

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

Sistema Electrónico para la adquisición de datos y monitoreo de una  
secadora híbrida

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**

Presentado por:

Daniel Alejandro Sánchez Navas

Manuel Alfonso Castro Fárez

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2018

## DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a mis padres que siempre me brindaron su apoyo, logrando que nunca me falte nada, a lo largo de mi carrera han hecho un esfuerzo grande para que salga adelante y me adapte a una ciudad como Guayaquil y aun así en momentos difíciles siempre conté la ayuda necesaria de ellos para salir adelante.

Manuel Castro.

A Dios por su grande e inimaginable misericordia en mi vida, a mis padres y abuelos que gracias a ellos no me ha hecho falta nada, a mis amigos y a todos los que de alguna u otra aportaron para alcanzar este objetivo.

Daniel Sánchez.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar al Cristo todo poderoso que me ha permitido culminar este trabajo y mis años de estudio. A los viejos que me apoyaron incansable e incondicionalmente, a mis tíos, Marlene, Marcelo que me brindaron su conocimiento y experiencia, a mis amigos, Adrián, Israel, Kevin, Junior, Erika, David, Andrés, Luis y Jordy que me alentaron a nunca rendirme y alcanzar el éxito.

Manuel Castro

Agradezco al Ing. Francisco Novillo y a la Ing. Emérita Delgado por su ayuda, tutoría y mentoría en el transcurso de este proyecto, a mis amigos que me apoyaron en la realización del mismo, a mi madre y a Dios.

Daniel Sánchez.

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Proyecto integrador, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

Manuel Alfonso Castro Fárez

Daniel Alejandro Sánchez Navas

# EVALUADORES

**Francisco Novillo Parales Ph.D**

PROFESOR DE LA MATERIA

**Wilton Agila Ph.D**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

En el siguiente proyecto se llevará a cabo la implementación de un sistema electrónico para la adquisición de datos a través de sensores de monitoreo para un prototipo de una secadora híbrida, para ello se diseñará un sistema donde se utiliza principalmente sensores y sistemas embebidos, con el propósito de mejorar y optimizar el procedimiento de monitoreo que realizan actualmente en el equipo, de esta forma evitaremos los errores en el censado de datos y permitiendo así el monitoreo de diferentes variables contribuyendo a un proceso más eficiente y óptimo en el secado de productos específicos.

Se usaron sensores de medición de temperatura, humedad y radiación solar, los cuales censan los parámetros respectivos de cada variable. Los parámetros serán almacenados en una memoria USB, y se podrá visualizar la información en tiempo real a través de una pantalla, la adquisición de datos se realizará cada 5 minutos, evitando así la ineficiencia y errores en la toma de datos realizada manualmente, se usó el controlador arduino mega el cual permitió y facilitó el desarrollo de este sistema.

Palabras Clave: Sistema embebido, secadora híbrida, sensores y memoria USB.

## **ABSTRACT**

*In the next project the implementation of an electronic system will be carried out for the acquisition of data through monitoring sensors for a prototype of a hybrid dryer, for this a new system will be developed where mainly sensors and embedded systems are used, with the purpose of improving and optimizing the monitoring procedure they perform currently in the device, this way we can avoid errors in the census of data and thus allowing the monitoring of different variables contributing to a more efficient and optimal process in the drying of specific products.*

*Sensors for measuring temperature, humidity and solar radiation were used, which measures every single parameter for each variable. The parameters will be stored on via USB memory, and the information can be displayed in real time through a screen, data acquisition will be carried out every 5 minutes, thus avoiding inefficiency and errors in data collection performed manually, the arduino mega controller was used and it allowed and facilitated the development of this system.*

*Keywords: embedded systems, hybrid dryer, sensors, USB memory.*

# INDICE

RESUMEN.....	VI
ABSTRACT.....	VII
INDICE.....	VIII
ABREVIATURAS .....	XI
INDICE DE FIGURAS .....	XII
INDICE DE TABLAS .....	XIV
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Descripción del problema.....	2
1.2. Justificación del problema.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivos Específicos .....	3
1.4. Metodología .....	3
1.4.1. Adquisición de datos.....	4
1.4.2. Procesamiento de Datos .....	4
1.4.3. Almacenamiento de datos .....	4
1.4.4. Monitoreo de datos .....	4
CAPÍTULO 2.....	5
2. MARCO TEÓRICO .....	5
2.1. Sistemas de control.....	5
2.1.1. Microcontrolador.....	5
2.1.2. Protocolos de comunicación utilizados .....	6
2.1.3. Compilador .....	10
2.1.4. Entorno de Desarrollo Integrado (IDE).....	11

2.2. Sensores.....	12
CAPÍTULO 3.....	13
3. MODELO DEL SISTEMA.....	13
3.1. Especificaciones del sistema .....	14
3.1.1. Ubicación de los sensores.....	14
3.2. Sensores.....	15
3.2.1. Sensor de Temperatura.....	16
3.2.2. Sensor de Humedad de la muestra .....	18
3.2.3. Sensor de radiación.....	20
3.3. Transmisión de la Señal.....	21
3.3.1. Tipo de cable .....	21
3.3.2. Recubrimiento Térmico.....	22
3.4. Procesamiento .....	22
Módulo de lectura y escritura USB.....	23
Módulo de Relé.....	24
Pantalla.....	24
3.5. Conexiones .....	25
3.5.1. Lista de materiales del sistema.....	25
3.5.2. Conexiones de los Sensores.....	26
CAPÍTULO 4.....	29
4. ALGORITMOS E IMPLEMENTACIÓN.....	29
4.1. Descripción de Algoritmos.....	29
4.2. Descripción Funcional del Programa.....	30
4.3. Implementación.....	32
4.3.1. Implementación de los sensores.....	32
4.3.2. Implementación de la caja de procesamiento .....	33
CAPITULO 5.....	37

5. PRUEBAS Y RESULTADOS .....	37
5.1. Prueba de Campo del sistema .....	37
5.2. Parámetros del sistema.....	37
5.3. Mediciones.....	38
5.4. Resultados.....	39
CAPITULO 6.....	43
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	43
6.1. Conclusiones .....	43
6.2. Recomendaciones .....	44
6.3. Bibliografía .....	45

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción
FCNM	Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas
USB	Universal Serial Bus
UTP	Unshielded Twisted Pair
LCD	Liquid Cristal Display

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Microcontrolador .....	5
Figura 2.2	Partes que conforman un microcontrolador .....	5
Figura 2.3	Direccionamiento de trama de 7 bits .....	6
Figura 2.4	Direccionamiento de trama de 8 bits .....	6
Figura 2.5	Direccionamiento de trama de 10 bits .....	7
Figura 2.6	Direcciones reservadas .....	7
Figura 2.7	Registros usados en el microcontrolador .....	7
Figura 2.8	Estructura general del protocolo SPI .....	8
Figura 2.9	Trama de control de registro para protocolo SPI .....	8
Figura 2.10	Trama de estatus de registro para protocolo SPI .....	9
Figura 2.11	Trama de registro de datos para protocolo SPI .....	9
Figura 2.12	Modos de funcionamiento del protocolo SPI .....	9
Figura 2.13	Estructura general del protocolo 1-wire .....	10
Figura 2.14	Trama de direccionamiento de protocolo 1-wire .....	10
Figura 2.15	Proceso de compilación .....	10
Figura 2.16	IDE .....	11
Figura 3.1.	Etapas del sistema electrónico .....	13
Figura 3.2.	Esquema de ubicación de los sensores .....	15
Figura 3.3.	Sensor de temperatura y Humedad .....	16
Figura 3.4.	Esquemático de los pines del sensor de temperatura .....	17
Figura 3.5.	Sensor de humedad de la muestra .....	19
Figura 3.6.	Esquemático del sensor de humedad .....	19
Figura 3.7.	Sensor de radiación .....	20
Figura 3.8.	Conexiones entre el arduino mega y los sensores del sistema .....	27
Figura 3.9.	Esquemático de los componentes del sistema electrónico .....	28
Figura 4.1.	Diagrama de bloques de la caja de Procesamiento .....	29
Figura 4.2.	Diagrama de bloques funcional .....	30
Figura 4.3.	(a) Sensores ubicados en cada una de las estanterías sin bandejas, (b) con las bandejas puestas .....	33
Figura 4.4.	Caja metálica con los componentes de procesamiento .....	34
Figura 4.5.	Caja de procesamiento .....	35

Figura 4.6. Caja de procesamiento instalada con el secador .....	36
Figura 5.1. Datos tomados por los sensores implementados .....	39
Figura 5.2. Datos de humedad de la muestra .....	39
Figura 5.3. Niveles de irradiación.....	40
Figura 5.4. Función de Distribución Acumulada de Temperatura .....	40
Figura 5.5. Función de Distribución Acumulada de humedad de la muestra ...	41
Figura 5.6. Función de Distribución Acumulada de humedad del ambiente ....	41
Figura 5.7. Función de Distribución Acumulada de Irradiación.....	42

## INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1.	Especificaciones técnicas del sensor de temperatura .....	17
Tabla 3.2.	Especificaciones técnicas del sensor de humedad .....	19
Tabla 3.3.	Especificaciones técnicas del cable UTP .....	21
Tabla 3.4.	Especificaciones técnicas del módulo de reloj .....	23
Tabla 3.5.	Especificaciones técnicas del módulo USB.....	24
Tabla 3.6.	Especificaciones técnicas del Relé .....	24
Tabla 3.7.	Especificaciones técnicas de la LCD.....	25

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

La ESPOL cuenta con un prototipo de secadora híbrida, en la cual se realiza el secado y deshidratación de distintos alimentos y productos, la secadora se encuentra ubicada en la facultad de ingeniería mecánica y ciencias de la producción FIMCP, en los terrenos del antiguo taller de metalurgia. El principal problema detallado por los operadores de la secadora es la adquisición y censado de datos, debido a las diferentes complicaciones presentadas, como los errores y la ineficiencia en la toma de datos provocados debido la fatiga presentada en los encargados de las mediciones, puesto que este proceso se lo realiza de manera manual bajo el sol soportando las altas temperaturas existentes en el campus universitario. Estas fallas en la adquisición de datos impiden un correcto monitoreo en los productos, evitando obtener un secado y deshidratación adecuado haciendo que en ocasiones se eche a perder por completo el producto.

La secadora es utilizada por los operadores para el secado de ciertos productos que se proporcionan en las comunas de bajos recursos de la costa ecuatoriana, también es utilizado por alumnos de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas FCNM, los cuales miden las diferentes curvas de secados en varios alimentos, determinando así el tiempo de estudio para sus proyectos. La singularidad de esta secadora es ser un prototipo en el campus para su posterior uso en comunas aledañas y de bajos recursos del litoral ecuatoriano. El sistema a implementarse resolverá los errores en la adquisición de datos además de que será más cómodo y sencillo para los operadores en el monitoreo de sus productos proporcionando así un resultado óptimo y esperado.

El sistema censa datos de variables de estudio en un determinado periodo de tiempo, los cuales sirven para determinar un estatus aproximado de secado en los distintos productos o frutas sometidas a pruebas en la secadora híbrida, la información del censado se guarda en una memoria extraíble como objeto de bitácora de estudio.

Este proyecto cuenta de cinco capítulos puntuales para el desarrollo de la misma, en este primer capítulo se detalla los problemas presentados y las soluciones propuestas

al mismo, el segundo capítulo se identificará la metodología adecuada acerca de la solución del problema para la implementación del mismo, la fase experimental, ensayo y error abarcara el tercer capítulo, y para finalizar el quinto capítulo donde se puntualiza la solución al problema ya implementada con los distintos resultados obtenidos.

### **1.1. Descripción del problema**

La eficiencia en el mecanismo de la toma de datos para el monitoreo de los parámetros necesarios para obtener los resultados en el producto es indispensable, además de la precisión para optimizar el tiempo de estudio en los proyectos de los estudiantes de la carrera Ingeniería Química. La secadora híbrida no cuenta con un sistema para la adquisición de datos de las distintas variables a monitorear, por lo que esta operación se la realiza de manera manual, en la mayoría de ocasiones volviéndose tediosa para los operadores de la secadora, además de contar con cierto grado de imprecisión en los datos adquiridos de esta manera.

Las dificultades en este prototipo son diferentes a los secadores utilizados industrialmente, debido a que ellos cuentan con sistemas automatizados que permiten monitorear y controlar ciertas variables que influyen directamente en el resultado del producto. Pero acoger un sistema de esos sería excesivamente costoso en implementación y mantenimiento del mismo.

### **1.2. Justificación del problema**

En la necesidad de resolver este problema que afecta directamente al producto final, se procederá a implementar un sistema electrónico para la adquisición de datos a través de sensores de monitoreo para una secadora híbrida. Según lo detallado por la Ing. Emérita Delgado. PhD, docente de la ESPOL, se ha solicitado los siguientes requerimientos para la secadora: Medición de temperatura, medición de humedad, medición de radiación solar.

La solución planteada fue la implementación de un sistema de adquisición de datos que cuenta con 8 sensores de temperatura y 6 sensores de humedad ubicados respectivamente en las distintas bandejas del interior de la secadora, donde se censan

datos cada 5 minutos la temperatura ambiente de cada bandeja y porcentaje de humedad de cada producto ubicado, además de un sensor de radiación solar ubicado en la cubierta de la secadora, el cual describirá la potencia recibida en la secadora por los rayos solares.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Desarrollar un sistema electrónico para la adquisición de datos a través de sensores de monitoreo para una secadora híbrida.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

1. Diseñar un sistema electrónico para la adquisición y monitoreo de datos a través de sensores para una secadora híbrida
2. Implementar un sistema electrónico para la adquisición y monitoreo de datos a través de sensores para una secadora híbrida

### **1.4. Metodología**

En el mercado existen diferentes alternativas de medición, monitoreo, procesamiento, almacenamiento y toma de datos, uno de ellos es utilizando el microcontrolador Arduino muy comercial y sencillo de adquirir, además de una alta gama de sensores diseñadas para el mismo, su programación y su infinidad de usos lo convierte en una poderosa herramienta para la implementación de proyectos.

Otra de las alternativas es el uso de un Raspberry Pi, el cual es un ordenador compactado en una placa, muy comercial, compatible con los sensores diseñados para Arduino se convierten en una herramienta eficaz para la implementación de proyectos. A diferencia de Arduino su programación se realiza en un lenguaje distinto.

Para este proyecto se ha implementado la siguiente solución el uso del microcontrolador Arduino Mega, debido a su gran cantidad de entradas digitales y analógicas que encajan perfectamente con los requerimientos solicitados,

considerando así la adquisición y censado de datos cada intervalo de tiempo definido para cada uno de los sensores.

#### **1.4.1. Adquisición de datos**

El proceso de censado de datos se efectúa a través de los distintos sensores implementados en el secador, estos sensores trabajan controlados por la programación del Arduino sumada a la ayuda de un módulo de reloj para censar en tiempo real, transcurrido el intervalo de tiempo los sensores envían los datos respectivos al Arduino para su procesamiento.

#### **1.4.2. Procesamiento de Datos**

Los datos son procesados en el Arduino, ordenándolos en un archivo con formato txt o cvs, en este archivo se establece la fecha y hora correspondiente al censado del dato, número de sensor que adquirió el dato, y unidades correspondientes.

#### **1.4.3. Almacenamiento de datos**

El almacenamiento se realizará con la ayuda de un módulo de lectura y escritura USB, cumplido el intervalo determinado, y se almacenará en el dispositivo extraíble el archivo con formato cvs.

#### **1.4.4. Monitoreo de datos**

Para monitorear los datos obtenidos se los visualizará a través de una pantalla LCD compatible con Arduino, el más reciente censo de datos se mostrará en la pantalla.

# CAPÍTULO 2

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Sistemas de control

#### 2.1.1. Microcontrolador

Es un circuito programable integrado digital como se puede ver en la figura 2.1. En su interior que está constituido por un CPU, Memorias (RAM & ROM), puertos de entrada y salida, periféricos como se indica en la figura 2.2. La función del microcontrolador es de leer y ejecutar instrucciones programadas por el usuario. [1]

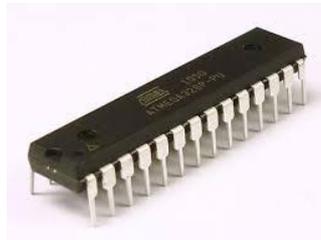


Figura 2.1. Microcontrolador

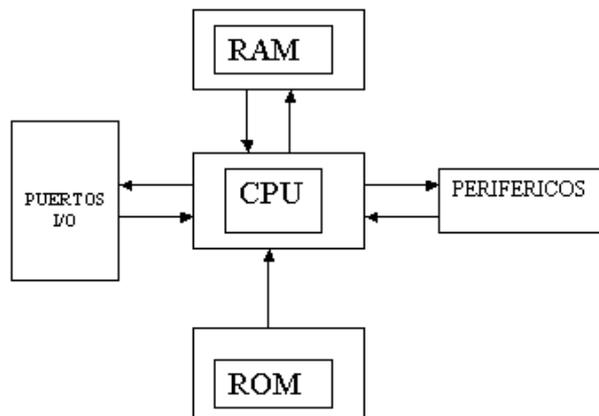


Figura 2.2. Partes que conforman un microcontrolador

## 2.1.2. Protocolos de comunicación utilizados

### Protocolo I2c

I2C es un protocolo síncrono que utiliza 2 cables, uno para el reloj (SCL) y otro para el dato (SDA). Esto significa que el maestro y el esclavo envían datos por el mismo cable, el cual es controlado por el maestro, que crea la señal de reloj. I2C no utiliza selección de esclavo, sino direccionamiento. Existe un distinto direccionamiento de trama dependiendo del número de bit, como se ve en la figura 2.3 para 7 bits, figura 2.4 para 8 bits, figura 2.5 para 10 bits [2]. Este protocolo utiliza direcciones reservadas en el microprocesador como podemos ver en la figura 2.6, varios registros son utilizados para la comunicación de este protocolo como se observa en la figura 2.7. La función del protocolo es para la transmisión de datos de control y configuración, con frecuencia su aplicación es conversor A/D o D/A de sensores electrónicos con baja tasa de frecuencia de muestre además de usarse para relojes a tiempo real [3].



Figura 2.3. Direccionamiento de trama de 7 bits [2]

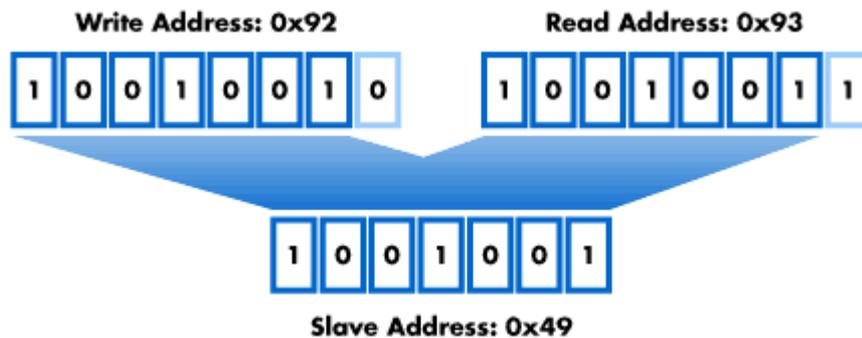


Figura 2.4. Direccionamiento de trama de 8 bits [2]



Figura 2.5. Direccionamiento de trama de 10 bits [2]

Dirección del esclavo	Bit R / W	Descripción
000 0000	0	Dirección general de llamada
000 0000	1	Byte de inicio
000 0001	X	Dirección CBUS
000 0010	X	Reservado para diferentes formatos de bus
000 0011	X	Reservado para futuros propósitos.
000 01XX	X	Código maestro de modo hs
111 10XX	X	Direccionamiento esclavo de 10 bits
111 11XX	X	Reservado para futuros propósitos.

Figura 2.6. Direcciones reservadas [3]

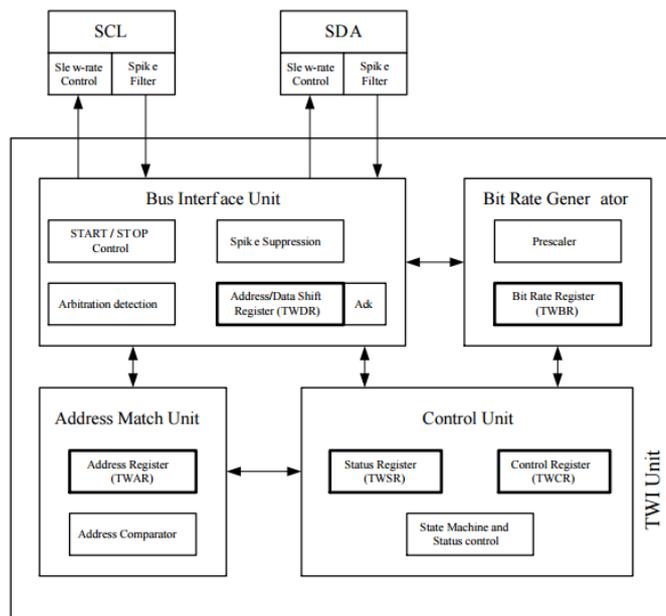


Figura 2.7. Registros usados en el microcontrolador [3]

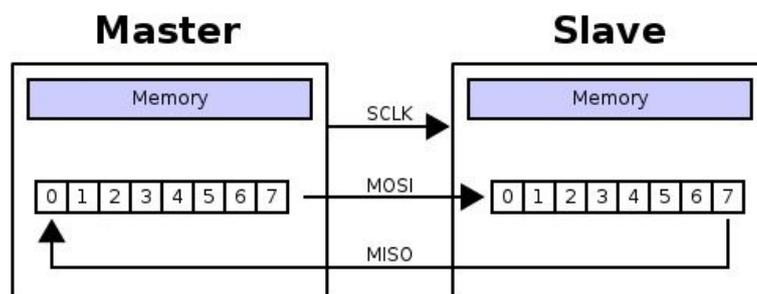
El proceso de comunicación se realiza con enviando un patrón “Start condition” por el maestro, este patrón avisa a los esclavos a la espera de una acción. El maestro envía un byte al dispositivo seleccionado con los siete bits que componen la dirección del esclavo, el ultimo bit (octavo) tiene la operación deseada

(lectura/escritura) L=1 recibe del esclavo, e=0 envía al esclavo. El esclavo compara la dirección recibida con la propia, en caso de coincidir ambas este se direcciona como esclavo transmisor- receptor dependiendo del octavo bit (L/E).

Los bytes del maestro tanto como leído o escrito son reconocidos por un bit ACK en el maestro/esclavo. Para finalizar la comunicación el maestro transmite "Stop Condition" para liberar al esclavo. [4]

**Protocolo SPI**

SPI es un protocolo en serie muy simple como se puede ver en la figura 2.8. Un maestro envía la señal de reloj, y tras cada pulso de reloj envía un bit al esclavo y recibe un bit de éste. Los nombres de las señales son por tanto SCK para el reloj, MOSI para el Maestro Out Esclavo In, y MISO para Maestro In Esclavo Out. Para controlar más de un esclavo es preciso utilizar SS (selección de esclavo) como se aprecian en las figuras 2.9, figura 2.10, figura 2.11, los diferentes modos que puede tener la trama de registro del protocolo [5]. Los usos de este protocolo son: comunicar diferentes periféricos como se observa en la figura 2.12 dependiendo del modo se tiene dispositivos como: sensores de temperatura, humedad, convertidores analógicos, pantallas LCD, tarjetas SD, memorias Flash, dispositivos USB [6].



**Figura 2.8 Estructura general del protocolo SPI [5]**

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	SPIE	SPE	DORD	MSTR	CPOL	CPHA	SPR1	SPR0	SPCR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

**Figura 2.9 Trama de control de registro para protocolo SPI [5]**

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	<b>SPSR</b>								
Read/Write	R	R	R	R	R	R	R	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

**Figura 2.10 Trama de estatus de registro para protocolo SPI [5]**

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	<b>SPDR</b>								
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	X	X	X	X	X	X	X	X	Undefined

**Figura 2.11 Trama de registro de datos para protocolo SPI [5]**

	Leading Edge	Trailing Edge	SPI Mode
CPOL = 0, CPHA = 0	Sample (Rising)	Setup (Falling)	0
CPOL = 0, CPHA = 1	Setup (Rising)	Sample (Falling)	1
CPOL = 1, CPHA = 0	Sample (Falling)	Setup (Rising)	2
CPOL = 1, CPHA = 1	Setup (Falling)	Sample (Rising)	3

**Figura 2.12 Modos de funcionamiento del protocolo SPI [6]**

### Protocolo 1-Wire

1-Wire es un protocolo de comunicaciones en serie diseñado por Dallas Semiconductor. Está basado en un bus, un maestro y varios esclavos de una sola línea de datos en la que se alimentan, como se puede ver en la figura 2.13 la estructura general del protocolo [7]. Se lo utiliza normalmente en lectura de datos de diferentes sensores digitales como: temperatura, presión entre otros. Como se aprecia en la figura 2.14 el direccionamiento de la trama para la lectura de los datos [8]

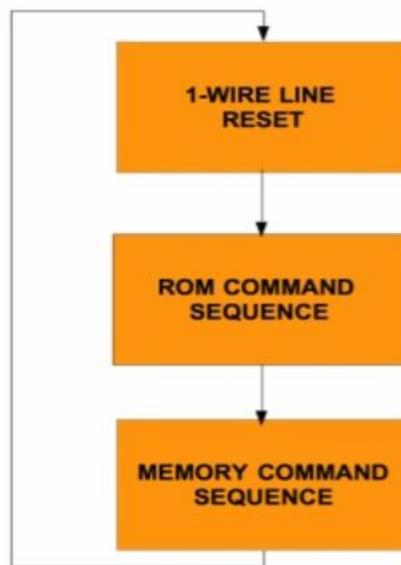


Figura 2.13 Estructura general del protocolo 1-wire [7]

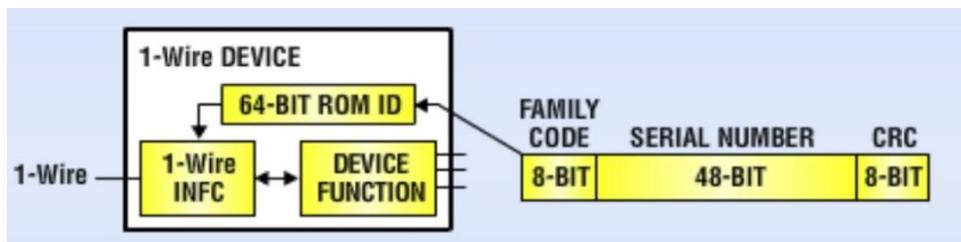


Figura 2.14 Trama de direccionamiento de protocolo 1-wire [8]

### 2.1.3. Compilador

Un programa escrito en cierto lenguaje de alto nivel debe transformarse a código máquina. Un software específico denominado compilador, traduce y transforma el programa desarrollado a código máquina, para que así el microcontrolador pueda leer y cumplir las instrucciones. Después del proceso de compilación se transfiere el código máquina hacia la memoria interna del microcontrolador. La figura 2.15 explica el proceso anteriormente descrito [9]

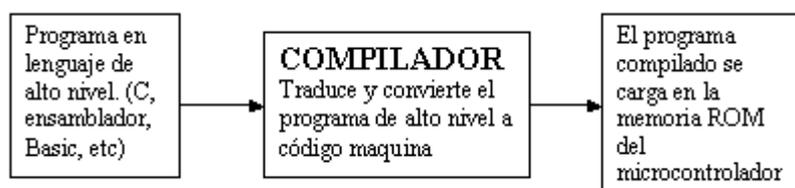


Figura 2.15 Proceso de compilación [9]

### 2.1.4. Entorno de Desarrollo Integrado (IDE)

Permite realizar la programación en lenguaje C del código para cargarlo al Arduino MEGA. La gran ventaja que ofrece que es un software de código abierto, que se puede ejecutar en los diferentes sistemas operativos como Windows, Mac OS X y Linux. Su versión más reciente es Arduino 1.8.5. La figura 2.16 muestra la interfaz del IDE con el usuario y sus diferentes secciones [10]. Este IDE estará instalado en la computadora, siendo un entorno muy sencillo de utilizar, que permite programar las opciones requeridas para que el Arduino las ejecute. Una vez desarrollado el código se lo carga mediante el USB para que el Arduino proceda a compilarlo de forma autónoma. [11]

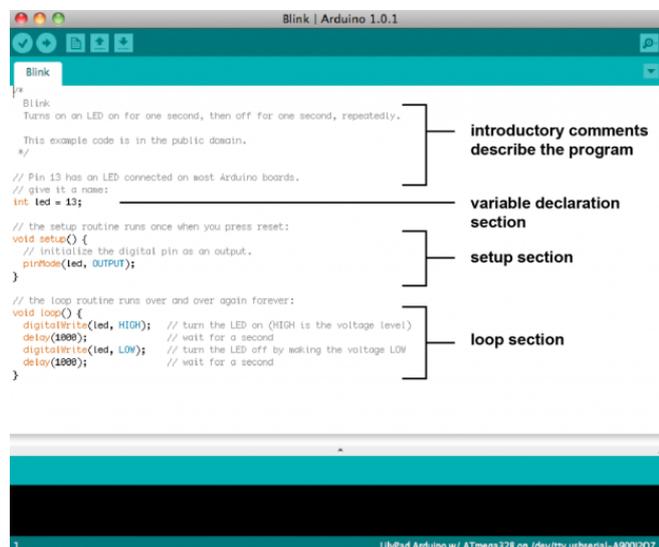


Figura 2.16 IDE [10]

## **2.2. Sensores**

### **Temperatura**

Son dispositivos electrónicos que tienen la función de convertir los cambios de temperatura en electricidad para un posterior procesamiento. [12]

### **Humedad**

Son dispositivos que miden la humedad relativa en un área dada, su uso está destinado para ambientes exteriores como interiores, existen versiones tanto analógicas como digitales. [13]

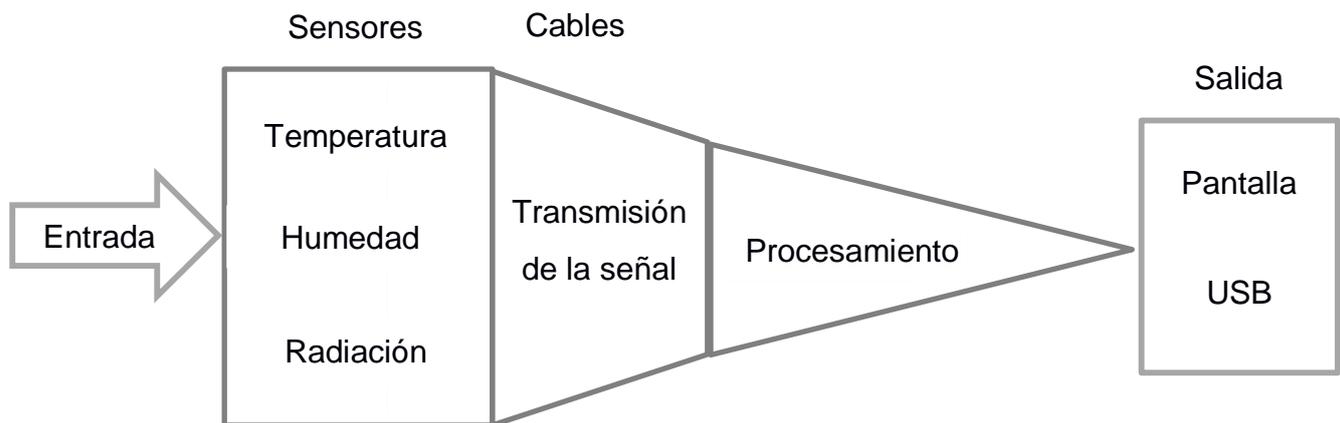
### **Radiación Solar**

Son dispositivos capaces de cuantificar la intensidad de radiación solar y convertirla dicha señal en señales eléctricas de baja intensidad. [14]

# CAPÍTULO 3

## 3. MODELO DEL SISTEMA

El sistema electrónico que se desarrolló para el almacenamiento de la información consta de una serie de bloques que se pueden apreciar de manera general en la figura 3.1.



**Figura 3.1 Etapas del sistema electrónico**

- **Entrada:** Son los valores de las magnitudes físicas climáticas a medir, este tipo de señal es analógica, debido a que es una señal continua en el tiempo.
- **Sensores:** Son los encargados de medir estas señales climáticas, y convertirlas en señales eléctricas para un posterior procesamiento.
- **La transmisión de la señal:** Es el cableado interno que estará implementado dentro del secador, y es la etapa que se va a encargar de llevar la señal desde los sensores hacia la caja de procesamiento de la información.
- **Procesamiento:** Son los sistemas embebidos que se encargarán de manipular las mediciones eléctricas realizadas por los sensores.
- **Salida:** Es la información de las mediciones climáticas procesadas y almacenadas en memoria que el usuario/operario tiene a su disposición tanto en una pantalla como en un dispositivo USB.

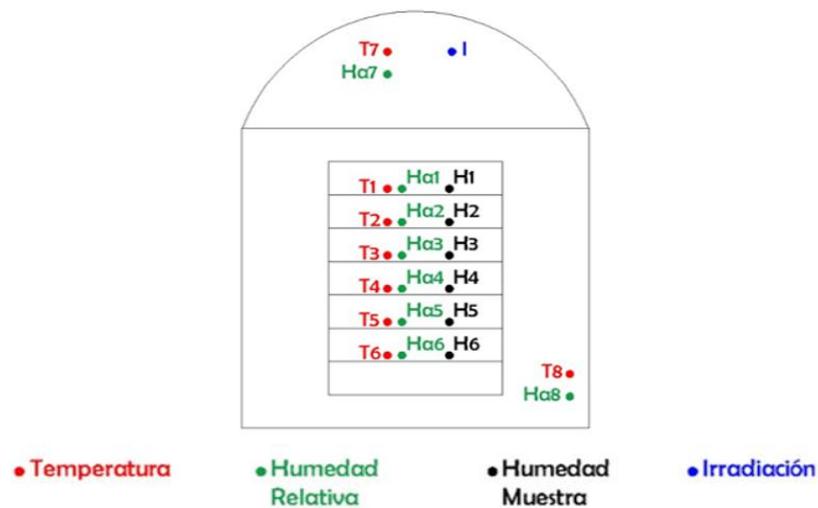
### **3.1. Especificaciones del sistema**

El sistema electrónico está diseñado específicamente para resolver las necesidades que el operario tiene con el mecanismo de monitoreo actual en el secador, de la manera más eficiente, viable y óptima posible. Las funciones específicas que el sistema electrónico va a resolver son las siguientes:

- ❖ Mediciones de temperatura y humedad de manera constante y permanente en cada una de las estanterías de la estructura metálica interna del secador.
- ❖ Mediciones de temperatura y humedad en la entrada y salida del ducto de aire caliente a través del secador.
- ❖ Mediciones de humedad del producto que se va a depositar en cada una de las bandejas, las mismas que se van a realizar de forma constante y permanente.
- ❖ Mediciones de radiación solar en el exterior del secador.
- ❖ Lectura de las mediciones cada 5 minutos.
- ❖ Almacenamiento de la información en un dispositivo USB.
- ❖ Control de encendido y apagado de una resistencia eléctrica.
- ❖ Visualización de las mediciones en tiempo real a través de una pantalla.
- ❖ Entregable de la información en documento Excel.

#### **3.1.1. Ubicación de los sensores.**

Los sensores van a estar ubicados de acuerdo con la configuración gráfica que se puede observar en la figura 3.2. Los sensores de temperatura y de humedad estarán ubicados en la parte central de manera permanente en cada una de las disposiciones de la estructura metálica del secador en donde se depositarán las bandejas con sus respectivas muestras, 2 sensores de temperatura estarán ubicados en la entrada y salida del ducto del aire caliente a través del secador y la medición de la radiación solar se la realizará en la parte externa.



**Figura 3.2 Esquema de ubicación de los sensores**

### 3.2. Sensores

Un sensor es un dispositivo que convierte la medición de una variable física en una eléctrica, para los requerimientos del sistema se va a transformar las señales físicas climáticas tales como: radiación, temperatura y humedad en señales eléctricas para un posterior procesamiento.

En el campo de la electrónica hoy en día existen una infinidad de variedades de sensores disponibles tantos de temperatura, humedad y radiación, entre las características más relevantes que se van a considerar para la selección de los sensores en la aplicación del sistema electrónico son las siguientes:

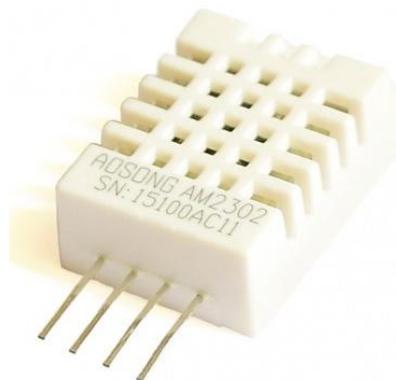
- ❖ Analógicos
- ❖ Digitales
- ❖ Calibración
- ❖ Precisión
- ❖ Rango de medición
- ❖ Costo

### 3.2.1. Sensor de Temperatura

Un sensor de temperatura es un dispositivo capaz de cuantificar los cambios de los niveles térmicos del ambiente o de algún objeto y transformarlos en señales eléctricas para un posterior procesamiento. Existen varios tipos de sensores, los termistores, los RTD y los termopares.

Para seleccionar el tipo de sensor de temperatura más adecuado se tuvo que considerar el rango de temperatura operativo hasta ahora registrado dentro del secador híbrido, siendo este de 60°C promedio, y registros de mediciones de temperaturas picos de hasta un máximo de 80°C en un día con intensidades de radiación extremadamente elevadas.

El sensor que se va a utilizar para la medición de la temperatura es el DHT22 figura 3.3., es un sensor que cumple la función de termómetro y de hidrómetro, esto quiere decir que toma lecturas tanto de temperatura y humedad del ambiente, se encuentra con facilidad en las tiendas electrónicas y es de bajo costo, además que es de fácil uso con los microcontroladores.



**Figura 3.3. Sensor de temperatura y Humedad**

Entre sus características más importantes tenemos su auto calibración, y esto se logra debido a que guarda un coeficiente de calibración en la memoria del programa, cada vez que el sensor es detectado se toma este valor desde la memoria.

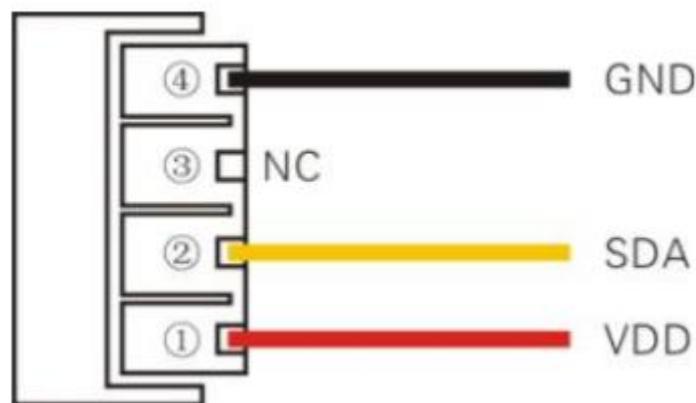
Otras características importantes que tiene son: su pequeño tamaño, poco consumo de energía, sus largas transmisiones de hasta 20m.

En la tabla 3.1 se puede observar que la alimentación del sensor está entre los valores de 3.3V y 6V, la placa Arduino mega que se va a emplear tiene varios pines que tienen la función de fuente de 5V, se utilizará de estos pines para la alimentación de los 8 DHT22 que se implementarán en el sistema, también podemos ver que la precisión de la mediciones es de 0,5°C y de 2% tanto para la temperatura y la humedad respectivamente [15]

**Tabla 3.1 Especificaciones técnicas del sensor de temperatura**

Modelo	DHT22	
Fuente de Poder	3.3 – 6v DC	
Señal de Salida	Señal digital por single-bus	
	Temperatura	Humedad
Rango de Operación	-40 a 80°C	0 a 100%RH
Precisión	< ±0,5°C	±2% (máximos ± 5%)
Sensibilidad	0,1°C	±0,1%RH
Repetibilidad	0,1°C	±0,1%RH

Algunos modelos vienen con 4 pines otros con 3 pines como se muestra en la figura 3.4, de manera general tienen el pin de alimentación VDD, el pin de tierra GND, y el de datos SDA, la información por medio de este último es enviada a través de una trama de hasta 40 bits, en donde se usan: 8 bits para el valor entero y 8 bits para un valor decimal tanto para la temperatura y humedad, y hasta 8 bits para control [16].



**Figura 3.4. Esquemático de los pines del sensor de temperatura [16].**

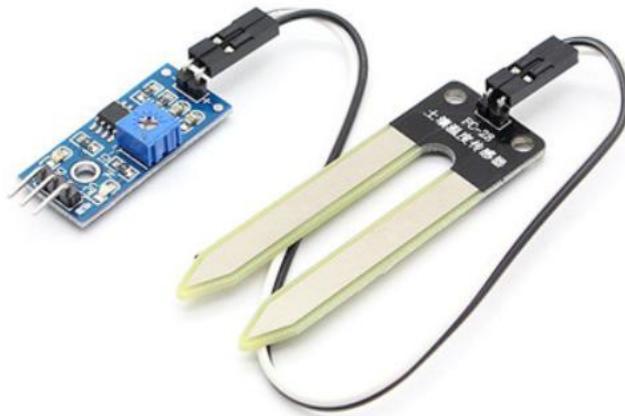
### **3.2.2. Sensor de Humedad de la muestra**

El mecanismo actual en el secador híbrido para realizar las mediciones de humedad de la muestra es poco eficiente, debido a que en este procedimiento se tiene que abrir la puerta principal por donde ingresan las bandejas con los productos cada vez que se realizan las mediciones respectivas, y por lo tanto se generan pérdidas de calor, con el propósito de mitigar estas pérdidas de calor, se analizó todas las condiciones en la que debe de estar operando el sensor para las realizar las mediciones respectivas.

Para poder realizar las mediciones de humedad del producto de manera constante y permanente dentro del secador es necesario que el dispositivo que se implemente haga contacto con la muestra en todo el procedimiento del secado, de esta manera se va a poder obtener las mediciones de humedad sin que haya la necesidad de abrir la puerta principal.

El sensor de temperatura y humedad DHT22 no toma lecturas de humedad de la muestra, debido a que su forma física está diseñada para registrar la humedad relativa del aire, por lo tanto se debe buscar otro dispositivo que cumpla los parámetros requeridos para tomar los datos de humedad del producto.

El sensor de humedad FC-28 como se puede apreciar en la figura 3.5 es un sensor que mide la humedad del suelo a través de unos conductores en forma de espadas, censando la conductividad entre ellos, tiene la función de trabajar de forma analógica y digital dependiendo de un valor de umbral, sus valores varían desde 0 cuando hay conductividad, y 1023 cuando están en el aire.



**Figura 3.5. Sensor de humedad de la muestra**

Debido a sus características física el sensor puede desmontarse de su parte de procesamiento electrónico, facilitando así el proceso de implementación del dispositivo dentro del secador, ya que sus conductores están diseñados para poder operar a altas temperaturas. Debido a sus limitaciones de operación digital, se lo empleará en modo analógico.



**Figura 3.6. Esquemático del sensor de humedad**

Consta de 4 pines como se puede observar en la figura 3.6., 2 de ellos son para la alimentación, los otros dos son para su funcionamiento analógico y digital, su alimentación varía entre 3.3V – 5V DC, tal como se puede apreciar en la tabla 3.2 de las especificaciones técnica del sensor de humedad.

**Tabla 3.2. Especificaciones técnicas del sensor de humedad**

Modelo	FC-28
Fuente de Poder	5v DC
Señal de Salida	Analógica o Digital

### 3.2.3. Sensor de radiación

Un piranómetro es un sensor que tiene la función de medir la radiación solar incidente sobre una superficie, y transformarla en voltios, es capaz de tomar mediciones en un campo de  $180^\circ$  grados [17], el sensor que se utilizará está conformado por una cúpula de cristal, cuerpo circular metálico, un pequeño sensor de color negro, y un cable como se puede ver en la figura 3.7.

El piranómetro que se empleará en las mediciones entrega una señal analógica que varía desde  $0V$  a  $13,77\text{ mV}$ , en donde  $0V$  se refiere cuando no está expuesto a la radiación solar, y  $13,77\text{ mV}$  cuando la intensidad del sol es máxima.

No requiere de alimentación externa debido a que usa una celda fotovoltaica para su funcionamiento, tienes dos cables para la conexión con el equipo de procesamiento, un cable es para la conexión a tierra, y por el otro se transmite la señal en mili voltios. El equipo tiene una calibración con una precisión de  $95,5\%$  y una sensibilidad de:  $5 - 20\mu\text{ V/W/m}^2$ .

El piranómetro no quedará permanente a la caja de procesamiento digital por lo que se tendrá que conectarlo cada vez que se requiera de su uso.



**Figura 3.7. Sensor de radiación**

### 3.3. Transmisión de la Señal

#### 3.3.1. Tipo de cable

En el interior de la cabina del secador se han registrado temperaturas de hasta 80°C, por lo que el tipo de cable que se va a implementar para transmitir la información de las mediciones hasta la caja de procesamiento debe estar acondicionado para trabajar y soportar dichas temperaturas sin que se presenten deterioro en el cable o pérdidas en la calidad de la información.

En cada una de las bandejas están ubicados los sensores DHT22 y FC-28, para su funcionamiento y medición de la información necesitan un total de 5 cables en conjunto, 3 de ellos para la conexión del sensor de temperatura y humedad relativa del ambiente, y los otros 2 para los conectores con forma de espada del sensor de humedad de la muestra.

El cable UTP categoría 6 es un conjunto de 4 cables en pares recubiertos por un protector plástico, son utilizados para transmitir señales eléctricas, transmisión de datos, señales analógicas y digitales, a una alta velocidad y con un rendimiento superior a otros tipos de cables y de bajo costo por longitud de metro en la tabla 3.3. se puede apreciar sus especificaciones técnicas.

**Tabla 3.3. Especificaciones técnicas del cable UTP**

Calibre	24 AWG
Aislamiento	Polietileno
Cubierta	PVC
Diámetro Exterior	6,1 mm
Impedancia	100 $\Omega$
Rango de Temperatura	-20 a 60 °C

El cable UTP que se va a utilizar en el desarrollo del sistema es de categoría 6 y soporta hasta una temperatura de 60°C, por lo que será necesario adherirle un tipo de blindaje térmico.

### 3.3.2. Recubrimiento Térmico

Un espagueti de vidrio es un recubrimiento circular de malla de fibra de vidrio que cumple la función de aislante térmico soportando y aislando altas temperaturas.

El espagueti de vidrio que se va implementar para la protección del cable UTP categoría 6 en el sistema electrónico soporta hasta los 500°C.

### 3.4. Procesamiento

La tecnología Arduino es una de las herramientas más avanzadas para la recolección y procesamiento de datos en tiempo real. Arduino al ser una tecnología muy popular tiene a su disposición una enorme cantidad de módulos y librerías compatibles, es por ello que tiene muchas aplicaciones en el desplégue de redes de sensores en diferentes condiciones.

El sistema electrónico que se implementará va a utilizar un total de 15 sensores, de los cuales 7 son analógicos, por lo que se van a emplear una gran cantidad de puertos de entrada y salida en el procesador, además de las otras especificaciones que el sistema va a realizar tales como encendido y apagado de una resistencia eléctrica, control del flujo de aire, módulos para almacenamiento de la información, periféricos de control y visualización de la información en tiempo real.

Las características principales por lo que se escogió trabajar con la placa Arduino mega son las siguientes:

- Número de pines (54 pines digitales para entrada y salida)
- Pines analógicos (16 pines analógicos)
- Conexión USB
- Compatibilidad con otros módulos
- Entrada de poder por medio de un adaptador
- Oscilador de 16MHz
- Tensión de funcionamiento: 5V
- Intensidad por pin: 40 mA
- Memoria flash: 128KB

El Arduino mega al ser una de las placas con mayor cantidad de puertos puede sostener el sistema electrónico, ya que el total de pines que el sistema va a implementar no supera los 54 puertos que la placa de Arduino mega dispone, además que su velocidad de ejecución supera por mucho a las condiciones requeridas del sistema [18].

### **Módulo de reloj**

El módulo de reloj en tiempo real programable que se utiliza está basado en el RTC DS3231, tiene la función de dar la lectura de la fecha y la hora en diferentes aplicaciones, debido a que son de muy bajo consumo energéticos pueden ser alimentados por medio de una pila de batería, logrando de esta forma una sincronización permanente con el tiempo hasta que la batería se agote.

Las placas del Arduino mega disponen de un contador interno, pero este no es de muy alta precisión como lo son los RTC, además que la fecha y la hora se desprogramarían cada vez que se apague el sistema electrónico.

El módulo de reloj DS3231 nos va a proporcionar un registro detallado y sincronizado en tiempo real de la hora y la fecha en cada una de las mediciones que se van a almacenar en la memoria USB [1]. En la tabla 3.4 se pueden ver las especificaciones técnicas del módulo de reloj, en donde utiliza comunicación I2C y la alimentación de 5V del Arduino mega.

**Tabla 3.4 Especificaciones técnicas del módulo de reloj**

Alimentación	3,3 a 5V
Precisión	2ppm
Comunicación	I2C

### **Módulo de lectura y escritura USB**

El módulo de lectura y escritura USB CH376S es un dispositivo electrónico que nos va a permitir almacenar la información en una memoria USB, a través de la placa Arduino Mega. El CH376S nos permite generar varios diferentes tipos de archivos TXT (notepad.exe) o CSV (excel.exe), puede ser operado con facilidad por el

usuario ya que solo se tendría que introducir y retirar el dispositivo USB desde la caja de procesamiento cada vez que se requiera, y posteriormente acceder a la información desde una PC. En la tabla 3.5 se pueden ver sus especificaciones técnicas.

**Tabla 3.5. Especificaciones técnicas del módulo USB**

Alimentación	5 o 3,3 V
Modo de operar	Paralelo o serie
Tipos de Archivos	TXT o CSV
Cristal	12Mhz
Velocidad	1,5Mbps a 12Mbps

### **Módulo de Relé**

El módulo de relé 1CH nos va a permitir controlar el encendido y apagado de altas potencia, a través de la placa Arduino. El 1CH permite encender la resistencia eléctrica (que se implementará en el secador), cada vez que sea necesario aumentar la temperatura y apagarlo cuando se haya llegado a los valores de temperatura requeridos.

En la tabla 3.6 se pueden observar algunas de sus más importantes especificaciones técnicas.

**Tabla 3.6. Especificaciones técnicas del Relé**

Alimentación	5 V
Señal de control	TTL (3,3 o 5)V
Nº de Relé	1 CH
Capacidad máxima	10A/250VAC, 10A/30VDC
Corriente máxima	10A (NO), 5ª (NC)
Respuesta	10ms/5ms

### **Pantalla**

La pantalla que se va a implementar para la visualización de las mediciones tiene la función de desplegar las opciones de del programa y de presentar las mediciones en tiempo real, es la LCD 16x2 que usa el controlador Hitachi HD44780, son fabricadas en diferentes modelos, son sencillos de usar con los microcontrolador y

son de muy bajo costo.

**Tabla 3.7. Especificaciones técnicas de la LCD**

Alimentación	5 V
Operación	8 bits o 4 bits
Caracteres	16 por cada línea
Tamaño de los caracteres	5x8 puntos

### 3.5. Conexiones

#### 3.5.1. Lista de materiales del sistema

##### **Sensores:**

- 7 Sensores de temperatura y humedad DHT22
- 6 Sensores de humedad de suelo FC-28
- 1 Sensor de Radiación solar

##### **Módulos:**

- 1 Módulo de reloj DS3231
- 1 Módulo LCD 16X2 HD44780
- 1 Módulo de lectura y escritura USB CH376s
- 1 Módulo de relé KY-019
- 1 Módulo Arduino mega

##### **Transistores:**

- 2 Leds (amarillo y rojo)
- 1 Transistor LM358

##### **Resistencias:**

- 2 resistencias de 100 ohmios
- 2 resistencias de 1kohmios
- 1 resistencia de 1kohmios
- 1 potenciómetro de 1kohmios

### **Componentes:**

Cables Jumper

Borneras

#### **3.5.2. Conexiones de los Sensores**

En la figura 3.8. se muestra las conexiones entre los sensores empleados en el sistema con la placa Arduino mega. Los sensores de temperatura y humedad del ambiente debido a su salida digital se conectaron a los puertos digitales, mientras que los sensores de humedad de la muestra y de radiación solar utilizaron los puertos analógicos, la alimentación de todos los sensores (excepto el de radiación solar) se la realizará a través de los pines de alimentación de 5V, 3.3V y GND, se realizaron varios nodos utilizando borneras electrónicas para facilitar las conexiones de alimentación de los dispositivos, considerando las corrientes máximas que puede suministrar cada uno de los puertos de 5V y 3.3V del Arduino mega, suministrando hasta un máximo de corriente de 435mA sumadas entre todas [19].

La señal recibida en el Arduino mega por parte del piranómetro es de muy baja amplitud, está en el orden de los micro voltios, por medio de la función analogRead () se puede leer este valor e interpretarlo [20], pero al ser de baja amplitud se lo toma como cero, es por esto que nos fue necesario amplificar la señal.

La amplificación de la señal del proveniente por parte del piranómetro se la realizó utilizando un LM358, amplificando la señal de entrada 100 veces, de esta manera se logró aumentar la resolución de cada bit de los puertos analógicos de la placa, ya que toma el valor de entrada de voltaje y lo divide para 1024 [21], aumentando el valor máximo de  $13,77\text{ mV}$  a  $1,37\text{V}$ .

En la figura 3.9. podemos apreciar el esquemático del sistema electrónico, donde podemos observar las conexiones entre los sensores, periféricos de entrada (pulsadores), módulos: RTC, LCD, USB, amplificación: LM358, resistencias, y componentes tales como: borneras, cables y leds.

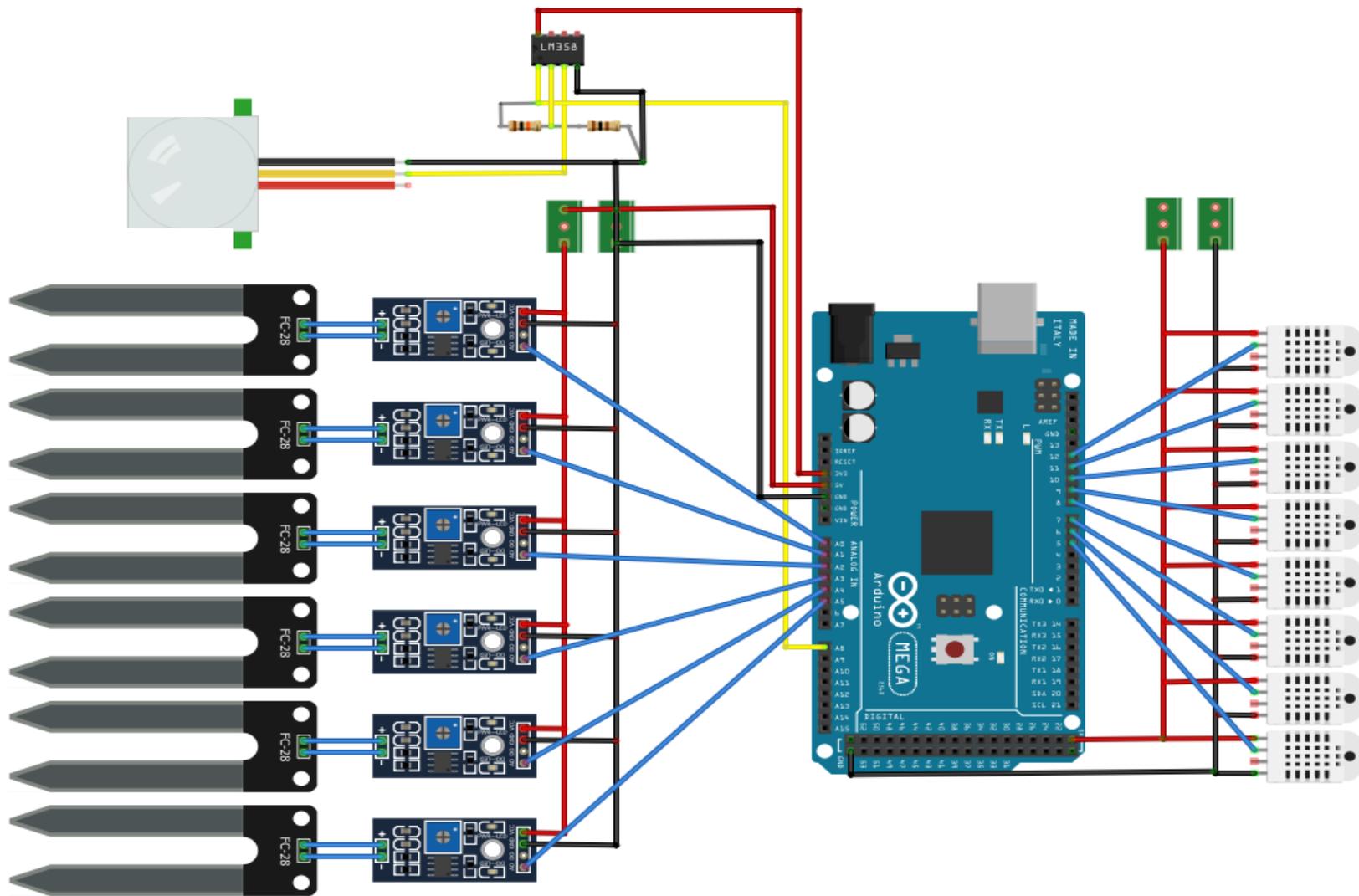


Figura 3.8. Conexiones entre el arduino mega y los sensores del sistema.

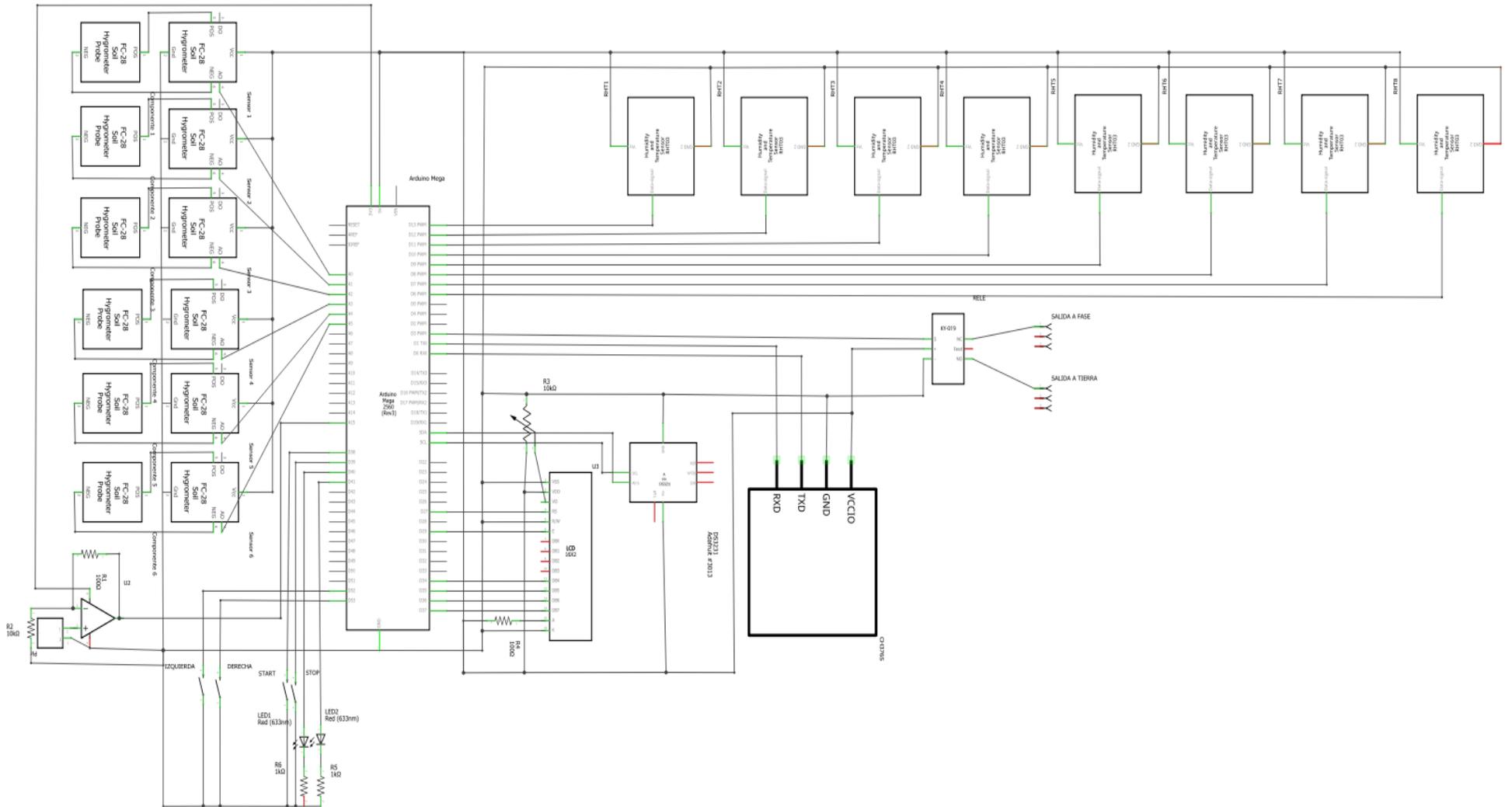


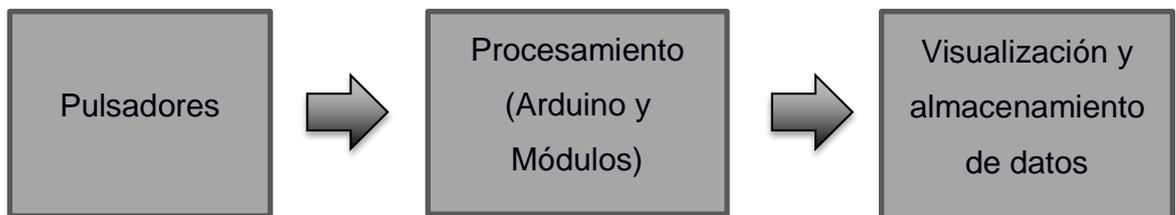
Figura 3.9. Esquemático de los componentes del sistema electrónico

# CAPÍTULO 4

## 4. ALGORITMOS E IMPLEMENTACIÓN

### 4.1. Descripción de Algoritmos

La interfaz de usuario que se diseñó para el desarrollo del proyecto se la implementó con el objetivo que se sea de fácil acceso y control por parte de cualquier operario, en la figura 4.1 podemos ver el diagrama de bloques funcional macro de la caja de procesamiento. El usuario tendrá acceso al dispositivo de monitoreo por medio de botones, a través de estos podrá acceder a las opciones que se le presentarán en la pantalla, y proceder al almacenamiento de la información por medio del ingreso un dispositivo USB.



**Figura 4.1 Diagrama de bloques de la caja de Procesamiento**

El principal elemento de la caja de procesamiento es la placa Arduino mega, el cual se programa mediante su entorno de desarrollo IDE, que utiliza lenguaje de programación basado en C [7], mediante un cable USB se carga el programa al microcontrolador y grabarlo en memoria. Arduino al ser una plataforma de código abierto tiene varias fuentes de librerías disponibles sobre los sensores que se van a utilizar en la web, estas librerías facilitaron el desarrollo del programa que se cargará en el sistema.

## 4.2. Descripción Funcional del Programa

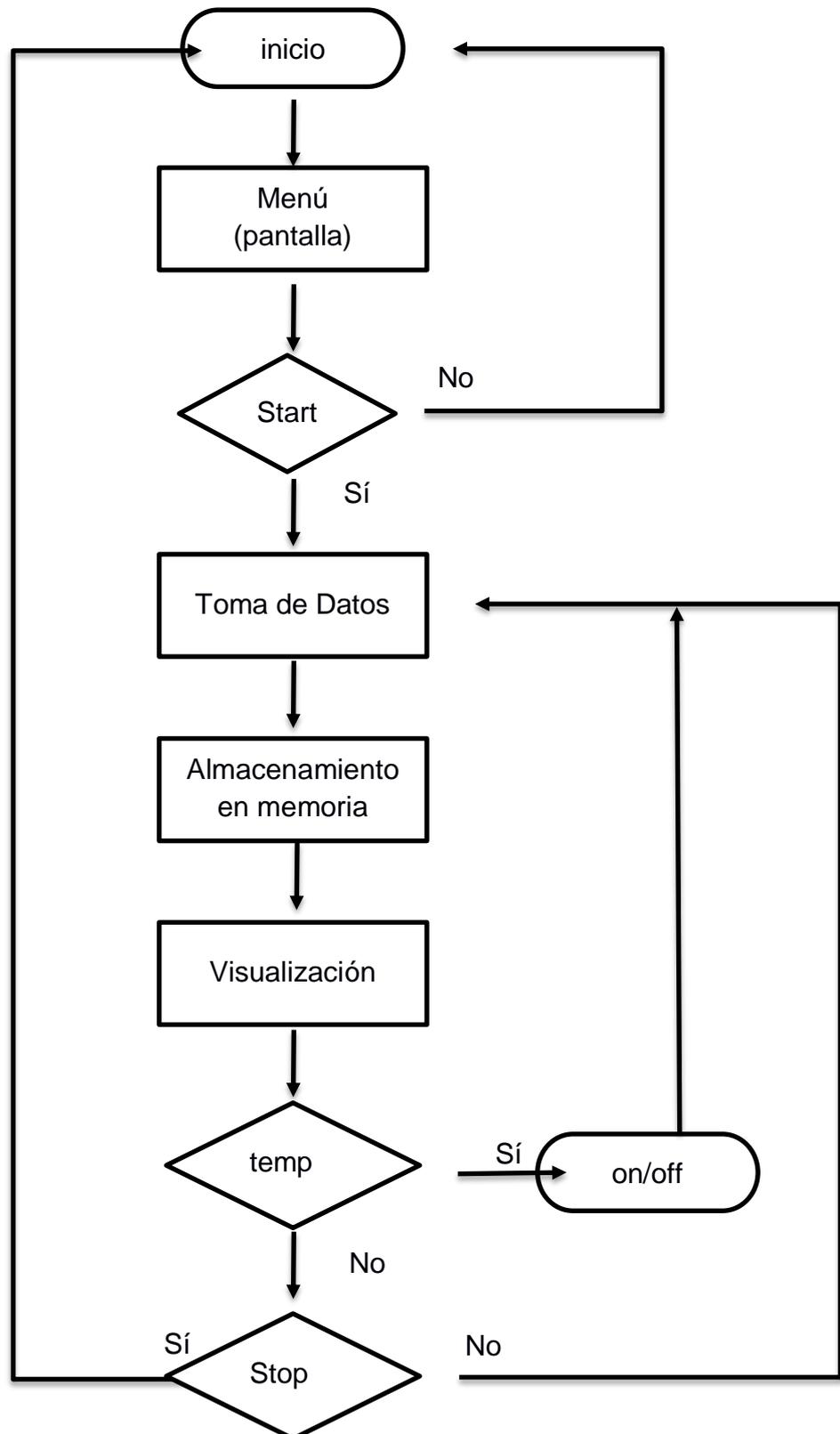


Figura 4.2 Diagrama de bloques funcional

En la figura 4.2. Se puede ver el algoritmo que se diseñó para la elaboración del programa que se efectuará en el Arduino mega, y a continuación se explica su funcionamiento:

1. Al encender el equipo al usuario se le presentará la opción de iniciar la adquisición de datos en la pantalla y podrá acceder a ella por medio de la botonera correspondiente.
2. Si el usuario presionó Iniciar se procede a la adquisición de la información por parte de los sensores.
3. Se guarda la información con su respectiva fecha y hora en la memoria USB cada 5 minutos en caso de que el usuario haya ingresado el dispositivo de almacenamiento, si el dispositivo USB no es ingresado en el programa continuo con la lectura de la información.
4. Se visualiza los datos a través de la pantalla LCD.
5. La variable Temp que se implementó en el programa tendrá almacenado la temperatura de umbral, la misma que servirá para realizar comparaciones con la temperatura real del sistema y poder tomar decisiones tales como: encendido de la resistencia y control de flujo de aire caliente.
6. Se consultará la opción de stop en todo el proceso para determinar cuándo detener el sistema.
7. Si el usuario presiona el botón stop, el sistema deja de tomar las mediciones y vuelve al estado inicial.

### **4.3. Implementación**

Una vez realizados los estudios del diseño, la adquisición de los equipos, y las pruebas de los mismos, se procedió con la etapa de implementación la cuales se dividieron en las siguientes etapas:

- Instalación de los sensores en el secador.
- Implementación de la caja de control.

#### **4.3.1. Implementación de los sensores**

La caja de monitoreo del equipo que se implementará en el secador estará ubicada a un costado del mismo, la distancia promedio desde los sensores hasta la caja es de 3,5 m, de los cuales 2,5 m estarán en la parte interna del secador, con estas dimensiones se procedió a la compra del cable UTP y del recubrimiento del cable térmico.

Se procedió a recubrir el cable con las distancias señaladas y a soldar cada uno de los componentes, para cubrir las uniones del cable con los sensores, se utilizó resina epoxi y cinta auto fundente.

Se dimensionó el diámetro del hueco por donde pasaran los cables y se procedió a perforar la pared metálica del secador.

Se pasaron los cables y se instalaron en cada una de las ubicaciones señaladas.

En la figura 4.3 (a) están ubicados los sensores de temperatura y de humedad de la muestra en cada una de las disposiciones que tiene el secador para colocar las bandejas, en la figura 4.3 (b) están los sensores con las bandejas puestas.

El cable que está en la parte externa hasta la caja se lo pasó por una manguera PVC.



(a)



(b)

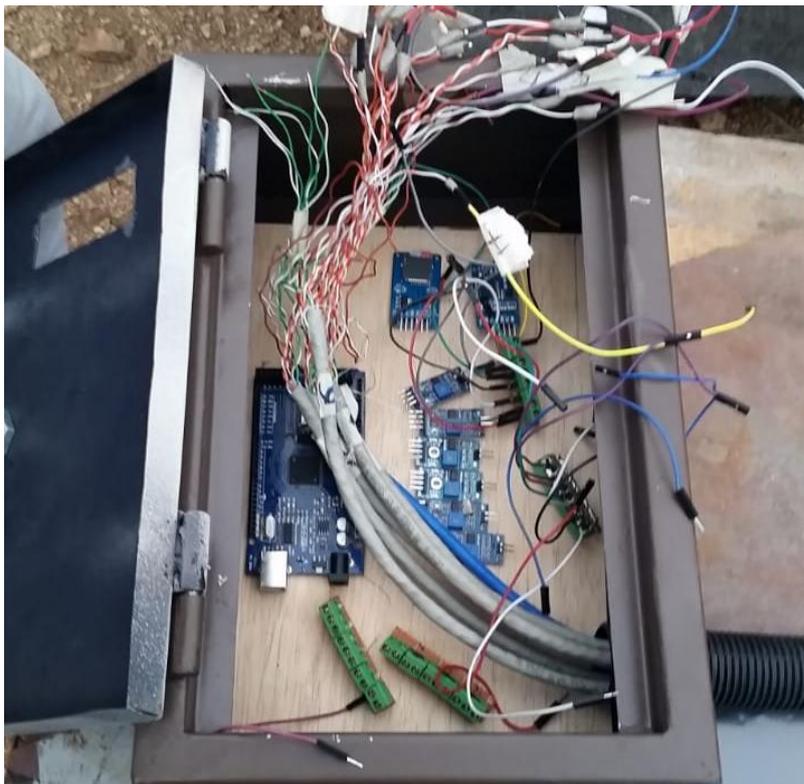
**Figura 4.3 (a) Sensores ubicados en cada una de las estanterías sin bandejas, (b) con las bandejas puestas.**

#### **4.3.2. Implementación de la caja de procesamiento**

Con los sensores ya instalados se procedió a dimensionar la caja de procesamiento del sistema, se tuvo que considerar que la caja estará fija y en permanente conexión con los cables de los sensores que están en el secador, excepto con el del sensor de temperatura que está en la entrada del ducto del aire caliente y el del sensor de radiación que se lo utilizará cada vez que se lo requiera.

- Entrada de cable UTP de los sensores (3cm de diámetro)
- Conexiones para el sensor de temperatura de entrada
- Conexiones para el sensor de radiación
- Conexiones para la resistencia eléctrica.
- Conexiones para el dispositivo USB.
- Leds de monitoreo de sensores
- Alimentación
- Ventilación
- Botoneras
- LCD

La caja que se utilizó es de material metálico de dimensiones 20 x 30 cm, soporta hasta 40°C, y entre un mínimo de 60% a 100% de humedad, debido a que la caja estará ubicada en la parte externa del secador, y el secador tiene un aislante de resina de vidrio entre sus paredes metálicas, la caja no estará expuesta a altas temperaturas.



**Figura 4.4 Caja metálica con los componentes de procesamiento**

En la figura 4.4 se puede observar una parte de los componentes de procesamiento que estarán dentro de la caja, debido a que la caja es metálica se utilizó un fondo falso de playwood para acoplar los elementos.



**Figura 4.5. Caja de procesamiento**

En la figura 4.5 se puede observar la fachada de la caja de procesamiento terminada, como se puede ver en su parte frontal están ubicados los botones de acceso al sistema, y la pantalla por donde se van a observar las mediciones, en uno de sus lados estará ubicado el ingreso del elemento USB en donde se almacenará la información.



**Figura 4.6. Caja de procesamiento instalada con el secador**

En la figura 4.6 está la caja instalada junto al secador híbrido, quedando la caja de manera permanente al secador a través de la manguera negra por donde pasan los cables UTP, ya que los cables están soldados en la parte interna de la caja con sus respectivos módulos, la distancia de desplazamiento de la caja junto con la manguera de PVC es de aproximadamente 1 metro.

# CAPÍTULO 5

## 5. PRUEBAS Y RESULTADOS

### 5.1. Prueba de Campo del sistema

La prueba de campo se la realizo en el terreno adjunto al antiguo taller de metalurgia, en facultad de ingeniería mecánica y ciencias de la producción FIMCP, este lugar fue escogido debido a que es el sitio donde se almacena la secadora hibrida además de contar con facilidades para aprovechar las condiciones climáticas. Para la prueba respectiva se contó con un día soleado sin presencia de nubes, se insertó un dispositivo extraíble donde se almaceno los datos adquiridos por el sistema en el secador para su posterior uso, las pruebas se realizaron sin la presencia de un operario durante el proceso de secado. Se obtuvo valores del producto sometido al proceso de secado. La prueba tuvo un lapso de 4 a 5 horas, para diferentes productos el tiempo de secado varía dependiendo del producto en sí.

### 5.2. Parámetros del sistema

- **Parámetros de entrada:**

Los parámetros de entrada al sistema se acoplan a la red convencional eléctrica.

Voltaje: 110V (AC)

Corriente: 0.35 A

Frecuencia: 50-60Hz

- **Parámetros de salida:**

Los parámetros de salida del sistema son:

Voltaje: 5V (DC)

Corriente: 2.0A

Pantalla: LCD

Archivo almacenado: .txt -.csv

### 5.3. Mediciones

Para la prueba se sigue este procedimiento sugerido

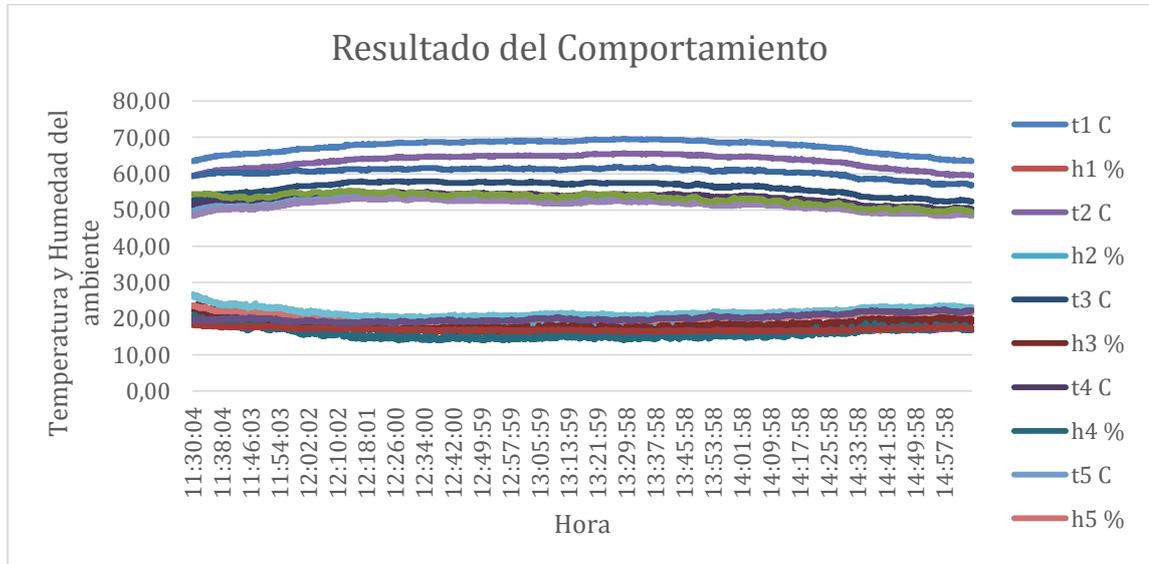
- Se necesita tener muestras del producto limpias y finas para un secado óptimo y en un menor tiempo. Se coloca las muestras del producto seleccionado en las diferentes bandejas ubicadas en distintos niveles en el interior de la secadora.
- Se inserta el sensor FC28 en las muestras ubicadas en las bandejas. Logrando que este quede completamente incrustado en las muestras.
- Se conecta el piranómetro a la caja de control
- Se alimenta el sistema con el voltaje de la red eléctrica convencional
- Se instala la sección de aire conformada por el blower y la mesa de vidrio.
- Para iniciar el censado de datos se recurre al manual de usuario, los pasos contenidos en el manual son:
  - ✓ Insertar un dispositivo USB extraíble en blanco.
  - ✓ Oprimir el botón rojo para la toma de datos.
  - ✓ Esperar la jornada de secado.
  - ✓ Se puede verificar los datos censados en la pantalla LCD.
  - ✓ Oprimir el botón amarillo para detener el censado.
  - ✓ Retirar el dispositivo extraíble.

Para el sistema se basó en la sencilla interacción de plug & play facilitando el uso con el operario sin necesidad de tener conocimientos en la materia. Como mención adicional se planea ubicar una resistencia eléctrica dentro del secador para los días donde el clima no sea favorable en el secado.

## 5.4. Resultados

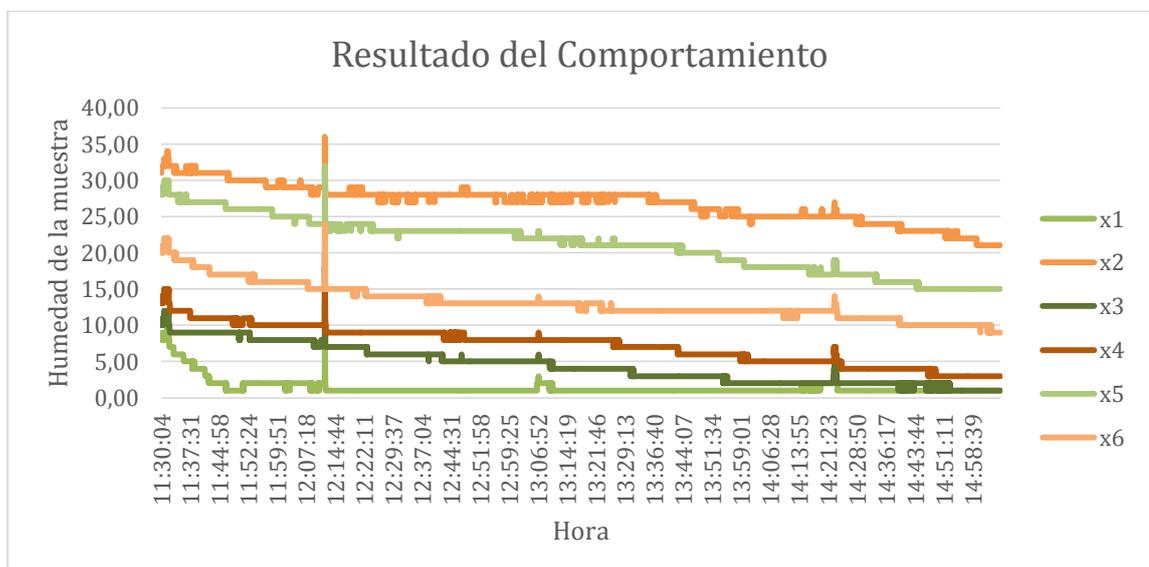
Se tomaron datos cada 5 minutos por todos los sensores implementados en el secador.

- Producto para el secado: manzana



**Figura 5.1. Datos tomados por los sensores implementados**

Se puede apreciar en la figura 5.1 el diferente desempeño de cada uno de los sensores de humedad y temperatura ubicados en los diferentes niveles de la secadora, llegando a observar que las temperaturas más altas se registraron en los sensores ubicados próximos al techo traslucido de la secadora y en el lapso de horas, 12:00 – 13:00, llegando a valores de 70°C y 65°C.



**Figura 5.2. Datos de humedad de la muestra**

En la figura 5.2 se puede apreciar el desempeño de los sensores FC28 los cuales se ubican al contacto directo con las muestras, y podemos ver como disminuye la humedad en las muestras a medida que se continúa con el proceso de secado, teniendo así una menor humedad de la muestra al final dependiendo de las condiciones climáticas y la irradiación del sol.



Figura 5.3. Niveles de irradiación.

En la figura 5.3 se observa los niveles de irradiación durante todo el proceso de secado, pudiéndose observar que el lapso donde se expone el secador a un mayor nivel de irradiación es entre las 13:00– 13:30 horas. Alcanzando un valor de 1000w/m2

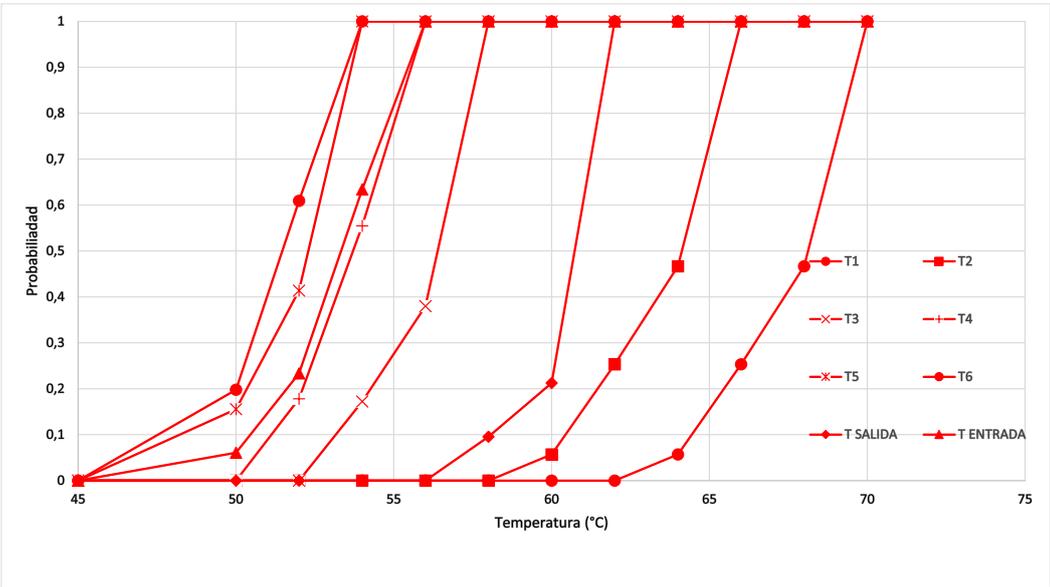
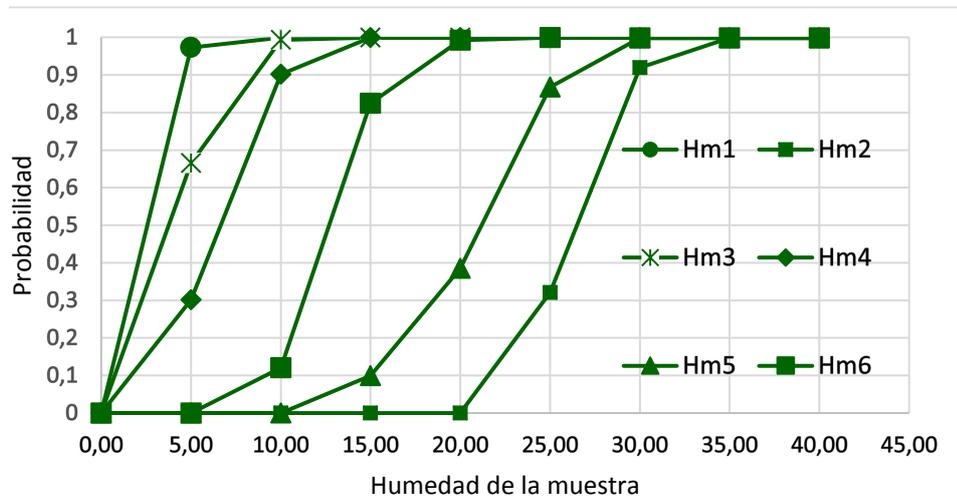


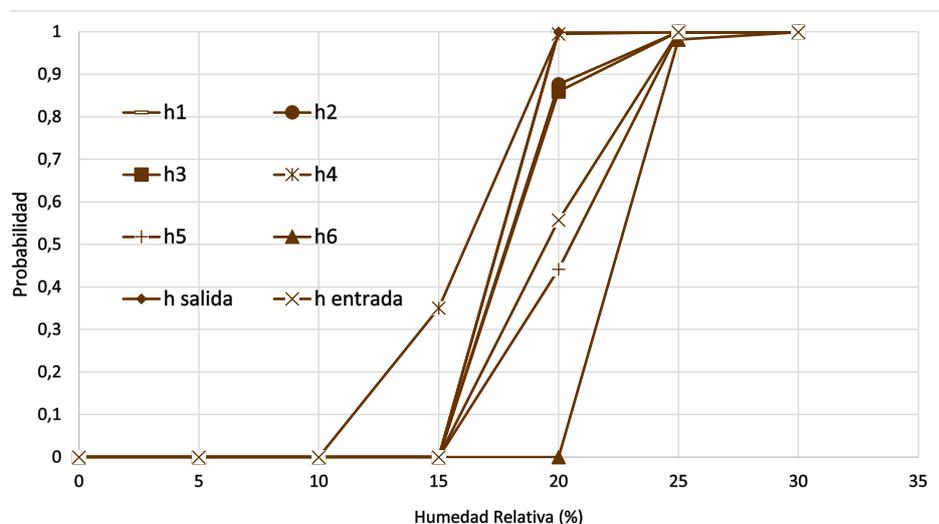
Figura 5.4. Función de distribución Acumulada de Temperatura

La figura 5.4 muestra la probabilidad de temperatura asociada a cada sensor en el intervalo de mayor intensidad, se observa que el sensor 1 en el más propicio a tener una temperatura alta debido a las soportadas por el mismo.



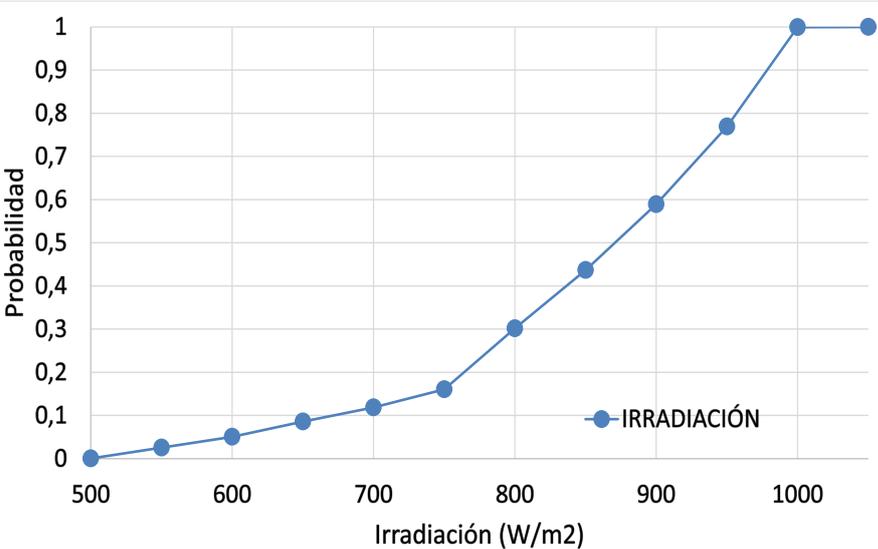
**Figura 5.5. Función de Distribución Acumulada de humedad de la muestra**

La figura 5.5 muestra la posibilidad de humedad ligada al sensor FC28, en la cual se observa la humedad de la muestra del sensor 1, el cual es el más próximo a la cubierta traslucida



**Figura 5.6. Función de Distribución Acumulada de humedad del ambiente**

En la figura 5.6 se aprecia que la humedad del ambiente tiene una mayor probabilidad de poseer una menor humedad el sensor 1 debido a su ubicación en la cual se muestra la menor humedad dentro de la secadora.



**Figura 5.7. Función de Distribución Acumulada de Irradiación.**

En la figura 5.7 se observa el comportamiento normal de la irradiación solar llegando a sus máximos valores de 1000m/W2, se tiene presente que no se contó con la presencia de nubes y el clima fue para favorable para las mediciones.

# CAPÍTULO 6

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 6.1. Conclusiones

Se implementó un sistema para la adquisición de datos en un determinado tiempo, ubicando sensores digitales en el interior del secador, en cada una de sus bandejas ubicadas a diferentes alturas, logrando obtener muestras en pequeños intervalos de tiempo de aproximadamente 5 minutos de los parámetros humedad del ambiente, temperatura, humedad de la muestra e irradiación solar. Los datos adquiridos son guardados en un formato compatible con Excel para facilitar su uso siendo almacenados en una memoria USB o dispositivo extraíble USB.

Se logró la adquisición de datos sin la presencia de un operario, realizándose de manera autónoma e independiente durante todo el proceso de secado para la muestra escogida, constatando la mitigación de errores logrando así muestras más fiables para un mejor estudio y comparaciones en diferentes condiciones climáticas

Se verifico las diferentes condiciones climáticas en la ciudad de Guayaquil, censadas por los sensores de temperatura e irradiación, las cuales influyen en el proceso de secado ya que dependiendo de estos factores se alarga o se reduce el tiempo de secado, para optimizar este factor se instaló una resistencia eléctrica logrando su activación dependiendo de los factores climáticos existentes en ese instante.

## **6.2. Recomendaciones**

Se recomienda aislar el secador de la lluvia ya que esta puede afectar el funcionamiento de los componentes electrónicos instalados en el interior al igual que sus sistemas de control.

Para el almacenamiento de información se recomienda sea en una memoria USB vacía o formateada para evitar confusión de datos con adquisiciones de datos que se hayan realizado en procesos anteriores.

La pantalla LCD indicara los datos de los sensores adquiridos para así tener verificar el proceso de secado y el comportamiento de la muestra mientras se realiza el secado.

### 6.3. Bibliografía

[1] Electronica Estudio, ¿Qué es un microcontrolador? [Online]. Disponible en: <http://www.electronicaestudio.com/microcontrolador.htm>

[2] Arduino, Protocolo I2C [Online]. Disponible en: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/category/i2c/>

[3] Microchip, ATmega328 Datasheet complete [Online]. Disponible en: [http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P\\_Datasheet.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf)

[4] Total Phase, Direccionamiento I2C [Online]. Disponible en: <https://www.totalphase.com/support/articles/200349176>

[5] Arduino, Protocolo SPI [Online]. Disponible en: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/11/13/bus-spi/>

[6] Eric López Pérez, Ingeniería en Microcontroladores, (2014) Protocolo SPI (Serial Peripheral Interface) [Online]. Disponible en: <http://www.i-micro.com/pdf/articulos/spi.pdf>

[7] Trastejant, Protocolo 1-Wire [Online]. Disponible en: <http://www.trastejant.com/tutoriales/protocolo-onewire/>

[8] Francis D. Soto (2009). Aplicación de Microcontroladores con lenguajes de Alto Nivel. Protocolo 1-wire. Universidad Tecnológica Metropolitana. Colombia [Online]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/24421918/Protocolo-1-Wire>

[9] Electronica Estudio, Compilación [Online]. Disponible en: <http://www.electronicaestudio.com/microcontrolador.htm>

[10] Arduino, Getting Started with Arduino and Genuino Products [Online]. Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Guide/HomePage>

[11] Arduino, Getting Started with Arduino and Genuino Products [Online]. Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Guide/HomePage>

[12] Omega, Sensor de Temperatura, Introducción y Tipos [Online]. Disponible en: <https://es.omega.com/prodinfo/medicion-temperatura.html>

[13] Ecured, Sensor de Humedad [Online]. Disponible en: [https://www.ecured.cu/Sensor\\_de\\_Humedad](https://www.ecured.cu/Sensor_de_Humedad)

[14] Ecured, Piranómetro [Online]. Disponible en: <https://www.ecured.cu/Piran%C3%B3metro>

[15] M. Bogdan, «How to use the DHT22 sensor for measuring temperature and humidity with the arduino board,» *Acta Universitatis Cibiniensis - Technical Series*, pp. 22-25, 2016.

[16] AOSONG, Sensor de temperatura [Online]. Disponible en: <http://akizukidenshi.com/download/ds/aosong/AM2302.pdf>.

[17] P. S. Tumbaco Casa y C. E. Barrionuevo Sánchez, «AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE FOTOHIDRONVERSIÓN DE RADIACIÓN SOLAR PARA MEJORAR SU EFICIENCIA EN EL TRATAMIENTO TÉRMICO DE MATERIALES,» Tumbaco, 2014.

[18] L. Louis, «WORKING PRINCIPLE OF ARDUINO AND USING IT AS A TOOL FOR STUDY AND RESEARCH,» *International Journal of Control, Automation, Communication and Systems*, pp. 21-29, 2016.

[19] SURBYTE, forum Arduino, [Online]. Disponible en: <https://forum.arduino.cc/index.php?topic=387145.0>.

[20] ARDUINO, Arduino cc, [Online]. Disponible en: <https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/analog-io/analogread/>.

[21] L. M. Herger y M. Bodarky, «Engaging Students with Open Source,» *IEEE Integrated STEM Education Conference*, pp. 27-32.