



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CD. GUZMÁN
TITULACION INTENGRAL**

TESIS

TEMA:

**DISEÑO DE UN TRANSMISOR DE TEMPERATURA PARA
INVERNADEROS CON SALIDAS DE 4 -20 MA, 1-5 VCD
Y SALIDA INALÁMBRICA**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERÍO ELECTRÓNICA

PRESENTA:

OSORIO MENDOZA JHONATAN MOISES

ASESOR

M.I.P JOSÉ DE JESÚS GARCÍA CORTÉS

COASESOR

M.E.H. GUSTAVO CHÁVEZ ORENDAÍN

CD. GUZMÁN JALISCO, MÉXICO, DICIEMBRE DEL 2018

SEP

SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Cd. Guzmán

Cd. Guzmán, Municipio de Zapotlán el Grande, Jal. **7/Noviembre/2018**

ASUNTO: Liberación de Proyecto para Titulación Integral.

M.C. FAVIO REY LUIA MADRIGAL
JEFE DE LA DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES
PRESENTE

Por este medio le informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la Titulación Integral:

Nombre del Egresado:	OSORIO MENDOZA JHONATAN MOISÉS
Carrera:	INGENIERIA ELECTRONICA
No. De Control:	11290384
Nombre del Proyecto:	DISEÑO DE UN TRANSMISOR DE TEMPERATURA PARA INVERNADERO CON SALIDAS DE 4-20 MA, 1-5 VCD Y SALIDA INALÁMBRICA.
Producto:	TITULACIÓN INTEGRAL.

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE

M.E.H. MARCO ANTONIO SOSA LÓPEZ
JEFE DEL DEPTO. ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

M.I.P. JOSE DE JESUS GARCIA CORTES ASESOR	M.E.H. GUSTAVO CHAVEZ ORENDAIN REVISOR	M.E.H. MARCO ANTONIO SOSA LOPEZ REVISOR



S.E.P. TecNM
INSTITUTO TECNOLÓGICO
DE CD. GUZMÁN
DEPTO. ELÉCTRICA Y
ELECTRÓNICA

Av. Tecnológico No. 100 C.P. 49100 A.P. 150
Cd. Guzmán, Jal. Tel. Coordinador 33413 5 75 20 50
www.itcg.edu.mx

Recibí carta de liberación
Jhonatan Moises Osorio Mendocca,
20/11/2018

C.p.expediente
DLAS/MASL/adc



DEDICATORIA

A mi madre, la Sra. Delia Mendoza Arias por su apoyo incondicional y su constante desvelo para asegurarse de que tuviera todo lo necesario para salir adelante y por su confianza en mí

A mi padre, el Sr. José Trinidad Osorio Vizcaíno por su carisma y comprensión, por brindarme consejos para lograr mis metas y objetivos en la vida

A mis profesores por mantenerme en el camino correcto durante mis investigaciones, por su ejemplo y por su asesoría durante momentos criticos

Agradecimientos

Al maestro M.I.P Jose de Jesus Garcia Cortes por compartirme su conocimiento y el apoyo brindado durante el presente trabajo, por guiarme y capacitarme en cada dificultad presentada. Pero mas que nada por se una gran persona

Al maestro M.E.H. Gustavo Chávez Orendaín por su ayuda, apoyo y consejos para la terminación del presente trabajo. Por su asesoría y por sus conocimientos transmitidos, los cuales me han servido para concretar este proyecto

A mis compañeros de maestria por su apoyo y consejos para la terminación del presente trabajo.

Al Instituto Tecnológico de CD. Guzman por sus servicios que me han servido para mi formación academica desde la ingeniería

A mi familia por su apoyo incondicional, ya que gracias a ellos eh podido alcanzar una meta mas en mi vida

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO 1	1
1.1. PRESENTACIÓN.....	2
1.2. OBJETIVO GENERAL	3
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.4. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	4
1.5. JUSTIFICACIÓN	4
1.6. HIPÓTESIS.....	5
1.7. METAS.....	5
1.8. CONTRIBUCIÓN DEL TRABAJO A LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.....	5
1.9. PRINCIPALES RESULTADOS	5
1.10. ORGANIZACIÓN DE LA TESIS.....	6
CAPITULO 2	7
2.1. DEFINICIÓN DE TEMPERATURA	8
2.1.1 SENSOR DE TEMPERATURA.....	9
2.2. INVERNADERO.....	12
2.3. VENTILACIÓN	13
2.3.1 VENTILACIÓN NATURAL O PASIVA.....	14
2.3.2 VENTILACIÓN MECÁNICA O FORZADA	14
2.4. CONDICIONES A MANTENER EN UN INVERNADERO	15
2.4.1 CONTROL CLIMÁTICO EN INVERNADEROS.....	16
2.4.2 PARÁMETROS PARA EL CONTROL CLIMÁTICO	16
2.5. TEMPERATURA DE INVERNADERO.....	17
2.6. CLIMATIZACIÓN DE INVERNADEROS EN PERÍODOS CÁLIDOS	18
2.6.1 SISTEMAS INTEGRALES DE CONTROL CLIMÁTICO	19
2.7. SENSORES RTD (PT100).....	20
2.7.1 PRECISIÓN DE LOS SENSORES PT100.....	21
2.7.2 RTD.....	21
2.7.3 ELEMENTO RTD	21
2.7.4 SONDA DE TEMPERATURA PT100.....	22
2.7.5 SENSORES RTD DE PLATINO.....	22

2.8.	CABLE DUPONT	23
2.9.	SISTEMAS DE CONTROL	23
2.10.	TRANSMISOR DE TEMPERATURA	24
2.11.	CONTROLADORES PID	25
2.11.1	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)	26
2.12.	VARIADOR DE VELOCIDAD.....	26
2.13.	VENTILADORES DE RECIRCULACIÓN.....	30
2.13.1	ANEMÓMETRO	33
2.14.	CALIBRADOR DE LAZO FLUKE 707	36
2.15.	PLACA ARDUINO.....	37
2.15.1	MICROCONTROLADORES.....	38
2.15.2	TERMINALES DIGITALES.....	39
2.15.3	TERMINALES ANALÓGICOS.....	40
2.15.4	TERMINALES DE ALIMENTACIÓN	40
2.15.5	OTROS PINES.....	41
2.15.6	SELECCIÓN DEL CONTROLADOR.....	41
2.16.	CABLE DE CONTROL BLINDADO CALIBRE 18X3.....	42
2.16.1	VENTAJAS.....	43
2.17.	Conector rápido.....	43
2.18.	PROTOCOLO 1- WIRE.....	44
CAPITULO 3	46
3.1.	CONTROLADORES DE AUTOMATIZACIÓN PROGRAMABLES (PACS)	47
3.2.	PLCS Y PACS, LA EVOLUCIÓN DE LOS CONTROLADORES.....	49
3.3.	EL MEJOR EN EL PROCESO	50
3.4.	LOS PACS	52
3.5.	VENTAJAS.....	53
3.6.	ANEMÓMETRO ULTRASÓNICO WP	53
3.7.	REGISTRADOR DE DATOS UNIVERSAL DE LA UCD	54
3.8.	CLARIO.....	55
3.9.	SENSOR PARA MEDIR LA TEMPERATURA DE SUELO	57
3.10.	DATA LOGGER WIFI PARA TEMPERATURA Y HUMEDAD.....	58

3.11.	TERMÓMETRO RTD DIGITAL CON CARCASA DE CARCASA DE ACERO INOXIDABLE 316.....	61
3.12.	TRANSMISORES COMPACTOS DE TEMPERATURA SIN-CONTACTO	63
3.13.	SENSOR DE TEMPERATURA POR INFRARROJOS CONFIGURABLE POR PC.....	65
CAPITULO 4		68
4.1.	ARQUITECTURA DE CONTROL	69
4.1.1	LAY OUT DEL GABINETE DEL TRANSMISOR INALÁMBRICO DE TEMPERATURA.....	70
4.1.2	LAY OUT DEL TRANSMISOR INALAMBRICO DE TEMPERATURA	71
4.1.3	CONEXIÓN DEL MÓDULO LCD AL ARDUINO UNO	72
4.2.	CONSTRUCCIÓN Y CONEXIONADO DEL RECEPTOR.....	74
4.3.	CÓDIGO MEJORADO DEL TRANSMISOR.....	75
4.4.	PROGRAMA PARA OBTENCIÓN DE LAS DIRECCIONES DE LOS SENSORES DE TEMPERATURA DS18B20.....	75
4.5.	MOTOR TRIFÁSICO DE INDUCCIÓN ABIERTO.....	91
4.6.	PRUEBAS AL VENTILADOR.....	95
4.7.	OBTENCION DE LA FUNCION DE TRANSFERENCIA	97
CAPITULO 5		100
5.1.	TEMPERATURAS INTERIOR Y EXTERIOR DE INVERNADERO.....	101
5.2.	CARACTERIZACIÓN DE LA TEMPERATURA.....	102
5.3.	DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA REALIZADO EN RSLOGIX 500 PARA EL CONTROL PID AUTOMÁTICO DEL VENTILADOR	103
5.4.	DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA REALIZADO EN RSLOGIX 500 PARA EL CONTROL PID MANUAL DEL VENTILADOR.....	105
5.5.	PRUEBAS DE SALIDA VOLTAJE DEL TRANSMISOR.....	108
CAPITULO 6		110
6.1.	OBSERVACIONES.....	111
6.2.	RECOMENDACIONES	112
6.3.	TRABAJOS FUTUROS.....	114
6.4.	CONCLUSIÓN GENERAL	115
BIBLIOGRAFIA.....		117
GLOSARIO.....		120

ANEXOS	126
ANEXO A: HOJA DE DATOS CABLE DE CONTROL BLINDADO 3X18	127
ANEXO B: LAYOUT GABINETE PLC MICROLOGIX 1100 ALLEN BRADLEY.....	128
ANEXO C: CONFIGURACIÓN BÁSICA DE PLC ALLEN BRADLEY MICROLOGIX 1100.....	129
ANEXO D: PROCESO GENERAL DE IDENTIFICACIÓN DE NÚMERO DE PARTES DE MÓDULO DE PLC ALLEN BRADLEY MICROLOGIX 1100	135
ANEXO E: INSTALACIÓN DE VENTILADOR TUBULAR	136
ANEXO F: LAZO DE CONTROL.....	140
ANEXO G: CÓDIGO DEL TRANSMISOR	141
ANEXO H: CÓDIGO RECEPTOR	145
ANEXO I: CODIGO MEJORADO DEL TRANSMISOR	149
ANEXO J: ELABORACIÓN DE UNA RED DE SENSORES	153

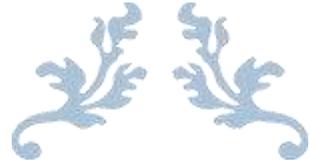
ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.	Equilibrio térmico.....	8
Figura 2.2.	Sensor de Temperatura DS18B20.....	10
Figura 2.3.	Sensor de Temperatura One Wire.....	11
Figura 2.4.	Invernadero del Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán.....	12
Figura 2.5.	Recirculación de aire en invernadero.....	13
Figura 2.6.	Pt-100.....	20
Figura 2.7.	Cable Dupont macho-macho.....	23
Figura 2.8.	Sistema de control de lazo.....	24
Figura 2.9.	Sistema de control retroalimentado.....	24
Figura 2.10.	Diagrama a bloques PID.....	25
Figura 2.11.	Controlador Lógico Programable Micrologix 1100.....	26
Figura 2.12.	Elementos constitutivos de un variador de velocidad.....	27
Figura 2.13.	Modulación PWM.....	28
Figura 2.14.	Variador de velocidad General Electric AF-60 LP.....	29
Figura 2.15.	Ubicación final de variador de velocidad.....	29
Figura 2.16.	Especificaciones técnicas de un ventilador tubular recirculador de aire.....	31
Figura 2.17.	Dimensionamiento de un ventilador recirculador de aire.....	31
Figura 2.18.	Ventilador tubular de aire para invernadero del Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán.....	32
Figura 2.19.	Anemómetro Digital Benetech Gm 8902.....	34
Figura 2.20.	Calibrador de lazos Fluke 707.....	37
Figura 2.21.	Microcontrolador Arduino Uno.....	38
Figura 2.22.	Terminales digitales en placas ARDUINO.....	39
Figura 2.23.	Cable de control blindado calibre 18 tres conductores.....	43
Figura 2.24.	Conector rápido.....	44
Figura 2.25.	Transferencia de datos en un bus de comunicación One-Wire.....	45
Figura 3.1.	Controlador de Automatización Programable.....	48
Figura 3.2.	PAC XP-8000.....	50
Figura 3.3.	Anemómetro Ultrasónico WP.....	53
Figura 3.4.	Clario.....	55
Figura 3.5.	Data logger wifi para temperatura y humedad.....	59
Figura 3.6.	Termómetro RTD digital con carcasa resistente.....	61
Figura 3.7.	Transmisores compactos de temperatura sin-contacto.....	64
Figura 3.8.	Sensor de temperatura por infrarrojos configurable por PC.....	66
Figura 4.1.	Arquitectura de control.....	69
Figura 4.2.	Medidas del Invernadero del Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán.....	70
Figura 4.3.	Prototipado del emisor.....	70

Figura 4.4.	Diseño del transmisor inalámbrico.	71
Figura 4.5.	Diseño Receptor Inalámbrico.	74
Figura 4.6.	Programa para obtención de direcciones de los sensores DS18B20.	76
Figura 4.7.	Obtención de dirección del sensor DS18B20.	76
Figura 4.8.	Circuito para pruebas a sensores DS18B20.	77
Figura 4.9.	Medición de temperatura con RTD a temperatura ambiente.	79
Figura 4.10.	Medición de temperatura con RTD a temperatura bajo cero.	81
Figura 4.11.	Visión general del lazo en lecturas de temperaturas bajo cero.	81
Figura 4.12.	Despliegue de temperatura del sensor DS18B20 correspondiente al Número 5 de la red de sensores a temperatura ambiente.	82
Figura 4.13.	Despliegue de temperaturas del sensor DS18B20 correspondiente al número Uno de la red de sensores a temperatura bajo cero.	83
Figura 4.14.	Cableado de PLC.	89
Figura 4.15.	Conexión Final del PLC.	90
Figura 4.16.	Conexiones bajo y alto voltaje de Motor Trifásico de Inducción Abierto.	91
Figura 4.17.	Motor Trifásico de Inducción Abierto Siemens.	92
Figura 4.18.	Programación de Variador de Velocidad General Electric.	92
Figura 4.19.	Conexión Variador de velocidad – Ventilador Tubular.	93
Figura 4.20.	Medición de velocidad y flujo del viento.	94
Figura 4.21.	Resultado de medición de flujo del viento.	94
Figura 4.22.	Circuito de prueba para identificación de dirección de Sensor DS18B20.	95
Figura 4.23.	Mejora en el conexionado de transmisor – receptor.	95
Figura 4.24.	Construcción y Diseño de Emisor.	96
Figura 4.25.	Construcción y diseño de Receptor.	96
Figura 4.26.	Humidificador de Invernadero.	97
Figura 4.27.	Descenso de temperatura	98
Figura 4.28.	Grafica P1 elegida.	98
Figura 4.29.	Primer Método para obtención de función de transferencia	99
Figura 4.30.	Segundo método para modelo de la función de transferencia.	99
Figura 5.1.	Temperaturas exterior e interior del invernadero.	101
Figura 5.2.	Caracterización de la temperatura dentro de el Invernadero.	102
Figura 5.3.	Control PID para Ventilador Automático.	104
Figura 5.4.	Control PID para Ventilador Manual.	107
Figura 5.5.	Set Point del Ventilador para el Control de Temperatura.	107
Figura 5.6.	Comprobación de tensión en salida de transmisor en operación. ...	108
Figura 5.7.	Envío de promedio de temperatura por Transmisor Inalámbrico. ...	108
Figura 5.8.	Recepción de temperatura mediante la caja receptora.	109
Figura 5.9.	Pruebas control PID del ventilador.	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I.	Exigencia de temperatura para distintas especies.	17
Tabla II.	Elemento de intercambiabilidad Pt100 en °C.	22
Tabla III.	Escala de velocidades de viento.	35
Tabla IV.	Características de los microcontroladores Atmega168 y Atmega8. ...	39
Tabla V.	Características y modelos de placas ARDUINO.	41
Tabla VI.	Características del controlador Arduino UNO.....	42
Tabla VII.	Conexiones de pines del módulo NRF24L01 y Arduino.	72
Tabla VIII.	Conexión de pines del módulo LCD y Arduino.	73
Tabla IX.	Calibración de sensores a temperatura ambiente.	78
Tabla X.	Calibración de sensores a temperatura bajo cero.	80
Tabla XI.	Obtención de las direcciones de los sensores DS18B20.	84
Tabla XII.	Máximos y Mínimos de Modulo Analógico E/S.....	85
Tabla XIII.	Máximos y Mínimos de Modulo Analógico Entradas.	85
Tabla XIV.	Número de Partes del PLC Allen Bradley Micrologix 1100.	86
Tabla XV.	Corrientes, cuentas y frecuencias.	87
Tabla XVI.	Linealización MOTOR PID.	87
Tabla XVII.	Conexiones del Módulo 1 y 2 del PLC.	88
Tabla XVIII.	Cuentas para modulo mixto de entradas 1762-IF20F2 utilizando voltaje.	89



CAPITULO 1



1.1. PRESENTACIÓN

En la actualidad, la agricultura tiende a ser cada vez más productiva debido a exigencias de calidad, cantidad y precio. El crecimiento del cultivo se considera el aspecto más crítico y clave en el cultivo bajo ambiente invernadero, donde se determinará la calidad y cantidad de la producción, siendo así necesario realizar los mayores esfuerzos en esta etapa, a fin de mejorar tanto la cantidad como la calidad. Debido a que el crecimiento de un cultivo se encuentra fundamentalmente determinado por las variables climáticas del entorno en el que se encuentra, por el adecuado suministro de agua y nutrientes y por el control oportuno de plagas y enfermedades, controlando estas variables se podrá controlar en gran medida su crecimiento. Por esta razón, un invernadero es ideal para cultivar, pues se pueden manejar estas variables para alcanzar un crecimiento y desarrollo óptimo de las plantas.

Con este proyecto se pretende el desarrollo de un sistema de control inteligente de temperatura de un invernadero. El control de temperatura que se requiere controlar es el del clima para un cultivo de jitomate bajo ambiente invernadero. El invernadero y su sistema de climatización se encuentran localizados dentro de las instalaciones del Instituto Tecnológico de Cd. Guzmán (ITCG). El control se llevará a cabo utilizando control lógico-difuso utilizando el software Matlab Simulink.

Para el desarrollo de este proyecto y la evaluación de los controladores PID clásico y PD+I Fuzzy se utilizará un sensor de temperatura DS18B20 (one wire) , un ventiladores de ½ HP (con resistencia eléctrica), un variador de velocidad de 2 HP, un Controlador Lógico Programable (PLC) MicroLogix1100, construcción y diseño un emisor y receptor de datos, un motor, un gabinete para PLC, un carrete de cable calibre 18 par torcido blindado para instrumentación (300 mts.),32 sensores de temperatura DS18B20 y los Software: MATLAB-Simulink, Fuzzy Logic Toolkit de LabView, RsLogix500, RsView 32 de Rockwell Automation, Aurora HMI Scada, Ansys.

En este proyecto se propone implementar un control por lógica difusa y caracterizar su respuesta, de tal manera que esto beneficie a la calidad del proceso de producción del invernadero. Las condiciones climáticas que se viven en Ciudad Guzmán, Jalisco impiden encontrar un clima estable, por ello y debido a la falta de implementación de tecnología y a otros factores, la agroindustria ha tenido problemas para el desarrollo y producción de cultivos. La producción bajo ambiente invernadero es un tipo de tecnología sustentable combinado con la implementación de la automatización de estos, el control de la temperatura, favorecen el establecer las condiciones necesarias, así como rentabilidad de producción.

El objetivo principal de este trabajo es el diseño de un sistema que permita controlar la temperatura en un invernadero a partir de la recirculación del aire como única variable de control y teniendo en cuenta posibles perturbaciones que puedan afectar al sistema tales como; la radiación solar, la velocidad del viento, la temperatura exterior o la humedad absoluta exterior. Para llevar a cabo esta tarea es necesario conllevar una serie de objetivos secundarios: (i) Elaboración de modelos que describan correctamente las relaciones entre las variables de salida (temperatura y humedad en el invernadero) y la de entrada (ventilación), (ii) análisis de la interacción entre variables y selección de las estructuras de control apropiadas y (iii) diseño e implementación de un sistema de control a partir de los modelos obtenidos, que permita controlar correctamente las salidas del sistema evitando, en la medida de lo posible, las perturbaciones que puedan afectar al invernadero y las interacciones entre las variables.

1.2. OBJETIVO GENERAL

Controlar la variable temperatura mediante control PID optimizando dicho control con el uso de un ventilador, transmitiendo información relevante a un usuario final.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Caracterizar el proceso.
- ✓ Diseñar red de sensores de temperatura
- ✓ Diseñar transmisor de temperatura
- ✓ Diseñar receptor de temperatura
- ✓ Diseñar arquitectura de control
- ✓ Diseñar lazo de control de temperatura
- ✓ Elaborar programa del PLC
- ✓ Diseñar diagrama conexiones del PLC.
- ✓ Obtener el modelo matemático de la planta.

1.4. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En las instalaciones del Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán se encuentra instalado un invernadero para la producción de distintos tipos de plantas, actualmente no se cuenta con algún control para la variable temperatura, tampoco se cuenta con algún actuador para el recambio de aire.

1.5. JUSTIFICACIÓN

Existe la necesidad de implementar un control de temperatura, debido a que ya hay plantas en el invernadero las cuales necesitan estar en sus condiciones óptimas climáticas para su desarrollo y crecimiento. También se necesita contar con ventiladores distribuidos en el interior del invernadero para así contar con un recambio de aire dentro del mismo.

1.6. HIPÓTESIS

Con el desarrollo de un invernadero automatizado e implementación de un ventilador colocado estratégicamente se podría obtener un clima más controlado, mejorando de esta manera la calidad del producto y bajar costos - tiempo de producción. La tecnología inalámbrica empleada responde al crecimiento de dicha forma de comunicación, el intercambio de datos mediante radiofrecuencia facilitará al usuario el intercambio de datos.

1.7. METAS

- Obtener el modelo matemático de la planta
- Diseñar una red de 32 sensores de temperatura
- Caracterizar el proceso para el control de temperatura

1.8. CONTRIBUCIÓN DEL TRABAJO A LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

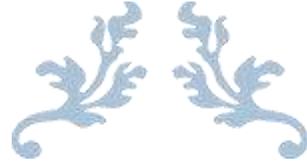
El automatizar el invernadero permitirá monitorear y controlar la variable temperatura, mejorando el desarrollo de las plantas y la calidad del producto que se coseche.

1.9. PRINCIPALES RESULTADOS

- Monitoreo de una red de sensores de temperatura
- Modelo matemático del comportamiento de la variable temperatura
- Calibración de sensores
- Elaboración de transmisor de temperatura
- Elaboración de receptor de temperatura

1.10. ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

- En el capítulo I, se realiza el protocolo de investigación del proyecto, se plantean objetivos, metas, hipótesis, así como los principales resultados a obtener.
- Para el capítulo II, se describen materiales y métodos usados en el desarrollo de la tesis, se muestra información de PLC, Ventilador, sensores DS18B20.
- En el capítulo III, se versa sobre el estado del arte, se presenta lo existente en el mercado en tecnología para el control de la variable temperatura, así como características de los equipos.
- En el capítulo IV, se realizan pruebas para transmisor y receptor inalámbricos, red de sensores, control de temperatura, programaciones de equipos, interfaces de comunicación, simulaciones en LabView.
- En el capítulo V, se menciona un análisis de resultados obtenidos.
- Finalmente, en el capítulo VI se redactan las conclusiones de este trabajo de investigación.



CAPITULO 2



1.1. DEFINICIÓN DE TEMPERATURA

Aun cuando estamos familiarizados con la temperatura como una medida del “calor” y el “frio”, no es fácil ofrecer una definición exacta de este concepto. Con base en nuestras sensaciones fisiológicas, se expresa el nivel de temperatura de modo cualitativo con palabras como *frio helador*, *frio*, *tibio*, *caliente* y *al rojo vivo*; sin embargo, no es posible asignar valores numéricos a temperaturas basadas únicamente en las sensaciones. Además, en ocasiones los sentidos engañan. Una silla metálica, por ejemplo, se sentirá mucho más fría que una silla de madera aun cuando ambas estén a la misma temperatura.

Por fortuna, varias propiedades de los materiales cambian con la temperatura de una manera *repetible* y *predecible*, y esto establece una base para la medición precisa de la temperatura. Por ejemplo, el termómetro de mercurio utilizado comúnmente se rige por la expansión del mercurio con la temperatura. Esta se mide también por medio de otras propiedades dependientes de ella.

Una experiencia común es que una taza de café caliente colocada sobre una mesa se enfríe con el tiempo, y que una bebida fría se entibie en algún momento. Cuando un cuerpo se pone en contacto con otro que está a una temperatura diferente, el calor se transfiere del que está caliente al frio hasta que ambos alcanzan la misma temperatura. En la figura 2.1 podemos encontrar una relación dada entre la temperatura y el tiempo.

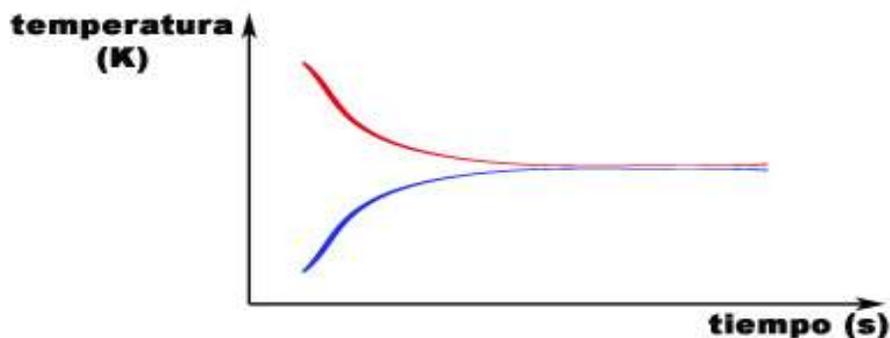


Figura 2.1. Equilibrio térmico.

En ese punto se detiene la transferencia de calor y se dice que los dos cuerpos han alcanzado el **equilibrio térmico**. Para el cual el único requerimiento es la igualdad de temperatura.

Estas escalas permiten usar una base común para las mediciones de temperatura. A través de la historia se han introducido varias y todas se basan en ciertos estados fácilmente reproducibles como los puntos de congelación y ebullición del agua, llamados también *punto de hielo* y *punto de vapor*, respectivamente. Una mezcla de hielo y agua que está en equilibrio con aire saturado con vapor a 1 atm de presión está en el punto de hielo, mientras que una mezcla de agua líquida y vapor de agua (sin aire) en equilibrio a 1 atm de presión se encuentra en el punto de vapor.

Las escalas de temperatura usadas actualmente en el SI y en el sistema inglés son la **escala Celsius** (antes llamada escala centígrada; en 1948 se le cambió el nombre en honor de quien la diseñó, el astrónomo sueco A. Celsius, 1702-1744) y la **escala Fahrenheit** (en honor al fabricante de instrumentos alemán G. Fahrenheit, 1686-1736), respectivamente. En la primera a los puntos de hielo y de vapor se les asignaron originalmente los valores de 0 y 100 °C, respectivamente. Los valores correspondientes en la segunda son 32 y 212 °F. Ambas se conocen comúnmente como escalas de dos puntos dado que los valores de temperatura se asignan en dos puntos distintos.

2.1.1 SENSOR DE TEMPERATURA

Los sensores de temperatura son dispositivos que transforman los cambios de temperatura en cambios en señales eléctricas que son procesados por equipo eléctrico o electrónico. Hay tres tipos de sensores de temperatura, los termistores, los RTD y los termopares.

El sensor de temperatura, típicamente suele estar formado por el elemento sensor, de cualquiera de los tipos anteriores, la vaina que lo envuelve y que está

rellena de un material muy conductor de la temperatura, para que los cambios se transmitan rápidamente al elemento sensor y del cable al que se conectarán el equipo electrónico.



Figura 2.2. Sensor de Temperatura DS18B20.

El sensor de temperatura DS18B20 es un dispositivo que se comunica de forma digital. Cuenta con tres terminales, los dos de alimentación y el pin “data”.

Con Arduino podemos “leer” la temperatura que registra este sensor que posee una característica muy peculiar. Utiliza la comunicación OneWire, la cual es un poco complicada para los que no tienen mucha experiencia en el área de electrónica digital.

Básicamente se trata de un protocolo especial que permite enviar y recibir datos utilizando un solo cable, a diferencia de la mayoría de los protocolos que requiere dos vías. De hecho, Arduino posee los pines RX y TX que son los encargados de enviar y recibir información.

Para muchas personas que intenten aprender a utilizar el sensor DS18B20 probablemente sea un poco difícil encontrar información precisa y concisa, debido a que se habla mucho de este protocolo de comunicación de un solo cable y los códigos de ejemplo normalmente están “ahogados” entre los párrafos que tratan de explicar al usuario una serie de conceptos que para nuestros propósitos no tienen relevancia.

Es un termómetro digital de alta precisión, entre 9 y 12 bits de temperatura en grados Celsius (el usuario puede escoger la precisión deseada).

Su temperatura operativa se encuentra entre -50 y 125 grados Celsius. La precisión, en el rango comprendido entre -10 y 85 grados es de ± 0.5 grados.

Su precio es económico, su interfaz de funcionamiento es sencilla y su uso es muy provechoso para proyectos que requieran mediciones precisas y confiables.

Se puede escoger entre el modelo sumergible y los modelos para uso en placas de circuitos.

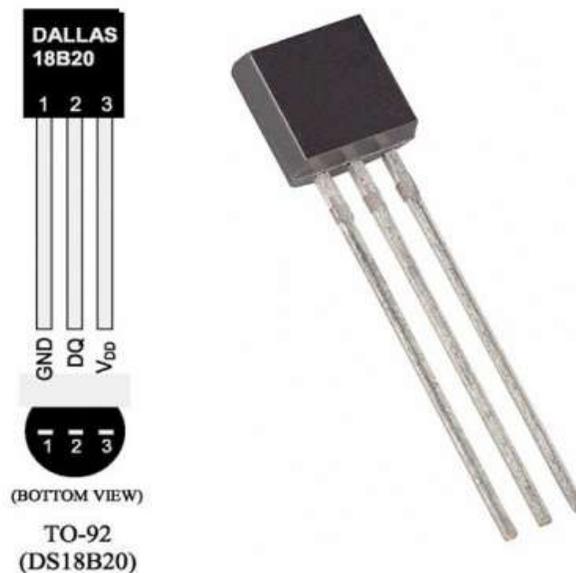


Figura 2.3. Sensor de Temperatura One Wire.

2.2. INVERNADERO

Un invernadero (o invernáculo) es un lugar cerrado, estático y accesible a pie, que se destina a la producción de cultivos, dotado habitualmente de una cubierta exterior translúcida de vidrio o plástico, que permite el control de la temperatura, la humedad y otros factores ambientales para favorecer el desarrollo de las plantas.

Es una construcción agrícola de estructura metálica, usada para el cultivo y/o protección de plantas, con cubierta de película plástica traslúcida que no permite el paso de la lluvia al interior y que tiene por objetivo reproducir o simular las condiciones climáticas más adecuadas para el crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas establecidas en su interior, con cierta independencia del medio exterior y cuyas dimensiones posibilitan el trabajo de las personas en el interior. Los invernaderos pueden contar con un cerramiento total de plástico en la parte superior y malla en los laterales. En el Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán el invernadero con el que se cuenta es de tipo diente de sierra, en la Figura 2.4 se visualiza el exterior del mismo.

Norma Mexicana para el Diseño y Construcción de Invernaderos. (NMX-E-255-CNCP-2008)



Figura 2.4. Invernadero del Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán.

Clasificación de los Invernaderos:

Clase A: Estructuras de **Invernaderos** unitarios o en batería.

Clase B: Estructuras tipo Casa-Sombra y Macro túneles.

En ambos tipos el período mínimo de vida útil de la estructura es de 10 Años.

2.3. VENTILACIÓN

Para que se dé una ventilación efectiva, es recomendable que el área de ventilas sea aproximadamente igual del 15% al 30% del área del piso ocupado por la nave de invernadero. El nivel de enfriamiento es mejorado cuando las cortinas de las paredes laterales son incluidas en el área total de ventilación. El objetivo es recircular el aire dentro del invernadero con una ventilación muy cercana a la mostrada en la Figura 2.5 que versa sobre la recirculación del aire en ambiente bajo invernadero.



Figura 2.5. Recirculación de aire en invernadero.

La ventilación consiste en la renovación del aire dentro del recinto del invernadero. Al renovar el aire se actúa sobre la temperatura, la humedad, el contenido en CO₂ y el oxígeno que hay en el interior del invernadero. La ventilación puede hacerse de una forma natural o forzada.

2.3.1 VENTILACIÓN NATURAL O PASIVA

Se basa en la disposición, en las paredes y en el techo del invernadero, de un sistema de ventanas que permiten la aparición de una serie de corrientes de aire que contribuyen a disminuir las temperaturas elevadas y a reducir el nivel higrométrico.

Las ventanas pueden ser cenitales si se disponen en la techumbre o laterales si están colocadas sobre las paredes laterales del invernadero. Se admite que una ventana cenital de una determinada superficie resulta a efectos de aireación hasta ocho veces más efectiva que otra situada lateralmente de igual superficie. Normalmente las ventanas deben ocupar entre un 18 y 22% de la superficie de los invernaderos, teniendo en cuenta que con anchuras superiores a los 20 m. será imprescindible disponer de ventilación cenital que mejore la aireación lateral.

La apertura y cierre de las ventanas suele hacerse mecánicamente a través de un sistema de cremalleras, accionado eléctricamente por un termostato, aunque también puede hacerse manualmente.

2.3.2 VENTILACIÓN MECÁNICA O FORZADA

Los sistemas de ventilación forzada consisten en establecer una corriente de aire mediante ventiladores extractores, en la que se extrae aire caliente del invernadero, y el volumen extraído es ocupado inmediatamente por aire de la atmósfera exterior. Con este sistema solamente se puede conseguir una temperatura idéntica a la del exterior, pero su control es más preciso que el que se logra con la ventilación pasiva.

2.4. CONDICIONES A MANTENER EN UN INVERNADERO

Una característica esencial de un invernadero va en función del clima de la zona para generar el diseño sin olvidar la orientación de este buscando que sea maleable, económico y que sostenga al cultivo con el equipo necesario para satisfacer las necesidades fisiológicas como:

- Agua: Elemento cuya función es controlar la temperatura de la planta y movilizar los nutrientes que implica.
- Humedad relativa: factor esencial para el control de temperaturas.
- Temperatura: Factor que incide en el desarrollo eficiente de la planta en cada uno de sus etapas para controlarla.
- Ventilación: Es la renovación del aire dentro del invernadero con la finalidad de aportar CO₂ necesario para el desarrollo de los cultivos y disminuir la temperatura interna.
- Colocar ventilas, existiendo 3 posibilidades de hacerlo
- En la parte alta del invernadero (ventilas cenitales).
- En los costados (ventilas laterales).
- En la parte alta de los frentes y posteriores o (ventilas frontales). Las ventilas deben de protegerse con malla anti-áfidos para impedir el paso de insectos y aves.

Las ventajas de la circulación del aire son:

- La temperatura del invernadero se homogeniza.
- La condensación de humedad se reduce.
- Bajo costo inicial y de operación.
- La utilización del CO₂. (Bióxido de Carbono) se mejora.

2.4.1 CONTROL CLIMÁTICO EN INVERNADEROS

El cultivo bajo invernadero siempre ha permitido obtener producciones de primor, de calidad y mayores rendimientos, en cualquier momento del año, a la vez que permiten alargar el ciclo de cultivo, permitiendo producir en las épocas del año más difíciles y obteniéndose mejores precios. Este incremento del valor de los productos permite que el agricultor pueda invertir tecnológicamente en su explotación mejorando la estructura del invernadero, los sistemas de riego localizado, los sistemas de gestión del clima, etc., que se reflejan posteriormente en una mejora de los rendimientos y de la calidad del producto final.

En los últimos años son muchos los agricultores que han iniciado la instalación de artilugios que permiten la automatización de la apertura de las ventilaciones, radiómetros que indican el grado de luminosidad en el interior del invernadero, instalación de equipos de calefacción, etc. Por ello en el presente documento se exponen aquellos parámetros más relevantes que intervienen en el control climático de los invernaderos, así como una breve descripción de los sistemas para la gestión del clima que se pueden encontrar actualmente.

2.4.2 PARÁMETROS PARA EL CONTROL CLIMÁTICO

El desarrollo de los cultivos, en sus diferentes fases de crecimiento, está condicionado por cuatro factores ambientales o climáticos: temperatura, humedad relativa, luz y CO₂. Para que las plantas puedan realizar sus funciones es necesaria la conjunción de estos factores dentro de unos límites mínimos y máximos, fuera de los cuales las plantas cesan su metabolismo, pudiendo llegar a la muerte.

2.5. TEMPERATURA DE INVERNADERO

Este es el parámetro más importante a tener en cuenta en el manejo del ambiente dentro de un invernadero, ya que es el que más influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Normalmente la temperatura óptima para las plantas se encuentra entre los 10 y 20° C.

Para el manejo de la temperatura es importante conocer las necesidades y limitaciones de la especie cultivada. Así mismo se deben aclarar los siguientes conceptos de temperaturas, que indican los valores objetivo a tener en cuenta para el buen funcionamiento del cultivo y sus limitaciones:

Temperatura mínima letal. Aquella por debajo de la cual se producen daños en la planta.

Temperaturas máximas y mínimas biológicas. Indican valores, por encima o por debajo respectivamente del cual, no es posible que la planta alcance una determinada fase vegetativa, como floración, fructificación, etc.

Temperaturas nocturnas y diurnas. Indican los valores aconsejados para un correcto desarrollo de la planta.

Tabla I. Exigencia de temperatura para distintas especies.

	TOMATE	PIMIENTO	BERENJENA	PEPINO	MELÓN	SANDÍA
Tª mínima letal	0-2	(-1)	0	(-1)	0-1	0
Tª mínima biológica	10-12	10-12	10-12	10-12	13-15	11-13
Tª óptima	13-16	16-18	17-22	18-18	18-21	17-20
Tª máxima biológica	21-27	23-27	22-27	20-25	25-30	23-28
Tª máxima letal	33-38	33-35	43-53	31-35	33-37	33-37

La temperatura en el interior del invernadero, va a estar en función de la radiación solar, comprendida en una banda entre 200 y 4000 nm, la misión principal del invernadero será la de acumular calor durante las épocas invernales.

El calentamiento del invernadero se produce cuando el infrarrojo largo, procedente de la radiación que pasa a través del material de cubierta, se transforma en calor. Esta radiación es absorbida por las plantas, los materiales de la estructura y el suelo. Como consecuencia de esta absorción, éstos emiten radiación de longitud más larga que tras pasar por el obstáculo que representa la cubierta, se emite radiación hacia el exterior y hacia el interior, calentando el invernadero.

El calor se transmite en el interior del invernadero por irradiación, conducción, infiltración y por convección, tanto calentando como enfriando. La conducción es producida por el movimiento de calor a través de los materiales de cubierta del invernadero. La convección tiene lugar por el movimiento del calor por las plantas, el suelo y la estructura del invernadero. La infiltración se debe al intercambio de calor del interior del invernadero y el aire frío del exterior a través de las juntas de la estructura. La radiación, por el movimiento del calor a través del espacio transparente.

En el instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán se cuenta con el plantío de Tomate, para el cual podemos obtener la exigencia de la temperatura de la Tabla I.

2.6. CLIMATIZACIÓN DE INVERNADEROS EN PERÍODOS CÁLIDOS

Durante la mayor parte del ciclo productivo, la temperatura del invernadero es excesiva tanto para el buen rendimiento del cultivo como para la salud de los trabajadores que realizan en pleno verano las labores culturales. El reducir la temperatura es uno de los mayores problemas de la horticultura protegida en climas cálidos, porque no es fácil refrigerar el invernadero sin invertir cantidades relativamente altas en instalaciones y equipos.

Los cuatro factores fundamentales que permiten reducir la temperatura son:

- La reducción de la radiación solar que llega al cultivo (blanqueado, sombreado, etc.).
- La evapotranspiración del cultivo.
- La ventilación del invernadero.
- La refrigeración por evaporación de agua (nebulización, "cooling system", etc.).

A continuación, se detallan las técnicas y equipos de refrigeración más empleados en la climatización de invernaderos.

2.6.1 SISTEMAS INTEGRALES DE CONTROL CLIMÁTICO

En la actualidad son numerosos los sistemas de automatización que existen en el mercado para controlar los parámetros climáticos de los invernaderos. Estos sistemas se basan en el empleo de un ordenador central al que se conectan un conjunto de sensores, que recogen las variaciones de los distintos parámetros respecto a unos valores programados inicialmente. Se trata de una pequeña estación meteorológica que registra valores de temperatura exterior e interior, humedad relativa, velocidad del viento, la iluminación, etc.

Estos sistemas a su vez pueden estar conectados a los sistemas de fertirriego y de regulación climática. Los sensores o automatismos se distribuyen en diferentes sectores, pudiendo funcionar cada uno de forma autónoma. En el controlador central se recoge la información captada por los sensores, se coordinan las actuaciones, y se envían las órdenes a los distintos sectores.

2.7. SENSORES RTD (PT100)

Los sensores Pt100 – o las termorresistencias son un tipo específico de sensor RTD (detector de temperatura por resistencia) La característica más importante de los elementos Pt100 es que están fabricados con platino con una resistencia eléctrica de 100 ohmios a una temperatura de 0°C y es con diferencia el tipo más común de sensor RTD, se muestra una imagen alusiva a este sensor en la Figura 2.6.



Figura 2.6. Pt-100.

El sensor de temperatura Pt500, tendría a su vez, una resistencia de 500 ohmios a 0°C y un Pt1000 de resistencia a 0°C. Los elementos Pt100 están montados normalmente en algún tipo de vaina o funda protectora para formar una sonda, y estos se conocen comúnmente como sonda Pt100 (sondas de resistencia Pt100 de platino).

Hay dos tipos principales de elementos Pt100: de hilo bobinado y de película fina.

2.7.1 PRECISIÓN DE LOS SENSORES PT100

La norma internacional IEC 751 especifica las tolerancias de los sensores RTD industriales. Hay dos tolerancias principales definidas para sondas Pt100: clase A, con una tolerancia de $\pm 0,15^{\circ}\text{C}$ a 0°C y clase B, con una tolerancia de $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ a 0°C . Hay 2 clases de precisión adicionales para el trabajo de precisión y estos se conocen comúnmente como “1/10 DIN” y “1/3 DIN”; esto significa una tolerancia de 1/10 o 1/3 de la especificación de clase B a 0°C respectivamente.

2.7.2 RTD

Es el acrónimo de dispositivo o detector de temperatura de resistencia. Un detector de temperatura de resistencia opera sobre el principio del cambio de la resistencia eléctrica en el alambre como función de la temperatura.

2.7.3 ELEMENTO RTD

La zona de detección del sensor puede ser fabricado más comúnmente de platino, níquel o cobre.

Tabla II. Elemento de intercambiabilidad Pt100 en °C.

Elemento de intercambiabilidad Pt100 en ° C				
Temp °C	Clase B	Clase A	1/3 DIN	1/10 DIN
-200	1,30	—	—	—
-100	0,80	—	—	—
-50	0,55	0,25	0,18	—
0	0,30	0,15	0,10	0,03
100	0,80	0,35	0,27	0,08
200	1,30	0,55	0,43	—
250	1,55	0,65	0,52	—
300	1,80	0,75	—	—
350	2,05	0,85	—	—
400	2,30	0,95	—	—
450	2,55	1,05	—	—
500	2,80	—	—	—
600	3,30	—	—	—

2.7.4 SONDA DE TEMPERATURA PT100

Un conjunto compuesto por un elemento Pt100, una vaina, un cable conductor, y una terminación o conexión.

2.7.5 SENSORES RTD DE PLATINO

También conocido como Pt RTD, los sensores de platino son típicamente los más lineales, estables, repetibles y precisos de todos los RTD. El alambre de platino se adapta mejor a las necesidades de termometría de precisión.

2.8. CABLE DUPONT

Son conectores que permiten realizar prototipos y montajes semi/definitivos o definitivos con gran facilidad.

Es una forma de realizar el trabajo más profesionalmente, sin soldaduras, sin falsos contactos y sin desorden con este cable dupont. Se puede encontrar en presentación macho-macho, hembra-hembra, y macho a hembra. Para este trabajo de investigación se utilizaron varios cables de este tipo variando su color, en la figura 2.7 se muestra un ejemplo de uno de ellos en color rojo.



Figura 2.7. Cable Dupont macho-macho

2.9. SISTEMAS DE CONTROL

El control automático interviene cada vez con más frecuencia en la vida de los seres humanos desde controles simples como los usados en un refrigerador o una tostadora automática, hasta los sistemas complejos de control de vehículos espaciales, guía de misiles, navegación asistida en aviones, robots autónomos, entre otros. En el control de lazo abierto como el mostrado en la Figura 2.8 la salida ni se mide ni se retroalimenta para compararla con la entrada. Los sistemas

de control de lazo abierto son sistemas de control en los que la salida no tiene efecto sobre la señal o acción de control.

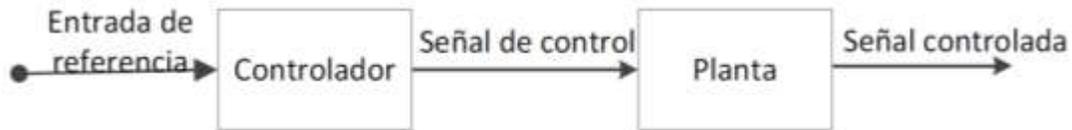


Figura 2.8. Sistema de control de lazo

Un sistema de control de lazo cerrado (ver Figura 1.2) es aquel cuya señal de salida tiene efecto directo sobre la acción de control (también son conocidos como sistemas retroalimentados); la diferencia entre la señal de entrada y la señal de salida se la denomina señal de error del sistema; esta señal es la que actúa sobre el sistema para llevar la salida a un valor deseado. En otras palabras, el término lazo cerrado implica el uso de acción de retroalimentación negativa para reducir el error del sistema.



Figura 2.9. Sistema de control retroalimentado

2.10. TRANSMISOR DE TEMPERATURA

Los transmisores de temperatura son equipos que permiten linealizar y acondicionar una señal. Con un transmisor de temperatura es posible que señales provenientes de termopares y RTD se extiendan longitudes más allá de las que los sensores por sí solos permiten, garantizando una señal altamente estable y confiable, la salida 4 a 20 mA es uno de los medios más populares para la transmisión de señal y control eléctrico en la industria, aunque también existen

salidas a Voltaje directo e incluso con protocolo de comunicación como lo es HART.

Las funciones que cumple un transmisor de temperatura son aislar, amplificar, filtrar sonido, linealizar y convertir la señal de entrada a una señal estandarizada de control. Como ya mencionamos la salida más común es la de corriente 4 - 20 mA, por ejemplo 4 mA puede representar 0 °C y 20 mA 100 °C.

2.11. CONTROLADORES PID

Los miembros de la familia de controladores PID, incluyen tres acciones: proporcional (P), integral (I) y derivativa (D). Estos controladores son los denominados P, I, PI, PD y PID.

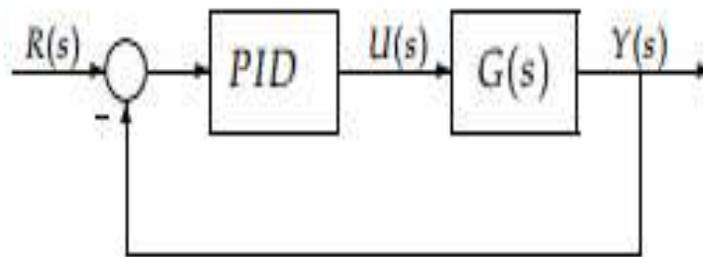


Figura 2.10. Diagrama a bloques PID

PID: acción de control proporcional-integral-derivativa, esta acción combinada reúne las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales. La ecuación de un controlador con esta acción combinada se obtiene mediante:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.1)$$

Y su función transferencia resulta

$$C_{PID}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (2.2)$$

2.11.1 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)

Equipo comúnmente utilizado en maquinarias industriales de fabricación de plástico, en máquinas de embalajes, entre otras; en fin, son posibles de encontrar en todas aquellas maquinarias que necesitan controlar procesos secuenciales, así como también, en aquellas que realizan maniobras de instalación, señalización y control.



Figura 2.11. Controlador Lógico Programable Micrologix 1100.

2.12. VARIADOR DE VELOCIDAD

Los variadores de frecuencia son sistema utilizados para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna. Un variador de frecuencia son vertientes de un variador de velocidad, ya que llevan un control de frecuencia de alimentación, la cual se suministra por un motor.

Otra forma en que son conocidos los variadores de frecuencia son como Drivers ya sea de frecuencia ajustable (ADF) o de CA, VVVF (variador de voltaje variador de frecuencia), micro drivers o inversores; esto depende en gran parte del

voltaje que se maneje, podemos encontrar los elementos constitutivos de un variador de velocidad en la Figura 2.12.

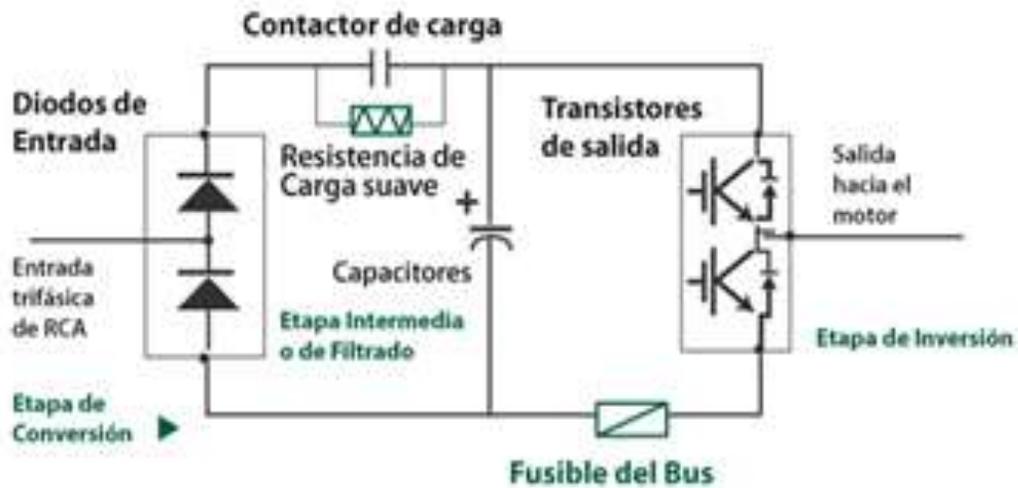


Figura 2.12. Elementos constitutivos de un variador de velocidad.

Se alimenta al equipo con un voltaje de corriente alterna (CA), el equipo primero convierte la CA en corriente directa (CD), por medio de un puente rectificador (diodos o SCR's), este voltaje es filtrado por un banco de capacitores interno, con el fin de suavizar el voltaje rectificado y reducir la emisión de variaciones en la señal; posteriormente en la etapa de inversión, la cual está compuesta por transistores (IGBT), que encienden y apagan en determinada secuencia (enviando pulsos) para generar una forma de onda cuadrada de voltaje de CD a un frecuencia constante y su valor promedio tiene la forma de onda senoidal de la frecuencia que se aplica al motor.

El proceso de conmutación de los transistores es llamado PWM "Pulse Width Modulation" Modulación por ancho de pulso, se puede visualizar en la figura 2.13 el voltaje y corriente de salida con su respectiva forma de onda.

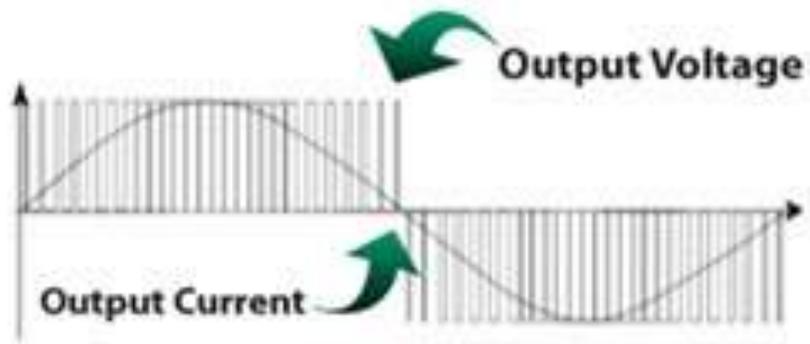


Figura 2.13. Modulación PWM.

Al tener control en la frecuencia de la onda de corriente podemos también controlar la velocidad del motor de acuerdo a la siguiente fórmula:

$N_m = \frac{120 \times f (1 - s)}{P}$	<p>N_m = velocidad mecánica (rpm) f = frecuencia de alimentación (Hz) s = deslizamiento (adimensional) P = número de polos.</p>
--	--



Figura 2.14. Variador de velocidad General Electric AF-60 LP.



Figura 2.15. Ubicación final de variador de velocidad.

2.13. VENTILADORES DE RECIRCULACIÓN

Ventiladores diseñados para desarrollar una recirculación forzada, creando una corriente de aire continúa por toda la superficie del invernadero o cualquier otro recinto donde estén instalados. De esta forma se aumentan el nº de renovaciones de aire, consiguiendo una mayor homogeneidad del clima. Con la ventilación forzada, se evitan grandes variaciones de humedad y temperatura dentro de una instalación, al impedir el estancamiento del aire, la estratificación del calor y la condensación por acumulación de humedad. Su uso implica las siguientes ventajas: -Evitar enfermedades en los cultivos derivadas del exceso de humedad y temperatura, y mejora de la transpiración de los mismos. En la Figura 2.18 se muestra el ventilador adquirido para ser posicionado dentro del invernadero del Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán.

- Temperatura ambiente más homogénea.
- Disminución de la humedad ambiente, evitando condensaciones.
- Integrado en los sistemas de calefacción, mejora el reparto del calor, evitando zonas frías, al homogeneizar la temperatura.
- Mejora la distribución de la humedad en los sistemas de nebulización.
- Mayor rapidez para sacar el aire caliente, en épocas de calor excesivo.

Respecto a las características constructivas:

- El alojamiento del ventilador se fabrica en chapa de acero galvanizado prelavado.
- La hélice con 6 palas, está equilibrada estática y dinámicamente para producir bajos niveles de ruido y vibraciones.
- El diseño auto limpiante de la hélice junto con los rectificadores de flujo, aumentan la eficiencia del ventilador.

- Provisto de ganchos en la carcasa, para facilitar el montaje del ventilador, y rejilla protectora.

Especificaciones técnicas

Peso del recirculador de aire totalmente equipado [kg]	16
Velocidad nominal de la hélice 50/60 Hz (rpm)	1.400/1.700
Flujo de aire a 0 Pa [m ³ /h] [cfm] [cm ³ /h] [cfm]	7.072 (4.160)
Rendimiento específico a 0 Pa ¹ [m ³ /Wh] [cfm/W] [cm ³ /Wh] [cfm/W]	19,2 (11,3)
Diámetro de la hélice [mm] [pulgadas]	450 (18)
Número de palas	6
Clase de protección IEC del motor eléctrico	IP55
Grado de aislamiento del devanado del motor eléctrico	B

Caudal	7.500 m ³ /h.
Potencia	370 w
Tensión	2.5-1.5 A.
Voltaje	230-400 v./ 50-60 Hz.

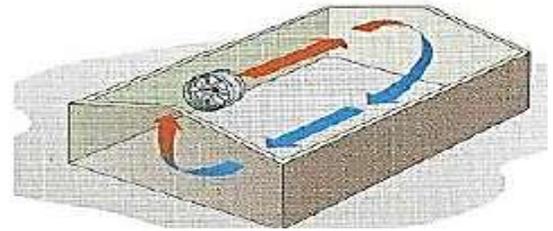


Figura 2.16. Especificaciones técnicas de un ventilador tubular recirculador de aire.



Dimensiones [mm]			
A	B	C	D
465	500	350	420

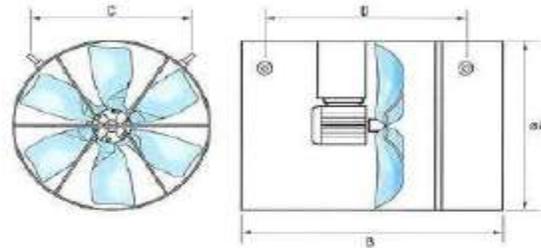


Figura 2.17. Dimensionamiento de un ventilador recirculador de aire.



Figura 2.18. Ventilador tubular de aire para invernadero del Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán.

Características Físicas:

- Ventilador tubo axial
- Modelo TB/20”
- Motor ½ hp trifásico 220 440 V
- 6 alabes con transmisión de polea y banda
- 1,500 r.p.m

Desempeño:

- La temperatura del invernadero se homogeniza.
- La condensación de humedad se reduce.
- Bajo costo inicial y de operación.
- La utilización de CO₂ (Bióxido de Carbono) se mejora.

2.13.1 ANEMÓMETRO

Es un instrumento utilizado para medir la velocidad del viento (fuerza del viento).

Los anemómetros miden la velocidad instantánea del viento, pero las ráfagas de viento desvirtúan la medida, de manera que la medida más acertada es el valor medio de medidas que se tomen a intervalos de 10 minutos.

Por otro lado, el anemómetro nos permite medir inmediatamente la velocidad pico de una ráfaga de viento. Por lo que en actividades deportivas a vela es muy indicado.

Existe gran diversidad de anemómetros:

Los de empuje están formados por una esfera hueca y ligera (Daloz) o una pala (Wild), cuya posición respecto a un punto de suspensión varía con la fuerza del viento, lo cual se mide en un cuadrante.

El anemómetro de rotación está dotado de cazoletas (Robinson) o hélices unidas a un eje central cuyo giro, proporcional a la velocidad del viento, es registrado convencionalmente; en los anemómetros magnéticos, dicho giro activa un diminuto generador eléctrico que facilita una medida precisa, el anemómetro que se utilizó para las mediciones es de este tipo, se muestra el mismo en la Figura 2.19.

El anemómetro de compresión se basa en el tubo de Pilot y está formado por dos pequeños tubos, uno de ellos con orificio frontal (que mide la presión dinámica) y lateral (que mide la presión estática), y el otro solo con un orificio lateral. La diferencia entre las presiones medidas permite determinar la velocidad del viento.

Se pueden comprar anemómetros sorprendentemente baratos de algunos de los principales vendedores en el mercado que, cuando realmente no se necesita una gran precisión, pueden ser adecuados para aplicaciones

meteorológicas, y lo son también para ser montados sobre aerogeneradores. (Normalmente, son utilizados para determinar si sopla viento suficiente como para poner en marcha).

Sin embargo, los anemómetros económicos no resultan de utilidad en las mediciones de la velocidad de viento que se llevan a cabo en la industria eólica, dado que pueden ser muy imprecisos y estar pobremente calibrados, con errores en la medición de quizás el 5 por ciento, e incluso del 10 por ciento.

Se puede comprar un anemómetro profesional y bien calibrado, con un error de medición alrededor del 1%, a un precio razonablemente bajo.



Figura 2.19. Anemómetro Digital Benetech Gm 8902.

Aplicaciones:

Agricultura: verificación de las condiciones para regar por aspersión los cultivos o quemar rastrojos.

Aviación: vuelo en globo, planeador, ala delta, ultraligero, paracaídas, parapente.

Ingeniería civil: Seguridad de la obra, condiciones de trabajo, operación segura de grúas, medición del esfuerzo del viento.

Formación: Mediciones y experimentos con el flujo de aire, evaluación de condiciones exteriores para la práctica de deportes escolares, estudios medioambientales.

Extinción de incendios: indicación sobre el peligro de propagación del fuego.

Calefacción y ventilación: medición del flujo de aire, verificación del estado de los filtros.

Aficiones: aerodelismo, modelismo de barcos, vuelo de cometas.

Industria: mediciones del flujo de aire, control de la contaminación.

Actividades al exterior: tiro con arco, ciclismo, tiro, pesca, golf, vela, atletismo, camping, senderismo, montañismo.

Trabajos al exterior: evaluación de condiciones.

Ciencia: aerodinámica, ciencia medioambiental, meteorología,

Tabla III. Escala de velocidades de viento.

Escala de velocidades de viento		
Velocidades de viento a 10 m de altura		
m/s	nudos	Clasificación del viento
0,0-0,4	0,0-0,9	Calma
0,4-1,8	0,9-3,5	Ligero
1,8-3,6	3,5-7,0	
3,6-5,8	7-11	
5,8-8,5	11-17	Moderado
8,5-11	17-22	Fresco
11-14	22-28	Fuerte
14-17	28-34	
17-21	34-41	
21-25	41-48	Temporal
25-29	48-56	Fuerte temporal
29-34	56-65	
>34	>65	Huracán

2.14. CALIBRADOR DE LAZO FLUKE 707

El calibrador de lazo Fluke 707 es una solución de alto rendimiento para la calibración, reparación y mantenimiento de corrientes de lazo. El nuevo mando “Quick Click” lo convierte en extremadamente rápido y fácil de usar. El calibrador utilizado en el proyecto se muestra en la figura 2.20.

Características:

- Interfaz de usuario de una sola mano con mando giratorio “Quick Click”
- Generación, simulación y medición de mA
- Precisión del 0,015% y resolución de 0,001 Ma
- Presentación simultánea de mA y porcentaje
- Lecturas seleccionables de incrementos o rampa
- Alimentación de lazo de 24 V con medición mA, incluyendo el resistor HART de 250 W
- Fácil cambio de las baterías sin necesidad de abrir la carcasa.
- Carcasa compacta con funda protectora extraíble

Esta solución funcional combina las mejores características del calibrador de lazo de botón y mando y ofrece:

- Pantalla de gran tamaño e interfaz “Quick-Click” simple para una utilización sencilla con una sola mano.
- Medida mA y lectura de porcentaje simultáneas para una interpretación rápida y fácil de las lecturas.
- Precisión en mA del 0,015%, superior a otros calibradores de lazo de esta gama de precios.
- Resolución de 1 Ua para generación de mA, simulación y medición.
- Botón de pasos del 25% para comprobaciones de linealidad rápida y fácil.
- “Span Check” 0-100% para verificar rápidamente el cero y el final de escala.

- Funciones seleccionables de rampa lenta, rampa rápida y rampa incremento para proporcionar lecturas precisas para pruebas funcionales de rotación y lazo.
- Alimentación interna de lazo de 24 voltios, de forma que se puedan habilitar.



Figura 2.20. Calibrador de lazos Fluke 707.

2.15. PLACA ARDUINO

Arduino es una plataforma de desarrollo libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo diseñado para facilitar la implementación de proyectos electrónicos.

El hardware consiste en una placa con un microcontrolador Atmel AVR y puertos de entrada/salida. Por otro lado, el software consiste en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje de programación Processing/Wiring y el cargador de arranque que corre en la placa. En la Figura 2.21 se observa una de las placas Arduino, denominada Arduino Uno.



Figura 2.21. Microcontrolador Arduino Uno.

Arduino permite crear objetos interactivos, leer datos de una gran variedad de interruptores y sensores. Controlar multitud de tipos de luces, motores y otros actuadores físicos. Los proyectos de Arduino pueden ser autónomos o comunicarse con un programa que se ejecute a través de un HMI.

Existen determinadas placas como lo son el Arduino Bluetooth, el Pro y el Duemilanove/Diecimila que pueden interactuar con otros dispositivos existentes en el mercado.

2.15.1 MICROCONTROLADORES

Las placas Arduino en su mayoría utilizan un microcontrolador ATmega168 y en algunas placas antiguas el ATmega8. En la Tabla IV se describe las características de los controladores anteriormente mencionados.

Tabla IV. Características de los microcontroladores Atmega168 y Atmega8.

<i>ATmega168</i>		<i>ATmega8</i>	
Terminales de E/S digital	14 (6 PWM)	Pines de E/S digital	14 (3 PWM)
Terminales de entrada analógicos	6 (DIP) o 8 (SMD)	Pines de entrada analógica	6
Corriente DC por terminal de E/S	40 mA	Corriente DC por pin de E/S	40 mA
Memoria Flash	16 KB	Memoria Flash	8 KB
SRAM	1 KB	SRAM	1 KB
EEPROM	512 bytes	EEPROM	512 bytes

2.15.2 TERMINALES DIGITALES

Las terminales digitales pueden ser utilizados como entradas y salidas de propósito general a través de los comandos `pinMode()`, `digitalRead()`, y `digitalWrite()`. Además cada terminal tienen una resistencia pull-up que puede activarse o desactivarse utilizando `DigitalWrite()` cuando está configurado como entrada. La corriente máxima de salida es 40mA. Entre las funciones de los terminales digitales se tienen los representados en la Figura 2.22 y descritos a continuación.

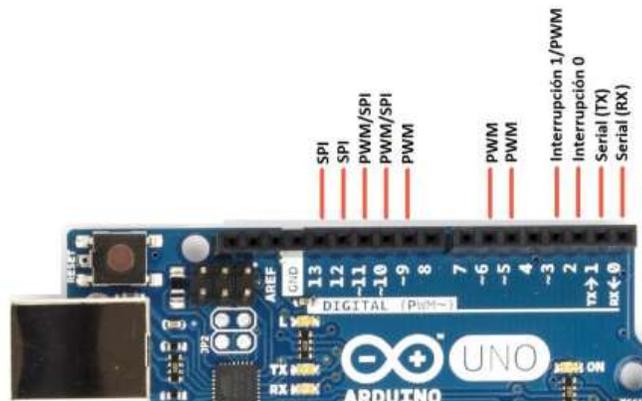


Figura 2.22. Terminales digitales en placas ARDUINO.

- Serial (RX y TX).- estos terminales son utilizados para recibir y para enviar datos serie TTL.
- Interrupciones externas.- estas interrupciones pueden ser configuradas para disparar una interrupción con un valor en bajo, un pulso de subida o bajada o cambio de valor.
- PWM.- proporciona salidas PWM de 8 bits con la función analogWrite ().
- Reset BT: es conectado a la línea de Reset del módulo bluetooth.
- SPI.- estos terminales soportan comunicación SPI. Aunque esta funcionalidad esta proporcionada por el hardware, no está incluida actualmente en el lenguaje Arduino.
- LED.- existe un led conectado en uno de los pines que se enciende cuando está en alto y se apaga cuando está en bajo. Este componente está disponible en ciertas placas Arduino.

2.15.3 TERMINALES ANALÓGICOS

Los pines de entrada analógicos soportan conversiones analógico-digital (ADC) de 10 bits utilizando la función analogRead (). Dependiendo del tipo de placa se manejan ciertas restricciones con cada una de sus terminales. Una de las funciones principales de esta sección es la comunicación I2C que soportan, complementado con una librería.

2.15.4 TERMINALES DE ALIMENTACIÓN

- VIN.- es el voltaje de entrada a la placa Arduino cuando se utiliza una fuente de alimentación externa.
- 5V.- es una fuente de 5 [VDC] y sirve para alimentar varios componentes externos a la placa.
- 3.3V.- es una fuente de 3.3 [VDC] pero solo la tiene el Arduino Diacemila.
- GND.- son pines de tierra.

2.15.5 OTROS PINES

- AREF.- es la referencia de voltaje para las entradas analógicas. Utilizada con la función analogReference ().
- Reset.- se pone esta línea en bajo para resetear el microcontrolador pero solo tiene el Arduino Diacemila.

2.15.6 SELECCIÓN DEL CONTROLADOR

El controlador es seleccionado en base a una matriz de priorización expuesta en la Tabla V donde se ha elegido los controladores tipo ARDUINO. Sin embargo, la marca ARDUINO maneja una gran variedad de placas con distintos controladores incorporados que brindan diferentes prestaciones.

El controlador seleccionado es la placa ARDUINO UNO que, siendo un modelo sencillo, maneja los requerimientos establecidos.

Tabla V. Características y modelos de placas ARDUINO.

NOMBRE	PROCESADOR	VOLTAJE OPERACIÓN	VOLTAJE ENTRADA	VELOCIDAD CPU	I/O ANALÓGA	I/O DIGITAL (PWM)	EEPROM KB	SRAM KB	FLASH KB	USB	UART
UNO	ATmega328	5 V	7-12 V	16 MHz	6/0	14 (6)	1	2	32	Regular	1
DUE	AT91SAM3X8E	3.3 V	7-12 V	84 MHz	12/2	54 (12)	-	96	512	MICRO	4
LEONARDO	ATmega32u4	5 V	7-12 V	16 MHz	12/0	20 (7)	1	2,5	32	MICRO	1
MEGA 2560	ATmega2560	5 V	7-12 V	16 MHz	16/0	54 (15)	4	8	256	Regular	4
MEGA ADK	ATmega2560	5 V	7-12 V	16 MHz	16/0	54 (15)	4	8	256	Regular	4
MICRO	ATmega32u4	5 V	7-12 V	16 MHz	12/0	20 (7)	1	2,5	32	MICRO	1
MINI	ATmega328	5 V	7-9 V	16 MHz	8/0	14 (6)	1	2	32	-	-
NANO	ATmega168 ATmega328	5 V	7-9 V	16 MHz	8/0	14 (6)	0,512 1	1 2	16 32	MINI-B	1
ETHERNET	ATmega328	5 V	7-12 V	16 MHz	6/0	14 (4)	1	2	32	Regular	-
ARDUINOBT	ATmega328	5 V	2.5-12 V	16 MHz	6/0	14 (6)	1	2	32	-	1
FIO	ATmega328P	3.3 V	3.3-7 V	8 MHz	8/0	14 (6)	1	2	32	MINI	1
PRO 168	ATmega168	3.3 V	3.35-12 V	8 MHz	6/0	14 (6)	0,512	1	16	-	1
PRO 328	ATmega328	5 V	5-12V	8 MHz	6/0	14 (6)	1	2	32	-	1
PRO MINI	ATmega168	3.3 V 5 V	3.35-12 V 5-12V	8 MHz	6/0	14 (6)	0,512	1	16	-	1

Tabla VI. Características del controlador Arduino UNO.

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Corriente DC para PIN 3.3 [V]	50 [mA]
Corriente DC por PIN de E/S	40 [mA]
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Memoria flash	32 KB (ATmega328), de las cuales 0,5 son utilizados para generador de boot.
Microcontrolador	ATmega328
Pines de E/S digitales	14 (6 salidas de PWM)
Pines de entrada analógica	6
SRAM	2 KB (ATmega328)
Tensión de entrada (límite)	6-20 [VDC]
Tensión de entrada (recomendado)	7-12 [VDC]
Tensión de funcionamiento	5 [VDC]
Velocidad de reloj	16 MHz

2.16. CABLE DE CONTROL BLINDADO CALIBRE 18X3

Es un cable extra-flexible, tipo K, blindaje protector EMF, para audio, instrumentación y control. Se utiliza también a nivel industrial, para instalación en charola o conduit.

El cable Blindado que se utilizó se muestra en la Figura 2.23, es utilizado como cable de control, señal e instrumentación. Los cables blindados se utilizan en maquinaria industrial y en sistemas de información y transferencia de datos en la industria en general tales como la industria alimentaria, automotriz, del embalaje, en plantas industriales, en las tecnologías del medio ambiente, en los transportadores de equipos de control y en las líneas de producción para el control, regulación y supervisión de la fuente. De igual manera, el cable tipo blindado se utiliza en equipos informáticos como unidades para control en las máquinas de herramientas y en las líneas de montaje de interconexión.



Figura 2.23. Cable de control blindado calibre 18 tres conductores.

2.16.1 VENTAJAS

Son de alto nivel de proyección asegurando protección de interferencia de alto grado.

Compatibilidad electromagnética en plantas y edificios.

Instalaciones con unidades y equipo de operación

Instalación en cuartos húmedos y secos para tensiones mecánicas ligeras y medianas.

Son protegidos al aire libre

Véase Hoja de datos en la sección de Anexos (Página 181)

2.17. Conector rápido

Los juegos que se utilizaron en el armado de la red de sensores de temperatura fueron terminales hembra/macho. La corriente máxima soportada es 24 A, con operatividad para tamaños de cable 12 a 10 AWG/ 4.0/6.0 mm².

Aísla de forma segura las uniones de cables, fácil de instalar ya que no requiere de herramienta especial, solo pinzas, la instalación es rápida sin tener que pelar cables, los conectores rápidos utilizados son como los que se muestran en la Figura 2.24.



Figura 2.24. Conector rápido.

2.18. PROTOCOLO 1- WIRE

Cuenta con un protocolo de comunicación serie que usa una sola línea de datos, además de la referencia de tierra para obtener la comunicación. En la comunicación 1-Wire el maestro inicia y controla la comunicación con uno o más dispositivos 1-Wire esclavos en el bus 1-Wire, un ejemplo como el que se muestra en la figura 2.25. Cada dispositivo esclavo 1-Wire tiene un número de identificación único del fabricante e inalterable de 64 bits ID, que sirve como dirección del dispositivo en el bus 1-Wire. Por lo general, los dispositivos esclavos de comunicación 1-Wire funcionan en un rango de voltaje que va desde los 2.8 V y hasta los 5.25 V. La gran mayoría de los dispositivos 1-Wire no tienen pin de fuente de alimentación por lo que toman su energía desde el bus 1-Wire en forma de alimentación parasita.

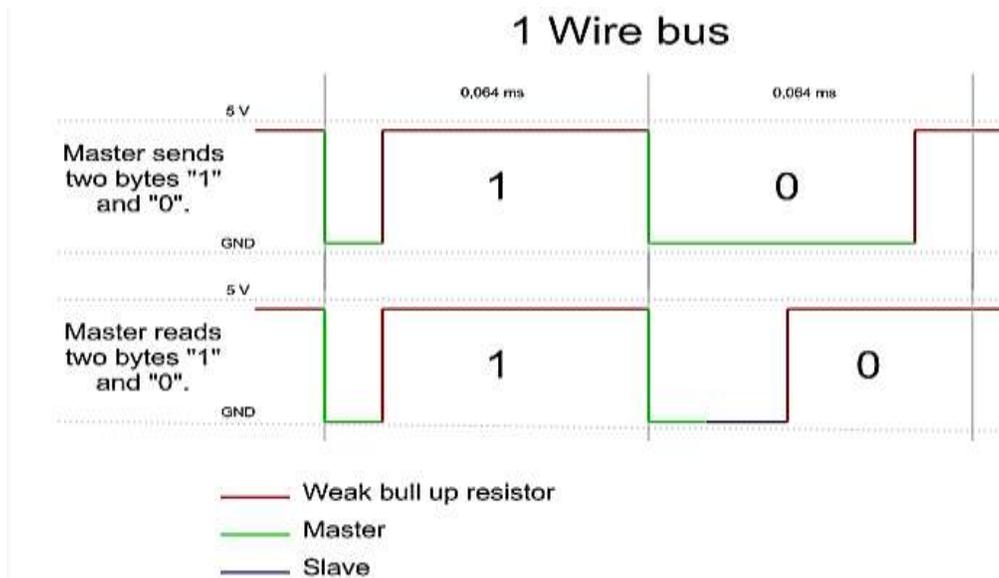
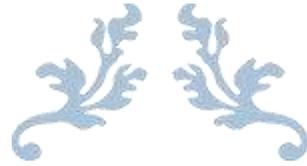


Figura 2.25. Transferencia de datos en un bus de comunicación One-Wire.

1-Wire es el único sistema digital basado en el voltaje que funciona con dos líneas, uno para los datos y otro para la alimentación, para la comunicación bidireccional half-duplex. En comparación con otros sistemas de comunicación en serie, tales como I²C o SPI, los dispositivos 1-Wire están diseñados para su uso en un entorno de estado. O bien desconectar del bus 1-Wire en un estado de reposición definido. Cuando el voltaje vuelve, los esclavos se activan y señalan su presencia. Con solo un estado de proteger, la incorporada en la protección ESD de dispositivos 1-Wire es demasidamente alta. Con dos contactos, dispositivos 1-Wire son la forma más económica para agregar funcionalidad a los objetos electrónicos no electrónicos para la identificación, autenticación y la entrega de los datos de calibración o información de fabricación.



CAPITULO 3



3.1. CONTROLADORES DE AUTOMATIZACIÓN PROGRAMABLES (PACS)

Un PAC (del inglés Programmable Automation Controller) es una tecnología industrial orientada al control automatizado, al diseño de prototipos y a la medición. El PAC se refiere al conjunto formado por un controlador (una CPU típicamente), módulos de entradas y salidas y uno o múltiples buses de datos que lo interconectan todo.

Controlador de automatización programable o PAC relativamente un nuevo nombre acuñado para los sistemas de control de pequeños locales. El nombre se deriva en gran parte del PLC popular o Controlador Lógico Programable. Una diferencia importante entre un PLC y un PAC es la interfaz de programación.

La mayoría de los PLC se programan en una representación gráfica de bobinas y contactos llamados lógica de escalera. La mayoría de los PAC se programan en un lenguaje de programación moderno como C o C ++.

Están diseñados con la tecnología de procesamiento más reciente para resolver problemas avanzados de control en entornos industriales y robustos. Es completamente programable con entornos integrados de desarrollo gráfico.

NI CompactRio es un PAC avanzado de National Instruments con más de 60 módulos de E/S, más de 15 chasis y múltiples opciones de protocolos de comunicación.

Pueden incorporar control integral y derivativo (PID), añadir medidas de forma de onda a un PAC y conectar un PAC con cualquier controlador programable (PLC) a través de OPC. El kit de Recursos Avanzados del PAC incluye notas técnicas, tutoriales y código de entorno de programación de desarrollo grafico que se pueden implementar en un proyecto de control.

Los módulos analógicos están disponibles desde 12 hasta 24 bits y tienen velocidades de muestreo DC hasta 1MS/s/canal. Son excelentes en sistemas de control analógico intensivos.

Es fabricado usando aluminio, no plástico y el chasis es un componente solido a diferencia de los sistemas estilo expansión que tienen múltiples uniones. El resultado es un sistema de control solido que puede ser montado de manera segura en su máquina, panel o cubierta.

El hardware está diseñado para integrarse con sistemas existentes de PLC's, así se puede usar PAC para cubrir las necesidades más complejas de control y medidas, y continuar usando PLC's estándares implementados actualmente.

Son controladores de alto rendimiento ideales para resolver problemas difíciles o personalizados de control en entornos robustos.

Ayudan a reducir los costos de desarrollo y a acortar el tiempo de salida al mercado en las industrias como petróleo y gas, energía eléctrica, maquinaria industrial, transporte y equipo pesado.



Figura 3.1. Controlador de Automatización Programable.

3.2. PLCS Y PACS, LA EVOLUCIÓN DE LOS CONTROLADORES

Cuando se habla de PLC's y PAC's lo primero que se desea saber es cuál es la diferencia entre ellos, he aquí algunas respuestas: Los primeros son programados comúnmente por Lenguaje Escalera, que está diseñado para emular los antiguos diagramas de cableado eléctrico, mientras que los PAC's se desarrollan mediante un software de alto nivel dependiendo de la marca seleccionada; es decir, los PAC's tienen una mayor velocidad de cálculo y flexibilidad que los PLC's, ya que incorporan un procesador similar al de una PC en su interior; sin embargo cuál de estos se prefiere...

Los controladores para automatización industrial se han transformado en los últimos tiempos, desde los de lógica programable (PLC's) hasta los de automatización programable (PACs), los cuales basan su funcionamiento en computadoras industriales pues cada uno haga características diferentes que sirven a múltiples fines.

Es así que en estricto orden es posible enumerar las características de cada uno de estos controladores y de los PAC's se puede decir que mantienen flexibilidad y velocidad de cálculo similar a una PC; además integran diferentes lenguajes de programación para trabajar con ellos como C, LabVIEW, Visual Basic o Indusoft, dependiendo del modelo de PAC seleccionado; cuentan con la misma confiabilidad del PLC para el monitoreo y control de sensores y actuadores.

De igual forma los PAC's son equipos más abiertos a interactuar con diferentes protocolos de comunicación, como: TCP/IP, Serial, OPC, SMTP, Profibus, Modbus, Devicenet y muchos otros para interacción con demás dispositivos tal y como lo hacen las PC's. Su equipo es modular y sirve para operar en ambientes totalmente industriales, una labor mediante un sistema operativo de más alto nivel que da flexibilidad en su programación y puede hacer cálculos de operaciones matemáticas complejas.

Finalmente integran una alta capacidad de almacenamiento tanto para el programa como para los datos, lo que permite utilizarlos como registradores.

En los PLC's es posible argumentar que son estables e independientes del PC, además que ofrecen confianza a los ingenieros de control, ya que su sistema operativo es básico y se han probado durante muchos años, lo cual reduce posibilidades de falla; sus costos son accesibles y sus equipos permiten el trabajo para ambientes industriales en donde se involucra polvo, ruido, calor, frio, etcétera.

Asimismo, los PLC's permiten el monitoreo de todo tipo de sensores y control de actuadores como son eléctricos, neumáticos e hidráulicos; además brindan un monitoreo y control de sistemas análogos tales como temperatura, presión y flujo, mediante sus lazos PID. Permiten la expansión de entradas y salidas tanto digitales como análogas y comunicación con otros dispositivos: PC's, Equipos DAQ PLC's, entre otros.



Figura 3.2. PAC XP-8000.

3.3. EL MEJOR EN EL PROCESO

En la actualidad, los PAC's mantienen interfaces gráficas, procesadores de punto flotante, efectividad en mediciones y comunicaciones análogas, control avanzado, flexibilidad de monitoreo y calculo y en general, funciones más completas que los PLC's, sin embargo, estos últimos son utilizados en fábricas para aplicaciones basadas en control de procesos y máquinas y son más confiables que las PC.

3.4. LOS PACS

Los controladores de automatización programable combinan lo mejor del PC y PLC, teniendo entre sus características el procesador, RAM y software poderoso del PC, aunado a la confiabilidad, dureza y naturaleza del PLC; así su utilización es idónea en aplicaciones que requieren entradas/salidas análogas y digitales integradas, así como para aquellos ingenieros que necesitan obtener datos en ambientes y conectividad directa a diversos nodos de procesamiento.

De igual forma, permiten construir sistemas mayormente evolucionados a través de un control avanzado, registro de datos y procesamiento de señales gracias a un hardware encargado de la lógica, movimiento, control de procesos y la visión.

Con estos, ingenieros y científicos pueden desarrollar sistemas que tradicionalmente requerían grandes equipos de especialistas para completarlos, ya que permiten medir con velocidad y precisión miles de sensores industriales, comunicarse con PLC's, HMIs (Human Machine Interfaces), software empresarial e internet, además de controlar sistemas de alta velocidad con PID u otros algoritmos avanzados.

Esta tecnología está orientada al control automatizado, diseño y medición, siendo utilizados en la industria para la adquisición de datos de precisión, visión artificial, análisis matemático y memoria profunda, seguridad controlada, lazos cerrados de control independiente, monitoreo remoto, control de movimiento y robótica, por mencionar algunos.

A su vez, pueden conectarse a una gran variedad de componentes, terminales de control o accionadores y a través de la posibilidad de conexión con PLC's se pueden optimizar máquinas existentes y sistemas de automatización, aprovechando una primera inversión que pudiera haberse hecho en programables distintos, satisfaciendo así las necesidades de control y medición industriales que se requieran.

3.5. VENTAJAS

PLC's:

- Costo accesible
- Programación sencilla
- Alta confiabilidad para procesos industriales por su sistema operativo robusto y lenguaje de programación
- Fácil mantenimiento

PAC's:

- Capacidad de realizar operaciones matemáticas complejas
- Comunicación con una gran cantidad de protocolos industriales y computacionales.
- Incluye un sistema operativo y memoria para almacenamiento de datos
- Combinación de una PC con un PLC

3.6. ANEMÓMETRO ULTRASÓNICO WP

Se usa para la detección de 2 dimensiones de los componentes horizontales de la velocidad y dirección del viento.

Se ha diseñado específicamente para su uso en entornos muy duros y es debido a su tamaño compacto y bajo peso ideal para su uso en turbinas eólicas. La salida digital o analógica de los datos se lleva a cabo ya sea como un valor momentáneo o una media móvil con ventana de tiempo ajustable.



Figura 3.3. Anemómetro Ultrasónico WP.

El dispositivo se calienta automáticamente en caso de temperaturas ambiente críticas. La posibilidad de un mal funcionamiento debido a la formación de hielo, se reduce al mínimo. Son, los transductores ultrasónicos con calefacción y otros componentes de la carcasa importantes.

Las siguientes métricas están disponibles:

- Vectores de velocidad del viento ortogonales (X e Y-distancia)
- Velocidad del viento escalar o vectorial y dirección del viento
- Temperatura acústica

Los formatos de salida

- Protocolo de datos NMEA
- Thies formato ASCII
- Protocolo MODBUS RTU
- Salida de datos analógicos

El principio de medición permite comparación con los anemómetros convencionales una medición libre de inercia de la rápida evolución de los tamaños con la más alta precisión y exactitud. Los valores medidos pueden ser la salida digital y/o analógica.

El dispositivo combina más de 20 años de experiencia con sensores de ultrasonidos en la tecnología de medición meteorológica en Thies.

3.7. REGISTRADOR DE DATOS UNIVERSAL DE LA UCD

La DLU datalogger es un sistema de medición completo para adquisición de datos de sensores con interfaz en serie por ejemplo, para sensores de viento de ultrasonidos, sensor de precipitación laser y Clima Sensor de Estados Unidos. Además, dos sensores de precipitación con salidas de impulsos, así como un sensor de temperatura Pt100 y un sensor de humedad se pueden conectar.

El registrador de datos registra los datos hasta un año. Ellos se pueden consultar a través de tarjeta SD, interfaz serie RS485 o USB. El registrador de

datos a través de tarjeta SD, interfaz serie RS485 o USB. El registrador de datos a través de 12V DC o, alternativamente, por medio de panel solar se suministra. Un controlador de carga solar está integrado en el registrador de datos.

La salida de datos es compatible-CSV y puede ser procesado directamente por medio de MEVIS y meteo Online.

3.8. CLARIO

Es un instrumento de rango-registro. Esto combina las ventajas de los conocidos y probados dispositivos THIES con los requisitos de diseño limpio, respeto al medio ambiente y la asequibilidad.

Este equipo de registro genera resultados precisos en la medición y registro de temperatura, humedad y presión del aire.



Figura 3.4. Clario.

- Claras de diseño
- Lecturas claras
- Tiempos de circulación de 1,7 o 31 días
- Elementos de medición precisas
- Independientemente de la red eléctrica
- Durable
- Ambientalmente amigable
- Facilidad de operación

Modelo Higrotermografo

La carcasa está hecha de plástico, la combinación de metal. Los ejes de las unidades de medición son guiados en cojinetes de deslizamiento. Dos modelos con diferente movimiento del tambor pueden ser suministrados:

1. Movimiento mecánico con el tambor de cuerda manual para el rango de temperatura de -35 a 80°C
2. Movimiento con pilas de cuarzo para el rango de temperatura de -20 a 60°C

Especificaciones:

Temperatura

Precisión: $\pm 1\% \cdot Mb.$

+1 graduación

65% de humedad relativa. F. y temperatura ambiente

HR.

División: 5% rel. F.

En general

Ancho de impresión: 2 x 82 mm

Plazo de inscripción: 1, 7 o 31 días

Peso: 2,7 kg

Variantes

Temperatura

Rango de medición: -10...50 °C|

División: 1°C

HR.

Rango de medición: 10...100% de humedad relativa. F.

Precisión: +-2% de humedad relativa. F.

1 división de escala a 65% de humedad relativa. F. y

Temperatura ambiente

Elemento de medición: H (cabello humano)

Tabla de Grabación en higrotermometro termógrafo

Periodo de registro 7 días

Rango de medición: -20...60 °C

Elemento de medida HR.: pelo humano

3.9. SENSOR PARA MEDIR LA TEMPERATURA DE SUELO

El sensor de temperatura está situado en un tubo de protección de doble pared bien ventilado con el papel de techo.

Especificaciones:

Temperatura

Rango de medición: -30...50°C

Precisión: +-K

Elemento de medición: Pt 100 ACC, según DIN IEC 60751 clase B

1/3

En general

Conexión eléctrica: 4 – wire

La longitud del cable: 5 m

Tipo de cable: LiYCY 4 x 0,25 mm²

Dimensiones: Φ 100 x 177 mm

Peso: 1kg

3.10. DATA LOGGER WIFI PARA TEMPERATURA Y HUMEDAD

El data logger WiFi OM-EL-WIFI-TH inalámbrico de temperatura/humedad mide la temperatura y la humedad del medio ambiente en el que está situado a través de sensores internos. Mide la temperatura a través de la sonda termistor extraíble incluida. Los datos se transmiten de forma inalámbrica a través de una red WiFi a un PC y pueden ser visualizados usando el software gratuito.

Al configurar el registrador de datos buscara un área inalámbrica existente, mientras que físicamente conectado al PC. A continuación, se puede colocar en cualquier lugar dentro del rango de la red. Si el registrador de datos pierde temporalmente la conectividad con la red, se registrarán lecturas hasta que sea capaz de comunicar de nuevo con la aplicación de PC (Max. 60 días a intervalos de 10 segundos muestra OM-EL-WIFI-TH), (máximo de 120 días a 10 segundos intervalo simple OM-EL-WIFI-TP). El rango de datos del registrador se puede aumentar mediante el uso de extensores de WiFi. La sonda del OM-EL-WIFI-TP se puede utilizar en una amplia gama de situaciones de temperatura, por ejemplo, procesos de fabricación, almacenamiento en frío y almacenamiento caliente.

El OM-EL-WIFI-TH y OM-EL-WIFI TP son dispositivos alimentados por batería de bajo consumo. Cuando se configuran usando periodos de muestreo típicos (por ejemplo, una vez cada 60 segundos), los datalogger funcionaran más de un año. La batería puede ser recargada a través de un PC o utilizando el adaptador USB de 5V USB suministrado. La batería está cargada de forma segura cuando la unidad está funcionando entre 0 a 40 °C (32 a 104 °F). Las mediciones del Data logger pueden ser inexactas durante la carga de la batería.

Tanto el OM-EL-WIFI-TH y el OM-EL-WIFI-TP, el software instalado en el PC permite la configuración, los datos registro y revisión de datos. Las características del Set-Up incluirán el nombre del datalogger, simple rate, °C/°F, frecuencia de muestreo y alarmas alta/baja. Una vez configurado, el histórico de los datos se puede ver a través de la herramienta grafica o exportados a Excel. Este software está disponible de forma gratuita desde omega.com. El registrador

de datos OM-EL-WIFI-TP para temperatura e inalámbrico se suministra con una sonda de temperatura termistor extraíble, la sonda puede estar unida a una pared u otra superficie plana con el soporte de montaje incluido (sonda clips en el soporte).



Figura 3.5. Data logger wifi para temperatura y humedad.

Especificaciones:

OM-RL-WIFI-TH

Rango de medición de temperatura: -20 a 60 °C (-4 a 140 °F)

Resolución de temperatura: 0,5 °C (1,0 °F) Display, 0,1 °C (0,1 °F) grafica/datos almacenados (grabado)

Resolución de humedad: 1% de humedad relativa (visualización y registro)

Precisión de temperatura (Error general entre -10 y 60 °C): +-1,0 °C típico

Precisión de humedad (Error general entre 20 y 80% HR): +-3% HR típico

Memoria: 500.000 y 500.000 lecturas de temperatura humedad

OM-EL-WIFI-TP

Rango de temperatura de funcionamiento (Data Logger): -20 a 60 °C (-4 °F a 140)

Rango de medición de la sonda de temperatura: -40 a 125 °C (-40 A 257 °F)

Resolución de temperatura: 0,1 °C (0,1 °F) Display y registrado

Precisión de la sonda de temperatura (Error general): +-0,5 °C típica +- 2,0 °C máximo

Rango de temperatura de la sonda de clip: -40 a 100 °C (-40 A 212 °F)

Memoria: 1.000.000 lecturas de temperatura

Sonda de temperatura (termistor): Cable de alta temperatura flexible con terminación de acero inoxidable 3014

Dimensiones de la sonda: Longitud del cable de 50 cm (19,7"); tapa, 25x4, 8 mm de diámetro (1 x 0.188 ")

General:

Alimentación: Batería recargable interna de polímero de litio

Vida de la batería: 1 año típico

Tensión de alimentación USB: 4,5 Vdc mínimo, 5,5 Vdc máximo

Sample rate: 1 lectura cada 10 segundos hasta 1 cada 10 horas

Software: WIN XP/VISTA/7/8 (32-bits o 64 bits)

Peso: 43 g (1,5 oz)

Dimensiones (con soporte de montaje): 97,3 A x 71,3 A x 26,36 mm P (3,8 x 2,8 x 1,04 ")

3.11. TERMÓMETRO RTD DIGITAL CON CARCASA DE CARCASA DE ACERO INOXIDABLE 316

La nueva serie de termómetros DTG-RTD100 de OMEGA cuenta con una carcasa de acero inoxidable 316 resistente que está diseñada especialmente para aplicaciones de lavado, sanitarias y marinas. La gran pantalla LCD con retroalimentación incorpora grandes dígitos de 25 mm (1") y una grafico de barras de 25 segmentos que permite una fácil lectura a distancias de hasta 10,7 m (35'). Hay modelos disponibles con o sin sensores integrales estándar o sanitarios. Las características estándar incluyen: batería interna, funcionamiento con alimentación CC externa, salida analógica y alarmas programables por el usuario. La opción de transmisor inalámbrico permite el control, el registro de gráficos y el registro de datos. Una variedad de opciones y ajustes configurables por el usuario incluyen: frecuencia de actualización, amortiguación, unidades, retroiluminación y apagado automático.



Figura 3.6. Termómetro RTD digital con carcasa resistente.

CARACTERISTICAS:

Rango: -51 a 538 °C (-60 a 1.000 °F) (según el sensor seleccionado)

Precisión: +-0,2 °C (+-0,3 °F) o +-0,1% de lectura

Resolución: 0,1 °C (0.1 °F)

Entorno operativo: -40 a 70 °C (-40 a 158 °F) a 100% HR, sin condensado

Sonda RTD/entrada del sensor: Pt100, 3 hilos

Tipo de pantalla: LCD con retroiluminación, seleccionable

Dígitos de la pantalla: 4 dígitos, 9.999 recuentos

Altura de los caracteres: 25,4 mm (1,0")

Interfaz de ordenador: USB (un cable de programación incluido)

Rango de muestra/pantalla: Ajustable por el usuario de 0,375 a 30 segundos, preestablecido a 1/segundo

Potencia: Dos baterías de litio de 3,6 V, 4,8 Ah de capacidad (batería tipo "C") incluidas; 12 a 24 Vcc

Vida útil de la batería (típica): 1,5 años*

Salida analógica: Seleccionable por el usuario de 0 a 5 Vcc, 0 a 10 Vcc o 4 a 20 mA; requiere alimentación externa de 12 a 24 Vcc para operar

Carcasa: Carcasa de acero inoxidable 316, junta central de ABS

Acabado de la carcasa: Electropulido

Clasificación de la carcasa: Resistente a la intemperie, NEMA 4(IP65)

Configuraciones (USB/software) Apagado automático: bloqueado, 1 minuto, 2 minutos, 5 minutos, 10 minutos, 15 minutos, 30 minutos, 60 minutos.

Unidades: °F, °C. K

Bloqueo: Permite el “bloqueo” desde el botón frontal

Alarmas: Límites de alarma “alto” y “bajo” seleccionables por el usuario

Salida analógica: Graduación seleccionable por el usuario

Retroiluminación: Encendido/apagado o 10 segundos, 30 segundos, 1 minuto, 5 minutos

Transmisor inalámbrico (opcional): Número de canal, frecuencia de transmisión, alarmas, calibración del sensor, registro de gráficos y registro de datos.

Dimensiones: 115,1 de altura* x 114,8 de ancho x 74,2 mm de profundidad (4,53* x 4,52 x 2,92”) (*la altura no incluye el sensor)

Peso: 0,72 kg (1,59 lb)

Velocidad de muestreo de transmisión: programable por el usuario desde 1 muestra/2 minutos a 1 muestra/cada 2 segundos

Transreceptor de radiofrecuencia (RF) Soporte: ISM 2,4 Ghz

Alimentación de salida de RF: 10 dBm (10 Mw)

3.12. TRANSMISORES COMPACTOS DE TEMPERATURA SIN-CONTACTO

La serie OS151-USB de OMEGA mide la temperatura entre -40 a 1000 ° C (-40 a 1832 °F) y con precisión constantemente, con un tiempo de respuesta excepcional de 240 ms. La salida de 4 a 20 mA es compatible con casi cualquier indicador, controlador, registrador, registrador de datos etc., sin la necesidad de interconexión especial a acondicionamiento de señal. OS151-USB tiene una óptica 15:01 por lo que es adecuado para la mayoría de aplicaciones. EL OS301-USB está especialmente diseñado para objetivos distantes y tiene una resolución óptica de 30:1. El OS801-USB está diseñado para pequeños objetos y mide un tamaño de punto de 5 mm (0,20”) de diámetro a distancia de 100 mm (3,9”). Todos estos sensores son totalmente configurables desde un PC utilizando el software y el

cable USB suministrado. Este software fácil de usar le permite al usuario establecer el alcance y la emisividad, compensar de energía reflejada; aplicar un filtro; select Max, min, lecturas promedio o instantánea y pico o valle. Estas características incluyen la adquisición de datos, alarmas y desplazamiento de pantalla gráfica. El sensor opera con el cable conectado con salida de 4 a 20 mA, el cable USB conectado, o ambos. El cable USB tiene un conector en el extremo del sensor con IP65. Una tapa IP65 protege el sensor cuando no está conectado el cable USB.



Figura 3.7. Transmisores compactos de temperatura sin-contacto.

Especificaciones:

Rango de temperatura: -40-1000 °C (-40 a 1832 °F)

Campo de visión:

<OS151-USB: 15:01

<OS301-USB: 30:1

<OS801-USB: 5 a 100 mm de diámetro

Salida: de 4 a 20 mA (lineal con la temperatura)

Configuración: A través del puerto USB 2.0 y PC

Precisión: +- 1% de lectura o +-1& 3176; C el que sea mayor

Repetibilidad: +-0,5% de lectura o +- 0,5 °C que sea mayor

Emisividad: 0,1 a 1,0

Tiempo de respuesta t90: 240 ms (90% de respuestas)

Rango espectral: de 8 a 14 micras

Voltaje de alimentación: 24 Vdc (28 Vdc Max)

Voltaje de sensor: 6 Vdc min

Impedancia máxima de lazo: 900 Ω

Span máximo: 1000 °C (1832 °F)

Span mínimo: 100 °C (212 °F)

Mecánica

Construcción: Acero inoxidable

Dimensiones: 106.5 L x 25 mm D (4.19 x 0.98 “)

Rosca de montaje: M20 x 1 mm (0.04”) pitch

Peso con cable de salida: 175 g (6,2 oz)

3.13. SENSOR DE TEMPERATURA POR INFRARROJOS CONFIGURABLE POR PC

La serie de termómetros infrarrojos OS150-2USB mide temperaturas de 45 a 2000 °C de manera precisa y uniforme con un tiempo de respuesta sobresaliente de 240 ms. La salida puede escalarse de un tramo mínimo de 100 °C a escala completa y puede seleccionarse de 0 a 20 mA o de 4 a 20 mA para permitir su compatibilidad con la mayor parte de la instrumentación de proceso.

Todos los sensores de la serie OS150-2USB son totalmente configurables desde un PC con el software OMEGA y el cable USB incluido. Este software de fácil uso permite al usuario configurar el rango de temperatura mientras los ajustes de emisividad compensan la energía reflejada, aplicar filtrado, seleccionar las lecturas Max., min., media o instantánea y configurar el procesamiento de retención de pico o valle. Estas funciones también pueden ser objeto de un seguimiento y ajuste por parte de un cliente OPC. Otras funciones incluyen la adquisición de datos, alarmas y el desplazamiento por los gráficos visualizados.

El sensor funciona con el cable de 4 a 20 mA conectado, el cable USB conectado o ambos. El cable USB cuenta con un conector IP65 en el extremo del sensor. Una tapa IP65 protege al sensor cuando el cable USB no está conectado.



Figura 3.8. Sensor de temperatura por infrarrojos configurable por PC.

Especificaciones:

Rango de temperatura:

LT: De 45* a 300 °C (OS151 solo)

MT: De 250 a 1000 °C

HT: De 450 a 2000 °C

Campo de visión:

15:1 OS151

25:1 OS251

75:1 OS751

7,5 mm a 500 mm OS801

Salida: Seleccionable de 4 a 20 Ma o de 0 a 20 mA (lineal con la temperatura)

Configuración: A través de un puerto de PC apto para USB 2.0

Precisión: +-1% de lectura o +-2 °C, en función de cual sea superior

Repetibilidad: +- 0,5 % de lectura o +- 0,5 °C, en función de cual sea superior

Emisividad= 1,0, temperatura del objeto > temperatura del sensor + 20 °C

Configuración de emisividad: De 0,1 a 1,0

Tiempo de respuesta, t90: 240 ms (respuesta 90%)

Rango espectral: De 2,0 a 2,4 μm

Tensión de alimentación: 24 V CC (26 V CC Max.)

Tensión del sensor: 11 V CC min.

Impedancia de bucle Max.: 900 Ω a 24 V CC

Tramo máximo: Rango de temperatura completo hasta 1550 °C

Tramo mínimo: 100 °C

Construcción mecánica: Acero inoxidable

Dimensiones: 25 (Prof.) x 106,5 mm (lar.)

Montaje con rosca: M20 x paso de 1 mm

Peso con cable de salida: 175 g

Longitud del cable USB: 1 m Entorno

Grado medioambiental: IP65

Temperatura ambiente: De 0 a 70 °C

Humedad relativa: 95% Max. Sin condensación



CAPITULO 4



4.1. ARQUITECTURA DE CONTROL

El presente proyecto pretende cumplir con los objetivos y metas a cumplir, para ello es necesario un panorama general del proyecto para así en la medida de lo posible no caer en tiempos muertos, mal presupuesto, entre otras cosas volver a un nuevo diseño del trabajo, la Figura 4.1 nos muestra una visión general del sistema.

Definiremos las partes más importantes de este sistema:

- **Transmisor Inalámbrico:** Diseño del transmisor inalámbrico de temperatura con salida de voltaje de 1 a 5 volts.
- **Receptor Inalámbrico:**
- **Red de sensores DS18B20:** Diseño de la red de sensores utilizando la comunicación 1-Wire.
- **Software de interfaz:** Es un programa virtual en una computadora y la PC está configurada por medio de cable Ethernet.

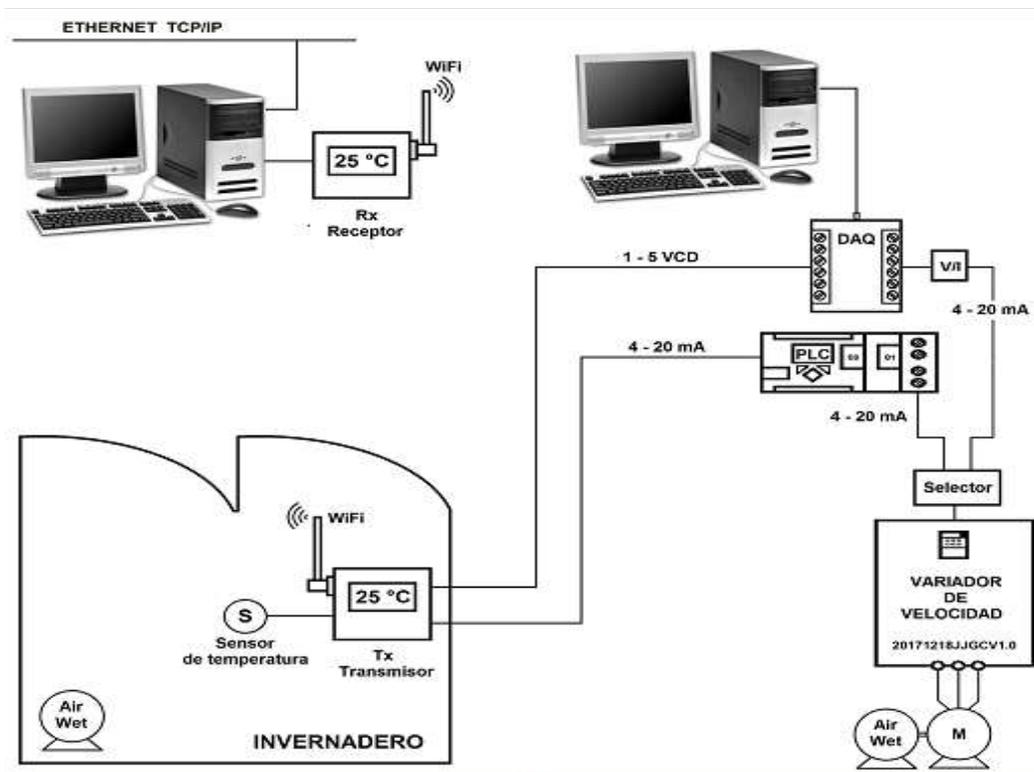


Figura 4.1. Arquitectura de control

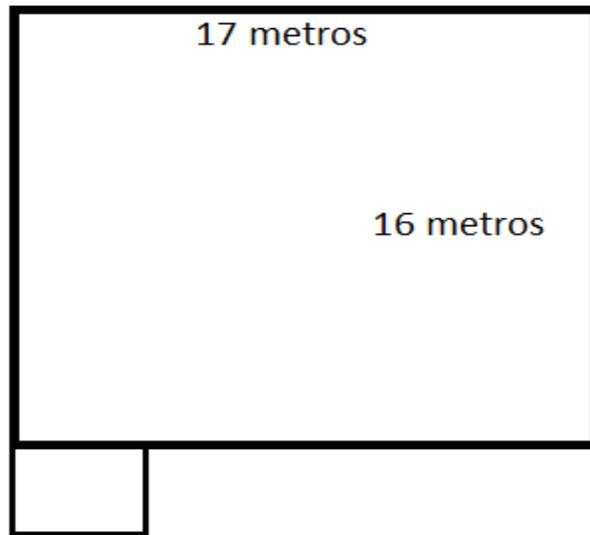


Figura 4.2. Medidas del Invernadero del Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán.

El largo del invernadero corresponde a 16 metros, mientras que el ancho es de 17 metros, el volumen del mismo responde a $1,100 \text{ m}^3$.

4.1.1 LAY OUT DEL GABINETE DEL TRANSMISOR INALÁMBRICO DE TEMPERATURA

Se presenta diagramas, código de programación y conexionado, así como pruebas realizadas para el emisor inalámbrico de temperatura.



Figura 4.3. Prototipado del emisor.

Se diseñaron unas cajas emisora y receptora a partir de carcasas de fuentes de alimentación con los alojamientos correspondientes para su funcionalidad a la que corresponde cada caja. Las dimensiones fueron de 13.5 cm de largo, 7.5 cm. de ancho y 8.5 cm. de altura, tal como se muestra en Figura 4.3.

4.1.2 LAY OUT DEL TRANSMISOR INALAMBRICO DE TEMPERATURA

Se presenta la conexión entre la tarjeta Arduino y el módulo NRF24L01, así como la pantalla LCD.

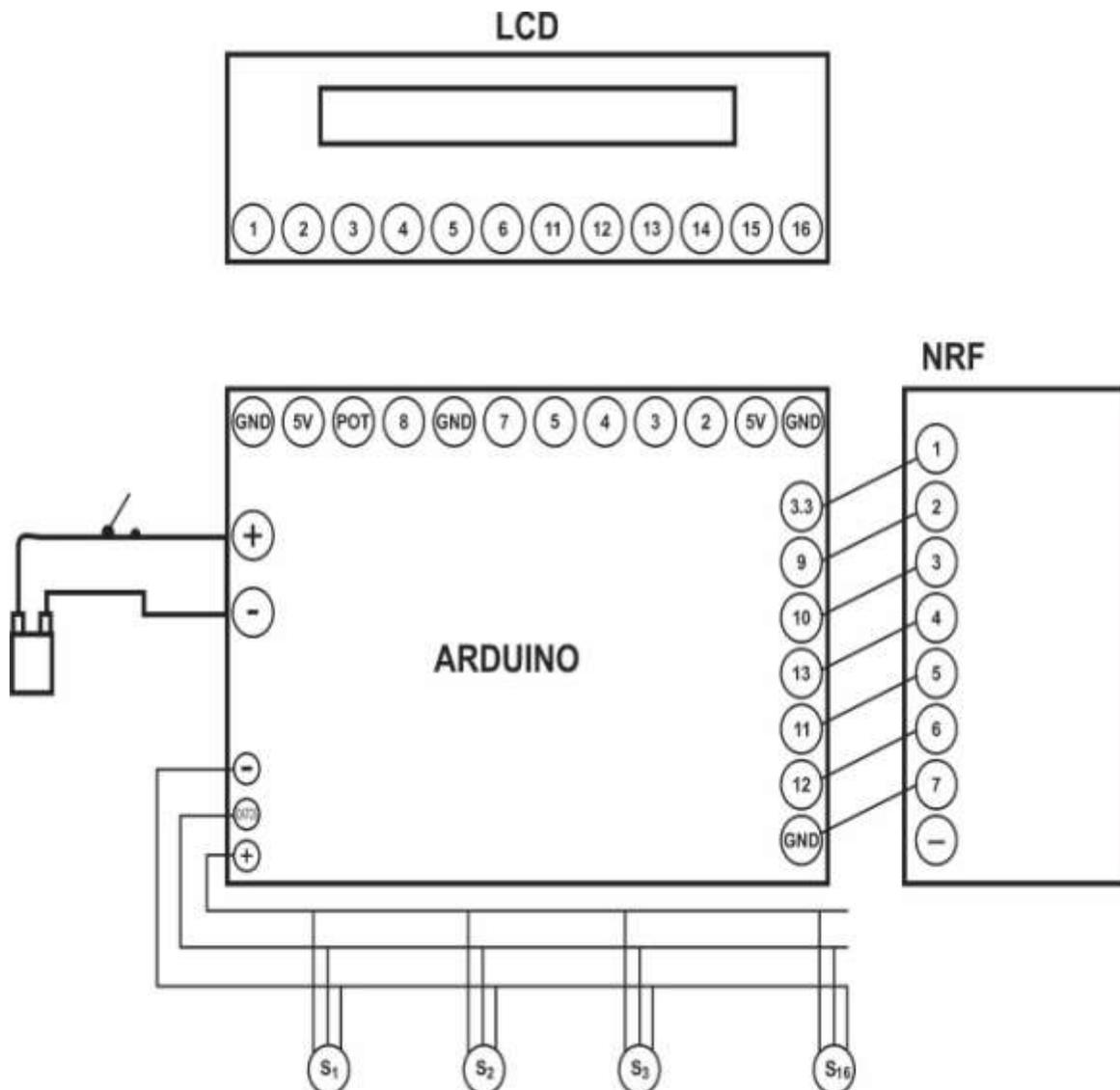
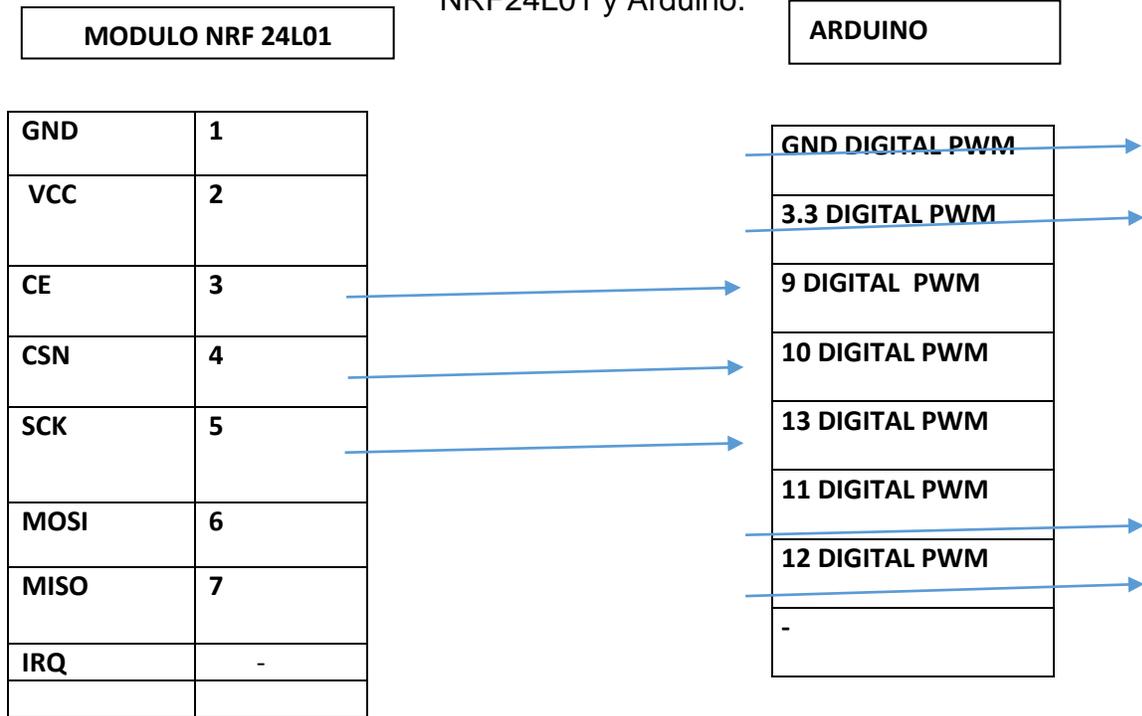


Figura 4.4. Diseño del transmisor inalámbrico.

En la tabla VII se presenta el conexionado de los pines para el módulo NRF24L01 y tarjeta Arduino.

Tabla VII. Conexiones de pines del módulo NRF24L01 y Arduino.



4.1.3 CONEXIÓN DEL MÓDULO LCD AL ARDUINO UNO

Se posiciono un LCD que mostrara la temperatura del sensor DS18B20 el conexionado del LCD se muestra en la figura

La pantalla LCD esta interconectada con el Arduino Uno en el modo de 4 bits. Mientras que los pines DB4 a DB7 datos de la pantalla LCD solamente están conectados y los pines de bits de datos restante DB0 a DB3 quedan desconectados.

El conexionado de pines de datos DB4 a DB7 LCD con los pines de Arduino se presenta en la Tabla X:

PIN	LCD
1	VSS
2	VDD
3	Vee
4	RS
5	RW
6	EN
11	DATOS
12	DATOS
13	DATOS
14	MSB
15	LED +
16	LED -

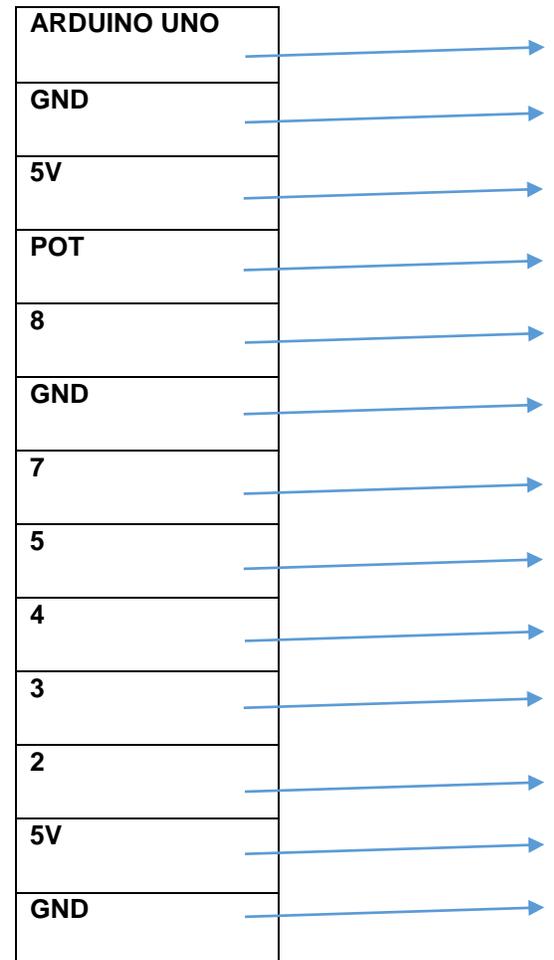


Tabla VIII. Conexionado de pines del módulo LCD y Arduino.

4.3. CÓDIGO MEJORADO DEL TRANSMISOR

Se contaba con lecturas no fiables al momento de generarse una lectura promedio de la temperatura dentro del invernadero, puesto que pese a generar una lectura esta no era del todo correcta ya que se tomaba al momento de evaluarse lecturas fuera de rango; es decir el sensor fallaba y aun así se contaba con ese dato a la hora de visualizar en pantalla la temperatura promedio.

Para solucionar ese problema, se reestructuro el programa original del Emisor inalámbrico y se verifica que cantidad de sensores están funcionando y al final se promedian entre el número exacto de sensores que se encuentran en el margen. El mismo código se encuentra en el anexo I.

4.4. PROGRAMA PARA OBTENCIÓN DE LAS DIRECCIONES DE LOS SENSORES DE TEMPERATURA DS18B20

Cada sensor de temperatura DS18B20 cuenta con una dirección de comunicación para efectos de detalle en la temperatura, se ejecutó un programa en Arduino y el conexionado correspondiente para armar el circuito y así obtener la ID de cada uno de los 16 sensores mismo que se muestra en la Figura 4.9.

```
#include <OneWire.h>

/*-----( Declare Constants and Pin Numbers )-----*/
#define SENSOR_PIN 3 // Any pin 2 to 12 (not 13) and A0 to A5

/*-----( Declare objects )-----*/
OneWire ourBus(SENSOR_PIN); // Create a 1-wire object
/*-----( Declare User-written Functions )-----*/
void discoverOneWireDevices(void) {
    byte i;
    byte present = 0;
    byte data[12];
    byte addr[8];

    Serial.print("Looking for 1-Wire devices...\n\r");// "\n\r" is !
    while(ourBus.search(addr)) {
        Serial.print("\n\r\n\rFound \'1-Wire\' device with address:\n'
        for( i = 0; i < 8; i++) {
            Serial.print("0x");
```

```

        if (addr[i] < 16) {
            Serial.print('0');
        }
        Serial.print(addr[i], HEX);
        if (i < 7) {
            Serial.print(", ");
        }
    }
    if ( OneWire::crc8( addr, 7) != addr[7]) {
        Serial.print("CRC is not valid!\n\r");
        return;
    }
}
Serial.println();
Serial.print("Done");
ourBus.reset_search();
return;
}
void setup() /****** SETUP: RUNS ONCE *****/
{
    Serial.begin(9600);
    discoverOneWireDevices(); // Everything happens here!
} // --(end setup) ---

void loop() /****** LOOP: RUNS CONSTANTLY *****/

```

Figura 4.6. Programa para obtención de direcciones de los sensores DS18B20.

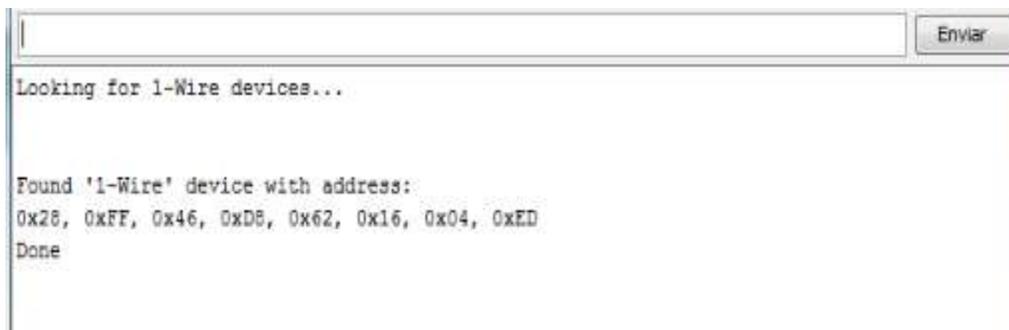


Figura 4.7. Obtención de dirección del sensor DS18B20.

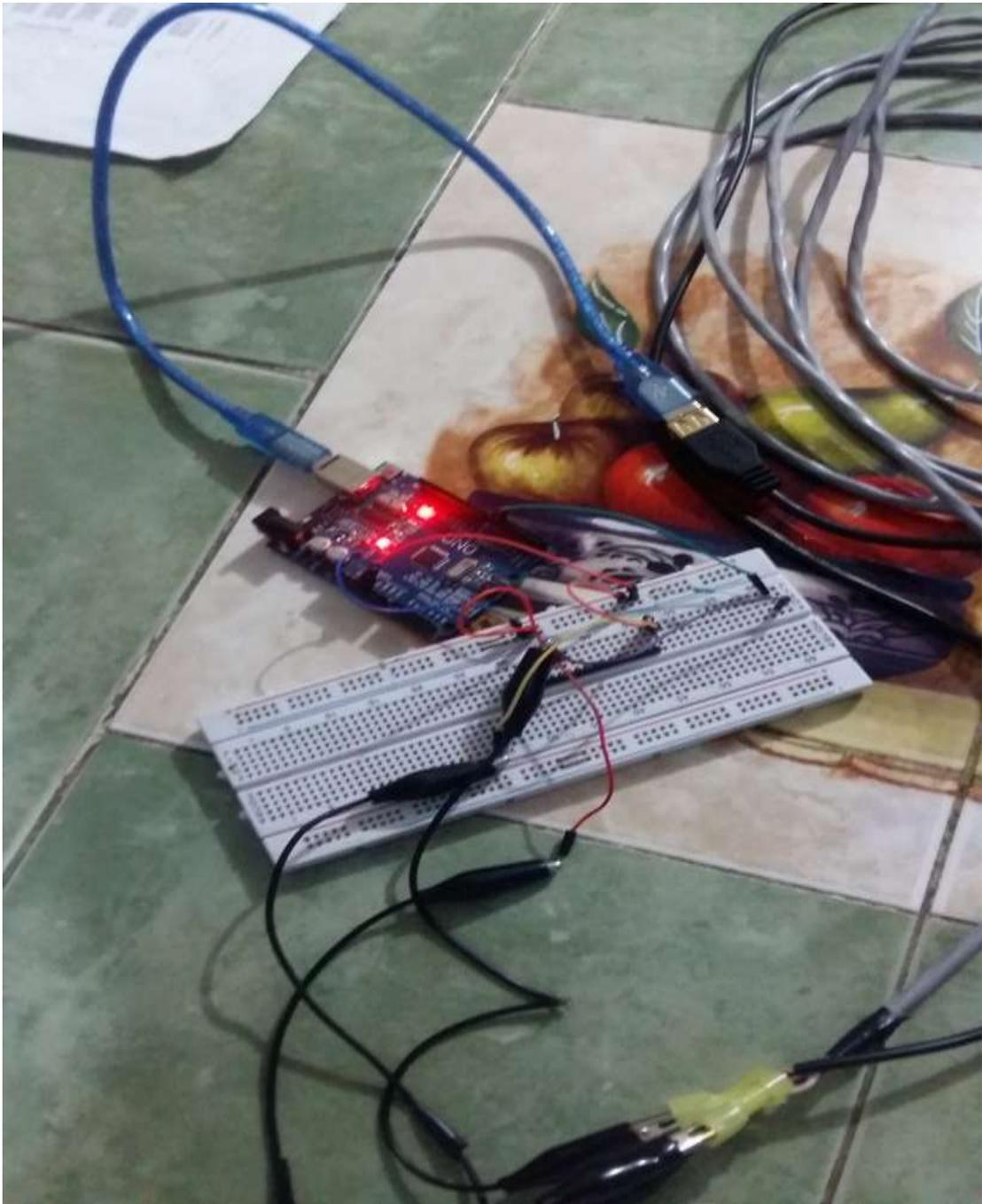


Figura 4.8. Circuito para pruebas a sensores DS18B20.

Tabla IX. Calibración de sensores a temperatura ambiente.

SENSOR	RESISTENCIA EN OHMIOS	TEMPERATURA PT 100	ERROR	TEMPERATURA ARDUINO	HORA	FECHA
1	111.02	29	0.12	29.12	21:20	12/06/2017
2	108.08	22	5.87	27.87	22:00	12/06/2017
3	108.42	21	5.81	26.81	22:40	12/06/2017
4	110.58	27	-0.44	26.56	22:00	26/06/1016
5	110.97	28	-2.25	25.75	09:30	14/06/2017
6	108.98	23	3.56	26.56	10:20	14/06/2017
7	108.01	20	6.06	26.06	10:37	14/06/2017
8	108.47	21	6.5	27.5	11:06	14/06/2017
9	108	20	6.94	26.94	11:27	14/06/2017
10	108	20	6.5	26.5	11:50	14/06/2017
11	110,40	26	-1.75	24.25	11:25	28/06/2017
12	110.95	28	1.06	29.06	17:00	14/06/2017
13	109.43	24	5.31	29.31	17:48	14/06/2017
14	109.39	24	3.87	27.87	18:25	14/06/2017
15	106.35	26	3	29	18:42	14/06/2017
16	106.02	25	3.5	28.5	19:00	14/06/2017
PROMEDIOS	108.8446667	24	3.35375	27.35375		

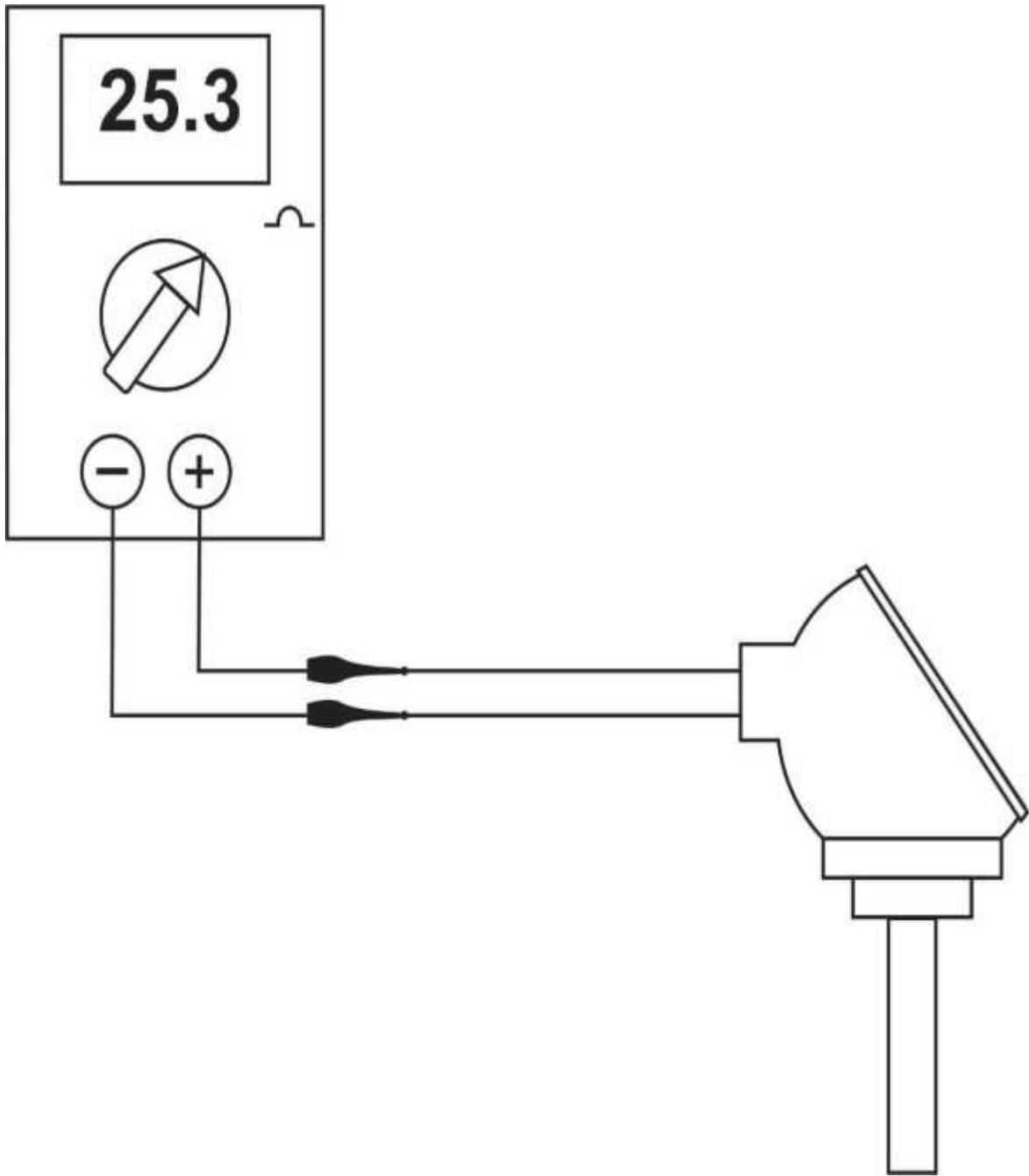


Figura 4.9. Medición de temperatura con RTD a temperatura ambiente.

Tabla X. Calibración de sensores a temperatura bajo cero.

SENSOR	RESISTENCIA EN OHMIOS	TEMPERATURA PT 100	ERROR	TEMPERATURA ARDUINO	HORA	FECHA
1	100.99	0.2	-0.26	-0.06	21,20	12/06/2017
2	100.93	0.2	-0.2	0	22,00	12/06/2017
3	100.82	0.2	-0.39	-0.19	22,40	12/06/2017
4	100.83	0.2	-0.32	-0.12	23,04	12/06/2017
5	100.66	0.1	-0.15	-0.25	22,45	26/06/2017
6	100.91	0.2	-0.32	-0.12	10,20	14/06/2017
7	100.99	0.2	1.68	1.88	10,37	14/06/2017
8	100.99	0.2	-0.2	0	11,06	14/06/2017
9	100.99	0.2	-0.7	-0.5	11,27	14/06/2017
10	100.99	0.2	-0.7	-0.5	11,50	14/06/2017
11	100.83	0.4	0.09	-0.31	23,22	26/06/2017
12	100.91	0.2	-0.11	-0.31	23,22	26/06/2017
13	100.99	0.2	-1.14	-0.94	17,48	14/06/2017
14	100.99	0.2	-0.64	-0.44	18,25	14/06/2017
15	100.99	0.2	-0.51	-0.31	18,42	14/06/2017
16	100.99	0.2	-0.57	-0.37	19,00	14/06/2017
PROMEDIOS	100.925	0.20625	-0.2775	-0.15875		

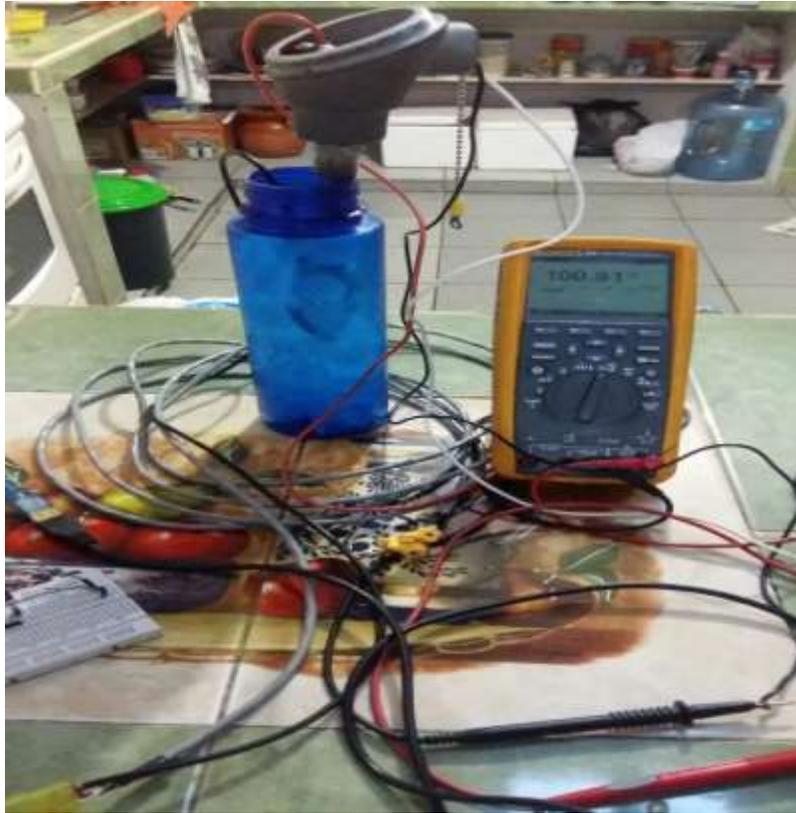


Figura 4.10. Medición de temperatura con RTD a temperatura bajo cero.



Figura 4.11. Visión general del lazo en lecturas de temperaturas bajo cero.

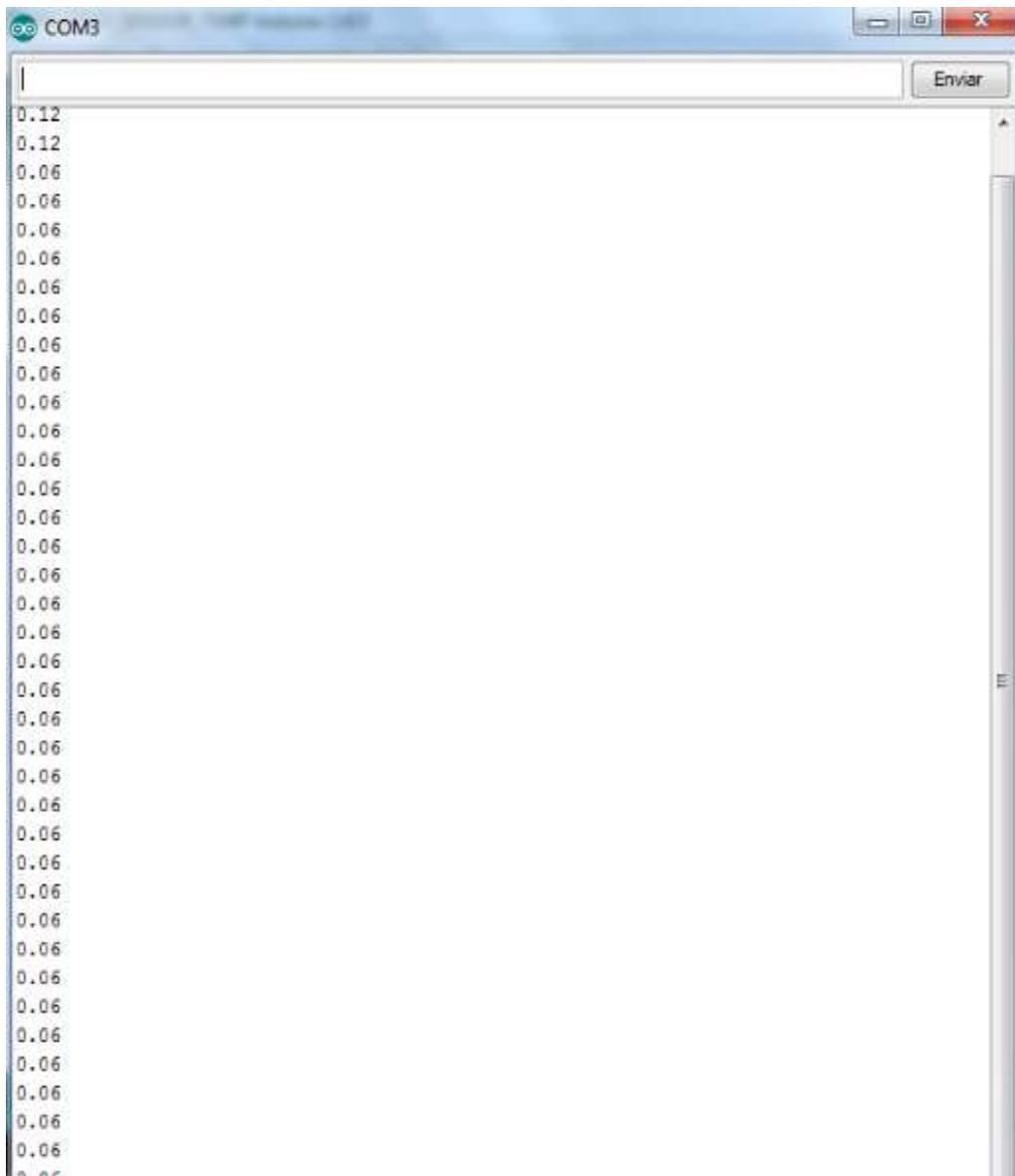


Figura 4.13. Despliegue de temperaturas del sensor DS18B20 correspondiente al número Uno de la red de sensores a temperatura bajo cero.

Tabla XI. Obtención de las direcciones de los sensores DS18B20.

No. de sensor	Código Identificador
1	0x28, 0xFF, 0xF6, 0xD3, 0x62, 0x16, 0x04, 0x36
2	0x28, 0xFF, 0x4F, 0xD2, 0x62, 0x16, 0x04, 0x05
3	0x28, 0xFF, 0x16, 0xB6, 0x62, 0x16, 0x04, 0Xfd
4	0x28, 0xFF, 0x1D, 0xD3, 0x62, 0x16, 0x04, 0x9C
5	0x28, 0xFF, 0x18, 0xD2, 0x62, 0x16, 0x04, 0xC1
6	0x28, 0xFF, 0xA2, 0xC8, 0x62, 0x16, 0x04, 0x10
7	0x28, 0xFF, 0xAE, 0xBF, 0x62, 0x16, 0x04, 0x1F
8	0x28, 0xFF, 0x1B, 0xD2, 0x62, 0x16, 0x04, 0x8F
9	0x28, 0xFF, 0x34, 0xC3, 0x62, 0x16, 0x04, 0Xaf
10	0x28, 0xFF, 0x5A, 0xE6, 0x62, 0x16, 0x04, 0Xed
11	0x28, 0xFF, 0x55, 0xD2, 0x62, 0x16, 0x04, 0xC4
12	0x28, 0xFF, 0xC3, 0xEA, 0x62, 0x16, 0x04, 0Xbb
13	0x28, 0xFF, 0x69, 0xD7, 0x62, 0x16, 0x04, 0xE0
14	0x28, 0xFF, 0x4B, 0xE9, 0x62, 0x16, 0x04, 0xC6
15	0x28, 0xFF, 0x05, 0xAF, 0x62, 0x16, 0x04, 0x64
16	0x28, 0xFF, 0x54, 0xAF, 0x62, 0x16, 0x04, 0x3C

Tabla XII. Máximos y Mínimos de Modulo Analógico E/S.

Nombre del Modulo		1762-IF20F2	
Tipo		Mixto (E/S)	
Resolución		12 bits	
Rango Max Scala Análoga		Volts	Amps
		0-10.5	0-21 Ma
Canal	Cuentas	Salida del Módulo (miliamperes)	Porcentaje
2	6229	4	0%
2	12471.75	8	25%
2	18714.5	12	50%
2	24957.25	16	
2	31200	20.003	100%
3	6265	4	0%
3	31193	20	100%

Tabla XIII. Máximos y Mínimos de Modulo Analógico Entradas.

Canal	Cuentas	Entrada del Módulo (miliamperes)	Porcentaje
0	3128	4	0%
0	6238	8	25%
0	9348	12	
0	12458	16	
0	15568	20	100%
1	3128	4	0%
1	15568	20	100%

Nombre del Modulo		1762-IF4	
Tipo		Entradas	
Resolución		15 bits (bipolar)	
Rango Max Scala Análoga		Volts	Miliamps
		-10.5 a 10.5	-21 a 21
Canal	Cuentas	Entrada del Módulo (miliamperes)	Porcentaje
0	3121	4	0%
0	15598	20	100%
1	3120	4	0%
1	15594	20	100%
2	3123	4	0%
2	15606	20	100%
3	3121	4	0%
3	15600	20	100%

Tabla XIV. Número de Partes del PLC Allen Bradley Micrologix 1100.

CPU	PARTE	DESCRIPCION
0	Bul.1763	PROCESADOR Micrologix 1100
1	1762-IF4	Cuatro Entradas Analógicas
2	1762-1F20F2	Dos entradas analógicas Dos Salidas Analógicas
3	1762-1Q16	Dieciséis Entradas Digitales 10/30 VDC
4	1762-0W16	16 Salidas Tipo Relay 240 VAC

Tabla XV. Corrientes, cuentas y frecuencias.

Tabla corriente, cuentas y frecuencias			
Ventilador con motor trifásico de inducción abierto			
Marca Siemens :		1RA3 054-4YK31	
Módulo de SIEMENS salidas analógicas:		1762-1f20f2	
Corriente (mA)	Cuentas	Frecuencia real	Frecuencia programada
20.003	31200	60.4	60
16.014	24957	45.5	45
12.007	18714	30.6	30
7.997	12472	15.8	15
4	6229	0	0

Tabla XVI. Linealización MOTOR PID.

Voltaje	Cuentas	Corriente	Porcentaje
1	3115	4	0
1.5	4705	6	
2	6290	8	25
2.5	7890	10	
3	9460	12	50
3.5	11070	14	
4	12690	16	75
4.5	13940	18	
5	13960	20	100

Tabla XVII. Conexiones del Módulo 1 y 2 del PLC.

No.	Conectado a	Especificación	Tipo
1	Modulo (1) Cod.1762-IF4	Positivo. Canal 0 de entradas.	Analógica
2	Modulo (1) Cod. 1762-IF4	Negativo. Canal 0 de entradas.	Analógica
3	Modulo (1)Cod.1762-IF4	Positivo. Canal 1 de entradas.	Analógica
4	Modulo (1)Cod.1762-IF4	Negativo. Canal 1 de entradas.	Analógica
5	Modulo (1) Cod.1762-IF4	Positivo. Canal 2 de entradas.	Analógica
6	Modulo (1) Cod.1762-IF4	Negativo. Canal 2 de entradas.	Analógica
7	Modulo (1)Cod.1762-IF4	Positivo. Canal 3 de entradas.	Analógica
8	Modulo (1)Cod.1762-IF4	Negativo. Canal 3 de entradas.	Analógica
9	Modulo (2) Cod. 1762-1F20F2	Positivo canal 0 de entradas	Analógica
10	Modulo (2) Cod. 1762-1F20F2	Negativo canal 0 de entradas	Analógica
11	Modulo (2) Cod. 1762-1F20F2	Positivo canal 1 de entradas	Analógica
12	Modulo (2) Cod. 1762-1F20F2	Pegativo canal 1 de entradas	Analógica
13	Modulo (2) Cod. 1762-1F20F2	Positivo canal 0 de salidas	Analógica
14	Modulo (2) Cod. 1762-1F20F2	Negativo canal 0 de salidas	Analógica
15	Modulo (2) Cod. 1762-1F20F2	Positivo canal 1 de salidas	Analógica
16	Modulo (2) Cod. 1762-1F20F2	Negativo canal 1 de salidas	Analógica

Tabla XVIII. Cuentas para modulo mixto de entradas 1762-IF20F2 utilizando voltaje.

TIPO	CANAL	VOLTAJE DE ENTRADA / SALIDA	NUMERO DECIMAL CALCULADO	NUMERO DECIMAL EN EL SOFTWARE
ENTRADA	0	0	0	0
ENTRADA	0	1	3120	3160
ENTRADA	0	2	6240	6248
ENTRADA	0	3	9360	9336
ENTRADA	0	4	12480	12440
ENTRADA	0	5	15600	15544
ENTRADA	1	0	0	0
ENTRADA	1	1	3120	3168
ENTRADA	1	2	6240	6240
ENTRADA	1	3	9360	9352
ENTRADA	1	4	12480	12464
ENTRADA	1	5	15600	15576
SALIDA	0	0	0	0
SALIDA	0	1	3120	3144
SALIDA	0	2	6240	6224
SALIDA	0	3	9360	9344
SALIDA	0	4	12480	12456
SALIDA	0	5	15600	15552
SALIDA	1	0	0	0
SALIDA	1	1	3120	3152
SALIDA	1	2	6240	6256
SALIDA	1	3	9360	9360
SALIDA	1	4	12480	12448
SALIDA	1	5	15600	15552

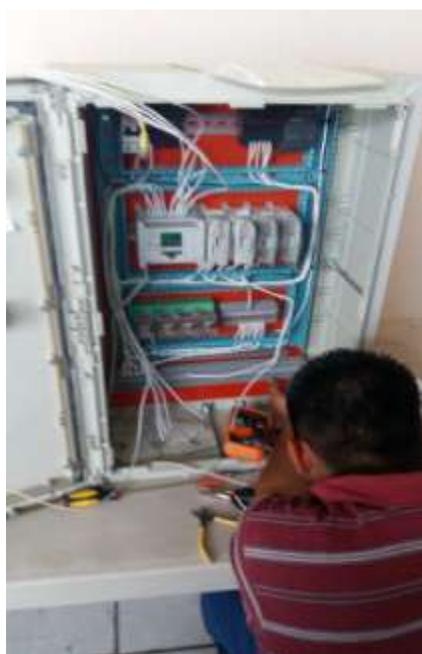


Figura 4.14. Cableado de PLC.



Figura 4.15. Conexionado Final del PLC.

4.5. MOTOR TRIFÁSICO DE INDUCCIÓN ABIERTO

SIEMENS

Tipo: 1RA3 054-4YK31

SERVICIO: CONTINUO

1 HP

AISL. CLASE: B F.S: 1,25

CP: 0,50 Kw: 0,373

F.S.A: 2.3/1,2

Min⁻¹: 1730 rpm Hz: 60

TEMP. AMB: 40 °C

V: 220 YY/440 Y

INC. TEMP: 80 °C

A: 2,1 / 1,1

DIS. NEMA: B

ARMAZON: 56

APG L.COD. Kva: H

EFIC.NOMINAL: 68,0 %

PESO: 7,9 kg

ROD. LADO EJE: 6203 ZZ

SERIE No: Q2 – B15

ROD.LADO VENT: 6203 ZZ



Figura 4.16. Conexiones bajo y alto voltaje de Motor Trifásico de Inducción Abierto.



Figura 4.17. Motor Trifásico de Inducción Abierto Siemens.



Figura 4.18. Programación de Variador de Velocidad General Electric.

Los datos que fueron programados al variador fueron los siguientes:

- 1HP
- 60 HZ
- 220 V
- 2.1 A
- 1730 rpm



Figura 4.19. Conexión Variador de velocidad – Ventilador Tubular.



Figura 4.20. Medición de velocidad y flujo del viento.



Figura 4.21. Resultado de medición de flujo del viento.

4.6. PRUEBAS AL VENTILADOR

Prueba de velocidad y volumen de aire

La prueba de **velocidad** se llevó a cabo utilizando un anemómetro digital Benetech Gm8902, como el mostrado en la Figura 4.33, el resultado de la lectura de velocidad fue de 4.5 m/s y su capacidad volumétrica fue de 59.09 m^3/min , la capacidad, el volumen total del invernadero es de 1000 m^3 , esto quiere decir que se necesitan aproximadamente 16 ventiladores de las mismas características para poder mover el volumen total de aire dentro del invernadero en una hora. El área del ventilador es de 0.21 m^2

La prueba se llevó a cabo con el control manual del variador.

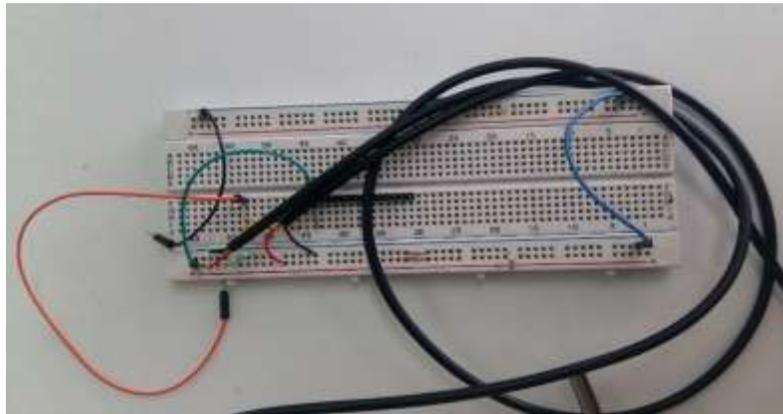


Figura 4.22. Circuito de prueba para identificación de dirección de Sensor DS18B20.

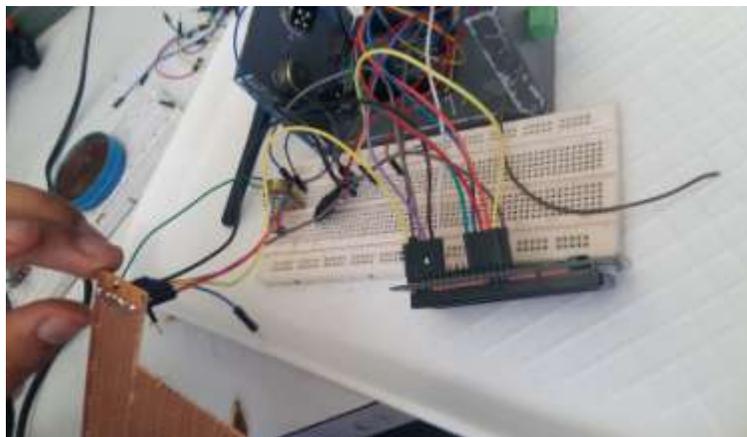


Figura 4.23. Mejora en el conexionado de transmisor – receptor.

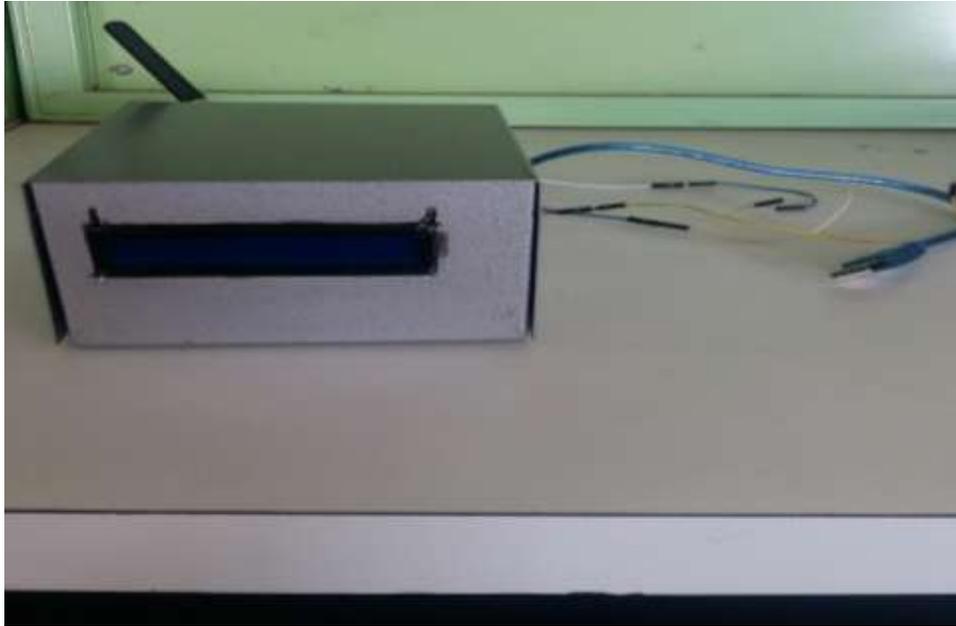


Figura 4.24. Construcción y Diseño de Emisor.



Figura 4.25. Construcción y diseño de Receptor.

4.7. OBTENCION DE LA FUNCION DE TRANSFERENCIA

Con la finalidad de obtener la función de transferencia del sistema se tomaron datos de la temperatura directamente del interior del invernadero, con el anemómetro de temperatura Figura 2.19 en el cual se llevaban a cabo las lecturas de las variables en determinados tiempos de una manera aleatoria el Humidificador utilizado para la recirculación de aire y que facilito el decremento en la temperatura fue el mostrado en la figura fue el que se muestra en la figura 4.42



Figura 4.26. Humidificador de Invernadero.

La figura 4.43 presenta el decremento de la temperatura desde el momento en que se acciona el ventilador, hasta obtener la temperatura mínima registrada en la última lectura de temperatura.

La entrada del sistema considerada es una entrada escalón donde el ventilador recircula el aire dentro del invernadero, y la salida del sistema considerada es la variable temperatura. La temperatura mínima alcanzada en el interior del invernadero con el ventilador a plena carga fue de 24.3°C.

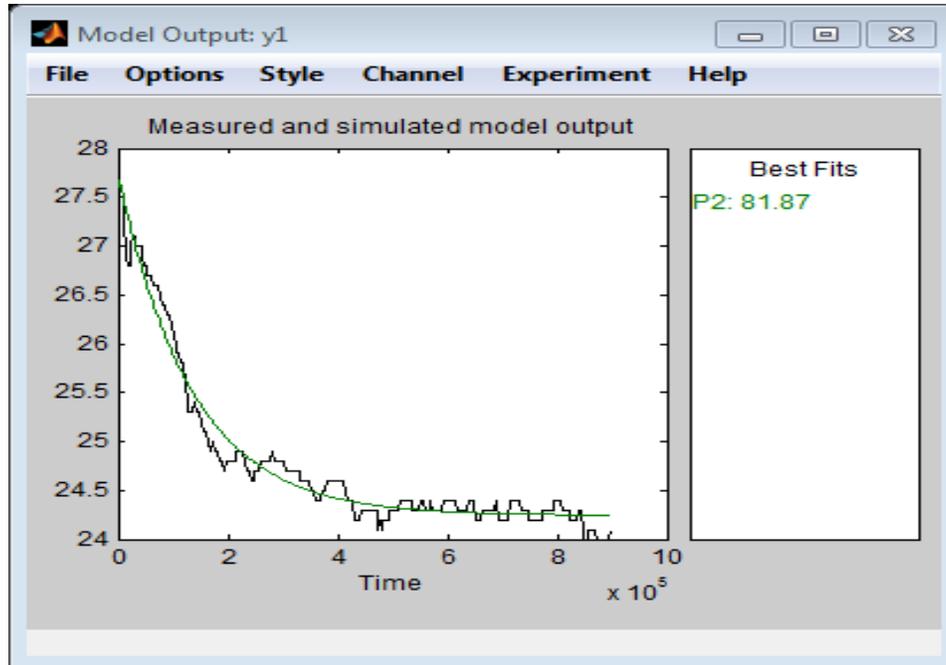


Figura 4.27. Descenso de temperatura

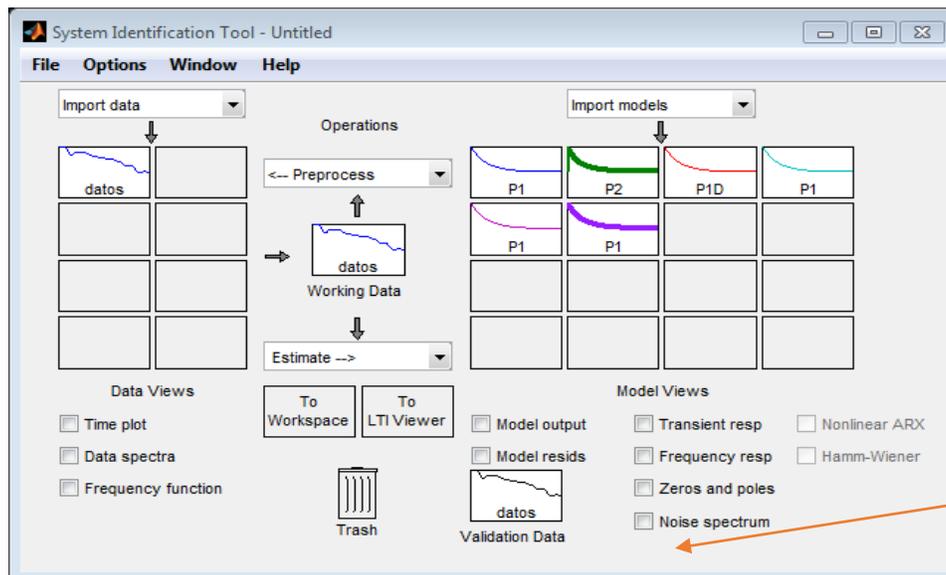


Figura 4.28. Grafica P1 elegida.

```

P2 =
Process model with transfer function:
      Kp
G(s) = -----
      (1+Tp1*s) (1+Tp2*s)

      Kp = 1.0101 +/- 0.00053591
      Tp1 = 1.334e+05 +/- 3165.9
      Tp2 = 0.0073235 +/- 0.00018055

Name: P2
Parameterization:
  'P2'
Number of free coefficients: 3
Use "getpvec", "getcov" for parameters and their uncertainties.

```

Figura 4.29. Primer Método para obtención de función de transferencia

```

P1 =
Process model with transfer function:
      Kp
G(s) = -----
      1+Tp1*s

      Kp = 1.0098 +/-
      Tp1 = 45.869 +/-

Name: P1
Parameterization:
  'P1'
Number of free coefficients: 2
Use "getpvec", "getcov" for parameters and their uncertainties.

```

Figura 4.30. Segundo método para modelo de la función de transferencia.



CAPITULO 5



5.1. TEMPERATURAS INTERIOR Y EXTERIOR DE INVERNADERO

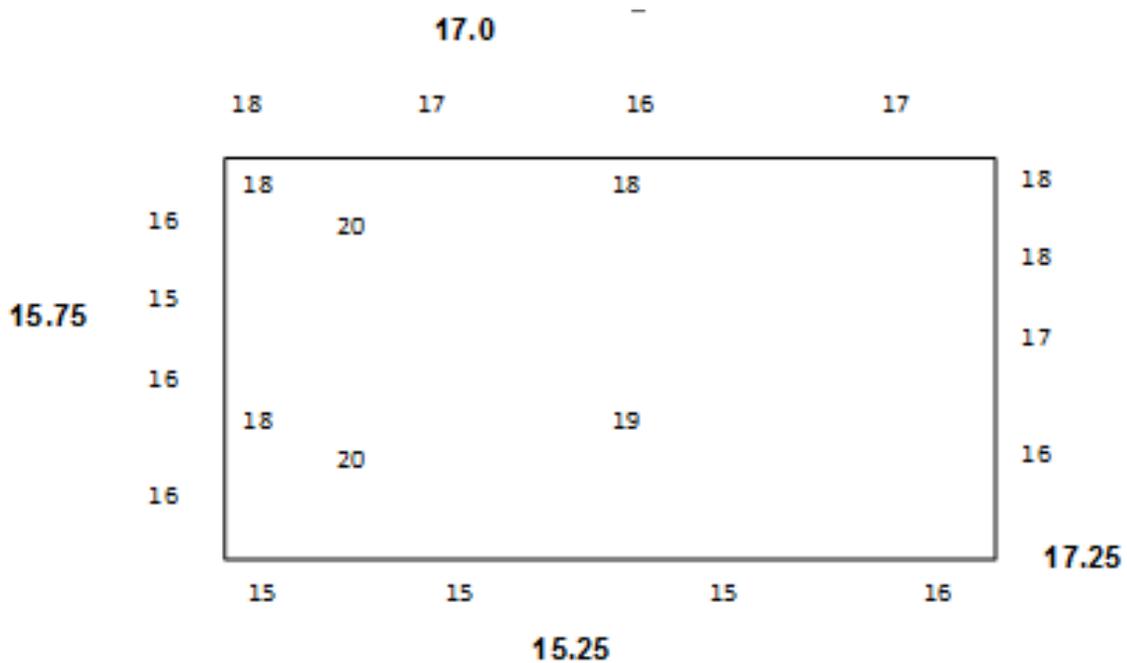


Figura 5.1. Temperaturas exterior e interior del invernadero.

TEMPERATURA PROMEDIO INTERIOR: 18.6 °C

TEMPERATURA PROMEDIO EXTERIOR: 16.3 °C

Se realizaron lecturas de temperatura dentro del invernadero siendo las 10.45 Hrs, así como en el exterior del mismo de cada lado, fijándose una temperatura promedio respecto a cuatro mediciones realizadas estratégicamente de cada lado del invernadero. Se utilizó un multímetro con la facilidad para realizar mediciones de temperatura en grados Celsius.

5.2. CARACTERIZACIÓN DE LA TEMPERATURA

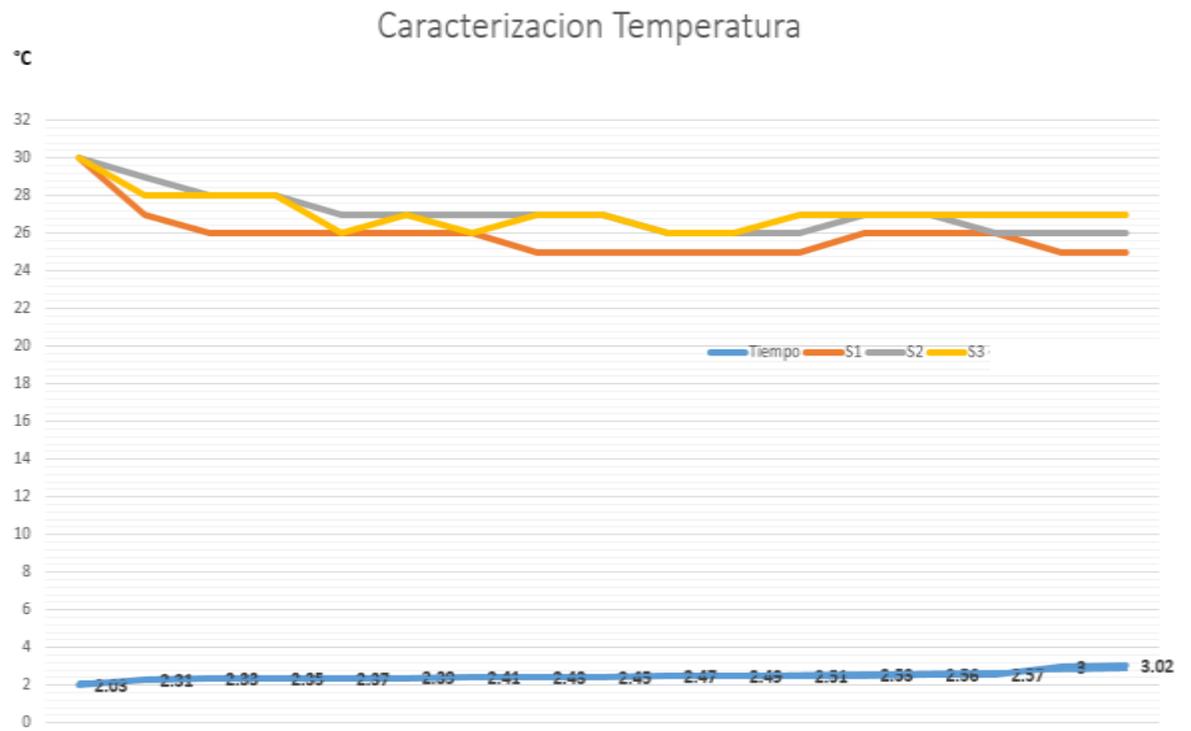


Figura 5.2. Caracterización de la temperatura dentro del Invernadero.

5.3. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA REALIZADO EN RSLOGIX 500 PARA EL CONTROL PID AUTOMÁTICO DEL VENTILADOR

De entrada, tenemos una primera pantalla donde se aprecian nueve líneas, dos con funciones MOV, dos con funciones SCP (Scale with Parameters), un bloque de PID (Proportional Integral Derivative), LEQ (Less Than or Equal), GRT (Greater Than), así como interruptores abiertos y cerrados además de salidas energizadas, finalizando con una última línea de fin (end) de programa (figura 36.1). Las funciones MOV se refieren a cuando el procesador mueve el contenido de una dirección hacia un destino, en nuestro caso, en la primera subrutina o MOV nos manda a la sección del Setpoint, entendiéndose que Source es la dirección del dato que se desea mover y destination es la dirección hacia la cual la instrucción mueve el dato. Las funciones SCP toman el valor de una entrada analógica y se escalan a un valor de ingeniería, en nuestro caso, la segunda subrutina o SCP nos manda a la sección de Variable de Proceso. Para la tercera subrutina correspondiente al PID nos permite el monitoreo del proceso y control de la variable de temperatura. Para la cuarta línea de programa echamos mano nuevamente de la función SCP, donde realizamos el registro de Memoria de Prueba. Presentamos una Salida Analógica en la línea de programa número cinco gracias al bloque de MOV. En la sexta y séptima subrutina tenemos una memoria de prueba asignada a cada línea de programa mediante la instrucción LEQ y GRT respectivamente con sus respectivas funciones de desenergizado. Ya en la octava línea de programa o subrutina se presenta una salida analógica, pero con su bobina de apagado a inicio de la línea de programación. En la penúltima subrutina, la octava, se presentan comandos para apagar y habilitar la salida. Finalizando con la última línea de programa END. Todo este programa es también es nombrado LAD 3 – AUTO como aparece en el lado izquierdo de nuestra pantalla en RSLogix 500, toda la programación para el control PID en Automático se visualiza en la Figura 5.9.

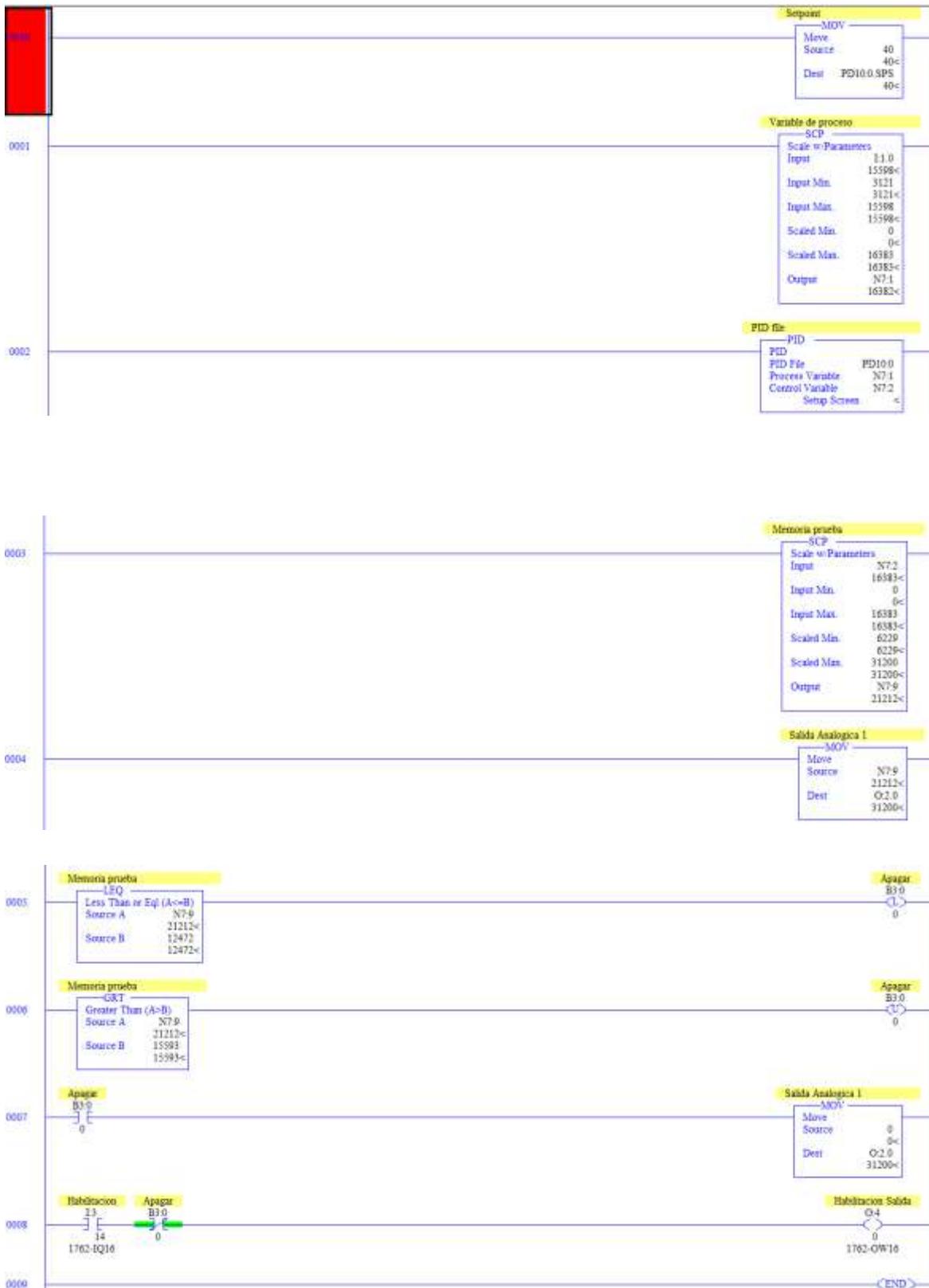
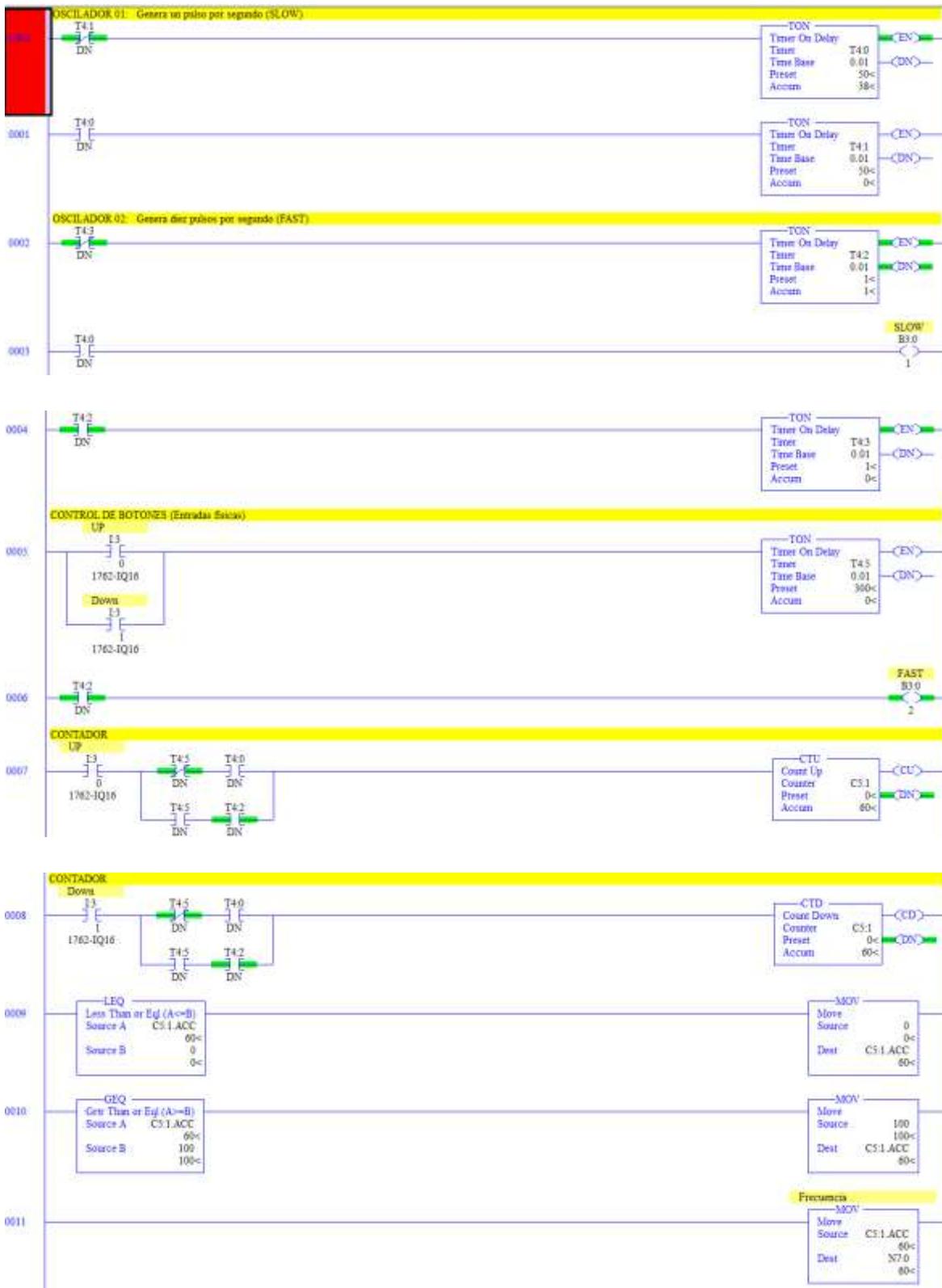


Figura 5.3. Control PID para Ventilador Automático.

5.4. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA REALIZADO EN RSLOGIX 500 PARA EL CONTROL PID MANUAL DEL VENTILADOR

De entrada tenemos una primera pantalla donde se aprecian trece líneas, cinco con funciones TON (Timer On-Delay) en mismo número de líneas de programa, una función CTU (Count Up) en una subrutina, una función SCP (Scale with Parameters) en una sola subrutina), así como interruptores abiertos y cerrados además de salidas energizadas, funciones LEQ (Less Than or Equal), GEQ (Greater Than or Equal) también figuran una en cada línea de programa Las funciones MOV se refieren a cuando el procesador mueve el contenido de una dirección hacia un destino, finalizando con una última línea de fin (end) de programa (figura 5.4), en nuestro caso, en la primer subrutina o TON nos manda a la sección del Oscilador 01, el cual genera un pulso por segundo (SLOW) comprendiendo esta sección dos líneas de programa. Para la siguiente subrutina tenemos el oscilador 02, el cual genera diez pulsos por segundo (FAST) comprendiendo tres líneas de programa. En la sexta subrutina entramos a la sección de control de botones (entradas físicas) mediante la instrucción TON. Para la sección del Contador Up que figura en la subrutina número ocho se echa mano de una instrucción CTU, mientras que para el Contador Down se requiere de un CTD con sus respectivos contadores N.A o N.C para ambos contadores, es en el último contacto donde se emplean las instrucciones de LEQ y GEQ, en conjunto a un bloque MOV para cada instrucción comparativa. En la subrutina número doce, llegamos a la frecuencia, misma que figura acondicionada mediante un MOV y ya para concluir una Salida Analógica representada con un SCP fijando los valores máximos y mínimos que se requieran. Finalizando con la última línea de programa END. Todo este programa es también es nombrado LAD 4 M Manual como aparece en el lado izquierdo de nuestra pantalla en RSLogix 500, la Figura 5.4 muestra el Control PID del ventilador en su operación manual que se detalló hace unos momentos.



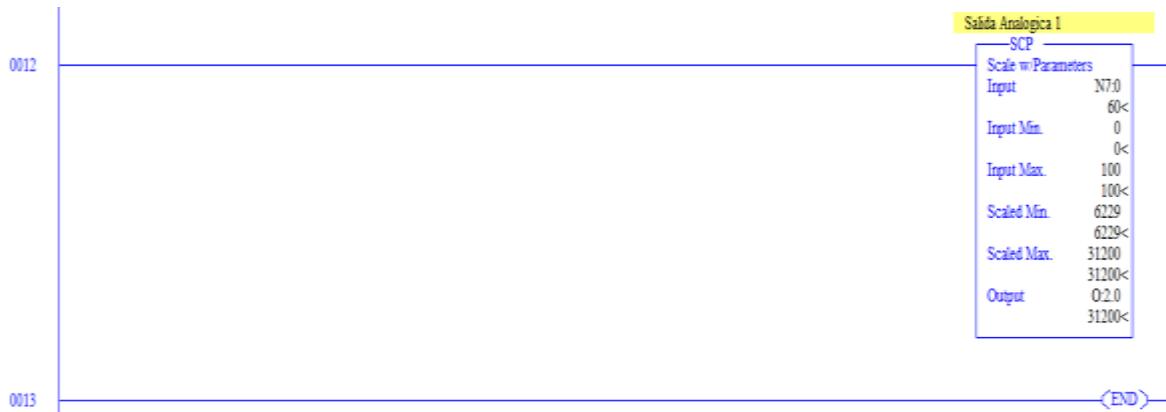


Figura 5.4. Control PID para Ventilador Manual.

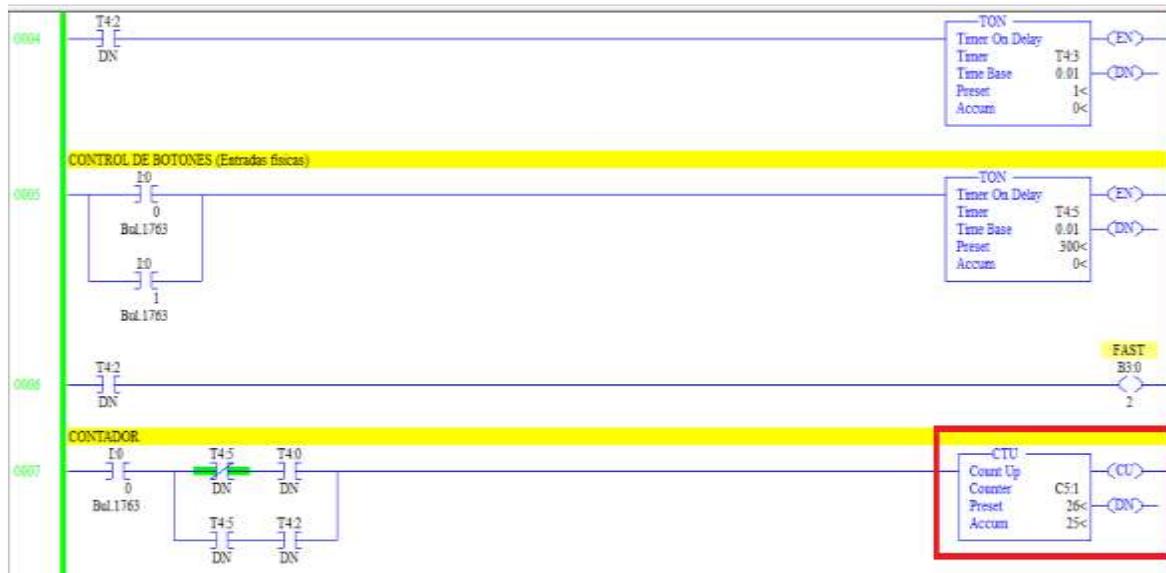


Figura 5.5. Set Point del Ventilador para el Control de Temperatura.

5.5. PRUEBAS DE SALIDA VOLTAJE DEL TRANSMISOR

Se colocó una señal de 1 a 5 Volts proporcional a la temperatura de 0°C a 100 °C. Se toma la lectura de la señal con un voltímetro de 5 volts.



Figura 5.6. Comprobación de tensión en salida de transmisor en operación.



Figura 5.7. Envío de promedio de temperatura por Transmisor Inalámbrico.

En la prueba de salida de voltaje se detectan 28 °C



Figura 5.8. Recepción de temperatura mediante la caja receptora.



Figura 5.9. Pruebas control PID del ventilador.



CAPITULO 6



6.1. OBSERVACIONES

Antes de realizar la prueba de alcance de envío y recepción de datos de temperatura mediante WIFI se probó en una red local dentro de un domicilio, donde se generaban las temperaturas de cada sensor que se iba agregando a la red, sin embargo al momento de llevar esta práctica al Tecnológico dentro del Invernadero el resultado fue diferente.

Se procedía a encender el router virtual en el ordenador alojado dentro del laboratorio de instrumentación, detectando así nuestro dispositivo móvil; en este caso el celular la conectividad, conforme nos dirigíamos al invernadero para observar dentro del programa Team Viwer las temperaturas de cada sensor, la señal de internet inalámbrico se notaba débil, hasta que se perdía la comunicación.

Para resolver el problema, se intentaron varias posibles soluciones, desde el reseteo de máquina, equipo celular, reinstalación del software virtual que nos permitiría ejemplificar el modem en físico, sin éxito las anteriores opciones, ya que el alcance era limitado al aula de laboratorio.

La red de sensores puede tener una mejoría en el empalme del cable de control y las terminales del sensor DS18B20, ya que al soldar las terminales estas quedaban al exterior y con el movimiento de la red en la etapa de pruebas en campo, se llegaban a desprender derivado de el mismo trayecto que se daba de un determinado punto a otro.

La ejemplificación que se quería tener en LabView con ayuda de internet se vio obstaculizada por el inconveniente de la pérdida de señal dentro del invernadero, ya que sin él envío de datos de cada sensor al bloque de LabView necesario para hacer el despliegue de temperaturas en tiempo real, sería imposible obtener los gráficos de cada sensor con su respectiva toma de lectura de la variable en mención.

En la interconexión de módulo de Arduino, Modulo NRF, Modulo LCD, se utilizó bastante cable Dupont, en presentación Macho-Hembra, Macho-Macho, ello generaba una red de cables bastante difusa y cuando algún modulo generaba algún error, era complicado y tardío el hecho de localizar terminal punto a punto necesario para hacer algún ajuste, aunado a ello nos encontramos con la peculiaridad de que cableado Dupont no conducía o bien el estañado de terminales no era el óptimo para una correcto ensamble en bornes de los módulos ya mencionados,

6.2. RECOMENDACIONES

En las pruebas de calibración de sensores se presentaron sensores con un error significativo para los cuales se procedió a eliminar dichos errores, pudiendo dar solución mediante una ecuación de calibración de sensores o bien realizando el cambio de sensor previamente calibrado para cumplir con las condiciones de operabilidad requeridas para realizar la comunicación de emisión-recepción de temperatura.

Derivado de complicaciones que se presentaron en la recepción de temperatura en la caja receptora, se optó por utilizar tecnología inalámbrica. Se realizaron pruebas en domicilio particular contando con un modem y su respectiva IP real para la visualización de la temperatura promedio en Internet, sin embargo en el Instituto Tecnológico nos generó problemas el Router Virtual el cual presento fallos desde la estación central, ello suficiente para que la señal no fuera lo suficientemente apta para ser trabajada en el Invernadero de nuestra institución.

Se realizó también una mejora al código de programa del emisor, el cual ahora realizara las lecturas de temperatura de una manera más fiable.

Se adaptó un cable de comunicación más robusto en la construcción de la red de sensores de temperatura; el denominado cable de control blindado calibre 18.

Se detallaron las direcciones de los sensores, así como el proceso de armado de la red sensorial.

La programación del ventilador fue con el variador General Electric.

Gracias al anemómetro se lograron mediciones en velocidad y flujo del viento en los equipos dentro del invernadero hablándose del ventilador y en el caso del proyecto de humedad relativa el actuador pulverizador de agua.

Se tiene un circuito alusivo a la codificación de sensores DS18B20.

Se realizó la calibración de sensores tanto a temperatura ambiente como a temperatura bajo cero.

Nos apoyamos con la resistencia RTD así como con hielo, simulando así temperaturas ambiente y bajo cero.

Se realiza el control PID del ventilador de forma manual y automática.

Se presentó a su vez un acercamiento a el monitoreo vía Internet WIFI, en donde al conectarse a internet con una IP correspondiente se puede saber la temperatura promedio.

Como resultado de la investigación se reestructuro el diseño de emisor y receptor inalámbrico para ser mejor visualizado tanto en circuitería como en teoría.

6.3. TRABAJOS FUTUROS

Derivado de las múltiples situaciones a mejorar en el presente proyecto y se logren los objetivos que aquí se exponen, será necesario mejorar las conexiones del cableado entre los distintos módulos que se requieren para construir la caja de transmisor y receptor respectivamente.

El hecho de optimizar recursos materiales, así como en tiempo resultan provechosos, y parte de ese tiempo puede ser de provecho para dimensionar favorablemente este proyecto.

Una redistribución de los módulos de radiofrecuencia, programación de placas Arduino, desde luego la pantalla que despliegue la información de la temperatura provocaría una interconexión de protocolos mucho más armoniosa que con el acomodo actual que presentan las cajas de transmisión y recepción.

Si se logra conjuntar el cable blindado con el cable del sensor DS18B20, sin necesidad de trozar el mismo cable de control, se obtendrá una ganancia en términos de pérdidas de envío recepción de datos, se gana en brevedad de construcción de red; logrando reducir el tiempo de armado de red de sensores punto a punto.

En el proyecto resulta de gran importancia el internet, mas sin embargo si no nos es posible contra con un modem dentro del invernadero o bien; cercano al mismo, sería prudente considerar una migración en el protocolo de comunicación, posiblemente mediante protocolo ZigBee, Bluetooth, o bien tendencias nuevas y de fácil operatividad como lo es Firebase que nos permitiría generar base de datos de nuestras lecturas de temperatura en tiempo real alojadas en Internet, con acceso desde cualquier parte del mundo a misma información.

6.4. CONCLUSIÓN GENERAL

El hecho de contar con información en diagramas de circuitos permite ejemplificar de una manera más clara el funcionamiento de un sistema de comunicación inalámbrica aunado a ello información en concreto de todo dispositivo empleado en la construcción de disco sistema, así como el cableado dentro del mismo y hacia el exterior.

Si se cuenta con un código fuente capaz de tomar las lecturas de temperaturas que se encuentren funcionando dentro de rango y no tomar lecturas erróneas para el valor promedio de temperatura interna es por demás favorable para el usuario final.

La red de sensores debe ser capaz de soportar perturbaciones sucitables dentro de un invernadero y con el cambio que se hizo migrando de cable de bocina al cable blindado de control se cumple un requisito básico, la robustez en la comunicación inalámbrica en el campo de sensores.

Si contamos en todo momento con las direcciones de sensores nos es más fácil echar mano de algún código mismo en otra aplicación requerida y para tal efecto se deja información sobre tal relación en el presente documento en la sección de Materiales y Métodos dentro del capítulo IV. Es importante mencionar que la circuitería que ahí se expone es de gran utilidad.

Una programación accesible del ventilador mediante el variador de velocidad General Electric nos permitió realizar encomiendas para las cuales estaban destinada el control del ventilador en forma manual y automática por mencionar la funcionabilidad en lo que a actuador se refiere.

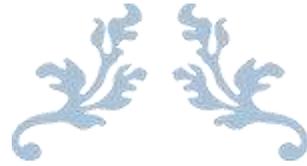
Siempre incluir nuevas formas de medición en velocidad y flujo de viento resulta por demás provechoso y con el uso del anemómetro logramos mediciones de mayor impacto.

Si utilizamos patrones para comparar nuestros sensores estamos más seguros de que el sensor está o no dentro de rango y el RTD nos fue de gran apoyo en ese sentido, así como el punto frío para simular ambientes gélidos.

El ventilador debe trabajar de forma automática en todo momento más, sin embargo, si llegara a fallar algún momento se puede reestablecer la comunicación de una manera manual, de esta forma se cumple con la practicidad del actuador en campo.

El control propuesto se proponía trabajar en un inicio por Algoritmos Genéticos, aunque se deja abierta la posibilidad por estudios ya comenzados en trabajos relacionados al que aquí se expone por Redes Neuronales.

Se logró ganar el financiamiento para el proyecto gracias al Protocolo del Proyecto **(CI-02/2016) –M00–PR–03–R02** con el Título “Modelado por Elementos Finitos y control para las variables Humedad Relativa y Temperatura en un Invernadero”



BIBLIOGRAFIA



BIBLIOGRAFIA

[1] ALPI, A.; TOGNONI, F. (1999). Cultivo en invernadero. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 347 p.

[2] BAIXAULI, C. (1996). Aspectos prácticos del control ambiental para hortalizas en invernadero. Ed. Fundación Cultural y de Promoción Social. Caja Rural Valencia.

[3] DÍAZ, J.R.; PÉREZ, J. (1994). Tecnología de invernaderos. Curso superior de especialización. Ed. Fundación para la Investigación Agraria en la Provincia de Almería (FIAPA). Almería. 352 pp.

[4] MAROTO, J.V. (2000). Elementos de Horticultura General. Ed. Mundi-Prensa. 424 pp.

[5] MATA LLANA, A; MONTERO, J.I. (1995). Invernaderos. Diseño, construcción y ambientación. Ed. Mundi-Prensa. 207 pp.

[6] MONTERO, J.I.; ANTÓN, M.A. (1993). Tecnología del invernadero. Ed. Instituto Nacional Tecnología Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad de Buenos Aires. 128 pp.

[7] SERRANO, Z. (1983). Invernaderos. Instalación y manejo. Ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 427 pp.

[8] SERRANO, Z. (1990). Técnicas de Invernadero. Ed. el autor. Sevilla. 644 pp.

[9] YUNUS A. CENEGEL & MICHAEL A. BOLES (2015) TERMODINAMICA
OCTAVA EDICION ED. MC GRAW HILL

[10] SOLE CREUS ANTONIO. (1997). INSTRUMENTACION INDUSTRIAL SEXTA EDICION ED. ALFAOMEGA

[11] Claussen Company. (2017) Cable blindado y Aplicaciones del cable blindado. En línea. Disponible en: <http://cablesblindados.com/>. Consultado en Junio de 2017

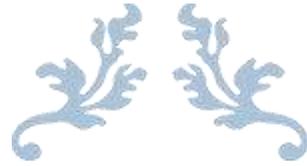
[12] Thies CLIMA. (2017). Temperatura. En línea. Disponible en: <https://www.thiesclima.com/de/Produkte/Temperatur/>. Consultado en Enero de 2017

[13] Logicbus. (2017). Sensores de temperatura. En línea. Disponible en: <http://www.logicbus.com.mx/sensores-temperatura.php>. Consultado en Enero de 2017

[14] Intech Automazione. (2017). Electrónicos. En línea. Disponible en: <http://www.intechsrl.com/electronics/>. Consultado en Enero de 2017

[15] Hydro Environment. (2017). Invernaderos. En línea. Disponible en: http://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=44. Consultado en Diciembre de 2016

[16] Info Agro. (2017). Control Climático en Invernaderos. En línea. Disponible en: http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/control_climatico3.htm. Consultado en Diciembre de 2016



GLOSARIO



GLOSARIO DE TÉRMINOS

1-Wire- Es un protocolo de comunicaciones en serie diseñado por Dallas Semiconductor. Está basado en un bus, un maestro y varios esclavos de una sola línea de datos en la que se alimentan. Por supuesto, necesita una referencia a tierra común a todos los dispositivos.

Anemómetro.- Miden la velocidad instantánea del viento, pero las ráfagas de viento desvirtúan la medida, de manera que la medida más acertada es el valor medio de medidas que se tomen a intervalos de 10 minutos.

Antena NRF24L01.- Módulos de radio a 2,4 Ghz. El rango es muy dependiente de la situación de los transreceptores y tienen mucho más alcance cuando están en la línea de visión al aire libre que en el interior, con obstáculos como paredes y otros materiales.

Arduino.- Es una plataforma de hardware y software de código abierto, basada en una sencilla placa con entradas y salidas, analógicas y digitales, en un entorno de desarrollo que está basado en el lenguaje de programación Processing. Es decir, una plataforma de código abierto para prototipos electrónicos.

Automatización.- Es la tecnología que trata de la aplicación de sistemas mecánicos, electrónicos y de bases computacionales para operar y controlar la producción.

Calibración.- Es el proceso de comparar los valores obtenidos por un instrumento de medición con la medida correspondiente de un patrón de referencia (o estándar).

Calibrador de lazos.- Dispositivo que permite suministrar alimentación eléctrica (modo generación) y facilitar lecturas (modo de medición) para llevar a cabo calibraciones en campo de dispositivos de dos cables.

Conector.- Dispositivo para unir circuitos eléctricos. La conexión puede ser temporal, como para equipos portátiles, puede exigir una herramienta para montaje y desmontaje o puede ser una unión permanente entre dos cables o aparatos.

Control.- El concepto de control es muy general y puede ser utilizado en el contexto organizacional para evaluar el desempeño general frente a un plan estratégico.

Controlador.- Programa informático que permite al sistema operativo interactuar con un periférico, haciendo una abstracción del hardware y proporcionando una interfaz (posiblemente estandarizada) para utilizar el dispositivo.

Invernadero.- Es un lugar cerrado, estático y accesible a pie que se destina a la horticultura, dotado habitualmente de una cubierta exterior translúcida de vidrio o de plástico, que permite el control de la temperatura, humedad y de otros factores ambientales, que se utiliza para favorecer el desarrollo de las plantas.

LabVIEW.- Es una herramienta gráfica para pruebas, control y diseño mediante la programación. El lenguaje que usa se llama lenguaje G, donde la G simboliza que es lenguaje Gráfico.

LCD.- Es una pantalla delgada y plana formada por un número de píxeles en color o monocromos colocados delante de una fuente de luz o reflectora.

Motor.- Es la parte sistemática de una máquina capaz de hacer funcionar el sistema, transformando algún tipo de energía (eléctrica, de combustibles fósiles, etc.) en energía mecánica capaz de realizar un trabajo.

OPC.- Es un estándar de comunicación en el campo de control y supervisión de procesos industriales, basado en una tecnología Microsoft, que ofrece una interfaz común para comunicación que permite que componentes software individuales interactúen y compartan datos.

PAC.- Por sus siglas en inglés (Programmable Automation Controller) es una tecnología industrial orientada al control automatizado avanzado, al diseño de equipos para laboratorios y a la medición de magnitudes análogas. El PAC se refiere al conjunto formado por un controlador (unas CPU típicamente), módulos de entradas y salidas, además de uno o múltiples buses de datos que lo interconecten todo.

PID.- Algoritmo Proporcional Integral Derivativo.

Pin.- Terminal o patilla de cada uno de los contactos metálicos de un conector o de un componente fabricado de un material conductor de la electricidad. Estos se utilizan para conectar componentes sin necesidad de soldar nada, de esta manera se logra transferir electricidad e información. Para determinar la misión de cada uno de los pines de un dispositivo, se deberán consultar sus respectivas hojas de datos o datasheet.

PLC.- Es un equipo digital, utilizado para la automatización de electromecánica, procesos, tales como el control de la maquinaria en la fábrica, líneas de ensamblaje, juegos mecánicos, o artefactos de iluminación. Los PLC's son utilizados en muchas industrias y maquinas.

PT100.- Es un RTD el cual está hecho de platino (Pt) y 100 significa que nos da 100Ω a 0°C . Físicamente es una bobina de alambre muy pequeña la cual tiene como núcleo vidrio o cerámica.

Receptor.- Dispositivo que recibe una señal o un mensaje, enviado por un transmisor o un emisor.

Red.- Es una estructura que cuenta con un patrón característico, tales como: red informática, red eléctrica y la red social.

RSLINX.- Es una solución general de comunicaciones en la fábrica para el sistema operativo Microsoft Windows. Proporciona al controlador programable Allen Bradley acceso a una amplia variedad de aplicaciones Rockwell Software y Allen Bradley, tales como Rslogix500, RSLogix Emulate y RsView.

RSLogix500.- Es un software de programación de lógica en escalera, que optimiza el desarrollo de proyectos de automatización industrial, ahorrando tiempo en el desarrollo del proyecto.

RTD.- Detector de temperatura resistivo, es decir, un sensor de temperatura basado en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura.

SCADA.- Es el acrónimo de Supervisory Control And Data Acquisition. Está basado en computadores que permiten supervisar y controlar a distancia una instalación, proceso o sistema de características variadas.

Sensor.- Es un objeto capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación y transformarlas en variables eléctricas, por ejemplo: intensidad lumínica, temperatura, distancia, aceleración, inclinación, presión, desplazamiento, fuerza, torsión, humedad, movimiento, pH, etc.

Sensor DS18B20.- Es un dispositivo que se comunica de forma digital que permite enviar y recibir datos utilizando un solo cable, a diferencia de la mayoría de protocolos que requiere de dos vías. Arduino posee los pines RX y TX que son los encargados de enviar y recibir información.

Transmisor.- Es un instrumento que capta la variable en proceso y la transmite a distancia a un instrumento indicador o controlador, pero en realidad eso y mucho más, la función primordial de este dispositivo es tomar cualquier señal para convertirla en una señal estándar adecuada para el instrumento receptor, es así como un transmisor capta señales tanto de un sensor como de un transductor, aclarando siempre que todo transmisor es transductor mas no un transductor puede ser un transmisor, como ya sabemos las señales estándar pueden ser neumáticas cuyos valores están entre 3 y 15 PSI, las electrónicas que son de 4 a 20 mA o de 0 a 5 voltios.

Transreceptor.- Es un dispositivo que cuenta con un transmisor y un receptor que comparten parte de la circuitería o se encuentran dentro de la misma caja.

Variador de velocidad.- Es un dispositivo o conjunto de dispositivos mecánicos, hidráulicos, eléctricos o electrónicos empleados para controlar la velocidad giratoria de maquinaria, especialmente de motores.

Ventilador.- Es una turbo máquina que se caracteriza porque el fluido impulsado es un gas (fluido compresible) al que transfiere una potencia con un determinado rendimiento.

Ventilador tubular.- Disponen de una hélice de alabes estrechos de sección constante o con perfil aerodinámico (a la portante) montada en una carcasa cilíndrica, generalmente no disponen de ningún mecanismo para enderezar el flujo del aire.



ANEXOS



ANEXO A: HOJA DE DATOS CABLE DE CONTROL BLINDADO 3X18



GENESIS SERIES

Low Voltage Cable
Part No. 1228

Description: 18 AWG 3/C OAS CM-CL2
Specifications: UL Standards 13 & 444; NEC Articles 725 & 760

Construction:
Conductor 18 AWG 16/30 Stranded Bare Copper
Insulation Polypropylene
Insulation Thickness 0.006" nom.
Insulation Colors Blk,Wht,Red
Insulation Diameter 0.058 nom.
Lay Length 2.5" nom.
Drain Wire 24 AWG 7/32 Tinned Copper
Shield .001" Thick Aluminum/Mylar

Jacket PVC
Jacket Thickness 0.015" nom.
Outside Diameter 0.161" nom.
Legend (Ink Print) HONEYWELL P/N 1228 3C218 SHIELDED 3038058 (ETL) CL2 OR CM C(ETL)US
SUN RES (RoHS) W/O #XXXXXX-XXXXXX XXXX FT DEVICE/ZONE A B C D E
F 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Properties
Temperature Rating -20 to 60 °C
Operating Voltage 300 Volts max.
Capacitance 35 pf/ft nom.
Impedance 42 Ohms nom.
DC Resistance 6.5 Ohms/M' at 20°C
Flame Rating UL 1685 Vertical Tray

88CV B 08/29/13 JM

Figura 1. Hoja de datos de cable de control blindado 3x18

ANEXO B: LAYOUT GABINETE PLC MICROLOGIX 1100 ALLEN BRADLEY

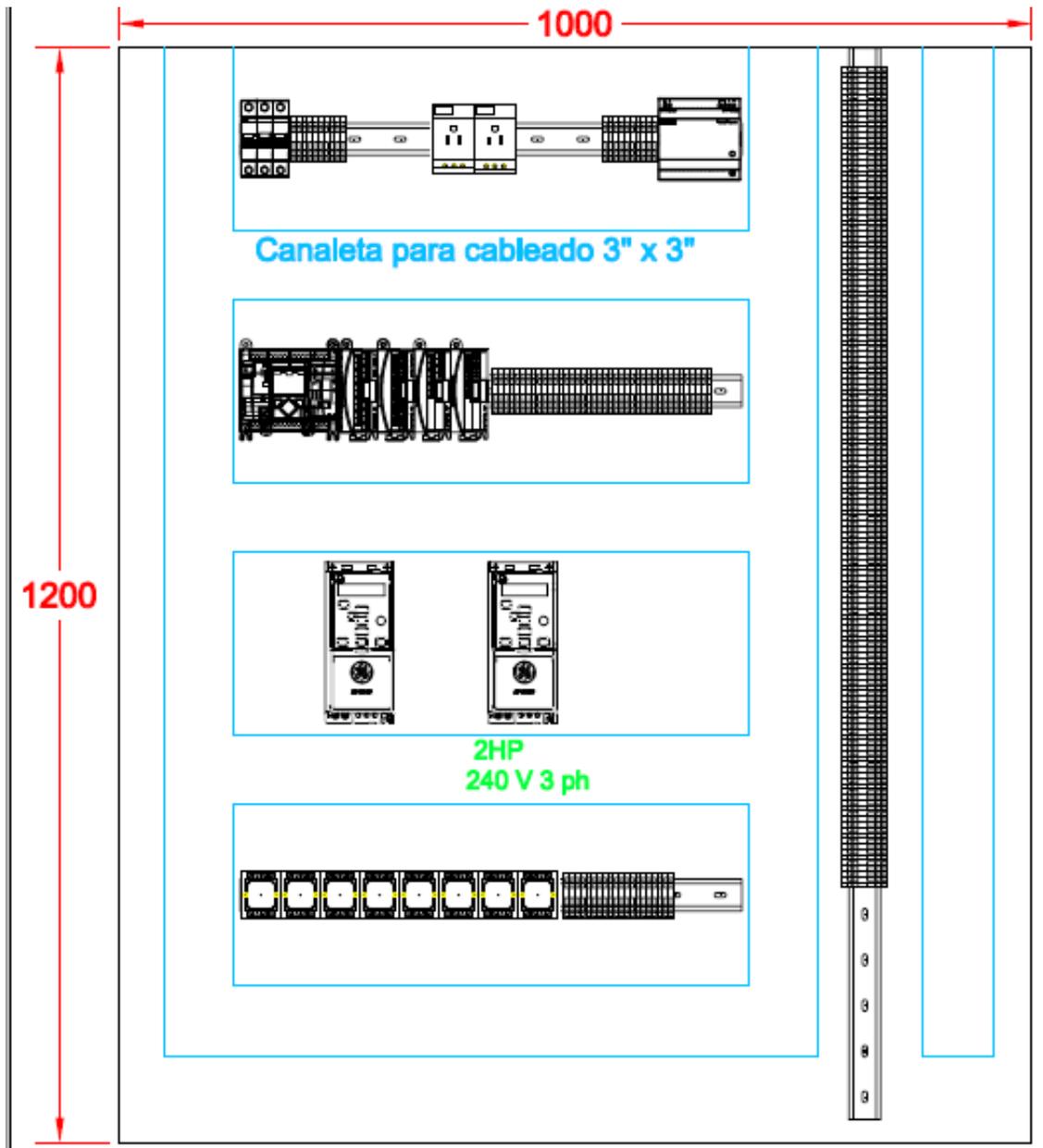


Figura.1. Dimensionamiento de PLC Micrologix 1100

ANEXO C: CONFIGURACIÓN BÁSICA DE PLC ALLEN BRADLEY MICROLOGIX 1100

Iniciar por establecer la comunicación, se deberá verificar el puerto correspondiente habilitado.

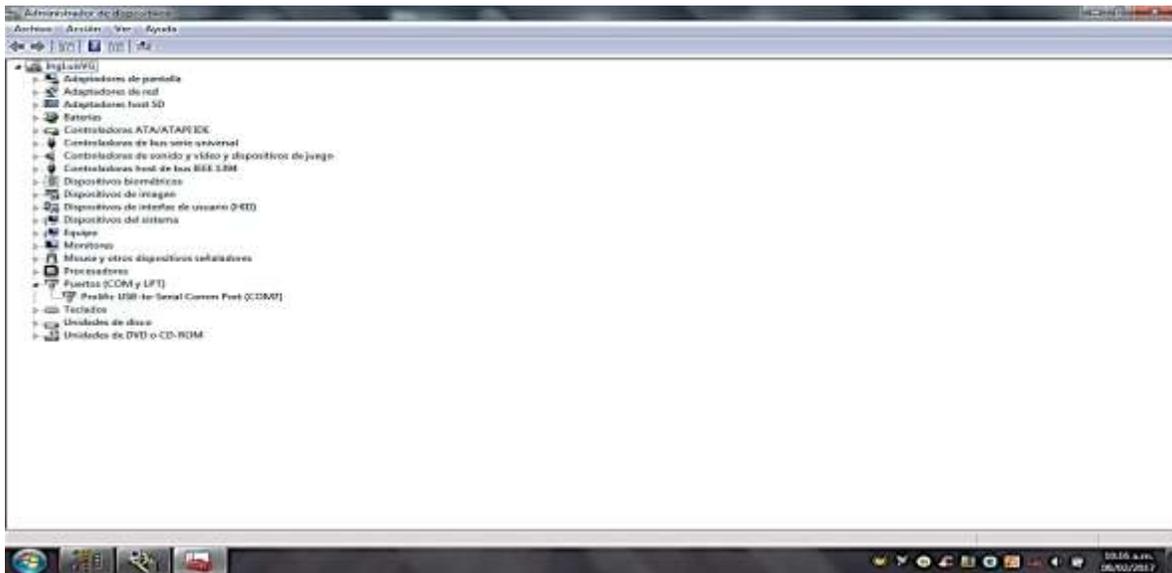


Figura. 1. Visualización de puerto de comunicación.

Enseguida se procede a seleccionar driver

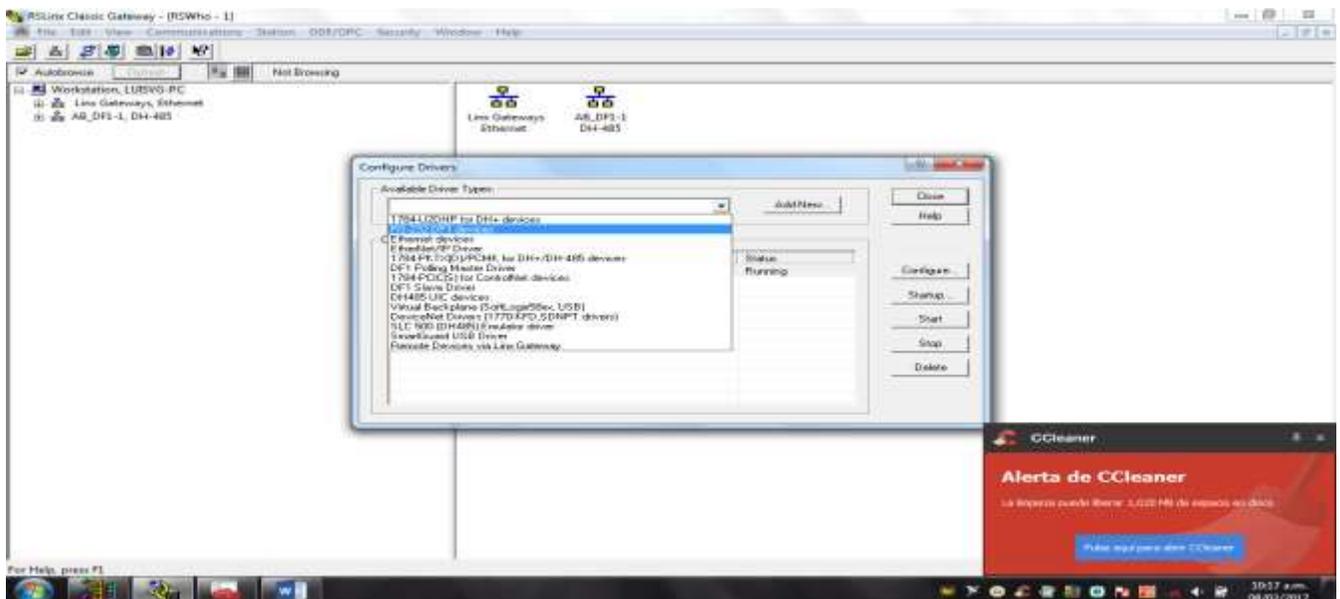


Figura. 2. Selección de driver RS-232 DF1 devices.

Ahora configuramos el Driver RS 232 DF1, seleccionando el mando de Autoconfiguración

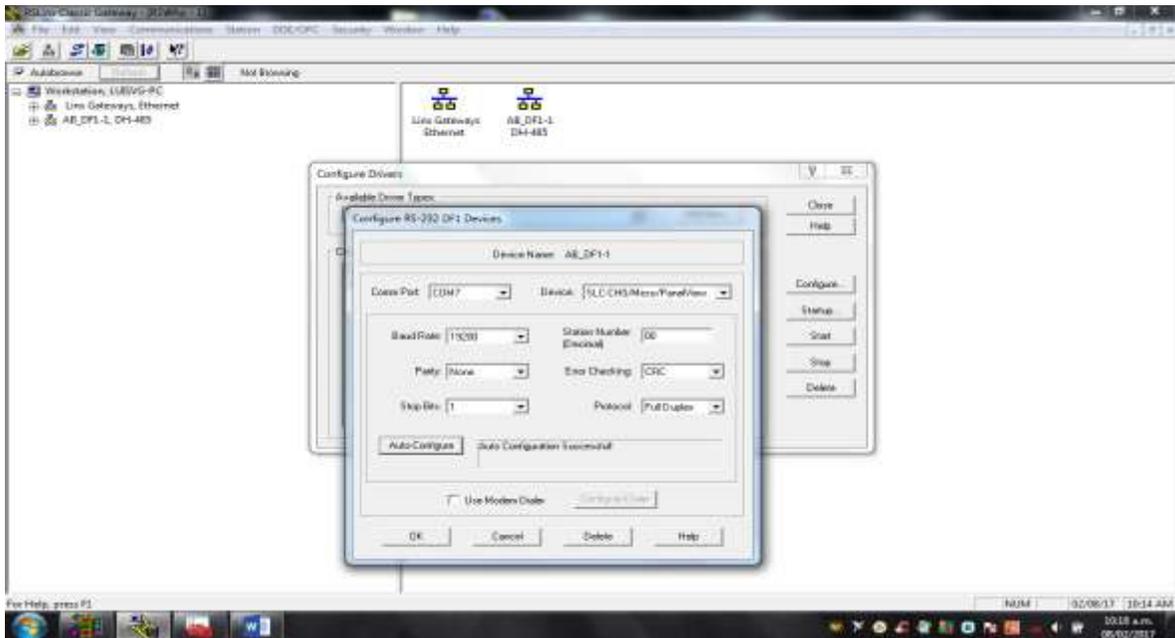


Figura. 3. Configuración de driver RS 232 DF1.

A continuación, se selecciona el PLC correcto

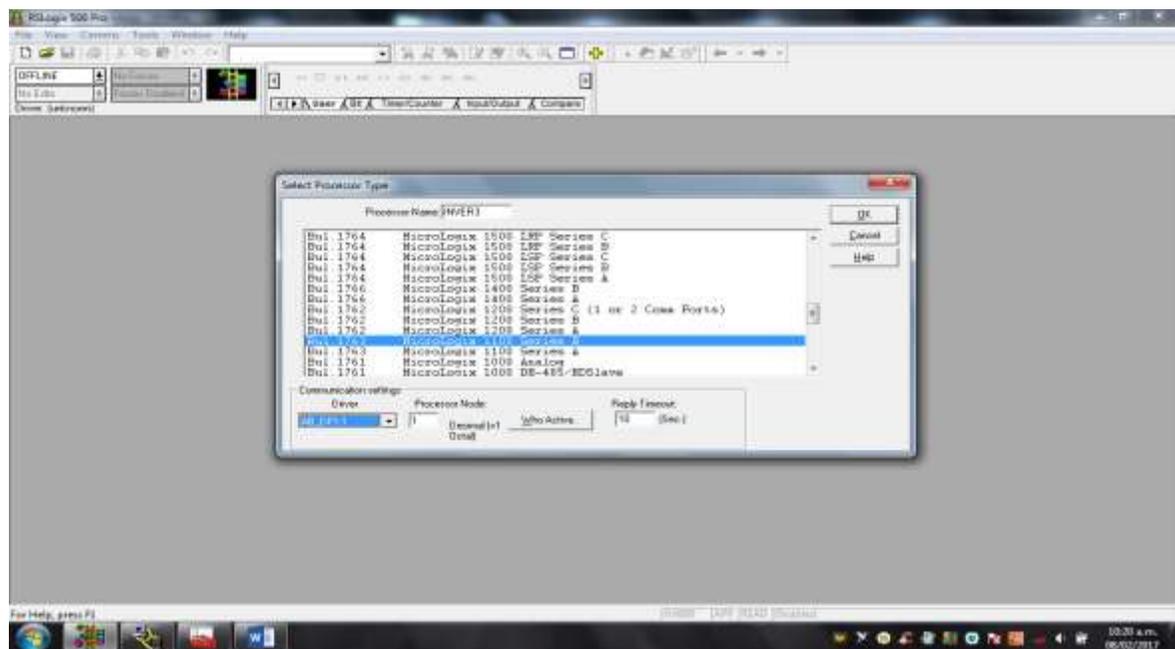


Figura. 4. Selección de PLC Micrologix 1100.

Guardar programa en RS LOGIX

Seleccionar File, Save As

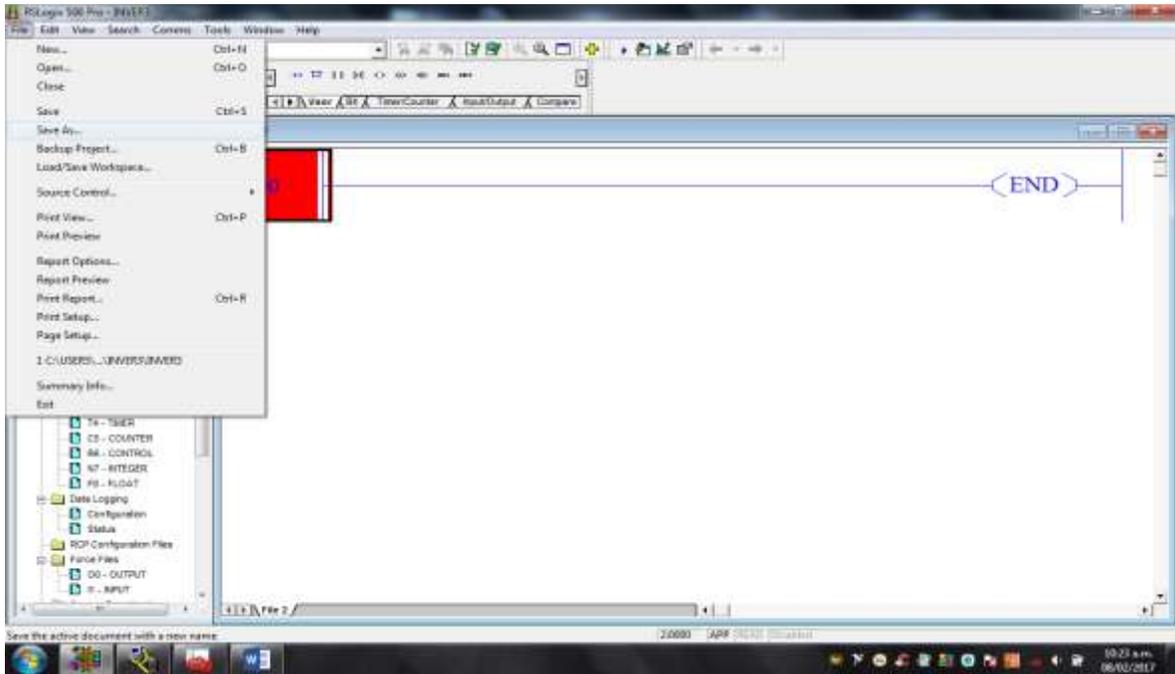


Figura. 5. Guardado de programa.

Se guarda un nombre para el programa diferente al nombre del controlador lógico programable

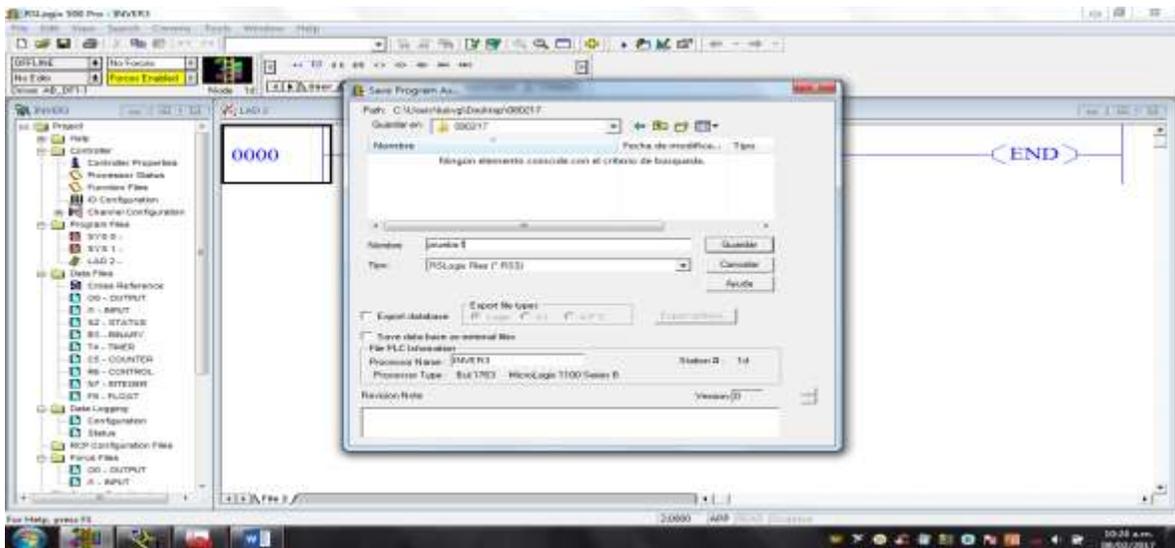


Figura. 6. Nombramiento al programa.

Para correr el programa en RSLogix 500 Pro se realiza lo siguiente; dentro de la pestaña OFFLINE se da selección a Download

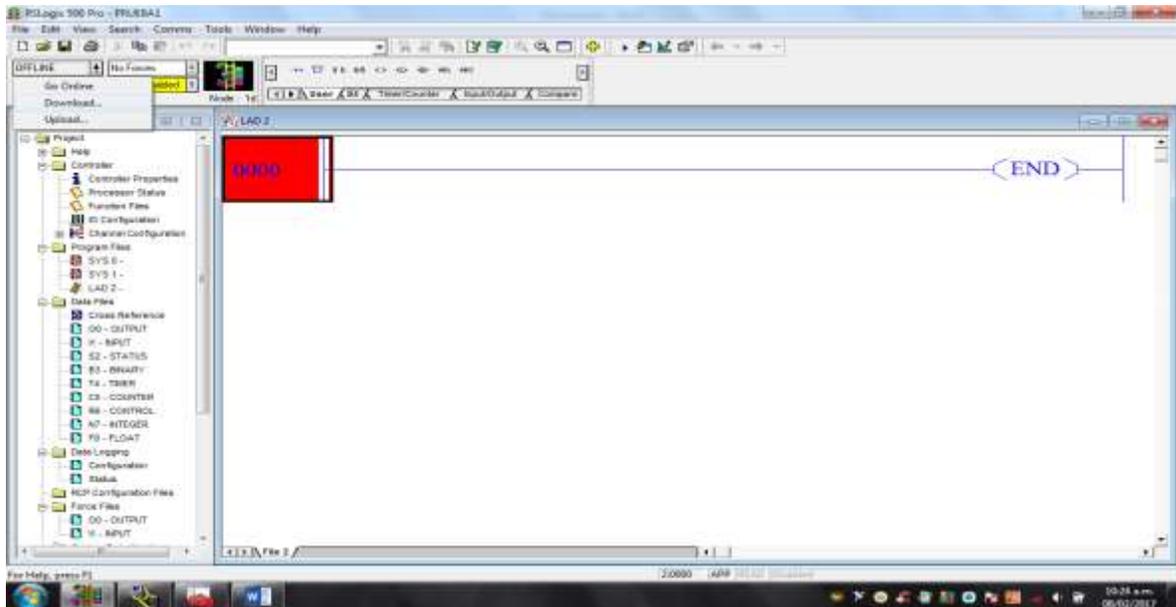


Figura. 7. Descarga de programa.

Enseguida aparece una caja de texto para referencia de notas, opcional redactar

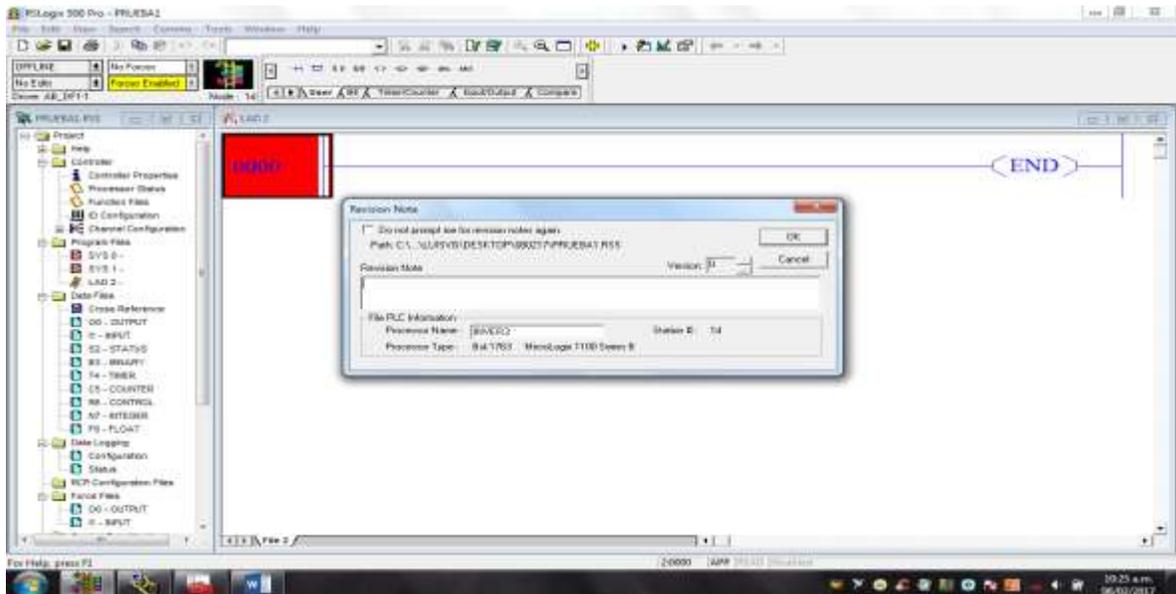


Figura. 8. Edición de notas de programa.

Se acepta descargar el programa

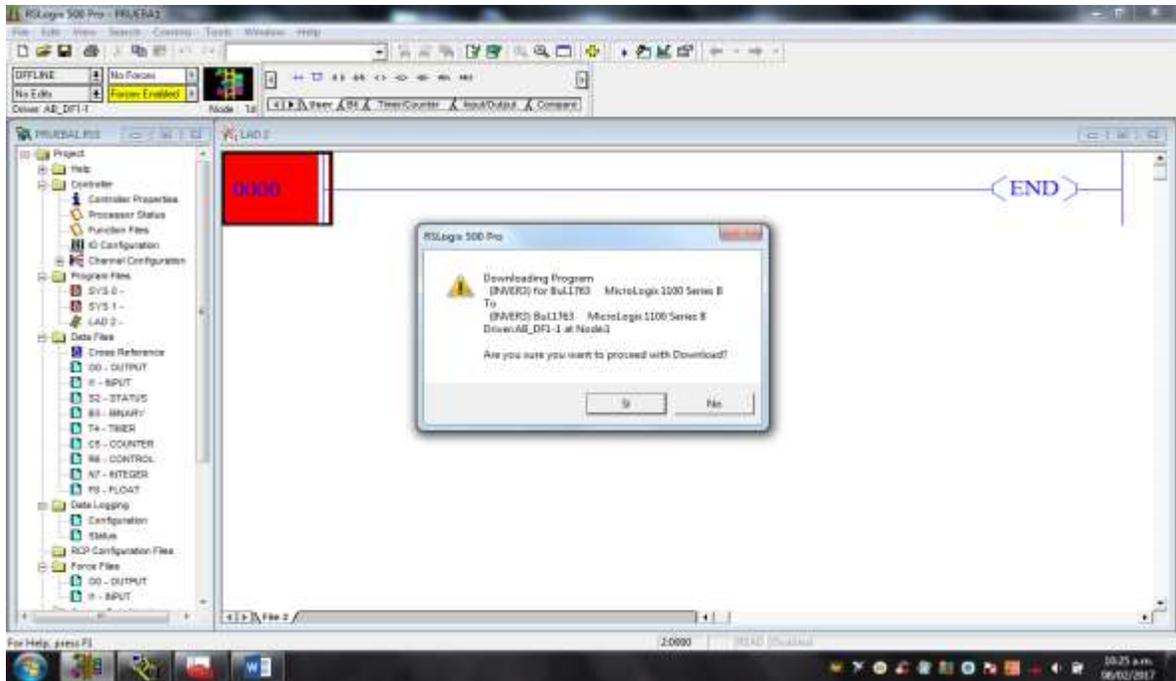


Figura. 9. Confirmación de descarga de programa.

Se visualiza la cometa de descarga de programa

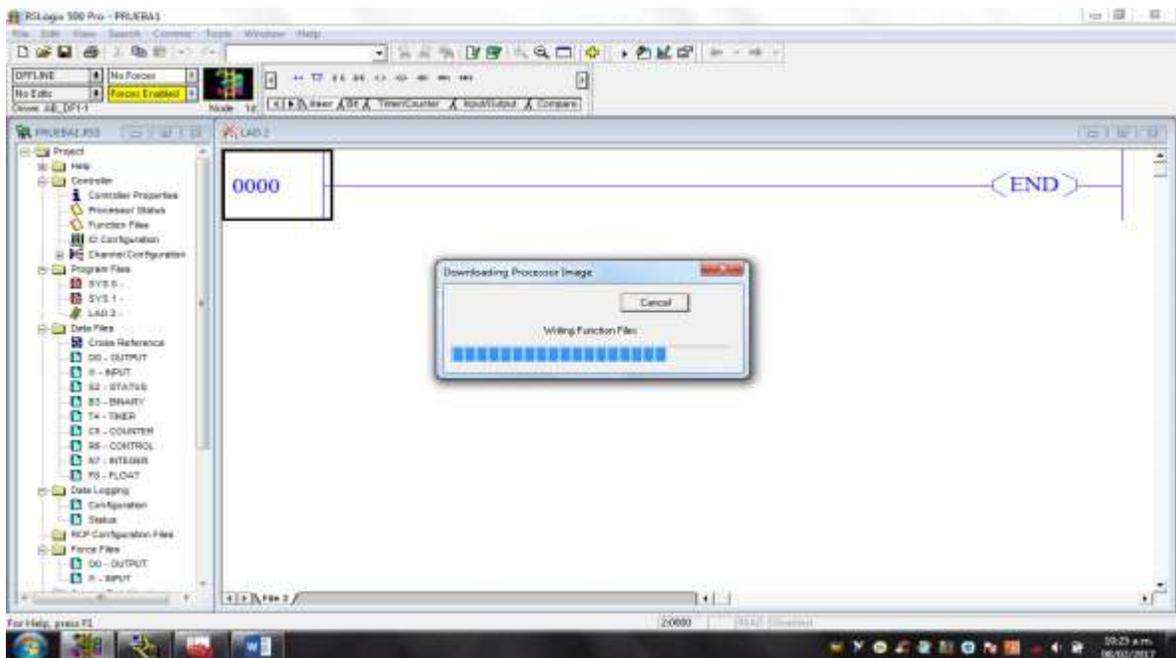


Figura. 10. Descarga de programa en proceso.

Se cambia a modo Online

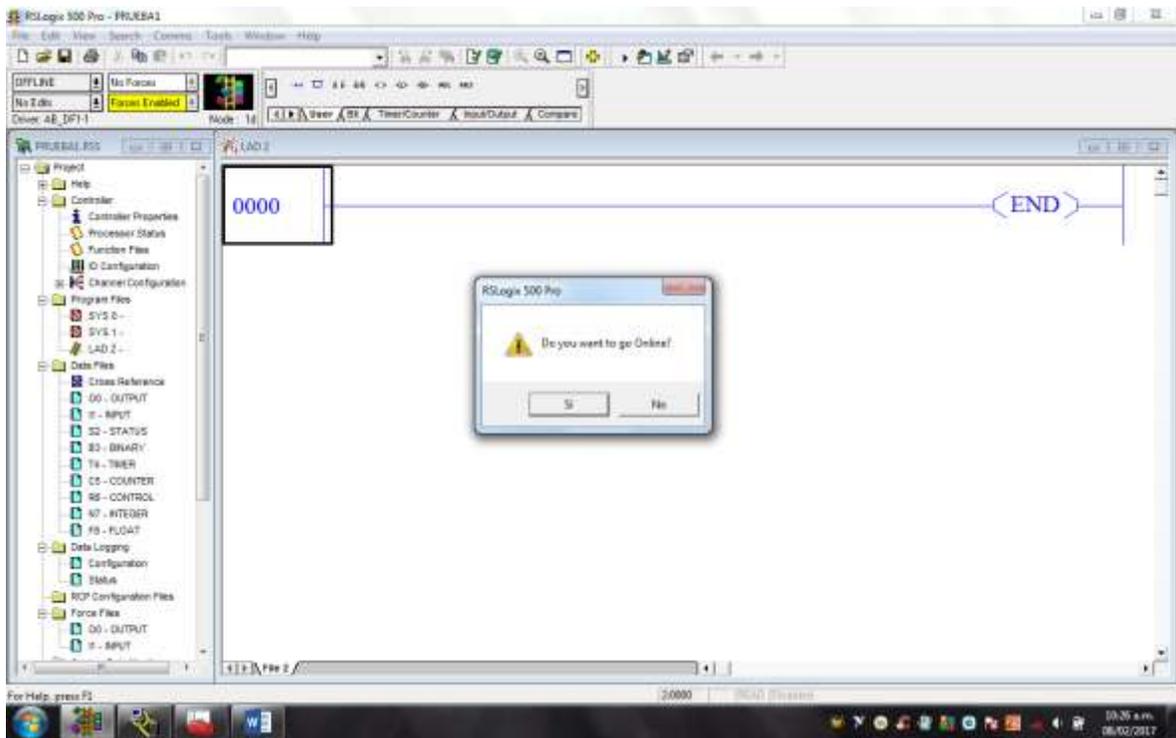


Figura. 11. Configuración en estado activo del programa.

ANEXO D: PROCESO GENERAL DE IDENTIFICACIÓN DE NÚMERO DE PARTES DE MÓDULO DE PLC ALLEN BRADLEY MICROLOGIX 1100

Lectura de series de tarjetas de PLC activando Read IO Configurations

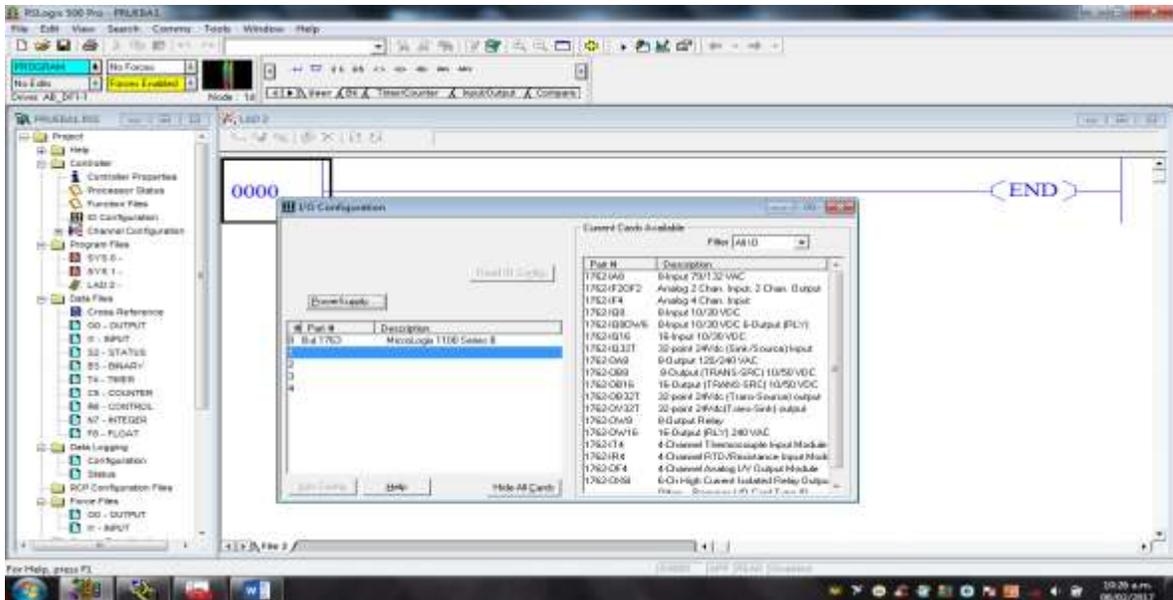


Figura. 1. Identificación de tarjetas de módulos de PLC Micrologix 1100 en forma manual.

Se visualiza la cometido de identificación de tarjetas de una forma automática

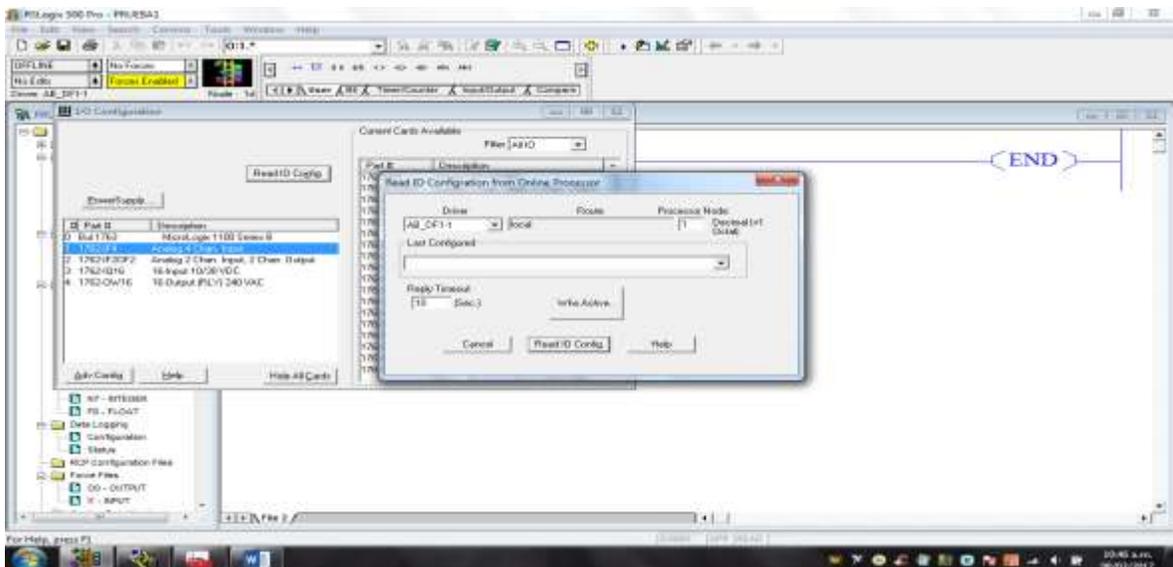


Figura. 2. Identificación de tarjetas de módulos de PLC Micrologix 1100N en forma automática.

Visualización de las tarjetas del PLC a trabajar

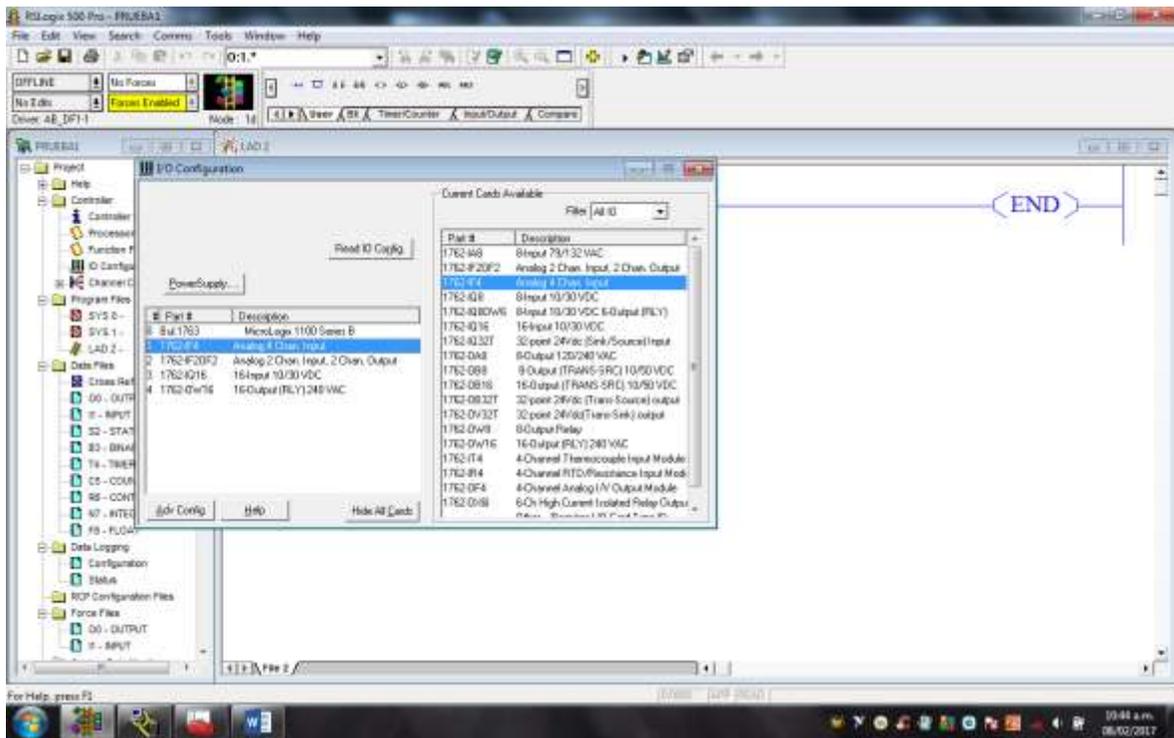


Figura. 3. Módulos del PLC con código.

ANEXO E: INSTALACIÓN DE VENTILADOR TUBULAR



Figura. 1. Sujeción de Motor Trifásico - Ventilador Tubular.



Figura. 2. Posicionamiento de Ventilador dentro de Invernadero.



Figura. 3. Ubicación a ventilador – motor.



Figura. 4. Conexión trifásica de motor a variador.

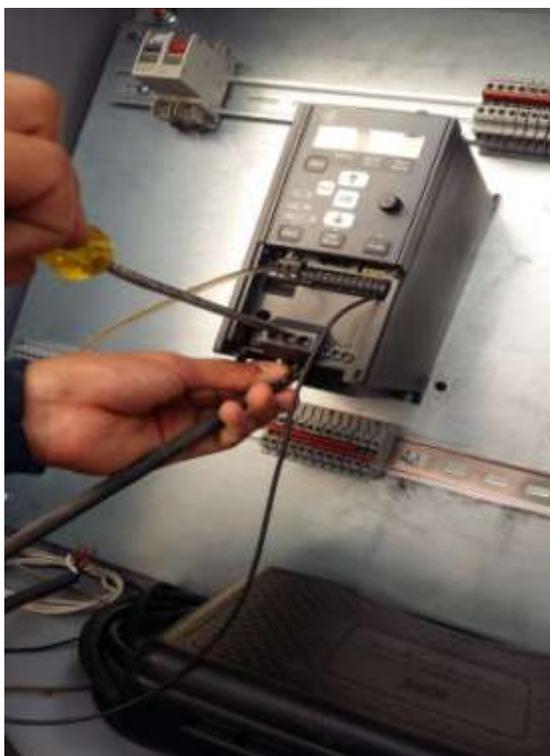


Figura. 5. Conexión eléctrica Variador- Motor Trifásico.

Se requirió de 25 metros de cable tipo industrial

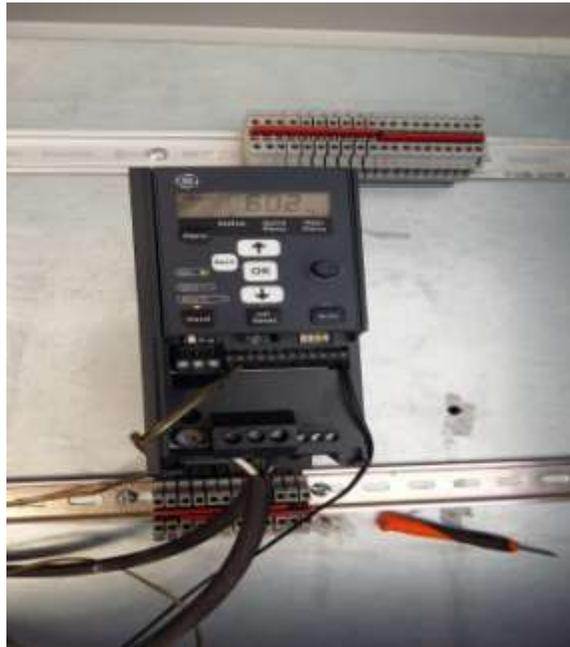


Figura. 6. Variador de velocidad funcionando.



Figura. 7. Ventilador Tubular en operación.

ANEXO F: LAZO DE CONTROL

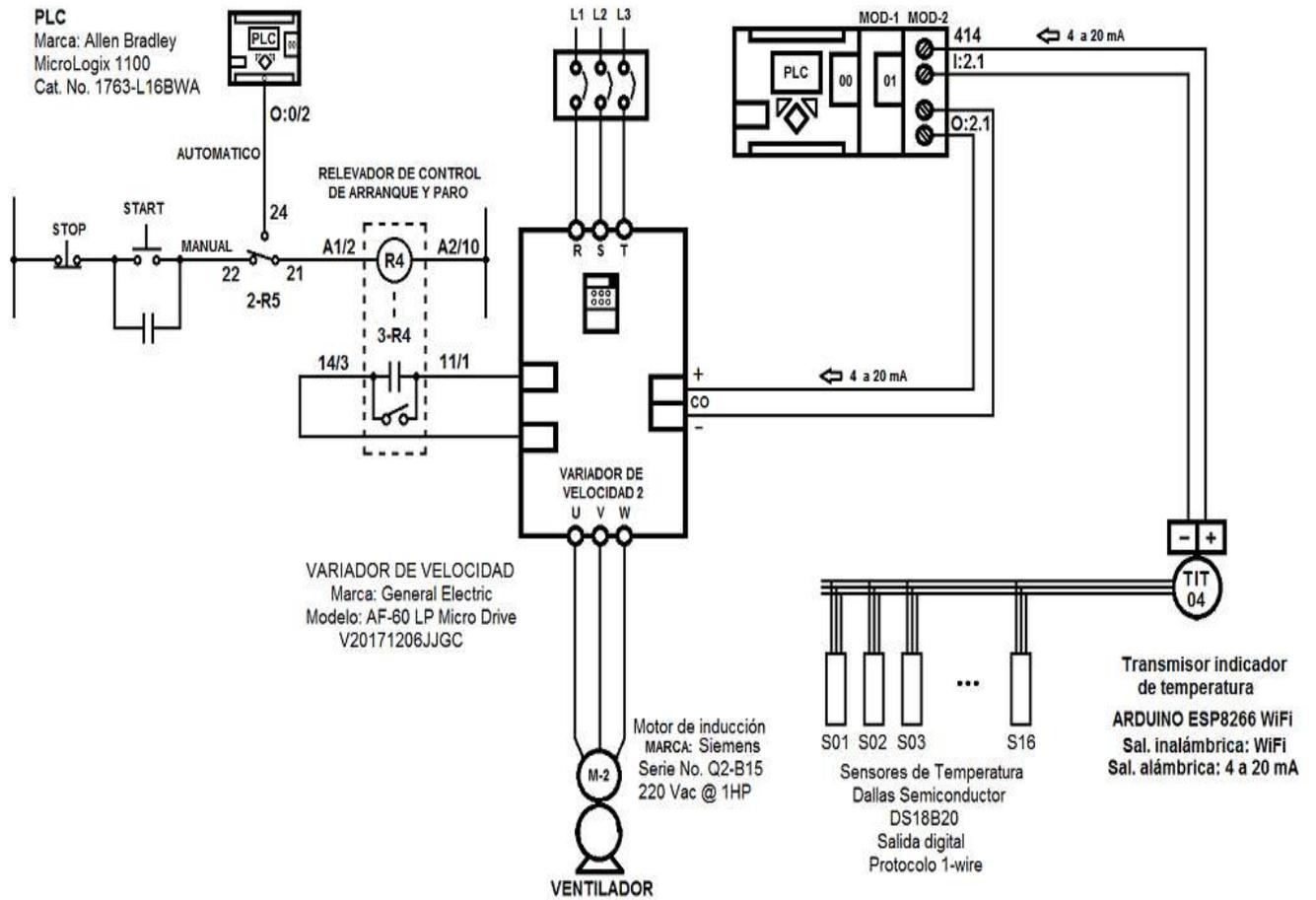


Figura 1. Lazo de Control

ANEXO G: CÓDIGO DEL TRANSMISOR

El siguiente programa de la Figura 4.5 fue subido a la placa de Arduino para poder realizar la lectura y emitir los datos del sensor utilizado para obtener la temperatura.

```
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(8, 7, 5, 4, 3, 2); //Inicializamos la libreria de LCD

//Declaremos los pines CE y el CSN
#define CE_PIN 9
#define CSN_PIN 10
// DQ esta conectado al pin 6 de Arduino
#define ONE_WIRE_BUS 15
// Configuramos para comunicar con otros dispositivos 1-Wire
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
// Indicamos el pin asignado al sensor 1-Wire a DallasTemperature
DallasTemperature sensors(&oneWire);

//Variable con la dirección del canal por donde se va a transmitir
byte direccion[5] ={'c','a','n','a','l'};

//creamos el objeto radio (NRF24L01)
RF24 radio(CE_PIN, CSN_PIN);

//vector con los datos a enviar
int datos[16];

float value; // variable donde guardaremos la temperatura leida de
float salidaV;
int ledV =6;

int umbral = 15 ;
const int control = 0 ;

DeviceAddress dev0 = { 0x28, 0x51, 0xD9, 0x27, 0x00, 0x00, 0x80,
DeviceAddress dev1 = { 0x28, 0x26, 0x9B, 0x27, 0x00, 0x00, 0x80,
DeviceAddress dev2 = { 0x28, 0xA9, 0xA7, 0x27, 0x00, 0x00, 0x80,
```

```

DeviceAddress dev3 = { 0x28, 0x88, 0x60, 0x08, 0x00, 0x00, 0x80,
DeviceAddress dev4 = { 0x28, 0x88, 0xE2, 0x27, 0x00, 0x00, 0x80,
DeviceAddress dev5 = { 0x28, 0x77, 0xFF, 0x27, 0x00, 0x00, 0x80,
DeviceAddress dev6 = { 0x28, 0x18, 0xDD, 0x27, 0x00, 0x00, 0x80,
DeviceAddress dev7 = { 0x28, 0xEF, 0xF8, 0x27, 0x00, 0x00, 0x80,
DeviceAddress dev8 = { 0x28, 0xEE, 0x5D, 0x08, 0x00, 0x00, 0x80,
DeviceAddress dev9 = { 0x28, 0x79, 0xEC, 0x27, 0x00, 0x00, 0x80,
DeviceAddress dev10 = { 0x28, 0x23, 0xFE, 0x27, 0x00, 0x00, 0x80,
DeviceAddress dev11 = { 0x28, 0xB0, 0x9A, 0x27, 0x00, 0x00, 0x80,
DeviceAddress dev12 = { 0x28, 0x2A, 0xFE, 0x27, 0x00, 0x00, 0x80,
DeviceAddress dev13 = { 0x28, 0xBE, 0xE5, 0x27, 0x00, 0x00, 0x80,
DeviceAddress dev14 = { 0x28, 0xD8, 0x9F, 0x27, 0x00, 0x00, 0x80,
DeviceAddress dev15 = { 0x28, 0x52, 0xFE, 0x27, 0x00, 0x00, 0x80

void setup()
{
  pinMode(15, INPUT);
  analogReference(INTERNAL);
  //inicializamos el NRF24L01
  radio.begin();
  //inicializamos el puerto serie
  Serial.begin(9600);

  pinMode(control, OUTPUT) ;

  // Inicializamos la libreria

//Abrimos un canal de escritura
radio.openWritingPipe(direccion);

  sensors.begin();

  sensors.setResolution(dev0, 9);
  sensors.setResolution(dev1, 9);
  sensors.setResolution(dev2, 9);
  sensors.setResolution(dev3, 9);
  sensors.setResolution(dev4, 9);
  sensors.setResolution(dev5, 9);
  sensors.setResolution(dev6, 9);
  sensors.setResolution(dev7, 9);
  sensors.setResolution(dev8, 9);
  sensors.setResolution(dev9, 9);
  sensors.setResolution(dev10, 9);
  sensors.setResolution(dev11, 9);
  sensors.setResolution(dev12, 9);
  sensors.setResolution(dev13, 9);
  sensors.setResolution(dev14, 9);
  sensors.setResolution(dev15, 9);

  lcd.begin(16, 2);          // Configuramos el numero de columnas
  lcd.print("Temperatura: "); //impresion de mensaje

```

```

void loop(void)
{
  //cargamos los datos en la variable datos[]      9.309090;

  // Serial.flush();
  //}
  //unsigned int deviceErrorCounter = 0;
  //unsigned int numberOfDevices = 11;           //

  // Command all devices on bus to read temperature

  //delay chosen to suit device resolution (9-bit = 93.75ms, 10-bit

  sensors.requestTemperatures();
  datos[0]=(sensors.getTempC(dev0));
  datos[1]=(sensors.getTempC(dev1));
  datos[2]=(sensors.getTempC(dev2));
  datos[3]=(sensors.getTempC(dev3));
  datos[4]=(sensors.getTempC(dev4));

  datos[5]=(sensors.getTempC(dev5));
  datos[6]=(sensors.getTempC(dev6));
  datos[7]=(sensors.getTempC(dev7));
  datos[8]=(sensors.getTempC(dev8));
  datos[9]=(sensors.getTempC(dev9));
  datos[10]=(sensors.getTempC(dev10));
  datos[11]=(sensors.getTempC(dev11));
  datos[12]=(sensors.getTempC(dev12));
  datos[13]=(sensors.getTempC(dev13));
  datos[14]=(sensors.getTempC(dev14));
  datos[15]=(sensors.getTempC(dev15));
  value=((datos[0]+datos[1]+datos[2]+datos[3]+datos[4]+datos[5]
  //datos[16]=value;
  if (value >= umbral)
    digitalWrite(control, HIGH);
  else
    digitalWrite(control, LOW);

  salidaV= map (value,0,100,51,255);
  analogWrite(ledV,salidaV);
  //enviamos los datos
  bool ok = radio.write(datos, sizeof(datos));
  if(ok)
  {
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print ("      Grados");

  lcd.setCursor (0,1 );
  lcd.print (value,1);
  //delay (250);
  /*

```

```

    Serial.println(datos[0]);
Serial.println(datos[1]);
    Serial.println(datos[2]);
Serial.println(datos[3]);
    Serial.println(datos[4]);
Serial.println(datos[5]);
    Serial.println(datos[6]);
Serial.println(datos[7]);
    Serial.println(datos[8]);
Serial.println(datos[9]);
    Serial.println(datos[10]);
Serial.println(datos[11]);
    Serial.println(datos[12]);
Serial.println(datos[13]);
    Serial.println(datos[14]);
Serial.println(datos[15]);
//Serial.println(datos[16]);
*/

}
else
{
    lcd.setCursor (0,1);
    lcd.print("Error");
    Serial.println("no se ha podido enviar");
}
delay(670);

//reportamos por el puerto serial los datos enviados

```

Figura.1. Programa emisor.

ANEXO H: CÓDIGO RECEPTOR

En la figura 4.7 se muestra el código cargado al Arduino para recibir los datos del sensor de temperatura.

```
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(8, 7, 5, 4, 3, 2); //Inicializamos la libreria
//Declaremos los pines CE y el CSN
#define CE_PIN 9
#define CSN_PIN 10
//Variable con la dirección del canal que se va a leer
byte direccion[5] ={'c','a','n','a','l'};
//creamos el objeto radio (NRF24L01)
RF24 radio(CE_PIN, CSN_PIN);
//vector para los datos recibidos
int datos[16];
int temp000;
int temp111;
int temp222;
int temp333;
int temp444;
int temp555;
int temp666;
int temp777;
int temp888;
int temp999;
int temp1000;
int temp1100;
int temp1200;
int temp1300;
int temp1400;
int temp1500;
float value;
float salidaV;
int ledV =6;
void setup()
{
  //inicializamos el NRF24L01
  radio.begin();
```

```

//inicializamos el puerto serie
Serial.begin(9600);
//Abrimos el canal de Lectura
radio.openReadingPipe(1, direccion);
//empezamos a escuchar por el canal
radio.startListening();
lcd.begin(16, 2); // Configuramos el numero de columnas
lcd.print("Temperatura: "); //impresion de mensaje
}
void loop() {
uint8_t numero_canal;
//if ( radio.available(&numero_canal) )
if ( radio.available() )
{
//Leemos los datos y los guardamos en la variable datos[]
radio.read(datos, sizeof(datos));
temp000=datos[0];
Serial.write((temp000 >> 24) & 0xFF);
Serial.write((temp000 >> 16) & 0xFF);
Serial.write((temp000 >> 8) & 0xFF);
Serial.write(temp000 & 0xFF);
temp111=datos[1];
Serial.write((temp111 >> 24) & 0xFF);
Serial.write((temp111 >> 16) & 0xFF);
Serial.write((temp111 >> 8) & 0xFF);
Serial.write(temp111 & 0xFF);

temp222=datos[2];
Serial.write((temp222 >> 24) & 0xFF);
Serial.write((temp222 >> 16) & 0xFF);
Serial.write((temp222 >> 8) & 0xFF);
Serial.write(temp222 & 0xFF);
temp333=datos[3];
Serial.write((temp333 >> 24) & 0xFF);
Serial.write((temp333 >> 16) & 0xFF);
Serial.write((temp333 >> 8) & 0xFF);
Serial.write(temp333 & 0xFF);
temp444=datos[4];
Serial.write((temp444 >> 24) & 0xFF);
Serial.write((temp888 >> 24) & 0xFF);
Serial.write((temp888 >> 16) & 0xFF);
Serial.write((temp888 >> 8) & 0xFF);
Serial.write(temp888 & 0xFF);
temp999=datos[9];

```

```

Serial.write((temp999 >> 24) & 0xFF);
    Serial.write((temp999 >> 16) & 0xFF);
    Serial.write((temp999 >> 8) & 0xFF);
    Serial.write(temp999 & 0xFF);
    temp1000=datos[10];
Serial.write((temp1000 >> 24) & 0xFF);
    Serial.write((temp1000 >> 16) & 0xFF);
    Serial.write((temp1000 >> 8) & 0xFF);
    Serial.write(temp1000 & 0xFF);
    temp1100=datos[11];
Serial.write((temp1100 >> 24) & 0xFF);
    Serial.write((temp1100 >> 16) & 0xFF);
    Serial.write((temp1100 >> 8) & 0xFF);
    Serial.write(temp1100 & 0xFF);
    Serial.write((temp444 >> 16) & 0xFF);
    Serial.write((temp444 >> 8) & 0xFF);
    Serial.write(temp444 & 0xFF);
    temp555=datos[5];
Serial.write((temp555 >> 24) & 0xFF);
    Serial.write((temp555 >> 16) & 0xFF);
    Serial.write((temp555 >> 8) & 0xFF);
    Serial.write(temp555 & 0xFF);
    temp666=datos[6];
Serial.write((temp666 >> 24) & 0xFF);
    Serial.write((temp666 >> 16) & 0xFF);
    Serial.write((temp666 >> 8) & 0xFF);
    Serial.write(temp666 & 0xFF);
    temp777=datos[7];
Serial.write((temp777 >> 24) & 0xFF);
    Serial.write((temp777 >> 16) & 0xFF);
    Serial.write((temp777 >> 8) & 0xFF);
    Serial.write(temp777 & 0xFF);
    temp888=datos[8];

    temp1200=datos[12];
Serial.write((temp1200 >> 24) & 0xFF);
    Serial.write((temp1200 >> 16) & 0xFF);
    Serial.write((temp1200 >> 8) & 0xFF);
    Serial.write(temp1200 & 0xFF);
    temp1300=datos[13];
Serial.write((temp1300 >> 24) & 0xFF);
    Serial.write((temp1300 >> 16) & 0xFF);
    Serial.write((temp1300 >> 8) & 0xFF);
    Serial.write(temp1300 & 0xFF);
    temp1400=datos[14];
Serial.write((temp1400 >> 24) & 0xFF);
    Serial.write((temp1400 >> 16) & 0xFF);
    Serial.write((temp1400 >> 8) & 0xFF);
    Serial.write(temp1400 & 0xFF);
    temp1500=datos[15];

```

```

    Serial.write((temp1500 >> 24) & 0xFF);
    Serial.write((temp1500 >> 16) & 0xFF);
    Serial.write((temp1500 >> 8) & 0xFF);
    Serial.write(temp1500 & 0xFF);
    // value=datos[16];
    value=((datos[0]+datos[1]+datos[2]+datos[3]+datos[4]+datos[5]
    salidaV= map (value,0,100,51,255);
analogWrite(ledV,salidaV);
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print ("      Grados");

    lcd.setCursor (0,1 );
    lcd.print(value,1);
    //delay (250);
/*
Serial.println(datos[0]);
Serial.println(datos[1]);
Serial.println(datos[2]);
Serial.println(datos[3]);
Serial.println(datos[4]);
Serial.println(datos[5]);
Serial.println(datos[6]);
Serial.println(datos[7]);
Serial.println(datos[8]);
Serial.println(datos[9]);
Serial.println(datos[10]);
Serial.println(datos[11]);
Serial.println(datos[12]);
Serial.println(datos[13]);
Serial.println(datos[14]);
Serial.println(datos[15]);
*/
}

else
{
    lcd.setCursor (0,1);
    lcd.print("Error");
    Serial.println("No hay datos de radio disponibles");
}
delay(3600);
}

```

Figura.1. Programa del receptor.

ANEXO I: CODIGO MEJORADO DEL TRANSMISOR

```
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(8, 7, 5, 4, 3, 2); //Inicializamos la libreria (
//Declaremos los pines CE y el CSN
#define CE_PIN 9
#define CSN_PIN 10
// DQ esta conectado al pin 6 de Arduino
#define ONE_WIRE_BUS 15
// Configuramos para comunicar con otros dispositivos 1-Wire
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
// Indicamos el pin asignado al sensor 1-Wire a DallasTemperature
DallasTemperature sensors(&oneWire);
//Variable con la dirección del canal por donde se va a transmit:
byte direccion[5] ={'c','a','n','a','l'};

//creamos el objeto radio (NRF24L01)
RF24 radio(CE_PIN, CSN_PIN);
//vector con los datos a enviar
int datos[16];
float value; // variable donde guardaremos la temperatura leida de
float salidaV;
int ledV =6;
int umbral = 15 ;
const int control = 0 ;
// contador para promedio
int comp;
DeviceAddress dev0 = { 0x28, 0x51, 0xD9, 0x27, 0x00, 0x00, 0x80,
DeviceAddress dev1 = { 0x28, 0x26, 0x9B, 0x27, 0x00, 0x00, 0x80,
DeviceAddress dev2 = { 0x28, 0xA9, 0xA7, 0x27, 0x00, 0x00, 0x80,
DeviceAddress dev3 = { 0x28, 0x88, 0x60, 0x08, 0x00, 0x00, 0x80,
DeviceAddress dev4 = { 0x28, 0x88, 0xE2, 0x27, 0x00, 0x00, 0x80,
DeviceAddress dev5 = { 0x28, 0x77, 0xFF, 0x27, 0x00, 0x00, 0x80,
DeviceAddress dev6 = { 0x28, 0x18, 0xDD, 0x27, 0x00, 0x00, 0x80,
DeviceAddress dev7 = { 0x28, 0xEF, 0xF8, 0x27, 0x00, 0x00, 0x80,
```

```

DeviceAddress dev8 = { 0x28, 0xEE, 0x5D, 0x08, 0x00, 0x00, 0x80,
DeviceAddress dev9 = { 0x28, 0x79, 0xEC, 0x27, 0x00, 0x00, 0x80,
DeviceAddress dev10 = { 0x28, 0x23, 0xFE, 0x27, 0x00, 0x00, 0x80,
DeviceAddress dev11 = { 0x28, 0xB0, 0x9A, 0x27, 0x00, 0x00, 0x80,
DeviceAddress dev12 = { 0x28, 0x2A, 0xFE, 0x27, 0x00, 0x00, 0x80,
DeviceAddress dev13 = { 0x28, 0xBE, 0xE5, 0x27, 0x00, 0x00, 0x80,
DeviceAddress dev14 = { 0x28, 0xD8, 0x9F, 0x27, 0x00, 0x00, 0x80,
DeviceAddress dev15 = { 0x28, 0x52, 0xFE, 0x27, 0x00, 0x00, 0x80,
void setup()
{
  pinMode(15, INPUT);
  analogReference(INTERNAL);
  //inicializamos el NRF24L01
  radio.begin();
  //inicializamos el puerto serie
  Serial.begin(9600);
  pinMode(control, OUTPUT);
  // Inicializamos la libreria
  //Abrimos un canal de escritura
  radio.openWritingPipe(direccion);
  sensors.begin();
  sensors.setResolution(dev0, 9);
  sensors.setResolution(dev1, 9);
  sensors.setResolution(dev2, 9);
  sensors.setResolution(dev3, 9);
  sensors.setResolution(dev4, 9);
  sensors.setResolution(dev5, 9);
  sensors.setResolution(dev6, 9);
  sensors.setResolution(dev7, 9);
  sensors.setResolution(dev8, 9);
  sensors.setResolution(dev9, 9);

  sensors.setResolution(dev6, 9);
  sensors.setResolution(dev7, 9);
  sensors.setResolution(dev8, 9);
  sensors.setResolution(dev9, 9);
  sensors.setResolution(dev10, 9);
  sensors.setResolution(dev11, 9);
  sensors.setResolution(dev12, 9);
  sensors.setResolution(dev13, 9);
  sensors.setResolution(dev14, 9);
  sensors.setResolution(dev15, 9);
  lcd.begin(16, 2); // Configuramos el numero de columnas
  lcd.print("Temperatura: "); //impresion de mensaje
}
void loop(void)
{
  //cargamos los datos en la variable datos[] 9.309090;
  // Serial.flush();
  //}

```

```

        //unsigned int deviceErrorCounter = 0;
        //unsigned int numberOfDevices = 11;
        // Command all devices on bus to read temperature
        //delay chosen to suit device resolution (9-bit = 93.75ms, 10-bit
        sensors.requestTemperatures();
        conp=0;
        datos[0]=(sensors.getTempC(dev0));
        if(datos[0]>0){conp=conp+1;}
        else{datos[0]=0;}
        datos[1]=(sensors.getTempC(dev1));
        if(datos[1]>0){conp=conp+1;}
        else{datos[1]=0;}
        datos[2]=(sensors.getTempC(dev2));
        if(datos[2]>0){conp=conp+1;}
        else{datos[2]=0;}

        datos[3]=(sensors.getTempC(dev3));
        if(datos[3]>0){conp=conp+1;}
        else{datos[3]=0;}

        datos[4]=(sensors.getTempC(dev4));
        if(datos[4]>0){conp=conp+1;}
        else{datos[4]=0;}

        datos[5]=(sensors.getTempC(dev5));
        if(datos[5]>0){conp=conp+1;}
        else{datos[5]=0;}
        ----(-----)---
        if(datos[11]>0){conp=conp+1;}
        else{datos[11]=0;}
        datos[12]=(sensors.getTempC(dev12));
        if(datos[12]>0){conp=conp+1;}
        else{datos[12]=0;}

        datos[13]=(sensors.getTempC(dev13));
        if(datos[13]>0){conp=conp+1;}
        else{datos[13]=0;}

        datos[14]=(sensors.getTempC(dev14));
        if(datos[14]>0){conp=conp+1;}
        else{datos[14]=0;}

        datos[15]=(sensors.getTempC(dev15));
        if(datos[15]>0){conp=conp+1;}
        else{datos[15]=0;}

        if(conp>0){
            value=(datos[0]+datos[1]+datos[2]+datos[3]+datos[4]+datos[5])
        }

```

```

//if(conp==0){value=0;}
//datos[16]=value;
if (value >= umbral)
    digitalWrite(control, HIGH);
    else
        digitalWrite(control, LOW);
        salidaV= map (value,0,100,51,255);
analogWrite(ledV,salidaV);
//enviamos los datos
bool ok = radio.write(datos, sizeof(datos));
if(ok)
{
lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print ("      Grados");
lcd.setCursor (0,1 );
    lcd.print(value,1);
    //delay (250);
    /*
Serial.println(datos[0]);
    Serial.println(datos[1]);
        Serial.println(datos[2]);
    Serial.println(datos[3]);
        Serial.println(datos[4]);
    Serial.println(datos[5]);
        Serial.println(datos[6]);
    Serial.println(datos[7]);
        Serial.println(datos[8]);
    Serial.println(datos[9]);
        Serial.println(datos[10]);
    Serial.println(datos[11]);
        Serial.println(datos[12]);
    Serial.println(datos[13]);
        Serial.println(datos[14]);
    Serial.println(datos[15]);
    //Serial.println(datos[16]);
*/
}
    else
    {
        lcd.setCursor (0,1);
        lcd.print("Error");

        Serial.println("no se ha podido enviar");
    }
delay(670);
}

//reportamos por el puerto serial los datos enviados

```

Figura.1. Programa mejorado del transmisor.

ANEXO J: ELABORACIÓN DE UNA RED DE SENSORES

Primeramente, se procedió con la identificación de terminales del cable blindado las cuales son señal de voltaje, tierra y datos como se muestra en la Figura 1.



Figura.1. Identificación de terminales.

Posteriormente se realizó un corte al forraje de terminales visualizándose en la Figura 2, ello para una conversión a terminales de cobre como se muestra en la figura:



Figura.2. Terminales sin plástico.

Para facilitar el empalme que se dará entre cable de control y cable de sensor de temperatura se estañaron puntas de ambos cables mostrándose en la Figura 3 dicha construcción.

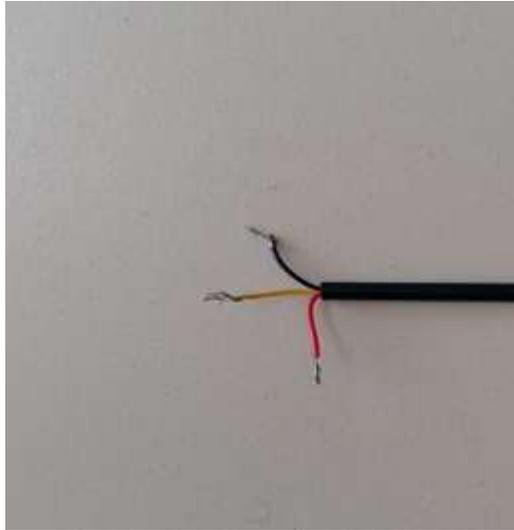


Figura. 3. Estañado de terminales Sensor DS18B20.

Para así dar paso a la conjunción de cables de control y de sensor como se observa en la figura 4.



Figura.4. Conjunción de cableado de sensor SD18B20 y cable blindado.



Figura. 5. Unión de sensor a cable blindado.



Figura.6. Red de sensor punto a punto.