



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

INFORME TÉCNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

INGENIERÍA ELECTRÓNICA

PRESENTA

Ronaldo Oliver Solórzano de León

NOMBRE DEL PROYECTO

“Automatización de Invernaderos”

ASESORES

Ing. Arnulfo Gómez Cabrera
Dra. Ofelia Begovich Mendoza

PERIODO DE REALIZACIÓN

AGOSTO - DICIEMBRE 2017



Carretera Panamericana Km. 1080 C.P. 29050
Tels. (961) 615-0461, 615-1687, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México
<https://www.ittg.edu.mx/>



ISO 9001:2015
Certificado de Acreditación
Número de Acreditación: 0322.07.27
Emisión: 2018.07.27

INDICE

Índice de ilustraciones.....	3
Índice de tablas.....	5

CAPITULO I

1.1 Introducción.....	6
1.2 Objetivo general.....	6
1.2.1 Objetivos específicos.....	6
1.3 Hipótesis.....	7
1.4 Planteamiento del problema.....	7
1.5 Justificación.....	8
1.6 Delimitaciones del proyecto.....	8

CAPITULO II

2.1 Caracterización del área en que se participó.....	10
2.1.1 Antecedentes de la empresa.....	10
2.1.2 Organigrama de la empresa.....	11
2.1.3 Misión, Visión y Valores.....	12
2.1.4 Descripción del área donde se realizó el proyecto.....	13

CAPITULO III

3.1 Metodología.....	15
3.2 Fundamento teórico.....	20
3.2.1 Antecedentes.....	20
3.2.2 Arduino MEGA 2560.....	20
3.2.3 Módulo Bluetooth HC-05.....	21
3.2.4 Xbee S2C PRO.....	23
3.2.5 Sensor DHT22.....	24
3.2.6 LED de alta potencia 3W.....	25
3.2.7 LM324.....	26



3.2.8 Sensor Quantum PQS1.....	27
3.2.9 NI 9203 (Sistema CompactRIO).....	29
3.2.10 Software para el desarrollo del proyecto.....	30
CAPITULO IV	
4.1 Desarrollo del proyecto.....	34
CAPITULO V	
5.1 Resultados.....	42
5.2 Conclusiones y recomendaciones.....	47
BIBLIOGRAFÍA.....	48
ANEXOS	
Anexo 1. “Programación para la lectura de los sensores”.....	49
Anexo 2. “Programación en LabVIEW para lectura de datos de los sensores”.....	51
Anexo 3. “Cálculo de los valores para el funcionamiento del Amplificador de Instrumentación”.....	54
Anexo 4. “Circuitos en PCB Proteus y diagrama de conexionado de los sensores”.....	57
Anexo 5 “Conversión de los datos del sensor DTH22”.....	62
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	
Ilustración 2.1.....	11
Ilustración 3.1.....	16
Ilustración 3.2.....	17
Ilustración 3.3.....	18
Ilustración 3.4.....	19
Ilustración 3.5.....	21
Ilustración 3.6.....	22
Ilustración 3.7.....	23



Ilustración 3.8.....	24
Ilustración 3.9.....	25
Ilustración 3.10.....	27
Ilustración 3.11.....	28
Ilustración 3.12.....	29
Ilustración 3.13.....	31
Ilustración 3.14.....	31
Ilustración 3.15.....	32
Ilustración 4.1.....	34
Ilustración 4.2.....	35
Ilustración 4.3.....	36
Ilustración 4.4.....	37
Ilustración 4.5.....	37
Ilustración 4.6.....	38
Ilustración 4.7.....	39
Ilustración 4.8.....	40
Ilustración 4.9.....	40
Ilustración 4.10.....	41
Ilustración 4.11.....	42
Ilustración 4.12.....	43
Ilustración 5.1.....	44
Ilustración 5.2.....	45
Ilustración 5.3.....	46
Ilustración 5.4.....	46
Ilustración 5.5.....	47
Ilustración 5.6.....	48
Ilustración 5.7.....	49
Ilustración 5.8.....	49
Ilustración 5.9.....	50



Anexos

Ilustración 1.....	54
Ilustración 2.....	54
Ilustración 3.....	57
Ilustración 4.....	57
Ilustración 5.....	60
Ilustración 6.....	51
Ilustración 7.....	51
Ilustración 8.....	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1.....	21
Tabla 3.2.....	23
Tabla 3.3.....	24
Tabla 3.4.....	25
Tabla 3.5.....	26
Tabla 3.6.....	26
Tabla 3.7.....	27
Tabla 3.8.....	28
Tabla 3.9.....	30
Tabla 4.1.....	35



CAPÍTULO I

1.1 Introducción teórica

El sistema de producción de invernaderos es un elemento fundamental para incrementar los beneficios y para adaptarse a cambios en los mercados agrícolas. La producción de un cultivo que está adaptado a un invernadero produce situaciones futuras en las cuales se puede modificar el crecimiento de ciertas plantas para la mejora de producción y es una de las herramientas de gestión más útiles a la hora de una gran producción.

En la actualidad, los mercados agrícolas han perdido la estabilidad que los caracterizaba en décadas pasadas y se han vuelto más dinámicos y competitivos. La globalización de los mercados, el cambio en las necesidades y exigencias de los consumidores, la rápida evolución en las tecnologías y un mayor respeto del medio ambiente, tanto por parte de las leyes internacionales como por parte de los ciudadanos, han provocado que los productores agrícolas adopten técnicas innovadoras para obtener ventajas comparativas.

Así, para mejorar la producción agrícola en invernaderos y hacer frente a los retos anteriormente descritos es necesario tener un buen conocimiento tanto del sistema de cultivo como de las restricciones económicas, climáticas y medioambientales que afectan a éste.

1.2 Objetivo General

- Mejorar la automatización de dos tipos de Invernaderos del Cinvestav

1.2.1 Objetivos específicos

- Elaborar un sistema de iluminación óptimo de un invernadero interior.
- Emplear un sistema de control de actuadores y mejora de adquisición de datos de los sensores.



- Diseñar un sistema de control de temperatura y humedad visual del invernadero exterior en LabVIEW.
- Realizar una base de datos para almacenar información de todos los sensores empleados, para emplearse en otros proyectos involucrados.

1.3 Hipótesis

Se pretende realizar una programación en LabVIEW en donde se registren los datos de 12 sensores de humedad y temperatura, además de uno de radiación fotosintética en puntos estratégicos del invernadero, recolectando los datos y almacenándolos en un archivo Excel, además de un control de iluminación óptimo en un invernadero interior que sea equivalente a la luz solar que necesitan las plantas.

1.4 Planteamiento del proyecto

Debido a los inconvenientes que se vienen dando en el sector agroindustrial, las personas han tratado de modificar los procesos naturales del ciclo de un cultivo a fin de obtener los alimentos que necesita para satisfacer algunas de sus necesidades básicas; a lo largo de todo este periodo ha ido cambiando progresivamente el modo de vincularse con la naturaleza y ha incorporado un sinnúmero de innovaciones tecnológicas y productivas.

No obstante, y a pesar de que este proceso ha sido progresivo y sostenido, la tasa de los cambios a través de los cuales se produjo la transformación e intensificación de la agricultura, no ha sido constante a lo largo de la historia, ya que muchas veces no se cuenta con lo necesario y económico para poder sostener un gran cultivo.

El motivo del porqué realizar este tipo de invernaderos surge de la manera de controlar un cultivo en pleno campo, debido a que no se puede regular de manera precisa el riego, así como la temperatura y humedad que necesitan ciertos cultivos para poder dar una mejor producción.



1.5 Justificación

Debido a la demanda de producción de alimentos, y cada vez más a los escasos de un terreno necesario para producirlo, surge una necesidad de implementar un método de cultivo para producir alimentos de manera controlada, por lo que se recurre a un control de un invernadero, ya sea en exterior como interiores. Los invernaderos son provista de una cubierta transparente para que ingrese la luz solar y cumpla con los requerimientos fotosintéticos y de calor, y que deje escapar el mínimo de energía necesaria para realizar el crecimiento de las plantas.

El cultivo bajo plástico permite controlar factores ambientales como temperatura, humedad y luminosidad, además, porque es posible disponer del clima que se quiera, prácticamente en cualquier situación geográfica.

En un invernadero automatizado se puede aumentar la cantidad, calidad y efectividad en la producción. Esto porque es a través de ellos que se pueden resolver problemas no sólo climáticos, sino de uso más eficiente de agua, nutrientes y controlar mejor plagas y enfermedades.

De esta manera beneficiará tanto al productor del invernadero, ya sea trabajando de manera personal o con ayuda de empleados, así como un crecimiento a la sociedad al poder consumir productos alimenticios hechos en nuestro país, generando economía, de igual manera si se quiere tener un propio invernadero interno, ya que además del ahorro de recursos, se creará un mejor ecosistema dentro de los mismos.

1.6 Delimitaciones del proyecto

Una de las mayores limitaciones a la hora de realizar un proyecto de un invernadero, ya sea de manera externa e interna, es el recurso a emplear, ya que los sistemas que se emplean dentro de este, tienen que estar regulados por un control, el cual deberá estar trabajando constantemente para que los cultivos estén de la mejor manera para producir buenos alimentos o plantas.

Otra dificultad sería el entorno de trabajo, así como el ecosistema presente podría afectar el rendimiento del sistema, ya que si en una ciudad donde se quiera realizar tiene un clima frío, se necesitaría regular la temperatura y humedad más de lo habitual dentro del invernadero, así mismo si es al revés, en un clima caliente.



El recurso económico también influenciaría al momento de realizar un buen invernadero, ya que para que este funcione de la mejor manera, se necesita un buen equipo de operación ya que muchos de los componentes empleados son de alto costo.



CAPÍTULO II

2.1 Caracterización del área en que se participó

El Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav) Unidad Guadalajara, creada en 1988, tiene diferentes áreas de trabajo enfocados a las diferentes ingenierías que existen, que son Computación, Control Automático, Diseño Electrónico, Sistemas Eléctricos de Potencia y Telecomunicaciones, en las cuales una carrera de ingeniería puede ejercer varias áreas de estas.

En este caso se trabajó en el área de Control Automático, que tiene como objetivo formar profesionales de alto nivel en las áreas del control automático y la automatización con bases formales sólidas que les permitan atacar tanto proyectos de investigación científica como desarrollo tecnológico en el área del control automático y temas afines, ya que la Dra. Ofelia Begovich está en el área y el proyecto del invernadero es apoyado por este departamento.

2.1.1 Antecedentes de la empresa

El Cinvestav se creó en el año 1961 como un esfuerzo del sector público para satisfacer la creciente demanda de recursos humanos de alto nivel, y para realizar actividades de investigación, docencia y desarrollo tecnológico. Actualmente el Cinvestav cuenta con cinco unidades en provincia, con una planta de alrededor de 500 investigadores de tiempo completo, una población estudiantil de 1500 alumnos y ofrece 43 programas de posgrado en diferentes áreas: ciencias exactas, ciencias biológicas y de la salud, ingeniería y tecnología y ciencias sociales.

La Unidad Guadalajara del Cinvestav inició sus actividades en el año de 1988 con el Centro de Tecnología de Semiconductores (CTS), especializado en el diseño de componentes electrónicos. El Centro fue inicialmente auspiciado por IBM de México y la Comisión de Inversiones Extranjeras de la SECOFI. Desde entonces y hasta la fecha, el CTS ha trabajado como casa de diseño para empresas del ramo electrónico. En el año de 1995 se iniciaron las actividades académicas con el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Ciencias de la Computación. Se incorporaron los programas de maestría y doctorado en Ciencias en Ingeniería Eléctrica, con las especialidades de computación, control automático, diseño electrónico, sistemas eléctricos de potencia y telecomunicaciones.



2.1.2 Organigrama de la empresa

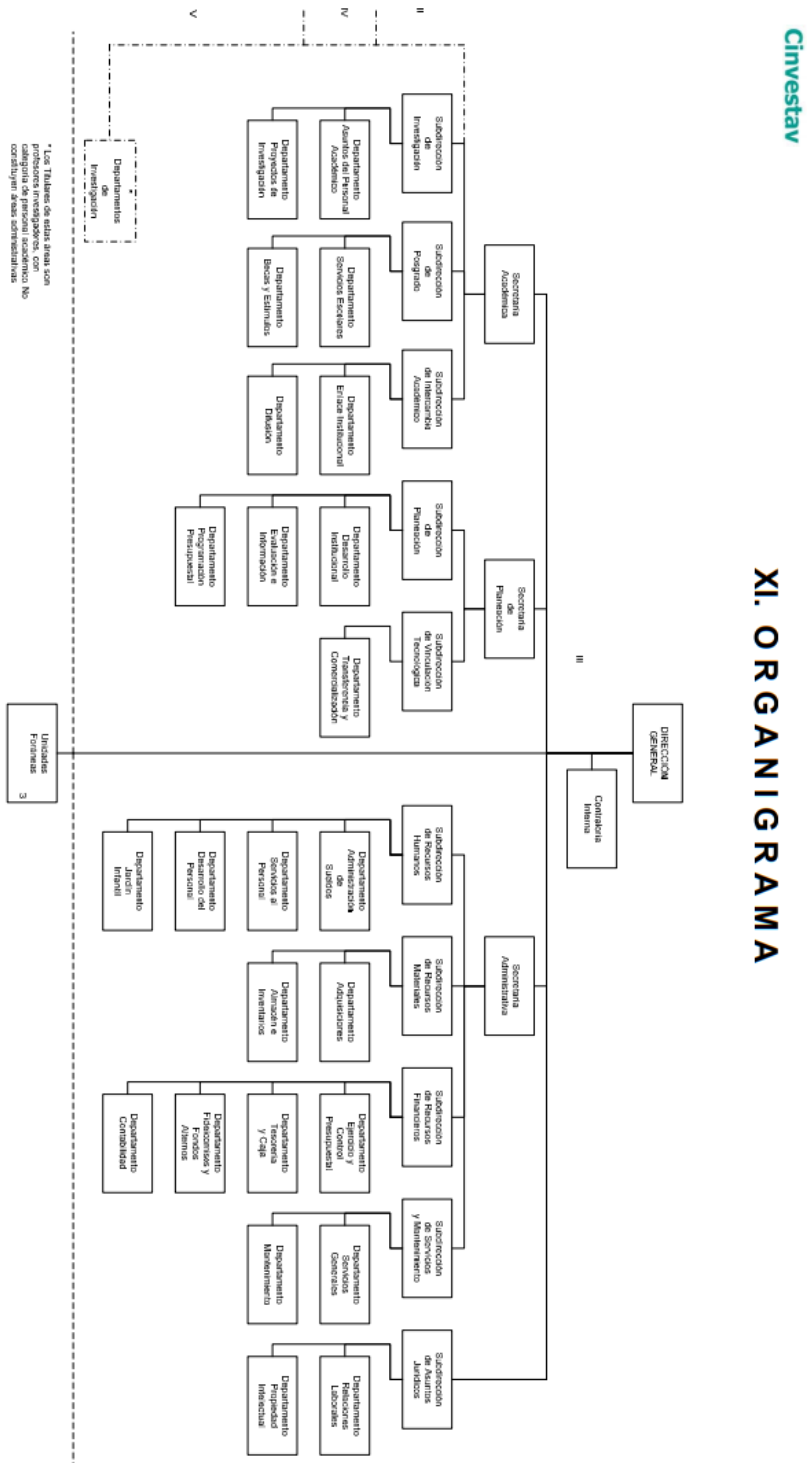


Ilustración 2.1. Organigrama de la empresa Cinvestav. Fuente: www.cinvestav.com

2.1.3 Misión, Visión y Valores

Misión

Contribuir de manera destacada al desarrollo de la sociedad mediante la investigación científica y tecnológica de vanguardia y la formación de recursos humanos de alta calidad.

Visión

Ser la institución líder en la formación de investigadores de alto nivel y generación de conocimiento científico y tecnológico de frontera, con un creciente impacto nacional e internacional que contribuya en forma visible y relevante a la solución de problemas del país ampliando nuestra presencia en la sociedad y en la cultura contemporánea.

Valores

Bien común. El compromiso con el bien común implica que el servidor público esté consciente de que el servicio público es un patrimonio que pertenece a todos los mexicanos y que representa una misión que sólo adquiere legitimidad cuando busca satisfacer las demandas sociales y no cuando persigue beneficios individuales.

Integridad. El servidor público fomentará la credibilidad de la sociedad en las instituciones públicas y contribuirá a generar una cultura de confianza y de apego a la verdad.

Honradez. El servidor público no utilizará su cargo público para obtener algún provecho o ventaja personal o a favor de terceros, ni aceptará prestación o compensación de ninguna persona u organización que puedan comprometer su desempeño como servidor público.

Imparcialidad. El servidor público actuará siempre en forma imparcial, sin conceder preferencias o privilegios indebidos a organización o persona alguna.

Justicia. El servidor público conducirá sus actos con la estricta observancia de la ley, impulsando una cultura de procuración efectiva de justicia y de respeto al Estado de Derecho.



Transparencia. El servidor público garantizará el acceso a la información gubernamental, sin más límite que el que imponga el interés público y los derechos de privacidad de particulares, establecidos por la ley, así como el uso y aplicación transparente de los recursos públicos.

Rendición de cuentas. El servidor público proveerá la eficacia y la calidad en la gestión de la administración pública, contribuyendo a su mejora continua y a su modernización, teniendo como principios fundamentales la optimización de sus recursos y la rendición de cuentas.

Entorno cultural y ecológico. El servidor público al realizar sus actividades adoptará una clara voluntad de comprensión, respeto y defensa por la preservación del entorno cultural y ecológico de nuestro país, que se refleje en sus decisiones y actos.

Generosidad. El servidor público actuará con actitud sensible y solidaria, de respeto y apoyo hacia la sociedad y los servidores públicos con quienes interactúa, con especial atención a los niños, las personas de la tercera edad, nuestras etnias y las personas con capacidades especiales y en especial a todas aquellas personas que menos tienen.

Igualdad. El servidor público debe prestar los servicios que se la han encomendado a todos los miembros de la sociedad que tengan derecho a recibirlos, sin importar su sexo, edad, raza, credo, religión o preferencia política.

Respeto. El servidor público respetará sin excepción alguna la dignidad de las personas así como los derechos y libertades que le son inherentes, siempre con trato amable y tolerancia para todos.

Liderazgo. El servidor público debe convertirse en promotor de valores y principios en la sociedad, partiendo de su ejemplo personal, aplicando cabalmente en el desempeño de su cargo público el presente Código de Ética y el Código de Conducta.

2.1.3 Descripción del área donde se realizó el proyecto

El proyecto se realizó en el invernadero exterior que se encuentra en la parte trasera de la institución, en donde se tiene un cuarto de control de tuberías y del invernadero mismo, en el cual se contaba con el equipo necesario para realizar las actividades tales como, fuentes de alimentación, multímetro, prensa, herramientas de corte, soldadura, etc.



Por otro lado, también se tuvo participación en el área de control, en donde se encuentran todos los materiales que se emplean para la construcción de los diferentes proyectos, en el cual se contaba con un cubículo con una computadora para poder realizar los diferentes procesos del proyecto, como simulaciones y programas.



CAPÍTULO III

3.1 Metodología

Dentro de las etapas del funcionamiento del proyecto, se implementarán las siguientes:

Etapa 1.- Enlace del sistema de control del Arduino y PC para configuración de los sensores a emplear.

Etapa 2.- Sistema de conexionado y cableado de los sensores en el entorno de trabajo (Invernadero exterior).

Etapa 3.- Sistema de enlace entre el arduino en el entorno de trabajo (Invernadero) y el arduino en centro de control a través de los módulos bluetooth (en caso del invernadero que se tiene en el centro de investigación) o en su defecto con módulos Xbee (que se llevará a un invernadero comercial).

Etapa 4.- Diseño de una interfaz visual en LabVIEW en donde se puedan identificar todos los sensores empleados y revisar si están trabajando adecuadamente.

Etapa 5.- Diseño y construcción de un amplificador de instrumentación para hacer funcionar el sensor Quantum (radicación activa fotosintética) a través de la interfaz LabVIEW.

Etapa 6.- Diseño y construcción de un sistema de iluminación para el invernadero en interiores.



Para el funcionamiento de los sensores que se implementarán en el invernadero se utilizará el siguiente diagrama de hardware.

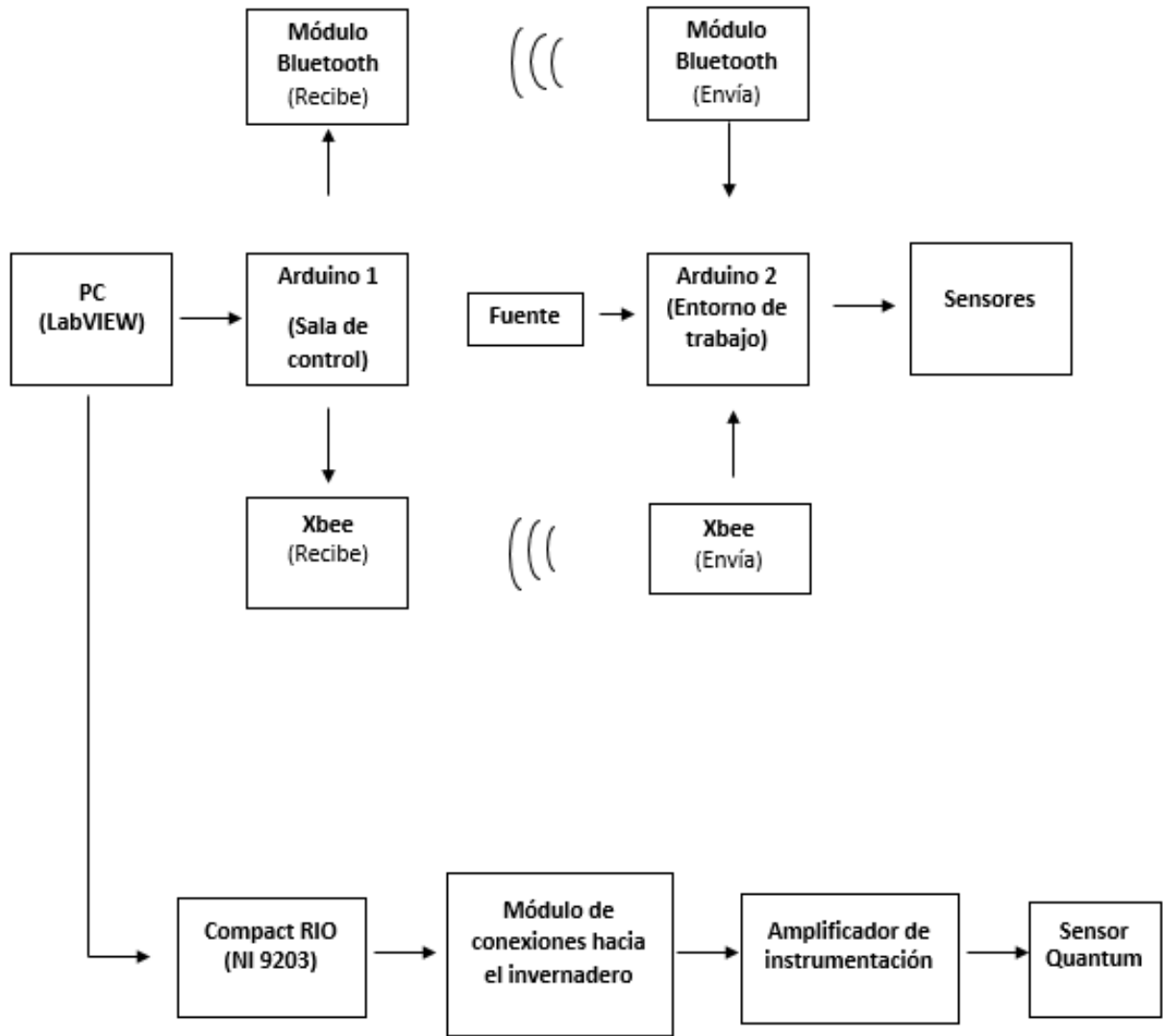


Ilustración 3.1 Diagrama de conexionado de los sensores DTH22 y el Sensor Quantum. Fuente: Propia

En este sistema, nuestros sensores estarán conectados a través de un Arduino Mega 2560, el cual trabajará con un sistema de comunicación bluetooth para el invernadero que se tiene en el Cinvestav, de igual manera si se requiere trabajar en

un invernadero ya comercial, se empleará trabajar con módulos Xbee, ya que estos tienen un mayor rango de comunicación para establecerse en campos grandes de trabajo a diferencia de los de bluetooth que tienen un mínimo rango.

Este Arduino (emisor) a su vez estará conectado a una fuente que se tiene dentro del invernadero, suministrando 5V el cual alimentará tanto al arduino como a los módulos correspondientes (bluetooth), así como también a los sensores, todo a través de un circuito de fuente diseñado en PCB.

Por otro lado, dentro de la sala de control se tendrá otro arduino (receptor) junto a otro módulo, el cual se encargará de recibir los datos enviados por el emisor y transferirlos al entorno LabVIEW.

Para el funcionamiento del sensor Quantum, se diseñará un circuito amplificador de instrumentación el cual tendrá la función de mandar la señal de salida del sensor para que el Compact Rio pueda leerlo, ya que este solo trabaja con entrada en mA, y el sensor trabaja a mV de salida.

Para el sistema de iluminación del invernadero interior se empleará el siguiente esquema:



Ilustración 3.2 Diagrama de conexionado de las barras de LED empleadas en el invernadero para interiores. Fuente: Propia

Se utilizará una fuente de 5V para alimentar 3 tiras de LED que estarán junto a una carga para no dañar al LED, y estos se colocarán en un disipador de calor (barra de metal) que tiene la función de sostener los LED para colocarse en el sistema móvil.

Diagrama a bloques del sistema software para el control de los sensores en el invernadero exterior, en el cual se cuentan con dos Arduino Mega para el enlace del sistema, enlazados a través de dos módulos bluetooth.

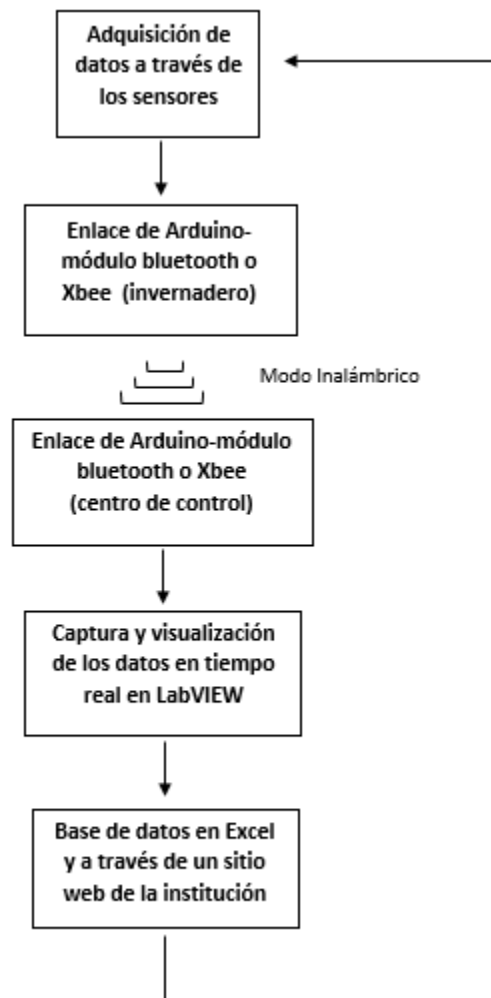


Ilustración 3.3 Sistema software empleado para el funcionamiento de los sensores. Fuente: Propia

Diagrama a bloques del sensor Quantum para su funcionamiento a través de la interfaz visual LabVIEW.

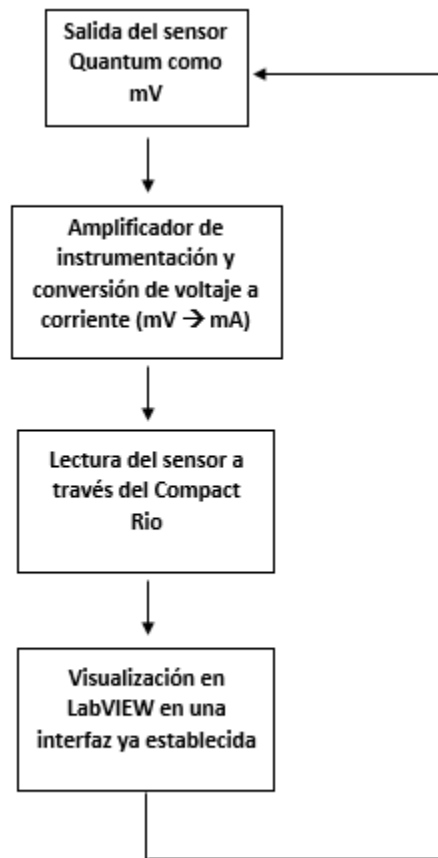


Ilustración 3.4. Sistema de software del funcionamiento y obtención de los datos del sensor quantum. Fuente: Propia

3.2 Fundamento teórico

3.2.1 Antecedentes

El cultivo bajo invernadero siempre ha permitido obtener producciones 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 que se reflejan posteriormente en una mejora de los rendimientos y de la calidad del producto final.

En la actualidad son numerosos los sistemas de automatización que existen en el mercado para controlar los parámetros climáticos de los invernaderos: 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. Los parámetros más relevantes en el control que intervienen en un invernadero son las relaciones con el clima, riegos, CO₂, humedad, etc.

En referencias históricas del uso de plantas de interior, dos cosas son obvias: en primer lugar la introducción de plantas en macetas y en segundo lugar la colocación de estas plantas en el interior. Mientras que las plantas nativas pueden crecer en macetas al aire libre, las plantas exóticas tienen requisitos climáticos especiales y se deben cultivar dentro de un espacio controlado,

3.2.2 Arduino MEGA 2560

Arduino Mega es una tarjeta de desarrollo open-source construida con un microcontrolador modelo Atmega2560 que posee pines de entradas y salidas (E/S), analógicas y digitales. Esta tarjeta es programada en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje Processing/Wiring. Arduino puede utilizarse en el desarrollo de objetos interactivos autónomos o puede comunicarse a un PC a través del puerto serial (conversión con USB) utilizando lenguajes como Flash, Processing, MaxMSP, etc. Las posibilidades de realizar desarrollos basados en Arduino tienen como límite la imaginación.

El Arduino Mega tiene 54 pines de entradas/salidas digitales (14 de las cuales pueden ser utilizadas como salidas PWM), 16 entradas análogas, 4 UARTs (puertos serial por hardware), cristal oscilador de 16MHz, conexión USB, jack de alimentación, conector ICSP y botón de reset. Incorpora todo lo necesario para que el microcontrolador trabaje; simplemente conéctalo a tu PC por medio de un cable USB o con una fuente de alimentación externa (9 hasta 12VDC). [1]





Ilustración 3.5. Placa Arduino Mega 2560. Fuente: www.arduino.cc

Modelo	Arduino MEGA 2560
Voltaje Operativo	5V
Voltaje de Entrada	7-12V
Voltaje de Entrada(límites)	6-20V
Pines digitales de Entrada/Salida	54 (de los cuales 15 proveen salida PWM)
Pines análogos de entrada	16
Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida	40 mA
Corriente DC entregada en el Pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	256 KB (8KB usados por el bootloader)
SRAM	8KB
EEPROM	4KB
Velocidad del reloj	16 MHz

TABLA 3.1. Especificaciones técnicas del Arduino Mega. Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Módulo bluetooth HC-05

El estándar bluetooth es una norma abierta que posibilita la conexión inalámbrica de corto alcance de voz y datos entre ordenadores, portátiles, agendas digitales personales, teléfonos móviles, impresoras, escáneres, cámaras digitales e incluso dispositivos de casa, a través de una banda disponible a nivel global (2,4 GHz) y mundialmente compatible.

El módulo bluetooth HC-05 viene configurado de fábrica para trabajar como maestro o esclavo. En el modo maestro puede conectarse con otros módulos bluetooth, mientras que en el modo esclavo queda a la escucha peticiones de conexión. Agregando este módulo a tu proyecto podrás controlar a distancia desde un celular o una laptop todas las funcionalidades que desees.

El modulo Bluetooth HC-05 utiliza el protocolo UART RS 232 serial. Es ideal para aplicaciones inalámbricas, fácil de implementar con PC, microcontrolador o módulos Arduino. [2]



Ilustración 3.6. Módulo bluetooth HC-05. Fuente: www.arduino-elektronika.eu

Los pines de la placa correspondientes son:

- EN
- VCC
- GND
- TX
- RX
- STATE

Compatible con el protocolo Bluetooth V2.0.

Modelo	HC-05
Voltaje de alimentación	3.3VDC – 6VDC
Voltaje de operación	3.3VDC.
Baud rate ajustable	1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200
Baud rate por defecto	9600
Tamaño	1.73 in x 0.63 in x 0.28 in (4.4 cm x 1.6 cm x 0.7 cm)
Corriente de operación	< 40 mA
Corriente modo sleep	< 1 mA

TABLA 3.2. Especificaciones técnicas del módulo HC-05. Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Xbee S2C PRO

El XBee-Pro S2C es un módulo de bajo costo que permite realizar conexiones inalámbricas entre dispositivos electrónicos. Trabaja con una frecuencia de 2.4Ghz y te permitirá crear redes de conexión punto a punto, punto a multipunto.

En esta nueva generación de XBee-Pro Serie S2C se incorpora la comunicación SPI (serial peripheral interface) que provee un intercambio de datos con una alta velocidad entre dispositivos, optimizando la conexión con microcontroladores.

Este modelo de XBee-Pro S2C posee un alcance de 90 metros en lugares cerrados y hasta 3200 metros en lugares abiertos, línea vista y en las mejores condiciones. Cuenta con 15 pines I/O de los cuales 4 puedes utilizar como entradas analógicas de 10-bit. [3]



Ilustración 3.7. Módulo Xbee S2C con antena receptora. Fuente: www.parallax.com

Modelo	Xbee S2C PRO
Frecuencia de trabajo	2.4 GHz
Velocidad de datos (máx)	250.000b/s
Técnica de modulación	DSSS
Rango de alcance	Hasta 3200 metros
Sensibilidad	-101 dBm
Voltaje de la fuente	2.7 V ~ 3.6 V
Corriente – Recepción	31 mA
Corriente – Transmisión	120mA
Interfaz de comunicación	SPI, UART
Capacidad de memoria	32kB Flash, 2kB RAM
Tipo de montaje	Through Hole
Temperatura de operación	-40°C ~ 85°C

TABLA 3.3. Especificaciones técnicas del módulo XBee. Fuente: Elaboración propia

3.2.5 Sensor DHT22

El Sensor digital de temperatura y humedad DHT22 utiliza un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos (no hay pines de entrada analógica). Es bastante simple de usar, pero requiere sincronización cuidadosa para tomar datos. El único inconveniente de este sensor es que sólo se puede obtener nuevos datos una vez cada 2 segundos, así que las lecturas que se pueden realizar serán mínimo cada 2 segundos. [4]



Ilustración 3.8. Sensor de temperatura y humedad DTH22. Fuente: www.adafruit.com

Modelo	Sensor DHT22
Alimentación	3.3Vdc ≤ Vcc ≤ 6Vdc
Rango de medición de temperatura	-40°C a 80 °C
Precisión de medición de temperatura	<±0.5 °C
Resolución Temperatura	0.1°C
Rango de medición de humedad	De 0 a 100% RH
Precisión de medición de humedad	2% RH
Resolución Humedad	0.1%RH
Tiempo de censado	2s

TABLA 3.4. Especificaciones técnicas del sensor DHT22. Fuente: Elaboración propia

3.2.6 LED de alta potencia 3W

Los diodos emisores de luz (LEDs) son elementos de estado sólido (semiconductores) que emiten energía luminosa al aplicar directamente energía eléctrica, los cuales, dependiendo de la aplicación pueden ser de baja o alta potencia. Los LEDs de alta potencia son diseños más completos que incluyen diversas alternativas de ópticas de control del flujo luminoso y se fabrican en potencias mayores a 1 W; este tipo de LEDs se utilizan principalmente en aplicaciones arquitectónicas de iluminación en exteriores e iluminación para calle, permitiendo tener más posibilidades de diseño y efectos de color.

Los LEDs de alta potencia son diseños más completos que incluyen diversas alternativas de ópticas de control del flujo luminoso y se fabrican en potencias mayores a 1 W; este tipo de LEDs se utilizan principalmente en aplicaciones arquitectónicas de iluminación en exteriores e iluminación para calle, permitiendo tener más posibilidades de diseño y efectos de color. [5]



Ilustración 3.9. LED de alta potencia 3W. Fuente: Propia

Modelo	LED alta potencia 3w
Ángulo de apertura	120°
Encapsulado	Transparente
Temperatura de operación	-35 a 60° C
Corriente nominal	750mA
Temperatura de soldadura sin plomo	260° C
Número de chips internos	1

TABLA 3.5. Especificaciones técnicas del LED de alta potencia 3w. Fuente: Elaboración propia

Y Colores disponibles	Longitud de onda [nm] / Temperatura de Color [Tc]	Voltaje de Operación [V]		Consumo [W]	Flujo Luminoso [lm]	
		Min	Máx		Min	Máx
R	600-650	2.2	2.8	3.0	90	120
G	490-540	3.2	4.0	3.0	140	200
B	450-500	3.2	4.0	3.0	30	60
Y	550-600	2.0	2.8	3.0	90	120
WW	3000-5000 K	3.2	3.8	3.0	80	120
W	5000-7000 K	3.2	3.8	3.0	110	200

TABLA 3.6. Rangos de operación de los LED de alta potencia. Fuente: www.siled.com

3.2.7 LM324

Amplificador operacional cuádruple con entradas diferenciales verdaderas. Está compuesto por cuatro amplificadores operacionales de alta ganancia, diseñados para trabajar con fuente de alimentación simple. Sin embargo, también son capaces de funcionar con una fuente de alimentación doble. Tiene ventajas sobre los amplificadores operacionales convencionales en aplicaciones de fuente sencilla de alimentación y puede trabajar con voltajes de alimentación desde 3V hasta 32V. Es de bajo consumo de energía (aproximadamente 1/5 del consumo de un LM741 convencional).

Se puede utilizar para aplicaciones tales como: Bloques de ganancia DC, amplificadores y en cualquier circuito típico con amplificadores operacionales. Los cuales ahora son más sencillos de implementar utilizando alimentación simple. Por ejemplo, el LM324 puede funcionar directamente a la tensión de 5V, tensión utilizada habitualmente en electrónica digital, sin necesidad de implementar otra fuente de alimentación doble de +/- 15Vdc. [6]

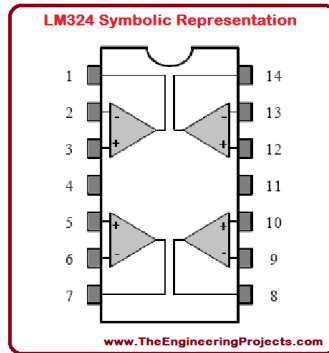


Ilustración 3.10. Circuito integrado LM324. Fuente: www.ti.com

Características	LM324
Alimentación simple	3 - 32V
Ganancia en DC	100dB
Ancho de banda	1MHz(compensada con la temperatura)
Alimentación doble	+/- 1.5V - +/- 16V
Consumo de corriente	700 μ A (bajo consumo)
Corriente de polarización de entrada	45nA
Voltaje offset de entrada	2mV
Corriente offset	5nA
Excursión máxima del voltaje de salida	0V - +/- 1.5V

TABLA 3.7. Especificaciones técnicas del C.I LM324. Fuente: Elaboración propia

3.2.8 Sensor Quantum PQS1

El sensor PQS1 PAR Quantum está desarrollado para una medición precisa de PAR (Radiación Fotosintética Activa). Ofrece una respuesta con una excelente coincidencia con la respuesta PAR ideal. Además, el diseño óptico del difusor ofrece una corrección optimizada del coseno. El instrumento está diseñado para una instalación continua en exteriores o interiores. Perfecto para estudios de crecimiento de cultivos en invernaderos, por ejemplo.

Tanto la radiación solar como las fuentes de luz artificial, como por ejemplo las lámparas de sodio de alta presión, son fuentes comunes de radiación activa fotosintética. La sensibilidad de PQS1 se ha optimizado para proporcionar mediciones confiables y precisas independientemente de la fuente PAR. Esto es importante para los estudios hortícolas y la monitorización de la fisiología vegetal.

La brida de montaje incorpora un nivel de burbuja y tornillos de ajuste para una fácil nivelación. Un orificio roscado toma la varilla de montaje roscada accesoria para su montaje en mástiles y postes. Dos sensores PQS1 se pueden atornillar fácilmente espalda con espalda, y equipados con la varilla de montaje, para hacer un albedómetro PAR simple. La longitud estándar del cable es de 5 m, con una opción de 15m. [7]



Ilustración 3.11. Sensor de radiación activa fotosintética. Fuente. www.kippzonen.com

Características	PQS1
Rango espectral (50% de puntos)	400 a 700 nm \pm 4 nm
Sensibilidad PQS 1	4 a 10 μ V / μ mol / m ² · s
Impedancia	240 Ω
Tiempo de respuesta PQS 1 (95%)	<1 μ s
No estabilidad (cambio / año)	<2%
No linealidad (0 a 10,000 Mv/ μ mol/m ² ·s)	<1%
Respuesta direccional (hasta 80 ° con 1000 μ mol / m ² · haz de s)	<30 μ mol / m ² · s
Respuesta a la temperatura	<-0.12%
Campo de visión	180°
Rango de temperatura operacional	-30 ° C a +70 ° C
Humedad relativa	0 – 100 % RH
Protección incluida	IP 67
Tipo de detector	Fotodiodo de Si

TABLA 3.8. Especificaciones técnicas del sensor Quantum PQS1. Fuente: Elaboración propia

3.2.9 NI 9203 (Sistema CompactRIO)

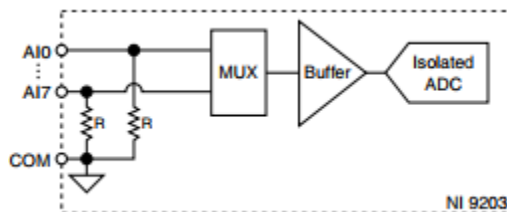
El controlador de automatización programable CompactRIO de National Instruments es un sistema avanzado y embebido de control y adquisición de datos diseñado para aplicaciones que requieren alto rendimiento y fiabilidad. Con la arquitectura abierta y embebida, tamaño pequeño, extrema robustez y flexibilidad del sistema, los ingenieros y desarrolladores pueden usar hardware comercial común para construir rápidamente sistemas embebidos personalizados.

NI CompactRIO es impulsado por las tecnologías LabVIEW FPGA y LabVIEW Real-Time de National Instruments, ofreciendo a los ingenieros la habilidad para diseñar, programar y personalizar el sistema embebido CompactRIO con herramientas de programación gráfica fáciles de usar.

CompactRIO combina un procesador embebido en tiempo real, un FPGA de alto rendimiento y módulos de E/S intercambiables en vivo. Cada módulo de E/S se conecta directamente al FPGA, proporcionando personalización de bajo nivel para temporización y procesamiento de señales de E/S. El FPGA es conectado al procesador embebido en tiempo real vía un bus PCI de alta velocidad. Esto representa una arquitectura de bajo costo con acceso abierto a recursos de hardware de bajo nivel. LabVIEW contiene mecanismos integrados para transferencia de datos para pasar datos desde los módulos de E/S al FPGA y también desde el FPGA al procesador embebido para análisis en tiempo real, procesamiento posterior, registro de datos o comunicación a un servidor conectado en red. [8]



Ilustración 3.12. Sistema controlador Compact RIO NI9203. Fuente: www.ni.com



Circuito interno de NI 9203 para protección contra sobre voltaje

Características	NI 9203
Número de canales	8 canales de entrada analógica
Resolución ADC	16 bits
Entrada nominal unipolar	0 mA to 20 mA
Entrada nominal bipolar	± 20 mA
Protección de sobre voltaje	± 30 V en un canal a la vez
Ancho de banda de entrada (-3dB)	850KHz
Impedancia de entrada	138 Ω
Capacitancia de entrada	20pF
Ruido de entrada RMS	1 LSB _{rms}
Códigos no perdidos	16 bits
Crosstalk (XT) (1KHz)	-100dB
Tiempo de estabilización	5 μ s
Consumo de poder en modo activo	399mW max
Consumo de poder en modo sleep	5mW max
Disipación térmica en modo activo	1.22W max
Disipación térmica en modo sleep	824mW max

TABLA 3.9. Especificaciones técnicas del Compact RIO NI9203. Fuente: Elaboración propia

3.2.10 Software para el desarrollo del proyecto

LabVIEW

El entorno de programación de LabVIEW simplifica la integración de hardware para aplicaciones de ingeniería, así usted tiene una manera consistente de adquirir datos desde hardware de NI y de terceros. LabVIEW reduce la complejidad de la programación, así usted puede enfocarse en su problema de ingeniería.

LabVIEW le permite visualizar resultados inmediatamente con la creación integrada de interfaces de usuario de clic-y-arrastre y visualizadores de datos integrados.

Los programas de LabVIEW son llamados instrumentos virtuales o VIs ya que su apariencia y operación imitan a los instrumentos físicos, como osciloscopios y multímetros. LabVIEW contiene una extensa variedad de herramientas para adquirir, analizar, visualizar y almacenar datos, así como herramientas para ayudarle a solucionar problemas en el código que escriba. [9]



Ilustración 3.13. Logo de LabVIEW. Fuente: www.ni.com

Plataforma Arduino

Arduino es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto (open-source) basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar. Está pensado para artistas, diseñadores, como hobby y para cualquiera interesado en crear objetos o entornos interactivos.

Arduino puede sentir el entorno mediante la recepción de entradas desde una variedad de sensores y puede afectar a su alrededor mediante el control de luces, motores y otros artefactos. El microcontrolador de la placa se programa usando el Arduino Programming Language (basado en Wiring) y el Arduino Development Environment (basado en Processing). Los proyectos de Arduino pueden ser autónomos o se pueden comunicar con software en ejecución en un ordenador. [10]



Ilustración 3.14. Logo de Arduino. Fuente: www.arduino.cc

PCB Proteus

La pestaña 'diseño PCB' es el lugar donde diseñamos las placas de circuito impreso (PCB). Está plenamente integrada con el resto de pestañas de Proteus.

Mientras dibujamos el esquema electrónico, Proteus genera automáticamente la lista de redes (NETLIST). Una red es un grupo de pines interconectados entre sí y la lista de redes es una lista con todas las redes que forman nuestro diseño. ARES es capaz de recibir esta lista de redes para diseñar, a partir de ella, nuestra placa de circuito impreso. De esta forma nos aseguramos que nuestra placa tendrá unidos entre sí los pines de forma idéntica a como los hemos definido en nuestro esquema electrónico. Podemos consultar la lista de redes desde la pestaña 'explorador del diseño' seleccionando la vista específica.

Cualquier modificación que realicemos en el diseño electrónico, se refleja automáticamente en el resto de las pestañas de Proteus. De esta forma la modificación y rediseño de nuestra placa se realizará de forma mucho más simple y segura. Todas las versiones de Proteus PCB incluyen un amplio conjunto de ayudas y herramientas para facilitar la tarea de construir una placa de circuito impreso. [11]

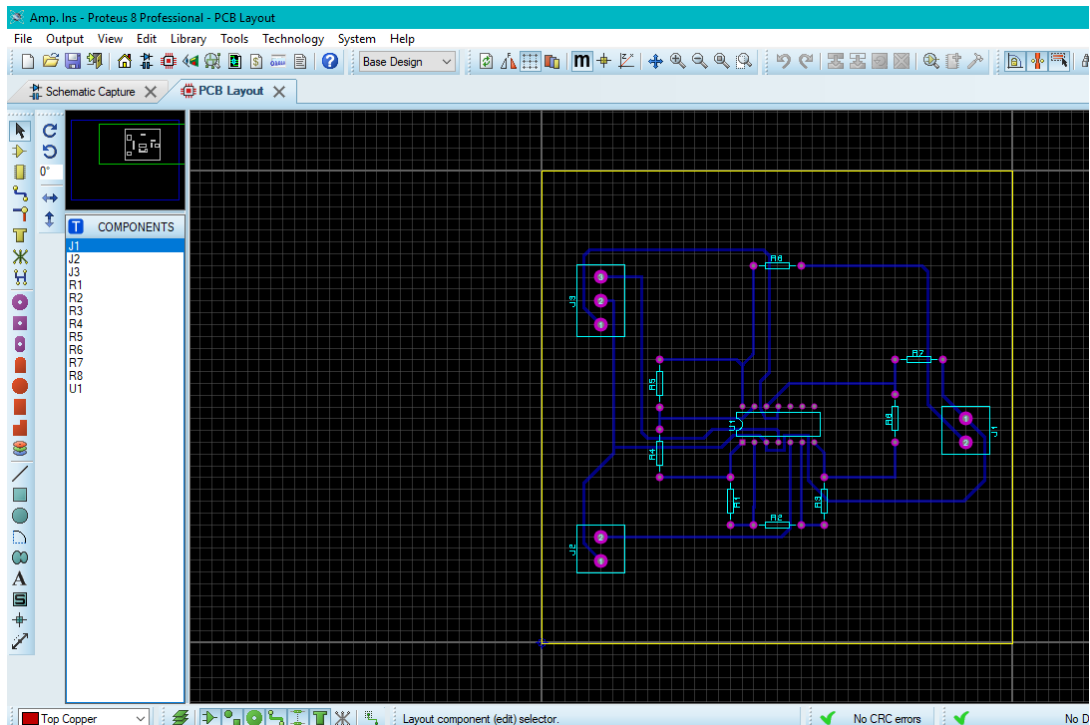


Ilustración 3.15. Diseño de un circuito amplificador en PCB Proteus. Fuente: Propia

Proteus PCB también permite escalar el tamaño de las placas que pueden ser construidas. Desde un límite mínimo de 500 pines en la versión más sencilla (PCB Starter Kit) hasta la versión más alta (PCB nivel 3) sin restricciones de tamaño. De esta manera el cliente puede encontrar precios ajustados en función de sus necesidades específicas.

Proteus es capaz de gestionar proyectos de placas de circuito impreso de hasta 16 capas de cobre, con una resolución de 10nm y permitiendo la disposición de los elementos en cualquier ángulo.



CAPÍTULO IV

4.1 Desarrollo del Proyecto

Durante el desarrollo, se realizó un sistema de cableado de los sensores implementados en el invernadero y control mediante la plataforma Arduino, en la cual se instalaron 12 sensores de temperatura y humedad DHT22 dentro de todo el invernadero, para poder observar el nivel de temperatura y humedad relativa que se tiene en cada rincón del mismo, ya que a lo largo del día, hay variaciones con respecto al mismo clima, que aplicado a algunos sistemas ya implementados dentro del Invernadero, se tiene un mejor control del entorno.

Para el desarrollo de los programas necesarios para la realización del proyecto se emplearon plataformas tanto de Arduino como LabVIEW, en los cuales se realizaron programas enfocados a iluminación, control de sensores, comunicación entre las plataformas, recolección de datos, así como también el almacenamiento de los mismos para visualizarlos en tablas en Excel para tener un control, ya que estos datos son necesarios para la realización de otro proyecto que se emplea en el invernadero.

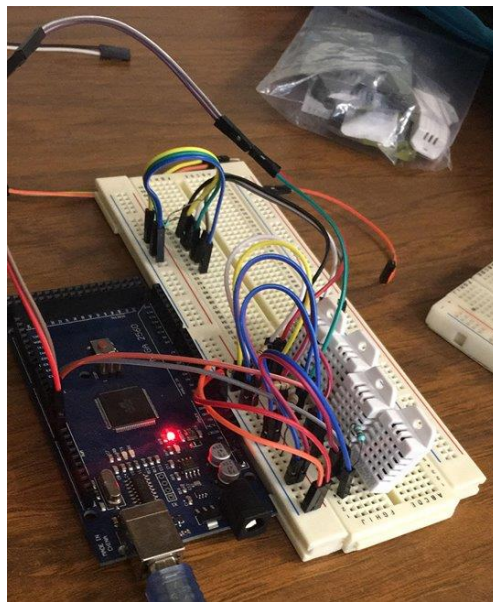


Ilustración 4.1. Pruebas de funcionamiento de varios sensores DTH22. Fuente: Propia

DHT22 (1)		DHT22 (2)		DHT22 (3)		DHT22 (4)	
Humedad: 64.90 %	Temperatura: 23.50 °C	Humedad: 65.30 %	Temperatura: 23.30 °C	Humedad: 74.10 %	Temperatura: 23.30 °C	Humedad: 78.70 %	Temperatura: 23.50 °C
Humedad: 65.00 %	Temperatura: 23.50 °C	Humedad: 65.40 %	Temperatura: 23.30 °C	Humedad: 74.30 %	Temperatura: 23.30 °C	Humedad: 79.00 %	Temperatura: 23.50 °C
Humedad: 65.00 %	Temperatura: 23.50 °C	Humedad: 65.40 %	Temperatura: 23.30 °C	Humedad: 74.40 %	Temperatura: 23.40 °C	Humedad: 78.90 %	Temperatura: 23.50 °C
Humedad: 65.00 %	Temperatura: 23.50 °C	Humedad: 65.40 %	Temperatura: 23.30 °C	Humedad: 74.50 %	Temperatura: 23.40 °C	Humedad: 78.90 %	Temperatura: 23.50 °C
Humedad: 65.00 %	Temperatura: 23.50 °C	Humedad: 65.40 %	Temperatura: 23.30 °C	Humedad: 74.50 %	Temperatura: 23.40 °C	Humedad: 79.00 %	Temperatura: 23.50 °C
Humedad: 65.00 %	Temperatura: 23.50 °C	Humedad: 65.40 %	Temperatura: 23.30 °C	Humedad: 74.40 %	Temperatura: 23.30 °C	Humedad: 79.10 %	Temperatura: 23.50 °C
Humedad: 65.00 %	Temperatura: 23.50 °C	Humedad: 65.50 %	Temperatura: 23.30 °C	Humedad: 74.70 %	Temperatura: 23.40 °C	Humedad: 79.20 %	Temperatura: 23.50 °C
Humedad: 65.10 %	Temperatura: 23.50 °C	Humedad: 65.50 %	Temperatura: 23.30 °C	Humedad: 74.80 %	Temperatura: 23.40 °C	Humedad: 79.30 %	Temperatura: 23.50 °C
Humedad: 65.10 %	Temperatura: 23.50 °C	Humedad: 65.50 %	Temperatura: 23.30 °C	Humedad: 74.80 %	Temperatura: 23.40 °C	Humedad: 79.30 %	Temperatura: 23.50 °C
Humedad: 65.10 %	Temperatura: 23.50 °C	Humedad: 65.60 %	Temperatura: 23.30 °C	Humedad: 74.80 %	Temperatura: 23.40 °C	Humedad: 79.20 %	Temperatura: 23.50 °C
Humedad: 65.10 %	Temperatura: 23.60 °C	Humedad: 65.60 %	Temperatura: 23.30 °C	Humedad: 74.80 %	Temperatura: 23.40 °C	Humedad: 79.20 %	Temperatura: 23.50 °C
Humedad: 65.20 %	Temperatura: 23.50 °C	Humedad: 65.60 %	Temperatura: 23.30 °C	Humedad: 74.70 %	Temperatura: 23.40 °C	Humedad: 79.20 %	Temperatura: 23.50 °C
Humedad: 65.20 %	Temperatura: 23.60 °C	Humedad: 65.60 %	Temperatura: 23.30 °C	Humedad: 74.70 %	Temperatura: 23.40 °C	Humedad: 79.20 %	Temperatura: 23.50 °C
Humedad: 65.20 %	Temperatura: 23.60 °C	Humedad: 65.60 %	Temperatura: 23.30 °C	Humedad: 74.60 %	Temperatura: 23.30 °C	Humedad: 79.20 %	Temperatura: 23.50 °C
Humedad: 65.10 %	Temperatura: 23.60 °C	Humedad: 65.60 %	Temperatura: 23.30 °C	Humedad: 74.70 %	Temperatura: 23.40 °C	Humedad: 79.10 %	Temperatura: 23.50 °C
Humedad: 65.10 %	Temperatura: 23.60 °C	Humedad: 65.60 %	Temperatura: 23.30 °C	Humedad: 74.70 %	Temperatura: 23.40 °C	Humedad: 79.30 %	Temperatura: 23.50 °C
Humedad: 65.10 %	Temperatura: 23.60 °C	Humedad: 65.60 %	Temperatura: 23.30 °C	Humedad: 74.70 %	Temperatura: 23.40 °C	Humedad: 79.20 %	Temperatura: 23.50 °C
Humedad: 65.10 %	Temperatura: 23.60 °C	Humedad: 65.60 %	Temperatura: 23.30 °C	Humedad: 74.70 %	Temperatura: 23.40 °C	Humedad: 79.20 %	Temperatura: 23.50 °C
Humedad: 65.20 %	Temperatura: 23.60 °C	Humedad: 65.60 %	Temperatura: 23.30 °C	Humedad: 74.70 %	Temperatura: 23.40 °C	Humedad: 79.20 %	Temperatura: 23.50 °C
Humedad: 65.20 %	Temperatura: 23.60 °C	Humedad: 65.60 %	Temperatura: 23.30 °C	Humedad: 74.70 %	Temperatura: 23.40 °C	Humedad: 79.10 %	Temperatura: 23.50 °C
Humedad: 65.20 %	Temperatura: 23.60 °C	Humedad: 65.60 %	Temperatura: 23.30 °C	Humedad: 74.70 %	Temperatura: 23.40 °C	Humedad: 79.10 %	Temperatura: 23.50 °C
Humedad: 65.20 %	Temperatura: 23.60 °C	Humedad: 65.60 %	Temperatura: 23.30 °C	Humedad: 74.60 %	Temperatura: 23.40 °C	Humedad: 79.00 %	Temperatura: 23.50 °C
Humedad: 65.20 %	Temperatura: 23.60 °C	Humedad: 65.60 %	Temperatura: 23.30 °C	Humedad: 74.60 %	Temperatura: 23.40 °C	Humedad: 79.00 %	Temperatura: 23.50 °C

Ilustración 4.2. Primeras pruebas de funcionamiento en Arduino para 4 sensores DTH22. Fuente: Propia

Para realizar la conversión de los valores que nos arroja el sensor DTH22, dado que arroja valores en con juntos de bits, se realizó una tabla con algunos valores de los cuales la programación de Arduino es la encargada de realizarlo.

Para el cálculo de los valores realizados ver “Anexo 5”.

Bits de temperatura	Decimal	Bits de Humedad	Decimal
0000 0001 0101 1111	35.1°C	0000 0001 0101 1111	65.2%
0000 0001 1011 1101	44.5°C	0000 0010 1011 1100	70%
0000 0001 1100 1100	46°C	0000 0010 1110 1110	75%
0000 0001 1101 0110	47°C	0000 0011 0010 0000	80%
0000 0001 1110 0000	48°C	0000 0011 0101 0010	85%
0000 0001 1110 1010	49°C	0000 0011 1000 0100	90%
0000 0001 1111 0100	50°C	0000 0011 1011 0110	95%

TABLA 4.1 Valores de bits a decimales que arroja el sensor DTH22. Fuente: Propia



Después se realizó las conexiones para 12 sensores de humedad y temperatura (DTH22) y se diseñó una interfaz visual en la plataforma de LabVIEW en la cual se pueden observar a los 12 sensores, que trabajan adecuadamente, y todo esto está conectado a un módulo bluetooth que es el encargado de transferir los datos desde el invernadero hasta el cuarto de control.

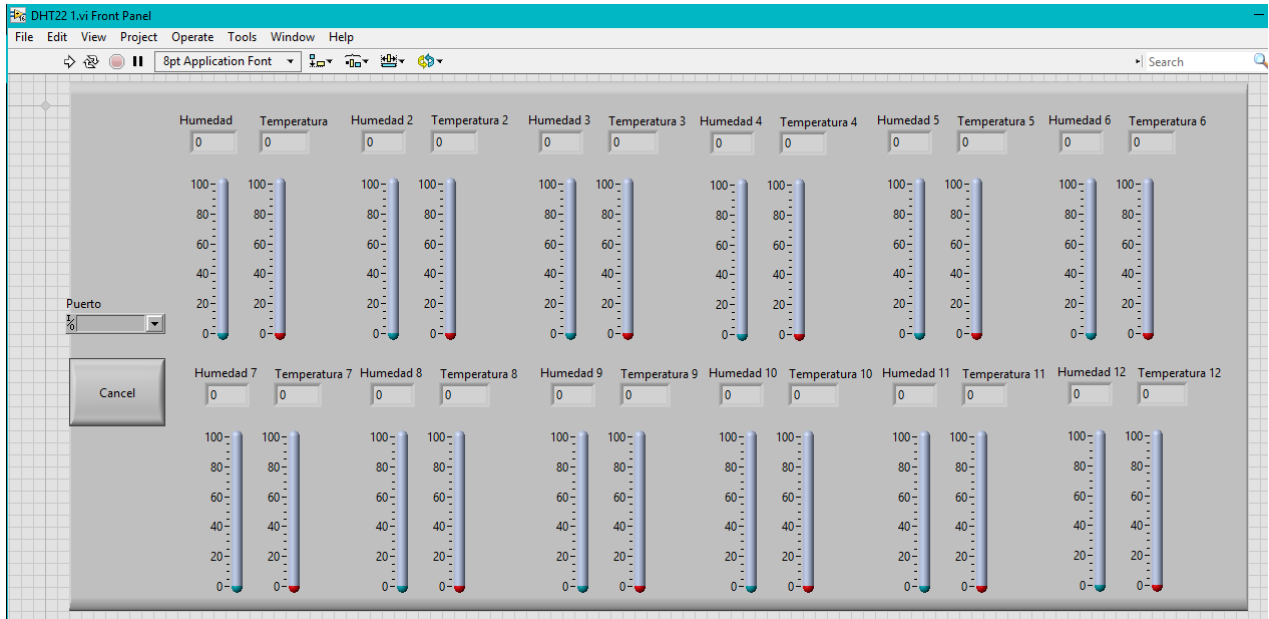


Ilustración 4.3. Diseño en LabVIEW para visualizar los sensores. Fuente: Propia

Ya después de haber probado los sensores, en esta parte se realizó el proceso de cableado dentro del invernadero para poder cubrir toda el área del mismo, que fueron 4 líneas de 3 sensores, así como el diseño de las placas en PCB de alimentación de las fuentes que se usaron para alimentar cada una de las líneas, que a todo esto se introdujo en un arduino que se localizaba dentro del invernadero, el cual cuenta con un módulo bluetooth que será lo que envíe los datos al otro arduino con otro módulo bluetooth que se encuentra en el cuarto de control.



Ilustración 4.4. Conexión de las líneas de sensores. Fuente: Propia

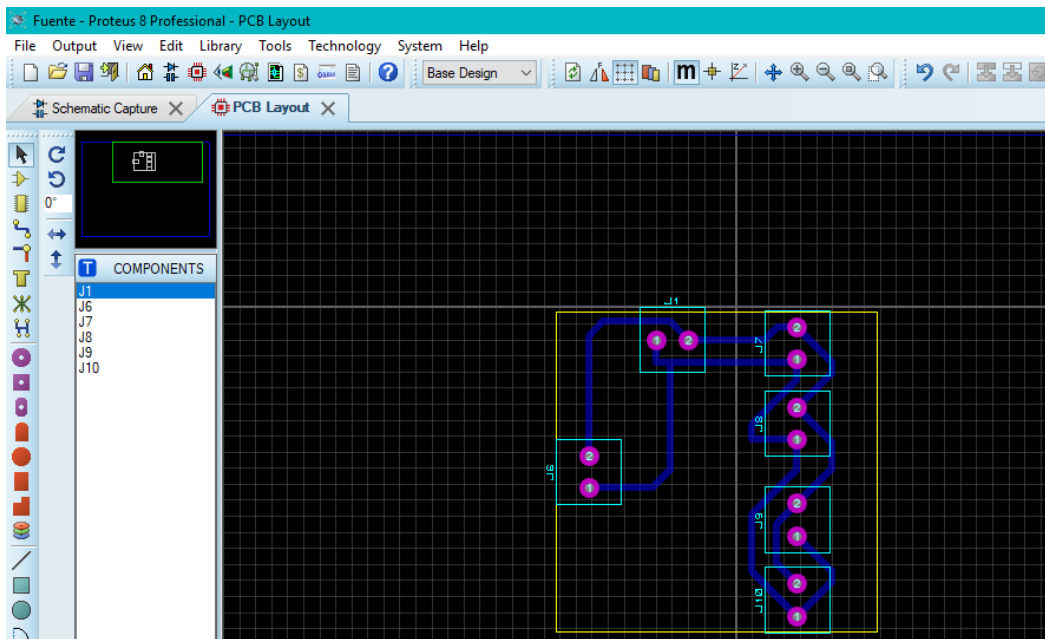


Ilustración 4.5. Diseño en Proteus para la conexión de las líneas de los sensores. Fuente: Propia



Ilustración 4.6. Conexión de los 12 sensores DTH22. Fuente: Propia

Así mismo, se implementarán otros 12 sensores DTH22 para que se tome la temperatura directa del suelo, y a su vez implementarlo en un invernadero comercial en el cual se quiere enfocar al final, el cual llevará incorporado módulos Xbee en lugar de módulos bluetooth, ya que estos tienen un mayor alcance de señal de transferencia, por lo que será más fácil la recolección de datos en un rango más grande.

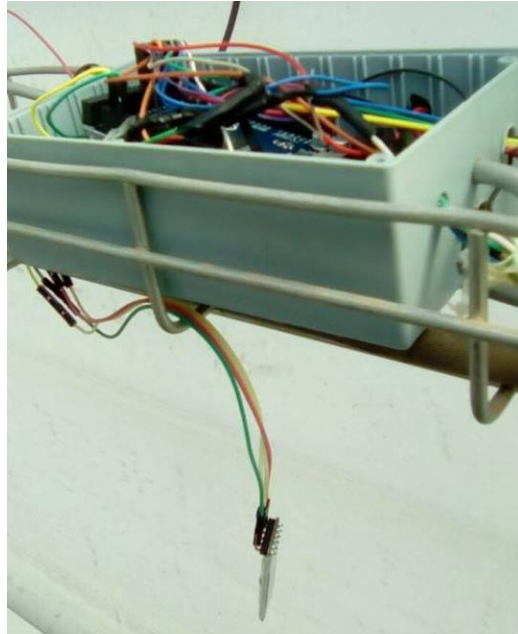


Ilustración 4.7. Conexión de los sensores y el módulo bluetooth al Arduino Mega en el invernadero.
Fuente: Propia

Para el funcionamiento del sensor Quantum, que es un sensor que mide la radiación fotosintética activa, que también está dentro del invernadero, se tuvo que diseñar una placa en PCB, ya que este sensor, da una salida en mili volts, al cual está conectado al sistema CompactRIO, que es el encargado de administrar el control del invernadero, pero este sistema lee en sus entradas analógicas, por corriente en miliamperios, por lo que se diseñó un modelo de Amplificador de Instrumentación, que nos sirve para tener una alta impedancia de entrada y un alto rechazo al modo común (CMRR), que es común en aparatos que trabajan con señales muy débiles, como es el caso de este sensor, que nos sirve para minimizar el error de medida.

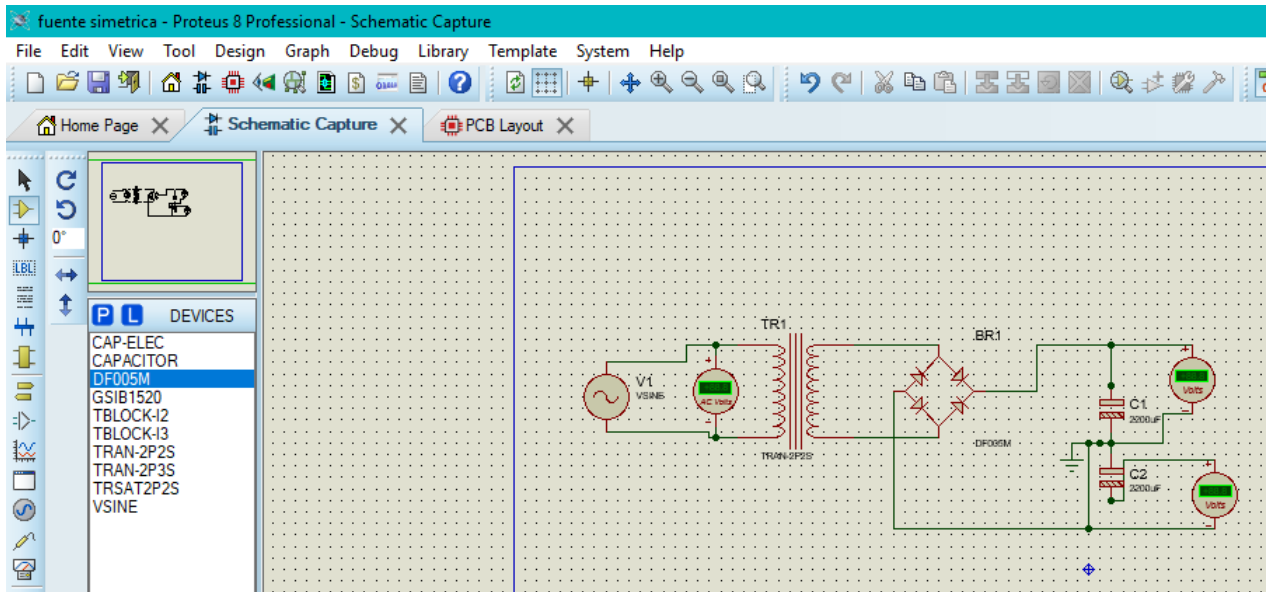


Ilustración 4.8. Fuente simétrica en Proteus utilizando un transformador. Fuente: Propia

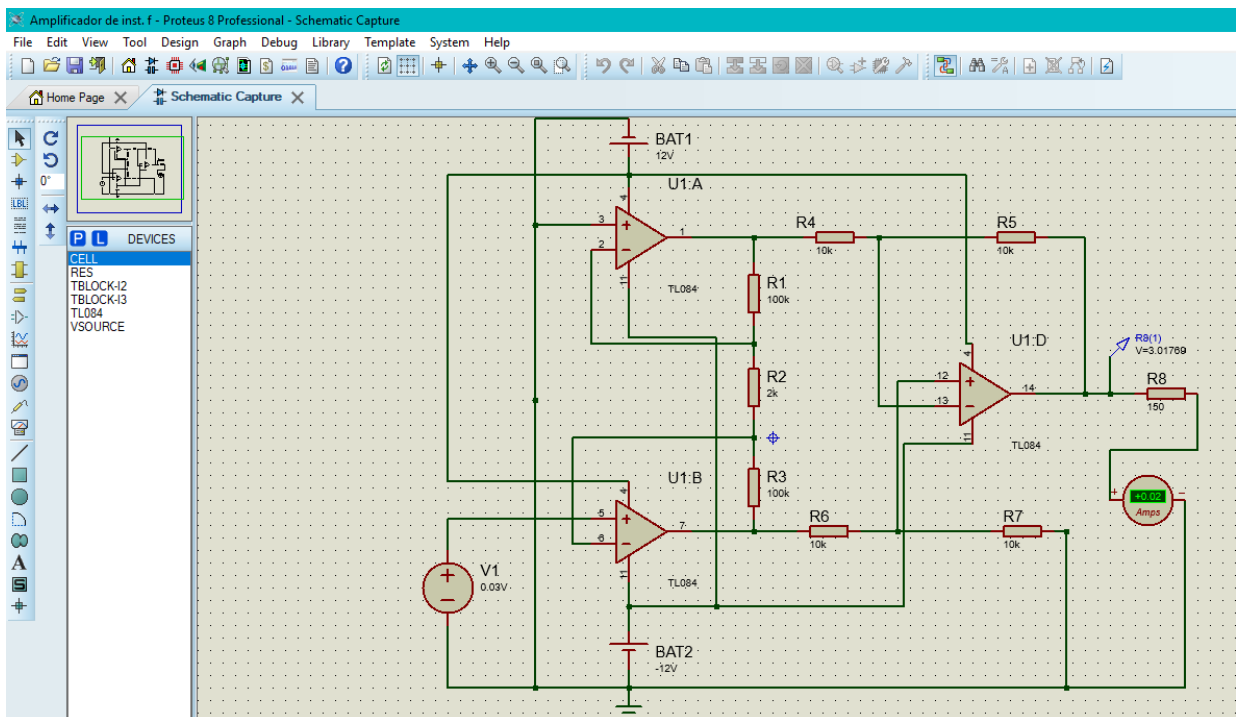


Ilustración 4.9. Diseño del amplificador de instrumentación en Proteus. Fuente: Propia

De igual manera se realizó un programa en LabVIEW para hacer funcionar el sensor Quantum, el cual requiere ayuda del sistema CompactRIO, que mediante un circuito Amplificador de Instrumentación puede ser conectado a este sistema, en el cual con una ecuación de conversión se puede leer dicho sensor para poder ver la radiación fotosintética para ser empleada en futuros proyectos.

Se tomó lugar para la lectura del sensor quantum, implementándolo en el programa del invernadero que se tenía, dentro del módulo de sensado ambiental.

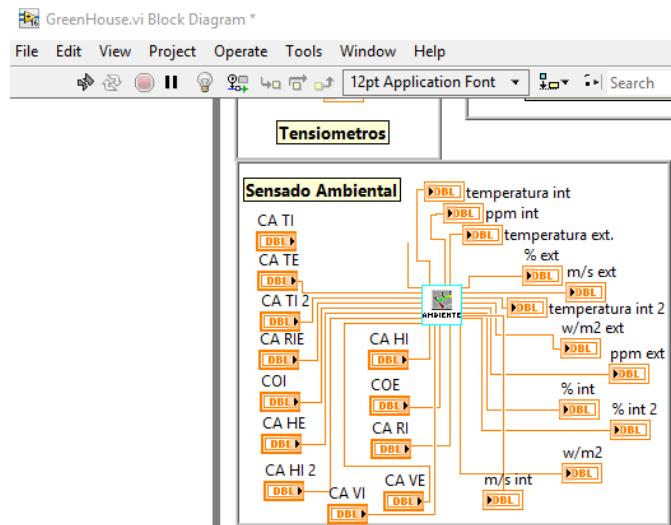


Ilustración 4.10. Programa en LabVIEW para leer los distintos sensores en el invernadero, implementando el sensor quantum. Fuente: Propia

De aquí se tomó el módulo no. 6 y la entrada AI2 del Compact RIO, en donde se conectó la salida del amplificador de instrumentación previo para que se pueda reconocer el sensor.

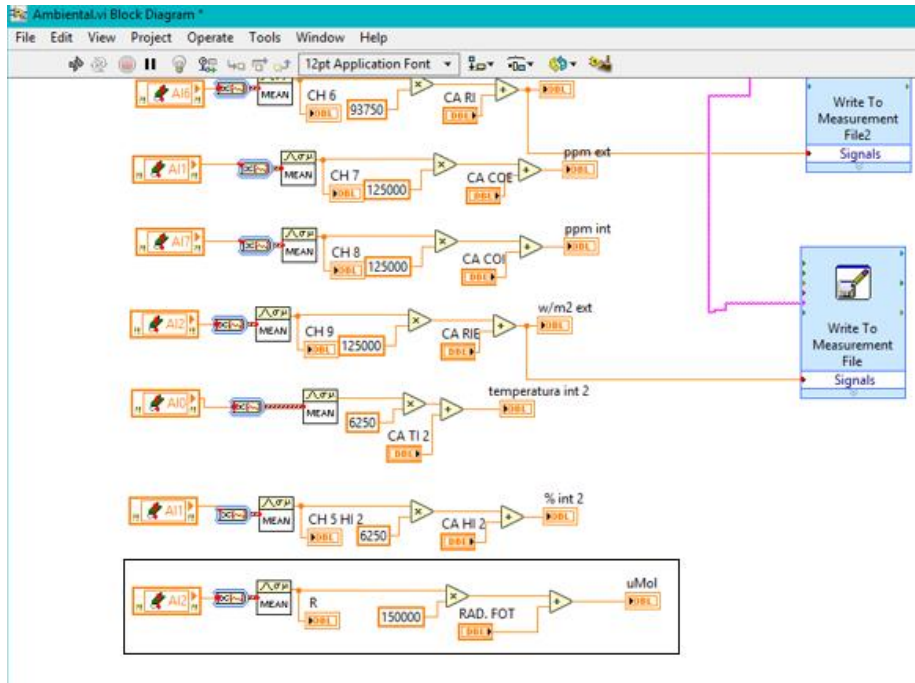


Ilustración 4.11. Programa para leer el sensor quantum a través de la entrada del sistema Compact RIO. Fuente. Propia

Para el sistema de iluminación del invernadero interno que se tiene en el centro de investigación, se realizó un diseño de alimentación, ya que cada sensor necesita de una carga además de un disipador de calor para que este funcione de la mejor manera, ya que el sistema de iluminación estará encendido por largos periodos de tiempo.

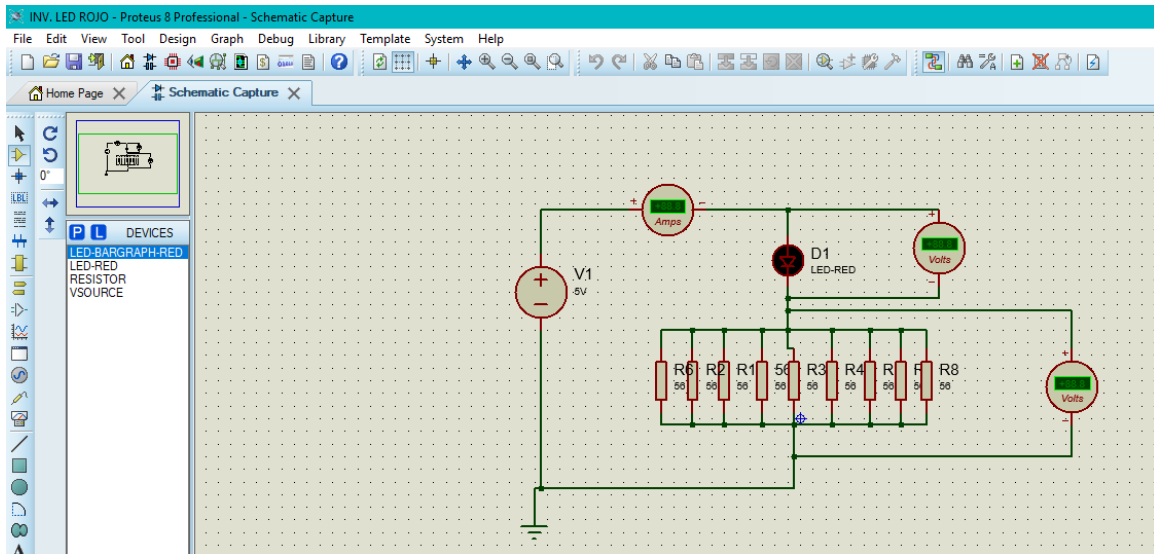


Ilustración 4.12. Diseño en Proteus del circuito de alimentación para un LED de alta potencia para el invernadero en interior. Fuente: Propia

CAPÍTULO V

5.1 Resultados

Se obtuvo la lectura correcta de los sensores en el arduino y a través de la conexión bluetooth por el Módulo HC-05 se mandaron los datos a LabVIEW en donde se almacenaron y visualizaron, además de obtener una tabla de Excel en donde se obtuvieron datos de un tiempo determinado, ya que estos serían utilizados en otro proyecto implementando redes neuronales.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	Hum 1	Temp 1	Hum 2	Temp 2	Hum 3	Temp 3	Hum 4	Temp 4	Hum 5	Temp 5	Hum 6	Temp 6	Hum 7	Temp 7	Hum 8	Temp 8	Hum 5
2	40.9	34.5	45.1	33.1	48.2	30.1	50.5	30.8	65.3	33.9	22.6	31.2	40.7	34.1	37.5	33.9	67
3	51.1	33.2	46.2	33.4	48.7	30.6	51.5	31.3	65.5	34	23	31.2	41.3	34.3	37.7	34.2	67.2
4	51.9	31	47	33.3	49.1	30.9	52	31.9	65.8	34	23.3	31.5	41.6	34.6	37.9	34.4	67.3
5	51.9	31	46.9	33.4	49.4	30.9	52	31.9	65.8	34	23.3	31.5	41.5	34.6	38.1	34.5	67.4
6	52.1	31.2	46.9	33.4	49.7	31	51.9	31.9	65.7	34.1	23.4	31.6	41.4	34.6	38	34.5	67.3
7	51.9	31.3	47	33.5	50.1	31.1	52	32	65.4	34.2	23.6	31.7	41.5	34.7	37.9	34.6	67.1
8	51.7	32.4	45.1	33.4	50	30.1	50.5	31	66.1	35.1	24	32.1	42	36.1	38.2	35.1	66.5
9	51.1	33.2	46.2	33.4	48.7	30.6	51.5	31.3	65.5	34	23	31.2	41.3	34.3	37.7	34.2	67.2
10	51.9	31	47	33.3	49.1	30.9	52	31.9	65.8	34	23.3	31.5	41.6	34.6	37.9	34.4	67.3
11	51.9	31	46.9	33.4	49.4	30.9	52	31.9	65.8	34	23.3	31.5	41.5	34.6	38.1	34.5	67.4
12	52.1	31.2	46.9	33.4	49.7	31	51.9	31.9	65.7	34.1	23.4	31.6	41.4	34.6	38	34.5	67.3
13	51.9	31.3	47	33.5	50.1	31.1	51	32	65.4	34.2	23.6	31.7	41.5	34.7	37.9	34.6	67.1
14	52.1	31.2	46.9	33.4	49.7	31	51.9	31.9	65.7	34.1	23.4	31.6	41.4	34.6	38	34.5	67.3
15	51.9	31.3	47	33.5	50.1	31.1	52	32	65.4	34.2	23.6	31.7	41.5	34.7	37.9	34.6	67.1
16	51.7	32.4	45.1	33.4	50	30.1	50.5	31	66.1	35.1	24	32.1	42	36.1	38.2	35.1	66.5
17	51.7	32.4	45.1	33.4	50	30.1	50.5	31	66.1	35.1	24	32.1	42	36.1	38.2	35.1	66.5
18	51.1	33.2	46.2	33.4	48.7	30.6	51.5	31.3	65.5	34	23	31.2	41.3	34.3	37.7	34.2	67.2
19	51.9	31	46.9	33.4	49.4	30.9	52	31.9	65.8	34	23.3	31.5	41.5	34.6	38.1	34.5	67.4
20	52.1	31.2	46.9	33.4	49.7	31	51.9	31.9	65.7	34.1	23.4	31.6	41.4	34.6	38	34.5	67.3
21	51.9	31.3	47	33.5	50.1	31.1	51	32	65.4	34.2	23.6	31.7	41.5	34.7	37.9	34.6	67.1
22																	

	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
1	Hum 5	Temp 5	Hum 6	Temp 6	Hum 7	Temp 7	Hum 8	Temp 8	Hum 9	Temp 9	Hum 10	Temp 10	Hum 11	Temp 11	Hum 12	Temp 12
2	65.3	33.9	22.6	31.2	40.7	34.1	37.5	33.9	67	34.1	36	34.9	62.2	35.7	40.1	34.2
3	65.5	34	23	31.2	41.3	34.3	37.7	34.2	67.2	34.1	36.1	35.2	62.3	35.8	40.4	34.4
4	65.8	34	23.3	31.5	41.6	34.6	37.9	34.4	67.3	34.1	36.3	35.6	62.4	35.9	40.6	34.6
5	65.8	34	23.3	31.5	41.5	34.6	38.1	34.5	67.4	34.2	36.2	35.6	62.3	35.9	40.3	34.6
6	65.7	34.1	23.4	31.6	41.4	34.6	38	34.5	67.3	34.2	36.1	35.7	62.2	36	40.4	34.7
7	65.4	34.2	23.6	31.7	41.5	34.7	37.9	34.6	67.1	34.3	36.1	35.8	62	36	40.4	34.7
8	66.1	35.1	24	32.1	42	36.1	38.2	35.1	66.5	34	35.7	34.9	62.2	35.7	40.1	34.2
9	65.5	34	23	31.2	41.3	34.3	37.7	34.2	67.2	34.1	36.1	35.2	62.3	35.8	40.4	34.4
10	65.8	34	23.3	31.5	41.6	34.6	37.9	34.4	67.3	34.1	36.3	35.6	62.4	35.9	40.6	34.6
11	65.8	34	23.3	31.5	41.5	34.6	38.1	34.5	67.4	34.2	36.2	35.6	62.3	35.9	40.3	34.6
12	65.7	34.1	23.4	31.6	41.4	34.6	38	34.5	67.3	34.2	36.1	35.7	62.2	36	40.4	34.7
13	65.4	34.2	23.6	31.7	41.5	34.7	37.9	34.6	67.1	34.3	36.1	35.8	62	36	40.4	34.7
14	65.7	34.1	23.4	31.6	41.4	34.6	38	34.5	67.3	34.2	36.1	35.7	62.2	36	40.4	34.7
15	65.4	34.2	23.6	31.7	41.5	34.7	37.9	34.6	67.1	34.3	36.1	35.8	62	36	40.4	34.7
16	66.1	35.1	24	32.1	42	36.1	38.2	35.1	66.5	34	35.7	34.9	62.2	35.7	40.1	34.2
17	66.1	35.1	24	32.1	42	36.1	38.2	35.1	66.5	34	35.7	34.9	62.2	35.7	40.1	34.2
18	65.5	34	23	31.2	41.3	34.3	37.7	34.2	67.2	34.1	36.1	35.2	62.3	35.8	40.4	34.4
19	65.8	34	23.3	31.5	41.5	34.6	38.1	34.5	67.4	34.2	36.2	35.6	62.3	35.9	40.3	34.6
20	65.7	34.1	23.4	31.6	41.4	34.6	38	34.5	67.3	34.2	36.1	35.7	62.2	36	40.4	34.7
21	65.4	34.2	23.6	31.7	41.5	34.7	37.9	34.6	67.1	34.3	36.1	35.8	62	36	40.4	34.7
22																

Ilustración 5.1. Tabla de datos de los sensores en Excel. Fuente: Propia



Se obtuvo el monitoreo de los sensores en el invernadero, para ver el correcto funcionamiento, ya que si uno de estos no funciona de manera adecuada enviando los datos, se observaría en LabVIEW, para proceder a cambiar el sensor.

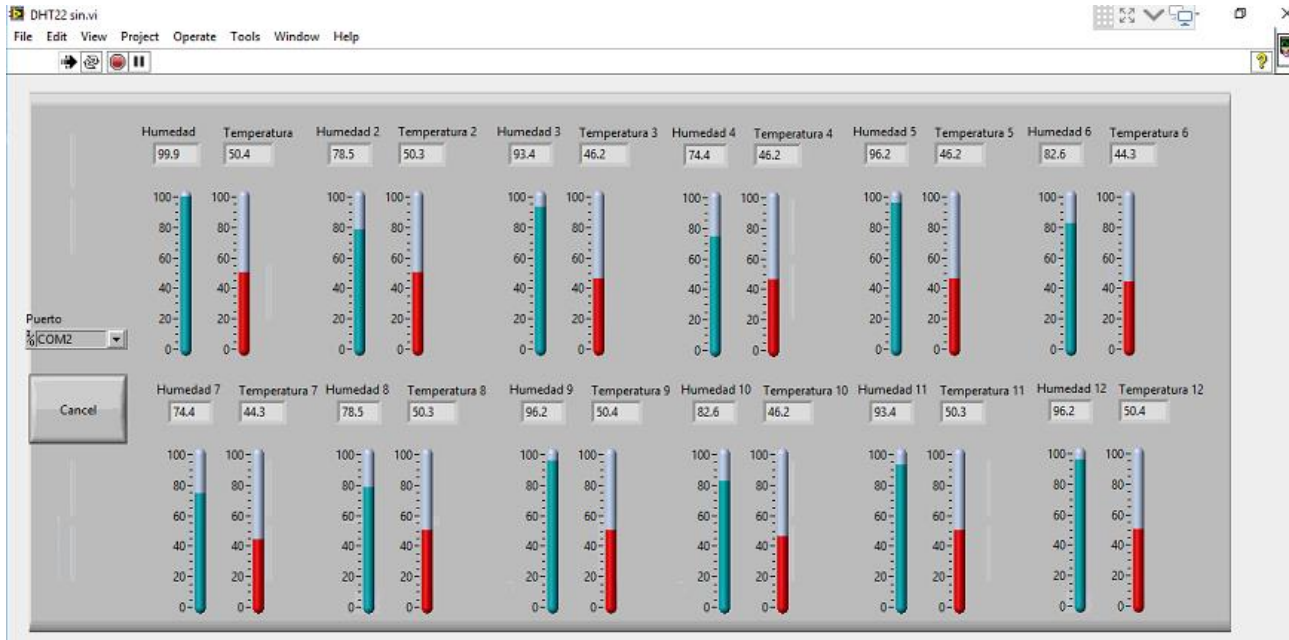


Ilustración 5.2. Lectura y visualización de los sensores en LabVIEW. Fuente: Propia

Del mismo modo, debido al tiempo que se trabajó en el invernadero y con todo el sistema de sensores y actuadores que se tiene en el invernadero en exterior (nebulizadores, sensores de humedad y temperatura, sensores de radiación, sistema de cortinas, sistema de riego por goteo, etc.) se dio un crecimiento sano a un árbol de sauce que se tenía en el invernadero.



Ilustración 5.3. Crecimiento de un árbol durante la estancia, inicio de la estancia. Fuente: Propia



Ilustración 5.4. Crecimiento de un árbol durante la estancia, fin de la estancia. Fuente: Propia

Para el sensor Quantum de radiación fotosintética, se conectó la entrada del sensor en la entrada del amplificador de instrumentación y la salida de este se fue al sistema Compact RIO. En el módulo 6 entrada "AI2".

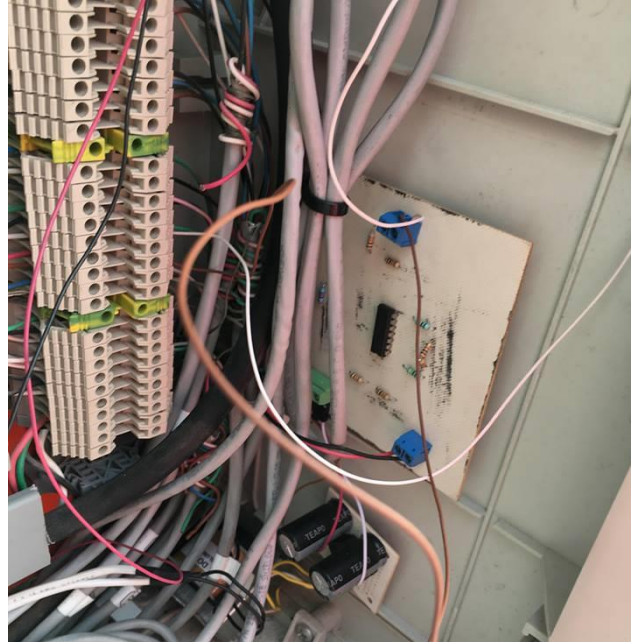


Ilustración 5.5. Fuente simétrica conectada al amplificador de instrumentación y salida hacia el Compact RIO. Fuente: Propia

Del programa que ya se tenía del invernadero se agregó la lectura del sensor Quantum, que lee Radiación Fotosintética Activa (PAR) el cual se encuentra en términos de μMol ya que ese es la Unidad con que se lee, el cual se tomaron algunos valores dados que se guardaban en un archivo Excel y en el que se realizó una gráfica respecto a un tiempo determinado.

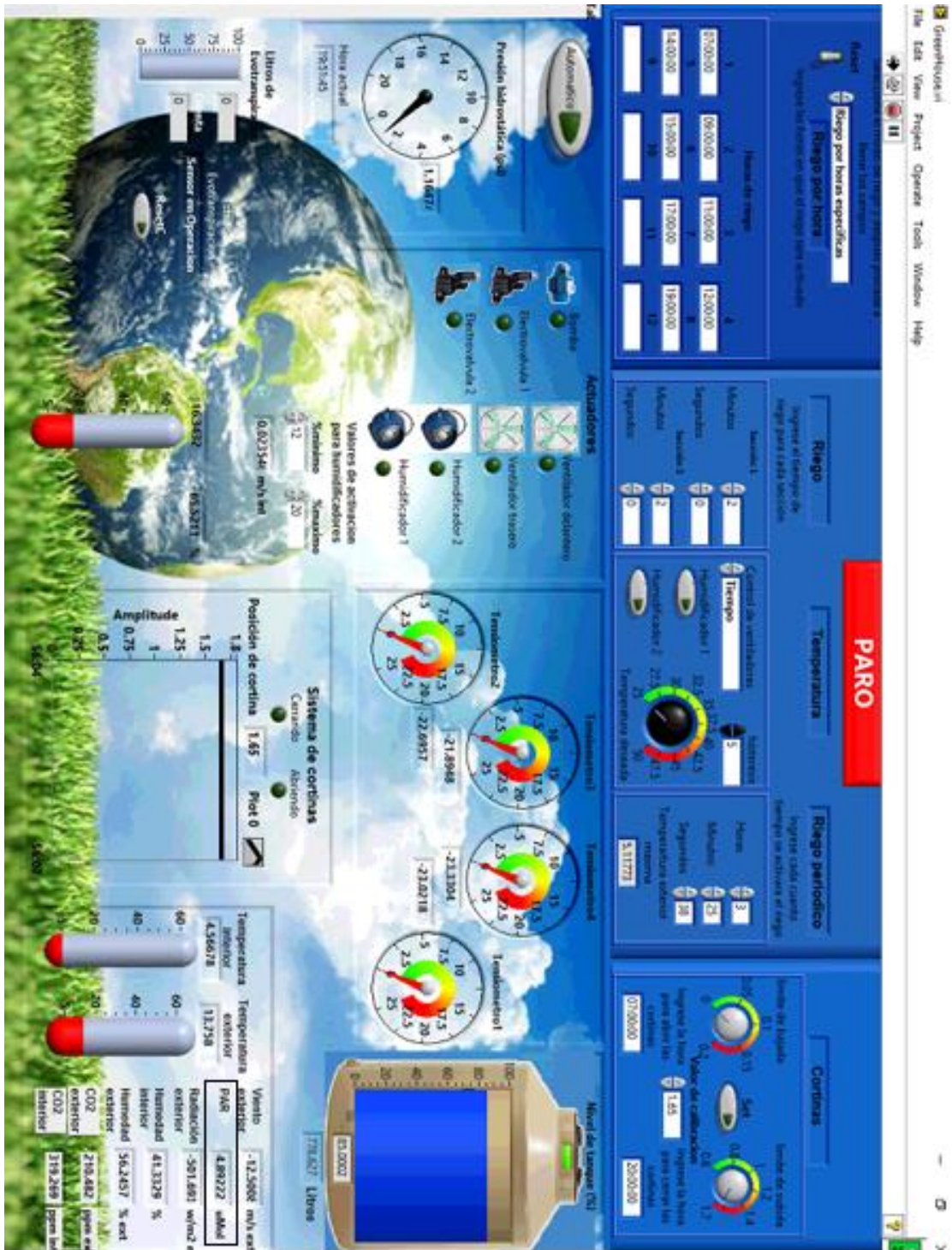


Ilustración 5.6. Sensor Quantum en funcionamiento, visualizado desde LabVIEW. Fuente: Propia

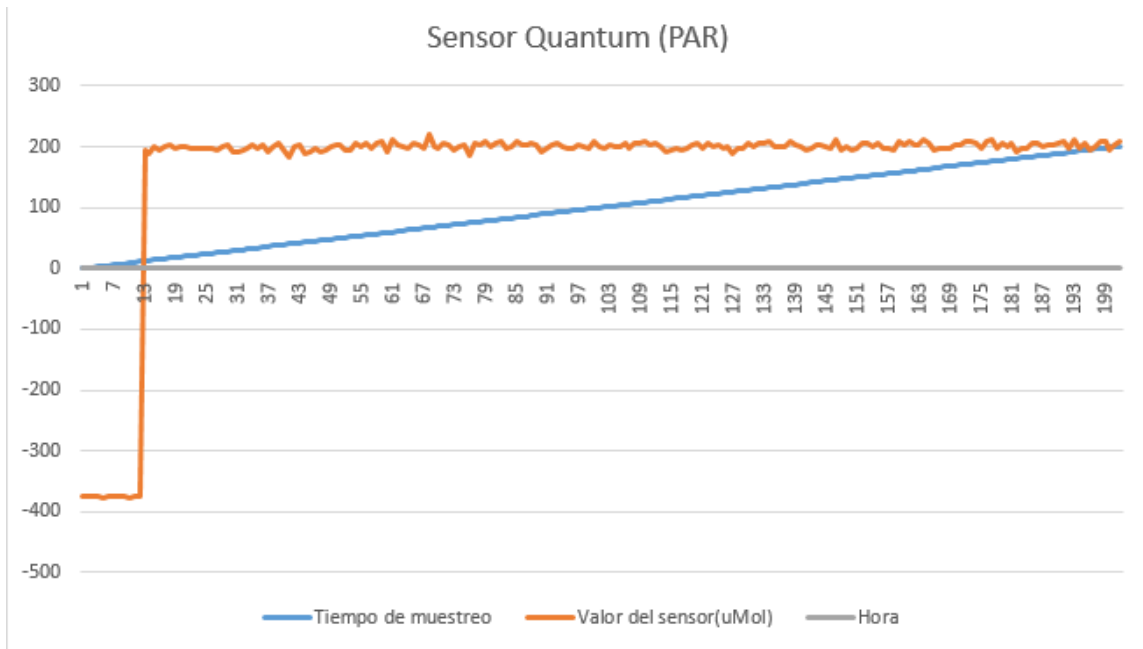


Ilustración 5.7 Gráfica en Excel de la lectura del sensor respecto a un muestreo de 100 veces.
Fuente: Propia

Para el invernadero en interiores se obtuvo dos barras de LED de alta potencia para la iluminación de uno de los invernaderos, ya que se estaba trabajando en un nuevo invernadero con un sistema móvil de iluminación y se incorporaron las barras.



Ilustración 5.8. Construcción de las barras de LED. Fuente: Propia.



Ilustración 5.9. Ensamble de las barras al sistema de iluminación del invernadero. Fuente: Propia

5.2 Conclusiones y recomendaciones

Se realizó el diseño, construcción e implementación de un sistema de control y monitoreo de sensores de humedad y temperatura, así como sensor de radiación fotosintética empleados en un invernadero, con la función de poder tener un completo manejo del clima que se encuentra en un invernadero, todo esto con la finalidad de poder tener un cultivo, con las características adecuadas para que puedan crecer bien.

A través de un análisis e investigación documental del entorno de trabajo, fue posible realizar un conexionado eficiente para cubrir todo el espacio de trabajo y tener un completo control de la temperatura a la que se encuentra.

Se realizaron diseños en PCB proteus necesarios para la implementación de estos sensores, tanto como para el invernadero exterior como el interior, ya que estos se encontraban en distintos puntos de la institución.

Gracias a la realización del proyecto, se obtuvieron nuevos conocimientos que fueron necesarios para poder lograr completar el trabajo, ya que estos me servirán para crecer en el ámbito profesional. Este proyecto en sí, abarca varios ámbitos, por lo que aún se requiere mano de trabajo para tener un mejor desarrollo del invernadero.

La experiencia durante la estancia profesional en el Cinvestav fue constructiva y todo un reto, ya que muchos conocimientos que se necesitaban al inicio se ignoraron, por lo cual se tuvo que realizar una investigación de temas específicos este proyecto, y también que esto se tomó como un trabajo, debido a la jornada de trabajo, que será de beneficio para el ámbito laboral en un futuro.



BIBLIOGRAFÍA

- [1] Características técnicas del Arduino Mega 2560, [en línea], <https://store.arduino.cc/usa/arduino-mega-2560-rev3>
- [2] Tarjeta HC-05 Arduino, [en línea], <http://www.sigmaelectronica.net/manuals/HOJA%20REFERENCIA%20TARJETA%20HC-05%20ARD.pdf>
- [3] XBee®/XBee-PRO S2C Zigbee módulo RF, [en línea], <https://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/pdfs/90002002.pdf>
- [4] Digital-output relative humidity & temperature sensor/module, DHT22, [en línea], <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>
- [5] LEDs de potencia, [en línea], www.siled.com.mx/catalogos/potencia/files/leds%20de%20potencia.pdf
- [6] Circuito integrado LM324, [en línea], www.alldatasheet.com/Lm324
- [7] PQS1 PAR Quantum Sensor, [en línea], www.kippzonen.com/Product/184/PQS1-PAR-Quantum-Sensor
- [8] NI-9203, Módulo de Entrada de Corriente de la Serie C, [en línea], <http://www.ni.com/es-mx/support/model.ni-9203.html>
- [9] ¿Qué es LabVIEW?, [en línea], <http://www.ni.com/es-mx/shop/labview.html>
- [10] ¿Qué es Arduino?, [en línea], <http://arduino.cl/que-es-arduino/>
- [11] Diseños en PCB Proteus, [en línea], <https://www.labcenter.com/pcb>



ANEXOS

Anexo 1. “Programación para la lectura de los sensores”

Programa en Arduino para la lectura de los sensores, con una lectura de 12 concentrados en todo el invernadero de manera que se tenga la mejor cobertura y los datos sean precisos.

```
sensor18_serial Arduino 1.6.8
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

sensor18_serial$

#include <SoftwareSerial.h> //librería para el módulo bluetooth
#include <DHT.h> //librería para el sensor dht22
#define DHTPIN1 1 //definir pines de entrada de los sensores
#define DHTPIN2 2
#define DHTPIN3 3
#define DHTPIN4 4
#define DHTPIN5 5
#define DHTPIN6 6
#define DHTPIN7 7
#define DHTPIN8 8
#define DHTPIN9 9
#define DHTPIN10 10
#define DHTPIN11 11
#define DHTPIN12 12

#define DHTTYPE DHT22 //definir el tipo de DTH (en este caso es el DHT22)
DHT dht(DHTPIN1,DHTTYPE); //Añadir una variable para cada sensor DTH
DHT dht2(DHTPIN2,DHTTYPE);
DHT dht3(DHTPIN3,DHTTYPE);
DHT dht4(DHTPIN4,DHTTYPE);
DHT dht5(DHTPIN5,DHTTYPE);
DHT dht6(DHTPIN6,DHTTYPE);
DHT dht7(DHTPIN7,DHTTYPE);
DHT dht8(DHTPIN8,DHTTYPE);
DHT dht9(DHTPIN9,DHTTYPE);
DHT dht10(DHTPIN10,DHTTYPE);

DHT dht11(DHTPIN11,DHTTYPE);
DHT dht12(DHTPIN12,DHTTYPE);

float h[18]; //arreglo tipo flotante de humedad, para realizar el ciclo for
float t[18]; //arreglo tipo flotante de temperatura, para realizar el ciclo for

void setup() {
  Serial1.begin(9600); //iniciar el ciclo de trabajo
  dht.begin(); //iniciar la lectura del sensor DTH
  dht2.begin();
  dht3.begin();
  dht4.begin();
  dht5.begin();
  dht6.begin();
  dht7.begin();
  dht8.begin();
  dht9.begin();
  dht10.begin();
  dht11.begin();
  dht12.begin();
  dht13.begin();
  dht14.begin();
  dht15.begin();
  dht16.begin();
  dht17.begin();
  dht18.begin(); //
}
```



```

}

void loop() {

h[0]=dht.readHumidity();      //[h]lectura de la humedad de los sensores en tiempo real
t[0]=dht.readTemperature();  //[t]lectura de la temperatura de los sensores en tiempo real
h[1]=dht2.readHumidity();
t[1]=dht2.readTemperature();
h[2]=dht3.readHumidity();
t[2]=dht3.readTemperature();
h[3]=dht4.readHumidity();
t[3]=dht4.readTemperature();
h[4]=dht5.readHumidity();
t[4]=dht5.readTemperature();
h[5]=dht6.readHumidity();
t[5]=dht6.readTemperature();
h[6]=dht7.readHumidity();
t[6]=dht7.readTemperature();
h[7]=dht8.readHumidity();
t[7]=dht8.readTemperature();
h[8]=dht9.readHumidity();
t[8]=dht9.readTemperature();
h[9]=dht10.readHumidity();
t[9]=dht10.readTemperature();
h[10]=dht11.readHumidity();
t[10]=dht11.readTemperature();
h[11]=dht12.readHumidity();
t[11]=dht12.readTemperature(); //

for (int i=0;i<18;i++){      //ciclo for para la impresión de los datos de los sensores
  Serial1.print(h[i]);      //imprimir el valor de humedad
  Serial1.print("\t");      //salteado de tabulación
  Serial1.print(t[i]);      //imprimir el valor de temperatura
  Serial1.print("\t");
}
Serial1.println("");        //salto de línea
}                             //fin del programa

```

Ilustración 1. Programa en Arduino para el funcionamiento de los sensores. Fuente: Propia

```

Mod_Bluetooth $
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  if(Serial.available()>0) {
    Serial.write(Serial.read());
  }
}

```

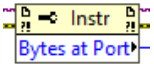
Ilustración 2. Programa en arduino para leer el módulo bluetooth. Fuente: Propia

Anexo 2. “Programación en LabVIEW para lectura de datos de los sensores”

Programa en LabVIEW para visualización de los sensores y almacenamiento de los datos obtenidos por el arduino y el módulo bluetooth como transferencia de datos, mandados hacia una página del centro de investigación (Cinvestav) así como un archivo Excel.



Visa serial: Configurar el puerto de entrada



Bytes at Port: Indica el número de bytes del puerto



String To Number: Salto de línea, sirve para separar datos de un conjunto

Humedad

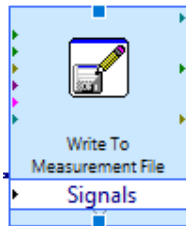


Indicador del valor de Humedad

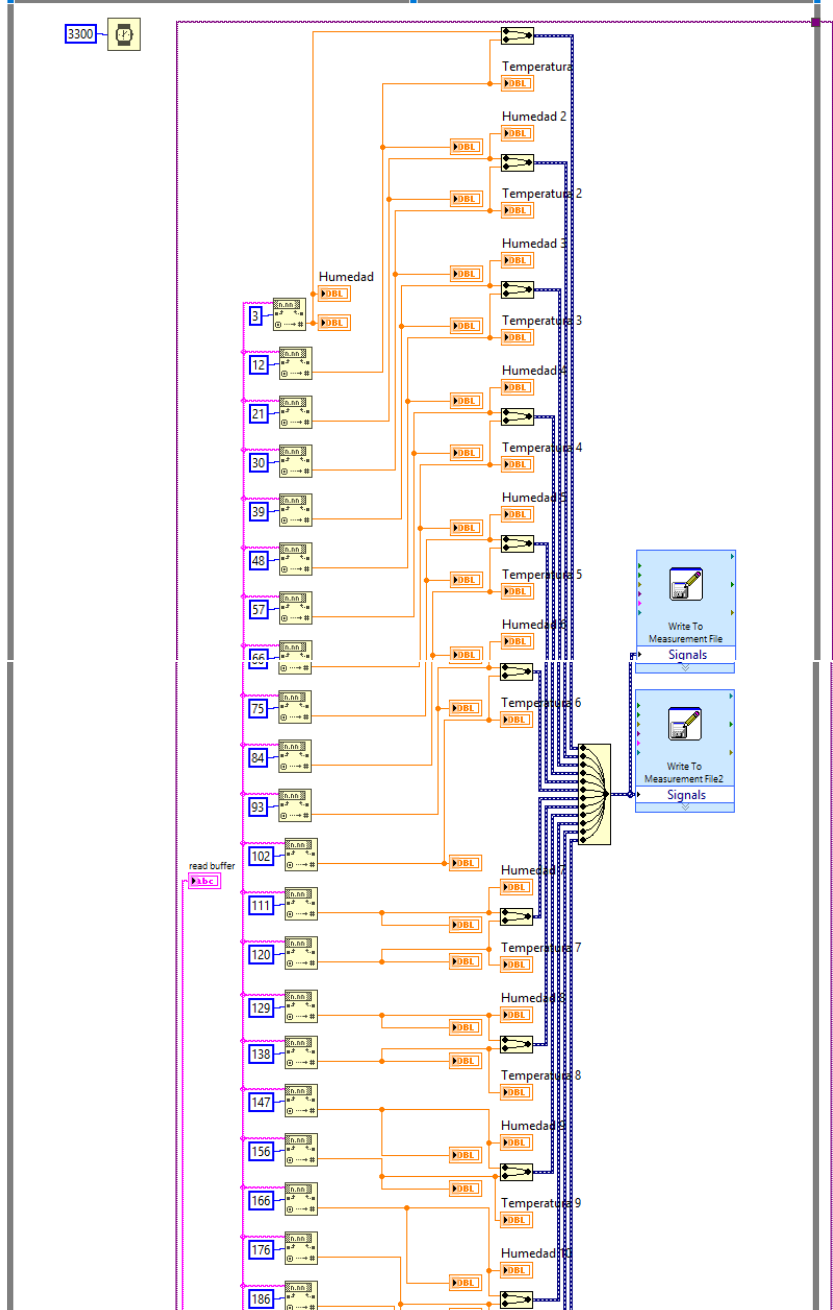
Temperatura



Indicador del valor de Temperatura



Convierte los valores de salida en un archivo de texto



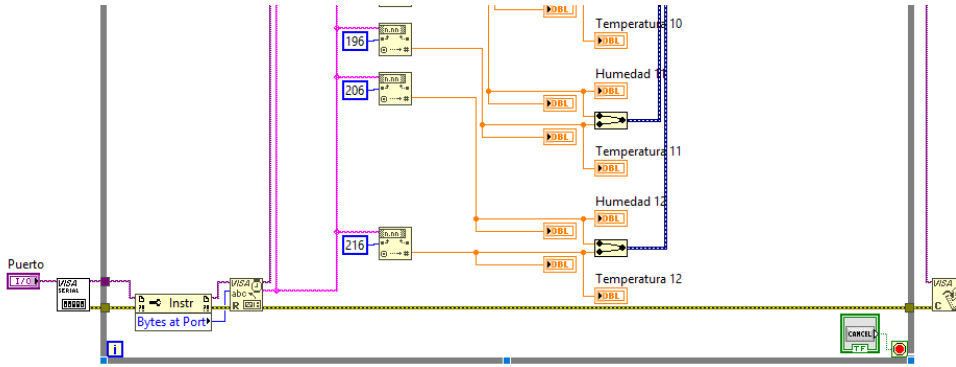


Ilustración 3. Programación en LabVIEW para leer los sensores. Fuente: Propia

Anexo 3. “Cálculo de los valores para el funcionamiento del Amplificador de Instrumentación”

El amplificador de Instrumentación consta de dos etapas de funcionamiento.

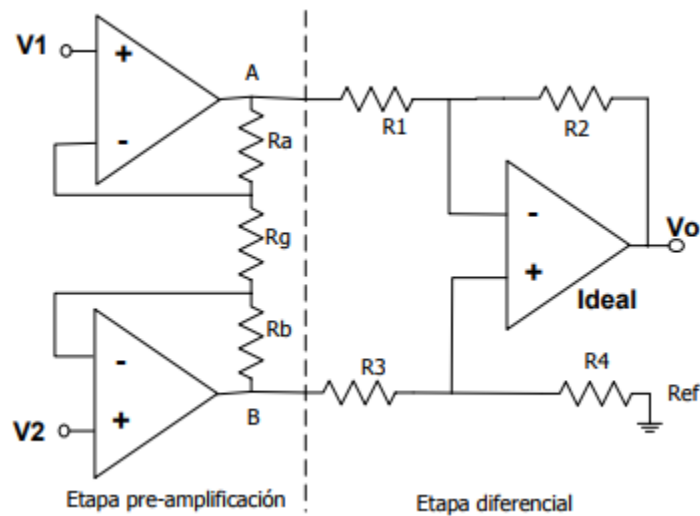


Ilustración 4. Amplificador de instrumentación. Fuente: www.unet.edu.ve

Dentro de la etapa de pre-amplificación se tiene el análisis:

Buscamos V_A y V_B en función de V_1 y de V_2 :

Aplicamos c.c. virtual y planteamos Kirchhoff de corrientes en el punto A:

$$\frac{V_A - V_1}{R_A} = \frac{V_1 - V_2}{R_G}, \text{ despejando } V_A:$$

Se tiene:

$$V_A = V_1 \left(\frac{R_A}{R_G} + 1 \right) - \frac{R_A}{R_G} V_2$$

De igual forma en el punto B:

$$\frac{V_1 - V_2}{R_G} = \frac{V_2 - V_B}{R_B}, \text{ despejando } V_B:$$

Se tiene:

$$V_B = V_2 \left(\frac{R_B}{R_G} + 1 \right) - \frac{R_B}{R_G} V_1$$

Restando ambas expresiones, obtenemos:

$$\boxed{V_B - V_A = V_2 - V_1 \left(\frac{R_A + R_B}{R_G} + 1 \right)}$$

* Se observa que el paréntesis representa la ganancia diferencial de la etapa pre-amplificadora, y que variando R_G podremos variar la ganancia.



Dentro de la etapa diferencial se tiene el análisis:

En el estudio del amplificador diferencial, establecimos una ecuación que llevada a este circuito es

$$v_o = \left(-\frac{R_2}{R_1}\right) \cdot V_A + \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right) \cdot v_B$$

Sustituyendo en la ecuación anterior las expresiones de V_A y de V_B por lo hallado en la etapa pre-amplificadora, y teniendo en cuenta las definiciones de V_d y V_{cm} :

$$V_d = V_B - V_A \text{ y } V_{cm} = (V_A + V_B)/2$$

Llegaríamos a:

$$V_o = -V_d \cdot \left[\frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{1 + \frac{R_3}{R_4}} \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{R_b}{R_g} \right) + \frac{R_2}{R_1} \left(\frac{1}{2} + \frac{R_a}{R_g} \right) \right] + V_{cm} \cdot \left[\frac{1 - \frac{R_2 R_3}{R_1 R_4}}{1 + \frac{R_3}{R_4}} \right]$$

De donde se deduce que:

La ganancia en modo común será cero (i.e. CMRR máximo) si $1 - \frac{R_2 R_3}{R_1 R_4} = 0$, Esto se puede conseguir como ya salió en el análisis del amplificador diferencial si $R_2/R_1 = R_4/R_3$.

Si además para simplificar la expresión, imponemos que $2R_a/R_g = 2R_b/R_g$, es decir,

$R_a = R_b$ Resulta:

$$A_d = \frac{R_2}{R_1} \left(1 + 2 \frac{R_a}{R_g} \right)$$

* Observar que R_g me permite variar la ganancia sin afectar al CMRR

Entonces para el amplificador de instrumentación que se empleó se hizo con una ganancia de 100, debido a que la salida del Sensor Quantum era como máximo 30mV, al tener esa ganancia, nos daba un voltaje común de 3V.

$$Ad = \frac{R_2}{R_1} \left(1 + 2 \frac{Ra}{Rg} \right) =$$

Teniendo

Ra=Rb=100kΩ

R1=R2=10kΩ

Rg=2kΩ

$$Ad = \frac{R_2}{R_1} \left(1 + 2 \frac{Ra}{Rg} \right) = \frac{10k}{10k} \left(1 + 2 \frac{100k}{2k} \right) = 1 * (1 + 2(50)) = 101 \text{ (Ganancia)}$$

Anexo 4. “Circuitos en PCB Proteus y diagrama de conexionado de los sensores”

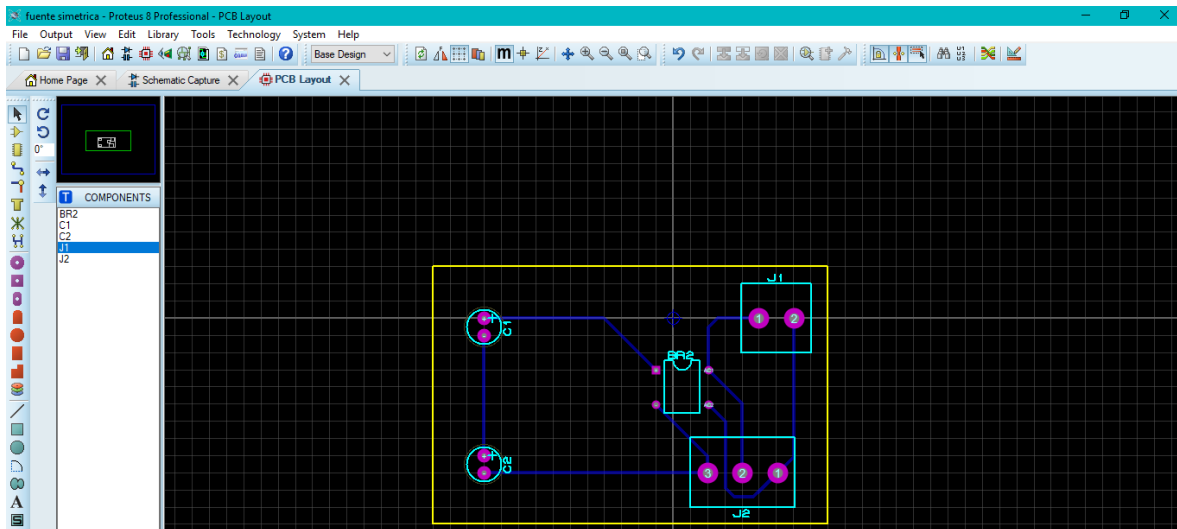


Ilustración 5. Diseño de la fuente simétrica en PCB. Fuente: Propia

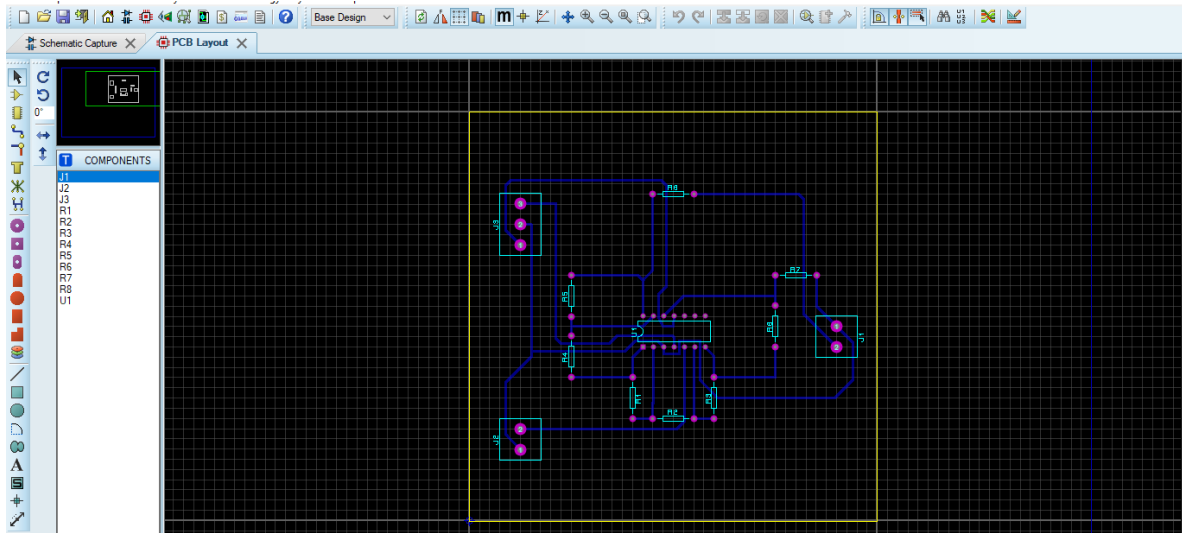


Ilustración 6. Diseño del amplificador de instrumentación en PCB. Fuente: Propia

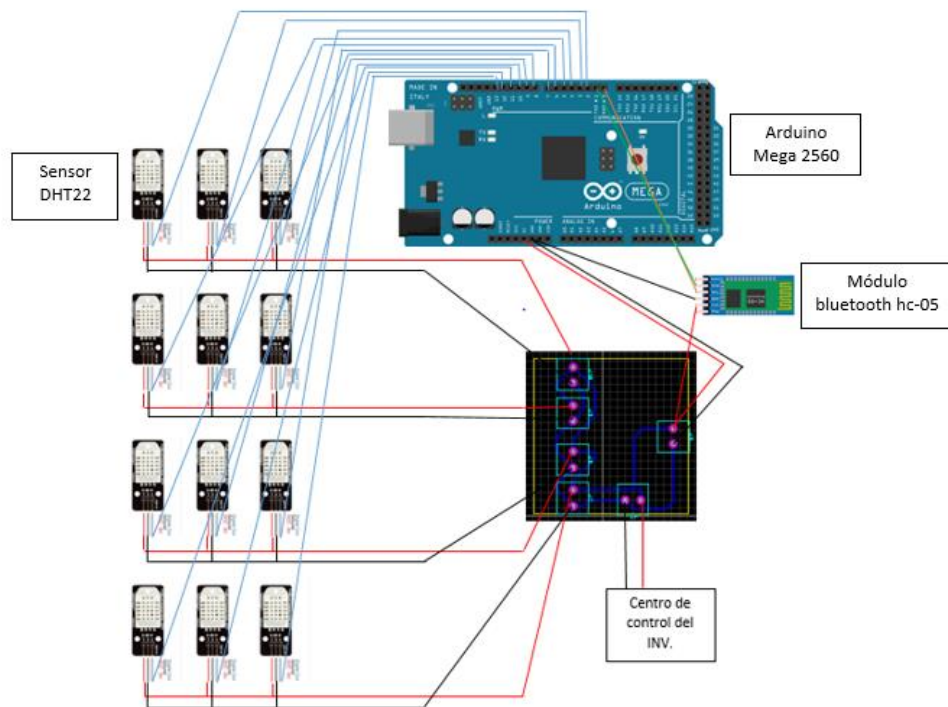


Ilustración 7. Diagrama de conexión de los sensores en el invernadero. Fuente: Propia

Anexo 5 “Conversión de los datos del sensor DTH22”

Para la conversión de los datos generados por el sensor DTH22 se tiene que el MCU recibe grupos de bits de datos respecto a temperatura y humedad que se tiene.

DATA= 16 bits RH data + 16 bits Temperature data + 8 bits check-sum

Ejemplo: MCU recibió 40 bits de datos del DHT22 que son:

0000 0010 1000 1100	0000 0001 0101 1111	1110 1110
---------------------	---------------------	-----------

16 bits RH data

16 bits T data

Check sum

Aquí se convierten los 16 bits de datos de la Humedad relativa (RH) del sistema binario al sistema decimal

0000 0010 1000 1100 → 652

Sistema binario

Sistema decimal

RH=652/10=65.2% RH

Aquí se convierten los 16 bits de datos de la Temperatura del sistema binario al sistema decimal

0000 0001 0101 1111 → 351

Sistema binario

Sistema decimal

T=351/10=35.1°C

Cuando el bit más alto de la temperatura llega a ser 1, quiere decir que la temperatura se encuentra por debajo de 0° Celsius.

Ejemplo: 1000 0000 0110 0101, **T= menos 10.1°C**

Para Obtener Check sum, se realiza la suma de los dos grupos de 16 bits que se tienen (humedad y temperatura)

Sum=0000 0010+1000 1100+0000 0001+0101 1111=1110 1110

Check sum= son los últimos 8 bits de Sum=**1110 1110**



Funcionamiento del AM2302 (DHT22):

Cuando MCU envía señal de inicio, AM2302 cambia de estado de espera a estado de ejecución. Cuando MCU termina de enviar la señal de inicio, AM2302 enviará señal de respuesta de datos de 40 bits que reflejan la humedad relativa y la temperatura a MCU.

Sin señal de inicio de MCU, AM2302 no dará señal de respuesta a la MCU. Una señal de inicio para uno datos de respuesta de AM2302 que reflejan la humedad relativa y la temperatura. AM2302 cambiará al modo de espera estado cuando la recolección de datos finalizó si no recibe la señal de inicio de MCU nuevamente.

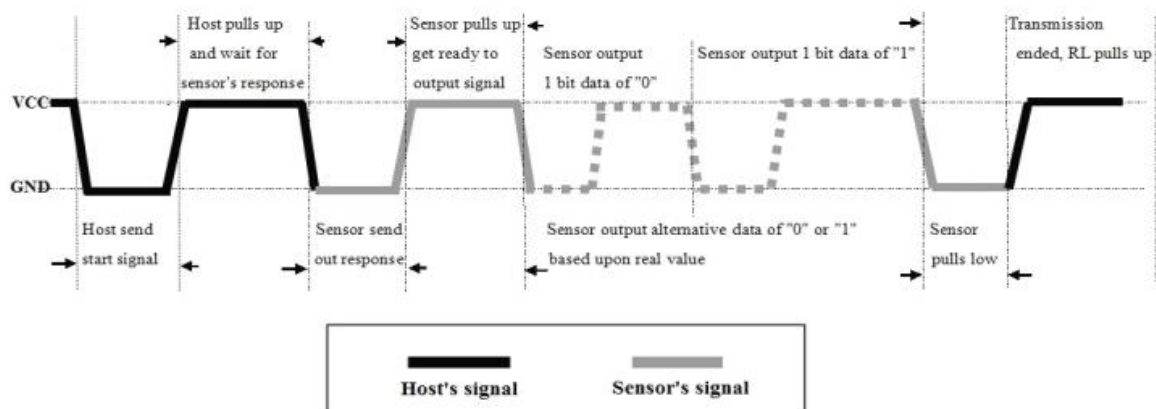


Ilustración 8. MCU envía la señal de inicio a AM2302 y AM2302 envía la señal de respuesta a MCU desde la MCU de nuevo. Fuente: cdn-shop.adafruit.com