

**Diseño e implementación de un sistema electrónico para optimizar el secado del café en  
secaderos solares**

Yonier Gentil Cordoba Hoyos

Asesor

Diego Fernando Nava Cuevas

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD  
Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería ECBTI  
Ingeniería Electrónica  
2024

## Resumen

Este documento se centra en el diseño e implementación de un sistema electrónico diseñado con el objetivo de reducir el tiempo de secado del café usando como lugar de investigación la Finca La Rubiela. Principalmente compuesto por la investigación de artículos bibliográficos que ayuden a establecer variables y parámetros para posteriormente realizar una recolección de datos. Se utiliza el software Sketchup para el diseño del circuito y distribución de los componentes electrónicos dentro del secador lo que facilita la instalación de los componentes que componen el sistema. Finalmente se compara el funcionamiento del secador antes de la implementación y después de la implementación, permitiendo realizar un análisis en comparación entre los dos métodos.

***Palabras clave:*** secado del café, variables, componentes electrónicos, diseño, recolección de datos.

## Summary

This document focuses on the design and implementation of an electronic system designed with the objective of reducing coffee drying time using Finca La Rubiela as a research site. Mainly composed of research on bibliographic articles that help establish variables and parameters to later collect data. Sketchup software is used for the design of the circuit and distribution of the electronic components inside the dryer, which facilitates the installation of the components that make up the system. Finally, the operation of the dryer before implementation and after implementation is compared, allowing an analysis to be carried out in comparison between the two methods.

***Keywords:*** coffee drying, variables, electronic components, design, data collection.

## Tabla de Contenido

Introducción .....	7
Justificación .....	8
Objetivos .....	9
Identificación de variables que influyen en el proceso de secado del café.....	10
Desarrollo del prototipo de acuerdo con las variables encontradas. ....	15
Implementación del sistema electrónico en el secador solar de la finca La Rubiela de acuerdo al plano diseñado. ....	21
Evaluación del sistema electrónico diseñado.....	24
Conclusiones .....	31
Referencias.....	33

### Lista de Tablas

**Tabla 1** *Promedio de resultados generales* ..... 13

**Tabla 2** *Instrumentación existente y necesaria* ..... 22

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Procesos sistema manual</i> .....	12
<b>Figura 2</b> <i>Diagrama de procesos</i> .....	17
<b>Figura 3</b> <i>Distribución de instrumentación vista frontal</i> .....	18
<b>Figura 4</b> <i>Distribución de instrumentación vista lateral</i> .....	19
<b>Figura 5</b> <i>Distribución de instrumentación dentro del secador vista frontal</i> .....	20
<b>Figura 6</b> <i>Distribución de instrumentación dentro del secador vista lateral</i> .....	20
<b>Figura 7</b> <i>Controlador</i> .....	23
<b>Figura 8</b> <i>Extractores</i> .....	23
<b>Figura 9</b> <i>Pruebas de funcionamiento</i> .....	24
<b>Figura 10</b> <i>Promedio humedad relativa medida en los sistemas 8:30 Am</i> .....	25
<b>Figura 11</b> <i>Promedio temperatura del aire medida en los sistemas 8:30 Am</i> .....	26
<b>Figura 12</b> <i>Promedio humedad relativa medida en los sistemas 2:30 Pm</i> .....	27
<b>Figura 13</b> <i>Promedio temperatura del aire medida en los sistemas 2:30 Pm</i> .....	28
<b>Figura 14</b> <i>Promedio humedad relativa medida en los sistemas 4:10 Pm</i> .....	29
<b>Figura 15</b> <i>Promedio temperatura del aire medida en los sistemas 4:10 Pm</i> .....	30

## **Introducción**

Durante un periodo de 16 semanas se abordó el análisis de variables, diseño, implementación y evaluación de un sistema electrónico que optimizara el proceso de secado del café, donde se aplicaron conocimientos teóricos adquiridos durante el desarrollo del programa en un entorno real, a su vez el desarrollo de habilidades que son de suma importancia en la ingeniería electrónica.

El objetivo principal del proyecto fue enfrentar el desafío de reducir el tiempo de secado del café en secaderos solares, un proceso muy importante en la postcosecha y valorización del café. Mediante el diseño e implementación de un sistema electrónico innovador se buscó satisfacer este objetivo, se empleó una metodología que llevo desde la investigación de variables que intervienen el proceso de secado, análisis de los requerimientos de la empresa hasta la implementación y recolección de datos del sistema implementado. Este enfoque permitió desarrollar exitosamente el proyecto centrado en la optimización del proceso de secado

En este informe se presenta detalladamente todas las actividades que se llevaron a cabo en el desarrollo del sistema electrónico, desde el análisis de requisitos y especificaciones hasta el diseño, implementación y evaluación del funcionamiento y finalmente los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en operaciones reales. Por lo tanto, el éxito del proyecto no está basado solamente en el correcto funcionamiento del sistema si no en la proporción de soluciones efectivas y eficientes que contribuyan a la reducción del tiempo de secado del café en secaderos solares, de esta manera se destacaran primordialmente los logros y las mejoras que se identificaron durante el desarrollo del proyecto.

## **Justificación**

Colombia es reconocido como el tercer país más productor de café con 11.1 Millones de sacos producidos en 2022 según la Federación de Cafeteros, lo cual es una reducción en comparación con años anteriores debido al fenómeno de la niña en los últimos 2 años y medio por otro lado, las exportaciones del café verde en ese mismo año se han visto afectadas por este fenómeno y se estima en 11.4 Millones de sacos. El Huila en la actualidad es uno de los departamentos con una alta tasa de producción de café a nivel nacional ya que suministra el 18.13% de la producción total según un artículo publicado el 17 de noviembre del 2022 por el periódico La Nación, a su vez el municipio de Pitalito se ganó el lugar de mayor productor de café del país, sin embargo por diferentes razones existen muchos cafeteros que no pueden realizar el secado del café por diferentes situaciones entre estas se destacan el cambio climático, pagos a los recolectores de café, entre otras. En el caso del sur del Huila es bien conocido que se presentan lluvias constantes lo cual afecta negativamente el proceso de secado del café por tal razón muchos de los Cafeteros de esta zona prefieren vender su café “Verde” o “mojado” como se conoce entre los caficultores, de esta manera están perdiendo ganancias aprovechables para sus fincas. Si analizamos la información anterior se hace necesaria la construcción de un sistema que permita que los cafeteros puedan secar su café sin preocuparse por las condiciones climáticas que incidan negativamente sobre el café y a su vez pueda recibir información sobre las variables que se encuentran en este proceso.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Implementar un sistema electrónico que permita reducir el tiempo de secado del café en secaderos tradicionales.

### **Objetivos Específicos**

Identificar las variables que influyen en el secado del café.

Diseñar un sistema electrónico que controle las variables identificadas.

Implementar el sistema electrónico en el secador solar de la finca La Rubiela.

Evaluar el funcionamiento del diseño del sistema electrónico.

## **Identificación de variables que influyen en el proceso de secado del café**

Se desarrollaron actividades encaminadas a la práctica todos los conocimientos adquiridos a lo largo de los periodos académicos del programa de Ingeniería electrónica, tales como la revisión bibliográfica en diferentes bases de datos como: Cenicafé, E-Biblioteca de la UNAD, repositorio institucional ITM, repositorio institucional Javeriano, posteriormente se realizó la visita técnica para la observación directa y toma de datos mediante dispositivos electrónicos dentro del secador solar de la finca La Rubiela, de esta manera las actividades fueron desarrolladas de la siguiente manera:

### **Revisión Bibliográfica:**

En la revisión de fuentes bibliográficas, se analizaron detenidamente diferentes artículos de la revista Cenicafé, trabajos de grado disponibles en la universidad Javeriana y en el repositorio institucional ITM que brindaron información valiosa sobre las variables críticas que intervienen en el proceso de secado del café, de esta manera se identificaron las siguientes variables:

- Temperatura del aire dentro del secador: el propósito del aire dentro del secador es evaporar la humedad del grano para que esto suceda es necesario que la temperatura dentro del secador sea óptima para garantizar que la calidad no se vea afectada, de esta manera la temperatura adecuada está entre los 35°C y los 45°C. (Cruz & Vásquez Márquez, 2022)
- Humedad relativa del aire dentro del secador: la humedad relativa dentro del secador debe ser lo más baja posible, preferiblemente por debajo del 70% para que el proceso de secado sea eficiente. (Cruz & Vásquez Márquez, 2022)
- Velocidad del aire dentro del secador: la velocidad del aire es muy importante ya que este se encarga de remover el vapor de agua generado por el secado, es recomendable que la

velocidad se encuentre en un rango de 0,5 m/s y 1 m/s con el fin de evitar pérdidas de grano o posibles daños mecánicos. (Magem, 2015)

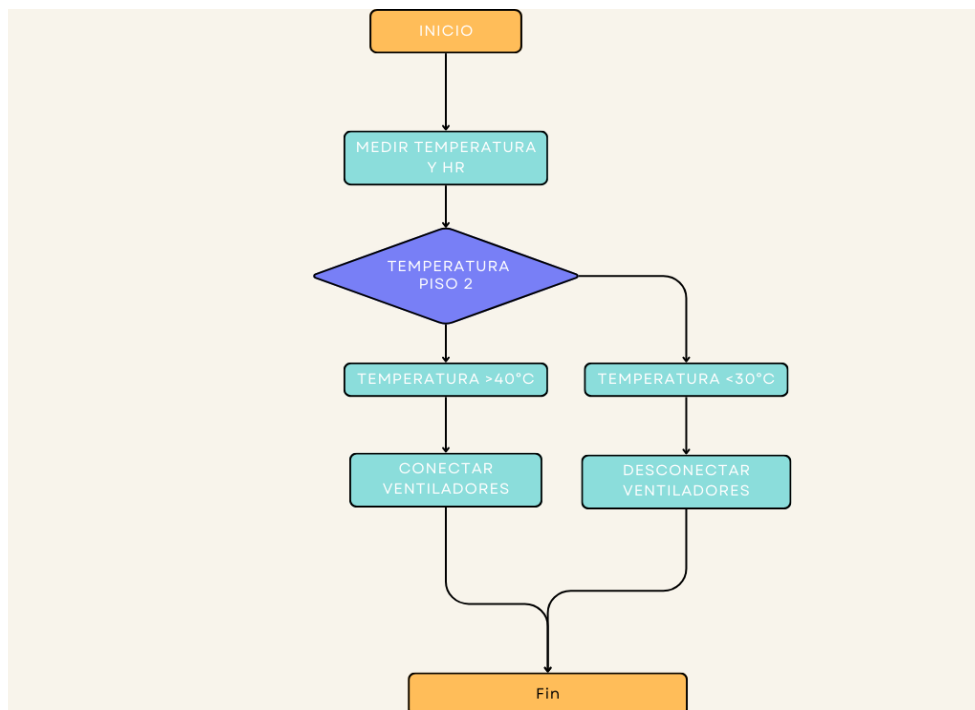
- Intensidad de radiación solar: es muy importante saber las horas de mayor radiación solar ya que son las más aprovechables en el proceso de secado porque la temperatura aumenta, de esta manera las horas con mayor radiación solar se encuentra entre las 8:00 AM y las 5:00 PM. (Cruz & Vásquez Márquez, 2022)

- Humedad del grano: luego del proceso de despulpado, lavado y escurrido el café posee una humedad entre el 55% y el 57% es recomendable que la humedad final del grano que este entre el 10% y el 12% para evitar tanto el sobresecado y el subsecado. (Bedoya, Riascos Vanegas, & Zambrano Rey, 2016)

- Espesor de la capa de café: el espesor de la capa no debe ser superior a 3 cm ya que esto influye en la homogeneidad del secado y facilita la remoción y extracción del grano. (Táscon, Ramírez Gómez, Sanz Uribe, & Peñuela Matínez, 2006)

### **Inicio de toma de Medidas**

Teniendo en cuenta las variables identificadas en la revisión bibliográfica se realizó el monitoreo de un proceso de secado completo del café en las 6 paseras del secadero solar de la finca La Rubiela, considerando que el secadero cuenta con 2 ventiladores que se conectan manualmente de acuerdo con la temperatura este proceso se describe detalladamente en el siguiente diagrama de flujo:

**Figura 1***Procesos Sistema Manual*

*Fuente.* Elaboración propia en Canva sobre la descripción de proceso manual

En la figura anterior se describen los procesos que realizaba el sistema anterior donde se inicialmente se medía la temperatura y humedad relativa usando el controlador STC 3028, cuando la temperatura excedía los 40 °C se encendían manualmente los ventiladores, por otro lado, cuando la temperatura disminuía los 30°C se apagaban los ventiladores de la misma manera, se disponían de 2 ventiladores uno ubicado en el segundo piso del secador y otro en el primer piso del secador. De esta manera se prosiguió con el monitoreo de las variables que se llevó a cabo desde el día 23 de octubre del 2023 hasta el día 3 de noviembre del 2023 donde se realizaron medidas de las siguientes variables: Humedad relativa dentro del secador, temperatura

del aire dentro del secador, velocidad del aire, temperatura fuera del secador, humedad relativa fuera del secador.

### **Análisis de Variables e Identificación de Problemas**

De acuerdo con los resultados obtenidos se realizó un promedio de cada uno de los datos que se obtuvieron en las paseras con el fin de tener un resultado general que facilitó el análisis, los resultados generales se encuentran adjuntos en la TABLA 1, la cual resume y organiza los resultados hallados:

**Tabla 1**

*Promedio de Resultados Generales*

Muestra	Repetición	HR (%)	Temperatura Aire Secador (°c)	Velocidad aire (m/s)	Temp Fuera de Secador (°c)	HR Fuera de Secador (%)
Pasera-P2-A	STP1	57,88	30,89	1,17		
Pasera-P2-B	STP2	57,72	30,11	1,27		
Pasera-P1-A1	STP3	67,26	26,80	1,02	28,41	66,44
Pasera-P1-B1	STP4	69,53	27,04	1,30		
Pasera-P1-A2	STP5	75,32	23,97	1,32		
Pasera-P1-B2	STP6	75,65	24,01	1,39		

*Fuente.* Elaboración propia recolección de datos durante el secado del sistema manual

En la tabla anterior se muestra el promedio de datos medidos durante el secado del café a lo largo de 12 días, donde se presentaron las siguientes situaciones:

- La temperatura del aire en las paseras STP3, STP4, STP5 y STP6 es más baja que en las paseras STP1 y STP2 lo que afecta el proceso de secado del café aumentando el tiempo de secado.

- La Humedad relativa desde la pasera STP3 hasta la STP6 es mucho más alta que en STP1 Y STP2.

- Las paseras STP5 y STP6 son las más afectadas ya que su temperatura es más baja y hay mayor presencia de humedad relativa en comparación de las otras paseras.

Los inconvenientes encontrados se deben al diseño estructural que posee el secador solar ya que los rayos del sol no logran atravesar la capa del café del segundo piso por lo que el aire en el primer piso no se logra calentar con la misma intensidad.

A partir de los resultados obtenidos tanto en la revisión bibliográfica y en la toma de datos se identifican las variables sobre las que se trabajaran. Por lo tanto, es necesario diseñar un sistema electrónico que permita el aumento de la temperatura del aire en las cuatro paseras del primer piso y a su vez permita reducir la humedad relativa de las mismas. Las variables identificadas son las siguientes:

- Humedad relativa dentro del secador: la humedad relativa dentro del secador y para las paseras deberá ser lo menor posible recomendablemente por debajo de 70%.
- Temperatura del aire dentro del secador: la temperatura dentro del secador y para las paseras deberá estar comprendida entre los 35°C y 45°C.
- Espesor de la capa de café: el grosor promedio de la capa de café estará comprendida entre 1cm y 3cm.
- Humedad del grano de café: La humedad final del secado del café deberá estar entre el 10% y 12%.

## **Desarrollo del Prototipo de Acuerdo con las Variables Encontradas**

Plano del prototipo usando software especializado

## **Análisis Estructural e Instrumentación Del Secador Solar de Café De la Finca La Rubiela**

Se llevó a cabo una inspección detallada de la estructura del secador donde se evaluó la composición estructural e instrumental, es decir la ubicación espacial de los actuadores que componían el sistema buscando determinar lugares estratégicos para la instalación y redistribución en caso de ser necesario de los dispositivos con el fin de obtener mejores resultados.

## **Búsqueda de Componentes Electrónicos de Calefacción**

Se realizó una búsqueda de dispositivos o elementos electrónicos que ayudaran a aumentar la temperatura del aire dentro del secador y a su vez permitiera reducir la humedad relativa dentro de este.

## **Análisis de Componentes Encontrados**

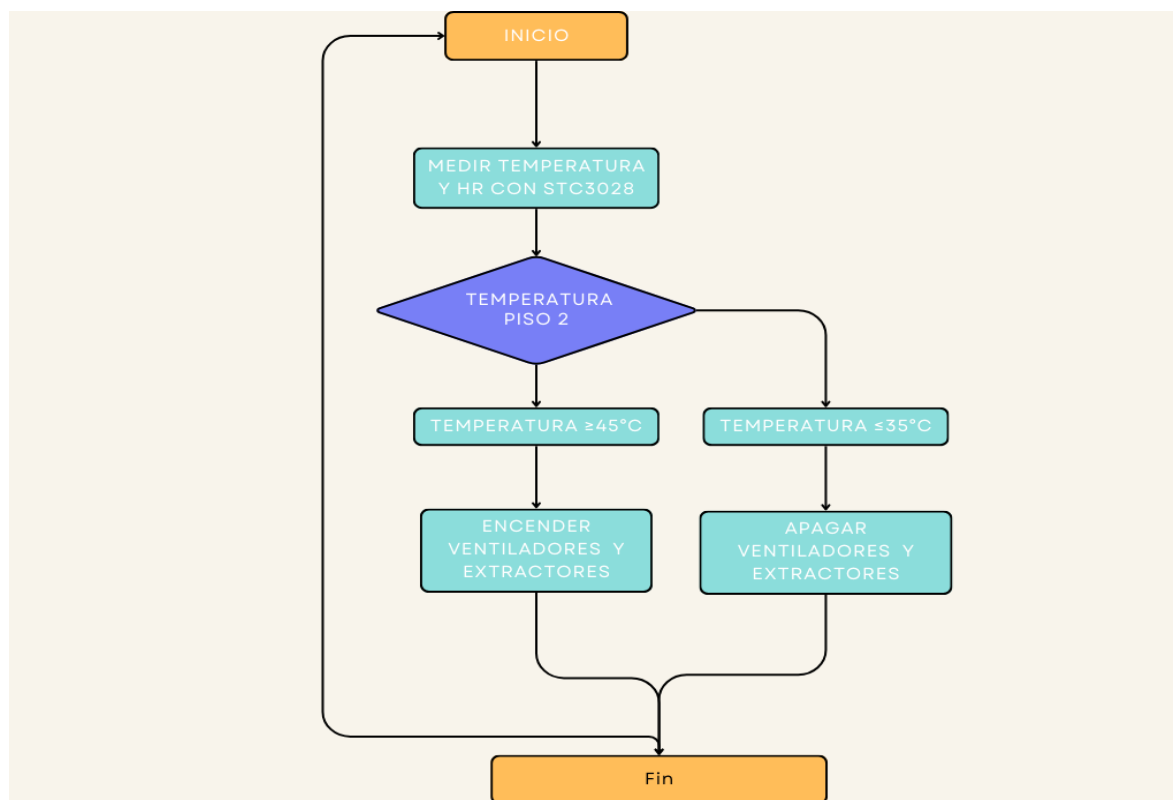
Se realizó una socialización de los resultados hallados donde se evaluó los requerimientos y ajustes necesarios en cuanto a la distribución, elección de los dispositivos, etc. Por lo tanto, se descartaron dispositivos como calentadores ambientales, cables calefactores, paneles calefactores, radiadores de aceite que presentaban alto riesgo para el operario y la integridad del secador solar ya que en algunos de ellos la información del fabricante demostraba una alta curva de temperatura y a su vez tenía costos muy elevados.

De esta manera se decide usar el aire caliente que se concentra en el segundo piso del secador y para que este circule por todo el secadero se emplean componentes electrónicos adecuados tales como ventiladores, extractores y controlador que para el diseño serán;

- Controlador STC 3028 que una de sus principales características es su algoritmo de control que permite al usuario establecer los valores de temperatura máxima y mínima, así como la humedad relativa máxima y mínima, secador lo que lo hace ideal para este tipo de sistemas y requerimientos.
- Extractores de aire de 4 aspas metálicas con 17" de diámetro, ideales para succionar el aire caliente que se encuentra en el segundo piso debido a su potente diseño y potencia.
- Ventiladores Kalley de 3 aspas con 26" de diámetro, su potente diseño está adaptado para entornos industriales ya que brinda y ofrece un gran flujo de aire, resistencia a altas temperaturas y cambios severos en el ambiente.

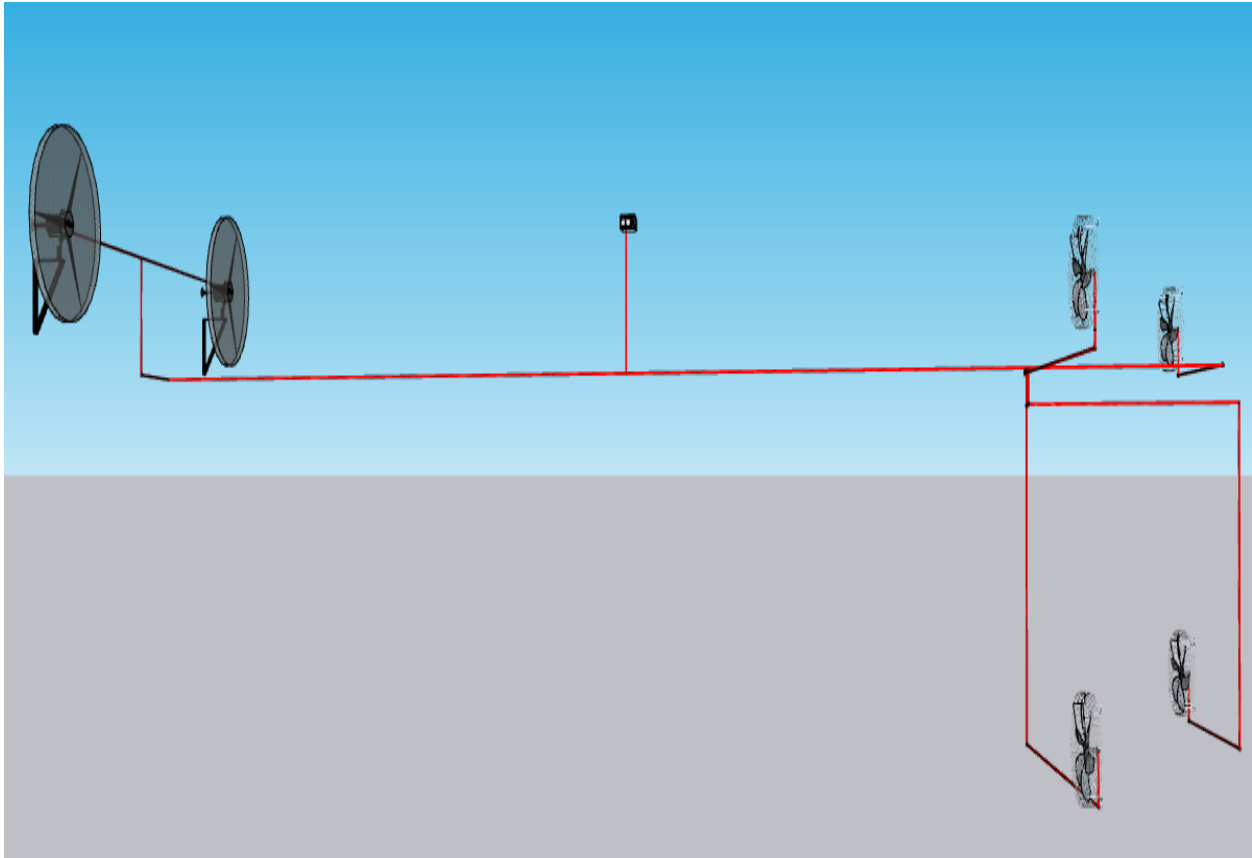
### **Diseño del Sistema Electrónico**

De acuerdo al análisis, se realizó el diagrama de flujo del funcionamiento que tendrá el sistema en cuanto a la lógica de funcionamiento, seguidamente se diseñó el plano de distribución del controlador, sensores y actuadores dentro del secador solar, por último el diagrama electrónico del sistema donde se visualizan los componentes del sistema, así se obtuvo un diseño completo del sistema electrónico que brindara un control preciso y eficiente de las variables que se identificaron, el diagrama de flujo se diseñó de la siguiente manera:

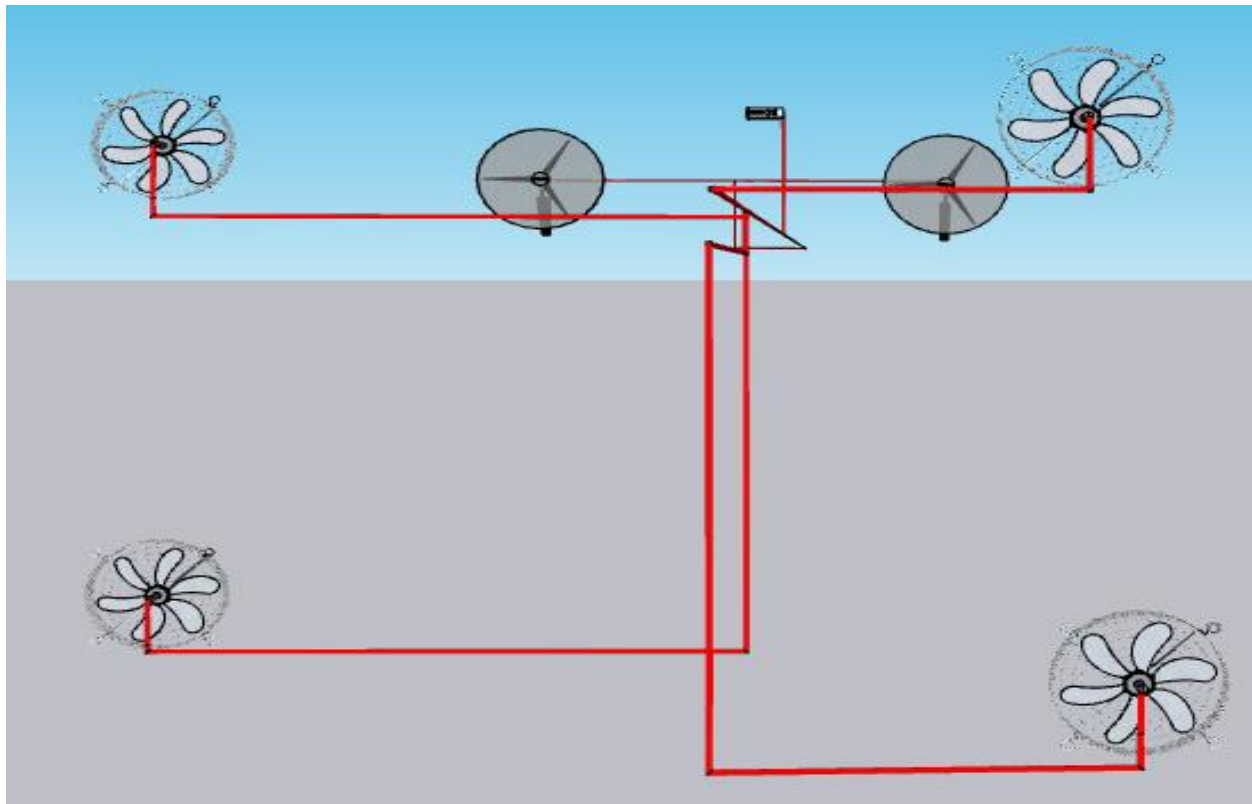
**Figura 2***Diagrama de Procesos*

*Fuente.* Elaboración propia en Canva de procesos del sistema diseñado

Como se observa en el diagrama anterior la configuración del controlador está dada por la temperatura del aire del segundo piso, de esta manera cuando la temperatura del aire sea mayor o igual  $45^{\circ}\text{C}$  se encienden los ventiladores y extractores haciendo que el aire caliente que se concentra en la parte superior baje hasta la parte inferior y se mantendrá encendido hasta que la temperatura sea menor o igual a  $35^{\circ}\text{C}$  se apagan los ventiladores, teniendo en cuenta que a medida que la temperatura del aire aumenta también aumenta su capacidad de contención de vapor de agua. Por lo tanto, la distribución electrónica de los sensores, actuadores y controlador se encuentra distribuido de la siguiente manera:

**Figura 3***Distribución de Instrumentación Vista Lateral*

*Fuente.* Elaboración propia en Sketchup vista lateral de distribución

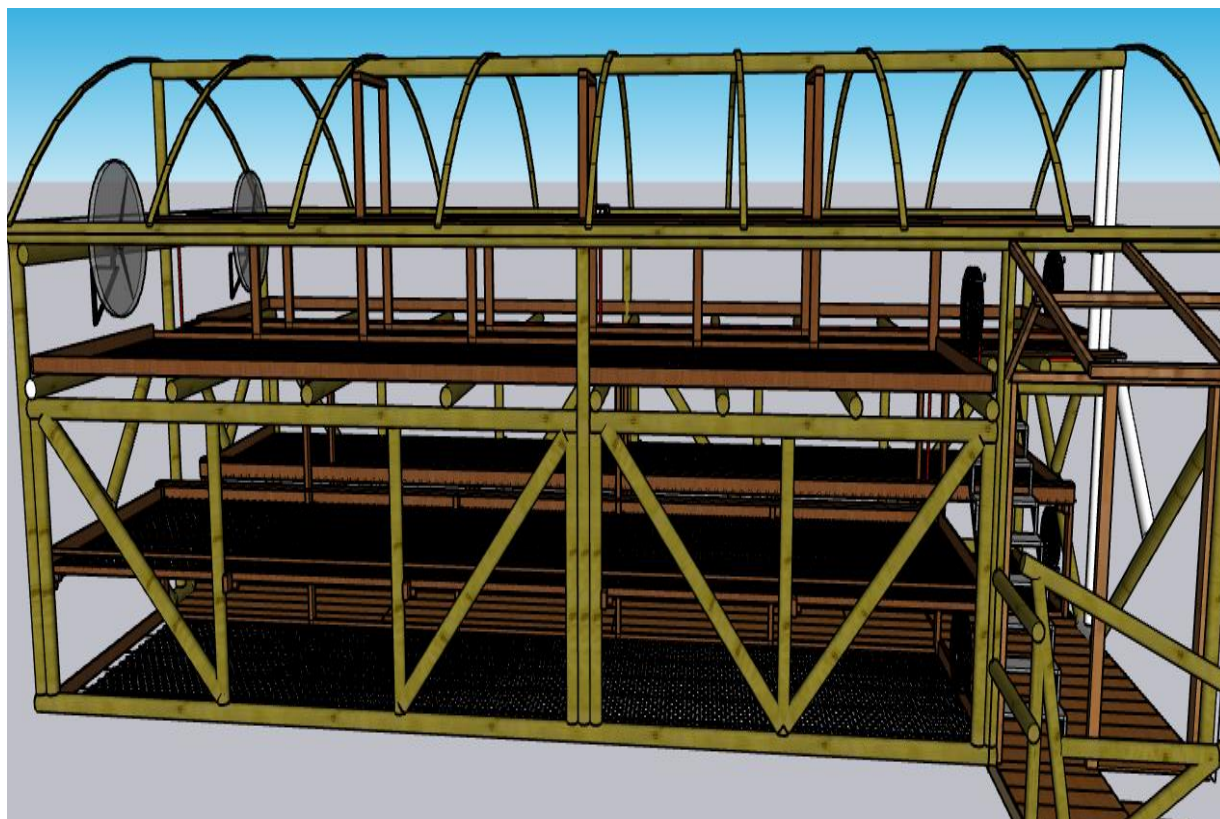
**Figura 4***Distribución de Instrumentación Vista Frontal*

*Fuente.* Elaboración propia en Sketchup vista frontal de distribución

Como se observa en la figura 3 y 4, el controlador STC 3028 se encarga del encendido y apagado de los ventiladores y extractores que distribuirán el aire caliente en los dos pisos. Para aumentar la concentración de calor en los pisos y evitar que el calor se filtre a los pasillos. Por lo tanto, se usó plástico cerrando las paseras de los primeros pisos tal y como se muestra en la figura 5. De esta manera la distribución de los ventiladores se encuentra ilustrado en el siguiente plano:

**Figura 5**

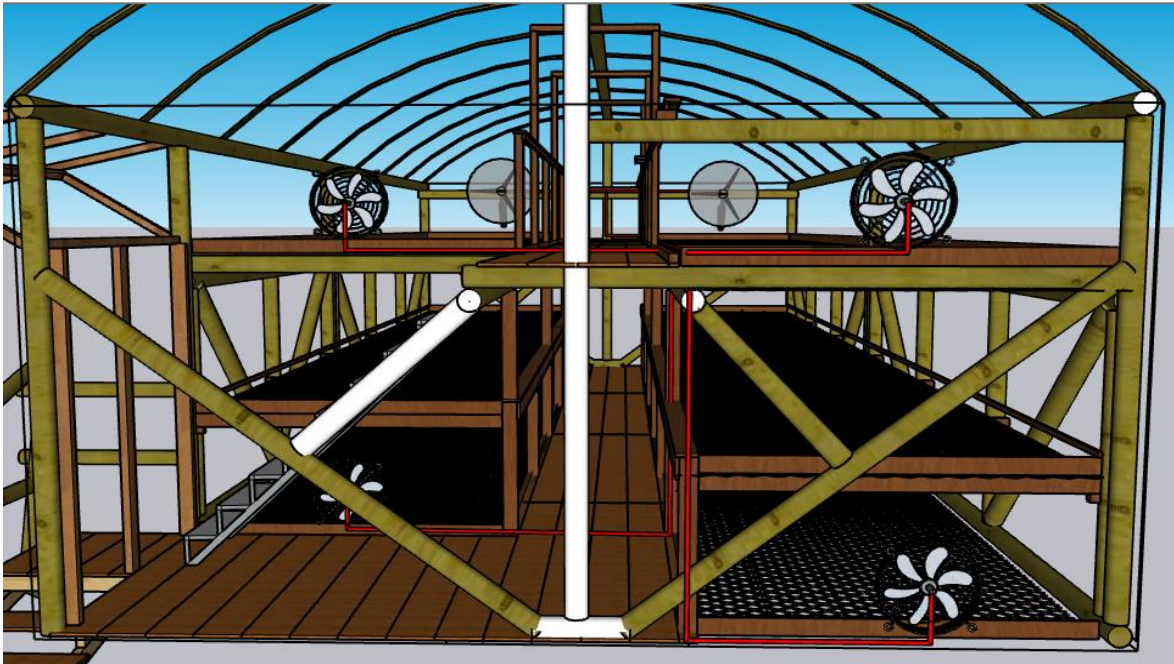
*Distribución de Instrumentación Dentro del Secador Vista Lateral*



*Fuente.* Elaboración propia en Sketchup distribución de componentes en secadero vista lateral

**Figura 6**

*Distribución de Instrumentación Dentro del Secador Vista Frontal*



*Fuente.* Elaboración propia en Sketchup distribución de componentes en secadero vista frontal

### **Implementación del Sistema Electrónico en el Secador Solar de la Finca La Rubiela de acuerdo con el Plano Diseñado**

Para evitar inconvenientes al momento de iniciar con la instalación fue necesaria realizar la preparación de los componentes ya que se contó con elementos aprovechables se realizó un inventario de lo que se encontraba dentro del secador:

**Tabla 2***Instrumentación Existente Y Necesaria*

Instrumentación	Existente	Necesaria
Controlador STC 3028	1	1
Ventiladores	2	2
Extractores	0	4
Termómetro Digital Infrarrojo	1	1
Cableado	Distribuido	Distribuir para nuevos componentes

*Fuente.* Elaboración propia listado de componentes necesarios para el sistema diseñado

Teniendo todos los componentes necesarios que compondrán el sistema se realizaron las siguientes actividades:

1. Se realizó la redistribución de los ventiladores ubicándolos juntos en el segundo piso, es decir para las paseras STP1 Y STP2.
2. Se instalaron los extractores asegurando que su distribución sea uniforme y se garantice la circulación de aire controlador, teniendo en cuenta el plano diseñado.
3. El controlador STC 3028 conserva su ubicación dentro del secador.
4. Para las conexiones se empleó cable calibre 12 AWG, se conectaron los ventiladores y extractores al controlador teniendo en cuenta los pines de conexión.
5. Se realizó la conexión de los pines de alimentación del controlador empleando una fuente de corriente alterna a 110V.

6. Por último, se configuró el controlador de acuerdo con los parámetros establecidos de temperatura.

### Figura 7

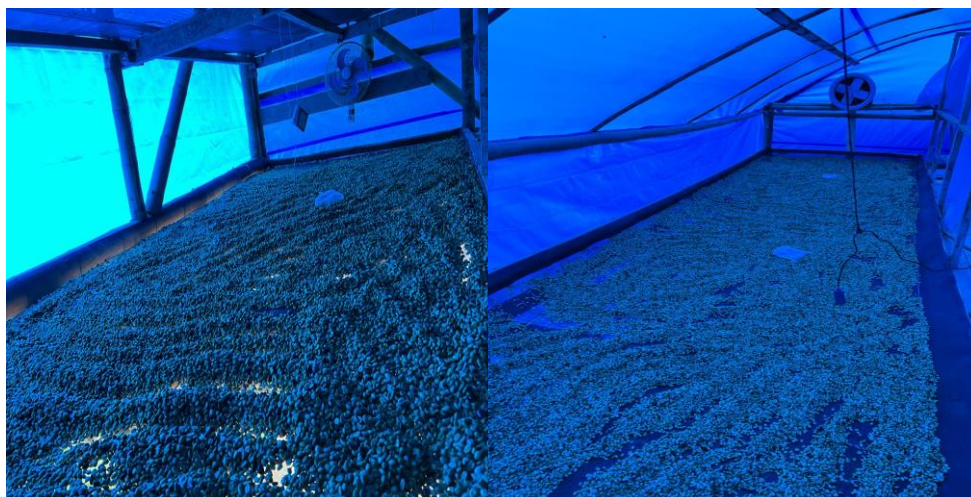
#### Controlador



*Fuente.* Elaboración propia instalación de controlador

### Figura 8

#### Extractores



*Fuente.* Instalación de extractores de aire

## Figura 9

### *Pruebas de funcionamiento*



*Fuente.* Elaboración propia pruebas de funcionamiento del sistema implementado

## Evaluación del Sistema Electrónico Diseñado

Con el fin de evaluar el grado de cumplimiento del sistema electrónico implementado en el secador solar de la finca La Rubiela comparado con el sistema anterior, se realizó la toma de medidas en las 6 paseras denominadas STP1, STP2, STP3, STP4, STP5, STP6, respectivamente. De esta manera está dado por la comparación del promedio de temperatura del aire y la humedad relativa dentro del secador en las 3 tomas de datos diaria donde se registró el tiempo de secado tanto con el sistema electrónico anterior como el actual.

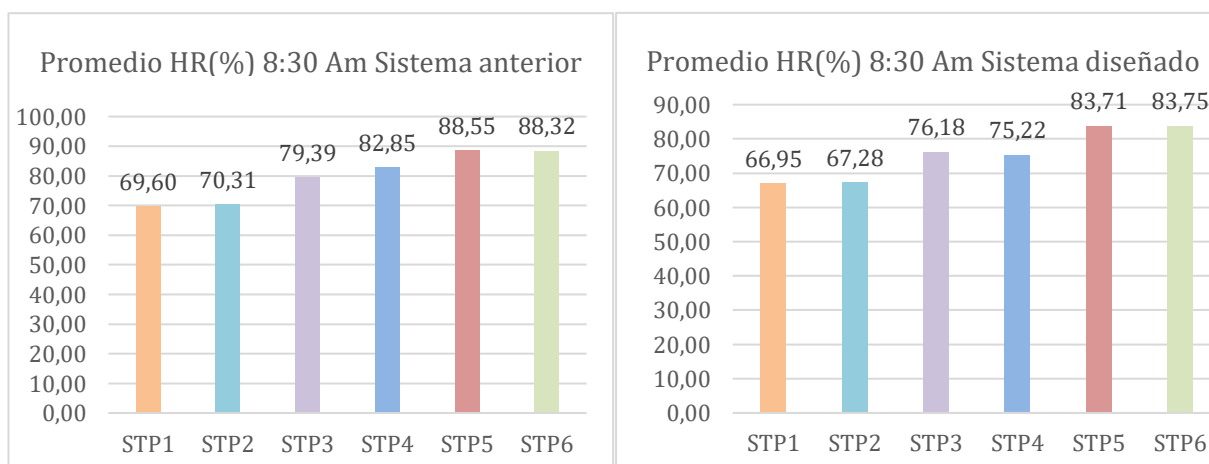
Las 3 tomas de datos fueron seleccionadas con el fin de recolectar información de las variables durante el proceso de secado por lo tanto las horas establecidas son las 8:30 am, 2:30 pm, 4:10 pm, se calcularon los promedios de humedad relativa y temperatura del aire para cada

una de las paseras y se realiza su respectiva grafica con el fin de mostrar las variaciones de las variables medidas y analizar las diferencias existentes entre ambos sistemas.

Teniendo en cuenta lo anterior se realiza la toma de datos iniciando desde el día 15 de enero hasta el 25 de enero siendo 11 días de secado, representando un día menos que el sistema anterior que inicio desde el día 23 de octubre y finalizando el 3 de noviembre. De esta manera en las paseras STP1 y STP 2 se redujo el tiempo de secado pasando de aproximadamente 8 días a 7 días, ya que en el sistema anterior inicio el 23 de noviembre y finalizo el 30 de octubre y en el sistema diseñado inicio el 15 de enero y finalizo el 21 de enero. Las paseras STP3, STP4 pasando de 10 días a 9 días en el sistema anterior finalizando el 1 de noviembre y en el sistema diseñado finalizando el 23 de anterior finalizando el 3 de noviembre y en el sistema diseñado finalizando el 25 de enero.

### Figura 10

*Promedio Humedad Relativa Medida en los Sistemas 8:30 Am*

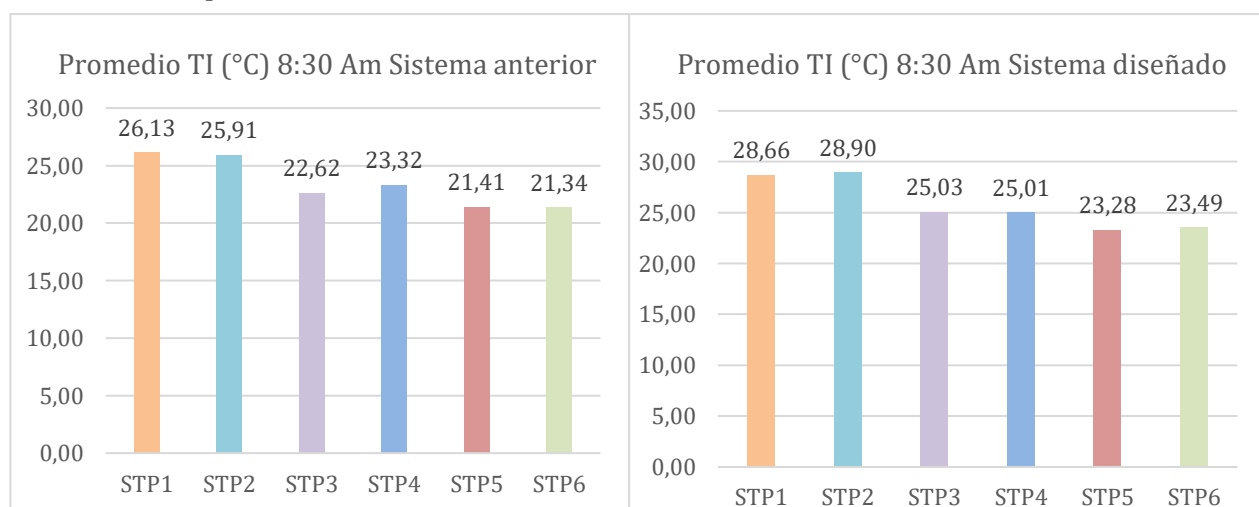


*Fuente.* Elaboración propia en Excel sobre la humedad medida 8:30 Am en los sistemas

En la figura 10 se puede apreciar que la humedad relativa tomada en los dos sistemas a la 8:30 Am, donde es evidente ver la disminución de la humedad relativa en cada una de las paseras. En el sistema anterior se obtuvo una humedad relativa máxima de 88,32% que fue medida en la pasera STP6, y una humedad relativa mínima de 69,60% que fue medida en la pasera STP1. Comparando estos datos con los del sistema diseñado se logra identificar diferencias de humedad relativa ya que en este caso logramos tener una humedad relativa máxima de 83,75% medido en la pasera STP6 y una humedad relativa mínima de 66,95% medida en la pasera STP1.

### Figura 11

*Promedio Temperatura del Aire Medida en los Sistemas 8:30 Am*



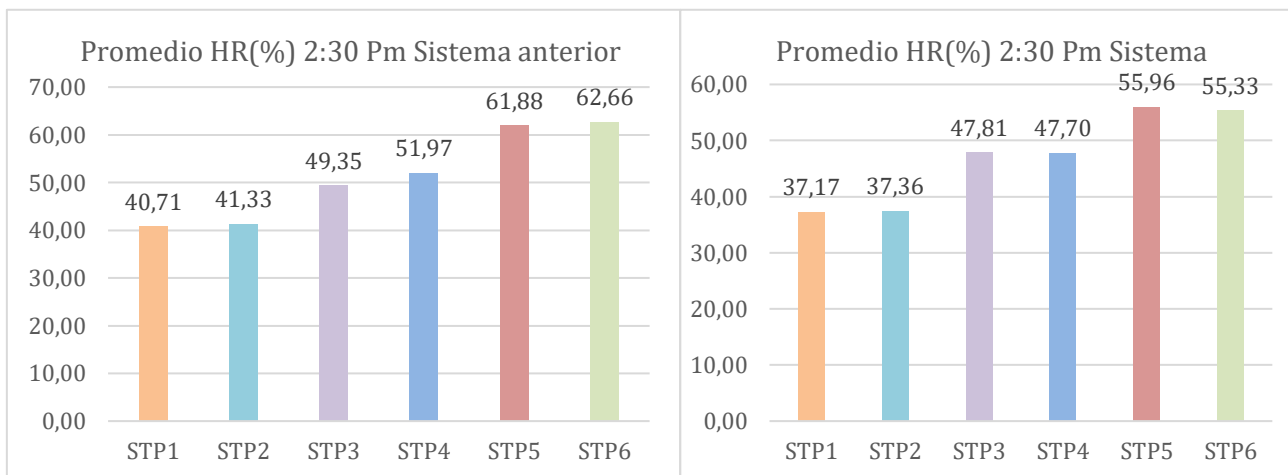
*Fuente.* Elaboración propia en Excel sobre la temperatura interna medida 8:30 Am en los sistemas

En la figura 11 se encuentran los promedios de temperatura medidos diariamente, en el sistema anterior se midió una temperatura máxima de 26,13°C que fue registrada en la pasera STP1, y una temperatura mínima de 21,34°C medida en la pasera STP6, estos resultados comparados con los medidos con el sistema diseñado podemos decir que con el sistema diseñado

se logró un aumento de la temperatura teniendo una temperatura máxima de 28,90°C medido en la pasera STP2 y una temperatura mínima de 23,28°C medido en la pasera STP5.

## Figura 12

### *Promedio Humedad Relativa Medida en los Sistemas 2:30 Pm*

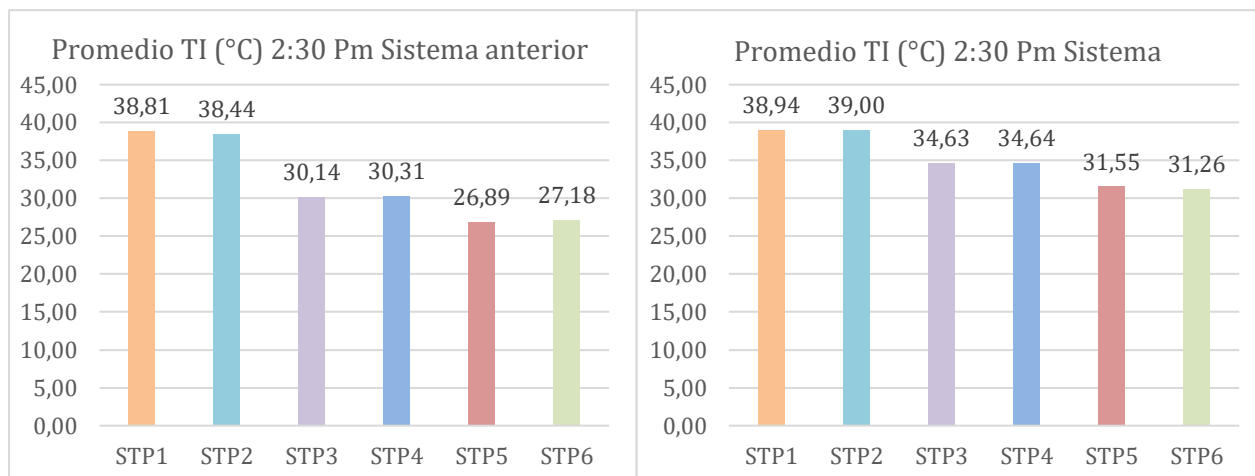


*Fuente.* Elaboración propia en Excel sobre la humedad medida 2:30 Am en los sistemas

La figura 12 muestra el promedio de la humedad relativa medida a las 2:30 Pm en las 6 paseras donde se aprecia en el sistema anterior una humedad relativa mínima de 40,71% medido en la pasera STP1 y una humedad relativa máxima de 62,66% medido en la pasera STP6, que es más alta comparada con la humedad relativa comparada con el sistema diseñado ya que se registró un promedio de humedad relativa mínima de 37,17% medido en la pasera STP1 y un promedio de humedad relativa máxima de 55,96% medido en la pasera STP6.

**Figura 13**

*Promedio Temperatura del Aire Medida En Los Sistemas 2:30 Pm*

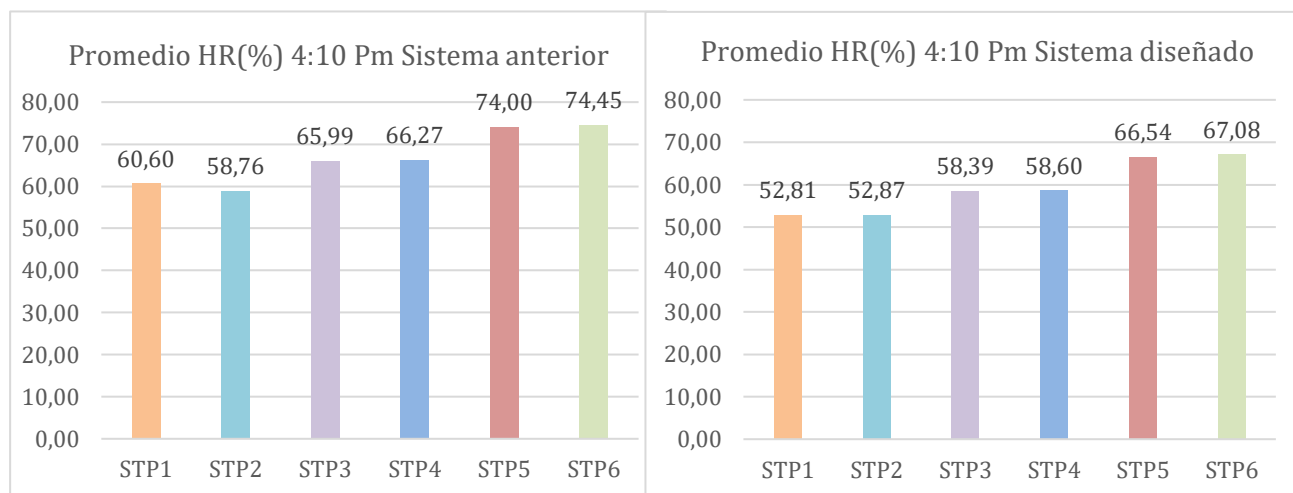


*Fuente.* Elaboración propia en Excel sobre la temperatura interna medida 2:30 Am en los sistemas

La figura 13 muestra las temperaturas promedio medidas a las 2:30 Pm tanto del sistema anterior y para el sistema diseñado, teniendo en cuenta lo anterior en el sistema anterior se identifica una temperatura mínima de 26,89°C medida en la pasera STP5, y una temperatura máxima de 38,81°C medida en la pasera STP1. Comparado con la temperatura medida en el sistema diseñado es visible que es más baja ya que la temperatura mínima medida es de 31,26°C que fue tomada en la pasera STP6 y la temperatura máxima es de 39°C medida en la pasera STP2.

**Figura 14**

*Promedio Humedad Relativa Medida en los Sistemas 4:10 Pm*

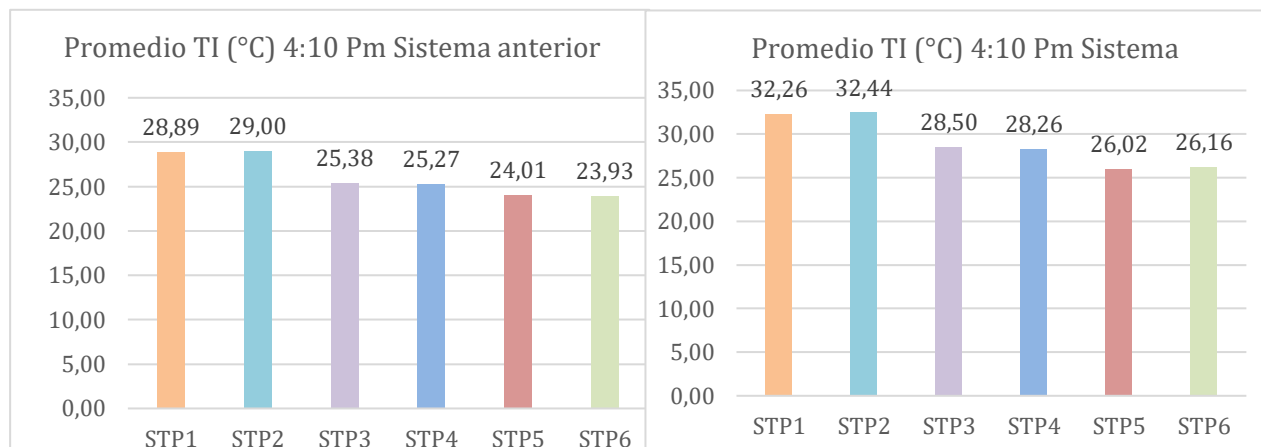


*Fuente.* Elaboración propia en Excel sobre la humedad medida 4:10 Am en los sistemas

En la figura 14 se aprecia la humedad relativa medida a las 4:10 de la tarde, siendo la pasera STP2 donde se obtuvo el promedio más bajo siendo 58,76% en el sistema anterior y en el sistema diseñado la humedad relativa mínima fue en a pasera STP1 con un promedio de 52,81%, por otro lado, la humedad relativa registrada en el sistema anterior fue de 74,45% registrada en la pasera STP6 y en el sistema diseñado se registró una humedad relativa máxima de 67,08% que pertenece al promedio de la pasera STP6.

**Figura 15**

*Promedio Temperatura del Aire Medida En Los Sistemas 4:10 Pm*



Fuente. Elaboración propia en Excel sobre la temperatura interna medida 4:10 Am en los sistemas

La figura 15 muestra la temperatura promedio registrada en ambos sistemas. Se evidencia que en el sistema diseñado la temperatura es más alta que en el sistema anterior, ya que la temperatura mínima en el sistema diseñado es de 26,02°C que fue registrado en la pasera STP5 a diferencia del sistema anterior que la temperatura mínima registrada fue de 23,93° medido en la pasera STP6. Por otro lado, la temperatura máxima promedio en el sistema diseñado fue de 32,44° medido en la pasera STP2 a diferencia del sistema anterior que la temperatura máxima promedio fue de 29°C y fue medido en la misma pasera.

## Conclusiones

Durante el periodo destinado a la identificación de variables, diseño, implementación y evaluación del sistema electrónico con el objetivo de reducir el tiempo de secado del café en secaderos solares brindo conocimientos en la solución de problemas en el mundo real, donde se evidencian bases para futuros proyectos de investigación relacionados a la producción de café que pueden ser abordados desde la ingeniería electrónica.

La humedad relativa a las 8:30 AM se logró obtener una variación en cuanto al sistema anterior se obtuvo un máximo de 88,32% y un mínimo de 69,60%, en el sistema diseñado se obtuvo un máximo de 83,75% y un mínimo de 66,95%. Esto indica cierta mejoría en el control de humedad relativa en las paseras y está relacionado al aumento de la temperatura en cada una de las paseras ya que en el diseño anterior se registró una temperatura mínima de 21,34°C y una máxima de 26,13°C, en el sistema diseñado se registró una temperatura mínima de 23,28°C y una máxima de 28,90°C, el aumento de temperatura acelera el proceso de secado.

En el sistema anterior a las 2:30 PM, se registró una Humedad relativa mínima de 40,71% y una máxima de 62,66% a diferencia de los resultados obtenidos en el sistema diseñado ya que la humedad mínima bajó a 37,17% y una máxima de 55,96%. En el caso de la temperatura mínima pasó de ser 26,89°C a ser 31,26°C y la temperatura máxima paso de ser 38,81°C a ser 39°C, lo que representa que el sistema diseñado posee un control más preciso de temperaturas durante el día.

A las 4:10 PM, se logró observar que la humedad relativa mínima paso de ser 58,76% a ser 52,81 y la humedad máxima paso de ser 74,45% a ser 67,08%. En relación con la temperatura se observó que la temperatura aumento en todas las paseras, ya que en el sistema anterior se tuvo una temperatura máxima de 29°C y una temperatura mínima de 23,93°C y en el

nuevo sistema se registró una temperatura máxima de 32,44°C y una mínima de 26,02°C. Por lo tanto, es posible afirmar que en el transcurso del día se logró un aumento de temperatura del aire lo que generó una disminución de la humedad relativa acelerando el proceso de secado del café.

En conclusión, el análisis de los resultados obtenidos entre los dos sistemas de control reveló diferencias importantes en las variables que intervienen en el secado del café y como el control de estas pueden ayudar a disminuir el tiempo de secado. En este caso se resalta que este sistema permitió que el tiempo de secado se disminuyera en todas las paseras, donde las paseras STP1 y STP2 pasaron de tener 8 días de secado a 7 días, las paseras STP3 y STP4 pasaron de tener 10 días de secado a 9, las paseras STP5 y STP6 pasaron de tener 12 días de secado a 11.

### Referencias Bibliográficas

Bedoya, M. D., Riascos Vanegas, S., & Zambrano Rey, G. (2016). *Caracterización del proceso de secado del café en secaderos solares*. Bogotá.

<https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/38374>

Cruz, G. C., & Vásquez Márquez, L. C. (2022). *Diseño de un secador de café con control automático energizado con un sistema solar fotovoltaico para zonas rurales del departamento de Antioquia*. Medellín.

Magem, J. B. (s.f.). *Informe técnico para construcción de un secador solar de café*. <https://esf-cat.org/wp-content/uploads/2017/04/Informe-t%C3%A9cnico-secador-solar-de-caf%C3%A9.pdf>

Táscon, C. O., Ramírez Gómez, C., Sanz Uribe, J., & Peñuela Matínez, A. (2006). *Secador solar de túnel para café pergamino*. Chinchiná: Editores S.A.

<https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0353.pdf>