfaz para Corriente y Potencia.



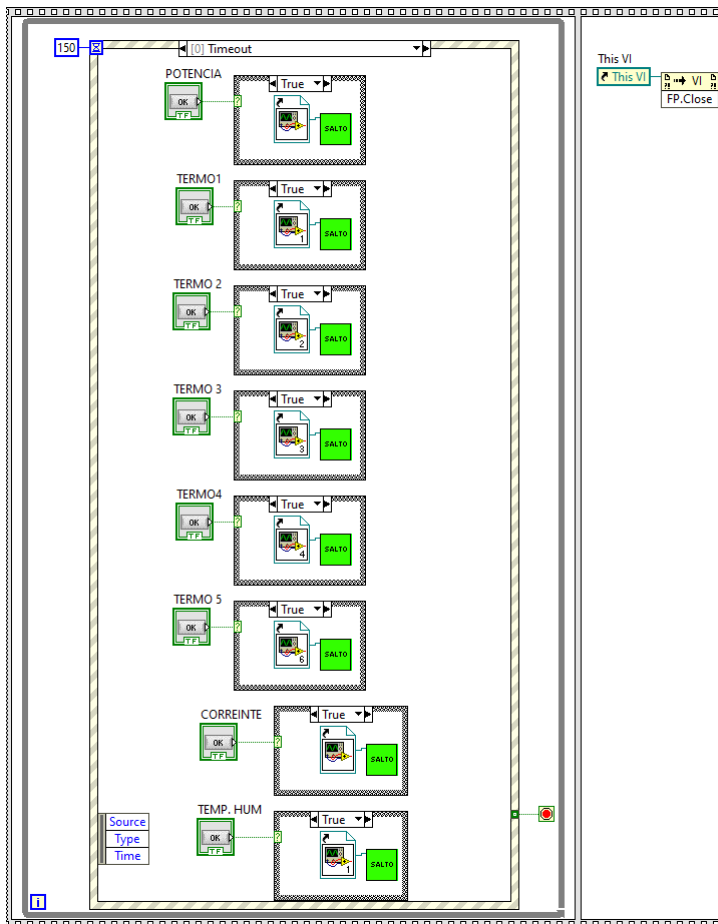
Nota: Interfaz de Corriente.

7.3.5.4. Interfaz Menú

Finalmente al terminar el entorno gráfico para cada dispositivo, se realiza un menú el cual se encargara de llamar cada gráfica de los dispositivos. El menú contiene 10 botones los cuales permiten llamar a las termocuplas, temperatura y humedad ambiente, corriente, potencia, guardar datos y finalizar el programa. Se puede realizar ya que al crear clases de cada dispositivos y ser colocadas en un CASE STRUCTURE se realiza una comparación con cada botón, si estos al ser presionados, dan un resultado TRUE, se llama a la clase correspondiente (Instruments, 2022).

Figura 47

Programación de la interfaz para Menú.

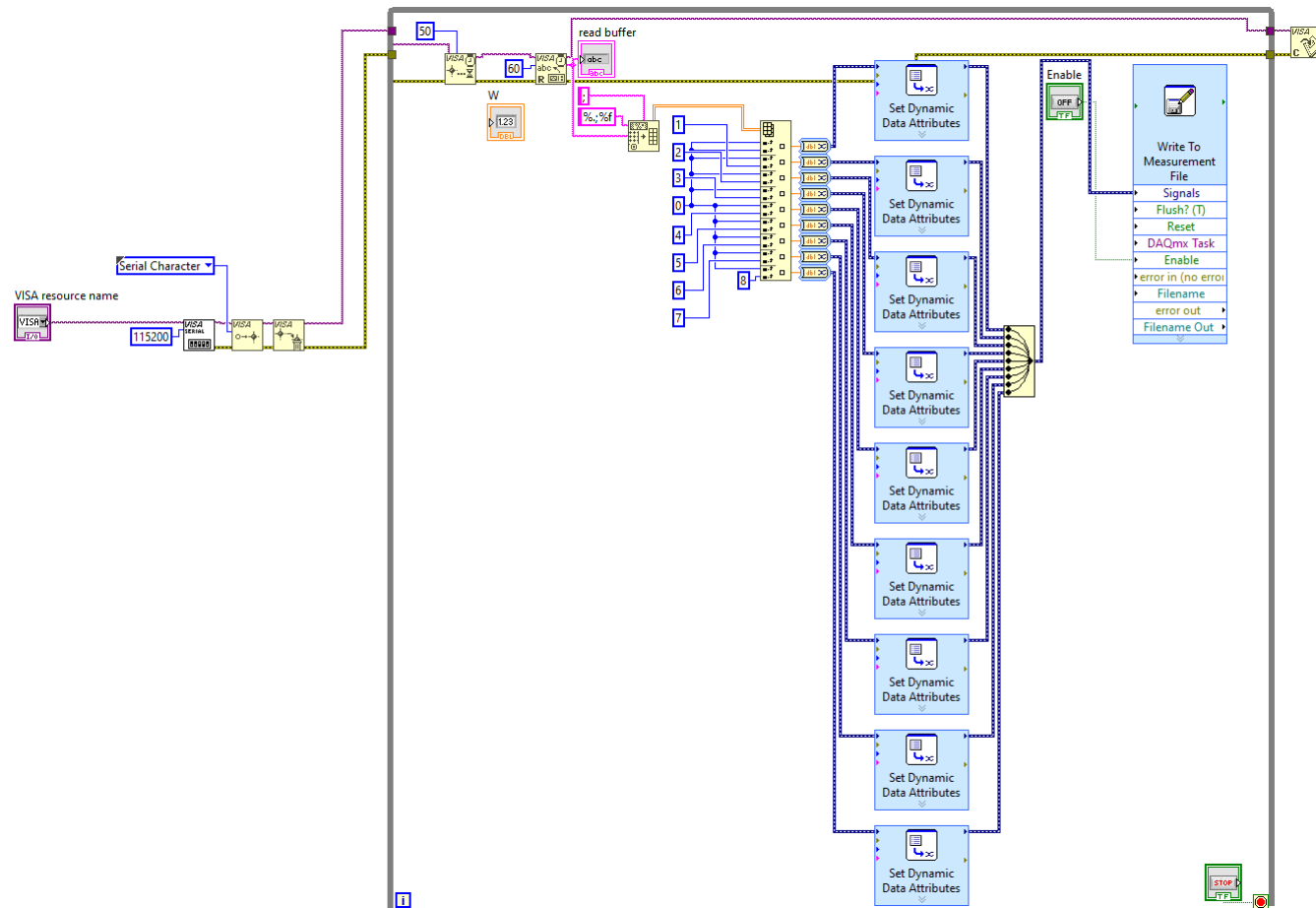


Nota: *Interfaz de Menu.*

Y finalmente para la grabación de datos, se establece nuevamente una comunicación serial y los datos son guardados en matrices. Cuando se procede a llamar a cada valor estos puede ser grabados con el uso del bloque WRITE TO MEASUREMENT FILE. Este bloque guarda los datos separándolos por columnas en formato Excel. Además permite definir el lugar en donde se puede guardar los datos (Instruments, 2022).

Figura 48

Programación de la interfaz para guardar datos.



Nota: Interfaz para guardar datos.

7.4. Funcionamiento del Sistema de Monitoreo y Control

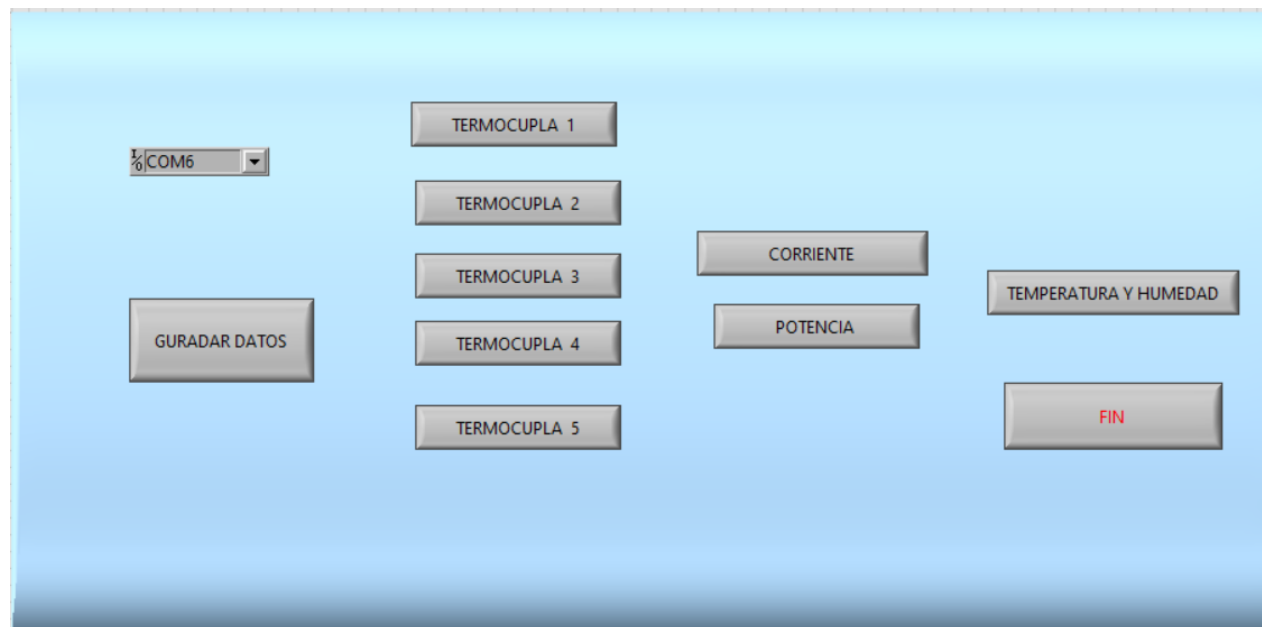
Una vez terminado el diseño, se procede a realizar las pruebas y almacenamiento de los datos. Indicando como funciona la interfaz gráfica para el uso designado del operario.

7.4.1. Menú del Sistema.

Esta ventana nos indica los parámetros iniciales de como ingresar al sistema mediante barras y botones de fácil acceso.

Figura 49

MENÚ.



Nota: Menú de Inicio.

Donde la barra de inicio nos indica el COM de entrada por la comunicación serial de la placa.

- Seleccionamos los botones de **TEMPERATURA** , donde se abrirá una ventana demostrando los valores de cada temperatura mostrada con su respectiva gráfica.
- El botón de **CORRIENTE**, donde se abre otra ventana indicando la corriente del dispositivo medido.
- El botón **POTENCIA**, es aquel donde se abre una ventana indicándonos la potencia en tiempo real.
- El botón **HUMEDAD Y TEMPERATURA**, es aquel donde se abre una ventana dando a conocer la temperatura y humedad del ambiente de la cámara de climatización.
- El botón **GUARDAR DATOS**, es aquel donde no lleva a un documento Excel y toma datos de todas las variables del sistema.

- El botón **FIN**, aquel que suspende y cierra el programa.

7.4.1.1. Temperaturas.

Existen varias ventanas de temperatura, dependiendo del numero de termocuplas usadas en el proyecto, teniendo la misma interfaz de medición, por lo cual se explicara una de las ventanas.

Figura 50

Interfaz de temperatura.



Nota: *Termocupla numero 3.*

En esta ventana tenemos los siguiente:

- **TEM. AMB°C** , nos indica el valor la temperatura ambiente de la cámara de climatización.
- **TERMOCUPLA3**, nos indica el numero correspondiente de la termocupla, cuyo valor es tomado de cada punto específico.
- **MIN.VALOR-MAX.VALOR**, aquí se selecciona el valor mínimo y el máximo de temperatura a medir.

- **ALE.CONEX**, es un LED donde da conocimiento si la termocupla esta conectada o tiene problemas de entrega de datos
- **BAJO**, este LED se enciende, cuando pasa el rango establecido en este caso el valor mínimo.
- **ALTO**, este LED se enciende, cuando pasa el rango establecido en este caso el valor alto.
- **Pantalla**, nos gráfica el comportamiento de la temperatura.

Cada termocupla tiene un lugar de medida, se usara una nevera como producto de linea blanca para obtener los valores de cada sensor planteado anteriormente.

Figura 51

Instrumento a medir.



Nota: NEVERA (HOMELINE).

Esta Nevera tiene su estados de temperatura para toda ocasión de productos, desde lo mas fresco hasta lo mas frió, en otras palabras esta dividida en secciones para legumbres hasta la sección de congelamiento. Todas estos valores de temperaturas se basan en las normas del fabricante.

7.4.1.2. Corriente.

En esta ventana nos indica el flujo de corriente del compresor mediante el sensor SCT-01-030, graficando una onda senoidal tratada anteriormente para los datos obtenidos. Mostrado en la figura 25.

Figura 52

Interfaz de corriente.



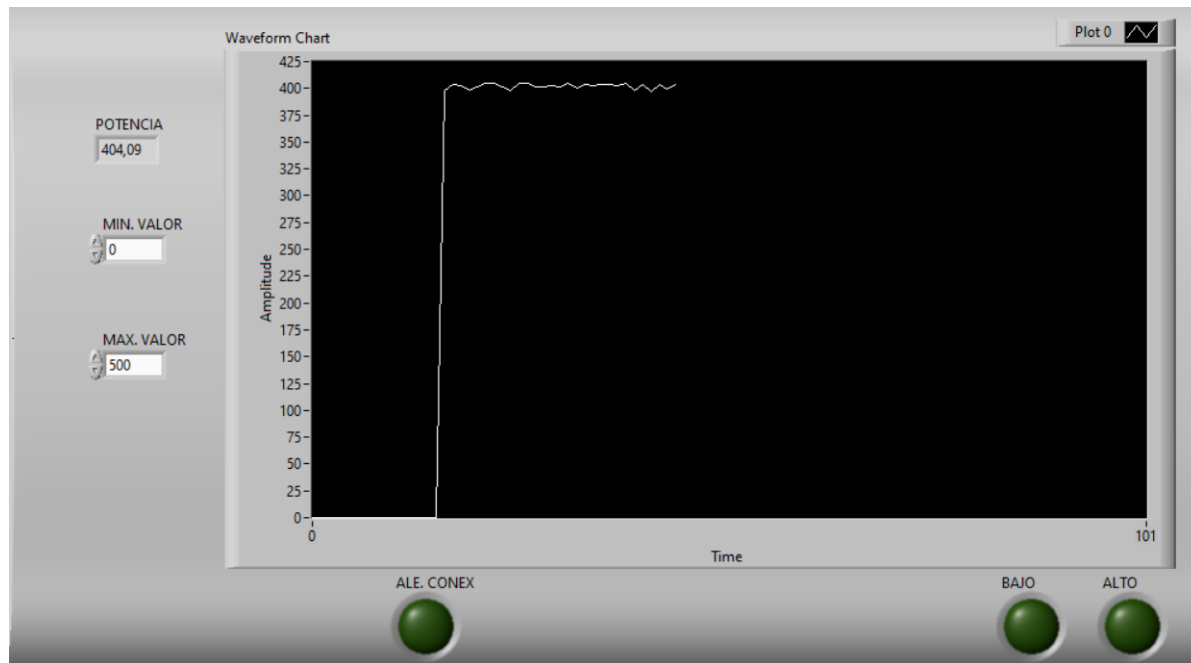
Nota: *Corriente alterna.*

7.4.1.3. Potencia.

Ya obtenida la corriente, podemos observar la potencia que genera el compresor.

Figura 53

Interfaz de Potencia.



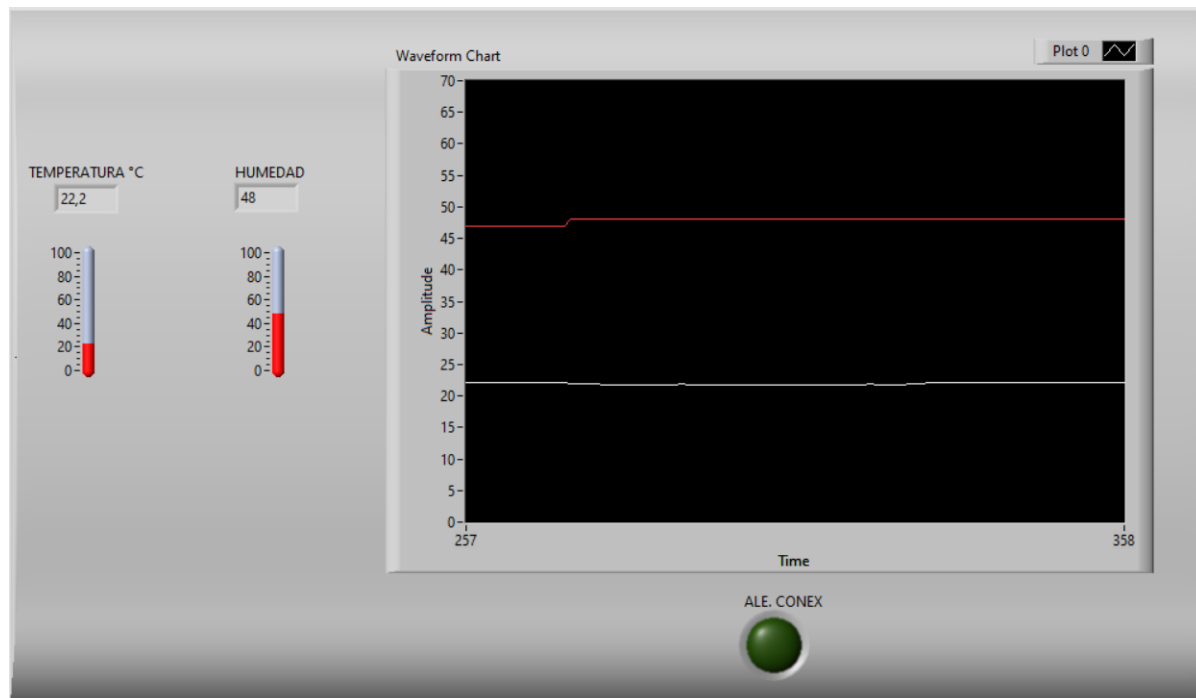
Nota: *Variación de potencia según la corriente.*

7.4.1.4. Temperatura y Humedad Relativa.

En la cámara de climatización debemos obtener información, en este caso las variantes que siempre se mide es la Temperatura y humedad ambiente. Con estos valores se toma referencia a las mediciones directas de los productos.

Figura 54

Interfaz de temperatura y humedad del ambiente en la cámara.



Nota: *Temperatura y Humedad.*

En esta ventana tenemos los siguiente:

- **TEMPERATURA°C** , nos indica el valor la temperatura ambiente de la cámara de climatización.
- **HUMEDAD**, nos indica el valor de la humedad ambiente de la cámara de climatización.

7.4.1.5. Base de Datos del Sistema.

Existe un botón en la ventana de menú, (GUARDAR DATOS) el cual genera un documento excel mostrando los datos de cada instrumento de medición

Figura 55

DATA, adquisición de datos en un documento de excel.

HORA	FECHA	TEMP. AMBIENTE	HUMEDAD	TERMOCUPLA 1	TERMOCUPLA 2	TERMOCUPLA 3	TERMOCUPLA 4	TERMOCUPLA 5	CORRIENTE	POTENCIA
15:09:55	22/7/2022	21,4	48	20,44	20,56	22,06	20,62	19,87	0,02	2,66
15:10:55	22/7/2022	21,4	48	20,44	20,5	22,19	26,31	25,19	0,02	1,98
15:11:55	22/7/2022	21,6	48	20,31	20,56	22,37	29,06	28,69	0,02	2,33
15:12:55	22/7/2022	21,8	48	20,31	20,62	22,56	31,44	31,5	0,03	3,02
15:13:55	22/7/2022	21,8	48	20,25	20,62	22,69	32,63	32,63	0,03	3,49
15:14:55	22/7/2022	21,8	48	26,25	27	22,69	31,94	31,94	0,03	3,17
15:15:55	22/7/2022	21,8	48	29,19	30,19	22,56	31,25	31,12	0,03	3,57
15:16:55	22/7/2022	21,8	48	30,56	31,56	22,37	30,62	30,5	0,02	2,54
15:17:55	22/7/2022	21,8	48	30,62	31,44	25,06	30,06	29,87	0,02	2,99
15:18:55	22/7/2022	21,8	48	29,81	30,62	28,75	29,56	29,31	0,02	2,87
15:19:55	22/7/2022	21,8	48	29,19	30	30,31	29,06	28,81	0,03	3,18
15:20:55	22/7/2022	21,8	48	28,62	29,56	30,31	28,62	28,37	0,03	3,28
15:21:55	22/7/2022	21,8	48	28,12	29,12	29,75	28,19	27,94	0,03	3,97
15:22:55	22/7/2022	21,8	48	27,69	28,75	29,19	27,87	27,56	0,03	3,33
15:23:55	22/7/2022	21,8	48	27,19	28,37	28,69	27,5	27,19	0,03	3,67
15:24:55	22/7/2022	21,8	48	26,81	28	28,31	27,19	26,87	0,03	3,54
15:25:55	22/7/2022	21,8	48	26,44	27,69	27,81	26,87	26,44	0,03	3,43
15:26:55	22/7/2022	21,8	48	26,06	27,37	27,56	26,5	26,12	0,02	2,81
15:27:55	22/7/2022	21,8	48	25,75	28,06	27,25	26,25	25,87	0,03	3,13
15:28:55	22/7/2022	21,8	48	25,31	28,31	27,06	25,87	25,5	0,03	3,55
15:29:55	22/7/2022	21,8	48	25,06	27,94	26,75	25,56	25,25	0,02	2,33
15:30:55	22/7/2022	21,8	48	24,69	27,5	26,37	25,31	25	0,02	2,93
15:31:55	22/7/2022	21,8	48	24,44	27,06	26,12	25	24,81	0,02	2,41
15:32:55	22/7/2022	21,8	48	24,12	26,69	25,94	24,75	24,56	0,02	2,72
15:33:55	22/7/2022	21,8	48	23,87	26,25	25,81	24,5	24,31	0,02	2,52

Nota: *Data de variables.*

7.4.2. Análisis del Sistema de Monitoreo y Control

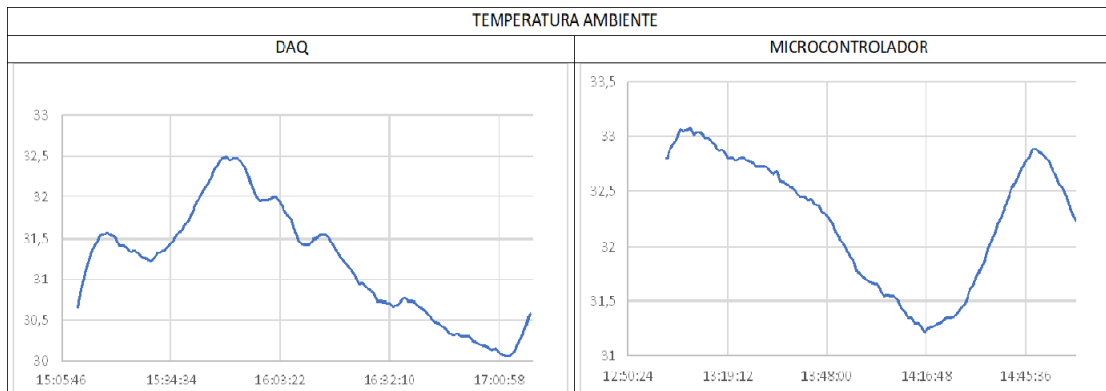
Una vez aplicado los instrumentos de recolección de datos, con sus respectivos programas, se realiza el correspondiente análisis de los mismos. Con los valores evaluados se hace una comparación de Data obtenida en una recolección antigua mediante un programa de LabVIEW con instrumentos DAQ.

Existen datos anteriores de una empresa especializada con señales que representan a muchas industrias de producción. Cuya empresa es Datalights Cia. Ltda creada para realizar proyectos y solventar soluciones a muchos problemas que se genera en la industria. Surgió problemas en muchas empresas, lo cual fue una pérdida de Data y señales incorrectas dando una dificultad en sus análisis.

Nuestro sistema ayudo a fomentar esas señales, las cuales mediante otro proceso de adquisición de datos (Microcontroladores) se estableció un análisis con un periodo de 12 horas recibiendo datos cada minuto, generando una tabla de datos por cada instrumento formulando así una gráfica , como se muestra en la figura 46.

Figura 56

Gráfica de temperatura ambiente en excel.

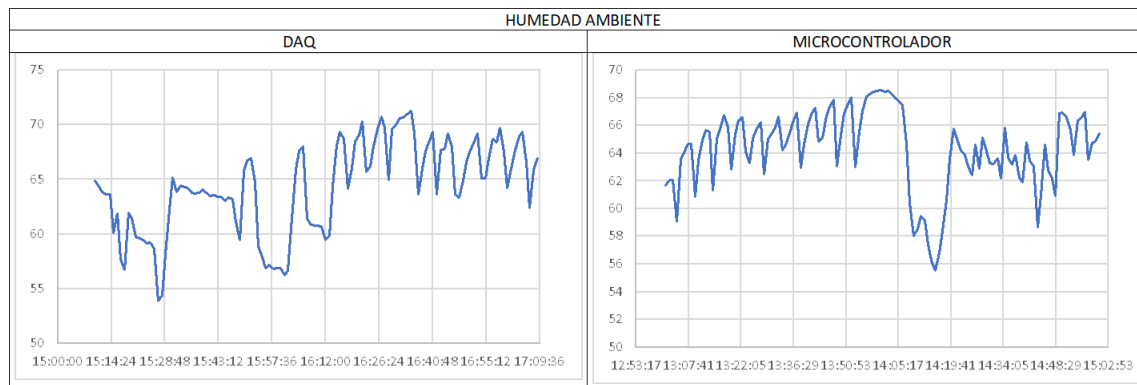


Nota: *Gráfica de los datos obtenidos en el programa.*

Aquí en esta gráfica nos da a conocer el comportamiento de la temperatura ambiente. La primera gráfica es de datos obtenidos por una DAQ y la segunda es obtenida por un microcontrolador.

Figura 57

Gráfica de Humedad ambiente en excel.

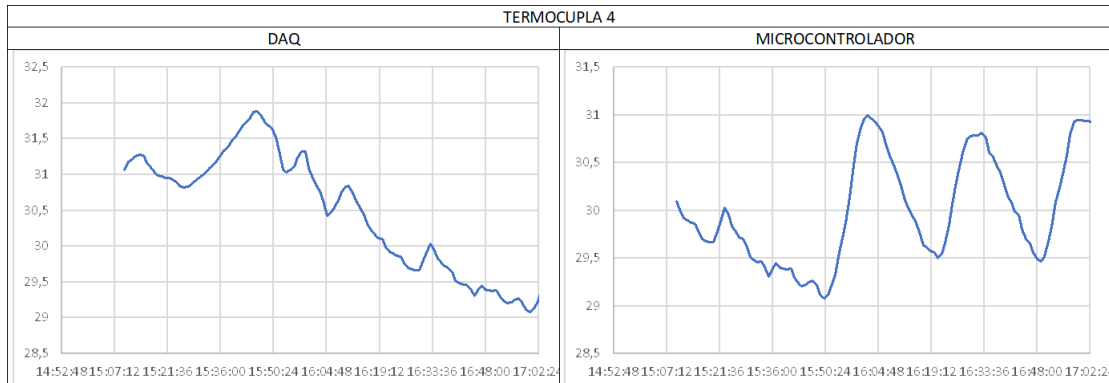


Nota: *Gráfica de los datos obtenidos en el programa.*

En esta gráfica observamos el comportamiento de la humedad presentada en la cámara de climatización. Se analiza las dos gráficas por monitoreo de cada procesador.

Figura 58

Gráfica de termocupla ambiente en excel.

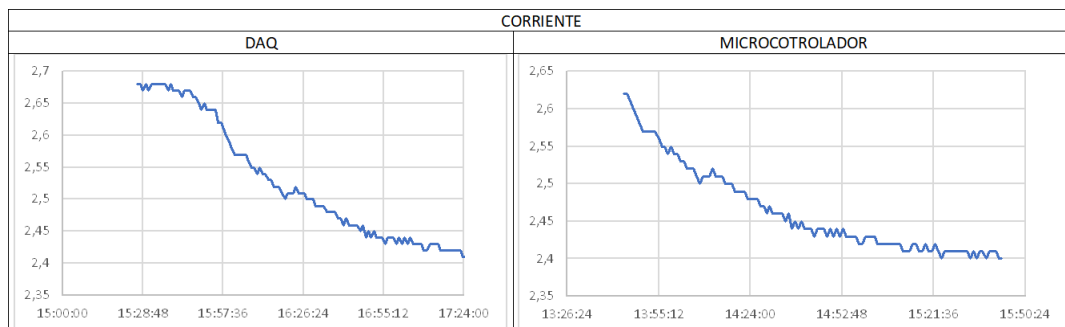


Nota: Gráfica de los datos obtenidos en el programa.

Por ultimo se realiza el análisis de las termocuplas, demostrando las temperaturas centradas en cada punto de medición, se analiza una de las cinco termocuplas por el mismo echo de tener casi el mismo proceder.

Figura 59

Gráfica de la corriente del condensador.

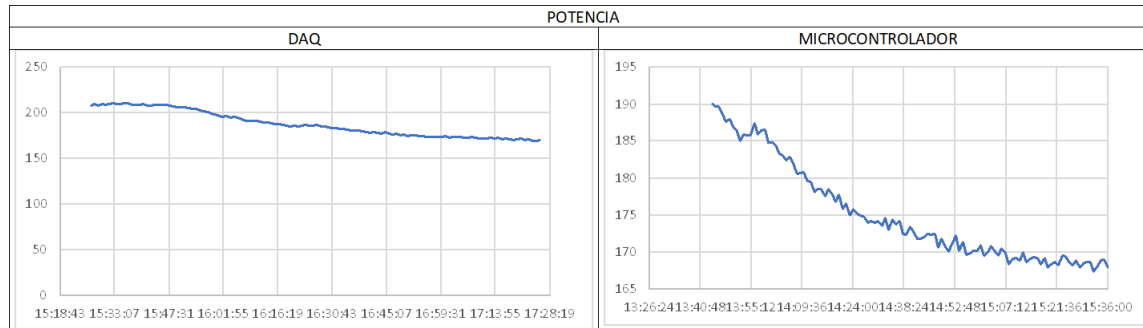


Nota: Gráfica de los datos obtenidos en el programa.

Se observa el cambio de la corriente que produce el condensador del electrodoméstico en las condiciones de un voltaje de 120V.

Figura 60

Gráfica de la potencia del condensador.



Nota: *Gráfica de los datos obtenidos en el programa.*

La gráfica demuestra el estado de potencia generado por el electrodoméstico.

8. Resultados

8.1. Parámetros Termodinámicos.

Como resultado se establece los parámetros termodinámicos que intervienen en la cámara. Estos parámetros fueron definidos a través de la Norma INEN, quienes son los encargados de definir las condiciones de los electrodomésticos antes de salir a la venta y para sus respectivos ensayos. Dando a conocer la temperatura y humedad ambiente de la cámara, por ende el estudio de las temperaturas generadas en cada punto específico en los productos de línea blanca con la utilización de las termocuplas. Además, se determinan las variables de voltaje, corriente y potencia del condensador de los mismos.

8.2. Diseño del Sistema de Monitoreo y Control

Como resultado tenemos el diseño del sistema. Este programa adquiere los datos provenientes de los dispositivos que se encargan de la medición de los parámetros ya establecidos. El microprocesador se encarga de recibir las señales provenientes de los sensores, el mismo que se encarga de traducirlas a valores que sean entendibles para los operarios. Ya obtenido los valores, mediante comunicación serial, se encarga de enviar los datos al programa de Interfaz

gráfico Labview.

Este programa recibe los valores, los acomoda en matrices y envía los valores correspondientes cada vez que el usuario lo solicite. Estos datos serán proyectados mediante una gráfica que permite analizar el comportamiento de las gráficas. Además, si se lo requiere, el operador puede guardar estos datos directamente en el computador en un archivo de formato Excel.

8.3. Funcionamiento y Análisis del Sistema de Monitoreo y Control.

Ya diseñado el sistema, se da una inicialización para comprobar las conexiones de los instrumentos de medición, por lo tanto se observa la ventana del programa indicando el menú de cada ítem propuesto como se puede observar en la figura 49, observando los valores reales de los datos propuestos al inicio con sus respectivas gráficas en función de tiempo.

En la ventana de cada termocupla en este caso en la figura 50 se observa dos gráficas, la de color rojo nos indica el comportamiento de la temperatura ambiente y la de color blanco indica el comportamiento de cada termocupla dependiendo en el lugar situadas. Con la misma ideología se observa el comportamiento de la corriente alterna en la figura 52 de un condensador, de esta forma podemos obtener la potencia que consume el mismo. Ya verificado el sistema existe un archivo Excel donde esta cargado de datos de cada instrumentos de medición, lo cual se comparo con otra tabla presentada por la empresa Datalights Cia. Ltda. Obteniendo resultado similares y dando a conocer que el sistema es factible en la empresa.

9. Conclusiones

9.1. Parámetros Termodinámicos.

En conclusión se obtuvieron los datos de las variables independientes, se realizo su respectivo estudio de cada uno de ellos, para poder entender como interactúan en la cámara y en el producto. Con dicha información podemos deducir los componentes o instrumentos de medidas y seguir con el siguiente paso.

9.2. Diseño del Sistema de Monitoreo y Control.

Como principal conclusión, se puede determinar que el sistema cumple con las expectativas planteadas. Realiza las mediciones sin perdidas de datos, tanto el funcionamiento como el manejo de la interfaz es de manera sencilla para el usuario e incluso para personal que sea

ajeno al uso de este tipo de programas. Se puede adquirir el sistema de forma inmediata y esta susceptible a cambios y modificaciones de acuerdo a las necesidades de la empresa.

9.3. Funcionamiento y Análisis del Sistema de Monitoreo y Control.

En la medición de los datos, se comprueba que el sistema funciona en óptimas condiciones. No se producen perdidas de datos. Además el sistema posee de advertencias si algún dispositivo se desconecta o deja de funcionar por diversos motivos. También se puede establecer rangos de medición, el sistema al ponerlo a prueba y sobrepasar números, cumple con la función de indicar al operador que los datos no son los adecuados cumpliendo con cada una de las especificaciones ya planteadas anteriormente.

Se analizo el resultado del sistema, el cual se crea datos reales de las variable mencionadas anteriormente, por lo cual fue comparadas con gráficas realizadas en base a los datos recibidos. Debemos tener en cuenta los datos obtenidos por la empresa de Datalights Cia. Ltda que nos sirvió para comparar nuestro datos, llegando a un proceso exitoso del sistema en consideración de ello.

10. Recomendaciones

Se recomienda implementar sistemas de control, ya que al realizar cambios bruscos, los parámetros dan resultados inesperados. Por esta razón, se sugiere un sistema de control de temperatura y humedad que disminuyen los tiempos de respuestas, el cual puede ser aplicado cuando sea necesario.

11. Referencias

Referencias

- Albornoz, M. (2014). Diseño de interfaz gráfica de usuario. *WICC 2014 XVI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*, 540-544.
- Aosong, E. (2021). Digital-output relative humidity temperature sensor/module [Manual de software informático]. Descargado 2022-07-10, de <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1132459/ETC2/DHT22.html>
- Arian S.A. (2010). Tablas de termocuplas y pt100. obtenido de: <http://www.arian.cl/downloads/nt-003.pdf>.
- Balboa, J. (2012). *Manual de instalaciones frigoríficas* (4.ª ed.). Cano Pina.
- Bustos, J. I. (2019). *Meteorología descriptiva* (1.ª ed.). Univesritaria de Santiago, en Chile.
- Cambronerero, M. E. (2017). *Modelado y análisis formal del protocolo de comunicación de sensores one wire* (Inf. Téc.). Universidad de Castilla-La Mancha. Descargado de <http://web.fdi.ucm.es/posgrado/conferencias/MariaEmiliaCambronerero2017-slides.pdf>
- Carrier. (2009). Manual de aire acondicionado “handbook of air conditioning system design” [Manual de software informático]. Marcombo S.A.
- Cengel, Y., y Boles, M. (2012). *Termodinámica*. (7.ª ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- Creus, A. (2005). *Instrumentación industrial* (7.ª ed.). Marcombo S.A.
- Dallas, S. (2021). Ds18b20 programmable resolution1-wire®digital thermometer [Manual de software informático]. Descargado 2022-07-10, de <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/58557/DALLAS/DS18B20.html>
- Day, M. M., y Carpi, A. (2003). “*temperatura*” *visionlearning vol. sci-1 (5)* (Inf. Téc.). VisionLearning.
- De Maquinas y Herramientas. (2014-2018). <http://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-manuales/que-es-la-espuma-de-poliuretano>.
- De-María, E., y Szklanny, F. (2011). Registrador continuo para medición de temperaturas utilizando protocolo 1-wire ®.
- Electronics, U. (2016). Sensor de corriente no invasivo 30a sct-013-030 [Manual de software informático]. Descargado 2022-07-10, de <https://uelectronics.com/producto/sensor-de-corriente-no-invasivo-30a-sct-013-030/>
- Fernández, J. R., Filio, L. M. C., Bezos, R., y Sánchez-Horneros. (2014). *Automatismos industriales*. Ediciones Paraninfo, SA.

- Floyd, T. L. (2007). *Principios de circuitos eléctricos* (OCTAVA EDICIÓN 2007 ed.). PEARSON Educación.
- Gaviño, R. H. (2010). *Introducción a los sistemas de control: conceptos, aplicaciones y simulación con matlab*. Pearson.
- Gomez, L. (2000). Diseño de interfaces de usuario principios, prototipos y heurísticas para evaluación.
- Grimm, N., y Rosaler, R. (1996). *Manual de diseño de calefacción, ventilación y aire acondicionado*. (Vol. 1). McGraw-Hill Interamericana.
- Gutierrez, M., y Iturralde, A. (2017). *Fundamentos básicos de instrumentación y control* (1.^a ed.). UPSE.
- Gómez, J. R. V. (2011). *Circuitos eléctricos y electrónicos. fundamentos y técnicas para su análisis*. PEARSON EDUCACIÓN.
- INEN, N. (2014). Aparatos domésticos de refrigeración - características y métodos de ensayo (iec 62552:2007, idt)” [Manual de software informático]. Inen.
- Instruments, N. (2022). <https://www.ni.com/es-cr/shop/labview.html>, 9 de Julio de 2022.
- Lara, M., y Gaspar, R. (2010). Termocuplas: una alternativa para la medición de temperaturas. *Revista de enseñanza de la física*, 4(1), 6–11.
- Martínez, A. T. (2018). *La humedad en la atmósfera bases físicas, instrumentos y aplicaciones*. Universidad de Colima.
- MathWorks. (1994-2022). https://la.mathworks.com/help/ident/index.html?s_tid=srchtitle;ident_1,29deJulio2022.
- Mora, J. F. (2012). Circuitos eléctricos. PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
- MPCControl. (2022). ¿qué es una cámara climática? <https://www.mpcontrol.es/definicion-camara-climatica/>. (Accedido el 21 julio de 2022)
- Nise, N. (2011). Control systems engineering. Daniel Sayre.
- Osorio, J., Pérez, J., y Rodríguez, M. (2010). Implementación de un sistema de adquisición de datos para monitorear una máquina de corriente directa. *Revista Tecnura*, 14(17), 60–68.
- Plaza, M. (2017). Comunicación serial: Conceptos generales (*Inf. Téc.*). Descargado de <https://docplayer.es/51725239-Comunicacion-serial-conceptos-generales.html>
- SAC, N. M. (2021). Sensor de corriente [Manual de software informático]. Descargado 2022-07-10, de https://naylorlampmechatronics.com/blog/51_tutorial-sensor-de-corriente-ac-no-invasivo-sct-013.html

STMicroelectronics. (2022). Micro-controladores [Manual de software informático]. Descargado 2022-07-10, de <https://www.st.com/en/evaluation-tools/nucleo-f401re.html>