



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO

EN MECATRÓNICA

TEMA:

SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE VARIABLES CLIMÁTICAS PARA INVERNADEROS:

SISTEMA EMBEBIDO

AUTOR:

ALEX PAÚL SINCHIGALO MARTÍNEZ.

DIRECTOR:

MSC. ING. IVÁN IGLESIAS NAVARRO

IBARRA – ECUADOR

2022



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	180439994-5		
APELLIDOS Y NOMBRES:	SINCHIGALO MARTÍNEZ ALEX PAÚL		
DIRECCIÓN:	AMBATO, TUPAC YUPANQUI 02-95 Y PACCHA		
EMAIL:	apsinchigalom@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	032827672	TELÉFONO MÓVIL:	0988740765

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE VARIABLES CLIMÁTICAS: SISTEMA EMBEBIDO
AUTOR:	SINCHIGALO MARTÍNEZ ALEX PAÚL
FECHA:	15/02/2022
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN MECATRÓNICA
ASESOR /DIRECTOR:	MSC. IVÁN IGLESIAS NAVARRO ING.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

iii

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 15 días del mes de Febrero de 2022

EL AUTOR:

Firma.....
Nombre: Alex Paul Sinchigalo Martinez



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

iv

CERTIFICACIÓN

En calidad de director de trabajo de grado “SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE VARIABLES CLIMÁTICAS PARA INVERNADEROS: SISTEMA EMBEBIDO”, presentado por el egresado ALEX PAUL SINCHIGALO MARTÍNEZ, para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica, certifico que el mencionado proyecto fue realizado bajo mi dirección.

**IVAN
IGLESIAS
NAVARRO**

Digitally signed by
IVAN IGLESIAS
NAVARRO
Date: 2022-02-14
10:39-05:00

Msc. Iván Iglesias Navarro
DIRECTOR DEL PROYECTO

Dedicatoria

Dedico este trabajo de grado a mis padres por el sacrificio que han dedicado para poder terminar mis estudios en esta universidad. De manera especial dedico este logro a mi padre quien cada día con su esfuerzo y arriesgando su vida en la carretera como transportista pesado ha podido sustentar a toda nuestra familia aun sacrificando momentos en familia ,a mi madre por su compañerismo y apoyo que me ha entregado durante toda mi vida demostrándome que, a pesar de los tropiezos y fracasos tenemos la oportunidad de cambiar y demostrar que todo lo que nos proponamos lo conseguiremos.

A mis hermanos Tomás, Martín, Carlos y Rubi por compartir nuestra niñez y adolescencia juntos ,a pesar de que en ocasiones todos estemos lejos uno del otro me han demostrado que nunca estaré solo y que todo es posible en la vida.

Agradecimientos

Agradezco a mis padres Carlos Sinchigalo y Nancy Martínez por entregarme su apoyo y ser un ejemplo en mi vida.

A mis hermanos Tomás, Martín, Carlos y Rubi por compartir su confianza y compañerismo en todo momento.

A la Universidad Técnica del Norte por abrirme las puertas y entregarme los conocimientos que adquirido al transitar por cada una de sus aulas y laboratorios.

A todos los Docentes de la Carrera en Ingeniería en Mecatrónica, por me han entregado sus conocimientos y han enseñado la ética en cada una de sus materias.

A los MsC. Diego Terán y MsC. Washington Mosquera, por proyectarme al desarrollo de este trabajo de grado.

Al MsC. Iván Iglesias por permitir la culminación de mi trabajo de titulación.

Al MsC. Diego Gavilánez por su apoyo y dedicación a los estudiantes de su carrera.

A mis compañeros y amigos por compartir buenos momentos día a día dentro y fuera de la institución.

Resumen

El presente trabajo describe el desarrollo de un sistema de adquisición de variables climáticas para invernaderos, formado por un módulo de sensores, mediante la utilización de hardware y software libre, por lo que se hizo un análisis de las diferentes variables climáticas, su importancia y su incidencia sobre cultivos bajo el efecto invernadero para realizar un diseño conceptual y establecer parámetros y requerimientos operacionales del sistema en condiciones reales de funcionamiento, seleccionando 3 variables climáticas más importantes como es la temperatura de ambiente y suelo, humedad de ambiente y suelo, y radiación solar. Para la parte electrónica se estableció como microcontrolador un Arduino UNO y como sensores para las distintas variables se seleccionó un sensor lm35 para medir la temperatura del suelo, un sensor SHT10 para la humedad de suelo, un sensor DHT22 para la temperatura y humedad del ambiente y un piranómetro Davis 6450 para la radiación solar. Además, se diseñó y construyó un circuito electrónico que nos permitió interconectar todos los componentes electrónicos activos y pasivos. Para la implementación del sistema a condiciones reales de funcionamiento se diseñó y construyó un modelo 3D que nos permitió proteger el sistema de los rayos UV, lluvia y humedad dentro del dispositivo, además de una fácil instalación dentro del invernadero. Para la aplicación de filtros digitales se realizó un análisis entre 3 distintos filtros digitales como es el filtro FIR de media móvil, el filtro IIR de media móvil y el filtro de Kalman, seleccionando el mejor filtro a razón de su comportamiento ante perturbaciones del sistema. Para la validación del sistema se realizó la comparación de las variables medidas con otros sensores comerciales y se probó el módulo dentro de un invernadero sometido a condiciones reales de funcionamiento obteniendo datos que nos permitieron observar y demostrar la confiabilidad del sistema en tiempo real.

Abstract

This work describes the development of a system for acquiring climatic variables for greenhouses, made up of a sensor module, using free hardware and software, for which an analysis was made of the different climatic variables, their importance, and their impact on greenhouses. For to carry out a conceptual design and establish operational parameters and requirements of the system in real operating conditions was selected 3 most important climatic variables such as ambient and soil temperature, ambient and soil humidity, and solar radiation. For the electronic part, an Arduino UNO was established as a microcontroller and as sensors for the different variables a lm35 sensor was selected to measure the soil temperature, an SHT10 sensor for soil humidity, a DHT22 sensor for the temperature and humidity of the environment and a Davis 6450 pyranometer for solar radiation. In addition, an electronic circuit was designed and built that allowed us to interconnect all active and passive electronic components. For the implementation of the system in real operating conditions, a 3D model was designed and built that allowed us to protect the system from UV rays, rain, and humidity inside the device, as well as an easy installation inside the greenhouse. For the application of digital filters, an analysis was performed between 3 different digital filters, such as the moving average FIR filter, the moving average IIR filter and the Kalman filter, selecting the best filter based on its behavior in the face of system disturbances. For the validation of the system, the variables measured with other commercial sensors were compared and the module was tested inside a greenhouse subjected to real operating conditions, obtaining data that allowed us to observe and demonstrate the reliability of the system on real time.

Contenido

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.3. Alcance	5
1.4. Objetivos.....	6
1.4.1. Objetivo General.....	6
1.4.2. Objetivo Específico.....	6
MARCO TEORICO	7
2.1. Agricultura de precisión.....	7
2.2. Invernadero	7
2.3. Control y Monitorización de Invernaderos	8
2.4. Factores Climáticos para Cultivos	8
2.4.1. Temperatura	9
2.4.2. Humedad.....	10
2.4.3. Radiación Solar.....	10
2.4.4. Cantidad de CO2.....	11
2.5. Sistema Embebido	11
2.5.1. Sistema electrónico Digital	11
2.5.1.1. Sistemas electrónicos basados en microcontroladores	11
2.6. Procesamiento Digital de señales.....	12
2.6.1. Filtros Digitales.....	13
2.6.2. Filtro digital FIR.....	13
2.6.3. Filtro digital IIR.....	15
2.6.4. Filtro digital Kalman.....	16
2.6.4.1. Algoritmo de filtro de Kalman.....	17
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	19
3.1. Diseño Conceptual.....	19
3.1.1. Selección de variables Climáticas.....	19
3.1.1.1. Conceptualización de Temperatura.....	19
3.1.1.2. Conceptualización de Humedad de Aire y Suelo	20
3.1.1.3. Conceptualización de Radiación Solar	21
3.1.2. Selección de sensores.....	21
3.1.3. Selección de sensor de Humedad y Temperatura de Ambiente.....	21
3.1.3.1. Sensor DHT22	23
3.1.4. Selección de sensor de Humedad de Suelo.....	24
3.1.4.1. Sensor SHT10.....	25
3.1.5. Selección de Sensor de Temperatura de suelo	27
3.1.5.1. Sensor LM35.....	28
3.1.6. Selección de Sensor de Radiación Solar.....	29
3.1.6.1. Sensor Davis 6450	30
3.1.7. Selección de Microcontrolador	32

3.1.7.1.	Arduino Uno	33
3.1.7.2.	Convertidor ADS1115	35
3.2.	Sistema de comunicación.....	36
3.2.1.	IDE Arduino.....	36
3.2.2.	Lógica de Programación	37
3.2.2.1.	Comunicación y Funciones Single-Wire Interface	38
3.2.2.2.	Comunicación y Funciones Two-Wire Interface	40
3.2.2.3.	Comunicación y Funciones I2C.....	41
3.2.2.4.	Intercomunicación de Funciones Simultáneas.....	44
3.2.3.	Diseño de algoritmo filtro FIR.....	47
3.2.3.1.	Caracterización de filtro media móvil no recursivo.....	47
3.2.3.2.	Algoritmo de filtro FIR Media Móvil no recursivo	48
3.2.4.	Diseño de algoritmo filtro IIR.....	49
3.2.4.1.	Caracterización de filtro IIR media móvil recursivo	49
3.2.4.2.	Algoritmo de filtro IIR media móvil recursivo	50
3.2.5.	Diseño de algoritmo filtro de Kalman	52
3.2.5.1.	Caracterización de filtro de Kalman	52
3.2.5.2.	Algoritmo de Filtro de Kalman.....	54
3.3.	Diseño de módulo de sensores.....	56
3.3.1.	Circuito electrónico.....	56
3.3.1.1.	Esquema electrónico con software Fritzing	57
3.3.1.2.	Diseño PCB con software Proteus	57
3.3.1.3.	Construcción de circuito PCB.....	58
3.3.2.	Diseño de modelo	59
3.3.2.1.	Diseño CAD/CAM de carcasa	60
3.3.3.	Sistema de protección, sujeción y anclaje.....	61
3.4.	Diseño de sistema de comunicación	62
3.4.1.	Transmisión de Datos	63
	PRUEBAS Y RESULTADOS	66
4.1.	Implementación.....	66
4.1.1.	Análisis de señales Analógicas	66
4.1.1.1.	Aplicación de Filtros digitales	68
4.1.2.	Instalación de sistema	70
4.1.3.	Instalación en invernadero	71
4.2.	Resultados	72
4.2.1.	Visualización de Datos	73
4.2.2.	Validación de datos.....	74
4.2.2.1.	Muestreo de sensores de Temperatura	74
4.2.2.2.	Muestreo de datos de Radiación PAR	75
4.2.3.	Adquisición de datos.....	77
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	80

5.1. CONCLUSIONES	80
5.2. RECOMENDACIONES	82
Bibliografía	83
Anexo 1.....	86
Anexo 2.....	89
Anexo 3.....	91
Anexo 4.....	96
Anexo 5.....	98
Anexo 6.....	102
Anexo 7.....	103
Anexo 8.....	115

Lista de tablas

Tabla 1: Selección de sensor de temperatura y humedad de ambiente.....	22
Tabla 2: Características técnicas sensor DHT22	24
Tabla 3: Selección de Sensor de temperatura de suelo.....	25
Tabla 4: Características técnicas de sensor SHT10	26
Tabla 5: Selección de Sensor de Temperatura de Suelo.....	27
Tabla 6: Características técnicas de sensor LM35.....	29
Tabla 7: Selección de Sensor de Radiación Solar.....	30
Tabla 8: Características técnicas sensor Davis 6450	31
Tabla 9: Tabla de selección de Microcontrolador.....	32
Tabla 10: Características técnicas de Arduino Uno.....	34
Tabla 11: Características técnicas de convertidor ADS1115.....	36
Tabla 12: Lista de componentes electrónicos.	56
Tabla 13: Muestreo de temperatura de Aire.	75
Tabla 14: Datos de Radiación Solar global.....	76
Tabla 15: Lista de Pantallas en LCD	111

Lista de figuras

Figura 1: Modelo grafico de invernadero	8
Figura 2: Ilustración de Efecto Invernadero	9
Figura 3: Diagrama de bloques de filtro digital en tiempo real	12
Figura 4: Representación de un filtro FIR	14
Figura 5: Representación de un Filtro IIR Forma Directa I.....	15
Figura 6: Sensor DHT22.....	23
Figura 7: Sensor SHT10.....	26
Figura 8: Sensor LM35	28
Figura 9: Sensor Davis 6450.....	31
Figura 10: Arduino UNO.....	34
Figura 11: Convertidor ADC ADS1115	35
Figura 12: Diagrama de bloques.....	38
Figura 13: Código de función DHT	39
Figura 14: Código función SHT1x	40
Figura 15: Código función ADS1015.h.....	42
Figura 16: Código función LiquidCrystal_I2C.h.....	43
Figura 17: Código función Protothreads declaración de estructura.....	45
Figura 18: Código función protothreads declaración de funciones	46
Figura 19: Código Filtro de FIR Media Móvil L=6.....	48
Figura 20: Código Filtro IIR de Media Móvil.	51
Figura 21: Varianza de Sensores.....	53
Figura 22: Código Filtro de Kalman.....	55
Figura 23: Diseño PCB de circuito electrónico.	58
Figura 24: Circuito electrónico	59
Figura 25: Diseño CAD carcasa.	60
Figura 26: Carcasa Impresa en 3D.....	61
Figura 27: Prototipo Sistema Ensamblado.....	62
Figura 28: Código transmisión de datos	63
Figura 29: Visualización de Datos en Puerto serial.....	65

Figura 30: Muestreo de Señales Analógicas con perturbaciones.....	67
Figura 31: Señales de sensor Lm35 aplicada filtros digitales.....	68
Figura 32: Señales de sensor Davis 6450 aplicada filtros digitales	69
Figura 33: Módulo de sensores instalado.....	71
Figura 34: Módulo de sensores Instalado en Invernadero	72
Figura 35: Visualización de Temperatura y humedad relativa de Ambiente.....	73
Figura 36: Visualización de Temperatura y Humedad de suelo	73
Figura 37: Visualización de Radiación Fotosintéticamente Activa	74
Figura 38: Datos de temperatura y humedad de Ambiente en Invernadero	77
Figura 39: Datos de Temperatura y humedad de suelo en Invernadero	78
Figura 40: Datos de Radiación PAR en invernadero	78
Figura 42: Partes externas del Módulo	103
Figura 43: Partes Internar del Módulo	104
Figura 44: Tubo de acero Instalado en Invernadero.	105
Figura 45: Regulación de Sistema de anclaje	106
Figura 46: Sistema de fijación de sensores en el suelo.....	107
Figura 47: Código de Calibración de Sensor Lm35.....	108
Figura 48: Código de calibración de sensor Davis 6450	109
Figura 49: Conexión USB a Módulo	112
Figura 50: Reconocimiento de Microcontrolador en IDE Arduino	112
Figura 51: Acceso a Monitor Serie de IDE Arduino	113
Figura 52: Configuración de velocidad de Puerto Serial.....	114
Figura 53: Transmisión de datos en Puerto Serial	114

Capítulo 1

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Antecedentes

La agricultura de precisión utilizada en la industria se basa en promover y optimizar la calidad y cantidad de un producto agrícola, minimizando costos a través del uso de tecnologías más eficientes para reducir la variabilidad del proceso de cultivo. (Gómez, Velásquez, & Msc. Jiménez, Octubre 2016)

Un sistema de agricultura de precisión pone a disposición del agricultor toda la información y facilidades necesarias para controlar las variaciones climáticas dentro del invernadero, de esta manera se puede hacer un control de estas variables climáticas.

Las variables que se miden con más frecuencia dentro y fuera de un invernadero son la temperatura, la humedad del medio, velocidad del viento, la concentración de CO₂ y la radiación que se produce en su interior. (Rodríguez, 2002)

Se necesita un adecuado manejo de estas variables que permitirá controlar y alcanzar un crecimiento y desarrollo óptimo de los cultivos. (Gómez, Velásquez, & Msc. Jiménez, Octubre 2016)

La temperatura no debe ser mayor a 20 grados centígrados, si esta es mayor el área contenida necesita ser ventilada. La radiación solar influye en el proceso de fotosíntesis, balance de agua y energía necesaria para el crecimiento y desarrollo del cultivo. Y la humedad relativa necesita estar entre un 40% y 60%, y no debe ser mayor porque

favorecería en la aparición de plagas de insectos y hongos, siendo necesario la medición de Variables climáticas. (Rodríguez, 2002)

Debido a la gran demanda de producción y a la utilización de biocombustibles, la agricultura se ve en la necesidad de utilizar nuevas tecnologías, sensores y sistemas desarrollados para funciones específicas en la agricultura, además que son de bajo costo, son compatibles con plataformas de software libre, aportando así al continuo desarrollo en el control de la producción agrícola por invernadero. (Gómez, Velásquez, & Msc. Jiménez, Octubre 2016)

Por otro lado (Ibarra Daza, 2012) plantea que: “Un sistema de control basado en el modelo de agricultura de precisión, que busca optimizar los procesos y control en las actividades diarias desarrolladas dentro de un cultivo, los dispositivos sensoriales, de comunicación, almacenamiento y control son indispensables para entrar en la agricultura de precisión”.

La constante investigación efectuada sobre el comportamiento de invernaderos nos permite identificar los parámetros esenciales que necesita un cultivo y con el uso de sensores, además, efectuando un algoritmo, tratamiento y adquisición de señales digitales nos permite el desarrollo de sistemas de invernaderos inteligentes enfocados en la agricultura de precisión. (García & Flego)

Los dispositivos de Adquisición de datos para Invernaderos que hay en el mercado actual son desarrollados sobre plataformas de hardware y software cerrados, además de sus elevados costos son de difícil accesibilidad y su mantenimiento debe ser realizado por su

proveedor o fabricante para mantener la precisión y confiabilidad del sistema, con estos antecedentes se pretende desarrollar este dispositivo hardware de plataforma libre que nos permita la recolección de variables climáticas y mediante algoritmos digitales nos permita desarrollar un sistema robusto y confiable, además de ser más accesible y de bajo costo.

Esta propuesta tiene como innovación brindar el servicio de tratamiento digital y adquisición de datos, adaptándose a las necesidades del usuario, tomando los datos recolectados para un futuro análisis de los datos adquiridos, como proyección a un sistema de control es obtener las condiciones óptimas dentro de los invernaderos.

Incorporar tecnología como soporte para el cultivo, permitirá conocer los factores relevantes en plantaciones. Además, con los datos de las variables recolectadas permitir la búsqueda de soluciones para evitar pérdidas en las producciones agrícolas que se dedican al cultivo bajo invernadero con sistemas automatizados.

En la actualidad en los sectores agrícolas de la zona norte del país desconocen los principios de la agricultura de precisión, por lo que el desarrollo de sobre invernaderos inteligentes ayudarán con el continuo avance en esta área de producción dando paso a sistemas automáticos para invernadero invernaderos.

1.2. Planteamiento del problema

El crecimiento poblacional lleva mayor demanda de productos alimenticios, que abren las puertas a las producciones protegidas (producción por invernadero). Los invernaderos como función principal son de regular el microclima interno, generando ventajas que

optimizan el suelo y la calidad del producto. Son características que se han convertido en una herramienta fundamental para los cultivos del país. (María. Caiza & Liliana. Camuendo, 2011)

Este sistema de producción no tiene control suficiente a los cambios repentinos y constantes del ambiente, por ello es necesario apoyarse con la tecnología y buscar la generación de un clima óptimo para el cultivo (Lorenzo, 2012).

El desarrollo de cultivos en sus fases de crecimiento está condicionado por variables climáticas como temperatura, humedad del medio aéreo, la velocidad del viento, concentración de CO₂ y radiación solar que incide en la formación del clima del interior. (Ruiz Palacios, 2010)

El cultivo en Ecuador se realiza bajo invernaderos que no mantienen un control ambiental adecuado, se podría considerar como carpas que tan solo protegen el cultivo del viento, lluvia, granizo, exceso de radiación, polvo, niebla, etc. Es importante que los factores que se inciden en el desarrollo del cultivo se mantengan en lo posible en los parámetros ideales (María. Caiza & Liliana. Camuendo, 2011).

En los últimos años la incorporación de nueva tecnología en el desarrollo de cultivos en Ecuador ha favorecido radicalmente la producción, tomando en cuenta que en nuestro medio no existe un sistema de adquisición de datos en los invernaderos o agricultura externa.

1.3. Alcance

El sistema será desarrollado en una plataforma de hardware libre, utilizando microcontroladores que permitirá el tratamiento digital de señales de las variables climáticas.

Las variables más influyentes en el proceso de agricultura bajo invernadero son la humedad relativa, temperatura interior y radiación solar, de donde en este proyecto se desarrollará módulos con sensores para conocer y predecir estos cambios climáticos dentro del invernadero.

En el desarrollo de este proyecto se utilizará sensores que emitirán señales digitales y analógicas, con una precisión muy considerable para el uso de adquisición de datos dentro de un invernadero, en este caso se utilizarán sensores de humedad, Temperatura y medidores de cantidad de radiación solar dentro del invernadero para obtener datos precisos.

Los sensores y elementos adicionales deberán ser de bajo costo y de disponibilidad en el mercado para que el dispositivo sea transportable y montable en diferentes lugares capaz de cumplir con los objetivos planteados.

Se utilizará un microcontrolador con entradas analógicas y digitales, que serán utilizadas de acuerdo con el tipo de señal que nos dé como salida estos sensores que medirán el área interna de un invernadero.

El trabajo se basará en proponer, diseñar y caracterizar filtros digitales que considere la codificación para trasladar dichos filtros a formato numérico utilizado en los microcontroladores, reduciendo así el tiempo de procesamiento de dichas señales.

Se implementará algoritmos de filtros digitales en el microcontrolador capaz de separar señales que fueron combinadas desafortunadamente en el sistema de adquisición, para disminuir el error, recuperar la señal fuente medida y validar nuestro sistema en base a la precisión medida con dispositivos del mercado.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Desarrollar el hardware para la adquisición de variables climáticas en invernaderos y de campos de sembríos.

1.4.2. Objetivo Específico

- Determinar requerimientos en base a las variables a medir.
- Establecer un diseño conceptual del proyecto.
- Realizar la caracterización y diseño de filtros digitales como algoritmos a implementarse en el microcontrolador.
- Implementar el sistema para someterlo a condiciones reales de funcionamiento.
- Probar y demostrar la confiabilidad del sistema.

Capítulo 2

MARCO TEORICO

2.1. Agricultura de precisión

La agricultura de precisión es un concepto de gestión de cultivos, se basa en aplicar la cantidad correcta de insumos en el momento y lugar exacto, para llevar a cabo este proceso se utiliza distintas tecnologías como es la localización GPS, sensores, satélites e imágenes que nos permiten estimar y evaluar todas las variaciones dentro área de cultivo. La agricultura de precisión mediante estos procesos de recolección de información nos permite tomar decisiones y aplicar un sistema de control de todos los insumos necesarios para los cultivos, teniendo un óptimo rendimiento y una mayor producción. (García & Flego)

2.2. Invernadero

Un invernadero es una superficie cerrada de estructuras temporales o sólidas a largo plazo cubiertas de plástico o de vidrio como se observa en la figura 1. Este sistema es capaz de proteger el interior de ciertas variaciones climáticas y generar condiciones artificiales de microclima teniendo un control de temperatura, humedad y otros factores ambientales, permitiendo la precocidad en el crecimiento de cultivos en condiciones óptimas y fuera de temporada. (Mamani, Villalobos, & Herrera, 31 de Mayo de 2017)



Figura 1: Modelo grafico de invernadero

Fuente: <https://www.etifa.com/el-papel-de-la-energia-solar-en-las-innovaciones-agrotecnicas/>

2.3.Control y Monitorización de Invernaderos

El principio de un control y monitorización para invernaderos se ha ido incrementando a medida de nuevas tecnologías, estas se encargan de monitorizar todas las variables climáticas que intervienen en la producción como es la temperatura, humedad, cantidad de CO₂, cantidad de radiación solar, velocidad de viento, imágenes infrarrojas, detección de plagas, entre otras, dando paso al desarrollo de sistemas que permiten controlar los diferentes insumos necesarios para los cultivos como es el suministro agua, calefacción, compuertas de ventilación y sistemas insecticidas, obteniendo como resultado un sistema de lazo cerrado entre los distintos sensores, actuadores y microcontrolador. (Ibarra Daza, 2012)

2.4.Factores Climáticos para Cultivos

Para que los cultivos tengan una buena producción y rendimiento se deben tener en cuenta los factores propios para cada tipo de planta o cultivo, tomando en cuenta el efecto

invernadero y los cambios en las diferentes variables climáticas que intervienen dentro de este ciclo como se puede observar en la figura 2. (Carozama, 2018)

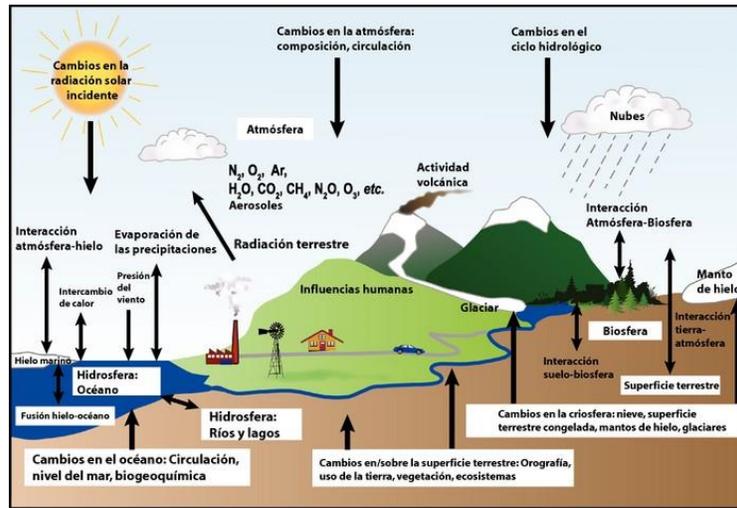


Figura 2: Ilustración de Efecto Invernadero

Fuente: <https://www.concienciaeco.com/2016/02/25/efecto-invernadero/>

2.4.1. Temperatura

La temperatura es el factor más importante que se debe tener en cuenta para el manejo del ambiente dentro de un invernadero, ya que este incide en el crecimiento y desarrollo de las plantas, la temperatura óptima para las plantas se encuentra entre los 8° y 32° Centígrados.

Para el análisis de la temperatura de cada planta se debe tener en cuenta los límites de temperatura para un buen cultivo:

- Temperatura mínima letal: Aquella por debajo de la cual se producen daños a la planta.

- Temperaturas máximas y mínimas biológicas: indican los valores por encima o por debajo respectivamente en la cual la planta no alcanza una determinada fase vegetativa, como la floración, fructificación, etc.
- Temperaturas nocturnas y diurnas: Indican los valores aconsejados para un correcto desarrollo de la planta.

2.4.2. Humedad

La humedad es un factor climático que puede modificar el rendimiento final de los cultivos, cuando la humedad es excesiva las plantas reducen la transpiración y disminuye el crecimiento, también dan paso a la aparición y propagación de plagas dentro del cultivo. Y cuando la humedad es menor a la requerida la planta se seca y su producción es de baja calidad. La humedad relativa idónea depende del cultivo a producir que varían entre el 50 – 90%. (Rodríguez, 2002)

2.4.3. Radiación Solar

La radiación solar que incide sobre los cultivos está en una frecuencia de banda entre 200 y 4000nm, esta se encarga de acumular el calor dentro del invernadero. El calentamiento se genera al pasar a través del material de cubierta, generando calor, esta radiación es absorbida por las plantas, los materiales de la estructura y el suelo. El calor se transmite en el interior del invernadero por irradiación, conducción, infiltración y por convección, tanto calentando como enfriando. La radiación solar en las plantas está directamente relacionada con la fotosíntesis.

2.4.4. Cantidad de CO2

El anhídrido carbónico de la atmósfera es imprescindible en la función clorofílica de las plantas. El efecto que produce la fertilización con CO₂ sobre los cultivos, es el aumento de la precocidad y un aumento en el rendimiento del cultivo, mejorando la calidad de la producción, así como la de su cosecha. De no existir un control adecuado de la cantidad de CO₂ se verá afectado en el ritmo de la fotosíntesis, necesitando más tiempo para que la producción llegue a su tiempo de cosecha. (Guardiola, Hoyas, Pla, & Blanco-Rodríguez, 2015)

2.5.Sistema Embebido

Para un óptimo control de las distintas variables climáticas, la agricultura de precisión se enfoca en la utilización de tecnología con robustez y precisión, que nos permitirán obtener todos los datos incidentes en los cultivos y poder determinar qué acciones se deben corregir para un mejor rendimiento en la producción.

2.5.1. Sistema electrónico Digital

Un sistema electrónico digital es aquel que partiendo de datos de entrada y mediante algoritmos con operaciones lógicas y numéricas es capaz de procesar información produciendo una información de salida acondicionada de acuerdo con un diseño.

2.5.1.1. Sistemas electrónicos basados en microcontroladores

Un microcontrolador es un circuito integrado digital que contiene un procesador digital secuencial sincrónico programable de arquitectura, y está orientado a tareas de control y

comunicación. Los microcontroladores por su pequeño tamaño y su procesador programable reducen costos y consumo de energía.

2.6. Procesamiento Digital de señales

Es el proceso en el cual se realiza una serie de operaciones lógicas y matemáticas sobre un conjunto de datos denominado señales, este proceso nos permite modificarla o mejorarla de acuerdo con parámetros establecidos de diseño. El procesamiento parte de la representación de señales analógicas en tiempo real, por lo que es necesario la utilización de un convertidor analógico digital para transformar estas magnitudes físicas en señales digitales. Posteriormente estas señales son procesadas por el procesador mediante algoritmos lógicos y aritméticos para acondicionar la señal y finalmente convertir estas señales digitales a señales analógicas mediante un convertidor. Este proceso se puede observar en el diagrama de bloques representado en la figura 3.

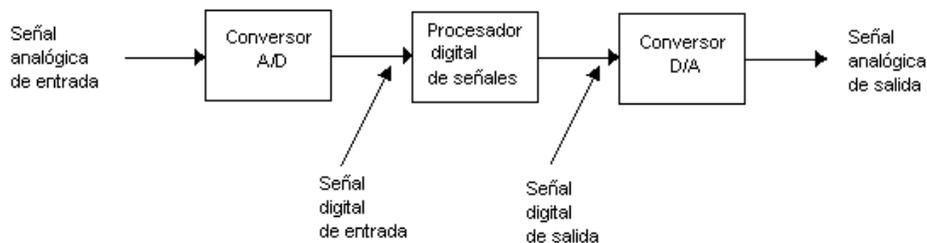


Figura 3: Diagrama de bloques de filtro digital en tiempo real

Fuente: Tratamiento Digital de señales, (Proakis & Manolakis, Cuarta Edición)

Para el tratamiento y procesamiento de señales la utilización de filtros digitales es una parte indispensable ya que, partiendo del comportamiento de las señales, los filtros actúan de tal manera que entreguen una señal con mejores propiedades.

2.6.1. Filtros Digitales

Un filtro digital es un sistema en tiempo discreto que requiere de un procesador digital para la realización de algoritmos lógicos y matemáticos en los valores muestreados de la señal, esto nos permite eliminar partes de esta, tales como ruido o solo el paso de datos en un rango de frecuencia establecido.

Un filtro digital es un sistema lineal e invariante en el tiempo que modifica el espectro en frecuencia de la señal de entrada según la respuesta en frecuencia que tenga su función de transferencia.

2.6.2. Filtro digital FIR.

Un filtro FIR (Finite impulse response), solo consta de la parte no recursiva, esto quiere decir que solo utiliza muestras actuales y anterior de la señal de entrada. Este tipo de filtro donde su entrada es un impulso, su salida será un número limitado de términos nulos.

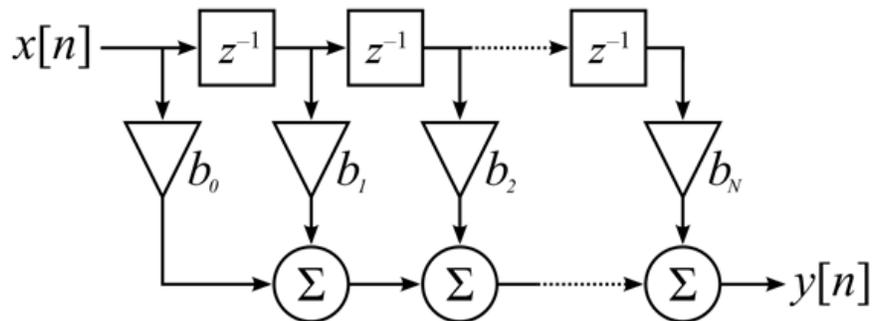


Figura 4: Representación de un filtro FIR

Fuente: Autor

Según la figura 4, un filtro FIR consiste en la sumatoria de los datos de entrada en diferentes instantes de tiempo consecutivo $x[n]$, multiplicados cada uno por constantes b_N que son las que caracterizan el filtro de acuerdo con su propósito y diseño.

Un filtro FIR de orden L , se describe mediante la ecuación en diferencias:

$$y(n) = \sum_{k=0}^{L-1} b_k * x(n - k) \quad (i)$$

$$y(n) = b_0 * x(n) + b_1 * x(n - 1) + b_2 * x(n - 2) + \dots + b_L * x(n - L) \quad (ii)$$

De donde la secuencia de b_k son los coeficientes del filtro. A partir de esta ecuación se puede obtener la función de transferencia del filtro en el dominio de Z .

$$F(z) = \sum_{k=0}^{L-1} b(k) * z^{-k} \quad (iii)$$

Un filtro FIR no tiene retroalimentación, debido a que la duración de la respuesta al impulso es finita. Los filtros FIR son estables ya que solo tienen polos, eso quiere decir

que en su función de transferencia solo tiene elementos en el numerador. Estos filtros pueden ser de fase lineal donde no existen desfases en la señal.

2.6.3. Filtro digital IIR

Un filtro IIR (Infinite Impulse Response) consta de una parte recursiva y no recursiva, esto quiere decir que la señal del filtro se reinyecta a la entrada de este, construyendo un circuito retroalimentado. Este filtro nos permite tener respuestas más complejas y con menos datos. El circuito está en constante alimentación, por lo que la respuesta al impulso es infinita, generando un número ilimitado de términos no nulos.

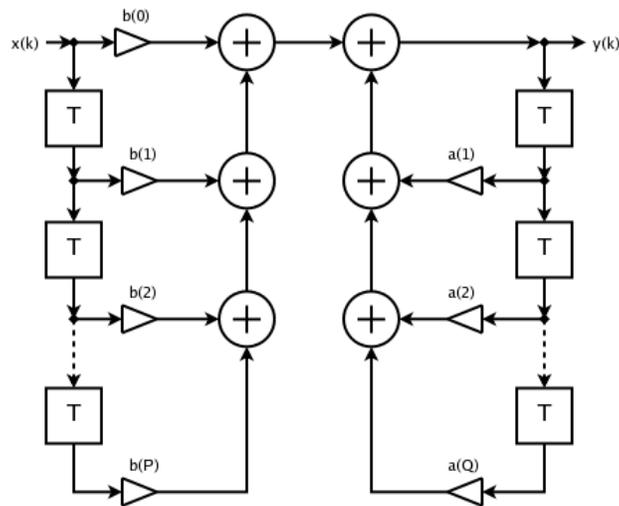


Figura 5: Representación de un Filtro IIR Forma Directa I

Fuente: Autor

También se denominan filtros recursivos ya que para obtener su salida se emplean valores de la entrada actual y anteriores multiplicados por unas constantes $b_{(P)}$ y valores de salida anteriores multiplicados por unas constantes $a_{(Q)}$. Las constantes $b_{(P)}$ y $a_{(Q)}$ son

valores que caracterizan el comportamiento del filtro de acuerdo con su propósito y diseño. Véase la figura 5. Un filtro IIR en el dominio discreto se expresa como:

$$y(n) = \sum_{i=0}^P b_i * x(n - i) - \sum_{j=1}^Q a_j * y(n - j) \quad (\text{iv})$$

$$y(n) = b_0 * x(n) + b_1 * x(n - 1) + b_2 * x(n - 2) + \dots + b_P * x(n - P) - a_0 * y(n) - a_1 * y(n - 1) - a_2 * y(n - 2) - \dots - a_Q * y(n - Q) \quad (\text{v})$$

A partir de esta ecuación en diferencias se obtiene la una función de transferencia en el dominio de Z.

$$H(z) = \frac{\sum_{i=0}^P b_i * z^{-i}}{\sum_{j=0}^Q a_j * z^{-j}} \quad (\text{vi})$$

Un filtro IIR además de tener ceros en su función de transferencia, este tiene polos que se representan en el denominador de la función de transferencia. Y los polos son los que generan inestabilidad en el sistema.

2.6.4. Filtro digital Kalman

El filtro de Kalman es un algoritmo para proyectar un sistema de variables sobre un conjunto de información actual y a medida según se va disponiendo de nueva información. El filtro de Kalman relaciona las variables de estados con las variables observables y también la estructura temporal de las variables de estado.

Las estimaciones de las variables de estado se realizan en base a la dinámica de las variables de dimensión temporal, así como las variables observables en ese instante. Ese

a su vez va proyectando una ganancia en base a una señal de control o el constante cálculo de la covarianza del ruido y de los valores procesados permitiendo una actualización de estados a medida que estos se van recalculando con cada observación de entrada.

2.6.4.1. Algoritmo de filtro de Kalman

El algoritmo del filtro de Kalman se caracteriza por la proyección del estado (x) en el tiempo (t), que viene dado por la media (x_t) y la covarianza (P_t). Como parámetros iniciales de diseño del filtro se establecen características invariantes en el tiempo como la covarianza del ruido, señales de control y relaciones entre las observaciones y relaciones entre la señales de salida o también denominadas variables de transición de estados de observaciones y de señal procesada. Este filtro se caracteriza por ser recursivo, una estimación y proyección relacionada con datos de salida ya filtrados y procesados, esto nos permite actualizar los estados creando proyecciones en dos momentos dentro del mismo algoritmo permitiéndonos la actualización continua de la ganancia al ingresar una nueva observación o un dato al filtro. Las proyecciones que se calculan a partir de estas estimaciones y nos entregan como salida una señal recursiva para las observaciones (x_t) y una proyección de la covarianza del error de señal procesada (P_t). (Dorado & Ruíz, 2013)

El filtro de Kalman tiene dos etapas que son:

- Etapa de predicción. – En esta etapa se estiman las variables de estado utilizando su propia dinámica.

- Proyección del estado hacia adelante.

$$\bar{x}_t = A_t * x_{t-1} + B_t * U_t \quad (\text{vii})$$

- Proyección de la covarianza del error hacia adelante.

$$\bar{P}_t = A_t * P_{t-1} * A_t^T + R_t \quad (\text{viii})$$

Matriz At: Relaciona el estado en el instante t-1 con el estado en el instante.

Matriz Bt: Relaciona las señales de control opcionales con el estado actual.

Matriz Rt: Representa la covarianza del ruido procesado

- Etapa de actualización. – Se mejora la primera estimación utilizando información de las variables observables.
- Cálculo de ganancia de Kalman

$$K_t = \bar{P}_t * C_t^T / (C_t * \bar{P}_t * C_t^T + Q_t) \quad (\text{ix})$$

- Actualización del estado con la medida de las observaciones que proporcionan los sensores

$$x_t = \bar{x}_t + K_t * (z_t - C_t * \bar{x}_t) \quad (\text{x})$$

- Actualización de covarianza del error

$$P_t = (1 - K_t * C_t) * \bar{P}_t \quad (\text{xi})$$

- Entrega una proyección de la media y covarianza

Matriz Ct: Relaciona el estado actual con las observaciones del entorno.

Matriz Kt: Representa la ganancia de Kalman.

Capítulo 3

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

3.1.Diseño Conceptual

Para el desarrollo de este proyecto se estable un diseño conceptual para seleccionar las diferentes variables climáticas y componentes electrónicos principales como son el microcontrolador y sensores. Los criterios por tomar en cuenta para la elección de cada componente y variable se establecen de acuerdo con los requerimientos predefinidos para el diseño del módulo de sensores.

3.1.1. Selección de variables Climáticas

Existen varios factores y variables a tomar en cuenta para un óptimo rendimiento en un cultivo en Invernadero. En el capítulo anterior se dio a conocer los diferentes factores y la incidencia que tienen sobre un cultivo, por lo que se han seleccionado las siguientes variables climáticas: Temperatura, humedad y radiación solar, mismas variables que intervienen en mayor proporción al crecimiento de las plantas dentro de un invernadero o cualquier cultivo.

3.1.1.1. Conceptualización de Temperatura

En un invernadero la temperatura es la que se encarga de generar el nivel de humedad ya sea para el suelo o el aire, permitiendo la condensación del agua. Si la temperatura asciende los niveles de metabolismo aumentaran generando más frutos, pero bajo en rendimiento, si las temperaturas son excesivamente altas, las plantas se secarán y no

tendrán nutrientes necesarios para producir frutos o caso contrario las temperaturas muy bajas no darán paso a una alimentación de nutrientes y por consiguiente un bajo metabolismo generando así una baja cantidad de producción.

Las temperaturas optimas generalizada para los cultivos están comprendida en un rango de 8 °C y 34 °C para diferentes tipos de plantaciones, dentro de estos rangos se identifican los diferentes estados de temperatura para un cultivo como es la temperatura mínima letal, máximas y mínimas biológicas y temperaturas nocturna y diurna. El cambio de temperatura dentro de un invernadero depende del área encerrada, cantidad de radiación solar a la que esté sometida, sistemas de ventilación, sistemas de calefacción, etc. Un invernadero es un sistema donde la variación de temperatura es lenta y progresiva. (López & Benavides, 2014)

3.1.1.2. Conceptualización de Humedad de Aire y Suelo

La humedad se relaciona a la cantidad de partículas de agua en el aire y en el suelo. La humedad relativa en el aire se relaciona con la transpiración de la planta, si esta es muy alta se producen abortos florales y mayor enfermedades y si esta es muy baja las plantas transpiran en exceso provocando una deshidratación. Por otro lado, la humedad en el suelo se relaciona a la cantidad de agua que se riega a las plantas, proporcionando al cultivo la cantidad necesaria de nutrientes por medio de las raíces, si esta es muy baja los cultivos tendrán una baja productividad y si esta es muy alta las plantas tendrán en exceso los nutrientes ocasionando frutos de mala calidad.

La humedad dentro de un invernadero depende de la cantidad de agua de riego, radiación solar y la transpiración de las plantas. Para los cultivos la humedad relativa debe estar entre un 50 – 90 %. La medida de esta variable se considera correcta cuando toda el área de análisis consigue ser homogénea en relación con la humedad que se presenta.

3.1.1.3. Conceptualización de Radiación Solar

La radiación fotosintéticamente activa (PAR), es la que comprende dentro de la longitud de onda entre 0,4 μm y 0,7 μm , esta radiación es la fuente de energía para que una planta realice la fotosíntesis, conocer la distribución espacial y temporal del mismo es fundamental para el análisis de los procesos biológicos asociados al crecimiento de las plantas. (Righini & Grossi Gallegos, 2005)

3.1.2. Selección de sensores

Los parámetros de las variables climáticas son distintos para cada tipo de cultivo, sin embargo, para la selección de los sensores se toma en cuenta como máximos y mínimos ciertos criterios generales donde estos sensores sean capaces de cumplir su función en cualquier tipo de cultivo. Una vez definidas las variables a medir por el módulo de sensores, se estable comparativas entre varios sensores existentes en el mercado, para la medición de cada magnitud física establecidas en el apéndice anterior.

3.1.3. Selección de sensor de Humedad y Temperatura de Ambiente

Véase en la tabla 1. Para la selección del sensor que nos permita medir la temperatura y humedad del ambiente se establecen aspectos técnicos generales importantes que nos

ayudarán en la medición de las magnitudes físicas mencionadas. Los aspectos por considerar son: el rango de temperatura y humedad que son capaces de medir, este rango está definido mediante el análisis y conceptualización de la temperatura y humedad anteriormente. También es necesario establecer su precisión para ambas magnitudes, el voltaje de alimentación necesario para su funcionamiento, su valor en mercado y si este sensor necesita componentes o dispositivos externos para su conexión a un microcontrolador.

Criterios	DHT22	Modbus RTU	Sensirion SHT31-DIS	Validación
Rango de Temperatura	-40 a +80 °C	-40 a +80 °C	-40 a +80 °C	3
Precisión temperatura	±0.5oC	±0.2oC	±0.3oC	2
Rango de humedad	0 a 100 % RH	0 a 100 % RH	0 a 100 % RH	1
Precisión humedad	±2% RH	±1.8% RH	±2% RH	
Voltaje de alimentación	3V a 6V DC	3.6V a 33V DC	7V a 32V DC	
Costo	10	120	110	
componentes externos	no	si	no	
Tipo de comunicación	single wire	two wire	two wire	
Total de puntos	21	20	19	

Tabla 1: Selección de sensor de temperatura y humedad de ambiente

Fuente: Anexo 1, Datasheet Sensor DHT22

De la tabla 1. Partiendo de las características técnicas de cada sensor, se estable una asignación de valor en cada aspecto de acuerdo con los colores establecidos en la tabla. El sensor con mayor puntuación es el DHT22, indicándonos que es el mas adecuado por cumplir en mayor proporción los criterios necesarios para el desarrollo del módulo de sensores. A continuación, se hará un análisis completo del sensor seleccionado definiendo todas sus características técnicas.

3.1.3.1. Sensor DHT22

El sensor Dht22 es un encapsulado, capaz de medir la temperatura y humedad con sus dos sensores de tipo capacitivos. Este sensor convierte la señal analógica recibida en señal digital, la medición de las dos magnitudes los hace simultáneamente mediante su comunicación serial al microcontrolador, esto facilita el monitoreo de ambas magnitudes en un mismo sensor. Para las características técnicas del sensor, véase la tabla 2.



Figura 6: Sensor DHT22

Fuente: Anexo 1, Datasheet Sensor DHT22

Características de sensor DHT22

- Bajo costo
- Consumo de corriente mínimo.
- Calibración almacenada en memoria propia.
- Distancia máxima de transmisión de datos 20 metros.
- Comunicación serial de una línea.
- Capaz de medir dos magnitudes físicas.

Especificaciones técnicas de sensor DHT22

Señal de Salida	Digital Bus Simple (one wire)
Tipo de sensor	Capacitivo
Rango Temperatura	-40° a +80 °C
Rango Humedad	0 – 100% RH
Precisión	±0.5 °C, ±2% RH
Sensibilidad	±0.1 °C, ±0.1% RH
Repetibilidad	±0.2 °C, ±1% RH
Tiempo de Respuesta	2 segundos
Voltaje de Almacenamiento	3.3V – 5.5V DC

Tabla 2: Características técnicas sensor DHT22

Fuente: Anexo 1, Datasheet Sensor DHT22

3.1.4. Selección de sensor de Humedad de Suelo

Partiendo de la conceptualización de la humedad, se establecen ciertas características que debe cumplir el sensor, de tal manera que se han definido algunas características generales que nos permitirán calificar los distintos sensores propuestos. Los criterios establecidos son: Rango de medición para humedad, precisión de medida, voltaje de alimentación, su tipo de comunicación, su costo y si es necesario componentes o dispositivos externos para su funcionamiento y conexión a un microcontrolador. Véase en la tabla 3.

Criterios	FC-28	sht10	Davis 6440
Rango de humedad	0 a 100 % RH	0 a 100 % RH	0 a 200 cbar
precisión humedad	±5% RH	±4.5% RH	±1 cbar
Voltaje de alimentación	3.3V a 5V DC	2.4V a 5.5V DC	3V a 4.5V DC
Costo	5	40	95
sumergible	no	si	si
componentes externos	si	no	si
tipo de comunicación	i2c	i2c	i2c
Total de Puntos	17	19	18

Validación
3
2
1

Tabla 3: Selección de Sensor de temperatura de suelo

Fuente: Autor

De la tabla 3. Partiendo de las características de cada sensor propuesto, se asigna un valor en cada característica establecida mediante la asignación de colores de la tabla. El dispositivo con más puntos es el sensor SHT10, este cumple en mayor porcentaje los requerimientos necesarios para el desarrollo del proyecto. A continuación, se hace una definición del sensor seleccionado indicando todas sus características y especificaciones técnicas.

3.1.4.1. Sensor SHT10

El sensor SHT10 es un elemento sensor de tipo capacitivo que nos permite medir la humedad mediante una señal de salida digital completamente calibrada acoplado a un convertidor analógico digital de 14 bits y un circuito de interfaz en serie. Este sensor tiene un recubrimiento permeable a base de polímeros y una protección externa que impide el contacto directo con cualquier superficie, esta protección genera un espacio vacío con el sensor permitiendo la medición de humedad. Para las características técnicas del sensor, véase la tabla 4.



Figura 7: Sensor SHT10

Fuente: <https://tienda.bricogeek.com/sensores-temperatura/762-sensor-de-temperatura-y-humedad-sht10-acero-inox.html>

Características del sensor SHT10

- Completamente calibrado.
- Insensible a perturbaciones externas.
- Bajo Consumo de energía.
- Excelente estabilidad a largo plazo.

Especificaciones técnicas del sensor SHT10.

Señal de salida	Digital two wire interface
Tipo de sensor	Capacitivo
Rango de humedad	0 – 100% RH
Precisión	$\pm 4.5\%$ RH
Sensibilidad	$\pm 1\%$ RH
Repetibilidad	$\pm 0.1\%$ RH
Tiempo de respuesta	8 segundos.
Voltaje de alimentación	2.4V – 5.5V

Tabla 4: Características técnicas de sensor SHT10

Fuente: Anexo 2, Datasheet sensor SHT10

3.1.5. Selección de Sensor de Temperatura de suelo

Para la selección del sensor que nos permitirá la medición de la temperatura de suelo, se propone inicialmente 3 sensores comerciales, además de definir sus características técnicas en base a los criterios establecidos para el desarrollo del proyecto. Los criterios por tomar en cuenta para seleccionar el sensor son: el rango de temperatura y precisión, su voltaje de alimentación, la utilización de componentes o dispositivos externos para su conexión y funcionamiento, tipo de comunicación y su costo en el mercado. Véase la tabla 5. Los aspectos seleccionados se basan en la conceptualización de la temperatura y los lineamientos del sistema.

Criterios	LM35	PT100	Termocupla tipo J	Validación
Rango de temperatura	0 a 100 °C	-200 a +450 °C	-40 a +375 °C	3
Precisión temperatura	±0.5°C	±1°C	±1.5°C	2
Voltaje de alimentación	4V a 30V DC	5V a 30V DC	5V a 3V DC	1
Costo	5	36	12	
componentes externos	no	si	si	
Tipo de comunicación	single wire	I2C	I2C	
Total de puntos	18	14	14	

Tabla 5: Selección de Sensor de Temperatura de Suelo

Fuente: Autor

De la tabla 5, de acuerdo con la validación de cada sensor respecto a cada criterio, el sensor con mayor valoración es el sensor LM35, este cumple en mayor proporción los aspectos necesarios para el desarrollo del sistema. A continuación, se definirá el sensor seleccionado indicando sus características y especificaciones técnicas para su posterior utilización.

Especificaciones técnicas del sensor LM35.

Señal de Salida	Analógica
Relación de señal de salida	10mV/°C
Rango de Temperatura	-55° - 150°C
Exactitud	+/- 0.4 °C
Ganancia	10 mV/°C
Resolución	± 0.25 °C
Voltaje de Operación	4V – 30V DC

Tabla 6: Características técnicas de sensor LM35

Fuente: Anexo 3 Datasheet de sensor LM35

3.1.6. Selección de Sensor de Radiación Solar

Una vez conceptualizado la radiación solar, se establecen ciertos aspectos generales que debe cumplir el sensor designado para medir dicha magnitud, además estos deben cumplir con los requerimientos establecidos para el diseño del sistema. Los criterios por tomar en consideración son: la frecuencia de onda en la que es capaz de medir, la irradiación máxima que soporta el sensor, su tipo de comunicación con un microcontrolador, su voltaje de alimentación, su costo en el mercado e indicar si es necesario un componente o dispositivo externo para su conexión y funcionamiento. Véase en la tabla 7.

Criterios	Hukseflux Lp02	Davis 6450	Tecmes ts304	Validación
Rango de Onda	300 a 2800 nm	400 a 1100	400 a 1100	3
irradiación máxima	2000 W/m ²	1800 W/m ²	1400 W/m ²	2
Voltaje de alimentación	3V a 6V DC	3 V	9V a 16V DC	1
Costo	1500	240	617	
componentes externos	si	si	si	
tipo de comunicación	two wire	two wire	two wire	
Total de Puntos	16	17	15	

Tabla 7: Selección de Sensor de Radiación Solar

Fuente: Autor

De la tabla 7. Partiendo de la validación de cada característica de cada sensor, se establece que el sensor con mayor ponderación es el sensor Davis 6450. A continuación, se define el sensor seleccionado, indicando sus características y especificaciones técnicas que nos permitirán su posterior análisis para su utilización. Para las características técnicas del sensor, véase la tabla 8.

3.1.6.1. Sensor Davis 6450

El sensor Davis 6450 es un piranómetro solar que mide la radiación global, radiación directa y componentes difusos de la irradiación solar. Está compuesto por un fotodiodo de silicio con amplia respuesta espectral. Este sensor convierte la radiación incidente en corriente eléctrica y por consiguiente voltaje como señal de salida. Cuando se conoce la temperatura de referencia se puede determinar el flujo radiante mediante la diferencia térmica entre las uniones activa y fría. Este sensor es ideal para medir la energía incidente dentro de un invernadero o un cultivo.



Figura 9: Sensor Davis 6450

Fuente: <https://ecuadorgps.com/producto/sensor-radiacion-solar-davis/>

Características del sensor Davis.

- Protección externa contra radiación térmica.
- Sistema de nivelación incluido.
- Calibración externa.
- Conexión RJ11 de 4 pines.

Especificaciones técnicas del sensor Davis.

Señal de salida	Analógica
Transductor	Fotodiodo de silicio
Respuesta espectral	400 a 1100 nanómetros
Relación señal de salida	1.67 mV por W/m ²
Rango	0 a 1800 W/m ²
Exactitud	± 5%
Resolución	1 W/m ²
Temperatura de operación	-40 a 65 °C
Voltaje de alimentación	3V DC

Tabla 8: Características técnicas sensor Davis 6450

Fuente: Anexo 4, Datasheet sensor Davis

3.1.7. Selección de Microcontrolador

Un dispositivo que sea capaz de monitorizar y procesar las diferentes variables a medir necesita un procesador, el cual debe ser versátil, además como requerimiento este debe ser desarrollado y programado en software libre capaz de procesar información analógica y digital. Y como lineamiento para el desarrollo de este proyecto también debe ser de bajo costo, accesible y que tenga compatibilidad con los sensores ya seleccionados. A continuación, se hace un análisis de diferentes microcontroladores tomando ciertos criterios para seleccionar el más adecuado para este proyecto.

Criterios	Raspberry Pi Pico	Arduino Uno	STM32 f103
Frecuencia de funcionamiento	133 MHz	16 MHz	72 MHz
Entradas analógicas	si	si	si
Entradas digitales	si	si	si
Resolución de convertidor AD	12 bits	10 bits	12 bits
protocolos de comunicación	UART/SPI/I2C	UART/SPI/I2C	UART/SPI/I2C
Potencia de entrada	1.8V a 5.5V DC	0.5V a 5.5V DC	2V a 3.6V DC
Compatibilidad	75%	100%	50%
Voltaje de salida	3.3V DC	3.3V and 5V	3.3V and 5V
Voltaje de alimentación	5v	5v	5v
Costo	15	10	6
Total de Puntos	25	26	25

Validación
3
2
1

Tabla 9: Tabla de selección de Microcontrolador

Fuente: Autor

Véase en la tabla 9, para realizar la selección del microprocesador que se usará en este proyecto se han definido ciertos criterios importantes como son, la frecuencia de trabajo, la existencia de entradas analógicas y digitales, la resolución del convertidor AD, la potencia admisible en sus pines de entrada, la compatibilidad con los sensores seleccionados, voltaje de salida, voltaje de alimentación del microcontrolador y el costo

en mercado. De acuerdo con la valorización que se hace en base a los colores indicados en la tabla 9, el microcontrolador con más puntos es el microcontrolador Arduino Uno, indicando que es el más adecuado para el desarrollo del módulo de sensores.

A continuación, se realizará una definición del microcontrolador seleccionado, destacando sus características técnicas que permitirán un análisis más completo del mismo para el desarrollo de este proyecto.

3.1.7.1. Arduino Uno

La tarjeta Arduino Uno es una placa open hardware de libre distribución y utilización, esta tarjeta cuenta con un microcontrolador de la marca Atmel, esta placa contiene circuitería incluyendo reguladores de tensión, un puerto USB conectado a un módulo adaptador USB-Serie que permite programar el microcontrolador desde un PC. Esta placa cuenta con pines que son configurables como entradas o salidas digitales, también cuenta con pines analógicos, estos pueden ser utilizados para enviar señales de control en forma de señales PWM. Los pines analógicos poseen un convertidor analógico digital de con una resolución de 10 bits, que nos permite la transformación de una señal eléctrica analógica a una señal digital. Este dispositivo posee una memoria flash reprogramable de 32 KB, lo que nos permite almacenar programas robustos convertidos en código binario por una interfaz de programación.

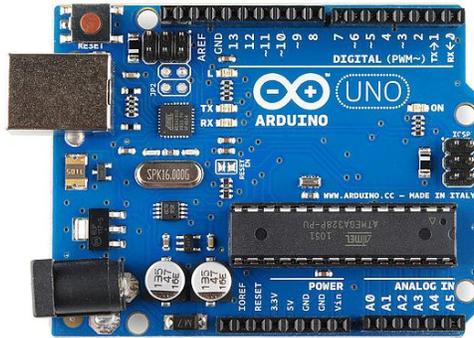


Figura 10: Arduino UNO

Fuente: <https://cdn.shopify.com/s/files/1/0014/9202/5447/articles/Arduino580x.png?v=1543181730>

La plataforma de Arduino permite a los usuarios la aplicación de librerías propias de uso libre. La fácil configuración de puertos nos permite adecuar este dispositivo para diferentes aplicaciones como lectura de datos analógicos de hasta 8 bits, y con salidas de forma digital o por un puerto serial al computador. Véase en la tabla 10 las características técnicas.

Microcontrolador	Atmega328p
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada	7-12V
Pines para entrada-salida digital	14 (6 pueden usarse como salida PWM)
Pines de entrada analógica	6
Corriente continua por pin IO	40 mA
Corriente continua en el pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	32KB (0,5 KB ocupados por bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Frecuencia de reloj	16 MHz

Tabla 10: Características técnicas de Arduino Uno

Fuente: <https://www.arduino.cc/Selección de sensores>

3.1.7.2. Convertidor ADS1115

El ADS1115 es un convertidor analógico-digital de 16 bits, permitiéndonos una resolución más alta, proporcionándonos más detalles de la señal analógica. Este convertidor se encarga de recibir la señal analógica y convertirla en una señal digital que posteriormente es transferida mediante protocolo I2C a un controlador. Para mas detalle de las características técnicas del dispositivo véase la tabla 11.



Figura 11: Convertidor ADC ADS1115

Fuente: <https://www.hwlibre.com/ads1115/>

Características de convertidor ADS1115.

- Proporciona 860 muestras/segundo.
- Comunicación I2C.
- 4 canales de entrada analógica.
- Ganancia programable.
- Bajo costo.
- Bajo consumo.

Especificaciones técnicas de convertidor ADS1115

Tipo de comunicación	Protocolo I2C
Consumo de corriente	150uA
Velocidad de datos	8 a 860 muestras por segundo
Temperatura de operación	-40oC a 125oC
Voltaje de operación	5.5V a 7V DC
Voltaje analógico mínimo de entrada	-0.3V DC en GND
Voltaje digital mínimo de entrada	-0.5V DC en GND
Voltaje digital máximo de entrada	5.5V en VDD

Tabla 11: Características técnicas de convertidor ADS1115

Fuente: Anexo 5, Datasheet Convertidor ADC ADS1115

3.2.Sistema de comunicación

Esta sección comprende la realización del sistema de comunicación entre el microcontrolador, sensores y demás componentes mediante protocolos de comunicación serial y la utilización de una interfaz de programación de uso libre y gratuito.

3.2.1. IDE Arduino

IDE Arduino es una aplicación que está escrita bajo el lenguaje de programación Java, este software es exclusivo para placas electrónicas desarrolladas por Arduino y nos permite escribir y cargar programas utilizando funciones y librerías propias del software gracias al soporte técnico y a la comunidad de desarrolladores de forma libre y gratuita.

La aplicación IDE ARDUINO nos permitirá la comunicación con la placa electrónica Arduino UNO mediante un puerto serial, para el desarrollo del proyecto se utilizarán distintas funciones que nos permitirá realizar múltiples mediciones con los distintos sensores simultáneamente, para que estas sean posteriormente procesadas y mostradas en una pantalla LCD y un puerto serial configurado.

3.2.2. Lógica de Programación

En la figura 12 se muestra el diagrama de bloques del sistema, en esta representación podemos observar que partimos de los sensores que medirán las respectivas variables climáticas como es la radiación solar, humedad y temperatura de aire, temperatura y humedad de suelo con los sensores establecidos anteriormente. Para el sensor de radiación solar – Davis 6450 y para el sensor de temperatura de suelo – Lm35, sus variaciones en su señal de salida son en mV, valores muy pequeños para el ADC del microcontrolador, por lo que se utilizará un convertidor analógico digital externo de 16bits, permitiéndonos así la lectura de estos sensores analógicos sin perder ninguna dato de información y enviarlos al microcontrolador de forma digital reduciendo así el procesamiento y lectura directamente por el microcontrolador, este convertidor ADC se comunicará con el microcontrolador mediante el protocolo de conexión two-wire-interface. El sensor de humedad y temperatura de aire – DHT11 y el sensor de humedad de suelo – SHT10 son sensores digitales, y su conexión con el microcontrolador es de single-wire-interface y two-wire-interface respectivamente.

El microcontrolador Arduino Uno procesará las 5 distintas variables que ingresan digitalmente por sus puertos digitales configurados como entradas, El procesamiento de la señal consta de la utilización de filtros digitales que nos permitirá suavizar y estabilizar la señal de salida de los sensores. Los datos procesados serán mostrados por una pantalla LCD y un puerto serial para una conexión externa al dispositivo.

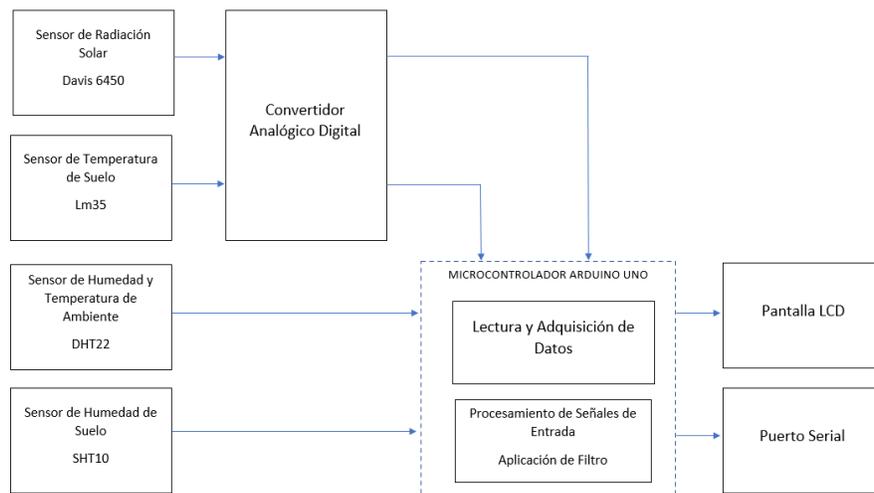


Figura 12: Diagrama de bloques

Fuente: Autor

La plataforma Arduino nos facilita la comunicación con diferentes componentes electrónicos mediante la utilización de funciones y librerías que se detallarán a continuación.

3.2.2.1. Comunicación y Funciones Single-Wire Interface

Este tipo de comunicación consta de un solo bus de datos donde dispondremos de un maestro y varios esclavos en una sola línea de transmisión, misma en la que se alimenta

el dispositivo. Para evitar una transmisión errónea de datos hacia el microcontrolador se configura el circuito con una resistencia pull-up con la línea de alimentación.

La interfaz IDE Arduino nos proporciona una función exclusiva para la lectura de datos del sensor DHT22.

```
1 #include <DHT.h>
2 #define DHTPIN 7
3 #define DHTTYPE DHT22
4 DHT dht (DHTPIN, DHTTYPE);
5 void setup() {
6     Serial.begin(9600);
7     dht.begin();
8 }
9 void loop() {
10    delay(2000);
11    float h = dht.readHumidity();
12    float t = dht.readTemperature();
13    return;
14 }
```

Figura 13: Código de función DHT

Fuente: IDE Arduino – DHT sensor library, Adafruit, versión 1.3.0

En la figura 13, se muestra cómo se incluye la librería “DHT.h” en el programa mediante la instrucción de la línea 1. En la línea 2 se define el pin de entrada *single wire* conectado al sensor. En la línea 3 se define que tipo de sensor se está utilizando debido a que esta librería nos permite utilizar diferentes sensores de serie DHT. En la línea 4 se configura la función de la librería estableciendo como argumentos el pin de comunicación y el tipo de sensor. En la línea 7 se inicializa la función dentro de la función principal de programa. En la línea 11 y 12, que están dentro del ciclo repetitivo del programa se realiza la lectura de los valores de humedad y temperatura respectivamente.

3.2.2.2. Comunicación y Funciones Two-Wire Interface

La comunicación two-wire es un tipo de comunicación que utiliza dos líneas de señales, una línea bidireccional definida como DATA, encargada de transferir datos dentro y fuera del dispositivo, y otra línea solamente de entrada definida como SCK (*Serial Clock*), esta línea es la encargada de cambiar el estado de transmisión mediante pulsos o variaciones de estado lógicas (1 o 0), hacían la línea de control del dispositivo, permitiendo o bloqueando el cambio de datos en la línea DATA.

Para la conexión y comunicación con el sensor de humedad de suelo – SHT10. El software IDE Arduino mediante la función “SHT1x.h” nos permite la interacción del sensor con el microcontrolador mediante el protocolo de comunicación two-wire-interface.

```
1  #include <SHT1x.h>
2  #define dataPin 9
3  #define clockPin 8
4  SHT1x sht1x(dataPin, clockPin);
5  void setup()
6  {
7      Serial.begin(9600);
8  }
9  void loop(){
10     float humidity = sht1x.readHumidity();
11     delay(50);
12 }
```

Figura 14: Código función SHT1x

Fuente: IDE Arduino – arduino-sht, Winkelmann, Brauchli, versión 1.0.2

En la figura 14, se muestra cómo se agrega la librería “SHT1x.h” al programa mediante la instrucción de la línea 1. En las líneas 2 y 3, se definen los pines digitales

correspondientes a la línea DATA y a la línea SCK respectivamente. En la línea 4 se define la función principal de la librería tomando como argumentos los pines configurados anteriormente. En la función cíclica del programa en la línea 10 se da lectura de la humedad relativa almacenando la misma en una variable de tipo flotante.

3.2.2.3. Comunicación y Funciones I2C

Este protocolo de comunicación se realiza mediante dos líneas de señales, una señal definida como SDA (Serial Data), que es la línea que se encarga de la transmisión de datos bidireccional entre los dispositivos, y SCL (Serial Clock) que es la línea de confirmación para la transmisión de datos. El protocolo I2C nos permite una conexión de hasta 127 dispositivos esclavos conectados a un maestro. El maestro I2C es el que se encarga de controlar la línea SCL y enviar o recibir datos por la línea SDA, mientras que los esclavos por lo general son sensores o actuadores que transmiten datos dependiendo si el SCL del maestro esté en un estado activo o no, esto permite que los diferentes esclavos transmitan datos simultáneamente mientras su señal en el SCL lo permita.

Los sensores Lm35 y Davis 6450 son sensores analógicos donde sus variaciones en la señal de salida son en mV, necesitan un convertidor analógico digital con una resolución mayor a los puertos de entrada digital del microprocesador. El convertidor ADC de 16bits nos permite la lectura completa de información de estos dos sensores. El protocolo de comunicación entre el convertidor y el microcontrolador es mediante I2C, esto nos indica que los datos de los sensores se transmitirán por una línea SDA del convertidor y para

cada señal procesada sea receptada por el microcontrolador dependerá de la señal que éste transfiera a la línea SCL del convertidor.

```
1  #include <Wire.h>
2  #include <Adafruit_ADS1015.h>
3  Adafruit_ADS1115 ads;
4  void setup(void)
5  {
6      Serial.begin(9600);
7      ads.setGain(GAIN_ONE)
8      ads.begin();
9  }
10 void loop(void)
11 {
12     int16_t adc0, adc1, adc2, adc3;
13     adc0 = ads.readADC_SingleEnded(0);
14     adc1 = ads.readADC_SingleEnded(1);
15     adc2 = ads.readADC_SingleEnded(2);
16     adc3 = ads.readADC_SingleEnded(3);
17     Serial.print("AIN0: "); Serial.println(adc0);
18     Serial.print("AIN1: "); Serial.println(adc1);
19     Serial.print("AIN2: "); Serial.println(adc2);
20     Serial.print("AIN3: "); Serial.println(adc3);
21     Serial.println(" ");
22     delay(1000);
23 }
```

Figura 15: Código función ADS1015.h

Fuente: IDE Arduino – Adafruit ADS1x15, Adafruit, versión 1.0.0

En la figura 15 se muestra cómo se incluye la librería Adafruit_ADS1015.h. En la línea 1 se llama a la librería Wire.h para habilitar la comunicación serial. Mediante la instrucción de la línea 2 se agrega la librería Adafruit_ADS1015.h al programa. En la línea 3 se define el convertidor ADC que se va a usar, en este caso el ADS1115 – 16bits. En la línea 7 se configura la ganancia del convertidor. En la línea 8 se inicializa la función Adafruit_ADS1015.h. en la línea 12 se declaran las 4 variables de salida del convertidor. En las líneas 13 a 16 se da lectura de los valores de salida del convertidor estableciendo

la posición de salida del convertidor que van de 0 a 3. Y en las líneas 17 a 21 se mandan los valores leídos por el convertidor hacia el puerto serial configurado en la línea 6.

En función `Adafruit_ADS1015.h` los pines de comunicación no necesitan una configuración, esta librería tiene una conexión predefinida para las líneas de comunicación I2C. La línea SDA y la línea SCL son conectadas directamente en los puertos analógicos A4 y A5 respectivamente del microcontrolador Arduino UNO.

El sistema de visualización se realiza en una pantalla LCD 16x4, este componente electrónico se puede comunicar con otros dispositivos mediante I2C. IDE Arduino nos ofrece una función exclusiva para la utilización de pantallas LCD mediante I2C permitiéndonos la comunicación entre pantalla y microcontrolador con mínimas configuraciones y líneas de comando simples.

```
1  #include <Wire.h>
2  #include <LiquidCrystal_I2C.h>
3  LiquidCrystal_I2C lcd(0x27);
4  int valor=0;
5  void setup() {
6      lcd.begin(16, 4);
7      lcd.backlight();
8      lcd.clear();
9  }
10 void loop() {
11     lcd.setCursor(5, 0);
12     lcd.print("commentary");
13     lcd.print(valor);
14     delay(100);
15 }
```

Figura 16: Código función `LiquidCrystal_I2C.h`

Fuente: IDE Arduino – `LiquidCrystal`, Arduino, Adafruit, versión 1.0.7

En la figura 16 se muestra el código para la utilización de la función `LiquidCrystal_I2C.h`. En la línea 1 se incluye la librería `Wire.h` para comunicación serial. En la línea 2 se incluye la librería `LiquidCrystal_I2C.h` al programa. En la línea 3 se define la dirección I2C de la LCD. En la línea 6 se define el tamaño de la LCD, en este caso es de 16x4. Mediante la instrucción de la línea 7 se enciende la pantalla LCD. En la línea 8, para inicializar se limpia la Pantalla. Dentro de la función cíclica del programa, en la línea 11 se establece la posición en la LCD y posteriormente en las líneas 12 y 13 se realiza la impresión de comentarios y las variables respectivamente.

3.2.2.4. Intercomunicación de Funciones Simultáneas

La placa Arduino Uno tiene un microcontrolador Atmega 328P, este es capaz de realizar operaciones secuencialmente, una por una. El desarrollo del proyecto mediante la utilización de funciones propias de IDE Arduino, la interfaz nos limita a ejecutar una función a la vez lo que nos limita al monitoreo de una sola variable, y debido a que todos los sensores y el visualizador utilizan diferentes tipos de comunicación se ha visto la necesidad de crear varias funciones en el programa.

El software IDE Arduino nos permite la utilización de una estructura llamada *Protothreads*, que se basa aprovechar un tiempo de retardo dentro de una función para ejecutar otras dentro de ese espacio de tiempo, permitiéndonos la ejecución de múltiples funciones y tomar lectura de todas las variables “simultáneamente”.

```

1  #include <pt.h>
2  struct pt hilo1;
3  struct pt hilo2;
4  static int protothreadFuntion(struct pt*pt);
5  int conta = 1;
6  void setup() {
7      Serial.begin(9600);
8      pinMode(2, INPUT);
9      PT_INIT(&hilo1);
10     PT_INIT(&hilo2);
11 }
12 void loop() {
13     funcion1(&hilo1);
14     funcion2(&hilo2);
15 }

```

Figura 17: Código función Protothreads declaración de estructura

Fuente: IDE Arduino – Protothreads, Ben Artin

En la figura 17 se muestra como es incluye la librería Protothreads con el comando de la línea 1. En la línea 2 y 3 se declaran los Protothreads que se van a utilizar. En la línea 4 se incluye se llama a la función protothreadFuntion propia de la librería, de estructura estática con argumentos declarados de tipo entero. En la función principal del programa void setup, línea 7 se inicializa el puerto serial que se va a utilizar y en la línea 9 y 10 se inicializa los protothreads antes declarados. En *void Loop*, función cíclica del programa, en la línea 13 y 14 se llaman a las funciones esto nos permitirá ejecutar las dos funciones simultáneamente.

```

16 void funcion1(struct pt *pt)
17 {
18     PT_BEGIN(pt);
19     static long a = 0;
20     while (true) {
21         Serial.print("Algoritmos función 1");
22         a = millis();
23         PT_WAIT_WHILE(pt, millis() - a < 10);
24     }
25     PT_END(pt);
26 }
27 void funcion2(struct pt *pt)
28 {
29     PT_BEGIN(pt);
30     static long b = 0;
31     while (true) {
32         Serial.print("Algoritmos función 2");
33         b = millis();
34         PT_WAIT_WHILE(pt, millis() - b < 10);
35     }
36     PT_END(pt);
37 }

```

Figura 18: Código función protothreads declaración de funciones

Fuente: IDE Arduino – Protothreads, Ben Artin

En la figura 18 se muestra la configuración de las funciones, de tal manera que sean compatibles con la librería protothreads. En la línea 16 y 27 se muestra la declaración de las funciones en donde como argumentos de entrada tenemos los argumentos de salida de la función protothreads mostrada en la figura 8 en la línea 4. Para poder inicializar las funciones creadas se utiliza la instrucción mostrada en la línea 18 y 29, además es necesario crear una variable estática de tipo long (línea 22 y 30) que nos permitirá crear un tiempo de retardo en el programa (línea 23 y 34), espacio en donde la librería aprovecha para trasladarse a otras funciones y realizar sus operaciones. Para que todas las funciones creadas en el programa puedan funcionar simultáneamente, las funciones deben ser declaradas con una estructura compatible con los *Protothreads*, de lo contrario

si una función que no está con esta configuración está siendo ejecutada, todas la demás funciones se ejecutarán cuando esta termine su ciclo o condición de funcionamiento.

3.2.3. Diseño de algoritmo filtro FIR

Partiendo de la aplicación que se dará al filtro digital, que este caso es la de suavizar la señal analógica de entrada, se establece un filtro de media móvil no recursivo. A continuación, se establece la caracterización y el algoritmo del filtro a implementarse en el microcontrolador.

3.2.3.1. Caracterización de filtro media móvil no recursivo

Un filtro FIR de media móvil, también llamado filtro promediador se destaca por su linealidad en la fase, permitiendo que la señal de salida no tenga desplazamientos irregulares en el tiempo generando una señal de salida con un comportamiento más suave a perturbaciones y eliminando ruidos generados por el mismo sensor y el sistema.

La ecuación en diferencias de un filtro FIR, ecuación (xii), cuenta con la variable L, ésta determina la cantidad de muestras de entrada que son almacenadas para calcular el promedio. La variable x corresponde a un arreglo de datos de entrada en distintos momentos consecutivos en el tiempo, tanto como indique la variable L.

$$y(n) = \frac{1}{L} \sum_{k=0}^{L-1} X_{(n-k)} \quad (\text{xii})$$

Un filtro FIR de media móvil diseñado para promediar 6 muestras se representa con la siguiente ecuación en diferencias:

$$y(n) = \frac{1}{6} \sum_{k=0}^5 X_{(n-k)} = \frac{X_n + X_{n-1} + X_{n-2} + X_{n+3} + X_{n+4} + X_{n-5}}{6} \quad (\text{xiii})$$

3.2.3.2. Algoritmo de filtro FIR Media Móvil no recursivo

Partiendo de la ecuación en diferencias de un filtro FIR de media móvil no recursivo, ecuación (xiii), es necesario crear estructuras o arreglos que nos permitan almacenar diferentes datos de entrada en distintos instantes del tiempo, el tamaño de este arreglo dependerá de la variable L que nos indicara el número de muestras de entrada a promediar.

```
1 // Código filtro FIR media móvil
2 #include <Wire.h>
3 #include <Adafruit_ADS1015.h>
4 Adafruit_ADS1115 ads;
5 //declaración de numero de muestras/número de ventanas
6 int L = 6;
7 //declaracion de estados en el tiempo
8 float Xn = 0; // valor de señal en instante t-0
9 float Xn1 = 0; // valor de señal en instante t-1
10 float Xn2 = 0; // valor de señal en instante t-2
11 float Xn3 = 0; // valor de señal en instante t-3
12 float Xn4 = 0; // valor de señal en instante t-4
13 float Xn5 = 0; // valor de señal en instante t-5
14 //señal de salida
15 float Yn;
16 int aux;
17 void setup() {
18   Serial.begin(9600);
19   ads.begin();
20 }
21 void loop() {
22   //lectura de valor en instante t
23   aux = ads.readADC_SingleEnded(2);
24   float aux1 = float(aux);
25   Xn = ((aux1*4.096)/32767)*1000;
26   //ecuación en diferencias filtro media movil
27   Yn = (Xn+Xn1+Xn2+Xn3+Xn4+Xn5)/L;
28   Xn5 = Xn4;
29   Xn4 = Xn3;
30   Xn3 = Xn2;
31   Xn2 = Xn1;
32   Xn1 = Xn;
33   Serial.print(Xn); // señal sin filtrar
34   Serial.print(",");
35   Serial.println(Yn); // señal filtrada
36   delay(10);
37 }
```

Figura 19: Código Filtro de FIR Media Móvil L=6.

Fuente: Autor.

En la figura 19, se muestra un ejemplo de un algoritmo de un filtro FIR de media móvil para promediar entre 6 muestras diferentes en el tiempo, donde se declara la variable L correspondiente al número de muestras para el filtro (línea 6) como una variable de tipo flotante. En la siguiente sección se declara los estados en el tiempo X_n , X_{n-1} , X_{n-2} , X_{n-3} , X_{n-4} , X_{n-5} y se inicializan con un valor igual a 0 (línea 8, 9, 10, 11, 12 y 13). En la función loop se aplica la ecuación de diferencias del filtro de media móvil, primero se da lectura de la entrada en el instante t (línea 22 y 23), y posteriormente se aplica el filtro mediante la ecuación de diferencias del filtro (línea 27), y por último se almacena en memoria los estados actuales de las variables X_{n-k} en un estado posterior (línea 28, 29, 30, 31 y 32). En la línea 33 se envía en valor de entrada de la señal en el instante t y en la línea 35 envía el valor de la señal filtrada en el mismo instante t.

3.2.4. Diseño de algoritmo filtro IIR

Para diseñar un filtro FIR se establece su aplicación y la función que realizará el filtro digital. El comportamiento de este filtro en la señal analógica de entrada nos ayudará a suavizar la señal de salida por lo que se establece un filtro de media móvil recursivo. A continuación, se caracteriza el filtro y se definirá el algoritmo de este que se implementará en el microcontrolador.

3.2.4.1. Caracterización de filtro IIR media móvil recursivo

Un filtro IIR media móvil es un filtro recursivo que nos permite realizar un promedio entre datos de entrada y salida del filtro, este filtro es de menor orden que un filtro de media móvil no recursivo tanto en su numerador como en el denominador,

permitiéndonos un mejor comportamiento ante perturbaciones con menor número de datos debido a su retroalimentación y promedio con datos ya filtrados.

La ecuación en diferencias de un filtro IIR media móvil se destaca por el número de muestras que se va a promediar tanto para los datos de entrada como datos de salida del filtro y se caracteriza con la siguiente ecuación.

$$y(n) = \frac{1}{2M} \sum_{k=0}^{M-1} X_{(n-k)} + \frac{1}{2N} \sum_{k=0}^{N-1} Y_{(n-k)} \quad (\text{xiv})$$

Este filtro tiene el mismo orden tanto para la parte no recursiva como para la retroalimentada, esto quiere decir que hay el mismo número de elementos promediados de entrada que de salida correspondientes a las constantes M y N respectivamente. Un filtro IIR de media móvil de orden 2, que nos permita promediar 3 datos de entrada y 3 datos de salida se representa con la siguiente ecuación en diferencias.

$$y(n) = \frac{1}{6} \sum_{k=0}^2 X_{(n-k)} + \frac{1}{6} \sum_{k=0}^2 Y_{(n-k)} \quad (\text{xv})$$

$$y(n) = \frac{x_n + x_{n-1} + x_{n-2} + y_n + y_{n-1} + y_{n-2}}{6} \quad (\text{xvi})$$

3.2.4.2. Algoritmo de filtro IIR media móvil recursivo

Un filtro IIR es retroalimentado, lo que significa que almacena en memoria sus estados tanto como de la entrada y salida del filtro, partiendo de la ecuación en diferencias (iv) es necesario crear y declarar variables para el almacenamiento de datos de acuerdo con el

orden de la ecuación de diferencias del filtro diseñado. Relacionando el diagrama de un filtro IIR de la forma directa I, ver la figura 5 y la ecuación de un filtro de media móvil, ecuación (xv), nos indica que los coeficientes M y N son iguales debido a que el filtro realiza un promedio entre datos de entrada y salida, y su ecuación se reduce a una suma de datos de entrada y salida divididos para el número total de datos promediados, ecuación (xvi).

```
1 // Código filtro IIR media movil
2 #include <Wire.h>
3 #include <Adafruit_ADS1015.h>
4 Adafruit_ADS1115 ads;
5 //declaración de número de muestras a promediar
6 int M=3;
7 int N=3;
8 //declaración de estados de entradas en el tiempo
9 float Xn = 0; // valor de señal de entrada en instante t
10 float Xn1 = 0; // valor de señal de entrada en instante t-1
11 float Xn2 = 0; // valor de señal de entrada en instante t-2
12 //declaración de estados de salidas en el tiempo
13 float Yn = 0; // valor de señal de salida en instante t
14 float Yn1 = 0; // valor de señal de salida en instante t-1
15 float Yn2 = 0; // valor de señal de salida en instante t-2
16 int aux;
17 void setup() {
18   Serial.begin(9600);
19   ads.begin();
20 }
21 void loop() {
22   //lectura de valor en instante t
23   aux = ads.readADC_SingleEnded(2);
24   Xn = aux;
25   //ecuación en diferencias filtro media movil recursivo
26   Yn = (Xn+Xn1+Xn2+Yn+Yn1+Yn2)/M+N;
27   //Almacenamiento de estados de valor de entrada
28   Xn2 = Xn1;
29   Xn1 = Xn;
30   //Almacenamiento de estados de valor de salida
31   Yn2 = Yn1;
32   Yn1 = Yn;
33   Serial.print(Xn);
34   Serial.print(", ");
35   Serial.println(Yn);
36   delay(10);
37 }
```

Figura 20: Código Filtro IIR de Media Móvil.

Fuente: Autor.

En la figura 20, se muestra un algoritmo de un filtro de media móvil recursivo, el algoritmo consiste en declarar M y N que representan el número de muestras que se van a promediar tanto como para entrada y salida respectivamente (línea 6 y 7). En la siguiente sección se declaran los estados en el tiempo de la entrada (línea 9, 10 y 11) y los estados en el tiempo de la salida (línea 13, 14 y 15). En la línea 23 se hace la lectura de la señal de entrada en un instante t. En la línea 26 se aplica la ecuación en diferencias del filtro media móvil recursivo de orden 2, ecuación(xvi). Posteriormente se almacenan los datos de entrada y salida de un instante t en las variables de estado en instantes [t-1] y [t-2]. En la línea 33 se envía en valor de entrada de la señal en el instante t y en la línea 35 envía el valor de la señal filtrada en el mismo instante t.

3.2.5. Diseño de algoritmo filtro de Kalman

Para el diseño del filtro de Kalman se aplican ciertos parámetros definidos por su algoritmo, por lo que se deben establecer valores a las matrices que representar los espacios estados que intervienen en el comportamiento del filtro. A continuación, se realizará la caracterización del filtro y se establecerá el algoritmo de este para aplicarse en el microcontrolador.

3.2.5.1. Caracterización de filtro de Kalman

El filtro de Kalman es un sistema basado en la proyección de la señal de salida en base al cálculo y actualización de la covarianza y su ganancia cada vez que hay una nueva observación en la entrada y a su vez tiene una relación con sus valores de salida en instantes anteriores al cálculo, esto hace que este filtro sea un algoritmo recursivo.

Este filtro relaciona todos los posibles estados de un sistema dinámico, razón por la que hay que definir ciertos estados iniciales del sistema como es el ruido, covarianza, y una ganancia inicial para el filtro. Tanto como las matrices de transición de estados actual (At) y post (ATt) y las matrices de relación de observaciones actual (Ct) y post (CTt) que son invariantes en el tiempo y se representan en espacio de estados como una matriz identidad, y de forma escalar se representa como la unidad. El Sistema dinámico del modelo diseñado no tiene una señal de control por lo que la matriz de control inicial (Bt) y la matriz de control variante (Ut) son 0. Para el cálculo y actualización de la ganancia de Kalman es necesario establecer la covarianza del ruido de observaciones (Qt), este proceso se realiza a partir de un muestreo de datos en donde el sensor este en estado estacionario (sin perturbaciones). Y la matriz que representa la covarianza de ruido invariante en el tiempo (Rt), es una variable que se estima en base al desempeño del filtro.

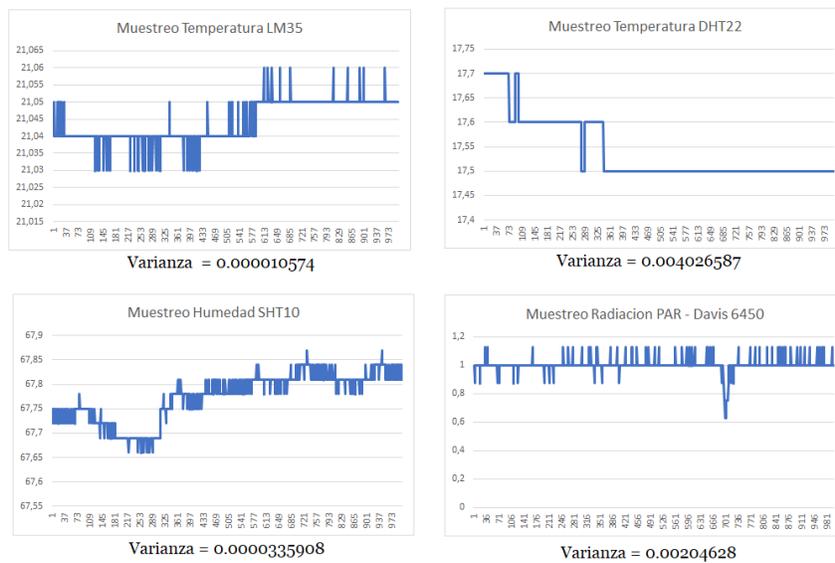


Figura 21: Varianza de Sensores.

Fuente: Autor.

De la figura 21, se realizó un muestreo de 1000 datos cada 100ms en estado estacionario (sin perturbaciones) con todos los sensores, esto nos permite calcular la varianza del ruido de las observaciones invariante en el tiempo (Q_t) de cada variable climática con su respectivo sensor.

Estableciendo el diseño del filtro de Kalman, definiendo sus distintas variables, el algoritmo de Kalman se reduce a las siguientes ecuaciones:

$$\bar{x}_t = x_{t-1} \quad (\text{xvii})$$

$$\bar{P}_t = P_{t-1} + R_t \quad (\text{xviii})$$

$$K_t = \bar{P}_t / (\bar{P}_t + Q_t) \quad (\text{xix})$$

$$x_t = \bar{x}_t + K_t * (z_t - \bar{x}_t) \quad (\text{xx})$$

$$P_t = (1 - K_t) * \bar{P}_t \quad (\text{xxi})$$

3.2.5.2. Algoritmo de Filtro de Kalman

El filtro de Kalman es un algoritmo que nos permite crear una proyección de los datos de entrada (observaciones), creando una relación en base a la covarianza de observaciones, covarianza del error y una señal de control. Este a su vez va calculando su ganancia y covarianza, actualizándose en cada lectura de observaciones y a partir de y almacenando el estado actual de la señal de salida y la covarianza proyectada y actualizada.

```

1 // Código filtro de Kalman
2 #include <Wire.h>
3 #include <Adafruit_ADS1015.h>
4 Adafruit_ADS1115 ads;
5 //declaración de variables de Kalman
6 float Xtp=0; //estado priori
7 float At=1; //relaciona el estado t-1 con t
8 float Xt1=0; //estado en t-1
9 float Bt=0; //señal de control, opcional
10 float Ut=0; //señal de control
11 float Ptp=0; //covarianza priori
12 float Pt1=0; //covarianza en t-1
13 float ATt=1; //relación en estado t-1
14 float Rt=0; //covarianza de ruido procesado
15 float Kt=0; //ganancia de Kalman
16 float CTt=1; //relación estado actual con observaciones en t-1
17 float Ct=1; //relación estado actual con observaciones
18 float Qt=0; //covarianza de ruido de observaciones
19 float Xt=0; //estado actual
20 float Zt=0; //observaciones de sensor
21 float Pt=0; //covarianza de error
22 void setup() {
23     Serial.begin(9600);
24     ads.begin();
25 }
26 void loop() {
27     //lectura de observaciones en instante t
28     Zt = ads.readADC_SingleEnded(2);
29     //etapa de predicción
30     Xtp = Xt1+Bt*Ut; //proyeccion de estado
31     Ptp = Pt1 + Rt; //proyeccion de covarianza del error
32     //etapa de actualización
33     Kt = Ptp / (Ptp + Qt); //cálculo de ganancia de Kalman
34     Xt = Xtp + Kt*(Zt - Xtp); //actualización del estado con la media
35     Pt = (1 - Kt)*Ptp; //actualización de covarianza del error
36     Xt1 = Xt; //almacenamiento de estado actual en t-1
37     Pt1 = Pt; //almacenamiento de covarianza actual en t-1
38     Serial.println(Zt);
39     Serial.println(Xt);
40     delay(500);
41 }

```

Figura 22: Código Filtro de Kalman.

Fuente: Autor.

De la figura 22, se declaran todas las variables que representan a los espacios estado que intervienen en el algoritmo de Kalman (líneas 6 a 21), en la línea 28 se da lectura de las observaciones en el instante t. En la línea 30 y 31 se aplica la etapa de predicción mediante la proyección del estado y de la covarianza del error. En la segunda etapa en la línea 33, 34 y 35 se calcula la ganancia de Kalman y se actualiza el estado y la covarianza del error y posteriormente en la línea 36 y 37 se almacena en memoria los estados actuales en un instante t-1.

3.3.Diseño de módulo de sensores

Para el desarrollo del proyecto se ha distribuido en dos secciones, la parte electrónica que constará de todos los componentes electrónicos, cableado, sensores y actuadores. Y la parte física externa que constará de una carcasa modelada 3d y un sistema de sujeción y anclaje.

3.3.1. Circuito electrónico

El circuito electrónico nos permitirá la conexión entre el microcontrolador y los sensores mediante borneras y conectores Rj11 de 4 pines, además la conexión de la LCD mediante un módulo I2C y la conexión de una batería de 9v. Para el encendido y apagado de utiliza un interruptor y para el control de visualización en pantalla se utiliza un pulsador. En la tabla 12 se muestra todos sus componentes electrónicos activos y pasivos.

Componente	Cantidad
Arduino Uno	1
Convertidor ADS1115S	1
Pantalla LCD 16x4	1
Sensor DHT22	1
Sensor SHT10	1
Sensor LM35	1
Sensor Davis	1
Interruptor	1
Pulsador	1
Diodo LED	1
Resistencia 220 ohm	1
Resistencia 10 Kohm	2
Batería 9v	1
Borneras 2 pines	6
Conectores RJ11	4

Tabla 12: Lista de componentes electrónicos.

Fuente: Autor.

3.3.1.1. Esquema electrónico con software Fritzing

Fritzing es un software que nos permite el desarrollo de esquemas electrónicos basándose en la representación gráfica de componentes comerciales como es Arduino y entre otros, esto nos facilita la integración de todos los componentes electrónicos activos y pasivos, permitiéndonos una representación gráfica de todo el sistema con todos sus componentes mostrados en el anexo 6.

3.3.1.2. Diseño PCB con software Proteus

Proteus es un software automatizado que nos permite la construcción de proyectos electrónicos en todas sus etapas como es el diseño del esquemático electrónico, programación de software, construcción de la placa de circuito impreso, simulación, depuración de errores y construcción.

El diseño del circuito electrónico se parte de la representación gráfica de la conexión de todos los componentes electrónicos mostrados en el anexo 6. El diseño de la placa PCB se muestra en la figura 23, esta placa se encarga de conectar el microcontrolador con todos los elementos electrónicos como sensores, convertidor y componentes pasivos, permitiéndonos la lectura de las señales de salida de los distintos sensores.

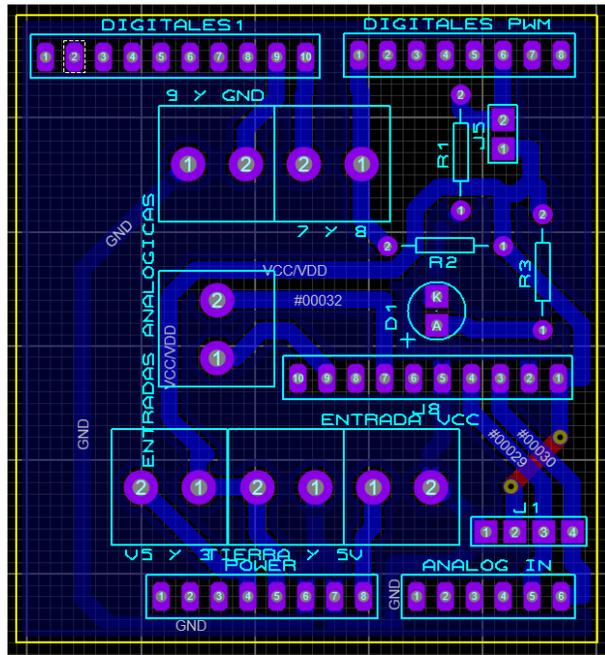


Figura 23: Diseño PCB de circuito electrónico.

Fuente: Autor

3.3.1.3. Construcción de circuito PCB

Partiendo del diseño PCB mostrado en la figura 23, y mediante un proceso de fresado CNC, se realiza la construcción y fabricación de la placa electrónica. Este proceso nos permite tener mayor precisión que los métodos convencionales para la realización de una placa PCB.

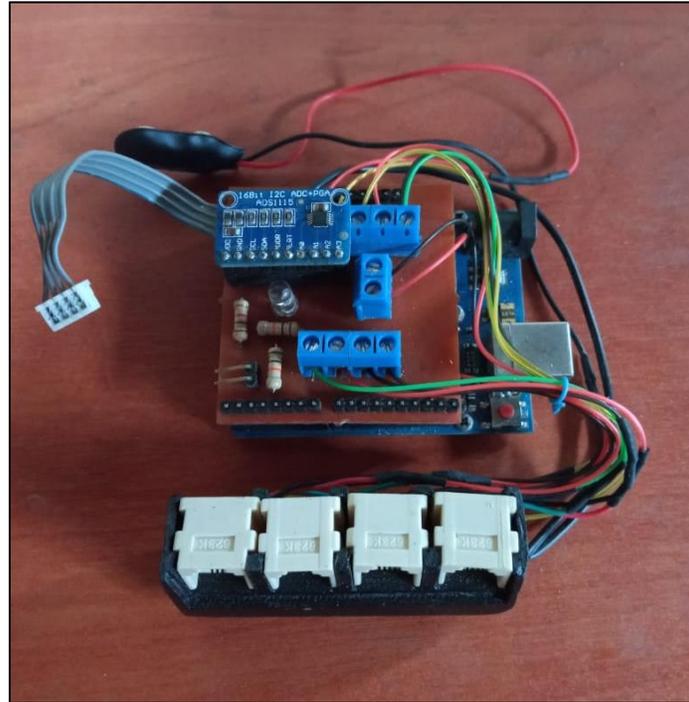


Figura 24: Circuito electrónico

Fuente: Autor.

En la figura 24 se muestra el circuito PCB terminado, este se encuentra conectado con el microcontrolador Arduino Uno, de sus borneras a terminales RJ11 para conexión con sensores, terminales para el convertidor ADC, terminal para interruptor *on/off*, terminal para pulsador de control de pantalla, conector para la pantalla LCD, conector de batería de 9V y el led indicador de encendido del dispositivo.

3.3.2. Diseño de modelo

Para que los componentes electrónicos estén protegidos ante las condiciones ambientales que se generan dentro de un invernadero necesitan estar aislados de ese entorno. El diseño y la construcción de una carcasa nos ayudará a proteger, organizar y compactar todos los componentes electrónicos que necesiten estar fuera de estas condiciones.

3.3.2.1. Diseño CAD/CAM de carcasa

En la figura 25 se muestra el diseño de la carcasa con un sistema de apertura, en su parte frontal exterior tiene una ranura para la pantalla LCD y otras para la ventilación esto nos permitirá que en el interior del dispositivo no se acumule calor el momento de someter el dispositivo a condiciones de clima dentro de un invernadero. Al costado derecho una ranura para conectar un cable USB que nos permitirá la conexión con un ordenador mediante el puerto serial. La parte interior consta de una tapa que protegerá el circuito principal y otra para la fijación de los conectores RJ11. En su parte inferior ranuras para el interruptor On/off, botón de control de pantalla y una ranura para el ingreso de cables de sensores. En su parte trasera superior e inferior tiene orificios para el sistema de sujeción y anclaje.

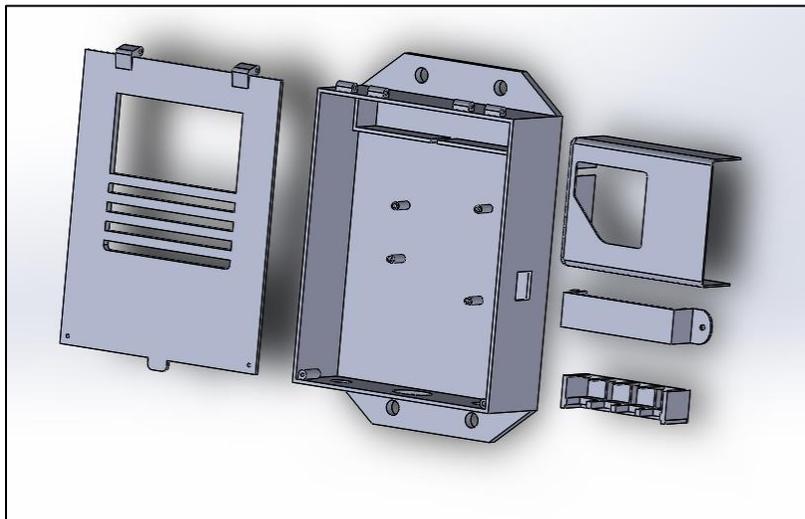


Figura 25: Diseño CAD carcasa.

Fuente: Autor

El sistema se someterá a condiciones ambientales de invernadero por lo que el diseño de carcasa mostrado en la figura 26 se construyó en material PLA mediante una impresora 3D FDM, y pintura de recubrimiento externo.

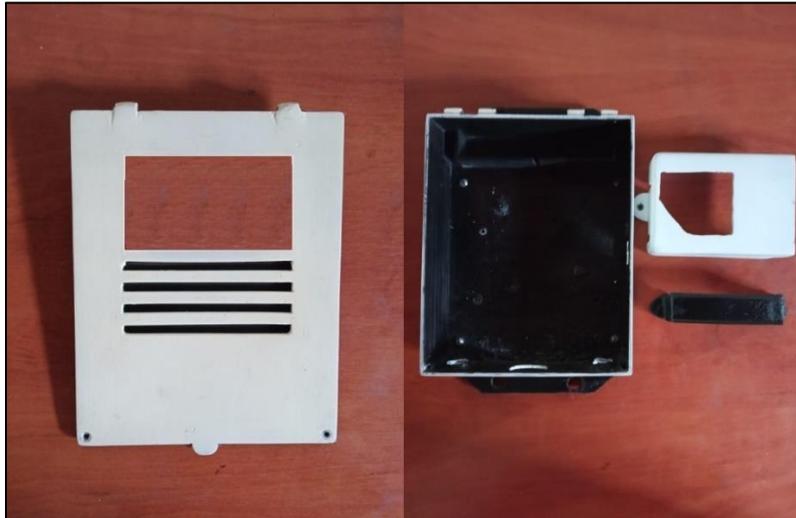


Figura 26: Carcasa Impresa en 3D

Fuente: Autor

3.3.3. Sistema de protección, sujeción y anclaje

Como se puede observar en la figura 27, El sistema consta de una visera para proteger el dispositivo de los rayos UV y de la lluvia en el caso de exponer el dispositivo a áreas no cubiertas, grilletes de acero inoxidable en dos puntos para anclarse en un tubo redondo de hasta 40 mm de diámetro y una soporte en ABS en la parte superior externa para la sujeción y fijación y nivelación de los sensores DHT22 y Davis 6450.



Figura 27: Prototipo Sistema Ensamblado.

Fuente: Autor

3.4. Diseño de sistema de comunicación

La utilización de varios módulos de sensores dentro de un área de cultivo nos permite tener un mayor control y manejo de las condiciones de microclima y un sistema de comunicación entre estos módulos es indispensable para recolectar toda la información climática dentro de un invernadero. En esta sección se plantea un protocolo de comunicación que nos permitirá transferir los datos recolectados por el microcontrolador. Para tener una red de sensores se necesita una sistema de comunicación entre un microcontrolador y un dispositivo que nos permita transferir datos hacia una red externa donde nos gestione toda la información recolectada. Entre los protocolos de comunicación con dispositivos Xbee que son de uso y software libre, la interconexión entre estos dos dispositivos es mediante un puerto serial. (Cárdenas, 2020)

3.4.1. Transmisión de Datos

La transmisión de datos mediante UART (*universal asynchronous receiver - transmitter*), este consiste en conectar dos dispositivos mediante dos líneas, la línea de salida se conoce como la señal de transmisor con sus siglas Tx, mientras la línea de entrada se denomina señal recibida con sus siglas Rx. La comunicación UART se denomina asíncrona, ya que no necesita una señal de reloj como el protocolo *two wire* o I2C (*inter-integrated circuit*), pero necesita que los dos dispositivos estén configurados para un mismo reloj y velocidad de transmisión específicos. Las velocidades de transmisión comunes son 300, 600, 1200, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 230400, 460800, 921600 baudios. Cuanto mayor sea la velocidad de reloj, más limitada será la distancia entre los dispositivos conectados.

```
1  #include <SoftwareSerial.h>
2  SoftwareSerial Xbee(5, 4);
3  void setup() {
4    Serial.begin(9600);
5    Xbee.begin(9600);
6    temp = 22; //centígrados
7    humd = 70; //%humedad relativa
8    lumd = 600; //lux
9  }
10 void loop() {
11   Serial.print(temp); Serial.print(", ");
12   Serial.print(humd); Serial.print(", ");
13   Serial.print(lumd); Serial.print(", ");
14 }
```

Figura 28: Código transmisión de datos

Fuente: IDE Arduino – SoftwareSerial, Arduino, Xbee

En la figura 28. En las líneas 4 y 5 se muestra la configuración del puerto serial (velocidad de reloj) tanto para el microcontrolador y el dispositivo de transmisión inalámbrica, esto nos permitirá enviar datos mediante el puerto serial UART del microcontrolador a una velocidad de 9600 baudios. En las líneas 11 – 13, se muestra la configuración de impresión de las variables climáticas en el puerto serial, cada dato está separado por una coma (“,”), permitiendo que el dispositivo de transmisión inalámbrica reconozca todos los datos por separado.

La transmisión de datos por un puerto serial nos permite la comunicación entre un dispositivo de transmisión inalámbrica, donde este se encarga de convertir los datos obtenidos recibidos al puerto serial, para la transmisión de datos estos dispositivos deben estar conectados en una misma red y usar la misma frecuencia de radio. En la comunicación inalámbrica estos módulos transmiten y reciben información a través de la modulación de las ondas electromagnéticas.

El modo de transmisión se debe realizar mediante un modo de operación transparente, que consiste en donde el dispositivo de transmisión de datos inalámbrico envíe los datos inmediatamente tal como este recibió por el puerto serial. Para la comunicación de varios módulos mediante este modo de operación de conectividad es necesario configura una dirección distinta para todos los elementos de la red, esto nos permitirá una recolección de información de varios módulos de sensores, con solamente enviar sus datos mediante un puerto serial configurado a la misma velocidad de transmisión. (Cárdenas, 2020)

17.60	63.90	17.28	79.88	0.03
17.60	63.90	17.28	79.88	0.03
17.60	63.90	17.28	79.87	0.03
17.60	63.90	17.28	79.87	0.03
17.60	63.90	17.28	79.87	0.03
17.60	63.90	17.28	79.87	0.03
17.60	63.90	17.28	79.87	0.03
17.60	63.90	17.28	79.87	0.03
17.60	63.90	17.28	79.87	0.03
17.60	63.80	17.29	79.87	0.03
17.60	63.80	17.29	79.76	0.03
17.60	63.80	17.29	79.75	0.03
17.60	63.80	17.29	79.75	0.03
17.60	63.80	17.29	79.75	0.03

Figura 29: Visualización de Datos en Puerto serial.

Fuente: Autor

En la figura 29, se muestran los datos enviados mediante un puerto serial con una velocidad de 9600 baudios. Indicándonos de izquierda a derecha los valores medidos de las diferentes variables climáticas correspondientes a temperatura de Aire en grados centígrados, humedad de aire en % de humedad relativa, temperatura de suelo en grados centígrados, humedad de suelo en % de humedad relativa y radiación fotosintéticamente activa en W/m².

Capítulo 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1.Implementación

Esta sección consiste en realizar el análisis del sistema completo. Inicialmente se realiza el análisis de las señales analógicas ante perturbaciones, permitiéndonos observar posteriormente el comportamiento de los diferentes filtros diseñados y seleccionar el algoritmo del filtro con mejor desempeño.

4.1.1. Análisis de señales Analógicas

Los sensores DHT22 y SHT10 poseen un convertidor Analógico Digital y una etapa de acondicionamiento de señal, etapa que nos permite que la señal de salida digital de estos sensores no tenga ruido generado en la entrada del sensor.

Los sensores LM35 y Davis 6450 son sensores analógicos que nos entregan señales analógicas expresadas en valores de tensión (mV) y mediante una relación de tensión y magnitudes físicas proporcionadas por los fabricantes de los sensores, estas se convierten en datos expresados de temperatura y radiación PAR.

Para el muestreo de datos se realiza la conexión de un PC mediante un puerto USB al módulo de sensores, esto nos permite visualizar todos los datos de salida del microcontrolador que nos representan las diferentes variables climáticas del sistema. La conexión entre el ordenador y el microcontrolador se indica en el anexo 7.

En la figura 31 se muestran las señales de salida de los sensor Lm35 y sensor Davis 6450, en el inciso (a) se identifica la señal de salida del sensor Lm35 convertida a valores de temperatura expresada en grados centígrados. En el inciso (b) se observa la señal de salida del sensor Davis 6450 convertida a valores expresados en W/m2 correspondientes a la radiación PAR.

Para el muestreo de datos indicados en la figura 30, los sensores Lm35 y Davis 6450 son sometidos a perturbaciones, de donde se puede observar que la señal no es suave a los cambios brusco y se presentan como picos bien pronunciados, evidenciando que las señales necesitan una etapa de acondicionamiento.

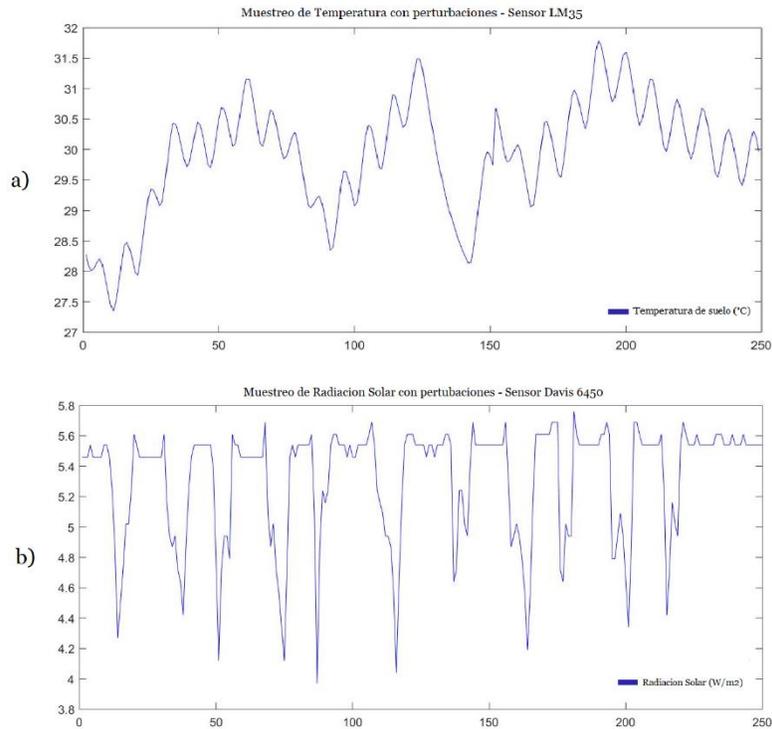


Figura 30: Muestreo de Señales Analógicas con perturbaciones

Fuente: Autor

4.1.1.1. Aplicación de Filtros digitales

En la figura 31, se muestra la gráfica de los datos muestreados del sensor Lm35, la línea de color verde representa la señal de salida pura del sensor con perturbaciones. Las líneas de color roja, magenta y negra representan las señales filtradas correspondientes a los filtros FIR media móvil, IIR media móvil y Kalman respectivamente.

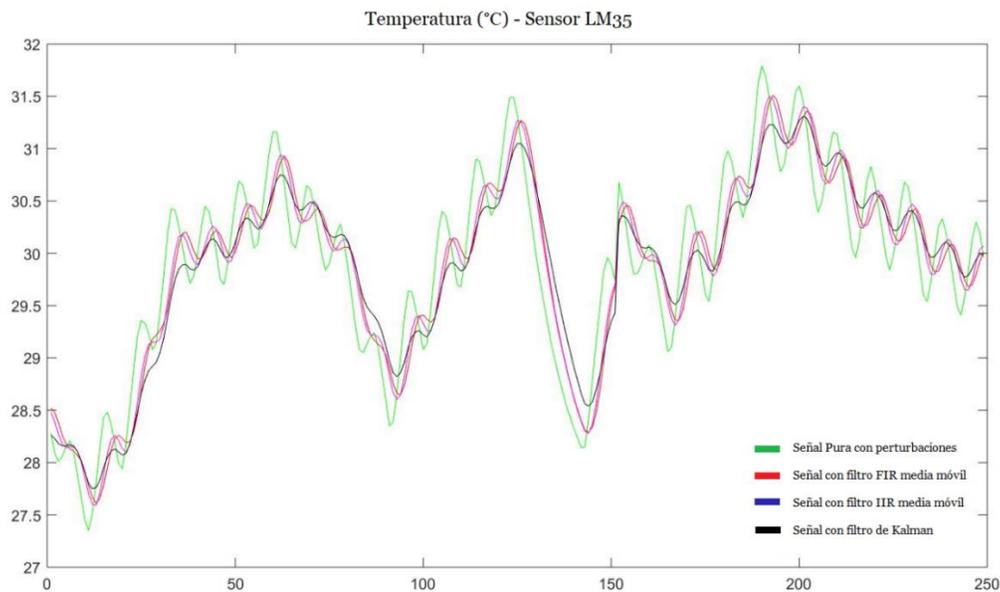


Figura 31: Señales de sensor Lm35 aplicada filtros digitales

Fuente: Autor

En la figura 32, se muestra la gráfica de los datos muestreados del sensor Davis 6450, la línea de color verde representa la señal de salida pura del sensor con perturbaciones. Las líneas de color roja, magenta y negra representan las señales filtradas correspondientes a los filtros FIR, IIR y Kalman respectivamente.

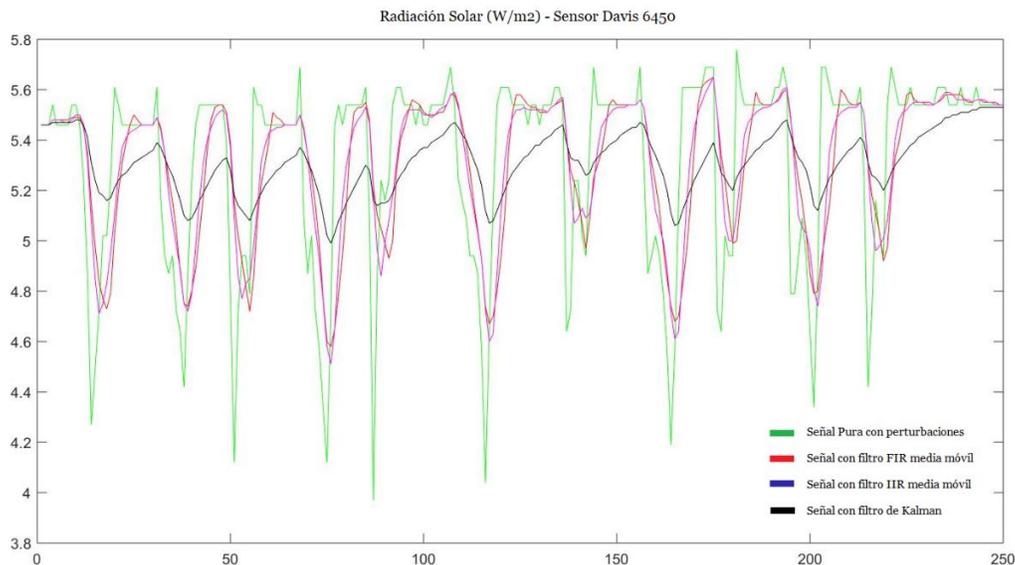


Figura 32: Señales de sensor Davis 6450 aplicada filtros digitales

Fuente: Autor

En el caso de las gráficas mostradas, las señales aplicadas el filtro FIR de media móvil nos presentan picos cuando los cambios son extremadamente bruscos, las señales aplicadas el filtro IIR continúan presentando picos muy evidentes, aunque el orden de este filtro es menor que el filtro FIR su comportamiento es similar. Sin embargo, el filtro de Kalman nos muestra que la señal tiene un mejor desempeño en relación con los otros filtros, indicando que el filtro se proyecta a los cambios bruscos al no generar picos pronunciados, esto nos evidencia claramente que el algoritmo de Kalman es capaz de recuperar la señal y nos entrega una señal más suave y proyectada al comportamiento del sistema.

La adquisición de datos del módulo de sensores se realiza cada 100ms, esto nos permite monitorear en tiempo real el comportamiento de las variables climáticas establecidas en este proyecto. El comportamiento del clima dentro de un invernadero es lento y dentro

del mismo no se generan cambios agresivos, sin embargo, el sistema diseñado se proyecta al comportamiento en ciertas horas del día dentro del invernadero, donde el sensor lm35 está expuesto al contacto directo con el agua en la tierra, momento dónde se generan las alteraciones hasta que toda el área alrededor del sensor tenga homogeneidad en su temperatura. Y en el caso del sensor Davis 6450, la radiación solar es medida perpendicularmente, y las alteraciones se generan al existir nubes u otro fenómeno que intervenga con la proyección de la radiación solar comprendida entre los 0,4 y 0,7 μm . El comportamiento de las señales aplicando el filtro de Kalman se acoplan adecuadamente al sistema ya que nos proyecta incluso cambios drásticos en el sistema y nos indican en pantalla y en el puerto serial configurado un valor de medida estable y fijo.

4.1.2. Instalación de sistema

En la figura 33 se muestra una representación del sistema instalado mediante el sistema de anclaje. Para los sensores DHT22 y Davis se utiliza un sistema de fijación por encima del módulo. En el caso de los sensores LM35 y SHT10, su fijación en el suelo es mediante un conducto hueco de $\frac{1}{4}$ de pulgada con una profundidad de 1 metro bajo el suelo. Esta fijación de los sensores nos permite tener a cada uno de ellos en contacto directo con la superficie o área en la que se realiza las mediciones de sus respectivas variables climáticas.

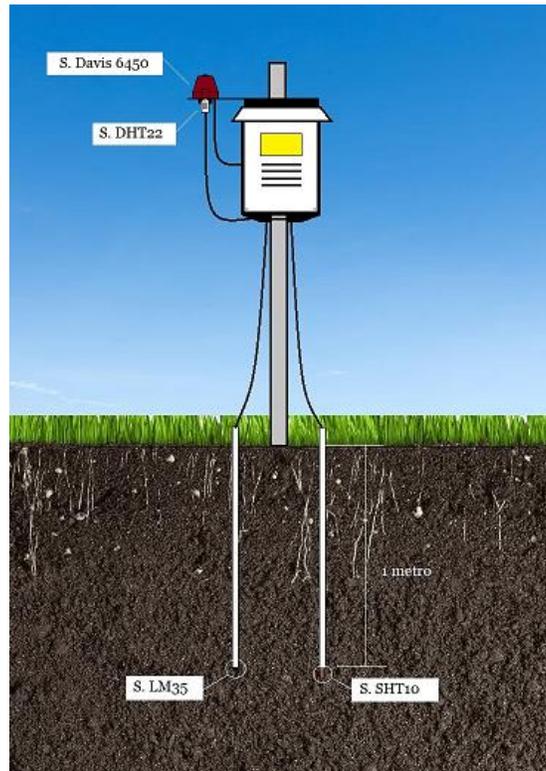


Figura 33: Módulo de sensores instalado.

Fuente: Autor

4.1.3. Instalación en invernadero

El dispositivo se instaló en un invernadero que realiza la producción y cultivo de tomate, el invernadero tiene unas dimensiones de 25 x 16 m, este tiene un sistema de cubierta de plástico translúcido y una estructura de madera. Véase en la figura 24. Además, tiene un sistema de riego manual que se realiza cada 8 horas mediante un sistema de tuberías instalado dentro del invernadero. El dispositivo se debe localizar en el interior del invernadero en el centro de este, por lo que es necesario instalar en un principio los diferentes componentes para el sistema de anclaje del módulo de sensores como se indica en el anexo 7.



Figura 34: Módulo de sensores Instalado en Invernadero

Fuente: Autor

4.2.Resultados

Esta sección consiste en la validación de los datos del sistema instalado en un invernadero, el proceso consiste en la adquisición de datos de las variables climáticas y posteriormente comparar dichos resultados con dispositivos comerciales, esto nos permitirá evidenciar que los resultados del sistema sometido a condiciones reales de funcionamiento son confiables y precisas.

4.2.1. Visualización de Datos

Mediante la utilización de la librería LiquidCrystal_I2C mostrada en la figura 16, se puede visualizar los datos de las variables climáticas en una pantalla LCD en tiempo real. La impresión de datos en pantalla consiste en 3 páginas que cambiarán mediante un pulsador como se muestran a continuación.



Figura 35: Visualización de Temperatura y humedad relativa de Ambiente

Fuente: Autor

En la figura 35, se puede observar la página 1 de la pantalla que muestra la temperatura del Ambiente en grados centígrados y la humedad de ambiente en %RH.



Figura 36: Visualización de Temperatura y Humedad de suelo

Fuente: Autor

En la figura 36, se puede observar la página 2 de visualización de datos, esta nos indica los valores de temperatura de suelo en grados centígrados y la humedad de suelo en %RH.



Figura 37: Visualización de Radiación Fotosintéticamente Activa

Fuente: Autor

En la figura 37, se muestra la visualización en pantalla de los datos correspondiente a la radiación fotosintéticamente activa (PAR) en W/m² y MJ/m²/día.

4.2.2. Validación de datos

Para la validación de datos se obtuvo un muestreo de 10 datos de las variables climáticas mostradas en pantalla y de diferentes sensores comerciales cada 10 minutos, lo que nos permitirá crear una tabla de datos comparando los diferentes resultados de los distintos sensores.

4.2.2.1. Muestreo de sensores de Temperatura

En la tabla 13, se puede observar la lectura de temperatura de Ambiente utilizando el sensor DTH22 del módulo de sensores aplicando el filtro de Kalman, una Termocupla

W1209 y un sensor de temperatura digital Ta318. En esta tabla se puede observar que el sensor DHT22 tiene una variación promedio de 0,21°C con respecto al sensor W1209 y una variación promedio de 0,16°C con respecto al sensor digital Ta318.

Muestra	Temperatura de Ambiente [°C]			Variación en °C	
	DHT22	W1209	Ta318	W1209	Ta318
1	15,3	15,6	15,5	-0,3	-0,2
2	16,8	16,5	16,5	0,3	0,3
3	17,2	17	17	0,2	0,2
4	17,6	17,3	17,5	0,3	0,1
5	19,4	19,2	19,5	0,2	-0,1
6	18,6	18,7	18,5	-0,1	0,1
7	22,1	22,1	22	0	0,1
8	21,3	21,2	21	0,1	0,3
9	19,9	20,2	20	-0,3	-0,1
10	20,1	20,4	20	-0,3	0,1
Variación Promedio				0,21	0,16

Tabla 13: Muestreo de temperatura de Aire.

Fuente: Autor

De la tabla 13, se obtiene que el sensor DHT22 tiene una variación promedio del 1,17% con respecto a la termocupla W1209 y el 0,88% con respecto al sensor digital Ta318. Estos valores porcentuales representan una mínima variación de los datos obtenidos por el sensor DHT22, evidenciando que el monitoreo de temperatura de ambiente del módulo de sensores diseñado en este proyecto entrega datos confiables y seguros.

4.2.2.2. Muestreo de datos de Radiación PAR

Para la validación de los datos de radiación solar se utilizó una base de datos mostrados en la tabla 14, esta contiene 10 muestras de distintos sensores cada 30 minutos. Los

sensores utilizados son el sensor Davis 6450, sensor solar de estación meteorológica Vantage Pro2 y piranómetro SR01.

Muestra	Radiación PAR [W/m2]			Variación en W/m2	
	Davis 6450	Vantage PRO2	SR10	Vantage PRO2	SR10
1	394	390	402	4	-8
2	335	349	339	-14	-4
3	984	995	987	-11	-3
4	830	843	841	-13	-11
5	877	864	871	13	6
6	765	771	769	-6	-4
7	1026	1018	1024	8	2
8	1070	1067	1072	3	-2
9	954	938	951	16	3
10	884	870	878	14	6
Variación Promedio				10,2	4,9

Tabla 14: Datos de Radiación Solar global

Fuente: Autor

Comparando los resultados obtenidos utilizando el sensor Davis 6450 aplicado el filtro de Kalman no presenta una variación promedio de 10,2 W/m2 con respecto al sensor de radiación PAR del Sistema meteorológico Vantage PRO2 y 4,9 W/m2 con respecto al piranómetro SR01. Estos valores representan una variación del 1,43% y 0,74% respectivamente, estos valores nos permiten evidenciar que los datos obtenidos por el sensor Davis 6450 del módulo de sensores diseñado en este proyecto nos entregan lecturas de radiación fotosintéticamente activa muy aproximadas a la estación Vantage PRO2 y al piranómetro SR01, demostrando que los datos de PAR obtenidos por el módulo de sensores son confiables y precisos.

4.2.3. Adquisición de datos

Para el muestreo de datos dentro de un invernadero se estableció la adquisición de información de las distintas variables climáticas cada 30 minutos durante 8 horas y media, dentro de este tiempo el sistema de riego es activado una sola vez a las 14h00 por 30 minutos. Propuesto así, las siguientes gráficas nos permitirán observar el comportamiento del sistema a condiciones reales de funcionamiento.

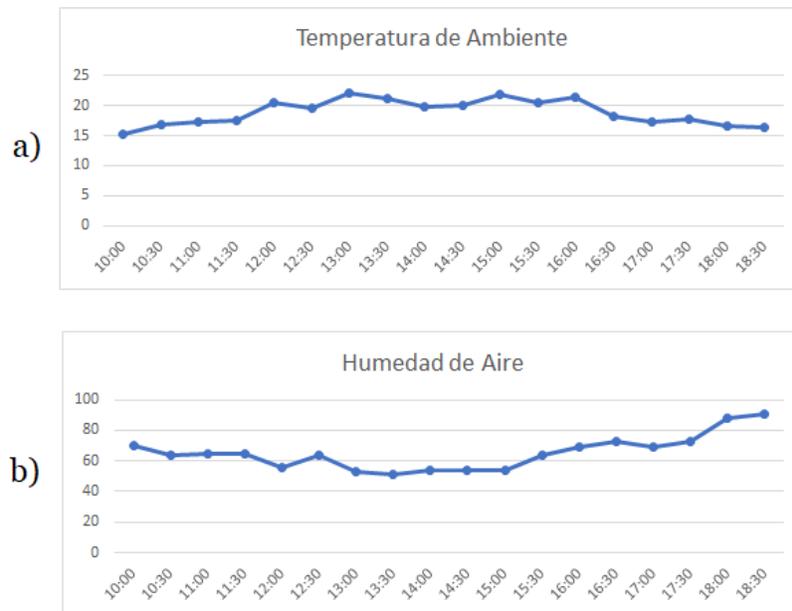


Figura 38: Datos de temperatura y humedad de Ambiente en Invernadero

Fuente: Autor

En la figura 38 se muestran los datos obtenidos por el sensor DHT22. La gráfica (a) muestra los datos de temperatura de ambiente expresados en grados centígrados y la gráfica (b) muestran los datos de humedad de ambiente expresados en % de humedad relativa.

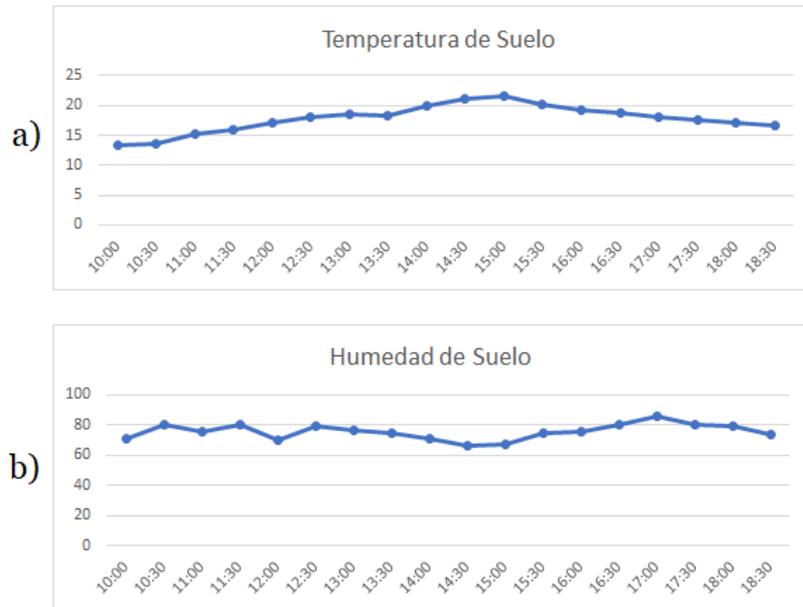


Figura 39: Datos de Temperatura y humedad de suelo en Invernadero

Fuente: Autor

En la figura 39 la gráfica (a) nos indica la temperatura del suelo expresado en grados centígrados obtenidos por el sensor Lm35 y la gráfica (b) nos muestra la humedad del suelo expresado en % de humedad relativa, datos adquiridos por el sensor SHT10.

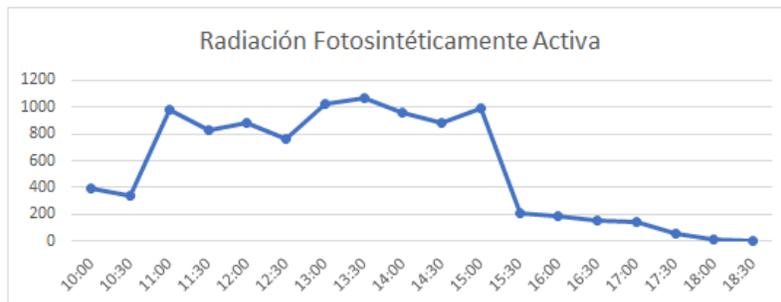


Figura 40: Datos de Radiación PAR en invernadero

Fuente: Autor

En la figura 40 se muestran los datos obtenidos por el sensor Davis 6450 indicando la cantidad de radiación fotosintéticamente activa (PAR) que hay dentro del invernadero, estos datos están expresados en W/m². Como se puede observar la cantidad de radiación PAR al transcurrir el día va cambiando a medida que esta es más perpendicular al sensor. Sin embargo, mediante la presencia de nubes a ciertas horas del día se presentan como un obstáculo para la transferencia de radiación fotosintéticamente activa como se muestra en la gráfica.

De acuerdo con los datos obtenidos de las variables climáticas se puede observar los cambios que se generan dentro del invernadero, a medida que la radiación solar va aumentando y disminuyendo al transcurrir el día se puede evidenciar que las temperatura y humedad del ambiente y suelo cambian en proporción al calor generado dentro del invernadero. En el caso de la humedad y temperatura del suelo, cuando se activa el sistema de riego se puede observar que la humedad aumenta y su temperatura disminuye debido a la cantidad de agua que se aplica manteniéndose a temperatura ambiente comprendida entre los 16 °C y 20 °C. Al transcurrir una hora aproximadamente se puede observar que el efecto del suelo húmedo y la temperatura del ambiente comienza a evaporar el agua generando más humedad y manteniendo una humedad relativa entre el 60% y 90%, idónea para un cultivo.

Capítulo 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.CONCLUSIONES

- El sistema de adquisición de variables climáticas mediante la utilización de hardware y software libre permitió desarrollar la programación de comunicación del microcontrolador y los distintos sensores, obteniendo como resultado el monitoreo de las variables climáticas seleccionadas que actúan dentro del proceso de cultivo.
- Una vez determinado los requerimientos del sistema y analizando los rangos de operación e incidencia de las variables climáticas en cultivos, se seleccionó la temperatura de suelo, temperatura de ambiente, humedad de suelo, humedad de ambiente y cantidad de radiación solar como variables de estudio para el módulo de sensores.
- Partiendo de un diseño conceptual y el seleccionamiento de los diferentes componentes electrónicos en base a requerimientos del sistema, se diseñó un sistema capaz de adquirir señales analógicas y digitales con los distintos sensores para posteriormente ser procesadas y acondicionadas por el microcontrolador.
- Mediante las pruebas de los distintos filtros digitales convertidas en algoritmos de programación se estableció que el filtro de Kalman tiene un mejor desempeño al tener características más suaves y proyectadas al sistema.

- El modelo 3D creado para el ensamblaje de la parte electrónica de este proyecto nos permitió someter el dispositivo a condiciones reales de funcionamiento protegiendo el sistema de rayos UV, lluvia y humedad a las placas electrónicas, además permitiendo al operador del sistema visualizar los datos en pantalla cuando sean requeridos.
- El módulo de sensores con los requerimientos establecidos para el desarrollo de este proyecto, sometido a condiciones reales de funcionamiento nos permitió evidenciar el comportamiento de un invernadero en tiempo real, indicándonos como las distintas variables climáticas monitoreadas actúan y tiene relación dentro del proceso de cultivo de un invernadero.

5.2.RECOMENDACIONES

- Mediante los datos adquiridos por el sistema y enviados por el puerto serial, acoplar al módulo un sistema de transmisión de datos, para poder generar una red de sensores inalámbricos (WSN) y poder tener una base de datos online para el control de variables climáticas a larga distancia.
- A partir de los datos enviados por el puerto serial, realizar un análisis y estudio de las diferentes variables climáticas para obtener un modelo matemático sobre el comportamiento de las variables y desarrollar un sistema de control para invernaderos completamente autónomo.

Bibliografía

- Barroso García, A. (Junio 2015). Control Y Monitorización De Un Invernadero A Través De Una Aplicación Móvil. *Departamento De Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Automatización y Física Aplicada, Escuela Técnica Superior De Ingeniería y Diseño Industrial, Universidad Politécnica De Madrid.*
- Calderón Castillo, W. E. (03 de Julio de 2014). *Diseño E Implementación De Un Sistema Genérico De Monitoreo Usando Redes De Sensores Inalámbricos Con El Protocolo 6lowpan.* Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/54847/1032428362.2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cárdenas, J. (2020). Sistema De Adquisición De Variables Climáticas Para Invernaderos: Manejo De Datos. *Facultad De Ingeniería En Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica Del Norte.*
- Carozama, G. B. (2018). *Scada Para Invernadero Sobre Software Libre.* Ibarra, Ecuador: Universida Teécnica Del Norte.
- Castañeda, J., M, N., & Ortiz, V. (01 de Abril de 2013). Análisis y Aplicación De Filtro De Kalman A Una Señal Con Ruido Aleatorio. Pereira, Colombia.
- Díaz, F., & Berengel, M. (Noviembre de 2002). *Modelado Y Control Jerárquico De Crecimiento De Cultivos En Invernadero.* Obtenido de <https://www.semanticscholar.org/paper/Modelado-y-control-jerarqu%C3%ADcode-crecimiento-de-en-D%C3%ADaz-Soria/776419ae8f8d77d08f809bc11e630b3a518bf194>
- Dorado, J., & Ruíz, J. F. (2013). Implementación De Filtros De Kalman Con Método De Ajuste A Los Modelos De Pronóstico (GFS) De Temperaturas Máximas y Mínimas Aara Algunas Ciudades De Colombia. *Grupo de Modelamiento de Tiempo y Clima, Subdirección De Metereología, IDEAM.*
- Dr. Ing. Agr. Martínez, J. P., Ing. Agr. Farías, K., & Ing. Civil Agri. Ruiz, R. (2020). Impotancia Del Control De Variables Ambientales En Invernaderos Para La Producción De Hortalizas. *Instituto De Investigación Agropecuarias, Informativo N-36.*
- Esqueda Elizondo, J. J. (Septiembre de 2016). Obtención De Valor Final Confiable De Variables Electroquímicas De Uso Marino Por Medio De Filtrado Digital. *Autonomous University Of Baja California.* Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/308893113>
- Félix, J., Gutiérrez, A., Mata, W., & González, A. (2012). *Arquitectura Embebida de Tiempo Real Para Sistemas Dómoticos.* Colima, México: Universidad de Colima.
- García, E., & Flego, F. (s.f.). *Agricultura De Precisión.* Buenos Aires, Argentina: Facultad de Ingeniería, Universidad de Palermo.
- Gómez, A., Velásquez, F., & Msc. Jiménez, A. (Octubre 2016). *Agricultura De Precisión Y Sensores Multiespectrales Aerotransportados.* Colombia.

- Guardiola, C., Hoyas, S., Pla, B., & Blanco-Rodríguez, D. (2015). Solución Analítica De Un Filtro De Kalman Estacionario Para La Observación De Deriva En Modelos De Emisión De NOx En Motores Diesel De Automoción. *ScienceDirect*, 230-238.
- Gutiñas Rodríguez, M. E. (Enero 2009). Influencia de la temperatura y de la humedad En La Dinámica De La Materia Organica De Los Suelos De Galicia Y Su Relación Con El Cambio Clímatico. *Instituto De Investigaciones Agrobiológicas De Galicia, Departamento De Bioquímica Del Suelo*.
- Hernanz, M. A. (2014). Sistema De Gestión De Invernadero Automatizado Con Arduino. *Ingeniería Técnica En Informática De Gestión, Universidad De Valladolid*.
Obtenido de <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/5863>
- Ibarra Daza, L. M. (2012). *Diseño E Implementación De Un Sistema De Adquisición De Datos Con Sensores Y Comunicación Mediante Protocolo Zigbee y MySQL, Para Un Cultivo De Tomate En Boyacá*. Bogota, Colombia: Universidad Santo Tomás De Anquino.
- Introducción A Los Filtros Digitales*. (s.f.). Obtenido de <https://www.eumus.edu.uy/emc/ensenanza/electivas/dsp/presentaciones/clase10.pdf>
- Kasaiah, M., & Babulu, K. (2017). *Comparative Performance Analysis Of FIR or IIR Filters Based On Error Correction Codes*. Kakinada, India: International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES).
- Khorbotly, S., & Hassan, F. (11 de Marzo de 2013). Hardware Friendly Schemes to Implement Exponential Linear Phase FIR Filters. Ada, Ohio, USA.
- López, A. J., & Benavides, C. (2014). Respuesta Térmica Del Invernadero De La Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 121-132. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43730495012>
- Lorenzo, P. (Julio de 2012). *El Cultivo En Invernadero Y Su Relación Con El Clima*. Obtenido de <http://www.publicacionescajamar.es/pdf/publicaciones-periodicas/cuadernos-de-estudios-agroalimentarios-cea/3/3-536.pdf>
- M.C. Santillán, G., & Dr. Campos, D. (Enero 2016). Prácticas De Laboratorio Con Arduino Due. *Facultada De Ciencias, Universidad Autónoma De San Luis Potosí*.
- Mamani, M., Villalobos, M., & Herrera, R. (31 de Mayo de 2017). Sistema Web De Bajo Costo Para Monitorear Y Controlar Un Invernadero Agrícola. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 599-618.
- María. Caiza, G., & Liliana. Camuendo, M. (2011). *Diseño e implementación de un sistema de control de temperatura en los invernaderos de los microempresarios floricultores de la asociación camino a la Esperanza de la comuna jurídica de Patután, Parroquia Eloy Alfaro, Cantón Latacunga*. Latacunga.
- Miqdad, A., Kadir, K., & Ahmed, S. (30 de Noviembre de 2017). Development of Data Acquisition System for Temperature and Humidity Monitoring Scheme. Gombak, Selangor Derul Ehsan, Malaysia.
- Muñoz, F. (2009). Importancia Del Agua En La Nutrición De Los Cultivos. *Cenicaña*, 16-18.

- Ossa Duque, S. I. (2017). Monitoreo Y Control De Variables Ambientales Mediante Una Red Inalámbrica Para Agricultura De Precisión En Invernaderos. *Vector*, 51-60.
- Perdigones, A., Peralta, I., Nolasco, J., Muñoz, M. A., & Pascual, V. (Septiembre 2004). Sensores Para Control Climático En Invernadero. *Dpto. Ingeniería Rural & Dpto Producción Vegetal: Filotecnia. UPM*, 44-49.
- Proakis, J. G., & Manolakis. (Cuarta Edición). *Tratamiento Digital De Señales*. Madrid, España: Pearson, Prentice Hall.
- Raymundo, F. R. (2008). Estimación De La Respuesta De Un Sensor De Temperatura a Usarse En La Carga Util Del Cohete Sonda Peruano Mediante El Filtro De Kalman Usando Lógica Reconfigurable. *Facultad De Ingeniería, Escuela Profesional De Ingeniería Electrónica, Universidad Ricardo Palma*.
- Righini, R., & Grossi Gallegos, H. (2005). Análisis De La Correlación Entre La Radiación Fotosintéticamente Activa Y La Radiación Solar Global En San Miguel, Provincia De Buenos Aires. *GERSolar, División Física, Departamento Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján*.
- Rodríguez, F. (Noviembre de 2002). Modelado y Control Jerárquico De Crecimiento De Cultivos En Invernadero. Almería, España.
- Ruiz Palacios, F. O. (11 de Mayo de 2010). *Identificación De Un Modelo Del Clima En Un Invernadero Mediante Métodos Por Sub-Espacios*. Obtenido de [Http://Www.Scielo.Org.Co/Pdf/Iei/V30n2/V30n2a](http://Www.Scielo.Org.Co/Pdf/Iei/V30n2/V30n2a)
- Sánchez, T. J. (Agosto de 2016). Sistema De Monitoreo Agrícola Con Tecnología Inalámbrica Y Generación De Alertas Para La Prevención De Temprana De Plagas Y Enfermedades En El Cultivo De Papa En La Parroquia Quimiag Del Cantón Riobamba De La Provincia De Chimborazo. *Electrónica E Industrial, Facultada De Ingeniería En Sistemas, Universidad Técnica De Ambato*.
- Shaxson, F., & Barber, R. (2005). Optimización De La Humedad Del Suelo Para La Producción Vegetal. *Organización De Las Naciones Unidas Para La Agricultura Y La Alimentación*.
- Urbano Molano, F. A. (2013). Redes De Sensores Inalámbricos Aplicadas A Optimización En Agricultura De Precisión Para Cultivos De Café En Colombia. *Journal De Ciencias E Ingeniería*, Vol. 5, Pp. 46-52.
- Velázquez, J. (22 de Mayo de 2017). *Incrementos En La Adquisición De Datos Y La Horticultura De Precisión*. Obtenido de <https://www.hortalizas.com/proteccion-de-cultivos/62346/>

Anexo 1

參考資料

AOSONG

Temperature and humidity module

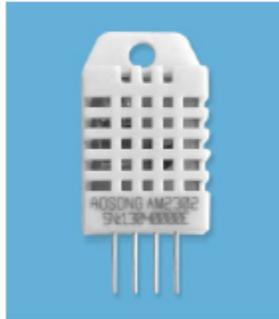
AM2302 Product Manual



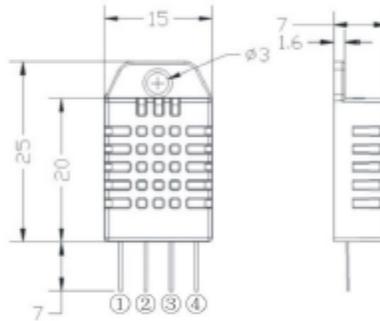
www.aosong.com

1、 Product Overview

AM2302 capacitive humidity sensing digital temperature and humidity module is one that contains the compound has been calibrated digital signal output of the temperature and humidity sensors. Application of a dedicated digital modules collection technology and the temperature and humidity sensing technology, to ensure that the product has high reliability and excellent long-term stability. The sensor includes a capacitive sensor wet components and a high-precision temperature measurement devices, and connected with a high-performance 8-bit microcontroller. The product has excellent quality, fast response, strong anti-jamming capability, and high cost. Each sensor is extremely accurate humidity calibration chamber calibration. The form of procedures, the calibration coefficients stored in the microcontroller, the sensor within the processing of the heartbeat to call these calibration coefficients. Standard single-bus interface, system integration quick and easy. Small size, low power consumption, signal transmission distance up to 20 meters, making it the best choice of all kinds of applications and even the most demanding applications. Products for the 3-lead (single-bus interface) connection convenience. Special packages according to user needs.



Physical map



Dimensions (unit: mm)

2、 Applications

HVAC, dehumidifier, testing and inspection equipment, consumer goods, automotive, automatic control, data loggers, home appliances, humidity regulator, medical, weather stations, and other humidity measurement and control and so on.

3、 Features

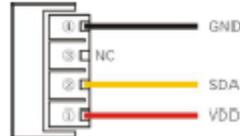
Ultra-low power, the transmission distance, fully automated calibration, the use of capacitive humidity sensor, completely interchangeable, standard digital single-bus output, excellent long-term stability, high accuracy temperature measurement devices.

4、The definition of single-bus interface

4.1 AM2302 Pin assignments

Table 1: AM2302 Pin assignments

Pin	Name	Description
①	VDD	Power (3.3V~5.5V)
②	SDA	Serial data, bidirectional port
③	NC	Empty
④	GND	Ground



PIC1: AM2302 Pin Assignment

4.2 Power supply pins (VDD GND)

AM2302 supply voltage range 3.3V – 5.5V, recommended supply voltage is 5V.

4.3 Serial data (SDA)

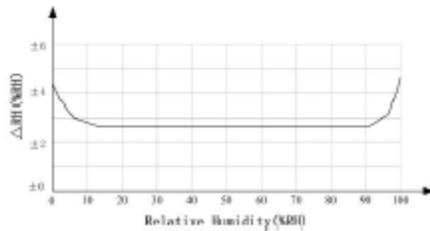
SDA pin is tri structure for reading, writing sensor data. Specific communication timing, see the detailed description of the communication protocol.

5、Sensor performance

5.1 Relative humidity

Table 2: AM2302 Relative humidity performance table

Parameter	Condition	min	typ	max	Unit
Resolution			0.1		%RH
Range		0		99.9	%RH
Accuracy ^①	25°C		± 2		%RH
Repeatability			± 0.3		%RH
Exchange		Completely interchangeable			
Response ^②	1/e(63%)		<5		S
Sluggish			<0.3		%RH
Drift ^③	Typical		<0.5		%RH/yr

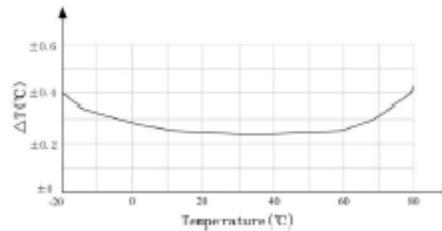


Pic2: At25°C. The error of relative humidity

5.2 Temperature

Table 3: AM2302 Relative temperature performance

Parameter	Condition	min	typ	max	Unit
Resolution			0.1		°C
n			16		bit
Accuracy			± 0.5	± 1	°C
Range		-40		80	°C
Repeat			± 0.2		°C
Exchange		Completely interchangeable			
Response	1/e(63%)		<10		S
Drift			± 0.3		°C/yr



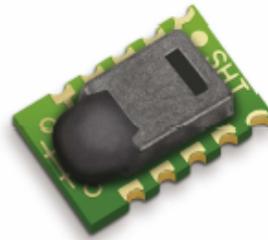
Pic3: The maximum temperature error

Anexo 2

SENSIRION
THE SENSOR COMPANY

Datasheet SHT1x (SHT10, SHT11, SHT15) Humidity and Temperature Sensor

- Fully calibrated
- Digital output
- Low power consumption
- Excellent long term stability
- SMD type package – reflow solderable



Product Summary

SHT1x (including SHT10, SHT11 and SHT15) is Sensirion's family of surface mountable relative humidity and temperature sensors. The sensors integrate sensor elements plus signal processing on a tiny foot print and provide a fully calibrated digital output. A unique capacitive sensor element is used for measuring relative humidity while temperature is measured by a band-gap sensor. The applied CMOSens® technology guarantees excellent reliability and long term stability. Both sensors are seamlessly coupled to a 14bit analog to digital converter and a serial interface circuit. This results in superior signal quality, a fast response time and insensitivity to external disturbances (EMC).

Each SHT1x is individually calibrated in a precision humidity chamber. The calibration coefficients are programmed into an OTP memory on the chip. These coefficients are used to internally calibrate the signals from the sensors. The 2-wire serial interface and internal voltage regulation allows for easy and fast system integration. The tiny size and low power consumption makes SHT1x the ultimate choice for even the most demanding applications.

SHT1x is supplied in a surface-mountable LCC (Leadless Chip Carrier) which is approved for standard reflow soldering processes. The same sensor is also available with pins (SHT7x) or on flex print (SHTA1).

Dimensions

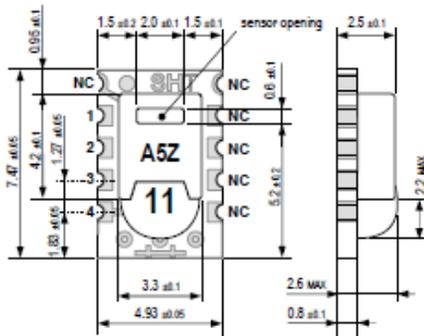


Figure 1: Drawing of SHT1x sensor packaging, dimensions in mm (1mm = 0.039inch). Sensor label gives "11" for SHT11 as an example. Contacts are assigned as follows: 1:GND, 2:DATA, 3:SCK, 4:VDD.

Sensor Chip

SHT1x V4 – for which this datasheet applies – features a version 4 Silicon sensor chip. Besides a humidity and a temperature sensor the chip contains an amplifier, A/D converter, OTP memory and a digital interface. V4 sensors can be identified by the alpha-numeric traceability code on the sensor cap – see example "A5Z" code on Figure 1.

Material Contents

While the sensor is made of a CMOS chip the sensor housing consists of an LCP cap with epoxy glob top on an FR4 substrate. The device is fully RoHS and WEEE compliant, thus it is free of Pb, Cd, Hg, Cr(6+), PBB and PBDE.

Evaluation Kits

For sensor trial measurements, for qualification of the sensor or even experimental application of the sensor there is an evaluation kit EK-H2 available including sensor, hard and software to interface with a computer.

For more sophisticated and demanding measurements a multi port evaluation kit EK-H3 is available which allows for parallel application of up to 20 sensors.

Sensor Performance

Relative Humidity

Parameter	Condition	min	typ	max	Units
Resolution ¹		0.4	0.05	0.05	%RH
		8	12	12	bit
Accuracy ² SHT10	typical		±4.5		%RH
	maximal	see Figure 2			
Accuracy ² SHT11	typical		±3.0		%RH
	maximal	see Figure 2			
Accuracy ² SHT15	typical		±2.0		%RH
	maximal	see Figure 2			
Repeatability			±0.1		%RH
Replacement		fully interchangeable			
Hysteresis			±1		%RH
Nonlinearity	raw data		±3		%RH
	linearized		<<1		%RH
Response time ³ τ (63%)			8		s
Operating Range		0		100	%RH
Long term drift ⁴	normal		< 0.5		%RH/yr

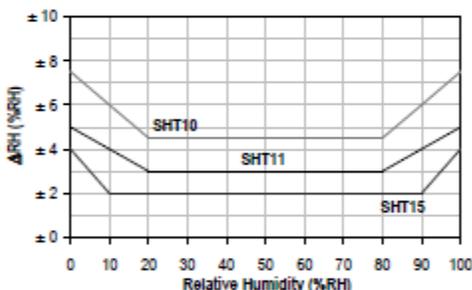


Figure 2: Maximal RH-accuracy at 25°C per sensor type.

Temperature

Parameter	Condition	min	typ	max	Units
Resolution ¹		0.04	0.01	0.01	°C
		12	14	14	bit
Accuracy ² SHT10	typical		±0.5		°C
	maximal	see Figure 3			
Accuracy ² SHT11	typical		±0.4		°C
	maximal	see Figure 3			
Accuracy ² SHT15	typical		±0.3		°C
	maximal	see Figure 3			
Repeatability			±0.1		°C
Replacement		fully interchangeable			
Operating Range		-40		123.8	°C
		-40		254.9	°F
Response Time ⁶ τ (63%)		5		30	s
Long term drift			< 0.04		°C/yr

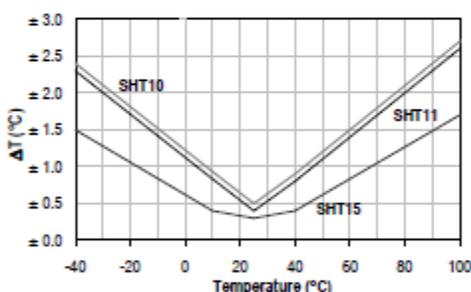


Figure 3: Maximal T-accuracy per sensor type.

Electrical and General Items

Parameter	Condition	min	typ	max	Units
Source Voltage		2.4	3.3	5.5	V
Power Consumption ⁵	sleep		2	5	μW
	measuring		3		mW
	average		150		μW
Communication	digital 2-wire interface, see Communication				
Storage	10 – 50°C (0 – 125°C peak), 20 – 60%RH				

Packaging Information

Sensor Type	Packaging	Quantity	Order Number
SHT10	Tape & Reel	2000	1-100218-04
	Tape & Reel	100	1-100051-04
SHT11	Tape & Reel	400	1-100098-04
	Tape & Reel	2000	1-100524-04
	Tape & Reel	100	1-100085-04
SHT15	Tape & Reel	100	1-100085-04
	Tape & Reel	400	1-100093-04

¹ The default measurement resolution of is 14bit for temperature and 12bit for humidity. It can be reduced to 12/8bit by command to status register.

² Accuracies are tested at Outgoing Quality Control at 25°C (77°F) and 3.3V. Values exclude hysteresis and non-linearity.

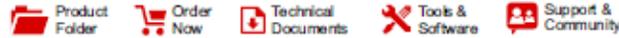
³ Time for reaching 63% of a step function, valid at 25°C and 1 m/s airflow.

⁴ Value may be higher in environments with high contents of volatile organic compounds. See Section 1.3 of Users Guide.

⁵ Values for VDD=5.5V at 25°C, average value at one 12bit measurement per second.

⁶ Response time depends on heat capacity of and thermal resistance to sensor substrate.

Anexo 3



LM35

SNIS159H – AUGUST 1999 – REVISED DECEMBER 2017

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

1 Features

- Calibrated Directly in Celsius (Centigrade)
- Linear + 10-mV/°C Scale Factor
- 0.5°C Ensured Accuracy (at 25°C)
- Rated for Full –55°C to 150°C Range
- Suitable for Remote Applications
- Low-Cost Due to Wafer-Level Trimming
- Operates From 4 V to 30 V
- Less Than 60-μA Current Drain
- Low Self-Heating, 0.08°C in Still Air
- Non-Linearity Only ±¼°C Typical
- Low-Impedance Output, 0.1 Ω for 1-mA Load

2 Applications

- Power Supplies
- Battery Management
- HVAC
- Appliances

3 Description

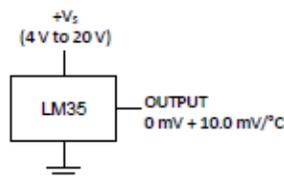
The LM35 series are precision integrated-circuit temperature devices with an output voltage linearly-proportional to the Centigrade temperature. The LM35 device has an advantage over linear temperature sensors calibrated in Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from the output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 device does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of ±¼°C at room temperature and ±½°C over a full –55°C to 150°C temperature range. Lower cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The low-output impedance, linear output, and precise inherent calibration of the LM35 device makes interfacing to readout or control circuitry especially easy. The device is used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As the LM35 device draws only 60 μA from the supply, it has very low self-heating of less than 0.1°C in still air. The LM35 device is rated to operate over a –55°C to 150°C temperature range, while the LM35C device is rated for a –40°C to 110°C range (–10° with improved accuracy). The LM35-series devices are available packaged in hermetic TO transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D devices are available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D device is available in an 8-lead surface-mount small-outline package and a plastic TO-220 package.

Device Information⁽¹⁾

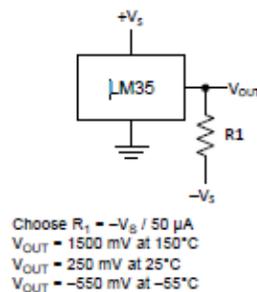
PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM35	TO-CAN (3)	4.699 mm × 4.699 mm
	TO-92 (3)	4.30 mm × 4.30 mm
	SOIC (8)	4.90 mm × 3.91 mm
	TO-220 (3)	14.966 mm × 10.16 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.

Basic Centigrade Temperature Sensor
(2°C to 150°C)



Full-Range Centigrade Temperature Sensor



An IMPORTANT NOTICE at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

Table of Contents

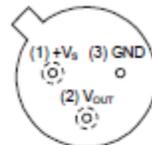
1 Features	1	7.3 Feature Description	13
2 Applications	1	7.4 Device Functional Modes	13
3 Description	1	8 Application and Implementation	14
4 Revision History	2	8.1 Application Information	14
5 Pin Configuration and Functions	3	8.2 Typical Application	15
6 Specifications	4	8.3 System Examples	16
6.1 Absolute Maximum Ratings	4	9 Power Supply Recommendations	19
6.2 ESD Ratings	4	10 Layout	19
6.3 Recommended Operating Conditions	4	10.1 Layout Guidelines	19
6.4 Thermal Information	4	10.2 Layout Example	20
6.5 Electrical Characteristics: LM35A, LM35CA Limits	5	11 Device and Documentation Support	21
6.6 Electrical Characteristics: LM35A, LM35CA	6	11.1 Receiving Notification of Documentation Updates	21
6.7 Electrical Characteristics: LM35, LM35C, LM35D Limits	8	11.2 Community Resources	21
6.8 Electrical Characteristics: LM35, LM35C, LM35D	9	11.3 Trademarks	21
6.9 Typical Characteristics	11	11.4 Electrostatic Discharge Caution	21
7 Detailed Description	13	11.5 Glossary	21
7.1 Overview	13	12 Mechanical, Packaging, and Orderable Information	21
7.2 Functional Block Diagram	13		

4 Revision History

Changes from Revision G (August 2016) to Revision H	Page
• Changed NDV Package (TO-CAN) pinout from bottom view back to top view; added textnote to pinout	3
• Added pin numbers to the TO-CAN (TO48) pinout	3
Changes from Revision F (January 2016) to Revision G	Page
• Equation 1 , changed From: 10 mV/°F To: 10mV/°C	13
• Power Supply Recommendations , changed From: "4-V to 5.5-V power supply" To: "4-V to 30-V power supply"	19
Changes from Revision E (January 2015) to Revision F	Page
• Changed NDV Package (TO-CAN) pinout from Top View to Bottom View	3
Changes from Revision D (October 2013) to Revision E	Page
• Added <i>Pin Configuration and Functions</i> section, <i>ESD Ratings</i> table, <i>Feature Description</i> section, <i>Device Functional Modes</i> , <i>Application and Implementation</i> section, <i>Power Supply Recommendations</i> section, <i>Layout</i> section, <i>Device and Documentation Support</i> section, and <i>Mechanical, Packaging, and Orderable Information</i> section	1
Changes from Revision C (July 2013) to Revision D	Page
• Changed <i>W</i> to <i>Q</i>	1
• Changed <i>W</i> to <i>Q</i> in <i>Abs Max</i> tablenote.	4

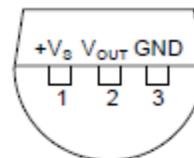
5 Pin Configuration and Functions

NDV Package
3-Pin TO-CAN
(Top View)

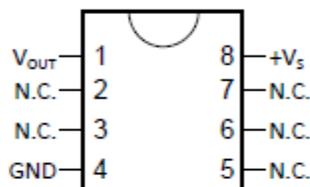


Case is connected to negative pin (GND)
Refer the second NDV0003H page for reference

LP Package
3-Pin TO-92
(Bottom View)

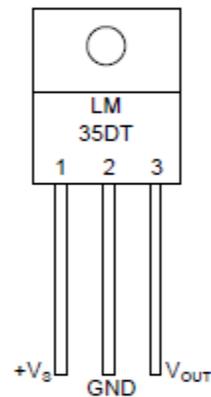


D Package
8-PIN SOIC
(Top View)



N.C. = No connection

NEB Package
3-Pin TO-220
(Top View)



Tab is connected to the negative pin (GND).

NOTE: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35DP

Pin Functions

NAME	PIN				TYPE	DESCRIPTION
	TO46	TO92	TO220	SO8		
V_{OUT}	2	2	3	1	O	Temperature Sensor Analog Output
N.C.	—	—	—	2	—	No Connection
	—	—	—	3		
GND	3	3	2	4	GROUND	Device ground pin, connect to power supply negative terminal
N.C.	—	—	—	5	—	No Connection
	—	—	—	6		
	—	—	—	7		
$+V_S$	1	1	1	8	POWER	Positive power supply pin

6 Specifications

6.1 Absolute Maximum Ratings

 over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)⁽¹⁾⁽²⁾

	MIN	MAX	UNIT	
Supply voltage	-0.2	35	V	
Output voltage	-1	6	V	
Output current		10	mA	
Maximum Junction Temperature, T _{Jmax}		150	°C	
Storage Temperature, T _{stg}	TO-CAN, TO-92 Package	-60	150	°C
	TO-220, SOIC Package	-65	150	

- (1) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the Texas Instruments Sales Office/ Distributors for availability and specifications.
- (2) Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions.

6.2 ESD Ratings

	VALUE	UNIT
V _(ESD) Electrostatic discharge Human-body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 ⁽¹⁾	±2500	V

- (1) JEDEC document JEP155 states that 500-V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

6.3 Recommended Operating Conditions

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

	MIN	MAX	UNIT	
Specified operating temperature: T _{MIN} to T _{MAX}	LM35, LM35A	-55	150	°C
	LM35C, LM35CA	-40	110	
	LM35D	0	100	
Supply Voltage (+V _S)	4	30	V	

6.4 Thermal Information

THERMAL METRIC ⁽¹⁾⁽²⁾	LM35				UNIT
	NDV	LP	D	NEB	
	3 PINS		8 PINS	3 PINS	
R _{θJA} Junction-to-ambient thermal resistance	400	180	220	90	°C/W
R _{θJC(top)} Junction-to-case (top) thermal resistance	24	—	—	—	

- (1) For more information about traditional and new thermal metrics, see the *IC Package Thermal Metrics* application report, [SPRA953](http://www.ti.com/lit/zip/SPR4953).
- (2) For additional thermal resistance information, see [Typical Application](#).

6.5 Electrical Characteristics: LM35A, LM35CA Limits

Unless otherwise noted, these specifications apply: $-55^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 150^{\circ}\text{C}$ for the LM35 and LM35A; $-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 110^{\circ}\text{C}$ for the LM35C and LM35CA; and $0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 100^{\circ}\text{C}$ for the LM35D. $V_B = 5\text{ Vdc}$ and $I_{LOAD} = 50\ \mu\text{A}$, in the circuit of [Full-Range Centigrade Temperature Sensor](#). These specifications also apply from 2°C to T_{MAX} in the circuit of [Figure 14](#).

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM35A			LM35CA			UNIT
		TYP	TESTED LIMIT ⁽¹⁾	DESIGN LIMIT ⁽²⁾	TYP	TESTED LIMIT ⁽¹⁾	DESIGN LIMIT ⁽²⁾	
Accuracy ⁽³⁾	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$	± 0.2	± 0.5		± 0.2	± 0.5		°C
	$T_A = -10^{\circ}\text{C}$	± 0.3			± 0.3		± 1	
	$T_A = T_{MAX}$	± 0.4	± 1		± 0.4	± 1		
	$T_A = T_{MIN}$	± 0.4	± 1		± 0.4		± 1.5	
Nonlinearity ⁽⁴⁾	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$, $-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 125^{\circ}\text{C}$	± 0.18		± 0.35	± 0.15		± 0.3	°C
Sensor gain (average slope)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	10	9.9		10		9.9	mV/°C
	$-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 125^{\circ}\text{C}$	10	10.1		10		10.1	
Load regulation ⁽⁵⁾ $0 \leq I_L \leq 1\text{ mA}$	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$	± 0.4	± 1		± 0.4	± 1		mV/mA
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$, $-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 125^{\circ}\text{C}$	± 0.5		± 3	± 0.5		± 3	
Line regulation ⁽⁵⁾	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$	± 0.01	± 0.05		± 0.01	± 0.05		mV/V
	$4\text{ V} \leq V_B \leq 30\text{ V}$, $-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 125^{\circ}\text{C}$	± 0.02		± 0.1	± 0.02		± 0.1	
Quiescent current ⁽⁶⁾	$V_B = 5\text{ V}$, 25°C	56	67		56	67		μA
	$V_B = 5\text{ V}$, $-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 125^{\circ}\text{C}$	105		131	91		114	
	$V_B = 30\text{ V}$, 25°C	56.2	68		56.2	68		
	$V_B = 30\text{ V}$, $-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 125^{\circ}\text{C}$	105.5		133	91.5		116	
Change of quiescent current ⁽⁵⁾	$4\text{ V} \leq V_B \leq 30\text{ V}$, 25°C	0.2	1		0.2	1		μA
	$4\text{ V} \leq V_B \leq 30\text{ V}$, $-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 125^{\circ}\text{C}$	0.5		2	0.5		2	
Temperature coefficient of quiescent current	$-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 125^{\circ}\text{C}$	0.39		0.5	0.39		0.5	μA/°C
Minimum temperature for rate accuracy	In circuit of Figure 14 , $I_L = 0$	1.5		2	1.5		2	°C
Long term stability	$T_J = T_{MAX}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			°C

(1) Tested Limits are ensured and 100% tested in production.

(2) Design Limits are ensured (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

(3) Accuracy is defined as the error between the output voltage and $10\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ times the case temperature of the device, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in °C).

(4) Non-linearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the rated temperature range of the device.

(5) Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

(6) Quiescent current is defined in the circuit of [Figure 14](#).

Anexo 4

Solar Radiation Sensor

6450



Vantage Pro2™ Accessories

The Solar Radiation Sensor, or solar pyranometer, measures global radiation, the sum at the point of measurement of both the direct and diffuse components of solar irradiance. The sensor's transducer, which converts incident radiation to electrical current, is a silicon photodiode with wide spectral response. From the sensor's output voltage, the console calculates and displays solar irradiance. It also integrates the irradiance values and displays total incident energy over a set period of time.

The outer shell shields the sensor body from thermal radiation and provides an airflow path for convection cooling of the body, minimizing heating of the sensor interior. It includes a cutoff ring for cosine response, a level indicator, and fins to aid in aligning the sensor with the sun's rays. The space between the shield and the body also provides a run-off path for water, greatly reducing the possibility of rain- or irrigation-water entrapment. The diffuser is welded to the body for a weather-tight seal; it provides an excellent cosine response. The transducer is an hermetically-sealed silicon photodiode; the included amplifier converts the transducer current into 0 to +2.5 VDC. Spring-loaded mounting screws, in conjunction with the level indicator, enable rapid and accurate levelling of the sensor. Each sensor is calibrated against a secondary standard which is calibrated periodically against an Eppley Precision Spectral Pyranometer in natural daylight.

The Solar Radiation Sensor is included with the Vantage Pro2 Plus and is optional on the Vantage Pro2.

Please refer to the WeatherLink® for Vantage Pro® and Vantage Pro2™ specification sheet for optional data logging and charting capabilities available for this product.

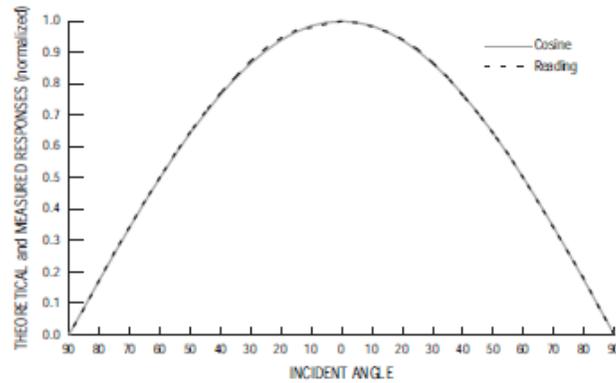
General

Operating Temperature	-40° to +150° F (-40° to +65° C)
Storage Temperature	-50° to +158°F (-45° to +70°C)
Transducer	Silicon photodiode
Spectral Response (10% points)	400 to 1100 nanometers
Cosine Response	
Percent of Reading	±3% (0° to ±70° incident angle); ±10% (±70° to ±85° incident angle)
Percent of Full Scale	±2% (0° to ±90°)
Supplied Cable Length	2' (0.6 m)
Cable Type	4-conductor, 26 AWG
Connector	Modular RJ-11
I/O Specifications	
Green wire	Output (0 to +3VDC); 1.67 mV per W/m ²
Red & Black wires	Ground
Yellow wire	+3 VDC ±10%; 1mA (typical)
Temperature Coefficient	+0.067% per °F (+ 0.12% per °C)
Reference temperature	77°F (25°C)
Correction per degree above reference temp	-0.067% of reading per °F (-0.12% per °C)
Correction per degree below reference temp	+0.067% of reading per °F (+0.12% per °C)
Housing Material	UV-resistant PVC plastic
Dimensions (Length x Width x Height)	2.00" x 2.75" x 2.25" (51 mm x 70 mm x 57 mm)
Weight	0.5 lbs. (226 g)

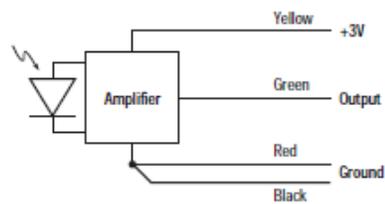
Sensor Output

Resolution and Units	1 W/m ²
Range	0 to 1800 W/m ²
Accuracy	±5% of full scale (Reference: Eppley PSP at 1000 W/m ²) plus 45 W/m ² per 100' (30 m) of additional cable
Drift	up to ±2% per year
Update Interval50 seconds to 1 minute

Cosine Response (typical)



Connections



Package Dimensions

Product #	Package Dimensions (Length x Width x Height)	Package Weight	UPC Codes
6450	6.00" x 4.25" x 3.25" (152 mm x 108 mm x 83 mm)	.9 lbs (.5 kg)	011698 00240 5

Anexo 5



ADS1113
ADS1114
ADS1115

www.ti.com

DSBA0444B – MAY 2009 – REVISED OCTOBER 2009

Ultra-Small, Low-Power, 16-Bit Analog-to-Digital Converter with Internal Reference

Check for Samples: ADS1113 ADS1114 ADS1115

FEATURES

- **ULTRA-SMALL QFN PACKAGE:**
2mm × 1,5mm × 0,4mm
- **WIDE SUPPLY RANGE:** 2.0V to 5.5V
- **LOW CURRENT CONSUMPTION:**
Continuous Mode: Only 150µA
Single-Shot Mode: Auto Shut-Down
- **PROGRAMMABLE DATA RATE:**
8SPS to 860SPS
- **INTERNAL LOW-DRIFT
VOLTAGE REFERENCE**
- **INTERNAL OSCILLATOR**
- **INTERNAL PGA**
- **I²C™ INTERFACE:** Pin-Selectable Addresses
- **FOUR SINGLE-ENDED OR TWO
DIFFERENTIAL INPUTS (ADS1115)**
- **PROGRAMMABLE COMPARATOR**
(ADS1114 and ADS1115)

APPLICATIONS

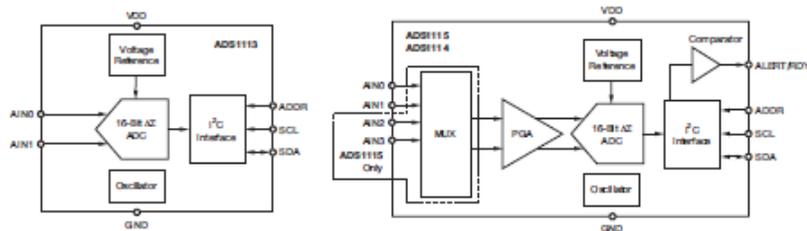
- PORTABLE INSTRUMENTATION
- CONSUMER GOODS
- BATTERY MONITORING
- TEMPERATURE MEASUREMENT
- FACTORY AUTOMATION AND PROCESS CONTROLS

DESCRIPTION

The ADS1113, ADS1114, and ADS1115 are precision analog-to-digital converters (ADCs) with 16 bits of resolution offered in an ultra-small, leadless QFN-10 package or an MSOP-10 package. The ADS1113/4/5 are designed with precision, power, and ease of implementation in mind. The ADS1113/4/5 feature an onboard reference and oscillator. Data are transferred via an I²C-compatible serial interface; four I²C slave addresses can be selected. The ADS1113/4/5 operate from a single power supply ranging from 2.0V to 5.5V.

The ADS1113/4/5 can perform conversions at rates up to 860 samples per second (SPS). An onboard PGA is available on the ADS1114 and ADS1115 that offers input ranges from the supply to as low as ±256mV, allowing both large and small signals to be measured with high resolution. The ADS1115 also features an input multiplexer (MUX) that provides two differential or four single-ended inputs.

The ADS1113/4/5 operate either in continuous conversion mode or a single-shot mode that automatically powers down after a conversion and greatly reduces current consumption during idle periods. The ADS1113/4/5 are specified from –40°C to +125°C.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

I²C is a trademark of NXP Semiconductors.

All other trademarks are the property of their respective owners.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of the Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 2009, Texas Instruments Incorporated



This integrated circuit can be damaged by ESD. Texas Instruments recommends that all integrated circuits be handled with appropriate precautions. Failure to observe proper handling and installation procedures can cause damage.

ESD damage can range from subtle performance degradation to complete device failure. Precision integrated circuits may be more susceptible to damage because very small parametric changes could cause the device not to meet its published specifications.

ORDERING INFORMATION

For the most current package and ordering information, see the Package Option Addendum at the end of this document, or see the TI web site at www.ti.com.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS⁽¹⁾

	ADS1113, ADS1114, ADS1115	UNIT
VDD to GND	-0.3 to +5.5	V
Analog input current	100, momentary	mA
Analog input current	10, continuous	mA
Analog input voltage to GND	-0.3 to VDD + 0.3	V
SDA, SCL, ADDR, ALERT/RDY voltage to GND	-0.5 to +5.5	V
Maximum junction temperature	+150	°C
Storage temperature range	-60 to +150	°C

(1) Stresses above those listed under *Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. Exposure to absolute maximum conditions for extended periods may affect device reliability.

PRODUCT FAMILY

DEVICE	PACKAGE DESIGNATOR MSOP/QFN	RESOLUTION (Bits)	MAXIMUM SAMPLE RATE (SPS)	COMPARATOR	PGA	INPUT CHANNELS (Differential/Single-Ended)
ADS1113	BROI/N6J	16	860	No	No	1/1
ADS1114	BRNI/N5J	16	860	Yes	Yes	1/1
ADS1115	BOGI/N4J	16	860	Yes	Yes	2/4
ADS1013	BRMI/N9J	12	3300	No	No	1/1
ADS1014	BRQI/N8J	12	3300	Yes	Yes	1/1
ADS1015	BRPI/N7J	12	3300	Yes	Yes	2/4

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

All specifications at -40°C to $+125^{\circ}\text{C}$, $V_{\text{DD}} = 3.3\text{V}$, and Full-Scale (FS) = $\pm 2.048\text{V}$, unless otherwise noted. Typical values are at $+25^{\circ}\text{C}$.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	ADS1113, ADS1114, ADS1115			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
ANALOG INPUT					
Full-scale input voltage ⁽¹⁾	$V_{\text{IN}} = (\text{AIN}_p) - (\text{AIN}_n)$		$\pm 4.096/\text{PGA}$		V
Analog input voltage	AIN_p or AIN_n to GND	GND		VDD	V
Differential input impedance			See Table 2		
Common-mode input impedance	$\text{FS} = \pm 6.144\text{V}^{(1)}$		10		M Ω
	$\text{FS} = \pm 4.096\text{V}^{(1)}$, $\pm 2.048\text{V}$		6		M Ω
	$\text{FS} = \pm 1.024\text{V}$		3		M Ω
	$\text{FS} = \pm 0.512\text{V}$, $\pm 0.256\text{V}$		100		M Ω
SYSTEM PERFORMANCE					
Resolution	No missing codes	16			Bits
Data rate (DR)			8, 16, 32, 64, 128, 250, 475, 860		SPS
Data rate variation	All data rates	-10		10	%
Output noise		See Typical Characteristics			
Integral nonlinearity	DR = 8SPS, FS = $\pm 2.048\text{V}$, best fit ⁽²⁾			1	LSB
Offset error	FS = $\pm 2.048\text{V}$, differential inputs		± 1	± 3	LSB
	FS = $\pm 2.048\text{V}$, single-ended inputs		± 3		LSB
Offset drift	FS = $\pm 2.048\text{V}$		0.005		LSB/ $^{\circ}\text{C}$
Offset power-supply rejection	FS = $\pm 2.048\text{V}$		1		LSB/V
Gain error ⁽³⁾	FS = $\pm 2.048\text{V}$ at 25°C		0.01	0.15	%
Gain drift ⁽³⁾	FS = $\pm 0.256\text{V}$		7		ppm/ $^{\circ}\text{C}$
	FS = $\pm 2.048\text{V}$		5	40	ppm/ $^{\circ}\text{C}$
	FS = $\pm 6.144\text{V}^{(1)}$		5		ppm/ $^{\circ}\text{C}$
Gain power-supply rejection			80		ppm/V
PGA gain match ⁽³⁾	Match between any two PGA gains		0.02	0.1	%
Gain match	Match between any two inputs		0.05	0.1	%
Offset match	Match between any two inputs		3		LSB
Common-mode rejection	At dc and FS = $\pm 0.256\text{V}$		105		dB
	At dc and FS = $\pm 2.048\text{V}$		100		dB
	At dc and FS = $\pm 6.144\text{V}^{(1)}$		90		dB
	$f_{\text{CM}} = 60\text{Hz}$, DR = 8SPS		105		dB
	$f_{\text{CM}} = 50\text{Hz}$, DR = 8SPS		105		dB
DIGITAL INPUT/OUTPUT					
Logic level					
V_{IH}		0.7VDD		5.5	V
V_{IL}		GND - 0.5		0.3VDD	V
V_{OL}	$I_{\text{OL}} = 3\text{mA}$	GND	0.15	0.4	V
Input leakage					
I_{H}	$V_{\text{IH}} = 5.5\text{V}$			10	μA
I_{L}	$V_{\text{IL}} = \text{GND}$	10			μA

(1) This parameter expresses the full-scale range of the ADC scaling. In no event should more than $V_{\text{DD}} + 0.3\text{V}$ be applied to this device.

(2) 99% of full-scale.

(3) Includes all errors from onboard PGA and reference.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

All specifications at -40°C to $+125^{\circ}\text{C}$, $\text{VDD} = 3.3\text{V}$, and Full-Scale (FS) = $\pm 2.048\text{V}$, unless otherwise noted. Typical values are at $+25^{\circ}\text{C}$.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	ADS1113, ADS1114, ADS1115			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
POWER-SUPPLY REQUIREMENTS					
Power-supply voltage		2		5.5	V
Supply current	Power-down current at 25°C		0.5	2	μA
	Power-down current up to 125°C			5	μA
	Operating current at 25°C		150	200	μA
	Operating current up to 125°C			300	μA
Power dissipation	$\text{VDD} = 5.0\text{V}$		0.9		mW
	$\text{VDD} = 3.3\text{V}$		0.5		mW
	$\text{VDD} = 2.0\text{V}$		0.3		mW
TEMPERATURE					
Storage temperature		-60		$+150$	$^{\circ}\text{C}$
Specified temperature		-40		$+125$	$^{\circ}\text{C}$

PIN CONFIGURATIONS

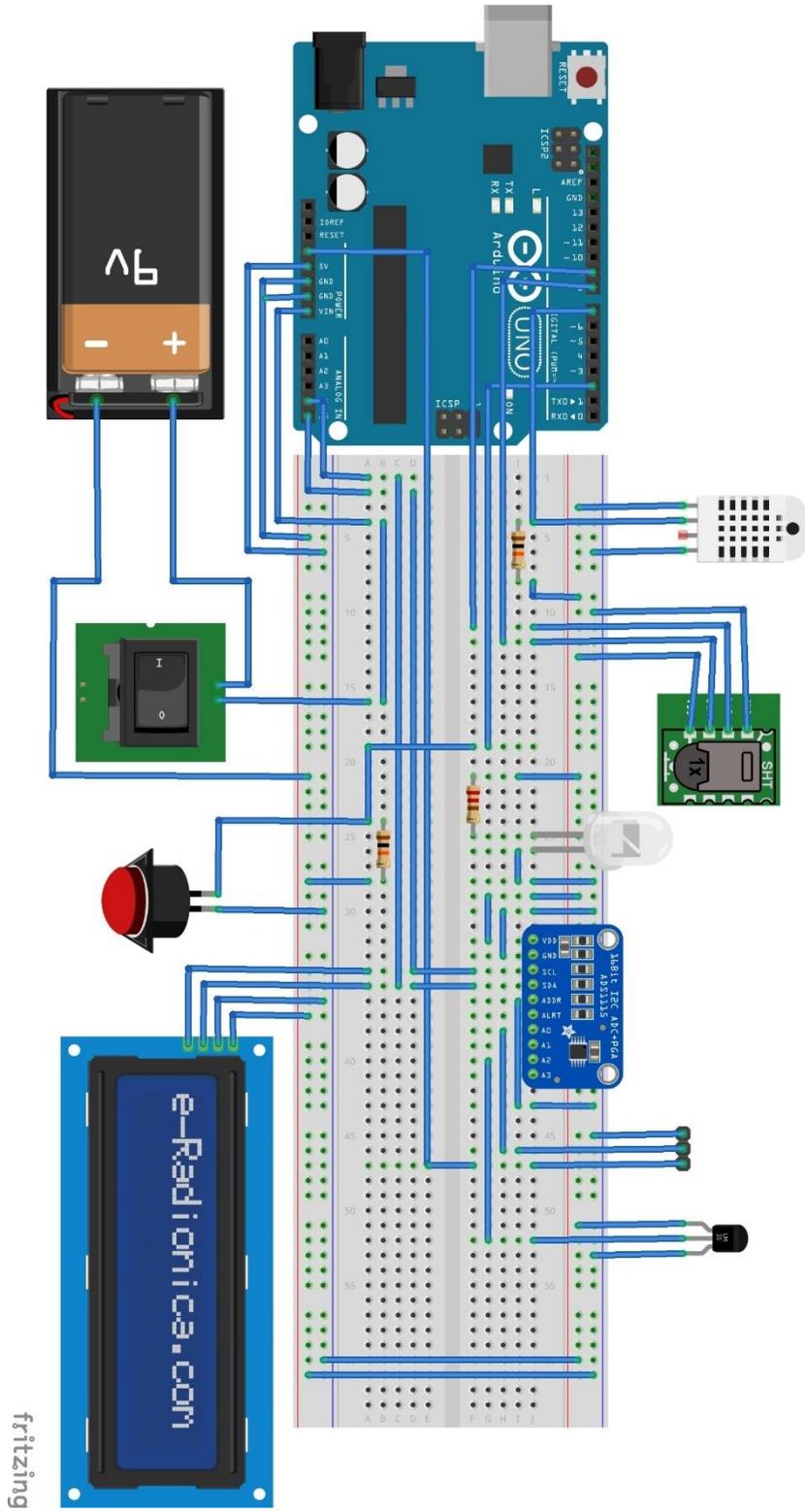


PIN DESCRIPTIONS

PIN #	DEVICE			ANALOG/ DIGITAL INPUT/ OUTPUT	DESCRIPTION
	ADS1113	ADS1114	ADS1115		
1	ADDR	ADDR	ADDR	Digital Input	I ² C slave address select
2	NC ⁽¹⁾	ALERT/RDY	ALERT/RDY	Digital Output	Digital comparator output or conversion ready (NC for ADS1113)
3	GND	GND	GND	Analog	Ground
4	AIN0	AIN0	AIN0	Analog Input	Differential channel 1: Positive input or single-ended channel 1 input
5	AIN1	AIN1	AIN1	Analog Input	Differential channel 1: Negative input or single-ended channel 2 input
6	NC	NC	AIN2	Analog Input	Differential channel 2: Positive input or single-ended channel 3 input (NC for ADS1113/4)
7	NC	NC	AIN3	Analog Input	Differential channel 2: Negative input or single-ended channel 4 input (NC for ADS1113/4)
8	VDD	VDD	VDD	Analog	Power supply: 2.0V to 5.5V
9	SDA	SDA	SDA	Digital I/O	Serial data: Transmits and receives data
10	SCL	SCL	SCL	Digital Input	Serial clock input: Clocks data on SDA

(1) NC pins may be left floating or tied to ground.

Anexo 6



Anexo 7

Manual de operación

1.- Partes del Prototipo

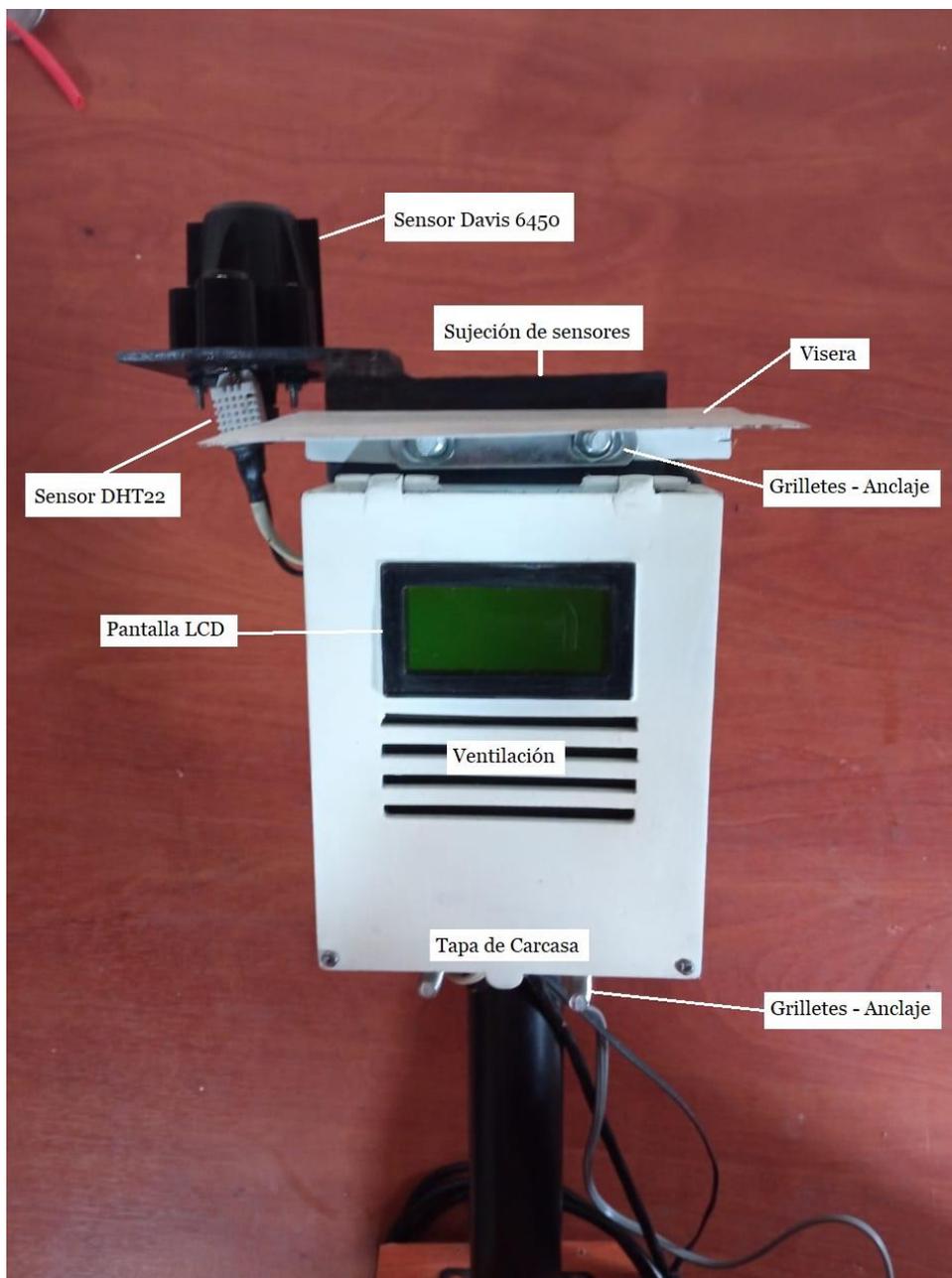


Figura 41: Partes externas del Módulo

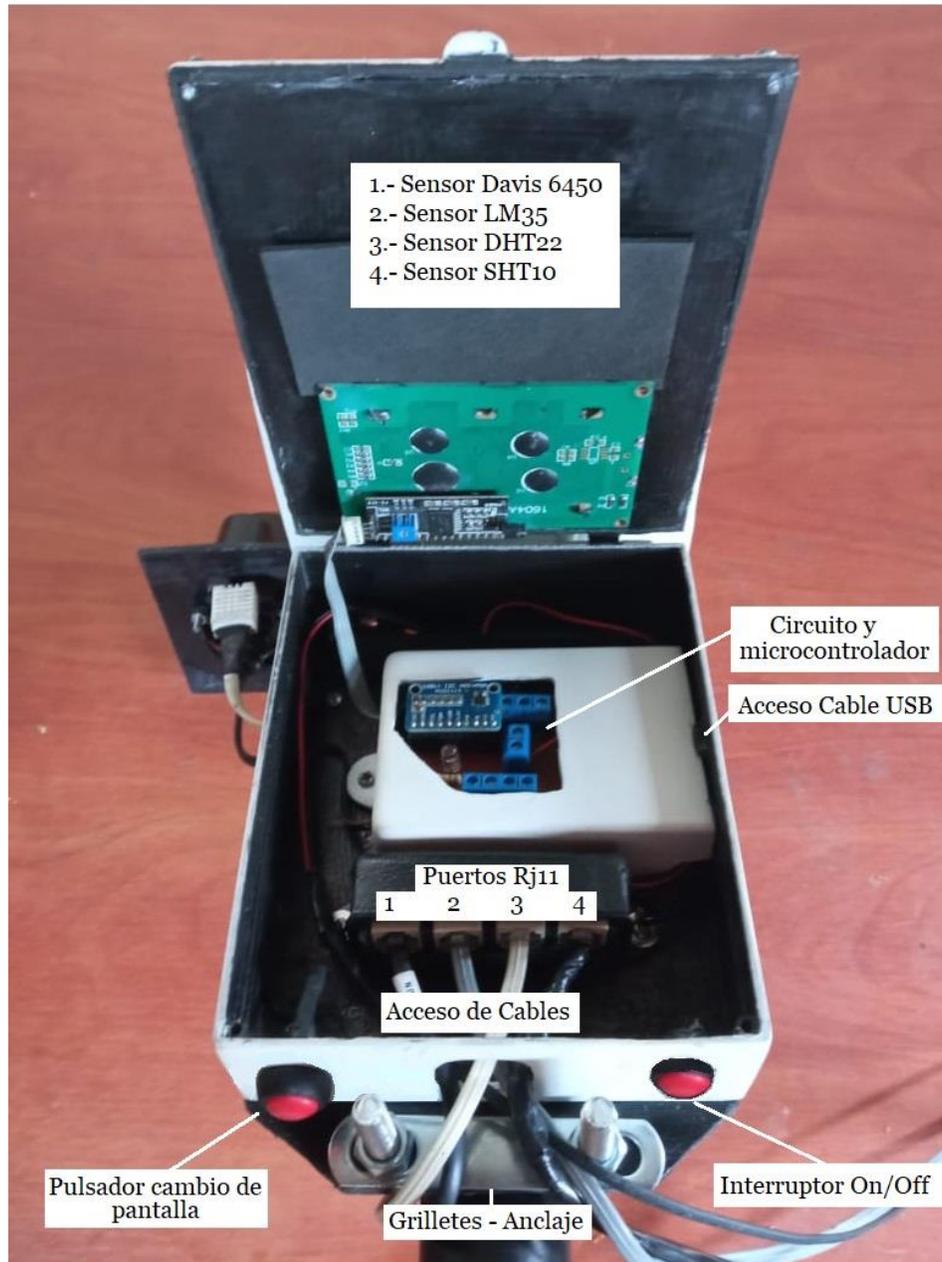


Figura 42: Partes Internar del Módulo

2.- Instalación de Módulo de sensores

2.1.- Instalación de tubo de acero

Para la instalación del tubo de acero se realiza un hueco en el suelo de 60cm de profundidad. El tubo es enterrado y fijado al suelo a nivel, lo que nos permitirá tener una buena estabilidad en el momento del anclaje del dispositivo y todos sus componentes (figura 35).



Figura 43: Tubo de acero Instalado en Invernadero.

2.2.- Instalación de sistema de anclaje

Es sistema de sujeción del dispositivo consta de dos grilletes de acero, este nos permite ajustar la altura de acuerdo con las necesidades del operador del dispositivo como se muestra en la figura 31, facilitándonos la lectura de los datos en pantalla de las diferentes variables climáticas que nos proporciona el módulo.



Figura 44: Regulación de Sistema de anclaje

1.3.- Instalación de sistema de sujeción y fijación de sensores.

El DHT22 y sensor Davis 6450 son fijados al módulo mediante una pieza de ABS que es fijada al dispositivo mediante los grilletes del sistema de anclaje mostrada en la figura xx. Para el sensor LM35 y SHT10 se instala tubería de PVC de ¼” a una profundidad de 1mm bajo el suelo, estos sensores son introducidos por los tubos huecos hasta llegar a su punto final. La instalación del sistema se puede visualizar en la figura.

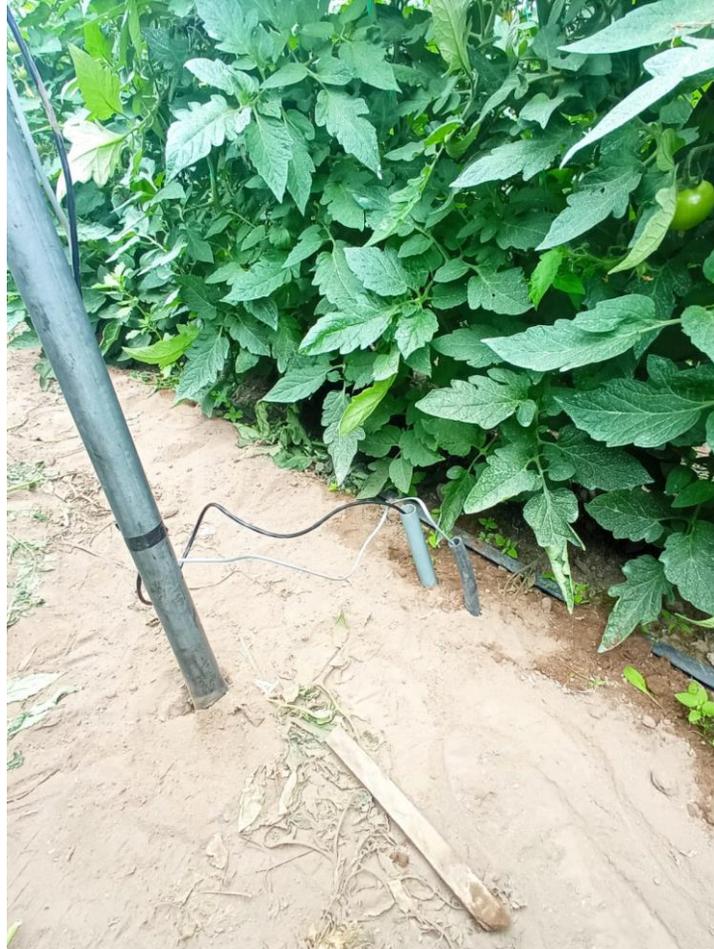


Figura 45: Sistema de fijación de sensores en el suelo

2.- Calibración de sensores

La calibración de los sensores se realiza por software con dos puntos de medida fijos y un sensor externo que nos permita medir las diferentes variables. Los sensores DHT22 y SHT10 son sensores completamente calibrados, sin embargo, los sensores LM35 y Davis 6450 necesitan una calibración externa.

2.1.- Calibración de temperatura de LM35

El sensor viene calibrado por defecto, a 0°C a la salida del sensor tendremos 0mV y a 100°C tendremos 1000mV sin embargo en el caso de existir una gran variación con respecto a otros sensores de temperatura se realiza la siguiente calibración.

En el código, en la sección de Lectura de sensor LM35, se encuentra la línea de código en donde se realiza el mapeo de la temperatura con relación a los voltajes de salida del sensor, la variable alm35 y blm35 representan los valores de tensión cuando la temperatura es igual a 0 °C y 100 °C respectivamente. Estos valores de tensión se establecen mediante la media del sensor y un sensor externo midiendo los valores a temperaturas establecidas.

```
// LECTURA DE SENSOR LM35
int adc2;
adc2 = ads.readADC_SingleEnded(2);
float aux2 = float(adc2);
float outputValueIm = (aux2 * 4.096) / 32767;
ValueMilim = outputValueIm * 1000; // conversion to milivolts
// conversion a temperatura
int alm35=0; //valor en milivoltios a 0 grados centigrados
int blm35=1000; //valor en milivoltios a 100 grados centigrados
temperaturalm = map(valueMilim, 0, alm35, 100, blm35);
```

Figura 46: Código de Calibración de Sensor Lm35

Fuente: Autor

2.2.- Calibración de radiación Solar - Sensor Davis

La calibración de este sensor se describe en el anexo 4, el sensor viene calibrado para el reconocimiento de la onda espectral comprendida entre 400 y 1100 nanómetros regidas a la OMM (1986) adaptada a la ISO 1990a, sin embargo, para la calibración de la cantidad de radiación solar transformada a tensión se realiza un conversión entre valores de tensión y valores establecidos por un piranómetro externo.

En el código, en la función `calculo_radiacion` en la sección conversión a unidades de energía se encuentra la línea de código en donde se realiza el mapeo de radiación en W/m² con relación a los voltajes de salida del sensor, la variable `aPAR` y `bPAR` representan los valores de tensión cuando la radiación PAR es igual a 0 W/m² y 1796 W/m² respectivamente. Estos valores de tensión se establecen mediante la media del sensor y un sensor externo midiendo los valores a temperaturas establecidas. Por defecto el sensor establece a 0 W/m² hay una tensión de salida del sensor de 0 mV, y a 1796,40 W/m² hay una tensión de salida de 3000 mV.

```
// CONVERSION A UNIDADES DE ENERGIA
int aPAR=0; //valor en milivoltios a 0 W/m2
int bPAR=3000; //valor en milivoltios a 1796,4 W/m2
unitM= map(RADkal 0, aPAR, 1796,4, aPAR);
RADxDIA = (((unitM * 3600 * 12) / 1E6)) * 0.5; // conversion to MJ/m2/dia
s = millis();
PT_WAIT_WHILE(pt, millis() - s < 1);
```

Figura 47: Código de calibración de sensor Davis 6450

Fuente: Autor

3.- Manejo de Sistema

El sistema consta de varias pantallas de visualización de datos climáticos, para pasar a cada una de estas pantallas se presiona el pulsador situado en la parte inferior izquierda del módulo. Al encender el dispositivo se visualiza en pantalla la página principal del proyecto. Si presionamos el pulsador nos llevará a la pantalla de visualización de Datos de temperatura y humedad de Ambiente, si presionamos otra vez nos llevara a la pantalla de visualización de Datos de Temperatura y Humedad de Suelo y por último si accionamos el pulsador nos presentará en pantalla los valores de radiación fotosintéticamente activa.

PANTALLA DE INICIO	
PANTALLA 1 PRESIONANDO 1 VEZ	

<p>PANTALLA 2</p> <p>PRESIONANDO 2 VECES</p>	 <p>The screenshot shows a green LCD screen with the following text: 'U T N' on the first line, 'SUELO' on the second line, 'TEMP: 16.95 °C' on the third line, and 'HUMED: 60.50 %' on the fourth line.</p>
<p>PANTALLA 3</p> <p>PRESIONANDO 3 VECES</p>	 <p>The screenshot shows a green LCD screen with the following text: 'U T N' on the first line, 'RADIACION PAR' on the second line, '1 W/m2' on the third line, and '0.03 MJ/m2/dia' on the fourth line.</p>

Tabla 15: Lista de Pantallas en LCD

Fuente: Autor

4.- Conexión a Ordenador

El módulo se puede conectar al ordenador mediante un cable de datos USB compatible con Arduino Uno, el cable se introduce por la ranura situada al lado derecho del módulo como se muestra en la siguiente figura.



Figura 48: Conexión USB a Módulo

Para visualizar los datos que envía el microcontrolador por el puerto serial se debe de abrir la interfaz IDE Arduino. El software reconocerá el arduino Uno y en que puerto está conectado, esta información se mostrará en la barra de herramientas como se observa en la siguiente figura.

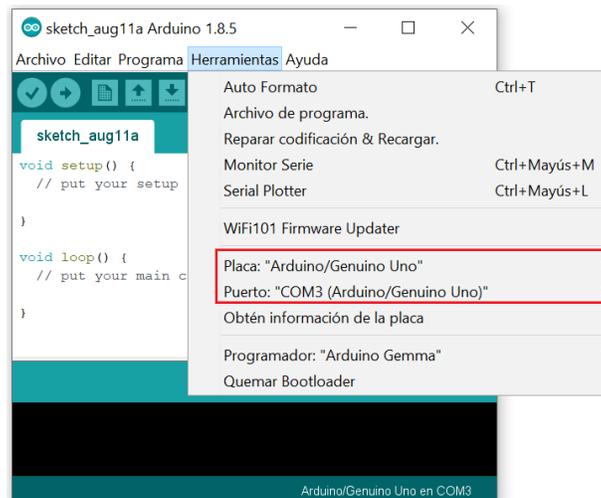


Figura 49: Reconocimiento de Microcontrolador en IDE Arduino

Una vez establecida la conexión entre el computador y el microcontrolador abrimos el monitor serial, esta opción se encuentra en la ventana de herramientas del IDE Arduino como se muestra en la siguiente figura.

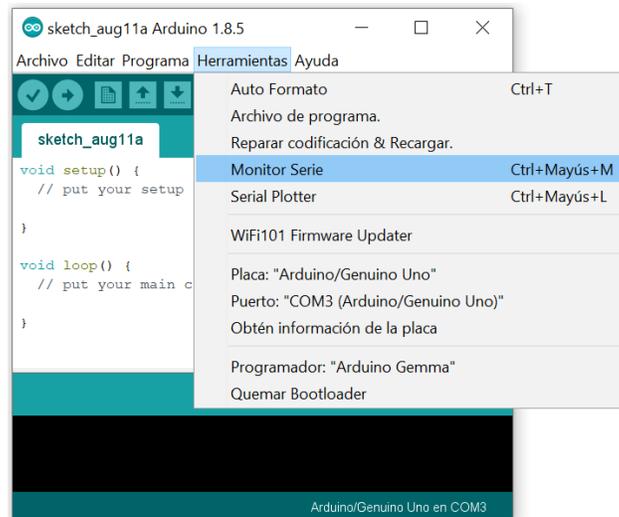


Figura 50: Acceso a Monitor Serie de IDE Arduino

Una vez abierto el monitor Serie, para acceder a los datos enviados por el microcontrolador se debe configurar el puerto serial a una velocidad de transmisión de datos de 9600 baudios como se muestra en la siguiente figura.

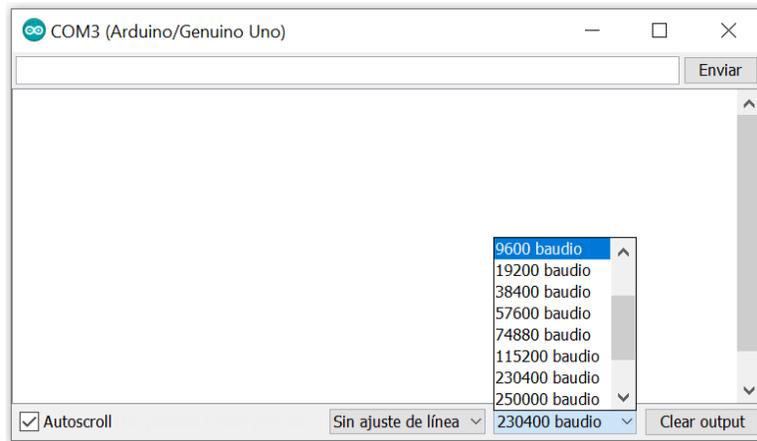


Figura 51: Configuración de velocidad de Puerto Serial

Al configurar la velocidad de transmisión, los datos se presentarán en pantalla, los datos estar ordenador por columnas, de izquierda a derecha la columna 1 nos indican los valores de temperatura de Ambiente en grados centígrados, columna 2 valores de humedad relativa del ambiente en %RH, columna 3 valores de temperatura de suelo en grados centígrados, columna 4 valores de humedad relativa de suelo en %RH y columna 5 valores de radiación PAR en W/m². La visualización de estos datos se puede observar en la figura 48.

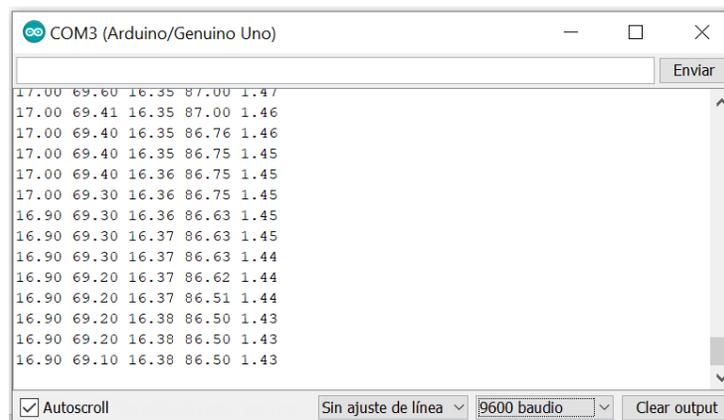


Figura 52: Transmisión de datos en Puerto Serial

Anexo 8

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_ADS1015.h>
#include <DHT.h>
#include <pt.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // Incluimos la librería del LCD
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE); //
Seteamos la dirección I2C
int conta = 0;
// VARIABLES SENSOR DHT22
#define DHTPIN 7
#define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302), AM2321
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
float humdh;
float tempdh;
// VARIABLES DE KALMAN TEMPERATURA DHT22
float varVoltdhh = 0.002395018; // VARIABLE DETERMINADA CON EXCEL CON
MUESTREO DE DATOS
float varProcessdhh = 0.05;
float Pcdhh = 0.0;
float Gdhh = 0.0;
float Pdhh = 1.0;
float Xpdhh = 0.0;
float Zpdhh = 0.0;
float Xedhh = 0.0;
float tempCdhh;
float tempkaldhh;
// VARIABLES DE KALMAN HUMEDAD DHT22
float varVoltdht = 0.002395018; // VARIABLE DETERMINADA CON EXCEL CON
MUESTREO DE DATOS
float varProcessdht = 0.05;
float Pcdht = 0.0;
float Gdht = 0.0;
float Pdht = 1.0;
float Xpdht = 0.0;
float Zpdht = 0.0;
float Xedht = 0.0;
float tempCdht;
float tempkaldht;
// AREA HUMEDAD Y TEMPERATURA SHT10
int clockPin = 8; // pin used for clock
int dataPin = 9; // pin used for data
int ack; // track acknowledgment for errors
int valh;
int valt;
float temperature;
float humidity;
int temperatureCommand = B00000011; // command used to read
temperature
int humidityCommand = B00000101; // command used to read humidity
// VARIABLES DE KALMAN HUMEDAD SHT10
float varVolth = 0.002395018; // VARIABLE DETERMINADA CON EXCEL CON
MUESTREO DE DATOS
```

```

float varProcesssh = 0.05;
float Pch = 0.0;
float Gh = 0.0;
float Ph = 1.0;
float Xph = 0.0;
float Zph = 0.0;
float Xeh = 0.0;
float tempCh;
float tempkalh;
// VARIABLES DE KALMAN TEMPERATURA SHT10
float varVoltt = 3.35908E-05; // VARIABLE DETERMINADA CON EXCEL CON
MUESTREO DE DATOS
float varProcesst = 5.5E-6;
float Pct = 0.0;
float Gt = 0.0;
float Pt = 1.0;
float Xpt = 0.0;
float Zpt = 0.0;
float Xet = 0.0;
float tempkalt;
// AREA RADIACION SOLAR
Adafruit_ADS1115 ads;
float ValueMili;
float unitM;
float RADxDIA;
// VARIABLES DE KALMAN RADIACION SOLAR
float varVoltr = 0.00604728; // VARIABLE DETERMINADA CON EXCEL CON
MUESTREO DE DATOS
float varProcesssr = 0.0005;
float Pcr = 0.0;
float Gr = 0.0;
float Pr = 1.0;
float Xpr = 0.0;
float Zpr = 0.0;
float Xer = 0.0;
float RADkal;
float ValueMililm;
float temperaturalm;
// VARIABLES DE KALMAN LM35
float varVolttl = 1.05743E-5; // VARIABLE DETERMINADA CON EXCEL CON
MUESTREO DE DATOS
float varProcesssl = 0.0000005;
float Pcl = 0.0;
float Gl = 0.0;
float Pl = 1.0;
float Xpl = 0.0;
float Zpl = 0.0;
float Xel = 0.0;
float TEMPkal;
float t = 24;
// VARIABLES AUXILIARES
int horas = 0;
int minutos = 0;
int segundos = 0;

```

```

int decimas = 0;
long milisegundos = 0;
// DECLARACION DE HILOS
struct pt hilo1;
struct pt hilo2;
struct pt hilo3;
struct pt hilo4;
struct pt hilo5;
struct pt hilo6;
struct pt hilo7;
struct pt hilo8;
struct pt hilo9;
struct pt hilo10;
struct pt hilo11;
struct pt hilo12;
struct pt hilo13;
struct pt hilo14;
void setup() {
  Serial.begin(9600); // open serial at 9600 bps
  pinMode(2, INPUT);
  lcd.begin(16, 4); // inicializar LCD 16X4
  dht.begin();
  //inicialización de hilos
  PT_INIT(&hilo1);
  PT_INIT(&hilo2);
  PT_INIT(&hilo3);
  PT_INIT(&hilo4);
  PT_INIT(&hilo5);
  PT_INIT(&hilo6);
  PT_INIT(&hilo7);
  PT_INIT(&hilo8);
  PT_INIT(&hilo9);
  PT_INIT(&hilo10);
  PT_INIT(&hilo11);
  PT_INIT(&hilo12);
  PT_INIT(&hilo13);
  PT_INIT(&hilo14);
  // RADIACION SOLAR
  ads.setGain(GAIN_ONE); // 1x gain +/- 4.096V 1 bit = 2mV
    0.125mV // ganancia de DAC
  ads.begin();
  lcd.clear();
}
void loop() {
  menu(&hilo1);
  calculo_Temp_lm35(&hilo3);
  calculo_Temp_dht22(&hilo4);
  calculo_Humd_sht10(&hilo6);
  calculo_Humd_dht22(&hilo7);
  calculo_radiacion(&hilo9);
  if (conta == 0)
  {
    impresion_general(&hilo2);
  }
}

```

```

if (conta == 1)
{
    impresion_temperatura(&hilo5);
}
if (conta == 2)
{
    impresion_humedad(&hilo8);
}
if (conta == 3)
{
    impresion_radiacion(&hilo10);
}
if (conta == 4)
{
    impresion_aire(&hilo11);
}
if (conta == 5)
{
    impresion_suelo(&hilo12);
}
if (conta == 6)
{
    conta = 1;
}
////////////////////// impresión en puerto serial
Serial.print(tempkaldht); //IMPRESION DE TEMPERATURA DE AIRE CON
FILTRO DE KALMAN
Serial.print(" ");
Serial.print(tempkaldhh); //IMPRESION DE HUMEDAD DE AIRE CON FILTRO
DE KALMAN
Serial.print(" ");
Serial.print(TEMPkal); //IMPRESION DE TEMPERATURA DE SUELO CON FILTRO
DE KALMAN
Serial.print(" ");
Serial.print(tempkalh); //IMPRESION DE HUMEDAD DE SUELO CON FILTRO DE
KALMAN
Serial.print(" ");
Serial.print(unitM);
Serial.println(" ");
}
void menu(struct pt *pt) {
    PT_BEGIN(pt);
    static long v = 0;
    static int oldVal = 0;
    static int newVal = 0;
    pinMode(2, INPUT_PULLUP);
    while (true) {
        newVal = digitalRead(2);
        if ((newVal ^ oldVal) == 1) && newVal == 0) {
            conta++;
            lcd.clear();
            // Ignore future readings for 100milliseconds
            v = millis();
            PT_WAIT_WHILE(pt, ((millis() - v) < 200));
        }
    }
}

```

```

    }
    oldVal = newVal;
    PT_YIELD(pt);
}
PT_END(pt);
}
// FUNCIONES
void impresion_general(struct pt *pt)
{
    PT_BEGIN(pt);
    static long h = 0;
    while (true) {
        // IMPRESION LCD INICIALIZACION DE PANTALLA
        lcd.backlight(); // terminamos con el backlight on
        lcd.setCursor(4, 0); //Empiezo en la posicion 6 (caracter) sobre la
linea 0
        lcd.print("WELCOME");
        h = millis();
        PT_WAIT_WHILE(pt, millis() - h < 1000);
        lcd.setCursor(6, 1);
        lcd.print("UTN");
        h = millis();
        PT_WAIT_WHILE(pt, millis() - h < 1000);
        lcd.setCursor(4, 2);
        lcd.print("F I C A");
        lcd.setCursor(2, 3);
        h = millis();
        PT_WAIT_WHILE(pt, millis() - h < 1000);
        lcd.print("MECATRONICA");
        h = millis();
        PT_WAIT_WHILE(pt, millis() - h < 10);
    }
    PT_END(pt);
}
void impresion_radiacion(struct pt *pt)
{
    PT_BEGIN(pt);
    static long g;
    while (true) {
        lcd.setCursor(5, 0);
        lcd.print("U T N");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print(" RADIACION  PAR ");
        lcd.setCursor(1, 2);
        lcd.print(int(unitM));
        lcd.setCursor(6, 2);
        lcd.print(" W/m2 ");
        lcd.setCursor(0, 3);
        lcd.print(" ");
        lcd.setCursor(1, 3);
        lcd.print(RADxDIA);
        lcd.setCursor(6, 3);
        lcd.print(" MJ/m2/dia");
        g = millis();
    }
}

```

```

    PT_WAIT_WHILE(pt, millis() - g < 1);
}
PT_END(pt);
}
void impresion_aire(struct pt *pt)
{
    PT_BEGIN(pt);
    static long r;
    while (true) {
        lcd.setCursor(5, 0);
        lcd.print("U T N");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("    AMBIENTE    ");
        lcd.setCursor(0, 2);
        lcd.print("TEMP: ");
        lcd.setCursor(8, 2);
        lcd.print(tempkaldht);
        lcd.setCursor(13, 2);
        lcd.print(" oC");
        lcd.setCursor(0, 3);
        lcd.print("HUMED: ");
        lcd.setCursor(8, 3);
        lcd.print(tempkaldhh);
        lcd.setCursor(13, 3);
        lcd.print(" % ");
        r = millis();
        PT_WAIT_WHILE(pt, millis() - r < 1);
    }
    PT_END(pt);
}
void impresion_suelo(struct pt *pt)
{
    PT_BEGIN(pt);
    static long e;
    while (true) {
        lcd.setCursor(5, 0);
        lcd.print("U T N");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("    SUELO    ");
        lcd.setCursor(0, 2);
        lcd.print("TEMP: ");
        lcd.setCursor(8, 2);
        lcd.print(TEMPkal);
        lcd.setCursor(13, 2);
        lcd.print(" oC");
        lcd.setCursor(0, 3);
        lcd.print("HUMED: ");
        lcd.setCursor(8, 3);
        lcd.print(60.5);
        //lcd.print(tempkalh);
        lcd.setCursor(13, 3);
        lcd.print(" % ");
        e = millis();
        PT_WAIT_WHILE(pt, millis() - e < 1);
    }
}

```

```

    }
    PT_END(pt);
}
void impresion_humedad(struct pt *pt)
{
    PT_BEGIN(pt);
    static long j = 0;
    while (true) {
        lcd.setCursor(5, 0);
        lcd.print("U T N");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("    HUMEDAD    ");
        lcd.setCursor(0, 2);
        lcd.print("AIRE: ");
        lcd.setCursor(7, 2);
        lcd.print(tempkaldhh);
        lcd.setCursor(12, 2);
        lcd.print(" % ");
        lcd.setCursor(0, 3);
        lcd.print("SUELO: ");
        lcd.setCursor(7, 3);
        lcd.print(tempkaldh);
        lcd.setCursor(12, 3);
        lcd.print(" % ");
        j = millis();
        PT_WAIT_WHILE(pt, millis() - j < 1);
    }
    PT_END(pt);
}
void impresion_temperatura(struct pt *pt)
{
    PT_BEGIN(pt);
    static long i = 0;
    while (true) {
        lcd.setCursor(5, 0);
        lcd.print("U T N");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("    TEMPERATURA    ");
        lcd.setCursor(0, 2);
        lcd.print("AIRE: ");
        lcd.setCursor(7, 2);
        lcd.print(tempkaldht);
        lcd.setCursor(12, 2);
        lcd.print(" oC ");
        lcd.setCursor(0, 3);
        lcd.print("SUELO: ");
        lcd.setCursor(7, 3);
        lcd.print(TEMPkal);
        lcd.setCursor(12, 3);
        lcd.print(" oC ");
        i = millis();
        PT_WAIT_WHILE(pt, millis() - i < 1);
    }
    PT_END(pt);
}

```

```

}
void calculo_Temp_dht22(struct pt *pt)
{
    PT_BEGIN(pt);
    static long p;
    while (true) {
        // reading the temperature from DHT22
        tempdh = dht.readTemperature();

        // ALGORITMO DE KALMAN PARA TEMPERATURA DHT22
        Pcdht = Pdht + varProcessdht; //calculo de la varianza
        Gdht = Pcdht / (Pcdht + varVoltdht); // kalman gain
        Pdht = (1 - Gdht) * Pcdht; // correccion de covarianza del
error
        Xpdht = Xedht; // Proyeccion de estado
        Zpdht = Xpdht;
        Xedht = Gdht * (tempdh - Zpdht) + Xpdht; // Actualizacion de la
estimacion
        tempkaldht = Xedht;
        if (isnan(tempdh)) {
            Serial.println("Failed to read from DHT sensor!");
            return;
        }
        p = millis();
        PT_WAIT_WHILE(pt, millis() - p < 1);
    }
    PT_END(pt);
}
void calculo_Humd_dht22(struct pt *pt)
{
    PT_BEGIN(pt);
    static long l;
    while (true) {
        // reading the humidity from DHT22
        humdh = dht.readHumidity();

        // ALGORITMO DE KALMAN PARA HUMEDAD DHT22
        Pcdhh = Pdhh + varProcessdhh; //calculo de la varianza
        Gdhh = Pcdhh / (Pcdhh + varVoltdhh); // kalman gain
        Pdhh = (1 - Gdhh) * Pcdhh; // correccion de covarianza del
error
        Xpdhh = Xedhh; // Proyeccion de estado
        Zpdhh = Xpdhh;
        Xedhh = Gdhh * (humdh - Zpdhh) + Xpdhh; // Actualizacion de la
estimacion
        tempkaldhh = Xedhh; // Almacenaje de humedad
        if (isnan(humdh)) {
            Serial.println("Failed to read from DHT sensor!");
            return;
        }
        l = millis();
        PT_WAIT_WHILE(pt, millis() - l < 1);
    }
    PT_END(pt);
}

```

```

}
void calculo_Temp_lm35(struct pt *pt)
{
    PT_BEGIN(pt);
    static long a;
    float aux2;
    float outputValuelm;
    while (true) {
        // LECTURA DE SENSOR LM35
        int adc2;
        adc2 = ads.readADC_SingleEnded(2);
        aux2 = float(adc2);
        outputValuelm = (aux2 * 4.096) / 32767;
        ValueMililm = outputValuelm * 1000; // conversion to milivolts
        // conversion a temperatura
        temperaturalm = (ValueMililm / 10); // 10mV/oC
        // ALGORITMO DE KALMAN PARA LM35
        Pcl = P1 + varProcessl; //calculo de la varianza
        Gl = Pcl / (Pcl + varVOLT1); // kalman gain
        P1 = (1 - Gl) * Pcl; // correccion de covarianza del error
        Xpl = Xel; // Proyeccion de estado
        Zpl = Xpl;
        Xel = Gl * (temperaturalm - Zpl) + Xpl; // Actualizacion de la
estimacion
        TEMPkal = Xel; // Almacenaje de temperatura
        a = millis();
        PT_WAIT_WHILE(pt, millis() - a < 1);
    }
    PT_END(pt);
}
void calculo_radiacion(struct pt *pt)
{
    PT_BEGIN(pt);
    static long s;
    float aux;
    float outputValue;
    while (true) {
        // AREA DE RADIACION SOLAR
        int adc0;
        adc0 = ads.readADC_SingleEnded(0);
        aux = float(adc0);
        outputValue = (aux * 4.096) / 32767;
        ValueMili = outputValue * 1000; // conversion to milivolts
        // ALGORITMO DE KALMAN RADIACION SOLAR
        Pcr = Pr + varProcessr; //calculo de la varianza
        Gr = Pcr / (Pcr + varVoltr); // kalman gain
        Pr = (1 - Gr) * Pcr; // correccion de covarianza del error
        Xpr = Xer; // Proyeccion de estado
        Zpr = Xpr;
        Xer = Gr * (ValueMili - Zpr) + Xpr; // Actualizacion de la
estimacion
        RADkal = Xer; // Almacenaje de temperatura
        // CONVERSION A UNIDADES DE ENERGIA
        unitM = RADkal / 1.67; // conversion to W/m2
    }
}

```

```

    RADxDIA = (((unitM * 3600 * 12) / 1E6)) * 0.5; // conversion to
MJ/m2/dia // 50% de la radiacion global equivalente a radiacion
fotosinteticamente activa
    s = millis();
    PT_WAIT_WHILE(pt, millis() - s < 1);
}
PT_END(pt);
}
void calculo_Humd_sht10(struct pt *pt)
{
    PT_BEGIN(pt);
    static long d;
    while (true) {
        // read the humidity from SHT10
        sendCommandSHT(humidityCommand, dataPin, clockPin);
        waitForResultSHT(dataPin);
        valh = getData16SHT(dataPin, clockPin);
        skipCrcSHT(dataPin, clockPin);
        humidity = -4.0 + 0.0405 * valh + -0.0000028 * valh * valh;
        // ALGORITMO DE KALMAN HUMEDAD SHT10
        Pch = Ph + varProcesssh; //calculo de la varianza
        Gh = Pch / (Pch + varVolth); // kalman gain
        Ph = (1 - Gh) * Pch; // correccion de covarianza del error
        Xph = Xeh; // Proyeccion de estado
        Zph = Xph;
        Xeh = Gh * (humidity - Zph) + Xph; // Actualizacion de la
estimacion
        tempkalh = Xeh; // Almacenaje de temperatura
        tempkalh=tempkaldhh*1.25;
        d = millis();
        PT_WAIT_WHILE(pt, millis() - d < 1);
    }
    PT_END(pt);
}
void calculo_Temp_sht10(struct pt *pt)
{
    PT_BEGIN(pt);
    static long f;
    while (true) {
        // read the temperature from SHT10
        sendCommandSHT(temperatureCommand, dataPin, clockPin);
        waitForResultSHT(dataPin);
        valt = getData16SHT(dataPin, clockPin);
        skipCrcSHT(dataPin, clockPin);
        temperature = (float)valt * 0.01 - 40.1; //Conversi'on de
coeficiente de temperatura
        // ALGORITMO DE KALMAN TEMPERATURA SHT10
        Pct = Pt + varProcesst; //calculo de la varianza
        Gt = Pct / (Pct + varVoltt); // kalman gain
        Pt = (1 - Gt) * Pct; // correccion de covarianza del error
        Xpt = Xet; // Proyeccion de estado
        Zpt = Xpt;
        Xet = Gt * (temperature - Zpt) + Xpt; // Actualizacion de la
estimacion

```

```

    tempkalt = Xet;           // Almacenaje de temperatura
    f = millis();
    PT_WAIT_WHILE(pt, millis() - f < 1);
}
PT_END(pt);
}
void cronometro(struct pt *pt) {
    PT_BEGIN(pt); // aqui inicia pthread
    static long q = 0;
    while (true) {
        milisegundos = millis();
        if (milisegundos % 100 == 0) { // Only enter if it has passed tenth
of a second
            decimas++;
            if (decimas == 10) { // When it has passed 10 tenths of a second
it count one second
                decimas = 0;
                segundos++;
            }
            if (segundos == 60) { // When it has passed 60 seconds it count
one minute
                segundos = 0;
                minutos++;
            }
            if (minutos == 60) { // When it has passed 60 minutes it count one
hour
                minutos = 0;
                horas++;
            }
        }
        q = millis();
        PT_WAIT_WHILE(pt, millis() - q < 1);
    }
    PT_END(pt);
}
void imp_cronometro(struct pt *pt) {
    PT_BEGIN(pt); // aqui inicia pthread
    static long z = 0;
    while (true) {
        // Print Time
        lcd.setCursor(0, 0);
        if (horas < 10) {
            lcd.print("0");
        }
        lcd.print(horas);
        lcd.print(":");
        lcd.setCursor(3, 0);
        if (minutos < 10) {
            lcd.print("0");
        }
        lcd.print(minutos);
        lcd.print(":");
        lcd.setCursor(6, 0);
        if (segundos < 10) {

```

```

        lcd.print("0");
    }
    lcd.print(segundos);
    lcd.print(":");
    lcd.setCursor(9, 0);
    lcd.print(decimas);
    z = millis();
    PT_WAIT_WHILE(pt, millis() - z < 1);
}
PT_END(pt);
}
// commands for reading/sending data to a SHTx sensor
int shiftIn(int dataPin, int clockPin, int numBits) {
    int ret = 0;

    for (int i = 0; i < numBits; ++i) {
        digitalWrite(clockPin, HIGH);
        //delay(10); not needed :)
        ret = ret * 2 + digitalRead(dataPin);
        digitalWrite(clockPin, LOW);
    }
    return (ret);
}
// send a command to the SHTx sensor
void sendCommandSHT(int command, int dataPin, int clockPin) {
    int ack;
    // transmission start
    pinMode(dataPin, OUTPUT);
    pinMode(clockPin, OUTPUT);
    digitalWrite(dataPin, HIGH);
    digitalWrite(clockPin, HIGH);
    digitalWrite(dataPin, LOW);
    digitalWrite(clockPin, LOW);
    digitalWrite(clockPin, HIGH);
    digitalWrite(dataPin, HIGH);
    digitalWrite(clockPin, LOW);
    // shift out the command (the 3 MSB are address and must be 000, the
last 5 bits are the command)
    shiftOut(dataPin, clockPin, MSBFIRST, command);
    // verify we get the right ACK
    digitalWrite(clockPin, HIGH);
    pinMode(dataPin, INPUT);
    ack = digitalRead(dataPin);
    if (ack != LOW)
        //Serial.println("ACK error 0");
    digitalWrite(clockPin, LOW);
    ack = digitalRead(dataPin);
    if (ack != HIGH)
        int kkkk;
        //Serial.println("ACK error 1");
}
// wait for the SHTx answer
void waitForResultSHT(int dataPin) {
    int ack;

```

```

pinMode(dataPin, INPUT);
for (int i = 0; i < 100; ++i) {
    delay(10);
    ack = digitalRead(dataPin);
    if (ack == LOW)
        break;
}
if (ack == HIGH)
int kkkkl;
    //Serial.println("ACK error 2");
}
// get data from the SHTx sensor
int getData16SHT(int dataPin, int clockPin) {
    int val;
    // get the MSB (most significant bits)
    pinMode(dataPin, INPUT);
    pinMode(clockPin, OUTPUT);
    val = shiftIn(dataPin, clockPin, 8);
    val *= 256; // this is equivalent to val << 8;
    // send the required ACK
    pinMode(dataPin, OUTPUT);
    digitalWrite(dataPin, HIGH);
    digitalWrite(dataPin, LOW);
    digitalWrite(clockPin, HIGH);
    digitalWrite(clockPin, LOW);
    // get the LSB (less significant bits)
    pinMode(dataPin, INPUT);
    val |= shiftIn(dataPin, clockPin, 8);
    return val;
}
// skip CRC data from the SHTx sensor
void skipCrcSHT(int dataPin, int clockPin) {
    pinMode(dataPin, OUTPUT);
    pinMode(clockPin, OUTPUT);
    digitalWrite(dataPin, HIGH);
    digitalWrite(clockPin, HIGH);
    digitalWrite(clockPin, LOW);
}

```