



# **UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS**

## **INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES**

**INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES**

**Tesis:**

**Automatización de secador solar de radiación  
directa con sistema de calentamiento de agua  
de tubos al vacío**

**Para obtener el grado de:**

**Ingeniero en Energías Renovables**

**Presenta:**

**Erick López Martínez**

**Director de Tesis**

**Dr. Jorge Evaristo Conde Díaz**

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

Mayo 2019



Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas  
Dirección de Servicios Escolares  
Departamento de Certificación Escolar  
Autorización de impresión



TUXTLA GUTIÉRREZ CHIAPAS  
14 de Mayo de 2019

C. ERICK LÓPEZ MARTÍNEZ

Pasante del Programa Educativo de: INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

AUTOMATIZACIÓN DE SECADOR SOLAR DE RADIACIÓN DIRECTA CON SISTEMA DE  
CALENTAMIENTO DE AGUA DE TUBOS AL VACÍO

En la modalidad de: TESIS PROFESIONAL

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional

Atentamente

Revisores

DR. NEÍN FARRERA VÁZQUEZ

DR. ROILAN IGLESIAS DÍAZ

DR. JORGE EVARISTO CONDE DÍAZ

Firmas

Ccp. Expediente



## **AGRADECIMIENTO**

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de la carrera, por ser la fortaleza en los momentos de debilidad y brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

En estas líneas quiero agradecer a todas las personas que hicieron posible esta investigación y que de alguna manera estuvieron conmigo en los momentos difíciles, alegres, y tristes. A mi padre Juan Ramón López Samayoa, a mi madre Verónica Patricia Martínez Morfín y hermano Carlos Mario López Martínez por todo su amor, comprensión y apoyo, pero sobre todo gracias infinitas por la paciencia que me han tenido. No tengo palabras para agradecerles las incontables veces que me brindaron su apoyo en todas las decisiones que he tomado a lo largo de mi vida, unas buenas, otras malas. Gracias por darme la libertad de desenvolverme como ser humano. También quiero agradecer a algunos miembros de cuerpo académico del Instituto de Investigación e Innovación en Energías Renovables al Dr. Jorge Evaristo Conde Díaz, Dr. Pascual López de Paz, Dr. Roilan Iglesias Diaz por haberme apoyado incondicionalmente en esta institución de la manera más cordial.

***ERICK LÓPEZ MARTÍNEZ***

## RESUMEN

En este trabajo se diseñó, construyó e implementó, un Sistema Automatizado de Control en un Secador Autónomo Solar que permitiera mejorar la calidad y la eficiencia dentro de un secador solar.

Este sistema utiliza un proceso digitalizado con una pantalla LCD, permite visualizar todos datos obtenidos en los sensores de humedad-temperatura, colocado en la cámara. Así mismo permite el almacenamiento de estos datos con una memoria SD, también cuenta con un software adecuado para controlar los tiempos de trabajo y una etapa de potencia para la distribución de la misma en cada uno de sus actuadores y sistemas energéticos.

El Sistema Automatizado de Control fue evaluado en vacío con condiciones reales de operación obteniendo así muy buenos resultados, permitiendo la mejora y optimización para proceso de secado.



# ÍNDICE GENERAL

	PÁGINA
Agradecimientos	iii
Resumen	iv
Índice de figuras	viii
Índice de tablas	x
Introducción	xi
Justificación	xiv
Objetivo general	xv
Objetivos particulares	xv

## CAPÍTULO I

El secado de productos agrícolas e historia de los secadores solares ---	1
1.1 Principio de Secado -----	2
1.2 Secadores solares -----	3
1.3 Tipos de Secadores Solares -----	4
1.3.1 Secador Solar de Radiación Directa -----	4
1.3.2 Secador Solar de Radiación Indirecta -----	5
1.3.3 Secador Solar Mixto -----	6
1.4 Historia del secador solar -----	7

## CAPÍTULO II

Automatización e instrumentación -----	17
2.1 Instrumentación -----	17
2.2 Automatización -----	18
2.3 Sistema de Control -----	20
2.4 Tipos de Sistemas de Control -----	21
2.5 Arduino -----	23
2.5.1 Pantalla LCD -----	25
2.5.2 Interfaz I2C -----	25
2.5.3 Modulo SD -----	26
2.5.4 Sensor de Temperatura -----	27



2.5.5 Circuito integrado MAX6675 -----	28
2.5.6 Sensor de Temperatura y Humedad -----	29
2.5.7 Teclado Matricial -----	29
2.5.8 Modulo Relevador -----	30

### **CAPÍTULO III**

Metodología -----	34
3.1 Funcionamiento general del secador y tabla de potencias y tiempo -	35
3.1.1 Ventilador de techo -----	36
3.1.2 Radiadores o intercambiadores de calor -----	36
3.1.3 Ventilador-Radiador -----	37
3.1.4 Extractor de Humedad -----	37
3.1.5 Consumo energético del SAC -----	38
3.1.6 Tiempos de trabajo -----	39
3.2 Programación -----	40
3.2.1 Teclado matricial -----	40
3.2.2 Actuadores -----	41
3.2.3 Pantalla LCD -----	41
3.2.4 Lector memoria SD -----	42
3.3 Sistema Automatizado de Control -----	42
3.3.1 Conexión de los componentes de Sistema Automatizado de Control -----	43
3.3.2 Arduino Mega ADK -----	44
3.3.3 Pantalla LCD -----	45
3.3.4 Módulo SD -----	46
3.3.5 Sensor de Temperatura tipo <i>K</i> -----	46
3.3.6 Módulo MAX6675 -----	47
3.3.7 Sensor de temperatura y humedad DHT21 (AM2301) -----	47
3.3.8 Teclado Matricial -----	48

### **CAPÍTULO IV**

Resultados y análisis -----	52
-----------------------------	----



4.1 Funcionamiento -----	53
4.2 Pruebas del SAC -----	55
4.3 Instalación del SAC, sensores y actuadores -----	56
4.4 Evaluación del sistema de control para secador solar -----	57
4.4.1 Evaluación en vacío con sistema solar -----	58
Capítulo V	
Conclusiones -----	63
Anexo 1 código de programación -----	64



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
<b>Figura 1.1</b> Secado al sol de Chile -----	1
<b>Figura 1.2</b> Secador solar directo -----	5
<b>Figura 1.3</b> Secador solar indirecto -----	5
<b>Figura 1.4</b> Secador solar mixto -----	6
<b>Figura 1.5</b> Planta solar de la facultad de Mecánica e Ingeniería de la UNAM. Fuente: Laboratorio de Mecánica y Energía UNAM (2014) -----	9
<b>Figura 1.6</b> Secador solar tipo invernadero -----	10
<b>Figura 1.7</b> Secador híbrido solar gas natural -----	11
<b>Figura 1.8</b> Deshidratador Solar Combinado Térmico-Fotovoltaico, Vista frontal del túnel de secado -----	12
<b>Figura 1.9</b> Secador con colectores dirigidos al norte -----	12
<b>Figura 1.10</b> Secador Solar Multipropósitos Semiautomatizado -----	13
<b>Figura 1.11</b> Secador Híbrido Solar Eólico automatizado -----	14
<b>Figura 2.1</b> Componentes básicos de un sistema de control -----	20
<b>Figura 2.2</b> Sistema de lazo abierto -----	21
<b>Figura 2.3</b> Sistema de lazo cerrado -----	22
<b>Figura 2.4</b> Placa Arduino Mega ADK -----	24
<b>Figura 2.5</b> Pantalla LCD -----	25
<b>Figura 2.6</b> Interface I2C para pantalla LCD -----	25
<b>Figura 2.7</b> Modulo SD -----	26
<b>Figura 2.8</b> Tipos de termopares y rango -----	28
<b>Figura 2.9</b> Modulo Max6675 -----	28
<b>Figura 2.10</b> Termopar tipo K -----	28
<b>Figura 2.11</b> Sensores de Temperatura y Humedad -----	29
<b>Figura 2.12</b> Teclado Matricial -----	30
<b>Figura 2.13</b> Módulo relevador -----	30
<b>Figura 2.15</b> Módulo relevador de cuatro canales -----	31
<b>Figura 3.1</b> Metodología empleada para la elaboración del Sistema de Automatización y Control del Secador Autónomo -----	35



<b>Figura 3.2</b> Ventilador de techo -----	36
<b>Figura 3.3</b> Radiador o Intercambiador de calor -----	36
<b>Figura 3.4</b> Ventilador para radiador -----	37
<b>Figura 3.5</b> Encendido y apagado del extractor -----	38
<b>Figura 3.6</b> Tiempo de trabajo de actuadores -----	39
<b>Figura 3.7</b> Diagrama de conexiones en Proteus del SAC -----	44
<b>Figura 3.8</b> Placa de Arduino Mega MDK -----	45
<b>Figura 3.9</b> Pantalla LCD 16x4 -----	45
<b>Figura 3.10</b> Modulo SD -----	46
<b>Figura 3.11</b> Sensor de temperatura tipo K -----	46
<b>Figura 3.12</b> Medidas del termopar -----	47
<b>Figura 2.13</b> Amplificador/compensador de señal para termopar -----	47
<b>Figura 3.14</b> Sensor de Temperatura y Humedad AM2301 -----	48
<b>Figura 3.15</b> Conexión PIN AM2301-----	48
<b>Figura 3.16</b> Teclado matricial -----	49
<b>Figura 4.1</b> SAC instalado en Secador Solar -----	53
<b>Figura 4.2</b> LED rojo encendido. indicando que existe algún problema en el SAC, LED verde encendido mostrando que el SAC está funcionando de manera correcta. -----	54
<b>Figura 4.3</b> Conexiones de los componentes para el SAC -----	55
<b>Figura 4.4</b> SAC operando de manera correcta -----	56
<b>Figura 4.5</b> Instalación de Gabinete en el Secador solar -----	56
<b>Figura 4.6</b> SAC instalado y operando en Secador solar -----	57
<b>Figura 4.7</b> Variaciones de las temperaturas durante el día 10/10/2018 -----	58
<b>Figura 4.8</b> Variación de la Humedad Relativa en la cámara de Secado y Humedad Ambiente durante el día 10-10-2018 -----	59
<b>Figura 4.9</b> Variaciones de la temperatura de la cámara de secado y de la temperatura ambiente respecto a la radiación solar durante el día 13/10/2018 -----	60
<b>Figura 4.10</b> Variación de la Humedad Relativa en la cámara de Secado y Humedad Ambiente durante el día 13-10-2018 -----	61
<b>Figura 4.31</b> Variaciones de la temperatura de la cámara de secado y de la temperatura ambiente respecto a la radiación solar durante el día 15/10/2018 -----	62
<b>Figura 4.12</b> Comparativa de temperaturas con y sin SAC -----	63



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
<b>Tabla 1</b> Consumo energético del SAC .....	39



## INTRODUCCIÓN

El secado es una de las actividades postcosecha más importantes en la agricultura, ya que permite preservar los alimentos por un mayor tiempo al evitar su descomposición, y es que según algunas estimaciones [1] en los países en desarrollo se llega a perder entre un 40 a 60% de las cosechas, debido a la falta de métodos adecuados de transporte y conservación. De aquí la importancia del empleo del secado como uno de los métodos para preservar los productos agrícolas, reduciendo las pérdidas aumentando la disponibilidad de alimentos para la población. El primer método de secado desarrollado por el hombre consistió en la exposición directa del producto al sol. Esta técnica que todavía es utilizada hoy en día en el medio rural de los países en desarrollo presenta la desventaja de que se pierde una gran cantidad de producto ya que se contamina o deteriora por causa de las lluvias, el polvo, así como del ataque de insectos.

En el estado Chiapas, las cosechas de productos agropecuarios para el deshidratado no son posibles de consumir y comercializar por temporadas, y se desperdician, por tal motivo los productores tienen pérdidas económicas y desempleos; por lo que es necesario un proceso de deshidratación de alimentos eficiente y de calidad con energías limpias que ayuden a comercializar las cosechas fuera de temporada y que no haya desperdicio de merma por producción [2].

El secado de productos agropecuarios se ha practicado desde comienzos de la agricultura. Es uno de los usos directos más importantes de la energía solar. Por lo general se secaba a la intemperie y se necesita de tiempo y de suficiente temperatura para este propósito, que puede ser proporcionada por la radiación solar, todo esto para eliminar la humedad de los alimentos. Como se conoce muchas cosechas no son aprovechadas y se pierden cuando en las temporadas de lluvia o condiciones climáticas nubladas.

Hoy en día la industria de alimentos deshidratados contribuye a un sector importante dentro de la industria alimentaria extendido por todo el mundo. El tamaño de las instalaciones varía desde simples secadores hasta grandes y sofisticadas instalaciones de secado utilizando energías limpias y otros sistemas energéticos y auxiliares.



Para el deshidratado actual de productos agropecuarios se han utilizado diferentes técnicas, pero usualmente se están utilizando deshidratadores industriales, de los cuales algunos absorben mucha energía eléctrica como es el caso de los eléctricos o por microondas. Se ha empezado a diseñar una nueva opción de deshidratadores o comúnmente llamados secadores, los cuales pueden ser solares, pero de baja eficiencia debido a que solo una parte del día pueden estar en operación o en condiciones de mucho sol.

La deshidratación consiste en retirar el agua que se encuentra en los tejidos de un producto para con ello conseguir que este tenga unas determinadas características que lo hagan más fácil de manejar, conservar o utilizar [3]

La deshidratación en el caso de los alimentos es un proceso que ayuda a la conservación de estos. Esto se debe a que muchas bacterias no pueden desarrollarse en ausencia de agua, y por lo tanto muchos de los alimentos deshidratados no pueden pudrirse. Es posible deshidratar una gran variedad de frutas, de verduras, de carnes, de pescados etc. y así lograr que puedan conservarse de manera natural por muchos meses.

Los deshidratadores solares son equipos de fácil construcción utilizados para la preservación de alimentos por medio del secado mediante el calor que genera la radiación solar, estos equipos son por lo general de uso doméstico, sin embargo, sí se construyen en grandes dimensiones y con algunas variaciones, pueden ser utilizados a nivel industrial generando así una alternativa económica y viable para los productores de frutas regionales y otros productos como queso, pescado, etc. [3].

Uno de los problemas en el secado es que tiene procesos relativamente lentos y con ciertas afectaciones del ambiente hacia el producto. Es un método tradicional aparte de ser un secado natural y con incidencias de factores que contaminan el producto.

## Referencias

- [1] A.O. Dissa a, J. Batiebo S. Kama, P.W. Savadogo, H. Desmorieux, J. Koulidiati. Modelling and experimental validation of tin layer indirect solar drying of mango slices. *Renewable Energy* 34 (2009) 1000-1008
- [2] Produccion de Stevia en México. [Online]: <http://eleconomista.com.mx/columnas/agro-negocios/2014/11/20/produccion-estevia-mexicoi>. Acceso: 28/12/2018
- [3] Erika Johanna Giraldo Sepúlveda, Ing. Wilson Pérez Castro, Control de Temperatura y Humedad Relativa para un Deshidratador Solar de Frutas, PEREIRA, Octubre 2014



## JUSTIFICACIÓN

Hoy en día el cultivo de diferentes productos agropecuarios en nuestro país y específicamente en el sur sureste del mismo se tiene muchas pérdidas económicas debido a pérdidas de cosecha y de productos por no tener diversas formas de conservar estos. Estas pérdidas anuales son excesivas, ya que cuando bien le va a un productor, logra vender el 30% de su cosecha, lo demás se pudre o no se recolecta [1].

Como se sabe existen diversos procesos de deshidratado (secado) de productos agropecuarios, desde secado a la intemperie, secado a través de costosos hornos de gas o electricidad (microondas) y a través de deshidratadores solares, estos últimos son una solución a los problemas económicos, pero debido a sus propiedades, estos solo pueden deshidratar bajo condiciones de radiación solar, lo cual indica con climas lluviosos o nublados, no es posible trabajar.

Por otro lado, es con secadores solares es imposible trabajar muy temprano o muy tarde de cualquier día. Es por estas razones que se propone este trabajo de tesis, donde la principal idea es desarrollar y automatizar un secador solar, donde el objetivo principal es disminuir los costos energéticos que los secadores industriales comerciales generan y que para nuestra región es imposible pagar por parte de un productor. La idea general de un secador solar es aprovechar al máximo la radiación solar y complementar a través del sistema de calentador solar con tubos al vacío en caso de días lluviosos o nublados, así como extender la jornada laboral en temporada alta de productos agropecuarios.

Con este tipo de desarrollo tecnológico, los productores aprovecharían al máximo cada cosecha, además que se estaría generando tecnología propia por parte de las Universidades para apoyar diversos productores de la región.

[1] Producción de Stevia en México [Online]: <http://eleconomista.com.mx/columnas/agro-negocios/2014/11/20/produccion-estevia-mexico-ii>. Acceso: 16/12/2018.

### **Objetivo general**

Desarrollar, implementar y evaluar un Sistema Automatizado de Control para eficientizar el proceso de secado dentro de un secador solar.

### **Objetivos particulares**

- Diseñar e implementar el sistema de control mediante tarjetas electrónicas Arduino.
- Realizar un estudio del funcionamiento de los sistemas energéticos renovables, como de sus actuadores, y de las variables de humedad y temperatura en campo para optimizar el Secador Autónomo.
- Evaluar el comportamiento del Sistema Automatizado de Control en el Secador Autónomo.



# CAPÍTULO I

## El secado de productos agrícolas e historia de los secadores solares

En este capítulo se habla sobre la evolución que ha tenido el deshidratado de productos agrícolas por medio del sol y a la evolución de los deshidratadores solares para tener un producto deshidratado en el menor tiempo posible.

El secado de productos agrícolas a través de la historia es una de las técnicas más utilizadas para la conservación de los alimentos. Ya en la era paleolítica, hace unos 400.000 años, se secaban al sol (Figura 1.1) alimentos como frutas, granos, vegetales, carnes y pescados, aprendiendo mediante ensayos y errores, para conseguir una posibilidad de subsistencia en épocas de escasez de alimentos, no solo necesarios, sino que también nutritivos. Esta técnica de conservación trata de preservar la calidad de los alimentos bajando la actividad de agua mediante la disminución del contenido de humedad, evitando así el deterioro y contaminación microbiológica de los mismos durante el almacenamiento. Para ello se pueden utilizar varios métodos de deshidratación, tales como secado solar, aire caliente, atomizador, etc. [1]



*Figura 1.1 Secado al sol de Chile.*

## 1.1 Principio de Secado

El secado es el proceso de conservación de alimentos, consistente generalmente en la eliminación de humedad de una sustancia por evaporación del agua de la superficie del producto, traspasándola al aire circundante. La rapidez de este proceso depende del aire (la velocidad con la que éste circule alrededor del producto, su grado de sequedad, etc.), y de las características del producto (composición, contenido de humedad, tamaño de las partículas, etc.).

En el proceso se intercambian calor y masa, incluye una operación energética elemental y representa una de las acciones térmicas básicas en la industria de procesos y agroalimentaria. El secado o deshidratación se usa como técnica de preservación de diferentes productos, pues muchas enzimas y microorganismos que causan cambios químicos en los alimentos y otros materiales no pueden crecer y desarrollarse en ausencia de agua [2], esto proporciona un peso de anaquel más ligero para el transporte y pequeños espacios para el almacenamiento.[3]

Se utiliza ampliamente en los procesos industriales, principalmente en la industria química, en la producción de materiales de construcción y en la industria alimentaria.

El proceso de secado puede ser aplicado a todo tipo de alimentos, desde vegetales y hortalizas hasta carnes y pescados, pasando por frutas, especias, hierbas aromáticas, etc.[3]

Se conoce por secado natural al método empleado para la disminución de humedad de los productos o materiales en condiciones naturales, aprovechando la energía del viento y que están expuestos a la radiación solar directa o no.

Por diferentes causas, el secado artificial o deshidratación, ha sustituido en muchos casos al secado natural. Se llama secado artificial o mecánico, a la disminución controlada de humedad, ventilación forzada y temperatura de los productos o materiales con el uso de equipos o dispositivos especiales, los cuales usan generalmente fuentes convencionales de energía. Se debe tener en cuenta, como se ha comentado anteriormente, no superar nunca los 60 °C a 65 °C.



Las principales ventajas del secado artificial sobre el natural son las siguientes: la calidad del producto deshidratado es generalmente superior, si se selecciona una buena tecnología del proceso; la velocidad de secado suele ser mucho mayor, disminuyendo considerablemente el tiempo de secado, lo que influye tanto en la calidad como en el costo del producto; las condiciones sanitarias y nutritivas (en caso de alimentos) son mejores, al no estar el producto expuesto a la acción directa del Sol, la lluvia, el polvo y los insectos; el área utilizada en la deshidratación es menor, varias veces, que la utilizada en el secado natural; las operaciones de deshidratación son más sencillas, pudiendo tener un alto grado de automatización [4] .

## **1.2 Secadores solares**

Un secador solar es un equipo o instalación que utiliza la radiación solar como fuente de energía para disminuir la humedad del producto o material a secar. Los secadores, al igual que los calentadores solares [13] utilizan el efecto invernadero como trampa de calor y los productos pueden secarse usando la radiación directa o indirecta.

Los elementos básicos de un secador solar son: la cámara de secado, donde el producto es deshidratado por el control de temperatura, aire y humedad, el colector solar, donde la radiación calienta el aire que entra a la cámara. Estos elementos pueden diseñarse de diferentes formas para integrarse a diferentes equipos de secado solar. [4] [5]

En dependencia de cómo es transmitida esta energía al producto, pueden clasificarse en secadores de radiación solar directa e indirecta, o mixta. Los factores claves para un buen secado son:

1. Aire caliente a una temperatura de 40 °C a 70°C
2. Aire con un bajo contenido de humedad
3. Movimiento constante del aire (recirculación del aire).

Al calentar aire, que está a la temperatura del ambiente y con un cierto porcentaje de humedad, aumenta su capacidad de absorber vapor de agua. Por cada 20°C de aumento de la temperatura del aire su capacidad de retener vapor de agua se triplica y por consecuencia su humedad relativa se reduce a un tercio.



Para eliminar la humedad de los alimentos, es necesario que el aire que pasa por los productos esté en constante movimiento y renovación. Esta ventilación se puede lograr en forma natural gracias al efecto chimenea o en forma forzada mediante ventiladores, dependiendo del modelo del secadero. Para obtener un buen secado, los productos tienen que ser colocados de tal forma que haya suficiente espacio entre las partes que los componen [2].

### **1.3 Tipos de Secadores Solares**

#### **1.3.1 Secador Solar de Radiación Directa**

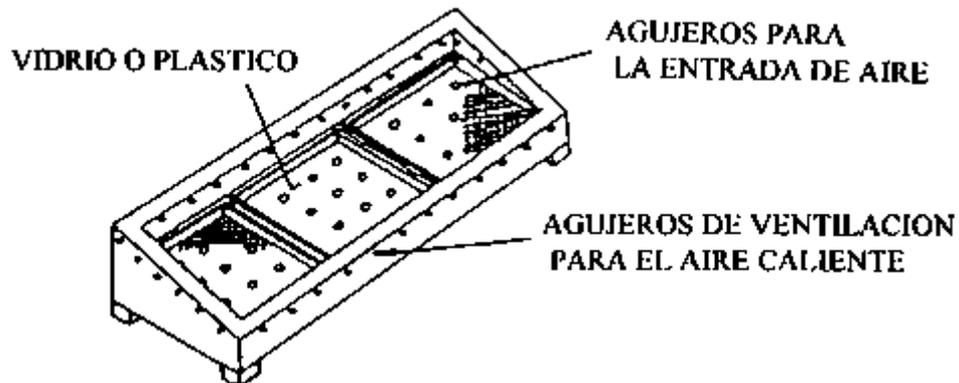
El producto para secar se sitúa en una cámara de secado con las paredes transparentes de tal forma que la radiación solar incide directamente sobre el producto o de igual manera si se encuentra en recipiente sellado que esté expuesto a la radiación solar un ejemplo claro serían los biodigestores, actuando como superficie de captación como podemos ver en la Figura 1.2. La energía térmica extrae humedad del grano a la vez que al calentar el aire reduce su humedad relativa. Por otra parte, la expansión del aire de la cámara de secado provoca su circulación y la remoción del vapor de la cámara transportándolo el aire caliente.

La desventaja más destacable de estos diseños es el riesgo de dañar los productos por sobrecalentamiento, es decir, no hay control de temperatura, y las tasas de secado relativamente lentas debido a una pobre extracción del vapor. Para superar estas dificultades es interesante el empleo de chimeneas solares.

Dentro de los secadores pasivos directos se distinguen diversos diseños: los secadores de armario o gabinete y los de invernadero; los primeros se caracterizan por ser unidades pequeñas, prácticamente de uso doméstico. La configuración habitual consiste en una caja acristalada bien aislada con agujeros de ventilación en la base y la parte superior de las paredes.

El otro tipo de secadores directos pasivos son los invernaderos modificados. Se caracterizan por grandes superficies transparentes que normalmente incorporan paneles aislantes para evitar el enfriamiento nocturno y algún sistema de almacenamiento. Los secadores invernaderos bien diseñados permiten mayor

control de las condiciones del proceso de secado que los secadores armario y a la vez son más adecuados para su aplicación a gran escala [6].

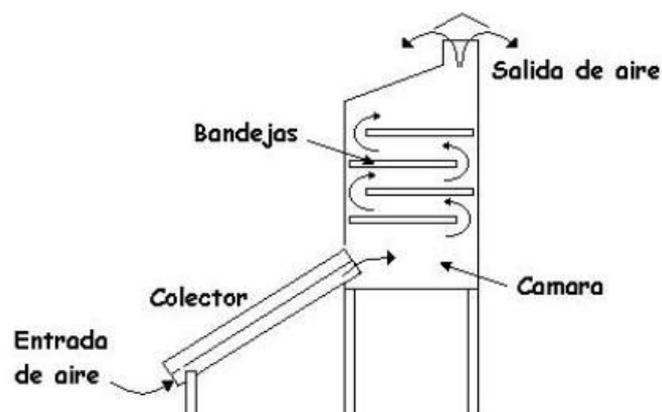


*Figura 1.2 Secador solar directo [12]*

### 1.3.2 Secador Solar de Radiación Indirecta.

Los secadores indirectos o cuya transferencia de calor sean por convección, son utilizados para secar partículas y alimentos en forma laminar o en pasta [7] .

El colector y la cámara de secado están separados, la cámara de secado no permite la entrada de la radiación solar. Consiste en que el colector calienta el aire que entra y lo envía a la cámara de secado. Este mismo aire arrastra la humedad de manera que se hará circular una corriente de aire por el producto, produciendo su secado el bosquejo de este tipo de secadores solares lo podemos ver en la Figura 1.3 [8] [9]



*Figura 1.3 Secador solar indirecto [3]*

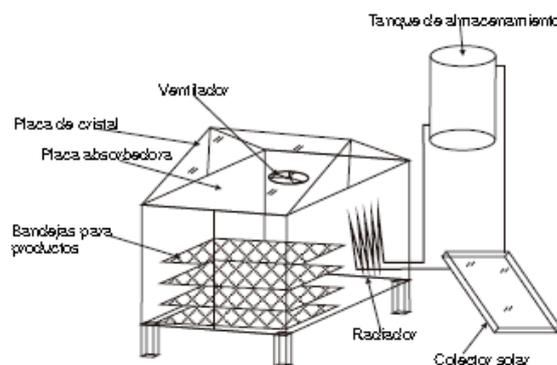
Ventajas y desventajas de los secadores solares indirectos [3] :

1. La velocidad de secado es mayor comparada con la solar directa
2. La condición final del producto después del secado puede ser controlada científicamente.
3. Las pérdidas en producto se evitan bajo las circunstancias de fenómenos naturales.
4. La superficie requerida es muy baja para la misma cantidad de producto en comparación con el secado solar directo.
5. El mismo secador se puede utilizar para diferentes estacionales productos.
6. Preservar el contenido de nutrientes en el producto como evitar la exposición directa a las radiaciones solares.
7. Principal desventaja del secador solar indirecto es el alto costo inicial.

### 1.3.3 Secador Solar Mixto

Investigadores han explorado diferentes técnicas para acelerar el secado solar de diversos productos agrícolas, teniendo en cuenta el posible uso de materiales de almacenamiento térmico, y modelos de secado desarrollados para predecir las curvas de secado del producto como se observa en la Figura 1.4 [10] [11]

En este tipo de secadores mixtos, el aire es precalentado en un área y posteriormente introducido a la cámara de secado. Para garantizar que la temperatura sea constante, se utilizan otros sistemas alternos a la cámara de secado para que mantener la temperatura sin importar la variación de la temperatura ambiente o en su caso mantienen la temperatura por la noche.



**Figura 1.4** Secador solar mixto [3]

## 1.4 Historia del secador solar

El hombre pasó por un largo periodo durante el cual fabricó productos de forma artesanal lo cual implicaba gran dedicación y tiempo, y limitaba sus volúmenes de producción. Fue hasta el siglo XVIII, con la llegada de la revolución industrial, cuando el hombre abandono el uso de la fuerza bruta y la sustituyó por máquinas que aumentaron la producción, pero sin embargo requieran grandes cantidades de energía [14].

En los siglos XVII Y XVIII se construyó el primer horno solar con un espejo cóncavo parabólico de 1.6 m de diámetro para cocer el barro utilizado en la producción de objetos de cerámica [14].

En 1774 se descubrió que al concentrar rayos solares sobre oxido de mercurio se obtenía oxígeno gaseoso. Además, se construyó un horno solar con una lente de más de 1 m de diámetro que alcanzaba temperaturas de 1700 °C, en él podía fundir el platino [15] .

Más tarde se desarrolló la máquina de vapor atmosférica, cuya importancia fue el aprovechamiento del vapor generado a partir de la combustión o leña, en 1776 mejoro notablemente la máquina de vapor atmosférica, añadiendo un condensador cilíndrico conectado al pistón para la condensación del vapor y logro que el cilindro se mantuviera caliente, lo cual proporcionaba un rendimiento energético superior [14].

Durante el siglo XIX, debido a que no se creía que el carbón fuera capaz de sustentar el desarrollo industrial de la época, en Francia se diseñó una máquina de vapor que era alimentada por energía solar, esta máquina consistía en un gran receptor parabólico recubierto de espejos que dirigían la radiación solar a un recipiente de vidrio que contenía agua; el calor generado evaporaba el agua y el vapor alimentaba un pequeño motor. Las presiones que alcanzó fueron muy bajas, lo que no permitió un buen funcionamiento del motor, estos trabajos sentaron las bases para el futuro desarrollo de la energía solar [16] .

A mitad del siglo XIX se inventaron los primeros motores de combustión interna, principalmente a gasolina y diésel. Estos motores recibieron gran atención, haciéndose cada vez más económicos, seguros, eficientes, confiables y

abundantes, hasta que el transporte llegó a ser completamente dependiente de los combustibles fósiles [15] .

En el siglo XIX, se construyó un motor de aire caliente, con un pistón que, acoplado a un espejo parabólico, el cual iniciaba su movimiento cuando los rayos solares, se concentraban en el extremo exterior del pistón y se alcanzaba una temperatura adecuada. En 1868 en la Cd. de New York se diseñó un espejo rectangular de  $2\text{ m} \times 3.5\text{ m}$  de sección parabólica y sobre la línea focal de la parábola se colocó un tubo por el que circulaba aire con el que podía hacer funcionar una máquina de vapor [14]. En 1860, se construyó una planta para bombear agua mediante una caldera solar de  $2.2\text{ m}$  de diámetro. En la exposición mundial de París, celebrada en 1878, se presentaron varios inventos en los que se puede nombrar: una estufa solar, motores solares, colectores y la integración de un motor solar a la prensa de una imprenta. El científico francés Edmund Bequerel en 1839 descubrió el efecto fotovoltaico que Convertía la energía solar a energía eléctrica en celdas electrolíticas, observó que al iluminar uno de los electrodos se producía un voltaje. Más tarde, Charles Fritts construyó las primeras celdas solares de selenio.

En 1905, Albert Einstein tomó el concepto propuesto en 1900 por Max Planck, para explicar el efecto fotoeléctrico que dio pie al desarrollo de la mecánica cuántica. Dentro de este fenómeno, cuando la luz llega a metales como el cesio o el platino, los electrones pueden empezar a moverse, y si los fotones de los rayos de luz tienen frecuencias y energías apropiadas hacen saltar a los electrones de la superficie iluminada y se genera una corriente eléctrica. Además, en Barstow, California está instalada una planta con 1800 espejos que concentran el calor del Sol en una torre central de  $90\text{ m}$  de altura. Se emplea un fluido como el agua, el aceite o las sales fundidas como medio de transporte de energía térmica para producir vapor de agua y mover un turbogenerador de  $10\text{ MW}$  [15] .

En Francia se encuentra el central electro solar Themis, que genera  $2.5\text{ MW}$ . Esta planta tiene 201 helióstatos o espejos de  $53\text{ m}^2$  orientados a una torre de  $101\text{ m}$  que en la parte superior posee una caldera en la que se funden sales minerales, mismas que se aprovechan para generar vapor de potencia. Estas



sales tienen la ventaja de almacenar grandes cantidades de calor por unidad de masa.



**Figura 1.5** Planta solar de la facultad de Mecánica e Ingeniería de la UNAM. Fuente: Laboratorio de Mecánica y Energía UNAM (2014) [15].

En México, la Universidad Nacional Autónoma de México tiene instalada una pequeña planta solar prototipo con colectores cilíndricos–parabólicos que siguen el movimiento del sol. La planta tiene una capacidad de 10 a 15 kW, utiliza un ciclo cerrado de aceite como fluido térmico para calentar agua y producir vapor [15].

La energía solar puede ser utilizada para generación de energía eléctrica usando paneles solares, para calentamiento de agua sanitaria, para operar sistemas de enfriamiento y refrigeración por absorción, así como para el secado de frutas, granos y especias [17].

También se ha sido utilizada en sistemas térmico-solares para el proceso de secado de productos, por ser una fuente de energía limpia; sin embargo presenta algunas desventajas: como es el hecho de que sólo puede ser utilizada 8 horas en promedio por día y que depende de las condiciones climatológicas, por la misma razón, se aumenta la temperatura de operación en los secadores solares, ya que de esta manera se reducen los tiempos de secado del producto, en busca de la mayor calidad en el producto en investigaciones se cita la importancia del flujo de aire en el secador.

Con el paso del tiempo y el desarrollo tecnológico se ha buscado alternativas para la mejora de estos dispositivos, en algunos trabajos se han adaptado en los secadores solares 2 fuentes de energía para garantizar los tiempos de secado, desarrollando así secadores solares híbridos [18].

Es así como las tecnologías de aprovechamiento de la energía solar han evolucionado en la historia existiendo dos grandes retos por resolver: 1) El costo elevado de los sistemas solares comparado con los costos de los sistemas que utilizan energéticos fósiles y, 2) el mantenimiento de los sistemas solares. Es necesario crear sistemas de almacenamiento de energía solar que sean poco costosos, sencillos, eficientes y duraderos. Sin embargo, es posible crear sistemas solares a pequeña escala con aplicaciones concretas y eficientes que ofrezcan una alternativa a las operaciones cotidianas de una comunidad como lo son el calentamiento de agua, secado y conservación de alimentos, secado de materiales, acondicionamiento de interiores residenciales, cocción de alimentos, sistemas de refrigeración entre otros.

La deshidratación es uno de los métodos más importantes para la preservación de alimentos, y en este sentido, muchos procesos de deshidratación se han aplicado para disminuir el deterioro bioquímico, químico y biológico de los productos alimenticios. Además, la disminución del contenido de humedad permite su almacenamiento de manera segura por periodos largos de tiempo, así, el costo de transporte es menor debido a la drástica disminución de la masa y volumen de los productos secos [15] .

En Australia se ha propuesto el uso de secadores con estructura tipo invernadero que es esencialmente un compartimiento rectangular pintado de negro mate con hojas acanaladas de hierro las cuales usa como colector, una estructura tipo invernadero con una cubierta plástica transparente (figura 1.6). Cuenta con un sistema de calefacción adicional durante días nublados. Además, realiza un monitoreo con sensores mediante un sistema de adquisición de datos, para obtener los valores del flujo aire y temperatura en el secador y compararlas con las condiciones ambientales [18] [19] .



**Figura 1.6** Secador solar tipo invernadero [19] .

La empresa Solar Dryers Australia, desarrolló un secador híbrido (solar-gas natural) construido con estructura de aluminio, acero inoxidable y acero galvanizado (Figura 1.7). Utiliza la energía de la combustión del gas natural para calentar el agua que pasa por radiadores dentro de la cámara y sólo utiliza la energía solar para calentar el agua por medio de colectores colocados en la parte superior del secador. Tiene una capacidad de 10 m<sup>3</sup>, requiere energía eléctrica de 240 V para operar los ventiladores y tiene una cámara de secado de forma rectangular, sin embargo, no presenta información sobre el tiempo de secado, así como del funcionamiento de los dispositivos [18] [20]



*Figura 1.7 Secador híbrido solar gas natural [20] .*

Este es un deshidratador solar combinado (Térmico- Fotovoltaico) para el tratamiento de arroz, el cual utiliza de forma combinada la energía solar en su conversión térmica y fotovoltaica (Figura 1.8). Este secador solar puede operar durante el día, a través de la circulación de agua que es calentada en un banco de captadores solares de placa plana y conducida a través de un intercambiador en donde de manera indirecta calienta el aire necesario para el acondicionamiento del túnel de secado. Para la operación nocturna, el agua caliente, en lugar de circularse hacia el túnel de secado, se almacena en un termotanque. Para asegurar un funcionamiento diurno y nocturno, el sistema de secado solar cuenta con un subsistema de calentamiento directo de aire, el cual opera durante el día, al mismo tiempo que el sistema indirecto genera agua caliente para la operación nocturna. La energía eléctrica necesaria para la operación de los componentes eléctricos es suministrada por un sistema fotovoltaico [18] [21] .



**Figura 1.8** *Deshidratador Solar Combinado Térmico-Fotovoltaico, Vista frontal del túnel de secado [21].*

Aquí presenta el diseño de un secador solar híbrido de escala industrial. El equipo, está ubicado en San Carlos, provincia de Salta, Argentina, está destinado a la producción de pimienta seca.

Cuenta con un banco de colectores que trabajan en serie con un quemador de leña, regulando el funcionamiento día-noche. Durante un día de buena radiación sólo se implementa el funcionamiento del banco de colectores. Durante la noche o en días de escasa radiación, se utiliza el quemador de leña para aumentar la temperatura en la cámara de secado. La superficie total ocupada por el secador es de aproximadamente  $345 \text{ m}^2$ , de los cuales el banco de colectores y el caño maestro utilizan  $306 \text{ m}^2$ . De estos,  $195 \text{ m}^2$  los ocupan los colectores, mientras que el resto incluye las conexiones y el área de paso (Figura 1.9). A la cámara de secado y al quemador de biomasa les corresponden los  $39 \text{ m}^2$  restantes.

Las mejoras en la eficiencia térmica del sistema llevan a una mayor velocidad de secado. Durante los ensayos se midieron las variables de interés en la operación del sistema, que incluyen temperatura ambiente, temperatura de flujo de aire, humedad relativa ambiente y radiación solar sobre un plano horizontal [18] [22]



**Figura 1.9** *Secador con colectores dirigidos al norte [22].*

También se desarrolló un secador solar híbrido para deshidratar productos agropecuarios, el cual está alimentado por energía solar mediante 2 colectores solares planos y energía eléctrica mediante una resistencia eléctrica. El sistema consiste en una estructura metálica recubierta en su exterior con pintura negra mate y dos colectores solares planos laterales. Su funcionamiento es de la siguiente manera; el aire caliente desciende por los colectores y llega a la cámara de secado donde se aumenta la temperatura con una resistencia eléctrica, mientras que un ventilador distribuye de manera uniforme el calor por la cámara de secado [18] [23]. También existen secadores automatizados que tienen una radiación de calor indirecta, ya que se diseñan para diferentes tipos de secado pequeños o industriales, que cuentan con sistemas energéticos renovables implementados y diversos actuadores con un sistema de monitoreo y control.

Este es un Secador Solar Multipropósitos (Figura 1.10), desarrollado en el Instituto de Investigación e Innovación en Energías Renovables (3IER). El secador solar consiste en una cámara de secado de paneles multi-muro, colectores de tubos de vacío, un soplador, un extractor de aire e inyectores de aire.

También cuenta con un panel solar que cubre toda la energía para la automatización y para las partes eléctricas.



*Figura 1.10 Secador Solar Multipropósitos Semiautomatizado.*

Dentro de las instalaciones del Instituto de Investigación e Innovación en Energías Renovables (3IER), se desarrolló un prototipo de secador de radiación indirecta eólico, que es totalmente automatizado para el secado de productos agropecuario como se muestra en la (Figura 1.11).

Este secador consiste en una cámara de secado con paredes multi-muro, un sistema de control que distribuye la carga y que se alimenta de un banco de dos

baterías, donde se almacena la energía generada por el sistema de eólico, también un termotanque de aluminio, para el almacenamiento de agua caliente con una bomba que recircula el agua de los dos calentadores de agua, pasándolo por un intercambiador de calor, para meter el calor en forma de vapor a la cámara y volverlo a recircular al termo-tanque.



**Figura 1.11** Secador Híbrido Solar Eólico automatizado [18]

## Referencias

- [1] Historia del Secado Solar. [Online]: <http://secafrut.blogspot.com/2009/11/historia.html>. Acceso 03/10/18
- [2] Manual de Secado [Online]: <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/pdf/EDGuiasecaderosolar.pdf>. Acceso: 03/10/2018.
- [3] Erick Alejandro Hernández Domínguez y Dr. Jorge Evaristo Conde Díaz, Bascula Aislada Térmicamente para Monitoreo de Peso en Cámaras de Secado, Tesis, Octubre 2018.
- [4] Secadores Solares [Online]: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia06/HTML/articulo.htm>. Acceso: 03/10/2018
- [5] Gamaliel Moreno M., Seminario de Proyectos II, Ingeniera en Energía, UAM-I. <http://cbi.izt.uam.mx/iph/archivosprofesores/50/archivos/4f197.pdf>.
- [6] Ibáñez Plana M. Rosell, J.R. Rosell Urruta Polo. Tecnología solar (colección energías renovables). J. Ediciones Mundi-Prenta.
- [7] Mujumdar, A.S. (2007). Handbook of Industrial Drying. E.U.A: Marcel Dekker, Inc.
- [8] Manual de secado. [Online]: <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/pdf/EDGuiasecaderosolar.pdf> Acceso: 04/10/2018
- [9] Cruz D., López de León, E. y L. P. (2010), Guía técnica de construcción y funcionamiento de secadoras solares tipo domo. Journal of Agriculture and Environment for International Development. 104 (3-4), 125 - 138.
- [10] Lalit M Bal, Santosh Satya, SN Naik, and Venkatesh Meda. Review of solar dryers with latent heat storage systems for agricultural products. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(1):876-880.
- [11] Dilip Jain and Rajeev Kumar Jain. Performance evaluation of an inclined multi pass solar air heater with in-built thermal storage on deep-bed drying application. Journal of Food Engineering, 65(4):497-509.
- [12] Yaciuk, G. 1982. Food Drying: Proceedings of a Workshop held at Edmonton, Alberta, 6-9 July 1981. Ottawa, Ontario: IDRC 104 pp.
- [13] Calentadores Solares. [Online]: <http://ecotec.unam.mx/ECotec/ecoteca/calentadores-solares-2>. Acceso: 28/02/2019.
- [14] Fernando Castro Gutiérrez y David Leonardo Galicia Chacón, Aprovechamiento Cogenerativo en un Panel Solar Híbrido, Tesis, Enero 2019.
- [15] Julio César Lemus Hernández y Juan Carlos Rodríguez Gómez, Diseño y Construcción de un Sistema Cíclico de Colección, Transporte y Descarga de Energía Solar Térmica para un Deshidratador Solar en el Municipio de San Juan del Rio, QRO, Tesis, Noviembre, 2018.
- [16] Coronado, J., Análisis numérico del flujo energético 3D en colectores solares concentradores, Chile, 2008. [Online]: [http://www.cybertesis.cl/tesis/uchile/2008/coronado\\_j/sources/coronadoj.pdf](http://www.cybertesis.cl/tesis/uchile/2008/coronado_j/sources/coronadoj.pdf). Acceso:03/11/2018
- [17] Oscar Armando Conde Diaz y Joel Moreira Acosta, "Desarrollo de un Sistema Automatizado de Control para un Secador Autónomo Híbrido Solar-Gas LP, en el Municipio de Santa María-Huatulco", Tesis, Enero 2019.
- [18] Guadalupe Pavón Gómez y Joel Pantoja Enríquez, Sistema Híbrido Termo-Solar Eólico para la Conservación de Productos Agropecuarios, Tesis, Enero 2019.
- [19] Haque M. Nawshadul (2006), "Performance of an Industrial Solar Kiln for Drying Timber", Department of chemical Engineering University of Sydney, NSW 2006, Australia.
- [20] Solar Dryers Australia Pty Ltd (2007) Secador híbrido [Online]: <http://www.rosegum.com.au/10m.htm>. Acceso:05/11/2018



[21] Gama Pérez J. David, "Análisis teórico-experimental de un deshidratador solar combinado (Térmico-fotovoltaico), para el tratamiento de arroz", México, 2007.

[22] Durán G., Condorí M., Echazú R., Díaz G., "Secador solar híbrido para la producción continua a escala industrial de pimiento para pimentón", INENCO, Instituto de Investigación en Energía No Convencional. Universidad Nacional de Salta, U.N.Sa. Argentina, 2010.

[23] Deolarte Martínez C. Gerardo, "Secador solar híbrido para deshidratar productos agropecuarios", Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2008.



# CAPÍTULO II

## AUTOMATIZACIÓN E INSTRUMENTACIÓN.

A través de siglos el ser humano siempre ha buscado la creación de herramientas y máquinas que imiten las partes del ser humano y que le faciliten la realización de tareas peligrosas, pesadas y repetitivas. En los últimos tiempos, la aparición de máquinas altamente sofisticadas ha dado lugar a un gran desarrollo del campo de la automatización y el control de las tareas, aplicado ya en muchas máquinas que se manejan diariamente [1]

La simplificación del trabajo permitida por la división del trabajo también posibilitó el diseño y construcción de máquinas que reproducían los movimientos del trabajador. A medida que evolucionó la tecnología de transferencia de energía, estas máquinas especializadas se motorizaron, aumentando así su eficacia productiva [2] .

### 2.1 Instrumentación.

Hoy en día, los sistemas electrónicos instrumentales están presentes de forma masiva en nuestra vida cotidiana y en el conjunto de nuestro entorno. El ejemplo más sencillo es nuestro teléfono móvil de última generación. Empezando por el micrófono, la cámara. los sensores que detectan la inclinación, sensores táctiles entre otros [3] .

Los sistemas de instrumentación electrónica entregan información mediante las señales eléctricas, listas para ser procesadas por otros sistemas electrónicos, tales como microprocesadores, microcontroladores, computadores.[3] .

## **2.2 Automatización.**

Automatización (del griego auto: guiado por uno mismo), es el uso de sistemas o elementos computarizados (Ejecución automática de tareas industriales, administrativas o científicas) y electromecánicos para controlar maquinarias o procesos industriales sustituyendo a operadores humanos. Haciendo más ágil y efectivo el trabajo y ayudando al ser humano [1] .

Para el proceso de automatización existe una parte fundamental que es el microcontrolador y el microprocesador que desarrollan un papel muy importante; estos han permitido el desarrollo de sistemas inteligentes que resuelven los más diversos problemas como por ejemplo, Sistemas de Adquisición de Datos (S.A.D), Sistemas de Control, Sistemas de automatización, etc. , cuyo objetivo básico es la integración de los diferentes recursos que lo conforman: Transductores de diferentes tipos y naturaleza, multiplexores, amplificadores, conversores A/D y D/A, etc. Actualmente estos sistemas forman una amplia variedad de equipos de hardware que constituyen en complejo, dispositivos electrónicos, que, con ayuda indispensable de la computadora con diversos softwares, hace que estos sistemas tengan una mejor supervisión y control de sus propios trabajos.

Su importancia radica en realizar procesos totalmente continuos por medio de secuencias programadas. Procesos automáticos en cadena con posibilidad de autocontrol y auto corrección de desviaciones [2] .

El término Automatización se refiere a una amplia variedad de sistemas y procesos que operan con una mínima o ninguna intervención del ser humano. Los sistemas más modernos de automatización, el control de las variables y actuadores del secador solar es realizado por ellas mismas gracias a sensores que permiten detectar cambios en su alrededor respecto a ciertas variables tales como temperatura, volumen y corriente eléctrica entre otros, los cuales le permiten al sistema de automatización y control realizar los ajustes necesarios para poder compensar los cambios de las variables temperatura, humedad y flujo de aire. Enormes máquinas de este tipo hoy en día se utilizan para el desarrollo de procesos industriales.

Un sistema automatizado ajusta sus operaciones en respuesta a cambios en las condiciones externas en tres etapas u operaciones: medición, evaluación y control.



- Medición.

Para que un sistema automatizado reaccione ante los cambios en su alrededor debe estar apto para medir aquellos cambios físicos. Las medidas realizadas, suministran al sistema de ingreso de actuadores y sistemas energéticos, la información necesaria para poder realizar un control. Este sistema es denominado de retroalimentación, donde la información obtenida de las medidas es retroalimentada al sistema de ingresos del sistema del para después realizar el respectivo control de ellos.

- Evaluación

La información obtenida en la etapa de medición es evaluada para así poder determinar las acciones correspondientes previstas.

- Control

El último paso de la automatización es la acción resultante de las operaciones de medición y evaluación. En muchos sistemas de automatización, estas operaciones son muy difíciles de identificar, por lo que un sistema puede involucrar la interacción de más de una vuelta de control (control loop), que es la manera en la que se le llama al proceso de obtener la información desde el sistema de salida de una máquina y llevarla al sistema de ingreso de la misma. Cabe señalar, que todos los sistemas automatizados incluyen estas tres etapas u operaciones [2] .

Por ello es necesario un adecuado estudio de los sistemas a controlar, así como también un buen nivel de conocimientos referente al análisis y diseño de los sistemas de control.

### 2.3 Sistema de Control.

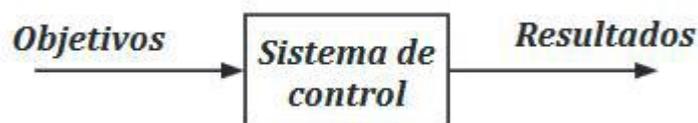
El control de un sistema se efectúa mediante un conjunto de componentes mecánicos, hidráulicos, eléctricos y/o electrónicos que, interconectados, recogen información acerca del funcionamiento, comparan este funcionamiento con datos previos y, si es necesario, modifican el proceso para alcanzar el resultado deseado [4] .

Un sistema es un conjunto de elementos, interrelacionados entre sí, los cuales se caracterizan por poseer unos parámetros inherentes que los definen y por mostrar unas condiciones físicas asociadas, susceptibles de evolucionar con el tiempo, se utilizan dispositivos eléctricos, manuales o automáticos que se emplean para permitir o interrumpir el paso de corriente a los diferentes circuitos de control [5] .

Los componentes básicos de un sistema de control pueden ser descritos por:

- a) Objetivos de control
- b) Componentes del sistema de control
- c) Resultados o salida.

La relación básica entre estos tres componentes se muestra en la (Figura 2.1), los objetivos de control pueden ser identificados como entradas o señales entrantes, los resultados son considerados las salidas o las variables controladas; en general, el objetivo del sistema de control es controlar la salida de manera ordenada actuando los elementos de control sobre la señal de entrada.[5] .



**Figura 2.1** Componentes básicos de un sistema de control [5]

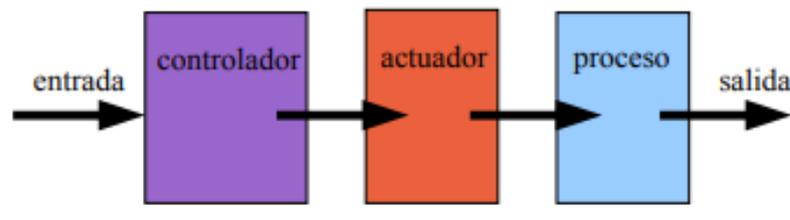
La electrónica aplicada es el área de la tecnología que estudia las características de los dispositivos electrónicos y la forma de interconectarlos para realizar circuitos y sistemas que captan información en forma de señales eléctricas, las procesan para obtener otra clase de señales que pueden ser procesadas o transmitidas. Actualmente en el mercado existen diferentes tipos de tarjetas electrónicas que

tienen microcontroladores o microprocesadores que pueden realizar las acciones antes mencionadas estas pueden ser: Beaglebone, Raspberry, DAQ de NI multisistem, Arduino entre otros [6] .

## 2.4 Tipos de Sistemas de Control.

Existen dos tipos de sistemas de control automático: de lazo abierto y de lazo cerrado.

*Sistema de control de lazo abierto:* son sistemas de control que se caracterizan por carecer de sensores que informen al sistema del estado en el que se encuentra. El proceso automatizado se hace siempre igual sin poder comprobar si se hace correctamente. En el caso de sistema en lazo abierto hay una entrada al elemento controlador, de este sale una señal al actuador que realiza una función. Este desarrolla un proceso que tiene un efecto (la señal de salida del sistema). El ejemplo de la luz de una escalera, la entrada la dispararía el pulsador, el controlador sería el circuito que cuenta el tiempo que debe estar encendido mientras saca una señal de control al actuador (la bombilla) mientras se realiza el proceso de iluminar la escalera.[7] .



**Figura 2.2** Sistema de lazo abierto.[7]

Ventajas y desventajas del Sistema de lazo abierto:

Las ventajas de un sistema de lazo abierto son:

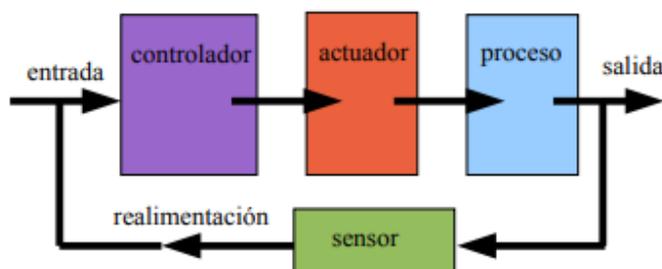
1. Simple construcción y fácil mantenimiento.
2. Menos costoso que un correspondiente sistema de lazo cerrado.
3. No hay problema de estabilidad.

4. Conviene cuando salidas son duras o difíciles de medir o económicamente es no viable.

Las desventajas de un sistema de lazo abierto son:

1. Perturbaciones y cambios en la calibración causan errores, y la salida puede ser diferente de aquella deseada.
2. Para mantener la calidad requerida en la salida, se hace necesario recalibrar de vez en cuando. [8]

*Sistemas de control de lazo cerrado:* son sistemas de control que se caracterizan por tener sensores que vigilan el proceso automatizado (por ejemplo, encender y apagar una farola en función de la luz ambiental o el sistema de cisterna que permite dejar de llenarla cuando el agua ha alcanzado una determinada altura). Dichos sensores controlan la salida del sistema e incluyen dicha información en la entrada del sistema. Se define “la realimentación como un mecanismo por el cual una cierta proporción de la salida de un sistema se redirige a la entrada, con objeto de controlar su comportamiento”. En el ejemplo de la luz de la farola, la entrada sería una señal de encendido; el controlador, un circuito que decida si hay que encender o no la luz EN FUNCIÓN DEL SENSOR que indica si hay que encender o no la luz. Si el controlador decide que hay que encender, envía una señal al actuador (en concreto, envía corriente eléctrica a la bombilla y se produce el proceso de iluminación de la calle [7]



**Figura 2.3** Sistema de lazo cerrado. [7]

Las ventajas de tener una trayectoria de realimentación y, por lo tanto, un sistema en lazo cerrado en lugar de un sistema en lazo abierto es:

Ventajas:

1. Más exacto en la igualación de los valores real y requerido para la variable.
2. Menos sensible a las perturbaciones.
3. Menos sensible a cambios en las características de los componentes.
4. La velocidad de respuesta se incrementa y, por lo tanto, el ancho de banda es mayor, es decir, el intervalo de frecuencias en los que el sistema responderá.

Desventajas:

1. Hay una pérdida en la ganancia en cuanto a que la función de transferencia de un sistema en lazo abierto se reduce de  $G$  a  $G/(1+GH)$  por una trayectoria de realimentación con una función de transferencia  $H$ .
2. Existe una gran posibilidad de inestabilidad al momento de estar en funcionamiento.
3. El sistema es más complejo y, por lo tanto, no sólo más caro, sino más propenso a descomponerse. [9]

## 2.5 Arduino

Arduino es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar. Se creó para diseñadores, aficionados y cualquiera interesado en crear entornos u objetos interactivos. Arduino puede tomar información del entorno por medio de una gama de sensores a través de sus pines de entrada y puede afectar aquello que le rodea controlando luces, relés, motores y otros actuadores [10] .

El microcontrolador en la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino. Los proyectos hechos con Arduino pueden ejecutarse sin necesidad de conectar a un ordenador, si bien tienen la posibilidad de hacerlo y comunicar con diferentes tipos de software.

El hardware consiste en una placa con un microcontrolador y varios puertos de entradas/salidas, tanto digitales como analógicos, así como salidas PWM y de comunicaciones para el control de objetos físicos (Leds, servos, botones, etc.).



Todos estos microcontroladores incluyen un cargador de arranque (bootloader) que permite programar al Arduino a través del puerto serial sin necesidad de utilizar un programador externo, ya que durante el arranque de Arduino el bootloader comprueba si se está intentando programar el Arduino. Con ello se garantiza una manera más simple para empezar a trabajar [10]

Existe una amplia gama de placas prefabricadas que se ajustan a las distintas necesidades de cada proyecto, ofreciendo distintos tamaños, potencias, costos, modelos de microcontrolador, necesidades de alimentación, número de entradas/salidas analógicas y digitales y otras prestaciones específicas. Algunos de los modelos oficiales más utilizados son Uno, Leonardo, Mega ADK, Pro, Mini, Nano y Fio, por ejemplo, en la Figura 2.4 se puede observar el Arduino Mega ADK [11].



**Figura 2.4** Placa Arduino Mega ADK. [11]

La placa se puede controlar directamente desde el ordenador o programarla con éste y posteriormente desconectarla para trabajar de forma autónoma.

El software para programar Arduino es fácil de usar e igualmente está disponible libremente para equipos Windows, Mac y Linux sin coste alguno. De hecho, existen diferentes diseños de placas Arduino destinados a diferentes tipos de aplicaciones [12]

### 2.5.1 Pantalla LCD

Una pantalla LCD es un dispositivo diseñado para mostrar información en forma gráfica. LCD significa Liquid Crystal Display (Display de cristal líquido). La mayoría de las pantallas LCD (Figura 2.5) vienen unidas a una placa de circuito y poseen pines de entrada/salida de datos de control dependiendo del modelo [6] . Estas pantallas pueden tener diferente número de caracteres, por ejemplo, la de la Figura 2.5 es de 2x16, que quiere decir, dos filas y 16 columnas.



*Figura 2.5 Pantalla LCD [13]*

### 2.5.2 INTERFAZ I2C

El bus I2C (Inter Integrated Circuit) es un estándar de interfaz popular para muchos fabricantes de chips, I2C es abreviatura arcana para IIC, o inter - IC, que a su vez significa el bus inter-integrado, una especificación de comunicación desarrollada por Philips en los 80's (ahora NXP), para reducir el número de cables que circulan entre los chips dentro de los televisores, lo llaman TWI para interfaz de dos hilos o, a veces, diferente. [14]

El Arduino soporta la comunicación en el bus I2C. La especificación I2C permite hasta 127 dispositivos en un bus, aunque la mayoría de los sistemas tienen entre 2 y 6 dispositivos [14]. El BUS físicamente consiste en 4 líneas de transmisión (Figura 2.6), una línea para la alimentación, otra para la conexión a tierra y dos líneas más para comulación de datos que se describen a continuación [6] .



**Figura 2.6** Interfaz I2C para pantalla LCD. [15]

- SDA (Serial Data line): es la línea para la transferencia serie de los datos
- SCL (Serial Clock Line): es la línea para transmitir la señal de reloj que genera el dispositivo maestro y que se utiliza para la sincronización de los datos [6] .

### 2.5.3 Modulo SD

Este módulo (Figura 2.7) permite facilitar el uso de una tarjeta de memoria SD controlada con Arduino. A través de la programación, se puede leer y escribir en la tarjeta SD utilizando un Arduino. Puede ser utilizado para escribir en la Tarjeta SD, como reproducción de archivos de audio como MP3, control de MCU sistema / ARM [6] .

Las memorias SD son las más usadas por dispositivos portátiles, por su gran capacidad y su reducido tamaño, debido a su gran demanda son fáciles de conseguir en diferentes capacidades y precios. Estas características nos dan una buena alternativa de almacenamiento para usarlo en Arduino, sobre todo cuando necesitamos guarda gran cantidad de información. [16]



**Figura 2.7** Modulo SD. [16]

Esta memoria SD se comunica con el Arduino a través del protocolo SPI. Para su conexión todas las señales de entrada a la memoria SD (MOSI, SCLK y CS) deben de pasar a través del divisor de tensión, pues la tarjeta SD trabaja con niveles lógicos de 3.3 V. Los pines de conexión Arduino están definidos por la librería SD.H, a excepción del CS, que debe ser definido [17] , estas memorias vienen en tres tamaños, SD estándar, Mini SD y Micro SD, siendo este último el tamaño más común, funcionalmente son iguales, pudiéndose usar adaptadores para utilizarlos en sockets de diferente tamaño. [16]

#### **2.5.4 Sensor de Temperatura**

Un termopar, también llamado termocupla (Figura 2.8) es un dispositivo que determinan la temperatura, formado por la unión de dos metales distintos (conductores) que produce una diferencia de potencial (efecto Seebeck o termoeléctrico), muy pequeña (del orden de los milivoltios) que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado “punto caliente” o de medida y el otro llamado “punto frio” o de referencia [18] . Son muy eficaces para trabajar con amplios rangos de temperaturas, especialmente en los tramos altos [19] .

En Instrumentación industrial, los termopares son ampliamente usados como sensores de temperatura. Son económicos, intercambiables, tienen conectores estándar y son capaces de medir un amplio rango de temperaturas. Su principal limitación es la exactitud ya que los errores del sistema inferiores a un grado Celsius son difíciles de obtener.

Esto significa que un termopar no mide la temperatura absoluta sino la temperatura diferencial entre:

T1 junta caliente / T2 junta fría

Dado que la medición de la tensión eléctrica se suele realizar en temperatura ambiental, el valor de tensión indicaría un valor de temperatura demasiado bajo ya que se resta la temperatura ambiental [20] .

Estos dispositivos están disponibles en diferentes combinaciones de metales o calibraciones. Las cuatro calibraciones más comunes son J, K, T y E. Hay calibraciones de alta temperatura que son R, S, C y GB. Cada calibración tiene un diferente rango de temperatura y ambiente, aunque la calibración del termopar dicta el rango de temperatura, el rango máximo también está limitado por el diámetro del alambre de termopar [21] .

<b>K</b>	Niquel-Cromo Niquel-Aluminio	-150 a 1100°C		
<b>J</b>	Hierro Cobre-Niquel	-40 a 700°C		
<b>T</b>	Cobre Cobre-Niquel	-200 a 350°C		
<b>E</b>	Niquel-Cromo Cobre-Niquel	-150 a 800°C		
<b>N</b>	Niquel-Cromo Niquel-Silicio	-150 a 1100°C		

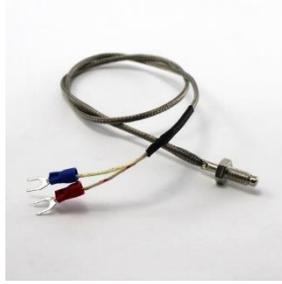
**Figura 2.8** Tipos de termopares y rango [18] .

### 2.5.5 Circuito Integrado MAX6675

Este dispositivo MAX6675 (Figura 2.9) utiliza un diodo de silicio ubicado en su interior [19] y ayuda realizar la compensación de unión fría y digitaliza la señal de un termopar tipo K (Figura 2.10). Los datos se transmiten en una resolución de 12 bits, compatible con SPI. Este convertidor resuelve temperaturas a 0,25 °C, permite lecturas de hasta + 1024 /°C, y exposiciones termopar exactitud de 8 LSBs para temperaturas que van desde °C a + 700 °C [6] .



**Figura 2.9** Modulo Max6675 [22]



**Figura 2.10** Termopar tipo K. [23]

### 2.5.6 Sensor de Temperatura y Humedad.

Este sensor consiste en un elemento sentido capacitivo y con una precisión de medición de temperaturas y humedad. Este dispositivo NTC tiene un alto rendimiento con un microcontrolador de 8 bits, una larga distancia de transmisión (20 m) tiene una excelente calidad, respuesta rápida, capacidad anti-interferencia y otras ventajas como bajo consumo de energía.

Utiliza la tecnología de señal digital de recolección de datos y con esto aseguramos su fiabilidad y estabilidad de este sensor [24] . Los sensores más utilizados para detectar humedad/temperatura dentro las cámaras de secado los podemos observar en la Figura 2.11, de los cuales el sensor de la izquierda es de uso industrial y es el que se utilizará en este trabajo de tesis, los otros dos son utilizados en prototipos o en secadores de dimensiones pequeñas.

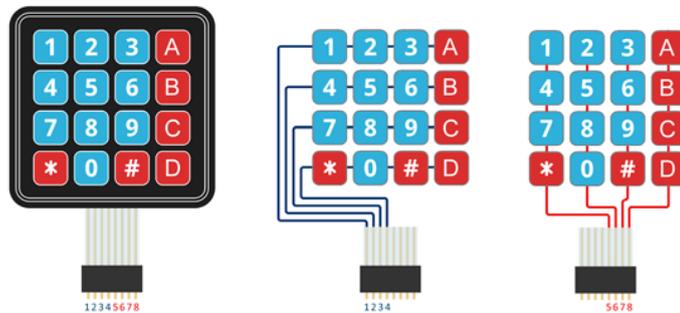


**Figura 2.11** Sensores de Temperatura y Humedad [25]

### 2.5.7 Teclado Matricial

Un teclado no es más que una colección de botones, a cada uno de los cuales le asignamos un símbolo o una función determinada [26] . Un teclado matricial es un simple arreglo de botones conectados en filas y columnas, de modo que se pueden leer varios botones con el mínimo número de pines requeridos. Un teclado matricial

4x4 solamente ocupa 4 líneas de un puerto para las filas y otras 4 líneas para las columnas, de este modo se pueden leer 16 teclas utilizando solamente 8 líneas de un microcontrolador 27.



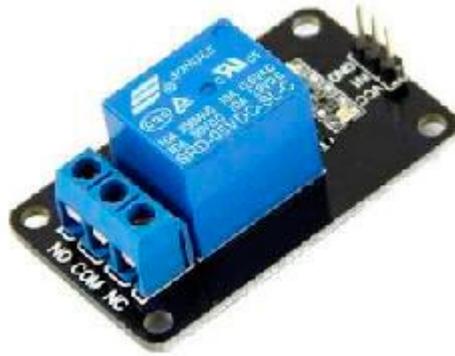
**Figura 2.12** Teclado Matricial [28]

### 2.5.8 Modulo Relevador

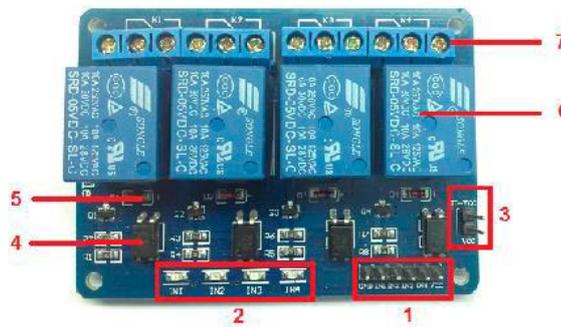
El manejo de un módulo relevador o relay es muy sencillo y nos permite controlar el encendido y apagado de cualquier aparato que se conecte a una fuente de alimentación eléctrica externa. El relevador hace de interruptor y se activa y se desactiva mediante una entrada de datos. Gracias a esto podemos controlar el encendido de cualquier aparato [29] .

A parte del pin que controla al relé, el módulo viene con 2 entradas que suelen estar situadas a cada uno de los extremos de la fila de pines de entrada. 1 es GND (Tierra) y otra VCC (Alimentación de voltaje).

En la siguiente (Figura 2.14) podemos ver un módulo relevador de 1 solo canal, pero en el mercado hay de varios canales 2, 4, 8, etc. la única diferencia entre ellos es el número de pines de datos de entrada que tienen, 1 por canal.[ 27 30 ]



**Figura 2.13** Módulo relevador [20].



**Figura 2.15** Módulo relevador de cuatro canales [21]

Como se puede apreciar en la (Figura 2.15), Se trata de un módulo de 4 relés (o relays), la placa tiene un conector de entradas (IN1 a IN4) y alimentación (GND es tierra o negativo y VCC es el positivo) [1] , cuatro leds que indican el estado de la entradas [2] , un jumper selector para la alimentación de los relés [3] , cuatro optoacopladores del tipo FL817C [5] , cuatro diodos de protección [10] , cuatro relés marca SONGLE con bobinas de 5 V y contactos capaces de controlar hasta cargas de 10 Amperes en una tensión de 250 V [12] , y cuatro borneras, con tres contactos cada una (Común, Normal abierto y Normal cerrado), para las salidas de los relés

## REFERENCIAS

- [1] Antonio García Alanís, Sistemas de Automatización, Mando y Control de Máquinas, 5º INGERIERIA INDUSTRIAL. 2010.
- [2] Jorge Calderón Mendoza, M.I. Ricardo Garibay Jiménez, Control Y Monitoreo SCADA de un Proceso Experimental, Utilizando PLC SIEMENS S7-300 y SOFTWARE LABVIEW, Tesis, México D.F., 2009.
- [3] Miguel Ángel Perez García. Instrumentación electrónica. Ediciones Paraninfo, SA, 2014.
- [4] KATSUHIKO OGATA, Ingeniería de Control Moderna, 3 edición, Pearson Educación; 1998.
- [5] Alí José Carrillo Paz. Sistemas Automáticos de Control Fundamentos Básicos de Análisis y Modelado. 2ª edición. Fondo Editorial UNERMB 2011.
- [6] Erick Alejandro Hernández Domínguez y Dr. Jorge Evaristo Conde Díaz, Bascula Aislada Térmicamente para Monitoreo de Peso en Cámaras de Secado, Tesis, octubre 2016.
- [7] Sistema de control. [online]:  
file:///C:/user/sears/Downloads/UNIDAD%20%20SISTEMAS%20DE%20CONTROL.pdf.  
Acceso:21/10/2018
- [8] Ventajas y desventajas de un sistema de lazo abierto. [online]:  
<https://jmirezcontrol.wordpress.com/2011/04/12/c019-ventajas-y-desventajas-de-un-sistema-de-control-de-lazo-abierto/> . Acceso: 21/10/2018
- [9] Sistema de lazo cerrado. [online]. <https://prezi.com/4mgdluo092kv/sistema-de-control-lazo-abierto-y-cerrado/?webgl=0>. Acceso: 21/10/2018
- [10] Ricardo Marroquín Areola y Dr. Jorge Evaristo Conde Díaz, Monitoreo en Tiempo Real Inalámbrico de Sistemas Energéticos Renovables, Tesis, marzo 2017.
- [11] Placa Arduino Mega. [Online]: <https://arduino.cl/arduino-mega-adk/> . Acceso: 21/10/2018.
- [12] Simón Monk, 30 Proyectos con Arduino™, 1 Edición, Editorial Estribor; 2012.
- [13]<https://programarfacil.com/tutoriales/fragmentos/arduino/texto-en-movimiento-en-un-lcd-con-arduino/>. Acceso: 21/10/2018
- [14] Dale Wheat, Arduino Internals, copyright 2011, pág. 68
- [15] <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/category/i2c>. Acceso: 21/10/2018.
- [16] Tutorial Arduino y memoria SD y microSD. [Online]:  
[http://www.naylampmechatronics.com/blog/38\\_Tutorial-Arduino-y-memoria-SD-y-micro-SD-.html](http://www.naylampmechatronics.com/blog/38_Tutorial-Arduino-y-memoria-SD-y-micro-SD-.html).  
[Acceso: 22/10/2018].
- [17] Leonel G. Corona Ramírez, Griselda S. Abarca Jiménez y Jesús Mares Carreño, Sensores Actuadores, Aplicación con Arduino, Primera edición. ebook: 2014, pág. 137.
- [18] Sensor de Temperatura Termopar. <http://www.logicbus.com.mx/termopares.php>. Acceso: 22/10/2018
- [19] MAX6675. Conversor analógico-digital para sondas de termopar K con compensación de unión fría y comunicaciones SPI [Online]: <https://polaridad.es/max6675-termopar-kthermocouple-temperatura-compensacion-union-fria-spi-arduino/>. Acceso: 22/10/2018
- [20] Como funciona un termopar.[online] <http://www.bloginstrumentacion.com/blog/2014/08/26/cmo-funciona-termopar/>. Acceso:22/10/2018.

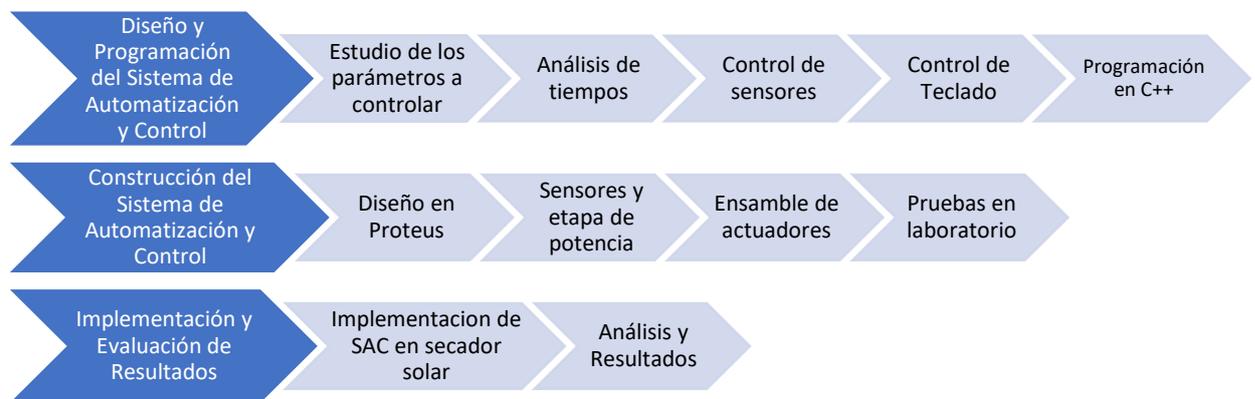
- [21] Termopar: Tipos y Aplicaciones. [Online]. <http://mx.omega.com/prodinfo/termopar.html>. Acceso: 22/10/2018
- [22] Modulo Max6675 Arduino. [online]. [https://www.google.es/search?q=modulo+max6675+arduino&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi4q6vxZ\\_eAhUD1qwKHfOwAGYQ\\_AUIDigB&biw=1366&bih=626#imgrc=Ar1cgDyTpQGqM](https://www.google.es/search?q=modulo+max6675+arduino&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi4q6vxZ_eAhUD1qwKHfOwAGYQ_AUIDigB&biw=1366&bih=626#imgrc=Ar1cgDyTpQGqM). Acceso: 19/10/2018
- [23] Modulo Max6675 Arduino. [online]. [https://www.google.es/search?q=modulo+max6675+arduino&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi4q6vxZ\\_eAhUD1qwKHfOwAGYQ\\_AUIDigB&biw=1366&bih=626#imgrc=Dj2e0S06EeqtPM](https://www.google.es/search?q=modulo+max6675+arduino&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi4q6vxZ_eAhUD1qwKHfOwAGYQ_AUIDigB&biw=1366&bih=626#imgrc=Dj2e0S06EeqtPM). Acceso: 19/10/218
- [24] AM2305 Sensor de Humedad y Temperatura, Tubular Gris. [Online]: <http://teslabem.com/sensor-de-humedad-y-temperatura-am2305-tubular-gris.html>. Acceso: 22/10/2018
- [25] Sensor de humedad y temperatura am2305. [Online]. <http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/sensores/temperatura/sensor-de-humedad-y-temperatura-am2305-detail>. Acceso: 22/10/2018
- [26] TECLADOS MATRICIALES. [Online]. <https://www.prometec.net/tecladosmatriciales/>. Acceso: 22/10/2018
- [27] Teclado Matricial 4x4. [Online]. <http://www.circuitoselectronicos.org/2011/03/tecladomatricial-4x4.html>. Acceso: 22/10/2018
- [28] Teclado matricial Arduino. [online]. [https://www.google.es/search?biw=1366&bih=626&tbm=isch&sa=1&ei=tqPQW5vRAsfAtQWBppLwCg&q=teclado+matricial+arduino&oq=teclado+&gs\\_l=img.3.0.0i67k1I3j0i67k1I3j0i67k1I2.12626.126989.0.128410.8.6.0.2.2.0.140.639.0j5.5.0....0...1c.1.64.img..2.6.509....0.AQ7AqRPtQl8#imgc=5NbUUt8rBxKZM](https://www.google.es/search?biw=1366&bih=626&tbm=isch&sa=1&ei=tqPQW5vRAsfAtQWBppLwCg&q=teclado+matricial+arduino&oq=teclado+&gs_l=img.3.0.0i67k1I3j0i67k1I3j0i67k1I2.12626.126989.0.128410.8.6.0.2.2.0.140.639.0j5.5.0....0...1c.1.64.img..2.6.509....0.AQ7AqRPtQl8#imgc=5NbUUt8rBxKZM). Acceso: 21/10/2018
- [29] Módulo Relee/Relay. [Online]. <http://arubia45.blogspot.mx/2013/01/modulo-releerelay-arduino.html>. Acceso: 21/10/2018
- [30] Módulo de 4 relés para Arduino. [Online]. <http://www.profetolocka.com.ar/2015/05/09/modulo-de-4-reles-para-arduino/>. Acceso: 21/10/2018.

# CAPÍTULO III

## Metodología

En el presente trabajo se desarrolló un Sistema de Automatización y Control (SAC) para un Secador Autónomo Solar para obtener una mayor eficiencia en el proceso de secado de alimentos, así mismo, se analizaron y evaluaron de los sistemas térmicos, y diferentes actuadores que intervienen en el SAC. Por otro lado, se evaluaron los diferentes parámetros físicos que se debe de controlar en el secador (humedad y temperatura) al vacío (sin carga o sin producto en la cámara de secado). En la Figura 3.1 se muestra la metodología que se siguió para el desarrollo de nuestro SAC, donde inicialmente se hizo un estudio de los parámetros a controlar en el secador solar tomando en cuenta tiempos, tipo de sensores y el posible control de temperatura y humedad desde un teclado matricial, todo esto se programó en C++. Posteriormente se desarrolló el hardware tomando el software Multisim para el diseño de la parte electrónica y de potencia para después ensamblar y hacer pruebas en el laboratorio antes de la instalación. Finalmente, se implementó en SAC en el secador solar para posteriormente hacer las pruebas al

vacío (sin carga) en campo y analizar los resultados obtenidos. El SAC terminado y las evaluaciones se pueden ver en el capítulo 4.



**Figura 3.1** Metodología empleada para la elaboración del Sistema de Automatización y Control del Secador Autónomo.

### 3.1 Funcionamiento general del secador y tabla de potencias y tiempo

Al poner en marcha el secador solar, el SAC hace un encendido general de todo el sistema encendiendo y apagando los actuadores para corroborar de todos estén funcionando correctamente de lo contrario se encenderá el led de color rojo indicando que existe algún problema en el sistema. Posteriormente el sistema obtiene los primeros valores de temperatura y humedad de la cámara de secado, así como de la temperatura del agua del sistema de calentamiento de agua por tubos al vacío, esto con la finalidad de dar inicio al encendido de actuadores según sea el caso. Regularmente la cámara de sacado estará con menor temperatura que la que se necesita y con mayor humedad, entonces el sistema tomará el valor de la temperatura del agua del sistema de calentamiento por tubos al vacío, si el agua tiene la suficiente temperatura, entonces se encenderá la bomba para hacer circular el agua por el radiador, así también se encenderá el ventilador que se encuentra en el radiador en intervalos de 5 min. Si el agua no tiene la suficiente temperatura, entonces la bomba y el ventilador del radiador se mantendrán apagados y únicamente se tomará la temperatura del techo del secador que es una placa negra para absorber la mayor radiación.

### 3.1.1 Ventilador de techo

En la Figura 3.2 se muestra el ventilador de techo utilizado y colocado en la parte superior del centro de la cámara de secado, la función de este actuador es la de distribuir de manera uniforme el aire caliente que se genera por el techo del secador y según sea el caso, del radiador. Este ventilador se encuentra en la parte superior de la cámara de secado; el cual tendrá un funcionamiento del encender y apagarse cada 5 minutos.



*Figura 3.2 Ventilador de techo.*

### 3.1.2 Radiadores o intercambiadores de calor

Es uno de los elementos más importantes que forma parte del sistema de refrigeración de un automóvil, pues su principal función es la de evitar que se produzcan sobrecalentamientos en el motor para que este trabaje de manera óptima a cualquier nivel y ofrezca el máximo rendimiento [18] , en este caso lo utilizaremos como intercambiador de calor, para lo cual es necesario introducir agua caliente que viene del Sistema de Calentamiento Solar con Tubos al Vacío (SCSTV) y que es recirculada por medio de una bomba de recirculación (Bomba 1) y un ventilador que viene con el radiador. En la Figura 3.3 se muestra el radiador utilizado en este trabajo.

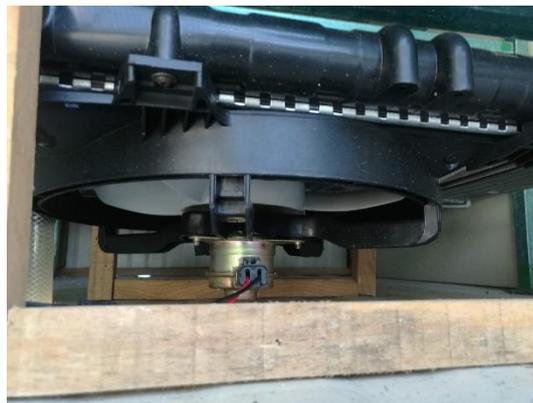


*Figura 3.3 Radiador o Intercambiador de calor.*

### 3.1.3 Ventilador-Radiador

Los ventiladores en conjunto con los radiadores son unos elementos que sirven para regular la temperatura del funcionamiento del motor de un vehículo. Su función es la de generar una corriente de aire que pase a través del radiador y parte del motor. Muchas veces, en función de la carga y de la velocidad del vehículo, el aire de la marcha no es suficiente para mantener una correcta temperatura del sistema de refrigeración [14] .

Estos ventiladores de 12 VCD con una potencia de 60 W y en este trabajo se utilizará para transferir el calor del agua que viene del SCSTV hacia los radiadores y así incrementar la temperatura de la cámara de secado. Estos ventiladores están posicionados justo detrás del radiador para poder transferir el calor que tendrán estos hacia la cámara de secado.



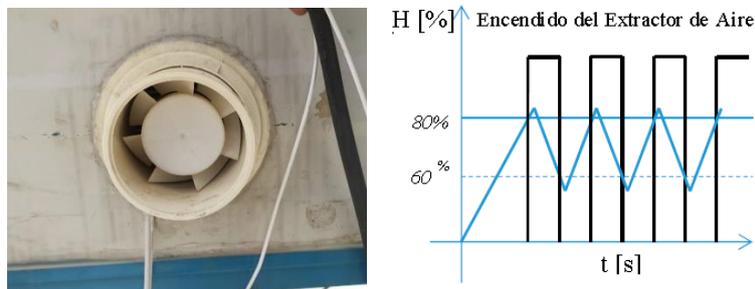
*Figura 3.4 Ventilador para radiador.*

### 3.1.4 Extractor de Humedad

Este actuador está destinado a aspirar y renovar el aire (izquierda de la Figura 3.5). Está compuesto por un ventilador conectado a 127 VC con una potencia de 17 W. La función principal es:

“Eliminar el exceso de humedad de la cámara de secado con consumo de energía por unidad de tiempo de 17 Wh”. Este actuador se utilizará para extraer la mayor parte de la humedad de la cámara de secado, donde el sistema de control regulará el tiempo de encendido y apagado y así poder remover la humedad de la cámara de secado. Este actuador depende del sensor de humedad y de la instrucción inicial del usuario. Un ejemplo gráfico lo podemos ver a la derecha de la Figura 3.5 donde para este caso, el usuario programa que cuando el sensor detecte una humedad del 80%, en ese momento será cuando se deba de encender el extractor de

humedad, el sistema de control enviara una señal al sistema de potencia para encender este actuador, y estará así hasta que la humedad de la cámara de secado disminuya en 20%, es decir cuando llegue a 60% de humedad en la cámara de secado el sistema de control mandara la instrucción de apagar al extractor de humedad. En la Figura 3.5 podemos ver con una línea azul el incremento y disminución de la humedad en la cámara de secado conforme se enciende o se apaga el extractor (línea negra), para este caso se programó que para cuando descienda 20% de humedad con respecto a lo indicado por el usuario, se apague el extractor de humedad, este valor no puede ser modificado por el usuario, pero si se puede modificar para optimizar el proceso de extracción de humedad dependiendo el producto agropecuario.



**Figura 3.5** Encendido y apagado del extractor.

### 3.1.5 Consumo energético del SAC

El consumo energético del sistema completo se puede analizar en la Tabla I donde podemos observar la cantidad de potencia que necesita cada actuador para su funcionamiento en el SAC.

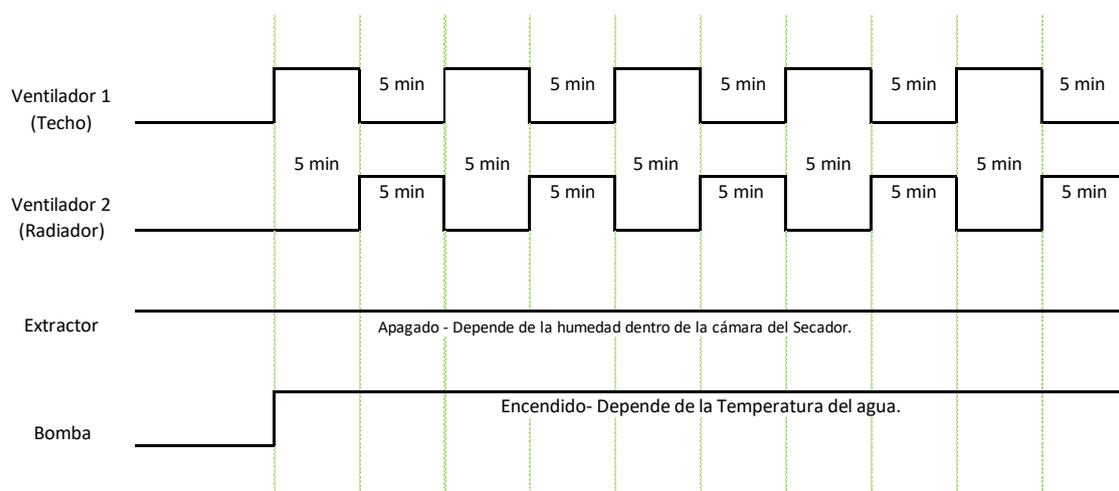
Como se mencionó anteriormente, la distribución los tiempos en que cada actuador entra en función es sumamente importante ya que ello depende no superar la potencia que tenemos disponible. Cuando el sistema inicia, en los primeros 5 *min*, es cuando se tiene la mayor demanda de potencia, donde la sumatoria de todos los actuadores en ese instante; dando una potencia pico de 227 *W*. Después de 5 minutos, se apaga el Ventilador 2 (Ventilador del radiador) bajando así el consumo potencia a 150 *W*, para cuando el extractor es requerido, el consumo de potencia puede llegar a los 167 *W*, los únicos actuadores que trabajan todo el tiempo con intervalos (en caso de los ventiladores) son los ventiladores de techo y del radiador y también la bomba en el caso de que se active.

**Tabla 1** Consumo energético del SAC.

Actuadores del SAC	P(W) actuadores	P(W) 0-5 min	P(W) 5-10min	P(W) 10-15 min
Extractor	17			
Vent Techo	50	50		50
Vent Radiador	60		60	
Bomba	100	100	100	100
<b>Potencia Total</b>	<b>227</b>	<b>150</b>	<b>160</b>	<b>150</b>

### 3.1.6 Tiempos de trabajo

En la Figura 3.6 se describe el tiempo de trabajo de cada uno de los actuadores, en cada línea se puede mostrar el comportamiento de encendido y apagado de cada actuador en un cierto tiempo. El Ventilador 1 (techo) enciende al mismo que el extractor, pero se mantiene encendido por 10 *min* para extraer a toda la humedad que se juntó durante la noche dentro de la cámara de secado y luego se apaga. Como mencionamos el extractor depende de la humedad de la cámara, el ventilador del radiador entra en funcionamiento a los 10 *min* de haberse encendido el SAC. La bomba depende de la temperatura de la cámara de secado por lo cual se enciende una vez activado el SAC y se apaga hasta haber alcanzado la temperatura deseada.



**Figura 3.6** Tiempo de trabajo de actuadores.

## **3.2 Programación**

Para el diseño del Sistema Automatizado de Control, se realizó un análisis y un estudio detallado de los materiales, actuadores y componentes disponibles en el mercado y se seleccionaron los más adecuados para tener un menor consumo energético y una mayor eficiencia en el funcionamiento de todo el sistema en su conjunto, un análisis similar lo podemos encontrar en la siguiente referencia [1].

La programación de cada componente que constituye el SAC se hizo mediante C++ y está basada en el análisis de tiempo y potencia que se analizó en la sección anterior, así como el funcionamiento del secador solar. Los principales componentes son: teclado matricial, actuadores, pantalla LCD, sensores y datos hacia la memoria SD. En el Anexo 1 se encuentra toda la programación del SAC, donde podemos de manera independiente cada programación de cada dispositivo, sensor o actuador.

En el mismo Anexo 1 se observa que primero se declaran los pines en los cuales se conectaran los componentes mencionados, así como los LEDs de señalización, así como también se declaran las librerías a utilizar y la temperatura, humedad y temperatura del tanque base en dado caso no se pueda utilizar una memoria SD para controlar el SAC.

### **3.2.1 Teclado matricial**

En el Anexo 1- A se puede observar la programación del teclado matricial [17] en él cual se declaran los pines en los cuales estarán conectados las filas y columnas del teclado matricial para poder modificar la temperatura y humedad que queramos ingresar.

El teclado matricial está configurado de tal manera que al seleccionar la tecla (A) arroja a tres opciones en la pantalla LCD (1. Temperatura, 2. Humedad, 3. Temperatura Tanque), en ese momento se puede seleccionar cualquiera de las 3 opciones con los números 1, 2 o 3 para posteriormente con la tecla (D) dar el mando al microprocesador del Arduino y se establezca la humedad, temperatura o temperatura del tanque de almacenamiento de agua deseados, también se puede dar la opción de cancelar con la tecla (C), y así poder volver al inicio. Una vez que se selecciona cualquiera de las 3 opciones, entra a un submenú donde se podrá escribir la temperatura o humedad requerida en la cámara de secado o la

temperatura del tanque de almacenamiento de agua caliente del SAC y decidir si entra en funcionamiento el Sistema de Calentamiento de Agua Auxiliar (SCAA) o no.

### **3.2.2 Actuadores**

En el Anexo 1-B se observa la como están conectados los actuadores, así como se tiene valores predeterminados en el programa de la Temperatura de la cámara, Temperatura del Tanque y la Humedad para en dado caso no exista o se conecte una memoria SD, el programa tomará como base esos parámetros para empezar el funcionamiento.

Se observa los pines de la placa Arduino declarados para cada actuador así como los valores base:

Hum=90 (Humedad de la cámara)

Temp=60 (Temperatura de la cámara)

Temtanq=50 (Temperatura del tanque)

LedPin = 13 (LED que enciende y apaga para checar que el Sistema funciona correctamente.)

vent = 11 (Ventilador de techo)

vent2 = 34 (Ventilador de radiador)

Extractor = 28 (Extractor de humedad)

Bomba = 38 (Bomba recirculadora de agua de los tubos al vacío hacia la cámara de secado).

### **3.2.3 Pantalla LCD**

En el anexo 1-C se observa la programación que se le dio a la pantalla para poder visualizar texto dentro de ella. Se da un mensaje de bienvenida "Secador Solar Agua y radiación" en cuanto el sistema se pone en marcha, dando una pausa de 3000 ms (3 s) para dar paso a la siguiente leyenda "Iniciando SD ..." en donde comprueba de que tengamos una memoria SD conectada en el adaptador para poder guardar los datos obtenidos de las mediciones; una vez comprobada la SD, aparece otra leyenda diciendo "Secador Solar Agua y radiación" [15] con la cual el sistema estará listo para comenzar a operar automáticamente a valores predeterminados o a valores que se introduzcan a través del teclado matricial.



Cuando el sistema se pone en marcha, en el LCD se visualizarán los parámetros del SAC (temperatura de la cámara, temperatura del tanque y humedad).

### **3.2.4 Lector memoria SD**

En el anexo 1-D se observa la programación para el lector de memoria SD [16] , en el cual se observa el Pin 53; que tiene la función de mandar y recibir de la señal de la placa Arduino para poder guardar los datos obtenidos del sensor de Temperatura y Humedad en la memoria SD. El programa inicia con un chequeo de la memoria al encender el sistema dando una leyenda en la pantalla de "Iniciando SD card..." para comprobar de que tengamos una SD insertada en el lector y se declara que es una señal de salida (ya que la placa Arduino es la que alimentará al lector) y se comprueba de que exista una comunicación entre la placa Arduino y el lector; entonces se declara de que si existe algún problema con la SD mande un texto y se visualice en la pantalla LCD como "fallo en la comunicación o no existe SD" seguido de otro texto "No existe SD" y el LED de color rojo se enciende para dar aviso de este error, en este caso, el sistema tomará los valores de temperatura de la cámara, temperatura del tanque y humedad que se tienen predeterminados. Cuando no hay ningún problema con la SD, el LED de color rojo no se enciende y manda un texto en la pantalla LCD diciendo: "SD inicia" para empezar a guardar los datos obtenidos del sensor de humedad y temperatura (AM2301) en la SD y también poder visualizarlo en la parte del "monitor serial" de Arduino. De igual manera se programó la manera ordenada en que se obtendrán los datos recopilados por el sensor (AM2301) de la siguiente manera:

("Humidity (%), Temperature (\*C), Temp\_tanque(\*C), Temp\_Tubo\_Vacio(\*C)") para así tener una mejor visualización de los datos obtenidos.

### **3.3 Sistema Automatizado de Control**

Para el desarrollo del hardware del Sistema Automatizado de Control se utilizará la tarjeta electrónica Arduino mega ADK. Se analizará la etapa de potencia para saber su consumo total y con ello se diseñará el diagrama de bloques para la posible construcción del sistema automatizado de control, el cual toma en cuenta los datos recolectados por los sensores puestos en todo el sistema:



- Temperatura de la cámara de secado
- Temperatura del tanque de agua del Colector Solar
- Humedad de la cámara de secado

Como se mencionó en la sección anterior, todos los datos serán almacenados en una memoria Micro SD y se visualizarán en la pantalla LCD en tiempo real para después ser transmitidos al sistema de control.

Para la construcción del sistema automatizado de control se utilizará:

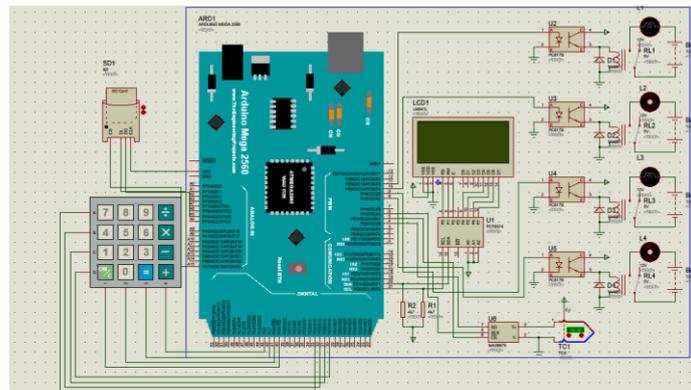
- Una Placa Arduino Mega ADK
- Una Pantalla LCD de 4 x 16
- Un módulo I2C
- Un termopar tipo K
- Un módulo max6675
- Un sensor de temperatura/humedad AM2301
- Un módulo relevador de 4 canales
- Un teclado matricial
- Gabinete de IP65
- Un contacto de alimentación
- Una clavija
- Tornillos
- Silicon transparente

### **3.3.1 Conexión de los componentes de Sistema Automatizado de Control**

En la Figura 3.7 se puede observar las conexiones del SAC, donde se muestran la conexión de la placa Arduino Mega ADK con los distintos componentes, cómo va la distribución de las señales de las entradas y salidas de cada uno de ellos. En el cual el Arduino procesará la información obtenida de los sensores en pantalla LCD, para luego ser guardado en una tarjeta microSD, y posteriormente mandar una señal a los actuadores para realizar cambios ver el análisis de los resultados.

Este sistema automatizado de control se programó para tomar lecturas de temperatura con un termopar tipo K mediante el acondicionador MAX6675 (temperatura en el tanque), y las lecturas de humedad y temperatura con un sensor AM2305 (humedad y temperatura en la cámara), esto lo imprime en la pantalla LCD

cada dos segundos y en la tarjeta SD cada segundo. La variación del tiempo de impresión de las lecturas del sistema en los diferentes modos de salida se debe a que la LCD son tiempos de visualización en tiempo real a diferencia de los datos impresos en la SD que sirven para ser interpretados al terminar la evaluación y poderlos graficar.



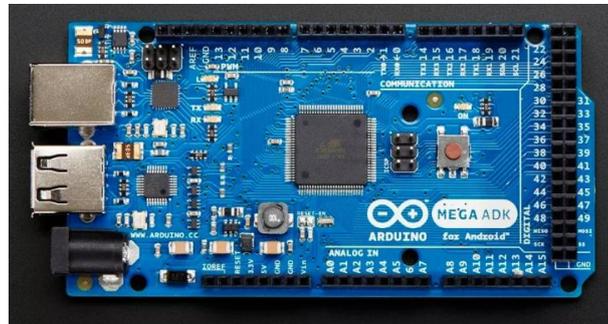
**Figura 3.7** Diagrama de conexiones en Proteus del SAC.

### 3.3.2 Arduino Mega ADK

Se seleccionó la tarjeta electrónica Arduino MEGA ADK (Figura 3.8) debido a que tiene suficiente número de entradas y salidas digitales, además de un microprocesador 16 MHz, cada pin puede proporcionar o recibir un máximo de 40 mA y tiene una resistencia pull-up interna (desconectada por defecto) de 20-50 kΩ, algunos pines tienen funciones específicas como por ejemplo recepción/transmisión de datos [2].

El software es de uso libre para cualquier sistema operativo, puede programarse mediante conexión USB de una PC, la tarjeta Arduino puede alimentarse a través de la conexión USB o con una fuente de alimentación externa de 9 V. La alimentación externa (no USB) puede venir desde un adaptador AC-DC o una batería. La transmisión de datos se selecciona automáticamente, y tiene una velocidad 256 kBits/s de memoria flash para almacenamiento de los cuales 8 kBits se utiliza para el gestor de arranque, 8 kBits de SRAM y 4 kBits de EEPROM (que se pueden leer y escribir con la librería EEPROM), también tiene 16 entradas analógicas, cada una de las cuales proporciona 10 bits de resolución (es decir, 1024 valores diferentes). La placa Arduino trae default pines de tierra (GND) y de 5 V para alimentar sensores o módulos que no requieran mucha potencia.

La placa puede funcionar con una alimentación externa de 5,5 a hasta 12 V. El rango recomendado es de 7 a 9 V, ya que, si se suministra con menos de 7 V, los pines pueden suministrar menos de 5 V y la placa puede ser inestable. Si utiliza más de 12 V el regulador de tensión puede sobrecalentarse y dañar la placa [2].



*Figura 3.8 Placa de Arduino Mega MDK. [11]*

### 3.3.3 Pantalla LCD

Se selecciono una pantalla LCD (Liquid Crystal Display) de 16x4 como se muestra en la Figura 3.9 para desplegar toda la información, símbolos o incluso dibujos dependiendo del modelo, es este caso dispone de 4 filas de 20 caracteres cada una y cada carácter dispone de una matriz de 5x7 puntos (pixeles). Este dispositivo tiene internamente un microcontrolador que regula todos los parámetros de presentación, este modelo es el más comúnmente usado y esta información se basara en el manejo de este u otro LCD compatible [3] .

Se utilizó una interfaz I2C que se conecta la pantalla LCD y así tener un ahorro de pines hacia el Arduino Mega ADK, y así facilitar la conexión y programación del mismo.



*Figura 3.9 Pantalla LCD 16x4.[12].*

### 3.3.4 Módulo SD

En la Figura 3.10 se muestra el *Módulo SD* que nos permite insertar una memoria externa SD que son las más comunes en el mercado, este módulo se alimenta con 3.3 V o 5 V usando sus respectivos pines, esto nos ayudara a guardar la información escrita de los sensores de temperatura y humedad, de las pruebas realizadas en las evaluaciones y posteriormente para guardar los datos adquiridos del sistema [4].



**Figura 3.10** Modulo SD.[4]

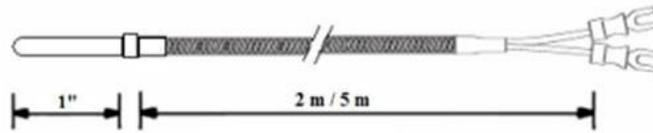
### 3.3.5 Sensor de Temperatura tipo K

Para medir la temperatura dentro del tanque del sistema del calentador solar se utilizó el termopar tipo K que nos dará a conocer con exactitud la temperatura del agua en que está trabajando este sistema y así poder tomar decisiones en la automatización.

Este tipo de termopar puede tener diversas longitudes, desde 30 *cm* hasta varios metros, para este proyecto se utilizó el termopar tipo *K* que se muestra en la Figura 3.11 y 3.12, con una longitud de 5 *m*.



**Figura 3.11** Sensor de temperatura tipo K [5] .



**Figura 3.12** Medidas del termopar [5] .

### 3.3.6 Módulo MAX6675

Este módulo amplificador/compensador (Figura 3.13) se utilizó como un convertidor analógico–digital para el termopar tipo *K*, esto es debido a que el termopar manda señales analógicas, pero las tarjetas electrónicas (Arduino en nuestro caso) aceptan formato digital para luego ser procesadas y transmitidas al SAC donde se tomaran decisiones hacia los actuadores y será visualizado en una pantalla LCD.

Dentro de este módulo se encuentra toda la electrónica necesaria para amplificar, compensar y convertir a digital el voltaje generado por el termopar, lo que hace muy sencilla la tarea de conectar un termopar a un microcontrolador, como en este caso es el Arduino [6] .



**Figura 1.13** Amplificador/compensador de señal para termopar [6] .

### 3.3.7 Sensor de temperatura y humedad DHT21 (AM2301)

En la Figura 3.14 se muestra el sensor de humedad/temperatura AM2301, este sensor se utilizó para saber la cantidad de humedad y temperatura que hay dentro de la cámara de secado y con ello mandar una señal al sistema de control así mantener la humedad y la temperatura deseada por el usuario, haciendo más eficiente el proceso de secado con este sistema de control.

Este módulo es un sensor con salida digital calibrada, voltaje de alimentación 3.3 a 5 V rango de temperatura -40~80 °C, humedad 0~100%, con alta estabilidad y larga distancia de transmisión [7].

Este sensor es de bajo consumo de energía, con una transmisión de la señal de distancia de hasta 20 m, por lo que es la mejor opción [8] para monitorear la humedad dentro de la cámara de sacado, en la Figura 3.15 se muestra las conexiones necesarias para el funcionamiento óptimo del sensor donde cómo podemos ver se tiene 3 cables con diferentes colores (rojo, amarillo y negro). En los cables de color rojo y negro se alimenta al sensor con 3.3 V. El cable amarillo es el de señal, el cuál envía los datos de temperatura y humedad al Arduino [13]



**Figura 3.14** Sensor de Temperatura y Humedad AM2301 [7]

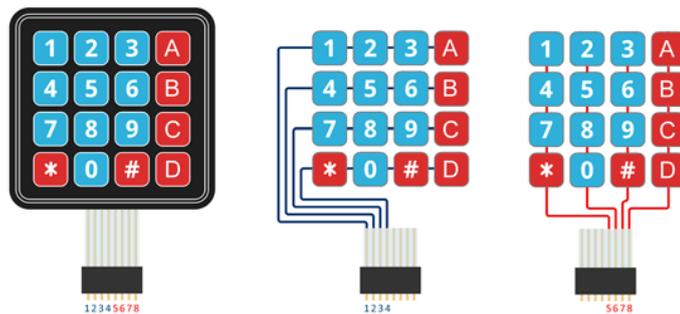
Pin	Color	Name	Description
1	Red	VDD	Power (3.3V-5.5V)
2	Yellow	SDA	Serial data, Dual-port
3	Black	GND	Ground
4		NC	Empty

**Figura 3.15** Conexión PIN AM2301 [13].

### 3.3.8 Teclado Matricial

El teclado matricial utilizado en el proyecto está echo de un plástico de una buena calidad al tacto que puede utilizarse en exteriores. En la Figura 3.16 se muestra el teclado numérico con salida de la matriz con un numero de 16 llaves, y puede realizar la salida el conector USB o PS2 o RS232 vía tablero que descifra [9] , en la Figura 3.16 se muestra la configuración del teclado matricial.

Este teclado nos ayudara a comunicarnos de forma física con el Sistema de Control y poder dar de forma manual la temperatura y humedad requerida en la cámara de secado para cada producto a deshidratar, y así mandar una señal de mando hacia los actuadores, ej., en qué momento y por cuanto tiempo entraran en funcionamiento. Está configurado de tal manera que al seleccionar la tecla (A) arroja a tres opciones (1. Temperatura, 2. Humedad, 3. Temperatura Tanque), en ese momento se puede seleccionar cualquiera de las 3 opciones con los números 1, 2 o 3 para posteriormente con la tecla (D) dar el mando al microprocesador del Arduino y se establezca la humedad, temperatura o temperatura del tanque de almacenamiento de agua deseados, también se puede dar la opción de cancelar con la tecla (C), y así poder volver al inicio. Una vez que se selecciona cualquiera de las 3 opciones, entra a un submenú donde se podrá escribir la temperatura o humedad requerida en la cámara de secado o la temperatura del tanque de almacenamiento de agua caliente del SAC y decidir si entra en funcionamiento el Sistema de Calentamiento de Agua Auxiliar (SCAA) o no.



**Figura 3.16** Teclado matricial [10].

## Referencias

- [1] Luis Alonso Medrano Parra y Dr. Jorge Evaristo Conde Diaz. Diseño, construcción y evaluación de un generador termoeléctrico acoplado a una estufa ecológica. Tesis. Octubre 2016.
- [2] Mega ADK Arduino [Online]: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMegaADK>. Acceso: 10/11/2018.
- [3] Todo Electrodo: Lcd 16x2. [Online]. Available: <http://todoelectrodo.blogspot.mx/2013/02/lcd-16x2.html>. Acceso: 10/11/2018
- [4] Tutorial Arduino y memoria SD y microSD. [Online]: [http://www.naylampmechatronics.com/blog/38\\_Tutorial-Arduino-y-memoria-SD-y-micro-SD-.html](http://www.naylampmechatronics.com/blog/38_Tutorial-Arduino-y-memoria-SD-y-micro-SD-.html). Acceso: 09/09/2018.
- [5] Sensor de Temperatura Termopar. [Online]: <http://www.logicbus.com.mx/termopares.php>. Acceso: 10/11/2018
- [6] Sensor de Temperatura MAX6675 Con Termocupla Tipo K. [Online]. Available: <http://www.maxelectronica.cl/sensores/105-sensor-de-temperatura-max6675-con-termocupla-tipok.html>. Acceso: 10/11/2018
- [7] Sensor de Temperatura y Humedad AM2301 [Online] Available: <https://electronilab.co/tienda/sensor-de-temperatura-y-humedad-dht21-am2301/>. Acceso: 21/10/2018.
- [8] Temperature and humidity module AM2305 Product Manual. [Online]: <https://drive.google.com/file/d/0BzaKjvCRihgbZjdhMm1VbVVJZTA/view>. Acceso: 21/10/2018
- [9] Teclado numérico dominante del metal 16 (SNK098A) [Online]: [http://es.made-in-china.com/co\\_sunsoninput/product\\_16-Key-Metal-Keypad-SNK098A-\\_hroghinsg.html](http://es.made-in-china.com/co_sunsoninput/product_16-Key-Metal-Keypad-SNK098A-_hroghinsg.html). Acceso: 25/11/2018
- [10] Teclado matricial Arduino. [online]. [https://www.google.es/search?biw=1366&bih=626&tbm=isch&sa=1&ei=tqPQW5vRAsfAtQWBppLwCg&q=teclado+matricial+arduino&oq=teclado+&gs\\_l=img.3.0.0i67k1I3j0i67k1I3j0i67k1I2.126226.126989.0.128410.8.6.0.2.2.0.140.639.0j5.5.0....0...1c.1.64.img..2.6.509....0.AQ7AqRPtQl8#imgrc=5NbUUtf8rBxKZM:](https://www.google.es/search?biw=1366&bih=626&tbm=isch&sa=1&ei=tqPQW5vRAsfAtQWBppLwCg&q=teclado+matricial+arduino&oq=teclado+&gs_l=img.3.0.0i67k1I3j0i67k1I3j0i67k1I2.126226.126989.0.128410.8.6.0.2.2.0.140.639.0j5.5.0....0...1c.1.64.img..2.6.509....0.AQ7AqRPtQl8#imgrc=5NbUUtf8rBxKZM:). Acceso: 21/10/2018
- [11] Arduino Mega. [Online]: <https://arduino.cl/arduino-mega-adk/>. Acceso: 21/10/2018
- [12] Pantalla LCD [Online]: <https://programarfacil.com/tutoriales/fragmentos/arduino/texto-en-movimiento-en-un-lcd-con-arduino/>. Acceso: 21/10/2018
- [13] Oscar Armando Conde Díaz. Desarrollo de un Sistema Automatizado de Control para un Secador Autónomo Híbrido Solar-Gas LP, en el Municipio de Santa María-Huatulco. Tesis. Noviembre 2017.
- [14] David Gonzalez Calleja, Mantenimiento de sistemas de refrigeración y lubricación de los motores térmicos, 2a edición, pág. 255.
- [15] Texto en pantalla en LCD Arduino. [Online]: <https://programarfacil.com/tutoriales/fragmentos/arduino/texto-en-movimiento-en-un-lcd-con-arduino/>. Acceso: 28/02/2019.

[16] Leer y escribir en una tarjeta sd o micro sd con arduino. [Online]: <https://www.luisllamas.es/tarjeta-micro-sd-arduino/>. Acceso: 28/02/2019.

[17] Usar un Teclado matricial con Arduino. [Online]: <https://www.luisllamas.es/arduino-teclado-matricial/>. Acceso: 28/02/2019.

[18] El radiador del coche. que es y que funciones realiza en nuestros vehículos? [Online]: <https://www.ro-des.com/mecanica/radiador-coche-que-es-y-la-funcion/>. Acceso: 09/12/2018.



# CAPÍTULO IV

## Resultados y análisis

En este capítulo se presenta el funcionamiento, pruebas, instalación y la evaluación del sistema completo (secador solar y SAC), principalmente del comportamiento térmico en la cámara de secado del secador solar, por lo cual se hizo la evaluación en vacío (sin producto). Para la evaluación de la cámara de secado en vacío con el sistema de calentador de agua solar (colector de tubos de vacío), se hizo circular agua caliente del termotanque de almacenamiento al intercambiador de calor, para proveer el calor a la cámara de secado. Para realizar la evaluación del comportamiento térmico en la cámara de secado se necesita obtener información de la temperatura del agua caliente que se hace circular a través del intercambiador de calor, de la temperatura y humedad en la cámara de secado, así como de algunos parámetros climáticos como lo son: la radiación solar, temperatura y



humedad ambiente. Para la medición de los parámetros anteriores como se mencionó en el capítulo 3, se instaló: un termopar tipo *K* en el termotanque de almacenamiento para medir la temperatura del agua caliente, un sensor de humedad y temperatura AM2301 en la cámara de secado para medir la temperatura y humedad en su interior, todos estos conectados al sistema de adquisición de datos para monitorearlos y guardarlos durante la prueba.

Los datos de los parámetros climáticos se obtuvieron de la estación meteorológica vantage pro ubicada en el Instituto de Investigación e Innovación en Energías Renovables (IIER) de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.

#### 4.1 Funcionamiento

En la Figura 4.1 se puede observar el SAC ya instalado en el Secador Solar, en el cual existe un interruptor el cual permite controlar el encendido y el apagado del SAC; también se encuentran 2 LEDs de color rojo y verde. El LED de color rojo indica que existe un problema con el almacenamiento de los datos del SAC (Figura 4.2) o que no existe una tarjeta SD en la cual se guardarán los datos de los sensores y de las variables como temperatura y humedad elegidas por el usuario. El LED color verde indica que el SAC está funcionando sin ningún problema y este siempre se mantendrá encendido mientras no exista ningún fallo.



**Figura 4.1** SAC instalado en Secador Solar.

Al poner el interruptor en modo ON el sistema inicia con una impresión en la pantalla “ Secador solar de agua y radiación” con la cual da la bienvenida para el uso del SAC, seguido de eso otra impresión diciendo “Iniciando SD” en la que comprueba de que exista alguna memoria SD para poder guardar los datos obtenidos de los sensores; en dado caso no existe una memoria SD o el sistema no reconozca la

memoria SD el LED de color rojo se encenderá y se observara en la pantalla una leyenda diciendo: “Falló comunicación o no existe SD” dando paso a poder observar en la pantalla los datos de obtenidos por los sensores pero no se podrá hacer ninguna modificación de Temperatura o Humedad ya que se necesita de la memoria SD para realizar algún cambio. Después de comprobar de que si existe una memoria SD el sistema hace un chequeo de los sistemas a controlar haciendo así un encendido y apagado de los actuadores (ventilador de techo, ventilador radiador, extractor y bomba de agua) para corroborar de que funcionen de manera correcta, en dado caso exista un problema con los actuadores inmediatamente se encenderá el LED de color rojo el cual indica que existe una falla en el SAC y si todo el sistema funciona de manera correcta el LED color Verde (Figura 4.2) se encenderá para poder observar los datos obtenidos de los sensores y en este caso si se podrá realizar algún cambio usando el teclado matricial.



**Figura 4.2** LED rojo encendido. indicando que existe algún problema en el SAC, LED verde encendido mostrando que el SAC está funcionando de manera correcta.

Como se mencionó en el capítulo 3, el teclado matricial está configurado de tal manera que al seleccionar la tecla (A) arroja a tres opciones (1. Temperatura, 2. Humedad, 3. Temperatura Tanque), en ese momento se puede seleccionar cualquiera de las 3 opciones con los números 1, 2 o 3 para posteriormente con la tecla (D) dar el mando al microprocesador del Arduino y se establezca la humedad, temperatura o temperatura del tanque de almacenamiento de agua deseados, también se puede dar la opción de cancelar con la tecla (C), y así poder volver al inicio. Una vez que se selecciona cualquiera de las 3 opciones, entra a un submenú donde se podrá escribir la temperatura o humedad requerida en la cámara de secado o la temperatura del tanque de almacenamiento de agua caliente del SAC

y decidir si entra en funcionamiento el Sistema de Calentamiento de Agua Auxiliar (SCAA) o no.

## 4.2 Pruebas del SAC

Las pruebas en laboratorio fueron realizadas durante 1 semana para checar cuidadosamente la programación y las conexiones del SAC. En la Figura 4.3 se muestra como quedarían las conexiones de:

- Relee
- Sensor de Temperatura y Humedad
- Lector de memoria SD
- Teclado Matricial
- Max6675
- Placa Arduino Mega ADK
- Pantalla LCD
- Termopar

Dichos componentes fueron instalados dentro de una caja hermética (Marca: ABB) para exteriores y también se muestra como quedarían distribuidas dichas conexiones dentro de la caja.



*Figura 4.3 Conexiones de los componentes para el SAC.*

En la Figura 4.4 se observa el SAC operando de manera adecuada, ya que la pantalla LCD marca valores y texto. Lo cual significa que el SAC está listo para ser

instalado en el secador solar y comenzar con las conexiones de los actuadores y corroborar que las pruebas de laboratorio fueron las correctas.



**Figura 4.4** SAC operando de manera correcta.

### 4.3 Instalación del SAC, sensores y actuadores.

La instalación del SAC se llevó a cabo dentro de las instalaciones del IIIER de la UNICACH. Para la instalación se ocuparon diversas herramientas como: taladro, desarmador, tornillos, Silicon transparente, cinta de aislar, etc. En la Figura 4.5 se observa la ubicación donde fue instalado el gabinete que tiene los componentes para realizar el proceso de automatización, así como la instalación eléctrica necesaria para conectar los actuadores con la parte electrónica.



**Figura 4.5** Instalación de Gabinete en el Secador solar.

En la Figura 4.6 se muestra el SAC instalado y listo para utilizarlo en el secador solar y también todos los componentes del sistema de automatización de control.

Los componentes del SAC fueron incorporados dentro del gabinete con certificación IP65 con tapa hermética la cual impide que el ruido afecte las partes electrónicas, así como a las mediciones tomadas por el MAX6675 y con el sensor AM2305, y tiene un aislamiento a la humedad que es óptimo para condiciones de climas extremos. En la parte central del gabinete, se puede apreciar que sobresalen la pantalla LCD, lector de memoria SD, LEDs de color rojo y verde, así como el botón de encendido y apagado; por la parte externa del lado derecho de la caja se observa el teclado matricial el cual fue colocado en el exterior debido a que por el tamaño no se pudo colocar junto con los demás componentes dentro de la caja.



*Figura 4.6 SAC instalado y operando en Secador solar.*

#### **4.4 Evaluación del sistema de control para secador solar**

En esta sección se muestran y se analizan los resultados obtenidos durante las evaluaciones realizadas al Sistema Automatizado de Control del Secador Autónomo estando al vacío, para lograr temperaturas en la cámara de secado las cuales están dentro del rango para el secado de productos alimenticios.

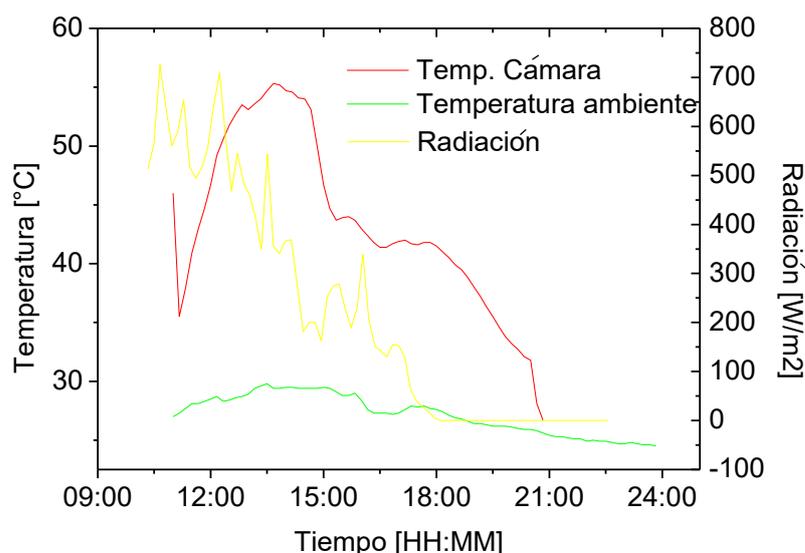
El sistema es totalmente automatizado, siendo un secador solar de radiación directa, por medio de sistemas energéticos renovable y tecnología propia de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.

Todas las pruebas que se realizaron y se analizaron fueron con el sistema de recirculación encendido.

#### 4.4.1 Evaluación en vacío con sistema solar

Día 10 de octubre de 2018.

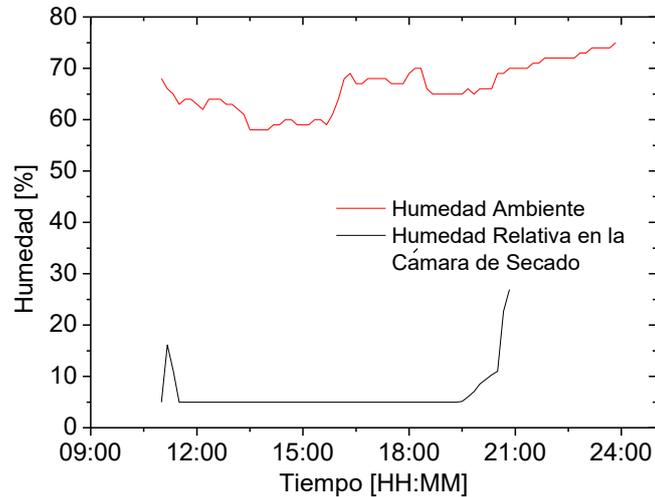
En la Figura 4.7 se representa las variaciones de la temperatura en la cámara de secado, temperatura ambiente y temperatura del agua, en un periodo de 12 horas. La prueba inicio a las 11:00 am con una temperatura inicial en la cámara de secado de 46 °C y alcanzó una temperatura máxima de 55.3 °C después de 2:40 horas de haber iniciado la prueba (13:40 horas). Se puede observar que la temperatura ambiente máxima durante el día fue de 29.5 °C teniendo así una ganancia termina de 25 °C dentro de la cámara de secado respecto a la temperatura ambiente. Se puede observar que la máxima radiación se registró entre las 11:20 am y las 13:30 pm las cuales estuvieron el rango de 550 y 720  $W/m^2$ , en este mismo periodo de tiempo fue cuando se obtuvo la máxima temperatura en la cámara de secado y cuando la radiación solar desciende las temperaturas disminuyen.



**Figura 4.7** Variaciones de las temperaturas durante el día 10/10/2018

En la Figura 4.8 se representan las variaciones de la humedad relativa en la cámara de secado y la humedad ambiente de la prueba. Como se aprecia la humedad relativa inicial en la cámara de secado fue de 5%, al paso de 10 *min* se incrementó debido a que a cámara de secado fue abierta para realizar algunas conexiones alcanzando 16%, pasando 20 *min* la humedad relativa de la cámara de secado volvió al 5% con el que se había iniciado manteniéndose en ese rango hasta las 19:20 horas a partir de ahí la humedad comienza a incrementar hasta llegar al

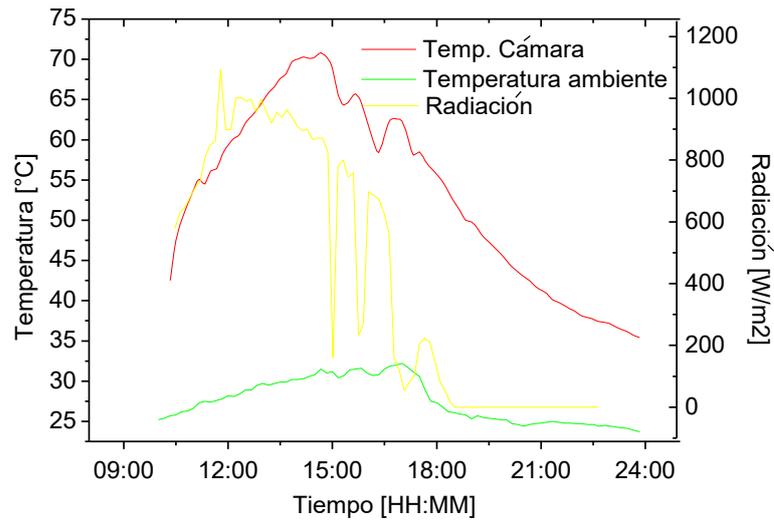
26.9% de humedad a las 20:50 horas. Como se observa los niveles bajos de humedad relativa en la cámara de secado se tuvieron durante las horas del día, mientras que incrementos ocurrieron durante las horas de la noche. La máxima humedad ambiente durante los días de la evaluación estuvo en un rango de 58 a 76%, el cuál fue alto debido a la baja radiación solar que se tuvo durante estos días.



**Figura 4.8** Variación de la Humedad Relativa en la cámara de Secado y Humedad Ambiente durante el día 10-10-2018.

*Día 13 de octubre de 2018.*

En la Figura 4.9 se representa las variaciones de la temperatura en la cámara de secado, temperatura ambiente y temperatura del agua, en un periodo de 13 horas. La prueba inicio a las 10:20 am, con una temperatura inicial en la cámara de secado de 42.5°C y alcanzó una temperatura máxima de 70.8°C; 4:20 horas después de haber iniciado el sistema (14:20 horas). Se puede observar que la temperatura ambiente máxima durante el día fue de 32.2°C teniendo así una ganancia termina de 22-28°C dentro de la cámara de secado respecto a la temperatura ambiente. Se puede observar que la máxima radiación se registró entre las 11:00 am y las 15:00 pm las cuales estuvieron el rango de 800 y 1090  $W/m^2$ , en este mismo periodo de tiempo fue cuando se obtuvo la máxima temperatura en la cámara de secado y cuando la radiación solar desciende las temperaturas disminuyen.

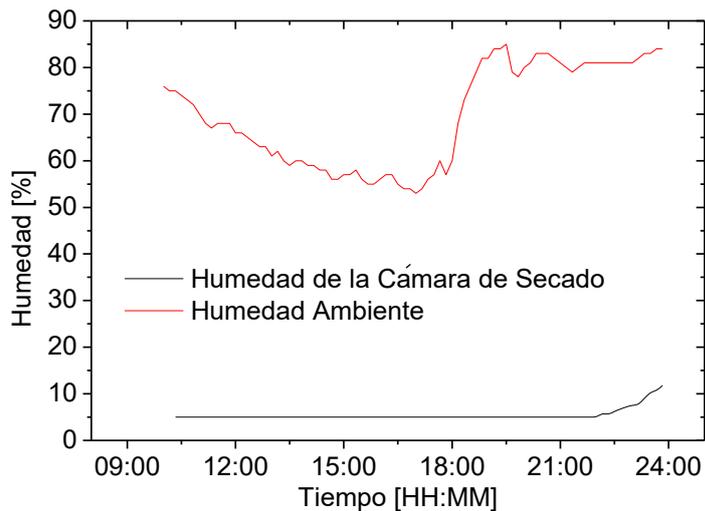


**Figura 4.9** Variaciones de la temperatura de la cámara de secado y de la temperatura ambiente respecto a la radiación solar durante el día 13/10/2018.

En la Figura 4.10 se representan las variaciones de la humedad relativa en la cámara de secado y la humedad ambiente de los días en que se realizó la prueba. Como se aprecia la humedad relativa inicial en la cámara de secado fue de 5% y se mantuvo en ese porcentaje hasta las 21:50 horas a partir de ahí la humedad comienza. Como se observa los niveles bajos de humedad relativa en la cámara de secado se tuvieron durante las horas del día, mientras que incrementos ocurrieron durante las horas de la noche. La máxima humedad ambiente durante los días de la evaluación estuvo en un rango de 55 a 84 %, la humedad fue más baja este día debido a que se tuvo mayor radiación, permitiendo a la cámara de secado conservar una humedad baja por un mayor tiempo durante el día.

En estos resultados se puede observar que en ningún momento se forzó al sistema a tomar una temperatura en específica, es decir, ejemplo 40°C, si fuese así el sistema jamás hubiese llegado a los 70°C como el caso de la Figura 4.9, y se hubiese conservado más tiempo la temperatura del tanque de almacenamiento. Por otro lado, la humedad de la cámara de secado fue controlada hasta 5% en todas las pruebas.

El SAC se probó a nivel laboratorio y ya instalado en el secador solar durante varias semanas antes de las pruebas al vacío sin tener ningún error de funcionamiento hasta el día de hoy.

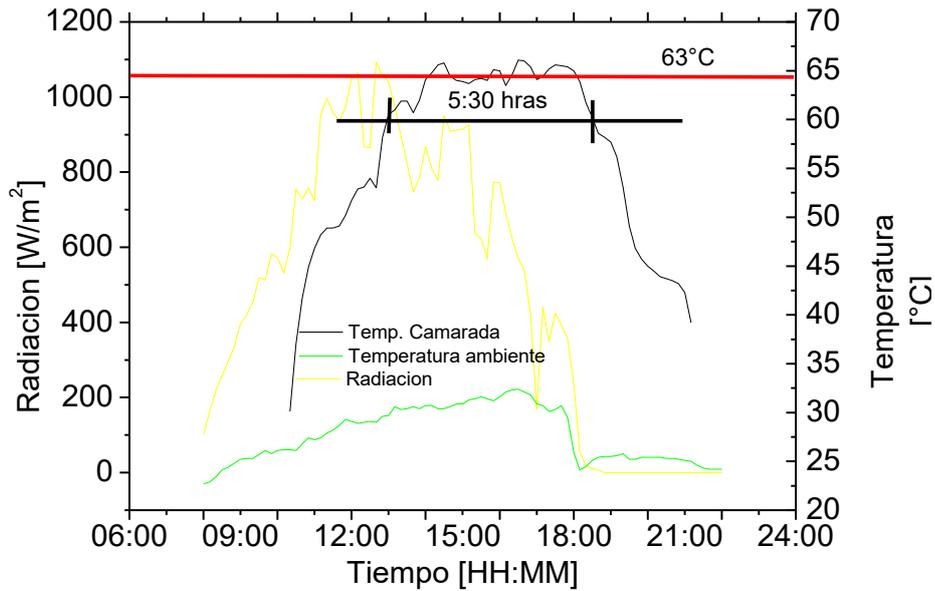


**Figura 4.10** Variación de la Humedad Relativa en la cámara de Secado y Humedad Ambiente durante el día 13-10-2018.

15 de octubre de 2018

En la Figura 4.11 se representa las variaciones de la temperatura en la cámara de secado, temperatura ambiente y temperatura del agua, en un periodo de 13 horas. La prueba inició a las 10:00 am con una temperatura inicial en la cámara de secado de 30.1 °C y alcanzó una temperatura máxima de 65.8 °C después de 4:40 horas de haber iniciado la prueba. Se puede observar que la temperatura ambiente máxima durante el día fue de 32.4 °C teniendo así una ganancia termina de 35 °C dentro de la cámara de secado respecto a la temperatura ambiente. Se puede observar que la máxima radiación se registró entre las 10:00 am y las 15:00 pm las cuales estuvieron el rango de 700 y 1000  $W/m^2$ , en este mismo periodo de tiempo fue cuando se obtuvo la máxima temperatura en la cámara de secado y cuando la radiación solar desciende las temperaturas disminuyen.

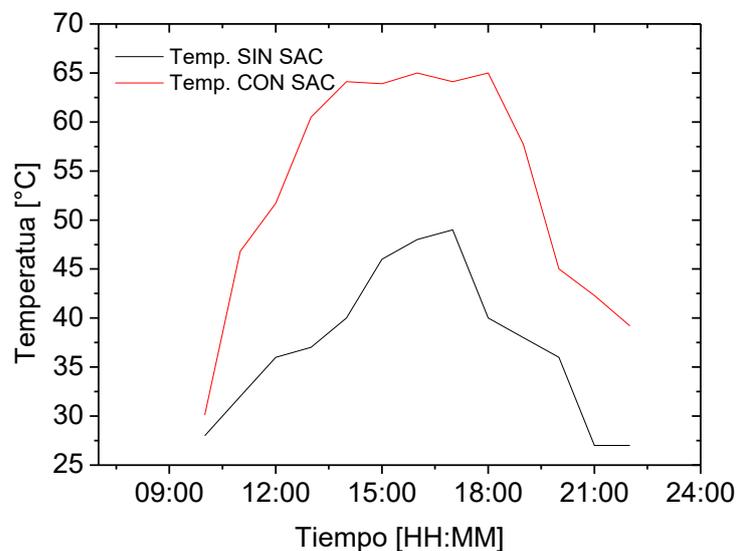
A comparación de las anteriores pruebas donde se programó una temperatura de 85 °C para poder lograr la máxima temperatura dentro de la cámara, este día de prueba la temperatura se programó a 63 °C para poder observar que el sistema fuese autosuficiente y pudiese mantenerse dentro de un rango de temperatura de  $\pm 2$  °C (ya que ese rango es el que se programó para operación del sistema) para poder mantener calor uniforme dentro de la cámara de secado.



**Figura 4.11** Variaciones de la temperatura de la cámara de secado y de la temperatura ambiente respecto a la radiación solar durante el día 15/10/2018.

#### Comparativa de Temperaturas

En la Figura 4.12 se observa la comparación entre las temperaturas que existen dentro de la cámara de secado con el SAC y sin él. Se puede observar claramente que existe una diferencia muy notoria entre las temperaturas ya que sin el sistema de control la temperatura máxima obtenida dentro de la cámara de secado fue de 49°C mientras que, en el mismo secador, pero con el sistema de control activo se pudieron obtener temperaturas de hasta 65.8 °C dando así ganancias térmicas de hasta 20 °C.



**Figura 4.12** Comparativa de temperaturas dentro de la cámara con y sin SAC.

# CAPÍTULO V

En este capítulo se expondrán las conclusiones obtenidas durante las pruebas realizadas en campo, análisis e interpretación de datos obtenidos. Con el cual se llega a una conclusión general de que el uso de tarjetas Arduino como hardware, se puede obtener un buen control del Secado Solar y nunca se desprogramará, y el funcionamiento de este es excelente. Logrando un buen funcionamiento para el diseño del Sistema Automatizado de Control logrando controlar todos los actuadores en tiempo real.

## Conclusiones puntuales.

- Dentro de las evaluaciones al vacío, la temperatura máxima obtenida fue de hasta 70.8 °C.
- Se obtuvieron temperaturas arriba de 60°C durante 5 horas promedio con ganancias térmicas de hasta 35°C dentro la cámara de secado respecto a la temperatura ambiente.
- Se mantuvo buen control de la humedad relativa del aire dentro de la cámara de secado del 5% constante mientras el sistema estaba en uso y la humedad del aire en el ambiente era del 75%.
- El Sistema Automatizado de Control funciona correctamente permitiendo ingresar los valores de temperatura y humedad deseadas en la cámara de secado. Las temperaturas se pueden controlar con un margen de error de  $\pm 2^\circ\text{C}$ .
- Se obtuvo una ganancia térmica dentro de la cámara de secado de hasta 20°C con el sistema de automatización.

## ANEXOS

### Código de programación del Sistema Automatizado de Control

 Anexo 1-A

 Anexo 1-B

 Anexo 1-C

 Anexo 1-C

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include "DHT.h"
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include "Max6675.h"
#include <Keypad.h>
DHT dht;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4);
Max6675 ts(4,5,6); //so, cs, sck
int Hum=90; //Humedad de la camara
int Temp=60; // Temperatura de la camara
int Temtanq=50; //Temperatura del tanque
int LedPin = 13;
int vent = 11;
int vent2 = 34;
int Extractor = 28;
int Bomba = 38;
int led = 3;
int conversion;
```

```

int ledStateVent = HIGH;
int ledStateVent2 = LOW;

long previousMillis1 = 0;
long previousMillis2 = 0;
long previousMillis3 = 0;
long previousMillis4 = 0;
long previousMillis5 = 0;
long previousMillis6 = 0;
long previousMillis7 = 0;

//Tiempo Encendido en Milisegundos

long intervalOnVent = 300*1000L;//Ventilador 1 1200
long intervalOnVent2 = 300*1000L; //Ventilador 3 1200 10 min on

//Tiempo Apagado en Milisegundos

long intervalOffVent = 300*1000L; //600
long intervalOffVent2 = 300*1000L; //600 10 min off

File dataFile;
File datahumidity;
File datatemp;
File datatemptanq;

const byte ROWS = 4; // 4 Filas Definición del teclado

```



```

const byte COLS = 4; // 4 Columnas
char keys[ROWS][COLS] = {
  {'1','2','3','A'},
  {'4','5','6','B'},
  {'7','8','9','C'},
  {'#','0','*','D'}
}; // Definición de KeyPad

byte rowPins[ROWS] = { 33, 32, 31, 30 }; // Conexión keypad ROW0, ROW1,
ROW2 and ROW3

byte colPins[COLS] = { 40, 41, 42, 43 }; // Conexión keypad COL0, COL1,
COL2 y COL3

Keypad kpd = Keypad( makeKeymap(keys), rowPins, colPins, ROWS, COLS );

```

```

byte grado[8] = {
  0b00111,
  0b00101,
  0b00111,
  0b00000,
  0b00000,
  0b00000,
  0b00000,
  0b00000
};

```

```

void setup() {
  //lcd.begin(16, 4);
  lcd.backlight();
  lcd.init();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Secador Solar Agua y radiación");
}

```



```

//lcd.print(" y Tecnologias");
delay(3000);
lcd.clear();
lcd.print("Iniciando SD ...");
delay(2000);
lcd.clear();
lcd.print("Secador Hibrido   Solar ");
lcd.createChar(1, grado);
pinMode(vent,OUTPUT);
pinMode(vent2,OUTPUT);
pinMode(Extractor,OUTPUT);
pinMode(Bomba, OUTPUT);
pinMode(LedPin, OUTPUT);
pinMode(led, OUTPUT);
ts.setOffset(0); //Termopar
tv.setOffset(0); // Termopar
Wire.begin();
dht.setup(A0);
Serial.begin(9600);
Serial.print("Iniciando SD card...");
pinMode(53, OUTPUT);
digitalWrite(53,HIGH);
start();
{
  Serial.println("Max6675 test"); //wait for Max Chip to stablize
  delay(1000);
}

if (!SD.begin(53)) { // Comprueba si la SD tiene comunicacion
  Serial.println("Fallo comunicacion o no existe SD"); // Falla de comunicacion
del SD

```



```

    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("No existe SD ...");
    delay(2000);
    lcd.clear();
    digitalWrite(led, HIGH); //Enciende un LED indicando falla en la
comunicacion del SD
    return;
}

digitalWrite(led, LOW); // Si no falla la comunicacion del SD, el LED no
enciende

Serial.println("SD Inicia"); // SD tiene comunicacion e inicia

dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE); // Deja que se pueda escribir
en la SD

////////
if (dataFile) {
    Serial.println("Escribiendo informacion...");
    dataFile.println("Escribiendo informacion...");

    Serial.println("");
    dataFile.println("");

    Serial.println("Programo: Jorge Conde");
    dataFile.println("Programo: Jorge Conde");

    Serial.println("");
    dataFile.println("");

    Serial.println("<<<Datalogger>>>");

```

```

dataFile.print("<<<Datalogger>>>");

Serial.println("Humidity (%), Temperature (*C), Temp_tanque(*C)");
dataFile.println("Humidity (%), Temperature (*C), Temp_tanque(*C),
Temp_Tubo_Vacio(*C)");
dataFile.close();
}
else{
Serial.println("error opening test.txt");
return;
}
/////
}

```

```

void start(){

```

```

digitalWrite(vent, HIGH);
digitalWrite(vent2, HIGH);
digitalWrite(Bomba, HIGH);
digitalWrite(Extractor, HIGH);

```

```

digitalWrite(LedPin, HIGH);
delay(1000);
digitalWrite(LedPin, LOW);
delay(1000);
digitalWrite(LedPin, HIGH);
delay(1000);
digitalWrite(LedPin, LOW);
delay(1000);
digitalWrite(LedPin, HIGH);

```



```

delay(1000);
digitalWrite(LedPin, LOW);
delay(500);
digitalWrite(LedPin, HIGH);

}
String serialstring(){
String ser = "";
char character;

while(Serial.available()) {
character = Serial.read();
ser.concat(character);
}
return ser;
}
void loop() {

Hum = convertint(ReadFile("humidity.txt"));
Temp = convertint(ReadFile("temp.txt"));
Temtanq = convertint(ReadFile("temptanq.txt"));

if(Hum == 0 && Temp == 0 && Temtanq == 0)
{
int comp = ConfigInicial();
if(comp == 1)
{
Hum = 90;
Temp = 60;
Temtanq = 50;
}
}
}

```

```

    Serial.print("ERROR CONFIGURANDO TEMP,HUM,TEMPTANQ\n");
}
else
{
//CONFIGURACION TEMP,HUM,TEMPTANQ
Serial.print("CONFIGURACION TEMP,HUM,TEMPTANQ\n");
}
}

```

```

medidor();

```

```

menu();

```

```

//delay(500);

```

```

}

```

```

void menu (){

```

```

    char key = kpd.getKey();

```

```

    if(key) // Verifica tecla

```

```

    {

```

```

        switch (key)

```

```

        {

```

```

            case 'A': // Tecla configuración

```

```

                settings();

```

```

                break;

```

```

            case '*':

```

```

                break;

```

```

            default:

```

```

                break;

```

```

        }

```



```

}

}

void settings()
{
char key;
int i;
String str;
int punto;

lcd.clear();
lcd.setCursor(1, 1); //Define la ubicación inicial del cursor
lcd.print("CONFIGURACION"); // Imprime un mensaje en la LCD
delay(2000);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0); //Define la ubicación inicial del cursor
lcd.print("SELECC. OPCION:"); // Imprime un mensaje en la LCD
lcd.setCursor(1, 1); //Define la ubicación inicial del cursor
lcd.print("1. TEMPERATURA"); // Imprime un mensaje en la LCD
lcd.setCursor(1, 2); //Define la ubicación inicial del cursor
lcd.print("2. HUMEDAD"); // Imprime un mensaje en la LCD
lcd.setCursor(1, 3); //Define la ubicación inicial del cursor
lcd.print("3. Ttanque"); // Imprime un mensaje en la LCD

do{

key = kpd.getKey();

}while (key == 0);

```



```

if(key) // Verifica tecla
{
switch (key)
{
case '1': // Tecla configuración
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(4, 0); //Define la ubicación inicial del cursor
    lcd.print("INGRESE");
    lcd.setCursor(2, 1); //Define la ubicación inicial del cursor
    lcd.print("TEMPERATURA:");
    lcd.setCursor(0, 3); //Define la ubicación inicial del cursor
    lcd.print("TEMP: ");
    lcd.blink();
    i = 1;
    punto = 0;
    str = "";
    do{
        key = kpd.getKey();

        if (isDigit(key) || key == '#' || key == 'D' || key == 'C')
        {
            if (key == '#')
            {
                if(punto == 0)
                {
                    key = '.';
                    punto = 1;
                }
            }
            else

```

```

        {
            key = 'B';
        }
    }
    if (key == 'D' || key == 'C')
    {
        break;
    }
    else if(key == 'B')
    {
        i=i;
    }
    else
    {
        str = str + String(key);
        lcd.write(key);
        i++;
    }
}
}while (i <= 6);
lcd.noBlink();
if (i == 6)
{
    key = 'D';
}
if(key == 'D')
{
    if (str.length() == 0)
    {
        break;
    }
}

```



```

}
else
{
SD.remove("temp.txt");

lcd.noBlink();
lcd.clear();
lcd.setCursor(2, 0); //Define la ubicación inicial del cursor
lcd.print("TEMPERATURA");
lcd.setCursor(4, 1); //Define la ubicación inicial del cursor
lcd.print("GUARDADA");
lcd.setCursor(0, 3); //Define la ubicación inicial del cursor
lcd.print("TEMP: ");
lcd.setCursor(3, 3); //Define la ubicación inicial del cursor
lcd.print(str);
//lcd.write(' ');
conversion = convertfloat(str);
datatemp = SD.open("temp.txt", FILE_WRITE);

if (datatemp) {
digitalWrite(led,LOW);
//dataFile.print("tem_tanque *C");
datatemp.print(conversion, 1);
//datatemp.println();
datatemp.close();

// Serial.println(conversion, 1);
//Serial.println();
}
else {

```

```

Serial.println("Fallo comunicacion.txt");
Serial.println("Revise conexion");
digitalWrite(led, HIGH);
delay(1000);
}

lcd.write(1);
lcd.print("C");
delay(3000);
break;
}
}
if (key == 'C')
{
lcd.noBlink();
lcd.clear();
lcd.setCursor(3, 1); //Define la ubicación inicial del cursor
lcd.print("CANCELADO");
delay(1000);
break;
}
case '2':
lcd.clear();
lcd.setCursor(4, 0); //Define la ubicación inicial del cursor
lcd.print("INGRESE");
lcd.setCursor(4, 1); //Define la ubicación inicial del cursor
lcd.print("HUMEDAD:");
lcd.setCursor(0, 3); //Define la ubicación inicial del cursor
lcd.print("HUM: ");
lcd.blink();

```



```

punto = 0;
i = 1;
str = "";
do{
    key = kpd.getKey();

    if (isDigit(key) || key == '#' || key == 'D' || key == 'C')
    {
        if (key == '#')
        {
            if(punto == 0)
            {
                key = '.';
                punto = 1;
            }
            else
            {
                key = 'B';
            }
        }
        if (key == 'D' || key == 'C')
        {
            break;
        }
        else if(key == 'B')
        {
            i=i;
        }
        else
        {

```



```

lcd.print(str);
//lcd.write(' ');
conversion = convertfloat(str);
if (datahumidity) {
    digitalWrite(led,LOW);
    //dataFile.print("tem_tanque *C");
    datahumidity.print(conversion, 1);
    //datahumidity.println();
    datahumidity.close();

    // Serial.print(conversion, 1);
    // Serial.println();
}
else {
    Serial.println("Fallo comunicacion.txt");
    Serial.println("Revise conexion");
    digitalWrite(led, HIGH);
    delay(1000);
}
//lcd.write(1);
lcd.print("%");
delay(3000);
break;
}
}
if (key == 'C')
{
    lcd.noBlink();
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(3, 1); //Define la ubicación inicial del cursor

```

```

    lcd.print("CANCELADO");
    delay(1000);
    break;
}
break;
case '3':
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(4, 0); //Define la ubicación inicial del cursor
    lcd.print("INGRESE");
    lcd.setCursor(2, 1); //Define la ubicación inicial del cursor
    lcd.print("Temp Tanque:");
    lcd.setCursor(0, 3); //Define la ubicación inicial del cursor
    lcd.print("Temp: ");
    lcd.blink();
    punto = 0;
    i = 1;
    str = "";
    do{
        key = kpd.getKey();

        if (isDigit(key) || key == '#' || key == 'D' || key == 'C')
        {
            if (key == '#')
            {
                if(punto == 0)
                {
                    key = '.';
                    punto = 1;
                }
            }
            else

```

```

        {
            key = 'B';
        }
    }
    if (key == 'D' || key == 'C')
    {
        break;
    }
    else if(key == 'B')
    {
        i=i;
    }
    else
    {
        str = str + String(key);
        lcd.write(key);
        i++;
    }
}
}while (i <= 6);
lcd.noBlink();
if (i == 6)
{
    key = 'D';
}
if(key == 'D')
{
    if (str.length() == 0)
    {
        break;
    }
}

```



```

}
else
{
SD.remove("temptanq.txt");
datatemptanq = SD.open("temptanq.txt", FILE_WRITE);
lcd.noBlink();
lcd.clear();
lcd.setCursor(2, 0); //Define la ubicación inicial del cursor
lcd.print("Temp Tanque");
lcd.setCursor(3, 1); //Define la ubicación inicial del cursor
lcd.print("GUARDADA");
lcd.setCursor(0, 3); //Define la ubicación inicial del cursor
lcd.print("Temp: ");
lcd.setCursor(3, 3); //Define la ubicación inicial del cursor
lcd.print(str);
//lcd.write(' ');
conversion = convertfloat(str);
if (datatemptanq) {
digitalWrite(led,LOW);
//dataFile.print("tem_tanque *C");
datatemptanq.print(conversion, 1);
//datahumidity.println();
datatemptanq.close();

// Serial.print(conversion, 1);
// Serial.println();
}
else {
Serial.println("Fallo comunicacion.txt");
Serial.println("Revise conexion");
}
}

```



```

        digitalWrite(led, HIGH);
        delay(1000);
    }
    lcd.write(1);
    lcd.print("C");
    delay(3000);
    break;
}
}
if (key == 'C')
{
    lcd.noBlink();
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(3, 1); //Define la ubicación inicial del cursor
    lcd.print("CANCELADO");
    delay(1000);
    break;
}
break;
case 'C':
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(3, 1); //Define la ubicación inicial del cursor
    lcd.print("CANCELADO");
    delay(2000);
    break;
default:
break;
}
}

```

lcd.clear();



```
}
```

```
void medidor (){
```

```
    //lcd.print("Secador Hibrido ");
```

```
    float SHC = dht.getHumidity();
```

```
    lcd.setCursor(0,0);
```

```
    lcd.print("Humedad ");
```

```
    lcd.print(SHC,0);
```

```
    lcd.print("% ");
```

```
    float STC = dht.getTemperature();
```

```
    lcd.setCursor(0,1);
```

```
    lcd.print("Temp Cam ");
```

```
    lcd.print(STC,0);
```

```
    lcd.write(1);
```

```
    lcd.print("C ");
```

```
    float STT = ts.getCelsius();
```

```
    lcd.setCursor(-0,2);
```

```
    lcd.print("T. Tanqu ");
```

```
    lcd.print(STT,0);
```

```
    lcd.write(1);
```

```
    lcd.print("C ");
```

```
    float STTV = tv.getCelsius();
```

```
    lcd.setCursor(-0,3);
```

```
    lcd.print("T. T. V. ");
```

```
    lcd.print(STTV,0);
```

```
    lcd.write(1);
```

```
    lcd.print("C ");
```



```
dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);
```

```
if (dataFile) {  
    digitalWrite(led,LOW);  
    //dataFile.print("tem_tanque *C");  
    dataFile.print(SHC, 1);  
    dataFile.print("\t\t");  
    dataFile.print(STC, 1);  
    dataFile.print("\t\t");  
    dataFile.print(STT, 1);  
    dataFile.print("\t\t");  
    dataFile.print(STTV, 1);  
    dataFile.println();  
    delay(1000);  
    dataFile.close();  
}
```

```
int espera1 = 0;  
int espera2 = 0;  
int espera3 = 0;
```

```
Serial.print("INICIA\n");  
Serial.print(STC, 1);  
Serial.print("°C\n");  
Serial.print(SHC, 1);  
Serial.print("%\n");  
Serial.print(STT, 1);  
Serial.print("°C\n");  
Serial.print(STTV, 1);  
Serial.print("°C\n");
```



```

//delay(1000);
//Serial.println();
}
else {
  Serial.println("Fallo comunicacion.txt");
  Serial.println("Revise conexion");
  digitalWrite(led, HIGH);
  delay(1000);
}

```

```

if(SHC >=Hum){
digitalWrite(Extractor,LOW); //HIGH
Serial.println("Extractor ON");
//lcd.setCursor(6,3);
//lcd.print("Extr ON ");
}
if(SHC < Hum-20){
digitalWrite(Extractor,HIGH); //LOW
Serial.println("Extractor OFF");
//lcd.setCursor(0,3);
//lcd.print("      ");
}
if (STT > Temtanq){
  if (STC >=Temp+2){
    digitalWrite(Bomba,LOW); //LOW
    Serial.println("Bomba 1 OFF");
  }
  if(STC <= Temp-2){
    digitalWrite(Bomba,HIGH); //HIGH
    Serial.println("Bomba 1 ON");
  }
}

```



```

    }
}
else {
    if(STT >= Temp+2){
        Serial.println("Bomba 2 OFF");
    }
    if(STT <= Temp-2){
        digitalWrite(Bomba,LOW);//LOW
        Serial.println("Bomba 2 ON, Bomba 1 OFF");
    }
}

//if(STTV >= STC-10)
//{
//digitalWrite(Soplador, LOW); //HIGH
//Serial.println("Soplador ON");
//digitalWrite(MotoVentSoplador, LOW); //HIGH
//Serial.println("MotoVentSoplador ON");
// }
// else
// {
//digitalWrite(Soplador, HIGH); //LOW
//Serial.println("Soplador OFF");
//digitalWrite(MotoVentSoplador, HIGH); //LOW
//Serial.println("MotoVentSoplador OFF");
//}

// Vent2

```

```

unsigned long currentMillis5 = millis();
if (ledStateVent2 == HIGH) {
  if(currentMillis5 - previousMillis5 > intervalOnVent2) {
    previousMillis5 = currentMillis5;
    ledStateVent2 = LOW;
  }
} else {
  if(currentMillis5 - previousMillis5 > intervalOffVent2) {
    previousMillis5 = currentMillis5;
    ledStateVent2 = HIGH;
  }
}
digitalWrite(vent2, ledStateVent2);
//Vent
unsigned long currentMillis6 = millis();
if (ledStateVent == LOW) {
  if(currentMillis6 - previousMillis6 > intervalOffVent) {
    previousMillis6 = currentMillis6;
    ledStateVent = HIGH;
  }
} else {
  if(currentMillis6 - previousMillis6 > intervalOnVent) {
    previousMillis6 = currentMillis6;
    ledStateVent = LOW;
  }
}
{

}
}

```

```

digitalWrite(vent, ledStateVent);

}

int convertint(String convert){
    String toconvert=convert;
    toconvert = toconvert + 0;
    char test_as_char[toconvert.length()];
    toconvert.toCharArray(test_as_char, toconvert.length());
    float F = atof(test_as_char);
    return F;
}

float convertfloat(String Texto)
{
    char cadena[Texto.length()+1];
    Texto.toCharArray(cadena, Texto.length()+1);
    float myFloat = atof(cadena);
    return myFloat;
}

String ReadFile(char Ruta[]){
    int Lin=0;
    String Resultado = "";
    File myFile;
    byte Bin;
    myFile = SD.open(Ruta, FILE_READ);
    if (myFile) {

```



```

while (myFile.available()) {
    Bin = myFile.read();
    //if (Bin==13){Lin++;myFile.read();}
    //else
    //{
        //if (Lin==Linea){
            Resultado = Resultado + (char(Bin));//}
        //if (Lin>Linea){myFile.close();return Resultado;}
    //}
}
myFile.close();
return Resultado;
}
}

```

```

void TempWrite(String str)
{
    SD.remove("temp.txt");
    conversion = convertfloat(str);
    datatemp = SD.open("temp.txt", FILE_WRITE);
    if (datatemp) {
        digitalWrite(led,LOW);
        //dataFile.print("tem_tanque *C");
        datatemp.print(conversion, 1);
        //datatemp.println();
        datatemp.close();
        Serial.println("Listo");
        delay(100);
    }
    else {

```



```

        Serial.println("Fallo");
        digitalWrite(led, HIGH);
        delay(1000);
    }
}

void HumWrite(String str)
{
    SD.remove("humidity.txt");
    conversion = convertfloat(str);
    datahumidity = SD.open("humidity.txt", FILE_WRITE);
    if (datahumidity) {
        digitalWrite(led,LOW);
        //dataFile.print("tem_tanque *C");
        datahumidity.print(conversion, 1);
        //datahumidity.println();
        datahumidity.close();
        Serial.println("Listo");
        delay(100);
    }
    else {
        Serial.println("Fallo");
        digitalWrite(led, HIGH);
        delay(1000);
    }
}

void TanqWrite(String str)
{
    SD.remove("temptanq.txt");
    conversion = convertfloat(str);
    datatemptanq = SD.open("temptanq.txt", FILE_WRITE);

```



```

if (datatemptanq) {
    digitalWrite(led,LOW);
    //dataFile.print("tem_tanque *C");
    datatemptanq.print(conversion, 1);
    //datahumidity.println();
    datatemptanq.close();
    Serial.println("Listo");
    delay(100);
}
else {
    Serial.println("Fallo");
    digitalWrite(led, HIGH);
    delay(1000);
}
}

int ConfigInicial()//Configuracion TEMP,HUM,TEMPTANQ
{
    int errores = 0;

    SD.remove("temp.txt");
    SD.remove("humidity.txt");
    SD.remove("temptanq.txt");

    datatemp = SD.open("temp.txt", FILE_WRITE);
    datahumidity = SD.open("humidity.txt", FILE_WRITE);
    datatemptanq = SD.open("temptanq.txt", FILE_WRITE);

    if (datatemp) {

```



```

digitalWrite(led,LOW);
//dataFile.print("tem_tanque *C");
datatemp.print(70, 1);
//datatemp.println();
datatemp.close();

// Serial.println(conversion, 1);
//Serial.println();
}
else {
Serial.println("Fallo comunicacion.txt");
Serial.println("Revise conexion");
digitalWrite(led, HIGH);
errores = 1;
delay(1000);
}
if (datahumidity) {
digitalWrite(led,LOW);
//dataFile.print("tem_tanque *C");
datahumidity.print(90, 1);
//datahumidity.println();
datahumidity.close();

// Serial.print(conversion, 1);
// Serial.println();
}
else {
Serial.println("Fallo comunicacion.txt");
Serial.println("Revise conexion");
digitalWrite(led, HIGH);

```



```

        errores = 1;
        delay(1000);
    }
if (datatemptanq) {
    digitalWrite(led,LOW);
    //dataFile.print("tem_tanque *C");
    datatemptanq.print(70, 1);
    //datahumidity.println();
    datatemptanq.close();

    // Serial.print(conversion, 1);
    // Serial.println();
}
else {
    Serial.println("Fallo comunicacion.txt");
    Serial.println("Revise conexion");
    digitalWrite(led, HIGH);
    errores = 1;
    delay(1000);
}
//CONFIGURACION TEMP,HUM,TEMPTANQ

return errores;
}

```