



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, SISTEMAS Y
TELECOMUNICACIONES
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

TÍTULO.

**AUTOMATIZACION DEL PROCESO DE SECADO DE CACAO UTILIZANDO TECNOLOGIA 4.0 CON
MONITOREO ONLINE Y RESPALDO CON ENERGIA RENOVABLE**

AUTOR:

Oscar Giovanni Jaimes Blanco

DIRECTOR:

Ing. Msc. Heber Armando Pabon Conde

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,
SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



DEDICATORIA

A mi familia, por dedicarme su amor y confianza, dándome la oportunidad de poder realizar estudios universitarios.

Oscar Jaimes Blanco



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por las bendiciones de tener a mi familia que me apoya.

Gracias al acompañamiento del director de trabajo de grado, para la realización de este proyecto.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	15
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 OBJETIVO GENERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	17
3.2 JUSTIFICACIÓN	17
4. ESTADO DEL ARTE MARCO DE REFERENCIA.....	18
4.1 RESEÑA DEL CACAO.....	18
4.2 SECADO DEL CACAO.....	19
4.2.1 EL SECADO.....	19
4.3 TIPOS DE SECADO.....	20
4.3.1 SECADO NATURAL.....	21
4.3.2 SECADO ARTIFICIAL.....	22
4.3.2.1 SECADO POR CONVECCION.....	22
4.3.2.2 SECADO POR CONDUCCION.....	22
4.4 SECADORES ARTIFICIALES.....	23
4.4.1 SECADOR TIPO ARMARIO.....	23
4.4.2 SECADOR TIPO ROTATORIO.....	24
4.4.3 SECADOR TIPO TUNEL.....	24
5. DISEÑO DEL PROTOTIPO.....	25
5.1 DISEÑO DEL HARDWARE.....	26
5.1.1 ESTRUCTURA DE LA CAMARA DE SECADO.....	26



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



5.2 ZONA DE SECADO DEL GRANO.....	27
5.2.1 SISTEMA DE CALEFACCION.....	28
5.2.2 SISTEMA DE EXTRACCION DE HUMEDAD.....	29
5.2.3 SISTEMA DE ROTACION DEL TANQUE.....	31
5.3 ZONA DE CONTROL.....	32
5.3.1 SISTEMA DE DETECCION DE SEÑALES ANALOGAS.....	33
5.3.2 SISTEMA DE ADQUISICION.....	34
5.3.3 SISTEMA DE POTENCIA	36
5.4 SENSORES.....	36
5.4.1 SENSOR DE TEMPERATURA.....	37
5.4.2 ACONDICIONAMIENTO DEL SENSOR LM35.....	39
5.4.3 SENSOR DE HUMEDAD.....	45
5.5 MODULO SISTEMA DE POTENCIA.....	47
5.6 MODULO CRUCE POR CERO.....	51
5.7 PLACA ARDUINO – SISTEMA DE ADQUISICION.....	52
6. DISEÑO DE SOFTWARE.....	54
6.1 SOFTWARE DE ADQUISICIÓN.....	54
6.2 SOFTWARE DE TRATAMIENTO DE DATOS.....	58
6.3 SISTEMA DE CONTROL.....	61
6.4 LOGICA DE PROGRAMACION	64
7. ACTUADORES.....	68
7.1 RESISTENCIA.....	68
7.2 VENTILADOR.....	69
7.3 MOTOR SINCRONO	71



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



7.4 ANALISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	72
8. RESPALDO DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON ENERGÍAS ALTERNATIVAS.....	73
8.1 ENERGÍAS RENOVABLES.....	74
8.2 INSTALACION DE SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO.....	75
9. DESARROLLO WEB.....	82
9.1 INDUSTRIA 4.0.....	82
9.2 INTERFAZ WEB	83
10. RESULTADOS.....	87
10.1 IMPLEMENTACION DEL SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL SECADO DE CACAO CON MONITOREO ONLINE	87
10.2 CONSTRUCCION DE LA CAMARA DE SECADO	87
10.3 INSTALACION DEL SISTEMA DE CALEFACION	90
10.4 INSTALACION DE SISTEMA DE EXTRACCION DE HUMEDAD.....	90
10.5 INSTALACION DEL SISTEMA DE ROTACION	91
10.6 CREACION DE LA PCB ELECTRONICA	93
10.7 INSTALACION DE SISTEMA DE ADQUISICION	104
10.8 INSTALACION DE LA PLACA ELECTRONICA FINAL	105
10.9 PUESTA EN MARCHA	106
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	111
BIBLIOGRAFÍA.....	112
ANEXOS.....	113



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



LISTA DE TABLAS

- Tabla 1.** Identificación en el datasheet de parámetros eléctricos del sensor LM35
- Tabla 2.** Relación de la temperatura, con el voltaje acondicionado a valores tolerables por el sistema de adquisición, identificando la ganancia necesaria para la configuración del modo no inversor
- Tabla 3.** Caracterización del sensor HT11
- Tabla 4.** Caracterización del optoacoplador MOC3021
- Tabla 5.** Caracterización del Triac Bt136
- Tabla 6.** Caracterización eléctrica de la tarjeta Adquisición, Arduino Uno
- Tabla 7.** Relación del valor analógico con el valor obtenido por el sistema de adquisición
- Tabla 8.** Parámetros y sus valores fundamentales para el proceso del secado de cacao.
- Tabla 9.** Consumo de energía total del prototipo para el secado de cacao, por 1 hora.
- Tabla 10.** Consumo energético real
- Tabla 11.** Tensión nominal de la instalación
- Tabla 12.** Capacidad requerida en las baterías.
- Tabla 13.** Cálculo del número de paneles solares a utilizar
- Tabla 14.** Factor de utilidad del sistema fotovoltaico autónomo
- Tabla 15.** Cálculo de controlador e inversor
- Tabla 16.** Tabla de resultados



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Exposición del grano de cacao al secado natural
- Figura 2.** Secador Tipo Armario
- Figura 3.** Secador tipo rotatorio
- Figura 4.** Secador Tipo Túnel
- Figura 5.** Representación en 3D de la estructura y sus zonas
- Figura 6.** Estructura de la cámara de secado del grano de cacao
- Figura 7.** Sistema de calefacción
- Figura 8.** Sistema de extracción de humedad
- Figura 9.** Diagrama representativo del objetivo del sistema extracción de humedad
- Figura 10.** Sistema de rotación – Tanque contenedor
- Figura 11.** Sistema de rotación – Motor Síncrono
- Figura 12.** Zona de Control y Adquisición
- Figura 13.** Diagrama de bloques conceptual del sistema de detección de las señales analógicas.
- Figura 14.** Representación en diagrama en bloques del sistema de acondicionamiento
- Figura 15.** Diagrama en bloques del Sistema de potencia
- Figura 16.** Representación del sensor LM35
- Figura 17.** Representación de los valores eléctricos característicos del sensor LM35
- Figura 18.** Representación en diagrama de bloques del diseño de acondicionamiento del LM35
- Figura 19.** Configuración de Opamp, modo no inversor
- Figura 20.** Estructura y pines de conexión del Lm358n
- Figura 21.** Diseño electrónico acondicionamiento del sensor de temperatura LM35.
- Figura 22.** Sensor de humedad – Dispositivo HT11
- Figura 23.** Representación de diagrama de bloques la función del módulo de potencia
- Figura 24.** MOC3021, Estructura interna configuración óptica
- Figura 25.** Numeración de los pines del encapsulado, representación de la estructura interna del triac
- Figura 26.** Esquema electrónico del módulo de potencia para cargas alternas
- Figura 27.** Representación de las partes de la tarjeta de adquisición, Arduino Uno
- Figura 28.** Diagrama en bloques de la adquisición de datos
- Figura 29.** Entorno de desarrollo Arduino, declaración de variables



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Figura 30. Sección Void setup, asignación del modo de operación de los variables declaradas

Figura 31. Diagrama en bloques para la captura de los valores análogos con Arduino

Figura 32. Logo de la plataforma Arduino

Figura 33. Diagrama en bloques para obtener valores reales de los parámetros físicos

Figura 34. Esquema de la cámara de secado, con los elementos a controlar involucrados en la automatización del proceso

Figura 35. Diagrama en flujo del sistema de control

Figura 36. Diagrama en bloques de funcionamiento general

Figura 37. Diagrama en bloques funcionalidades interfaz web

Figura 38. Funcionalidad Web – Inicio

Figura 39. Sentencia para la lectura y captura de la muestra de las variables

Figura 40. Diagrama en bloques implementación general del proceso

Figura 41. Uso de la función en lectura de valores análogos del sensor de temperatura

Figura 42. Representación de la función PWM en Arduino

Figura 43. Diagrama en bloques de Funcionalidad Web Grafica

Figura 44. Resistencia

Figura 45. Ventilador

Figura 46. Motor Síncrono

Figura 47. Generador de corriente alterna a base de gasolina

Figura 48. Representación del impacto ambiental, de las tecnologías para energías renovables

Figura 49. Instalación de un sistema fotovoltaico autónomo

Figura 50. Representación de las horas solar pico mensuales promedio, en la región

Figura 51. Características eléctricas del panel

Figura 52. Logo editor Webstorm

Figura 53. Sentencias para la comunicación serial en Webstorm

Figura 54. Sentencias para la creación de un servidor, sockets de emisión y recepción.

Figura 55. Sentencia para la estructura HTML

Figura 56. Interfaz Web - Página principal

Figura 57. Sentencia para la captura de los datos en el entorno JavaScript

Figura 58. Interfaz Web – Grafica

Figura 59. Horno microondas reutilizado

Figura 60. Instalación de láminas de acero inoxidable en la cámara de secado



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



- Figura 61.** Proceso de pintura con anticorrosivo
- Figura 62.** Instalación de sistema de calefacción
- Figura 63.** Instalación del sistema extractor de humedad
- Figura 64.** Instalación del sistema de rotación – motor síncrono
- Figura 65.** Instalación del sistema de rotación – tanque contenedor del grano
- Figura 66.** Esquemático Final – Cruce por cero
- Figura 67.** Esquemático Final – Etapa de potencia
- Figura 68.** Esquemático Final – Acondicionamiento
- Figura 69.** PCB layout – Cruce por cero
- Figura 70.** PCB Layout – Etapa de Potencia
- Figura 71.** PCB Layout – Acondicionamiento
- Figura 72.** Vista en 3D – Etapa de potencia
- Figura 73.** Vista en 3D – Cruce por cero
- Figura 74.** Vista en 3D – Acondicionamiento
- Figura 75.** Baquela de cobre para la fabricación de PCB's
- Figura 76.** PDF para impresión laser – Cruce por cero
- Figura 77.** PDF para impresión laser – Etapa de potencia
- Figura 78.** PDF para impresión laser – Acondicionamiento Lm35
- Figura 79.** Método planchado
- Figura 80.** PCB Fabricada con método planchado – Etapa de potencia
- Figura 81.** PCB Fabricada con método planchado – Cruce por cero
- Figura 82.** Placa Electrónica Final – Sistema de Potencia
- Figura 83.** Placa Electrónica Final – Acondicionamiento
- Figura 84.** Placa Electrónica Final – Acondicionamiento
- Figura 85.** Instalación sistema de adquisición
- Figura 86.** Instalación de la placa electrónica final
- Figura 87.** Cosecha del cacao
- Figura 88.** Desgranado
- Figura 89.** Caja de fermentación
- Figura 90.** Puesta en marcha



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



LISTA DE ECUACIONES

- Ecuación 1.** Voltaje de salida de la configuración no inversor del Opamp
- Ecuación 2.** Ganancia de la configuración modo no inversor del Opamp
- Ecuación 3.** Ganancia de la configuración modo no inversor del Opamp
- Ecuación 4.** Reemplazo de variables
- Ecuación 5.** Despeje de R_f
- Ecuación 6.** Resultado final de R_f
- Ecuación 7.** Resolución del conversor análogo-digital
- Ecuación 8.** Tamaño de paso por bit
- Ecuación 9.** Solución de LSB
- Ecuación 10.** Voltaje obtenido por el sensor
- Ecuación 11.** Energía real consumida
- Ecuación 12.** Capacidad de las baterías
- Ecuación 13.** Numero de paneles solares
- Ecuación 14.** Energía disponible
- Ecuación 15.** Factor de utilidad del sistema fotovoltaico autónomo
- Ecuación 16.** Corriente máxima del sistema autónomo fotovoltaico
- Ecuación 17.** Potencia del inversor

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1.** Datasheet MOC3021
- Anexo 2.** Datasheet Triac BT136



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"
Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



RESUMEN

El presente documento, es el producto de la elaboración de una serie de pasos para darle solución a una necesidad que surge en cierta población de comerciantes, agricultores del grano de cacao del departamento de Arauca, los cuales se ven afectados económicamente, ya que su producción no está siendo tan rentable, de cómo se espera que lo fuera. Por lo que requieren de una aplicación de tecnologías actuales, métodos de ingeniería, que aumenten el nivel competitivo, optimizando los procesos que llevan a cabo para obtener su producción, buscando mejorar la calidad del resultado final del producto, aumento estabilidad en el comercio y dando calidad de vida a sus familias.

El diseño y automatización de una máquina para el proceso del secado del cacao, conforma una investigación sobre todo lo relacionado con la materia prima a realizarle el beneficio, sus principales características que permiten la identificación, brindando parámetros esenciales que serán utilizados en la estructuración de los elementos que conformaran una serie de configuraciones, las cuales brindaran una mejora en el rendimiento de las técnicas utilizadas para realizar la labor del secado de la materia prima, el cacao, en esta ocasión.

La serie de sistemas eléctricos, electrónicos, mecánicos, ejecutarán un proceso que se requiera por medio de tecnologías de la electrónica avanzadas, con las capacidades suficientes para llevar a cabo las tareas, en conjunto con tecnologías de la información que permitirán darle el enfoque de industria 4.0, como es la globalización actualmente de las cosas con internet.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



ABSTRACT

The present document, is the product of the elaboration of a series of steps to give solution to a need that arises in certain population of traders, farmers of the cocoa bean of the department of Arauca, which are affected economically, since its production is not being so profitable, of how it is expected that it was. Therefore, they require an application of current technologies, engineering methods, which increase the competitive level, optimizing the processes they carry out to obtain their production, seeking to improve the quality of the final result of the product, increasing stability in trade and giving quality of life to their families.

The design and automation of a machine for the cocoa drying process, conforms an investigation on everything related to the raw material to be processed, its main characteristics that allow the identification, providing essential parameters that will be used in the structuring of the elements that will make up a series of configurations, which will provide an improvement in the performance of the techniques used to perform the work of drying the raw material, cocoa, on this occasion.

The series of electrical, electronic and mechanical systems will execute a process that is required by means of advanced electronic technologies, with sufficient capacities to carry out the tasks, in conjunction with information technologies that will allow to give the approach of industry 4.0, as is the current globalization of things with internet.

Translated with www.DeepL.com/Translator (free version)



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



1. INTRODUCCIÓN

El cacao en Colombia, especialmente en la región del departamento de Arauca. Se ha convertido en un producto que representa una parte importante para la estabilidad económica, en conjunto con otros productos que se cultivan. Siendo el segundo departamento después de Santander en tener las mayores cifras de producción y exportación del país. Lo que trae consigo que se tenga una materia prima de buena calidad, cumpliendo con estándares estipulados los cuales deben satisfacerse para poder aumentar el precio y así tener unas mejoras en las ganancias que obtendrán los comerciantes, que se encargan de cultivar y realizar todo el trabajo debido para la obtención del producto final.

Se iniciará el libro planteando las problemáticas existentes, conociendo la situación que se les presenta a los comerciantes actualmente, así encontrar los argumentos de porque se debería realizar este proyecto, pudiendo establecer los objetivos que me permitan la automatización del proceso del secado del cacao.

Se realizará un estudio y se planteara un buen lote de referencia de la información relacionada con la materia prima, conociendo cada parámetro que es fundamental para el reconocimiento de la variedad de cacao, como las dimensiones, estructura, las técnicas empleadas a través de la historia para desarrollar los beneficios de la materia prima, como el secado del cacao.

Para cumplir los estándares de calidad que exige el mercado para un producto con alta calidad, se presentara el diseño de una automatización del proceso del secado de cacao, dando solución a los problemas que obstaculicen al agricultor una buena rentabilidad en el producto que desea comercializar, desarrollando un prototipo empleando tecnología que permita un monitoreo online, basándose en el control de los parámetros del cacao.

Presentando un sistema de secado, conformado por elementos eléctricos, electrónicos, realizando un control sobre un proceso adecuado para el grano del cacao, caracterizando sensores, integrados de adquisición, motor, entre otros más. Implementando control con algoritmos buscando los resultados deseados, así concluir los diferentes objetivos para la automatización del secado del cacao.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y Ejecutar la automatización del proceso de secado del cacao utilizando tecnología 4.0. con monitoreo online y respaldado con energía renovable

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Investigar el estado del arte en el proceso del secado de cacao en la región (variables principales, tipos de secado, características del grano, entre otros)
2. Diseñar los circuitos de acondicionamiento y adquisición de señales para la automatización.
3. Desarrollar el sistema autosustentable de respaldo basado en energía fotovoltaica
4. Implementar la puesta en marcha del sistema automatizado, con monitoreo en una interfaz web como enfoque de la industria 4.0



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Los comerciantes del departamento de Arauca se están viendo afectados en la rentabilidad de la producción de grano de cacao. Para tener un producto de calidad, el cacao se enfrenta a diferentes etapas como son el proceso de cosecha, fermentación y secado. Siendo esta última etapa una de las más importantes eliminando la humedad que posee el cacao dándole características esenciales como son sabor y aroma, determinando así mediante el registro de humedad la calidad de producto. Actualmente en la región esa actividad de secado se realiza generalmente con el método de secado natural el cual es exponer el producto luego de fermentar a los rayos del sol requiriendo de grandes extensiones de terreno para regar el grano y manualmente con movimientos permitir una buena circulación del aire, dependiendo totalmente de los factores climáticos siendo esto un inconveniente ya que debe suspenderse el secado en momentos de lluvia. También quedando expuesto a ataques de insectos y aves. Haciendo insostenible este método llegando muchas veces el comerciante a distribuir su producto con altos márgenes de humedad e impurezas desvalorizando todo su trabajo. Esta limitación hacia el comerciante se debe en parte a la nula investigación de tecnologías y análisis de estas que de no ser viables mantendrían a los comerciantes con bajas ganancias sin poder invertir para mejorar la productividad.

3.2 JUSTIFICACIÓN

En el departamento de Arauca el sector cacaotero cuenta con las condiciones necesarias para priorizar al cacao como posible punto de desarrollo económico y social teniendo dimensiones aproximadas de 18mil hectáreas cultivadas produciendo 10mil toneladas al año siendo uno de los principales productores de cacao en Colombia, dependiendo de esta actividad alrededor de 4500 familias generando entre 9mil y 12mil empleos.

Proceso de secado

Las practicas usadas para obtener beneficios de este producto los cuales me definen una calidad tanto en aroma como en sabor, son principalmente la fermentación y el secado



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



de cacao, el cual consta de dos métodos. el secado natural o tradicional el cual es el único empleado actualmente por productores a nivel regional encontrándonos en temporadas donde los factores climáticos no favorecen esta etapa provocando que el producto sea de baja calidad o se pierda. Secados artificiales los cuales representan una inversión alta a la cual los pequeños productores no pueden acceder.

Al diseñar el sistema automático para secado de cacao se busca optimizar ese proceso logrando disminuir el tiempo de secado, la mano de obra presente, reduciendo los grandes lotes de terrenos utilizados para el secado tradicional y analizando un prototipo autosustentable con su consumo energético satisfaciendo los requerimientos de calidad como la humedad, que puedan dar una mayor rentabilidad al comerciante.

4. ESTADO DEL ARTE MARCO DE REFERENCIA

4.1 RESEÑA DEL CACAO

En la antigüedad las civilizaciones existentes en América, como las tribus, no pudieron establecer prácticas para la deshidratación del cacao, debido a que se encontraban en épocas de expansión por lo que tenían que estar desplazándose sin la posibilidad de tener cultivos de tiempos largos.

Cuando las realezas europeas descubrieron la planta, se apoderaron del producto al llegar al nivel de prohibirlo a la venta al público, era tan bueno el producto que se comercializaba clandestinamente por rutas sudamericanas y centroamericanas, expandiendo el producto a nivel mundial. El gusto por el cacao fue aumentando que se preparaban bebidas, productos farmacéuticos, entre otros. Por lo que se requirió que la calidad del mismo fuera siendo la más alta para la industrialización la cual permitió obtener cadenas de procesamiento (Samuel Huayamave Astudillo, 2015), produciendo cacao en polvo y manteca de cacao, estableciendo la industrialización para productos comestibles y medicinales altas inversiones con grandes beneficios contando con amplios sectores que demandan el grano y sus elaborados.

Por todo esto se requiere que la etapa anterior a la industrialización cumpla con los estándares requeridos por las instituciones encargadas que garantizan la buena calidad



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



del grano, ya que las inversiones realizadas tanto para la industrialización como para la producción de la materia prima, se consideran importantes.

El cacao atraviesa por diferentes etapas a tener en cuenta que son: cosecha, fermentación y secado. En este proceso se desarrolla en el grano los aromas y sabores característicos que exigen los estándares, que son los importantes para que los comerciantes puedan darle un alto valor a su producción. El grano luego de ser cosechado se procede a un tratamiento que busca que no germine una raíz convirtiéndose en pérdida.

4.2 SECADO DEL CACAO

Posterior a la etapa de cosecha se somete el grano de cacao a un tratamiento de fermentación enfrentando el grano a cambios de temperatura, que provoquen la no germinación y una humedad característica que oscila entre 55% y 60%, dando las primeras muestras de aroma y sabor a chocolate que se puede usar de apoyo para identificar el avance de la etapa.

El proceso de secado se aplica al grano cuando deseamos reducir la humedad existente del 60% aproximadamente a un valor del 7 o 8 % que es la cantidad recomendada de humedad por la norma, que debe poseer para poder ser almacenado sin inconvenientes, ya que el cacao suele ser un grano higroscópico el cual puede seguir absorbiendo humedad con el tiempo lo que sería un problema por la formación de moho que se puede presentar arruinando el producto.

4.2.1 EL SECADO

Por definición se tiene que el secado, es la deshidratación de partículas, reduciendo los niveles de agua parcialmente, ocasionando cambios físicos y químicos, los cuales generan cambios en el grano como el color y textura.

La eliminación de la humedad es un factor importante, ya que este define la calidad del grano por la cantidad que posea siendo acondicionado para que permanezca en equilibrio con el aire ambiente y no se deteriore por la absorción de humedad al



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



permanecer almacenado preservando las características organolépticas y físicas deseadas, por lo que se debe acondicionar el almacenamiento a lugares con humedad no mayor al 80%.

La historia ha registrado que la eliminación de la humedad en el grano, provoca una pérdida de peso al ser sometido el grano a unas condiciones para lograr cumplir con los estándares del mercado. Dependiendo de los métodos que se utilicen para llevar a cabo esta etapa la rapidez del secado puede ser mayor o menor, dependiendo de condiciones atmosféricas, como de elementos externos que permitan la deshidratación óptima del producto.

De forma general se puede establecer al secado como una aplicación de leyes termodinámicas, que hacen una transferencia de energía, ocurriendo un calentamiento del aire ambiente ya sea de manera natural o forzada, ocasionando que la diferencia de temperaturas cree un cambio en los niveles de la humedad desprendiendo el agua que posee por transferencia de calor sobre el mismo, buscando obtener los niveles deseados para una alta calidad. (Alexis Fabian Barbecho, 2019)

Se considera la etapa de secado una de la más importantes a la hora de poder darle un alto valor al producto por parte del comerciante, siendo también una de las transformaciones del grano que pueden presentar problemas para obtener la calidad deseada, muchas veces provocando pérdidas por no contar con las técnicas adecuadas para satisfacer las condiciones que se establecen para productos de buena calidad, por lo que se hace necesario aplicar un correcto procedimiento.

4.3 TIPOS DE SECADO

En el secado del cacao intervienen muchas condiciones, ya sean con métodos naturales o con materiales que permitan un ambiente controlado, siendo el factor temperatura del aire al cual se le debe aplicar control para crear esos cambios químicos en el grano, que reducirán el porcentaje de humedad que definirán la calidad final del producto.

4.3.1 SECADO NATURAL

El método consiste en la exposición del grano, a unas condiciones en este caso climáticas, procediendo a hacer la eliminación de humedad, con temperaturas altas por la energía solar y la acción del viento que permite la circulación entre los granos causando la evaporación de humedad. Tomándose un tiempo considerablemente alto para completar exitosamente los cambios bioquímicos que deben suceder para que se desarrollen las características que determinan que la calidad.

Es una de las técnicas más utilizadas actualmente por los agricultores que desean comercializar su producto, siendo también la que presenta mayores inconvenientes a la hora de asegurar un producto de muy buena calidad ya que no cuenta con la protección necesaria, ni el control de parámetros, requiriendo de gran mano de obra que permitan un secado óptimo. Por lo que no requiere mucho material para llevarse a cabo, siendo solo requerido grandes espacios, Figura .1 y los factores climáticos suficientes para lograr esa reducción de la humedad.



Figura. 1. Exposición del grano de cacao al secado natural
Fuente: (Amor al chocolate, 2021)



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



4.3.2 SECADO ARTIFICIAL

En el secado artificial encontraremos que se requiere establecer un ambiente controlado, dejando las dependencias por factores climáticos y brindarle más protección de insectos y contaminación, para ello se hace uso de una fuente de calor que será distribuido con ventilación de forma que se cree la misma situación que ocurre en el secado natural donde se tendrán en cuenta los parámetros necesarios para buscar la alta calidad.

El secado artificial cuenta con diferentes tipos para su ejecución:

4.3.2.1 SECADO POR CONVECCION

El Secado por convección se refiere a la deshidratación de un sólido siendo directamente enfrentado con la fuente de calor, lo que conlleva a que se deba tener un cuidado con el manejo de la temperatura, se podría causar una deshidratación rápida en la superficie del grano con la exposición constante, sin regulación de fluido conllevaría a que se queme el grano.

4.3.2.2 SECADO POR CONDUCCION

El secado por conducción hace referencia a la deshidratación de un sólido siendo enfrentado de manera indirecta, por paredes de manera forzada con flujos de aire por medio de paredes que conducirán el aire caliente a la zona en la que se encuentra el sólido, transfiriendo mayor o menor cantidad de calor.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co

4.4 SECADORES ARTIFICIALES

4.4.1 SECADOR TIPO ARMARIO

Es un secador que está conformado por compartimientos o divisiones Figura 2, de forma vertical en el cual se extiende el grano de cacao y se producen gases calientes por medio un calentador a base de GLP (Gas licuado de petróleo), con ventilación forzada para el suministro hacia la cámara de secado, distribuido por una retroalimentación de aire encargados de realizar un calentamiento uniforme (Alexis Fabian Barbecho, 2019).



Figura 2. Secador Tipo Armario
Fuente: (Alexis Fabian Barbecho, 2019)

4.4.2 SECADOR TIPO ROTATORIO

Un secador conformado de una estructura para el secado de cacao, de forma cilíndrica Figura 3, contando con un suministro de gases calientes que se introducen a la cámara para realizar el proceso de deshidratación. Prestando un servicio de secado óptimo al contar en su estructura con aspas que le dan un movimiento al grano cierto tiempo para evitar acumulaciones en el tanque cilíndrico y así oxigenar los granos para un secado más cercano a los estándares. (Alexis Fabian Barbecho, 2019)



Figura 3. Secador tipo rotatorio
Fuente: (Alexis Fabian Barbecho, 2019)

4.4.3 SECADOR TIPO TUNEL

El sistema de este secador tipo túnel se puede comparar en su estructura con el tipo armario, extendiendo el grano sobre planchas o canastas, trasladándolas en una banda transportadora Figura 4., a través de una cámara con gases calientes que realizan el proceso de deshidratación, siendo evacuado el producto seco en un punto externo de donde se introdujo el grano. (Alexis Fabian Barbecho, 2019)



Figura 4. Secador Tipo Tunel
Fuente: (Alexis Fabian Barbecho, 2019)

5. DISEÑO DEL PROTOTIPO

La elaboración de un prototipo se basa en la recolección y análisis de la información relevante para el secado del cacao, determinando los parámetros necesarios que me brinden las pistas para realizar un diseño que se ajuste a los requerimientos.

Se realizara un secado artificial de acuerdo al estudio de las referencias donde se establecieron ventajas y desventajas de este proceso en comparación con el secado natural.

Tabla. Ventajas y Desventajas del Secado Artificial

VENTAJAS	DESVENTAJAS
• Mejor calidad en el resultado	• Bajo control en propiedades organolépticas
• Menor tiempo de secado	• Costos: Estructuras y consumo.
• Se tiene mas inocuidad con el producto	
• El Área utilizada es menor	

La máquina para el proceso de secado debe llevar a cabo la función de ingresar aire caliente, aplicando la transferencia de calor a una cámara de secado para el grano, tipo rotatorio para aplicar movimiento constante al grano, pasando por un proceso de



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



oxidación por el flujo de aire caliente uniforme entre las superficies del grano, extrayendo la humedad interna. (Samuel Huayamave Astudillo, 2015)

El prototipo se encargará de establecer un rango de temperaturas adecuados para el tratamiento del grano de cacao, rondando entre 50°C – 60°C, referenciando una correcta deshidratación en estos valores, ya que temperaturas más altas provocan una deshidratación no uniforme sobre el grano, causando quemaduras y reacciones químicas que alteran las características organolépticas del grano y no cumpliendo con los valores de humedad requeridos de 7 ó 8 %

máximo, con porcentajes más altos el grano tiende a absorber humedad proporcionalmente. (HENRY ALFONSO GILCES VERA, 2013)

Se tiene en cuenta para la elaboración de diseños, las cantidades a expresar de secado serán dimensionadas de acuerdo al prototipo realizado, para establecer un rango comparativo en el factor utilidad para la viabilidad a pequeños agricultores.

La etapa de secado al ser uno de los momentos críticos que definen si se tiene un producto de calidad, es indispensable poder tener una información certera de los parámetros involucrados en el proceso de secado, pudiendo determinar cuando el cacao esta en el valor que exigen los estándares, por ello se basaran los diseños en un sistema para poder detectar las variables, establecer un sistema de adquisición que permita procesarlas y darle un manejo remoto, implementado tecnologías para un enfoque de la industria 4.0, con valores precisos y en tiempo real, que el usuario este enterado de los cambios que le están sucediendo a su producto y tenga la garantía de una alta calidad, respaldado con energías renovables. (JIMÉNEZ, 2018)

5.1 DISEÑO DEL HARDWARE

5.1.1 ESTRUCTURA DE LA CAMARA DE SECADO

En la implementación de secado artificial, se apropió de una definición para los casos de ambientes controlados, los cuales se pueden establecer como invernaderos que se

constituyen, por zonas características, cumpliendo ciertas funciones que se complementan, obteniendo como resultado unas condiciones artificiales como son variaciones de temperatura, excesos de humedad en el prototipo a diseñar. (García, 2015)

La estructura para el prototipo utilizara materiales acordes a las normas alimenticias, que se puedan apropiar de la región logrando hacerlo accesible.

Los invernaderos o ambientes controlados se pueden conformar por dos zonas básicas Figura 5.,

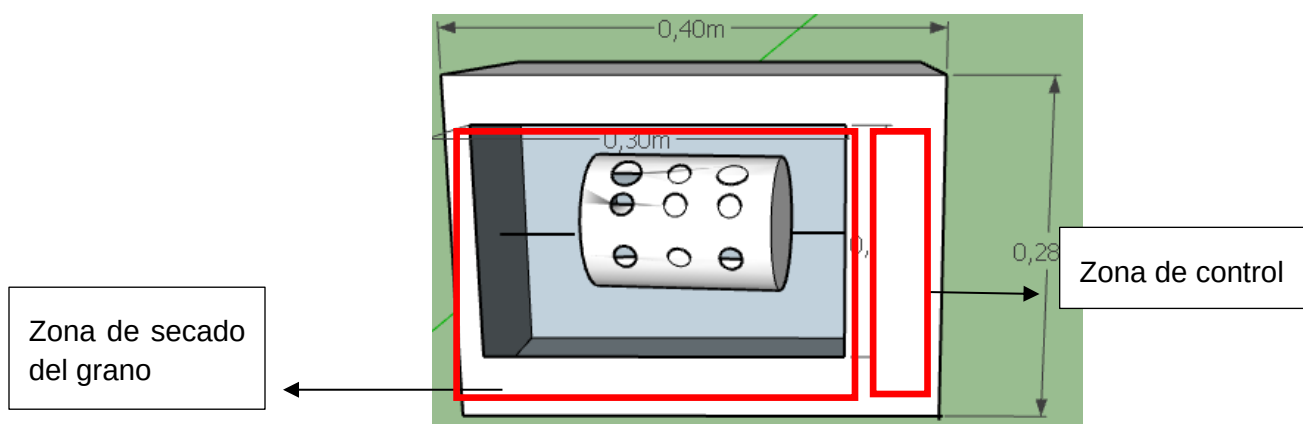


Figura 5. Representación en 3D de la estructura y sus zonas
Fuente: (García, 2015)

5.2 ZONA DE SECADO DEL GRANO

la zona del secado del grano, es donde se presentarán las variaciones de temperatura, detección de las variables a procesar para el secado optimo.

En el diseño del prototipo consta de un recinto Figura 6., que permita el ingreso del grano de cacao y conserve el aire caliente por el aumento de temperatura provocado por demás

elementos ajustados a la estructura. De acuerdo a las dimensiones de la estructura se definirá la capacidad de grano que puede secar la máquina.

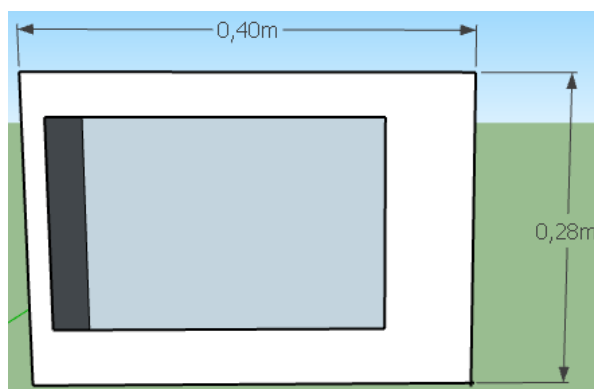


Figura 6. Estructura de la cámara de secado del grano de cacao

Fuente: El autor

Las dimensiones de la estructura de acero inoxidable comprende los valores de :

- Alto : 28 cm
- Ancho : 28 cm
- Largo : 40 cm

5.2.1 SISTEMA DE CALEFACCION

La cámara de secado cuenta con un sistema para el aumento de la temperatura dentro de la cámara de secado, utilizando un dispositivo que permita la transferencia del calor, deberá estar ajustado en la estructura de manera que logre un calentamiento del aire con

las menores pérdidas de temperatura pudiendo conservar el calentamiento del aire lo mas optimo posible para lograr un efectivo proceso de secado Figura 7.

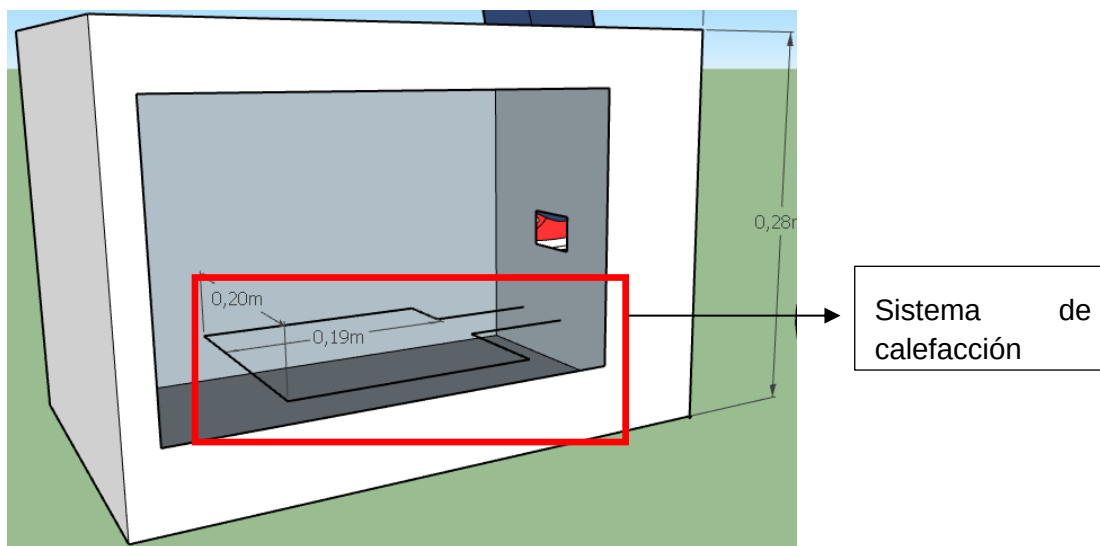


Figura 7. Sistema de calefacción
Fuente: el autor

5.2.2 SISTEMA DE EXTRACCION DE HUMEDAD

La cámara de secado cuenta con un sistema de extracción de humedad, representado por un ventilador Figura 8, el cual se encarga de mantener la cámara con niveles de humedad deseados, ya que, a través de las diferencias de temperaturas, se produce un desprendimiento de humedad por evaporación, acumulándose en la cámara de secado, produciendo un efecto adverso a las características químicas del grano de cacao.

Ubicado en la parte superior, evitando que ese aire caliente que se extrae haga contacto con algún usuario pudiendo causar lesiones. traslada la humedad acumulada en la cámara de secado hacia el aire ambiente, realizando este proceso a medida que va haciendo los cambios en sus parámetros por acción de la transferencia de calor.

buscando que la temperatura no se exceda y llegue a niveles críticos, a la vez en conjunto establece los niveles de humedad estándares de alta calidad en 7 ó 8 % Figura 9.

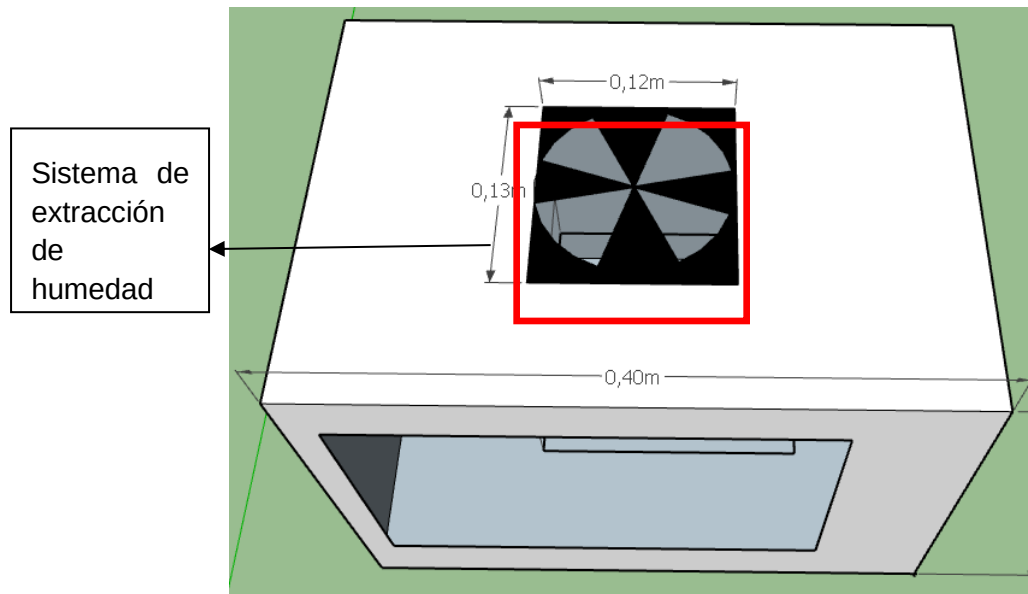


Figura 8. Sistema de extracción de humedad
Fuente: El autor



Figura 9. Diagrama representativo del objetivo del sistema extracción de humedad
Fuente: (Alexis Fabian Barbecho, 2019)

5.2.3 SISTEMA DE ROTACION DEL TANQUE

La cámara de secado cuenta con un sistema de rotación del tanque, el cual contiene el grano de cacao húmedo, que será sometido al proceso de secado, será representado por el tanque contenedor Figura 10, que soportara las variaciones de temperatura, en conjunto en su estructura cuenta con unas aspas que crean un movimiento de inercia al grano, realizando volcadadas del montón de granos permitiendo que fluya entre ellos aire caliente uniformemente, dando paso a una reacción de oxidación que da las características necesarias para considerarlo de buena calidad.

Se establecerá una cantidad de producto, que se dimensionara de acuerdo al contenedor con el que contemos en el prototipo de la cámara de secado.

El tanque contenedor es de forma cilíndrica, con las siguientes medidas:

- Altura: 25 cm
- Radio: 6 cm

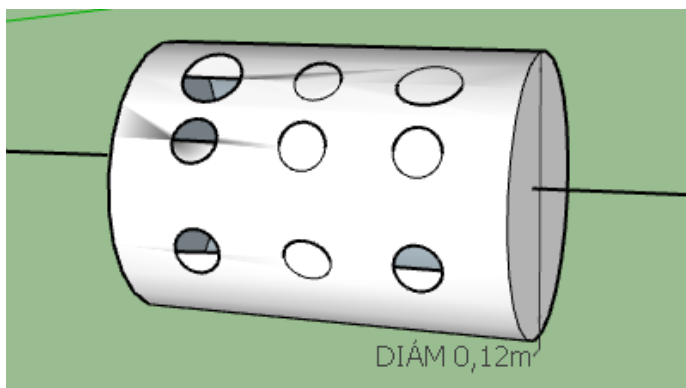


Figura 10. Sistema de rotación – Tanque contenedor
Fuente: El Autor

Con las medidas anteriores del tanque contenedor se procede a realizar el cálculo de los volúmenes que me definirán la cantidad de masa a secar por el prototipo realizado.

El volumen de la cama compacta será el volumen capaz de contener el tanque cilíndrico dado por la siguiente ecuación:



$$V_c = \pi * r^2 * h$$

Ecuación del volumen de un cilindro

$$V_c = \pi * (0.06m)^2 * 0.25m$$

$$V_c = 0.00282 m^3$$

Se procede a calcular el volumen de solido que contendrá el tanque relacionándolo con la densidad del grano a una humedad del 60%. El volumen de solido del grano a una humedad del 60% se fundamenta por la forma geométrica de este. Estableciendo una fracción E, la cual referenciando las pruebas ya realizadas por otros proyecto, se realizo experimentalmente donde se obtiene ese valor llenando un recipiente con granos de cacao, el volumen de agua que se pueda introducir relaciona el volumen total del grano.

$$V_c = \frac{V_s}{1 - E}$$

Ecuación volumen del solido

Fuente: (HENRY ALFONSO GILCES VERA, 2013)

Donde:

V_c: Volumen total del tanque

V_s: Volumen de solido a 60% humedad

E: fracción que relación volumen de grano y vacios en un volumen dado.

$$V_s = V_c(1 - E)$$

$$V_s = (0.00282 m^3) * (1 - 0.41904)$$

$$V_s = 0.00163 m^3$$

Volumen de solido del grano a humedad del 60%



El volumen de sólido relaciona una cantidad de masa a secar del grano, con la densidad del cacao húmedo, estableciendo con estudios referentes que la densidad de cacao a una humedad del 60% es aproximadamente 500 kg/m³.

$$\text{Volumen sólido} = \frac{\text{masa a secar}}{\text{densidad de cacao húmedo}}$$

Ecuación. Relación de masa a secar y densidad de cacao húmedo

Fuente: (HENRY ALFONSO GILCES VERA, 2013)

$$\text{masa a secar} = V_s * \text{Densidad}$$

$$\text{masa a secar} = 0.00163 \text{ m}^3 * 500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{masa a secar} = 0.815 \text{ kg}$$

Consecuentemente se tiene que para un contenedor cilíndrico de dimensiones:

Altura : 25 cm

Radio: 6 cm

Contando con que el tanque se debe llenar a la mitad de la capacidad para que alberque un espacio con aire y permitir la oxigenación del grano al momento de la rotación, se puede secar una cantidad de masa de grano de cacao aproximadamente 0,500 kg.

La otra parte del sistema de rotación del tanque, está representado por un motor con funcionamiento síncrono Figura 11., dándole movimiento al tanque contenedor con ciertas RPM (revoluciones por minuto), que a su vez permite el movimiento del grano dentro del mismo, provocando la reacción mencionada anteriormente.

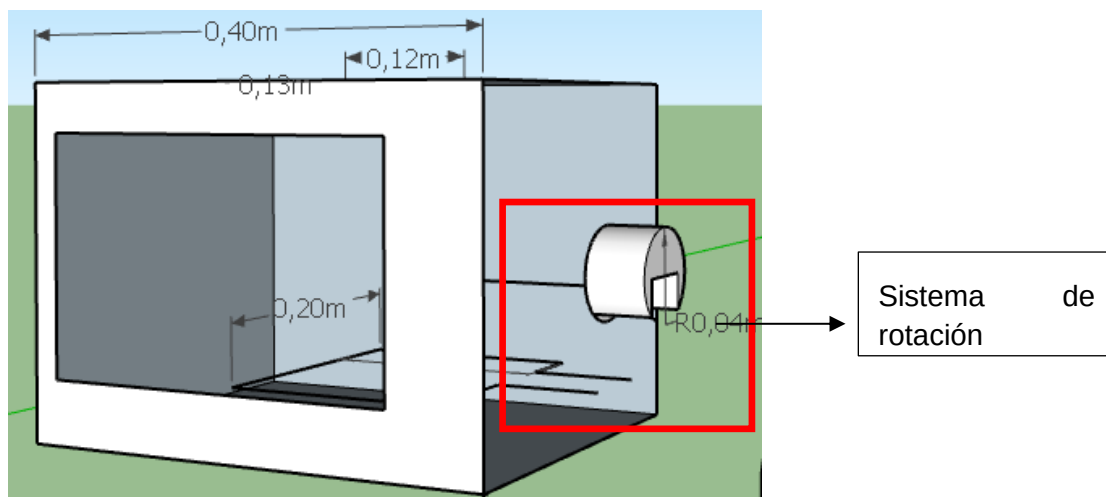


Figura 11. Sistema de rotación tanque – Motor Síncrono
Fuente: El Autor

5.3 ZONA DE CONTROL

La zona de control será la encargada, de considerar todas las variables presentes en la cámara de secado del grano, interpretando las señales análogas que intervienen en cada cambio que le ocurre al grano, con sensores disponibles que me permitan detectarlas, siendo luego procesadas, y monitoreadas a través de tecnología adecuada que me brindan facilidades en este proceso de secado, controlando la máquina, realizando un proceso queriendo obtener beneficios a la producción del grano de cacao Figura 12.

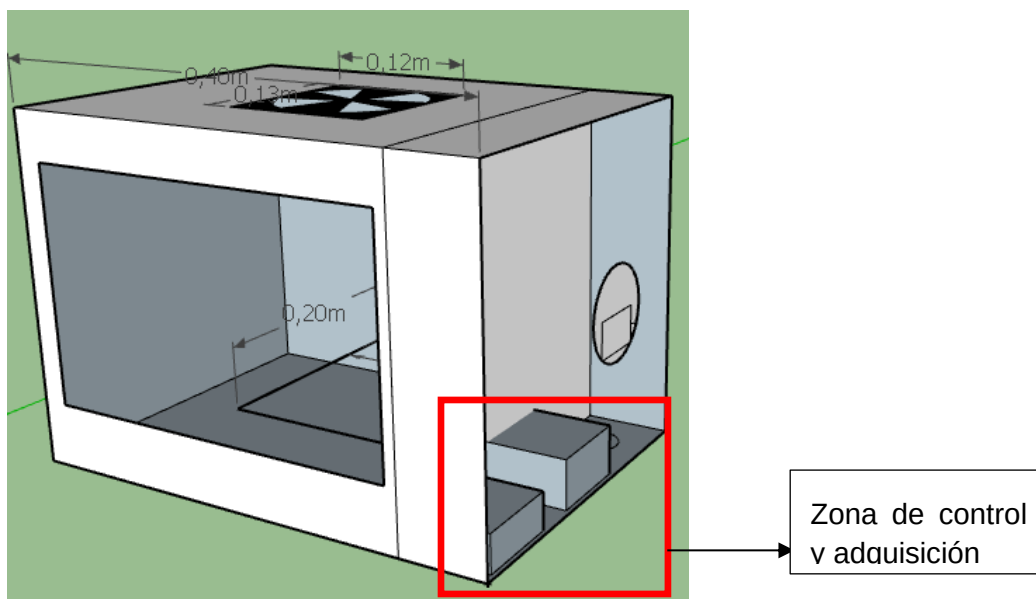


Figura 12. Zona de Control y Adquisición
Fuente : El Autor

5.3.1 SISTEMA DE DETECCIÓN DE SEÑALES ANALOGAS

La cámara de secado cuenta con un sistema que me permite percibir y detectar los cambios de las variables análogas, involucradas en el proceso del secado de cacao. Está representado por un conjunto de elementos electrónicos que forman un dispositivo sensor para las diferentes variables.

Se ha establecido anteriormente que la cámara de secado, en especial en el grano debe operar la transferencia de calor a ciertas temperaturas, referenciados en estudios, donde se indicaba que un rango de 55° a 60°C, es un margen donde el grano ni se fermenta y tampoco tenemos efectos no deseados en el aumento de temperaturas.

La detección de la temperatura real promedio en la que se necesite establecer el Setpoint escogido, se acondicionara mediante diseño electrónico, de manera que la señal análoga procedente de la temperatura promedio en la cámara de secado, sea convertida a señales eléctricas posible de hacerle un tratamiento posterior Figura 13.

El factor mas importante que determinara la calidad absoluta del grano, es la humedad, siendo el estándar requerido, un rango de valores entre 7 y 8%, lo que conlleva al trabajo, de la extracción de la misma procediendo a disminuir los niveles con los que se encuentra en la cámara. Siendo necesario someter la variable análoga al mismo proceso anteriormente mencionado para la temperatura.

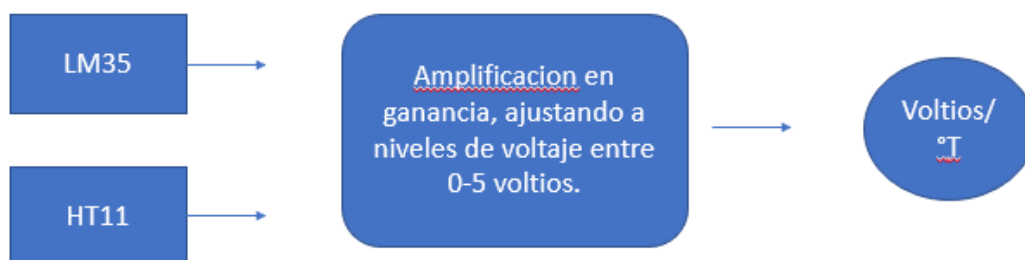


Figura 13. Diagrama de bloques conceptual del sistema de detección de las señales análogas

Fuente: El Autor

5.3.2 SISTEMA DE ADQUISICION

En esta etapa se realiza la captura de los valores que se determinaron en el sistema de detección de variables, relacionando la temperatura con un voltaje correspondiente según el acondicionamiento aplicado en el dispositivo sensorico.

Procediendo de esa captura de valores se realiza un tratamiento, el cual es la conversión de esos valores eléctricos analógicos, a valores digitales posibilitando el poder registrarlas y procesarlas, por un medio como una computadora o algún sistema embebido, para su posterior monitoreo online el cual es objetivo del diseño del prototipo Figura 14.

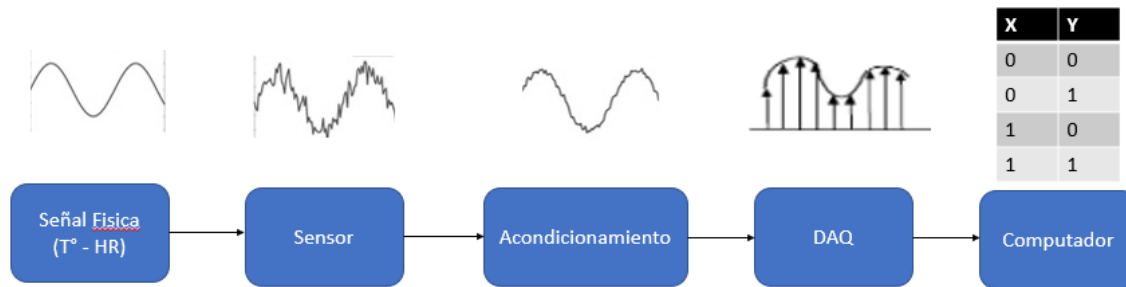


Figura 14. Representación en diagrama en bloques del sistema de acondicionamiento.
Fuente: (JIMÉNEZ, 2018)

El conversor analógico – digital para cumplir con su propósito cuenta con una serie de pasos, los cuales, para una captura de los valores reales, debe cumplir una condición de trabajo, declarando que debe mínimo tener una frecuencia de muestreo, de 2 veces la frecuencia de la muestra, conocido como teorema de Nyquist.

Otros parámetros a tener en cuenta en la elección de un conversor analógico – digital, para poder tener medidas con buena precisión, aunque también pueden presentar que se vuelva un poco lenta la transmisión (JIMÉNEZ, 2018):

- Rangos de entrada
- La resolución
- Cantidad de bits

5.3.3 SISTEMA DE POTENCIA

La zona de control cuenta con un sistema de potencia, representado por un conjunto de elementos electrónicos, diseñados de forma que se obtiene un dispositivo capaz de activar cargas de corriente alterna para el control de la cámara de secado, por medio de los sistemas distribuidos para el control del ambiente en el proceso de secado Figura 15.

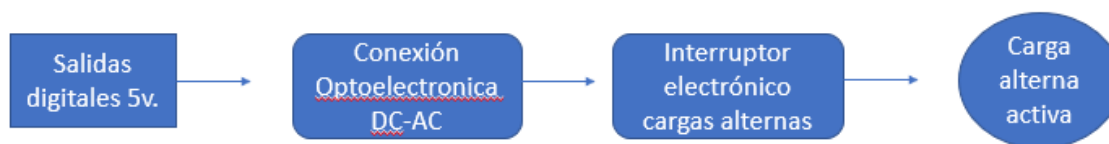


Figura 15. Diagrama en bloques del Sistema de potencia
Fuente: El Autor

Lo primordial de este sistema de potencia, es la protección que brinda a los circuitos de adquisición y acondicionamiento, aislando el diseño con una configuración optoelectrónica básica entre los componentes alternos, como el sistema de calefacción que requiere una considerable cantidad de energía eléctrica y los de baja potencia.

5.4 SENSORES

En la elaboración del acondicionamiento de los parámetros físicos involucrados en el proceso de secado del cacao se requiere hacer uso de diferentes transductores, que son los encargados de pasar las señales físicas, en señales eléctricas que podamos realizar una configuración de diseños electrónicos, interpretando que está sucediendo con los parámetros que deseamos detectar y analizar.

5.4.1 SENSOR DE TEMPERATURA

En la búsqueda de un cacao de alta calidad, se estableció que se requiere del enfrentamiento de un flujo de aire caliente con el sólido, procediendo así a la deshidratación del grano del cacao disminuyendo sus niveles de humedad. Por lo que se hace necesario saber la temperatura existente en la cámara de secado, y realizar un proceso de secado artificial.

El sensor a utilizar en el prototipo es un LM35 Figura 16, siendo un sensor de temperatura que funciona variando valores de voltaje, respecto a los cambios de temperatura, los cuales cuentan con buena precisión debido a un coeficiente de temperatura que posee, determinando la cantidad de voltaje por grado centígrado medido Figura 17.

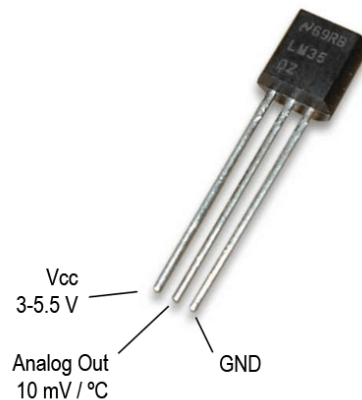


Figura 16. Representación del sensor LM35

Fuente: (Llamas, 2016)



La identificación de los pines del LM35 se caracterizan a continuación:

- Vcc (pin 1): Alimentación positiva al sensor LM35
- Analog Out(Pin2): Voltaje de salida del sensor LM35 expresado en $V/^{\circ}C$
- GND(Pin3): Tierra del sensor LM35

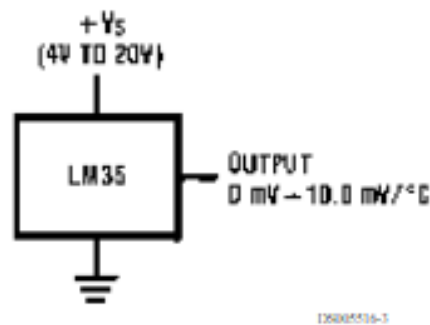


Figura 17. Representación de los valores eléctricos característicos del sensor LM35

Fuente: (Llamas, 2016)

Tabla 1. Identificación en el datasheet de parámetros eléctricos del sensor LM35

CARACTERISTICA ELECTRICA	VALOR
Voltaje alimentación	4- 30 [v]
Rango de temperatura	-55 a 150 [°c]
Exactitud	(+ o -)2 [°C]
Salida	10 [mV/°c]

5.4.2 ACONDICIONAMIENTO DEL SENSOR LM35

El acondicionamiento es un diseño electrónico, encargado de poder brindarme valores aceptables para el sistema de adquisición, ya que los voltajes de salida del sensor son relativamente pequeños, teniendo la necesidad de poder aumentar su valor a un rango que permita su captura sin mayores inconvenientes.

Sabiendo que el sistema de adquisición tolera valores de entrada para ser procesadas entre los 0 – 5 voltios, se procede a desarrollar un diseño con amplificadores operacionales, que tenga una ganancia suficiente, para alcanzar el rango deseado, estableciendo una comparación de los valores obtenidos con la amplificación, y la temperatura presente en la cámara de secado figura 18.



Figura 18. Representación en diagrama de bloques del diseño de acondicionamiento del LM35

Fuente: El Autor

Características de las variables presentes en la figura 18:

- V_{in} : Voltaje de entrada procedente del sensor de temperatura LM35
- K : Ganancia del amplificador operacional
- V_{out} : Voltaje de salida resultado del acondicionamiento

El diseño realizado se basó en una configuración de amplificador operacional no inversor Figura 19,

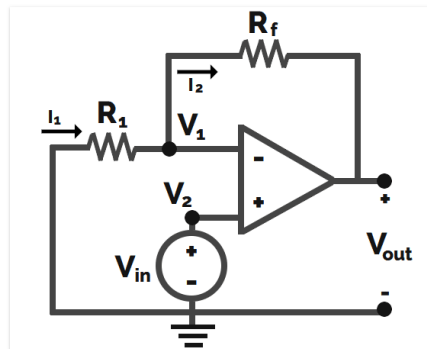


Figura 19. Configuración de Opamp, modo no inversor

Fuente: (Facil, 2020)

Esta configuración no inversora, me entrega los valores de salida con la misma polaridad del voltaje de entrada Ecuacion1.,



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_f}{R_i}\right) * V_{in} \quad \text{Ecuacion1.}$$

Donde :

- V_{out} : Voltaje de salida del amplificador operacional
- R_i, R_f : Resistencias para el ajuste de la ganancia
- V_{in} : Voltaje de entrada al amplificador operacional

para obtener el rango de valores deseados se realiza una amplificación en la señal física, multiplicando el voltaje de entrada del sensor LM35, con una ganancia ajustada, la cual va a estar definida por la Ecuacion2, según el valor a ajustar.

$$A_v = 1 + \frac{R_f}{R_i} \quad \text{Ecuacion2.}$$

Donde:

- A_v = Ganancia del amplificador operacional

El ajuste de voltajes tolerados por el sistema de adquisición a relacionar con los rangos de temperatura, tendrán en cuenta los valores de resistencias R_f y R_i correspondientes para acondicionar la señal del sensor lm35, con la ganancia necesaria. Tabla 2.



Tabla 2. Relación de la temperatura – voltaje.

Temperatura [°c]	Voltaje entrada [v]	Ganancia (k)	Voltaje de salida (Acondicionado) [v]
1	0.01	5	0.05
10	0.1	5	0.5
20	0.2	5	1
50	0.5	5	2.5
100	1	5	5

Se realizó el cálculo de los valores correspondientes para las resistencias, basando la ganancia en un valor de 5, siendo la ganancia necesaria para obtener los voltajes requeridos para la adquisición, al operarlos con el voltaje de la señal física de temperatura.

A_v = Ganancia del amplificador operacional

R_i = Resistencia en la entrada inversora

R_f = Resistencia de retroalimentación



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



$$A_v = 5; R_i = 1k \text{ ohm}$$

$$A_v = 1 + \frac{R_f}{R_i} \quad \text{Ecuacion 3.}$$

$$5 = 1 + \frac{R_f}{1k} \quad \text{Ecuacion 4.}$$

$$R_f = (5 * 1k) - 1 \quad \text{Ecuacion 5.}$$

$$R_f = 4,9k \quad \text{Ecuacion 6.}$$

En la implementación de la configuración modo no inversor, se utilizó el dispositivo amplificador operacional LM358N Figura 20, permitiendo una alimentación no dual, con las siguientes características (Electronica, 2020):

- Tensión de alimentación mínima: 1.5 V
- Tensión de alimentación máxima: 16v

- Cantidad de Amplificadores Operacionales: 2
- Velocidad de respuesta: 0.1 V/us
- Alta ganancia
- Ancho de banda 1Mhz
- 8 pines

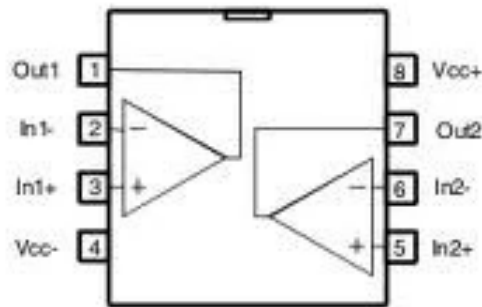


Figura 20. Estructura y pines de conexión del Lm358n
Fuente: (Electronica, 2020)

Se realizó el diseño electrónico en el programa proteus, el cual me permite comprobar por medio de simulación que los valores seleccionados, me otorgan los resultados esperados Figura 21.

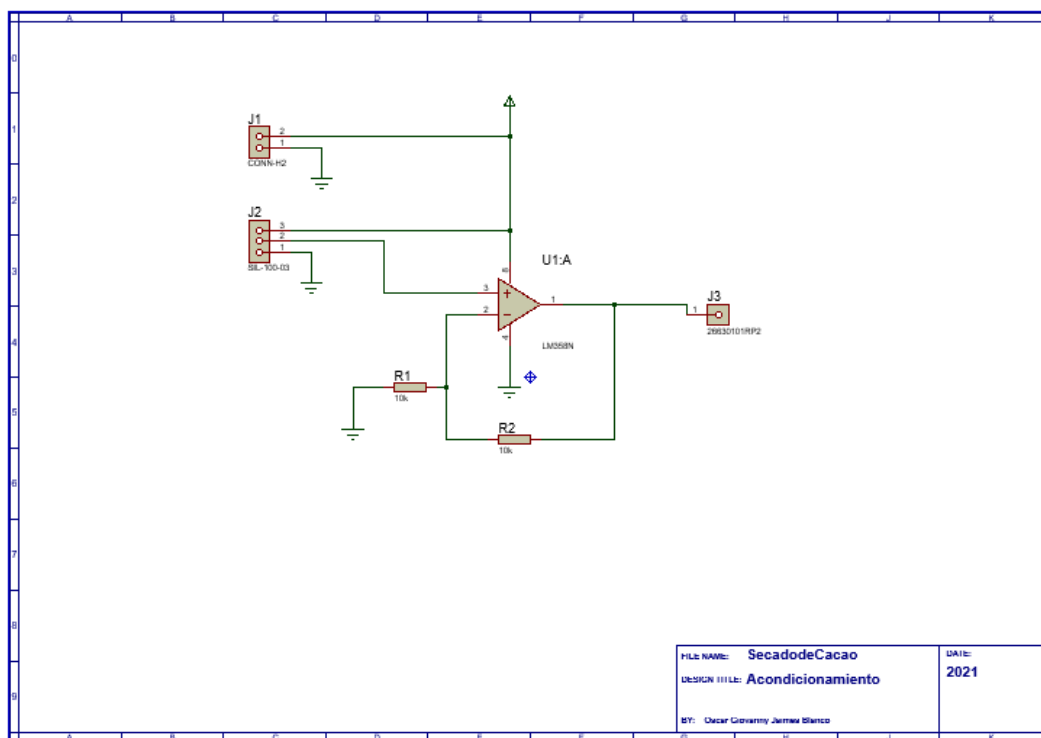


Figura 21. Diseño electrónico acondicionamiento del sensor de temperatura LM35.
Fuente: El Autor

5.4.3 SENSOR DE HUMEDAD

Se ha definido de una manera clara, por qué este parámetro físico de la humedad, es el factor relevante que determinara la calidad final del cacao, siendo la exigencia porcentual de un 7 o 8%, estableciendo que tiene una importancia grande, por lo que el poder obtener esos datos, se hace una necesidad clara, lo que nos permitirá monitorearla y dar como resultado una garantía de que se encuentra la materia prima con la humedad que se rige en la norma.

Esta labor de detectar el parámetro de la humedad, será realizado por el dispositivo HT11 Figura 22, el cual brinda una salida digital, correspondiente a los niveles de humedad

ajustados en su acondicionamiento, ya que cuenta integrado un sistema electrónico realizando el proceso de conversión análogo – digital explicado para el sensor de temperatura. Esto permite conectar al sistema de adquisición directamente sin realizar circuito de acondicionamiento externo, lo que representa una ventaja para estas regiones, donde es escaso conseguir material electrónico (Garcia, 2015).



Figura 22. Sensor de humedad – Dispositivo HT11
Fuente: (Garcia, 2015)

Identificación de los pines de conexión del sensor de humedad HT11 (Garcia, 2015):

- Pin 1(Vcc): Alimentación del sensor
- Pin 2(Data): señal de salida del sensor HT11
- Pin 3(NC): sin conexión
- Pin 4(GND): Masa del circuito

Características eléctricas del sensor HT11 Tabla3:

Tabla No 3. Caracterización del sensor HT11

CARACTERISTICA ELECTRICA	HT11
Voltajes de alimentación [Vdc]	$3 \leq V_{cc} \leq 5$
Rango de medición de la humedad [%]	20 a 90
Precision [%]	4
Resolucion [%]	1
Tiempo de respuesta [s]	1
Señal Salida	Digital

5.5 MODULO SISTEMA DE POTENCIA

La cámara de secado está conformada por una serie de sistemas, con el objetivo de mantener el ambiente controlado óptimamente, para realizar el proceso de secado y obtener un producto final con una humedad del 7 o 8%, la cual será monitoreada, brindando información que garantiza una buena calidad del producto.

Los sistemas mencionados con anterioridad, cuentan con mecanismos que funcionan a base de corriente alterna, en el cual encontraremos dispositivos que consuman una cantidad de potencia que pueda llegar a ser perjudicial, ya como se explicó en el apartado correspondiente.

Por lo que la creación de este módulo es de gran importancia, permitiendo trabajar con potencias altas, en este caso las cargas alternas, en conjunto con los circuitos de baja potencia, teniendo una protección al contar con un dispositivo que conecta y aísla al



mismo tiempo las 2 secciones de circuitos, con intensidades de hasta 10A (Alexis Fabian Barbecho, 2019).

El circuito implementado para el módulo de potencia, utiliza una configuración bastante útil, por medio de una señal de activación de la carga correspondiente, la cual utilizan 5v, se conectan cargas de alta potencia con total aislamiento entre los circuitos Figura 23, con 2 componentes electrónicos a resaltar:

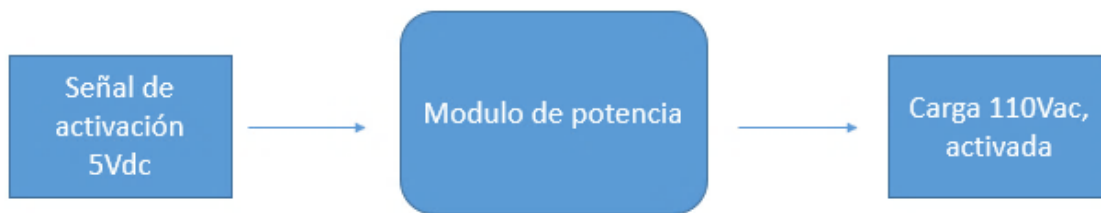


Figura 23. Representación de diagrama de bloques la función del módulo de potencia

Fuente: El Autor

- MOC3021

Es un optoacoplador, encargado de recibir la señal de activación de la carga alterna utilizando una configuración interna de iluminación Figura 24, permite conectar el dispositivo de control de la carga alterna, aislando las 2 secciones de alta y baja potencia.

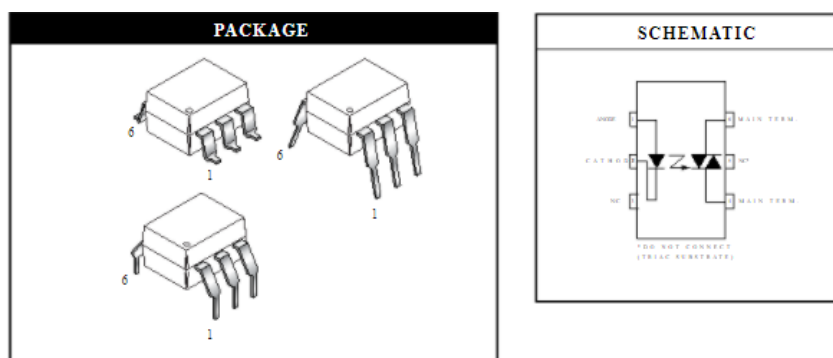


Figura 24. MOC3021, Estructura configuración interna

Fuente: Datasheet. Anexo 1.

Entre las características más importante a tener en cuenta para el diseño Tabla 4.:

Tabla 4. Caracterización del optoacoplador MOC3021

CARACTERISTICA ELECTRICA	VALOR
Voltaje emisor	3 – 5 [V]
Corriente máxima emisor	60 [mA]
Corriente Receptor	1 [A]
Voltaje receptor	400 [V]
Canal de aislamiento óptico	1

- TRIAC BT136

Dispositivo electrónico ampliamente utilizado en aplicaciones con corriente alterna, por la configuración interna Figura 25, brinda facilidades para realizar los diseños con grandes márgenes de potencia, entre las características más importantes a tener en cuenta para el diseño Tabla 5:

Tabla 5. Caracterización del Triac Bt136

CARACTERISTICA ELECTRICA	VALOR
Voltaje máximo de disparo de puerta	1.5 [V]
Voltaje de bloqueo pico	600 [V]
Corriente nominal (T° menor a 100°C)	4 [A]

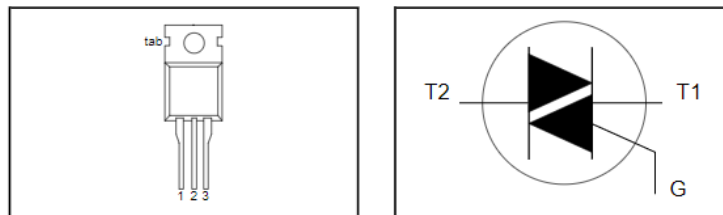


Figura 25. Numeración de los pines del encapsulado - representación de la estructura interna del triac

Fuente: Datasheet. Anexo2

Se procedió a diseñar el módulo de potencia en el programa proteus, tomando como referencia la información de cada componente adecuando los valores por defecto que buscan una activación del Triac cercana a la información recomendada del fabricante para un funcionamiento optimo Figura26.

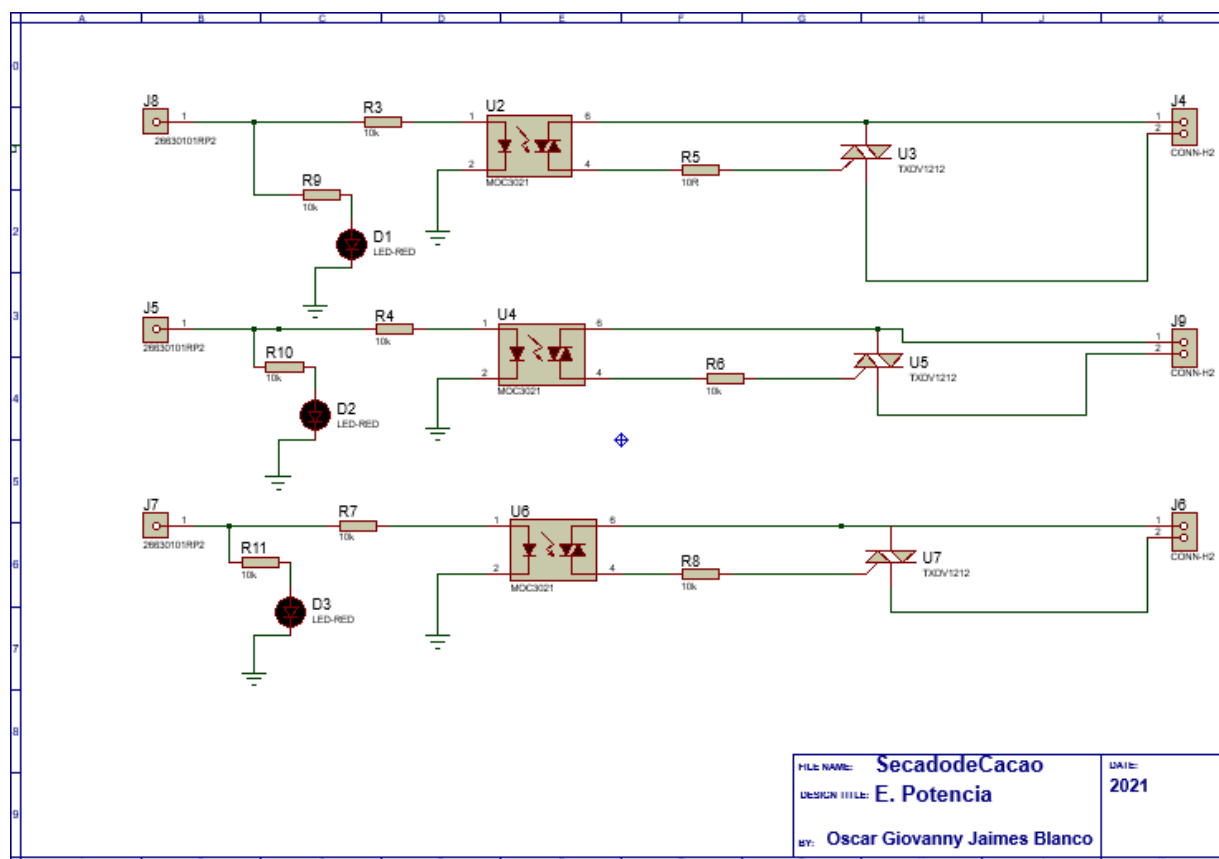


Figura 26. Esquema electrónico del módulo de potencia para cargas alternas
Fuente: El Autor

5.6 MODULO CRUCE POR CERO

El proceso de secado dispone un control de ambiente ejecutado por los diferentes sistemas presentes en la cámara, estabilizando los valores requeridos con una proporción, diferenciando la retroalimentación de los datos con una constante máxima resultando una cantidad de energía dependiente del parámetro, reduciendo esa cantidad en cuanto más cerca del valor condicional este, caso contrario, aumenta la cantidad de energía que será proporcionada al sistema a operar.

El análisis de control mencionado anteriormente se sincronizará con la señal alterna, pudiendo identificar el momento en el que la señal hace una transición por cero, ajustando una señal de salida a la frecuencia en que se encuentra oscilando. Obteniendo esta activación de cruce por cero, se condiciona para que las salidas PWM que activaran las cargas se sincronicen.



Figura 27. Diagrama en bloques sincronización con cruce por cero

Fuente: El Autor

Se empleó un circuito electrónico utilizando un amplificador operacional, operándolo como comparador estableciendo una entrada constante de un valor determinado que establezca un punto de sincronización con el valor a comparar, en este caso cero.

5.7 PLACA ARDUINO – SISTEMA DE ADQUISICION

La etapa de adquisición de datos, es una de las más fundamentales en toda la automatización del proceso de secado del cacao, encargada de adquirir toda la información en tiempo real, de los sensores, procurando que los errores de medida sean los menores posibles teniendo unos datos precisos y exactos, para realizar el tratamiento, pudiendo actuar sobre los periféricos de cada sistema correspondiente a una función. Estableciendo una comunicación en un medio informático externo, transmitiendo los datos del proceso, como recibiendo instrucciones de los usuarios. (García, 2015)

Los avances electrónicos han desarrollado dispositivos que permiten adquirir señales analógicas de entrada, procesarlas, tratarlas, y tomar decisiones hacia respectivos



actuadores, obteniendo circuitos programables capaces de recibir órdenes en su memoria, y ejecutarlas con gran fiabilidad y precisión (Garcia, 2015)

Entre las diferentes opciones podemos encontrar tarjetas de desarrollo con módulos que brindan una mayor rapidez y robustez al proyecto, contando con diferentes grados de especialización para el control de los datos.

Tabla . Tabla comparativa de las tarjetas de desarrollo

Fuente: (Slim, 2022)

COMPUTADRA CON S.O ABIERTO	COMPUTADORA DE TARJETA COMPACTA	TARJETA DE DESARROLLO BASADA EN PROCESADOR CELULAR
Adaptable a diferentes funciones y sensores	Se utiliza para aplicaciones en el sector industrial	Soporta desarrollos rapidos de software y prototipado para productos de internet de las cosas
Bajo consumo de potencia	Procesador multinúcleo 2.4 GHz	Compatibles con S.O de escritorio y móviles
Memoria Flash – Ram (16MB - 64 MB)	Wifi, Bluetooth, Ethernet, Antena externa	Procesador cuatro nucleos 1.2 GHz
Puerto USB	Memoria Flash – Ram (6GB – 2GB)	Memoria Flash – Ram (8GB – 1GB)
Protocolo 802.11	Compatible con varios S.O	GPS
Pines PG, PWM		Puertos micro USB, USB, HDMI, ranura memoria SD.
Conexion UART, SPI, I2C		Conexion UART, SPI, GPo, I2C
GPS, Bluetooth		



La placa Arduino es un ejemplo de los avances que ha tenido la electrónica, pudiendo cumplir con las funciones que requiere un ambiente controlado,

manejando adecuadamente los sistemas involucrados en la automatización del proceso del secado de cacao, bajo la instrucciones preestablecidas o escogidas en tiempo real por un usuario, dependiendo sea el caso a implementar.

Se estableció la implementación con la tarjeta de adquisición por sus buenas prestaciones, ser de un precio accesible y uso libre, complementándose con el prototipo a desarrollar. Consistiendo en la integración de un microcontrolador con alta fiabilidad, en conjunto con pines de entrada y salida, para los diferentes periféricos del proyecto Figura 27, contando con un software de entorno de desarrollo comunicándose con un medio informático como el PC por puerto USB. Para la industrialización si se requiere de dispositivos con rangos mayores que cubran los requerimientos que se lleguen a necesitar en caso de no satisfacerse con arduino.

Las características importantes para su elección Tabla 6:

Tabla 6. Caracterización eléctrica de la tarjeta de Adquisición, Arduino Uno

CARACTERISTICA ELECTRICA	VALOR
Microcontrolador	Atmega 328
Voltaje de alimentación [v]	7 – 20
Velocidad de Reloj [MHz]	16
ADC [bits]	10
Pines Entrada Analogo [Pin]	6
Corriente por pin [mA]	20

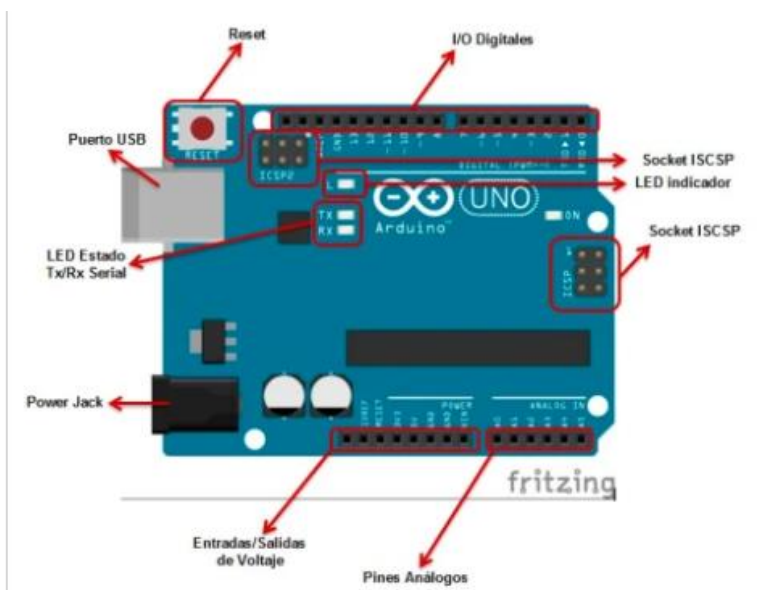


Figura 27. Representación de las partes de la tarjeta de adquisición, Arduino Uno
Fuente: (Guerrero, 2014)

6. DISEÑO DE SOFTWARE

6.1 SOFTWARE DE ADQUISICIÓN

La etapa de adquisición de las variables involucradas en el proceso de secado del cacao, serán capturadas y procesadas por la tarjeta de adquisición Arduino el cual cuenta con una resolución de medida, definida por la siguiente ecuación:

$$Resolucion = \frac{V_{ref}}{2^{n-1}} * 2^n \quad \text{Ecuacion 7.}$$



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Donde:

n = número de bits del conversor Análogo – Digital

V_{ref} = Voltaje de referencia del microcontrolador

Con la ecuación 7, podremos realizar el cálculo del tamaño de paso de voltaje de un bit a otro, lo que se denomina como tamaño de paso LSB. Lo que significa que la medida de voltaje podría estar representada dentro de un rango de valores, siendo fundamental decidir correctamente referente al valor que se desea obtener, la cantidad de bits a emplear para el acondicionamiento.

$$LSB = \frac{V_{ref}}{2^n} \quad \text{Ecuación 8.}$$

$$V_{ref} = 5v ; N = 10bits$$

$$LSB = \frac{5v}{2^{10}} = 0,0048 \quad \text{Ecuación 9.}$$

La captura de estos valores por parte de la tarjeta de desarrollo, serán enviados a un programa que me facilitara el tratamiento de estos datos, ya que los valores obtenidos por el sistema de adquisición, no se encuentran con los valores análogos, si no con una relación de voltaje por cantidad de bits al realizarse la conversión análogo – digital Figura 28, dependiendo la resolución se obtendrá un rango de valores a relacionar matemáticamente. Tabla 7.

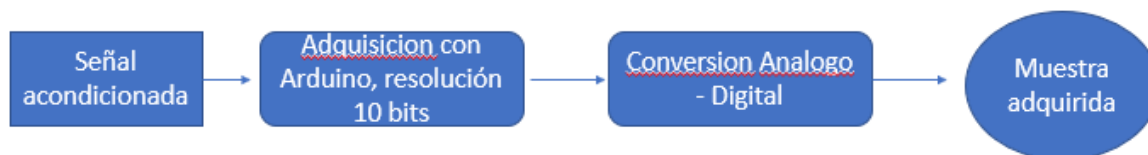


Figura 28. Diagrama en bloques de la adquisición de datos
Fuente: El autor

Tabla 7. Relación del valor analógico con el valor obtenido por el sistema de adquisición

VALOR ANALOGICO [V]	VALOR DE LECTURA DAQ [10BITS]
0	0
2.5	511.5
5	1023

El software utilizado por la placa Arduino, se divide en secciones las cuales corresponden a ciertas estructuras que establecen un programa:

Sección 1: En esta sección encontraremos un espacio destinado a la declaración de las variables, configurando la asignación de pines, por ejemplo, a cada sistema involucrado en la automatización del proceso de secado del cacao. para la adquisición de los parámetros físicos en la cámara de secado, se hace necesario el uso de varios pines de entrada analoga para las temperaturas y la humedad Figura 29.

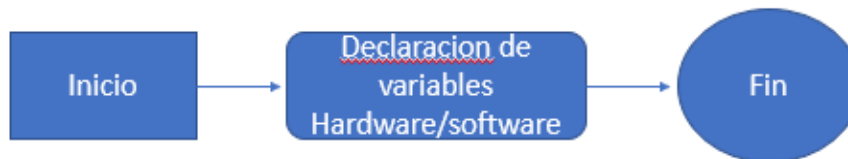


Figura 29. Entorno de desarrollo Arduino, declaración de variables
Fuente: El Autor

Sección 2: La siguiente sección **Void setup**, permite ejecutar las instrucciones establecidas en este espacio una única vez, tan pronto se encienda el dispositivo o se reinicie. El void setup, se encuentra delimitada por una serie de corchetes, para las instrucciones a ejecutar en ese espacio designado.

En la configuración de entradas y salidas correspondientes, se asignó el modo de operación de los pines de las variables declaradas Figura 30

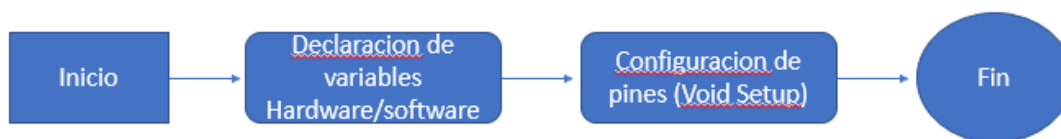


Figura 30. Sección Void setup, asignación del modo de operación de los variables declaradas
Fuente: El autor

Sección 3: En esta última sección **Void Loop**, encontramos el espacio, donde las instrucciones que se establezcan, dentro de las llaves asignadas, se ejecutaran justo después de la sección anterior, ejecutando las funciones programadas por un ciclo repetitivo infinito, siendo en si el programa final que estará funcionando constantemente desde la primera sentencia hasta la última, así una y otra vez, hasta apagar el dispositivo o un reseteo (García, 2015).

Las instrucciones en este caso para la tarjeta de adquisición, después de recibir un dato de activación, se procederá a capturar los valores análogos presentes en las entradas correspondientes, para así llevar esa información a tratamiento Figura 31, y en una base de datos, establecer el monitoreo en un sistema informático.

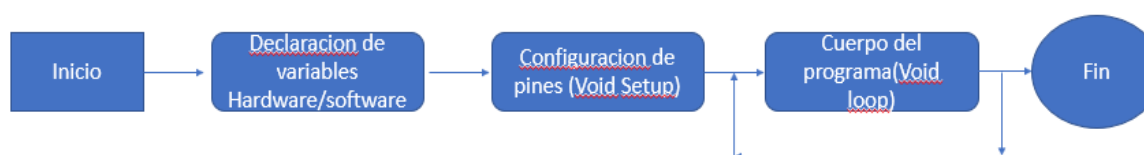


Figura 31. Diagrama en bloques para la captura de los valores análogos con Arduino
Fuente: El Autor

6.2 SOFTWARE DE TRATAMIENTO DE DATOS

Se hace de vital importancia el realizarles un tratamiento a los datos, que están siendo capturados por el sistema de adquisición con valores los cuales se les debe realizar un ajuste para su posterior monitorización, por lo que se debe hacer una relación comparativa de los valores obtenidos, con los valores presentes que se acondicionaron a voltajes análogos, terminando por tener los parámetros reales de la cámara de secado.

Arduino es un programa muy dinámico, de fácil acceso, con excelentes prestaciones para todo lo relacionado en tratamiento de datos, a través de un entorno de desarrollo Figura 32, permite la comunicación con el sistema de adquisición, estableciendo una programación orientada a objetos, donde se toman en cuenta ciertos atributos, programando códigos reutilizables, de muy buena eficiencia, englobando datos y procedimientos para el tratamiento de la data.



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Figura. 32. Logo de la plataforma Arduino

Fuente: (Garda, 2017)

De acuerdo con este estilo, se pueden implementar estrategias de programación, realizando códigos en los que pueda categorizar ciertos componentes como un objeto que hace parte a ciertas clases, permitiendo establecer un control sobre esos parámetros de manera más eficiente.

Lo que se quiere lograr con el diseño de tratamiento de datos, es poder saber los valores reales de los parámetros que se encuentran interactuando en el proceso de secado, permitiendo entregarle información real al usuario que está realizando el proceso, por medio de un monitoreo de una base de datos que va recolectando los datos en tiempo real y con la precisión que brinda, la resolución del sistema de adquisición.

De acuerdo a la Tabla 7. Se debe implementar una conversión matemática, que resulta sencilla, para poder obtener los valores reales de los parámetros físicos, los cuales al ingresar al sistema de acondicionamiento se amplifica en valores de entrada al DAQ de 0 - 5v, lo que para el sistema de adquisición significa tener valores entre 0 – 1023, según la cantidad de bits que posee el conversor análogo - digital. Por lo que una de las tareas por parte del tratamiento de datos es realizar esa conversión matemática Figura 33:



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!

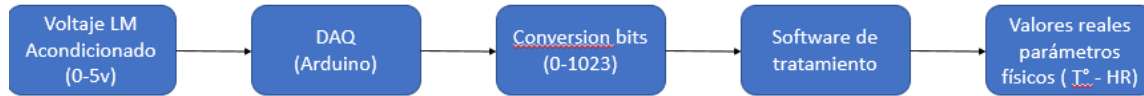


Figura 33. Diagrama en bloques para obtener valores reales de los parámetros físicos
Fuente: El Autor

Se relaciono matemáticamente la obtención de los voltajes emitidos por los sensores LM35 y DHT11, calculándolos con la información adquirida por el DAQ siendo proporcional al voltaje acondicionamiento por una conversión análoga-digital. Este voltaje de acondicionamiento es fundamental para conocer los valores reales de temperatura y humedad correspondiente Ecuación (10), los cuales serán controlados con un algoritmo que cumpla con las especificaciones referenciadas dando un óptimo secado, en conjunto con los sistemas actuadores que serán activados automáticamente.

$$\text{Voltaje Acondicionado}(V_{in}) = \frac{(\text{ValorDAQ}) * 4.995}{1023} \quad \text{Ecuacion 10.}$$

Vin: El voltaje acondicionado, hace referencia a la cantidad de voltaje que me está entregando los diferentes sensores, amplificada oscilando entre los 0v – 5v encargados de representar las variaciones de los parámetros físicos.

ValorDAQ: Es el valor resultante que se obtiene en la lectura análoga con Arduino que oscila entre 0 – 1023.

El voltaje de acondicionamiento se relaciona con la temperatura medida, estableciendo que una medición de 0°C equivale a 0 voltios, y 100°C equivalen a 5 voltios proporcionalmente, en concordancia con los cálculos realizados en la amplificación de la salida del sensor con amplificador operacional.



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



6.3 SISTEMA DE CONTROL

La cámara de secado para obtener los valores deseados sobre los parámetros que influyen en el proceso, debe implementar un control sobre los sistemas explicados con anterioridad, que involucren diferentes actuadores, los cuales se automatizaran activando las cargas para llevar los parámetros que controlan, a los niveles deseados y óptimos que permitan desarrollar un proceso controlado y garantice un resultado final de buena calidad según los estándares.

Obteniendo las señales con los valores reales de los parámetros en tiempo real, por el sistema de adquisición y el ajuste en el tratamiento de los datos, se puede implementar una secuencia de codificación en el entorno de Arduino que me permita una programación orientada a objetos, destacando atributos y métodos que me brinden una automatización de los sistemas que se pueden clasificar en clases, por medio de condiciones como la configuración de los puntos de seteo en donde el proceso sea el recomendado referenciando los trabajos investigados que dan un resultado sobre el manejo de tiempos en temperaturas y la relación de la humedad con un buen proceso, para obtener los rangos que me brinden certeza, y así emitir señales de salida permitiendo un control proporcional y la ejecución de una manera autónoma

El objetivo del sistema de control es mantener la cámara de secado en determinadas temperaturas mediante un sistema de lazo cerrado con control proporcional, controlando cada uno de los componentes y variables que influyen dentro del proceso: sensores y actuadores Figura 34.

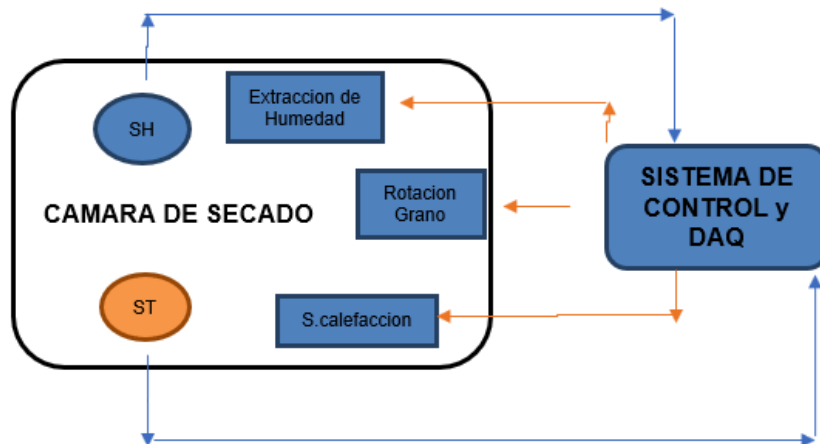


Figura 34. Esquema de la cámara de secado, con los elementos a controlar involucrados en la automatización del proceso

Fuente: El Autor

ST: sensor de temperatura

SH : Sensor de humedad

El control en la cámara de secado mantendrá unas temperaturas, las cuales se establecerán como punto de referencia, operando los valores en una relación con la humedad que está disminuyendo condicionando el tiempo que mantendrá el proceso cierta temperatura, evitando que se exponga al grano a sobre secado. El ambiente podrá mantener cierta estabilidad con una distribución proporcional de las cargas, detectando la diferencia de los niveles de temperatura por el sistema sensorico, realizando una comparación en el tratamiento de los datos de la temperatura deseada con la temperatura actual, estableciendo una señal de salida PWM (Modulación por ancho de pulso) comandada por la tarjeta Arduino que me brinda la posibilidad de ejecutar acciones de control para operar los sistemas de actuación, dependiendo si la comparación que se realiza cumple la condición, sincronizando el proceso con una señal de cruce por cero. Figura 35.

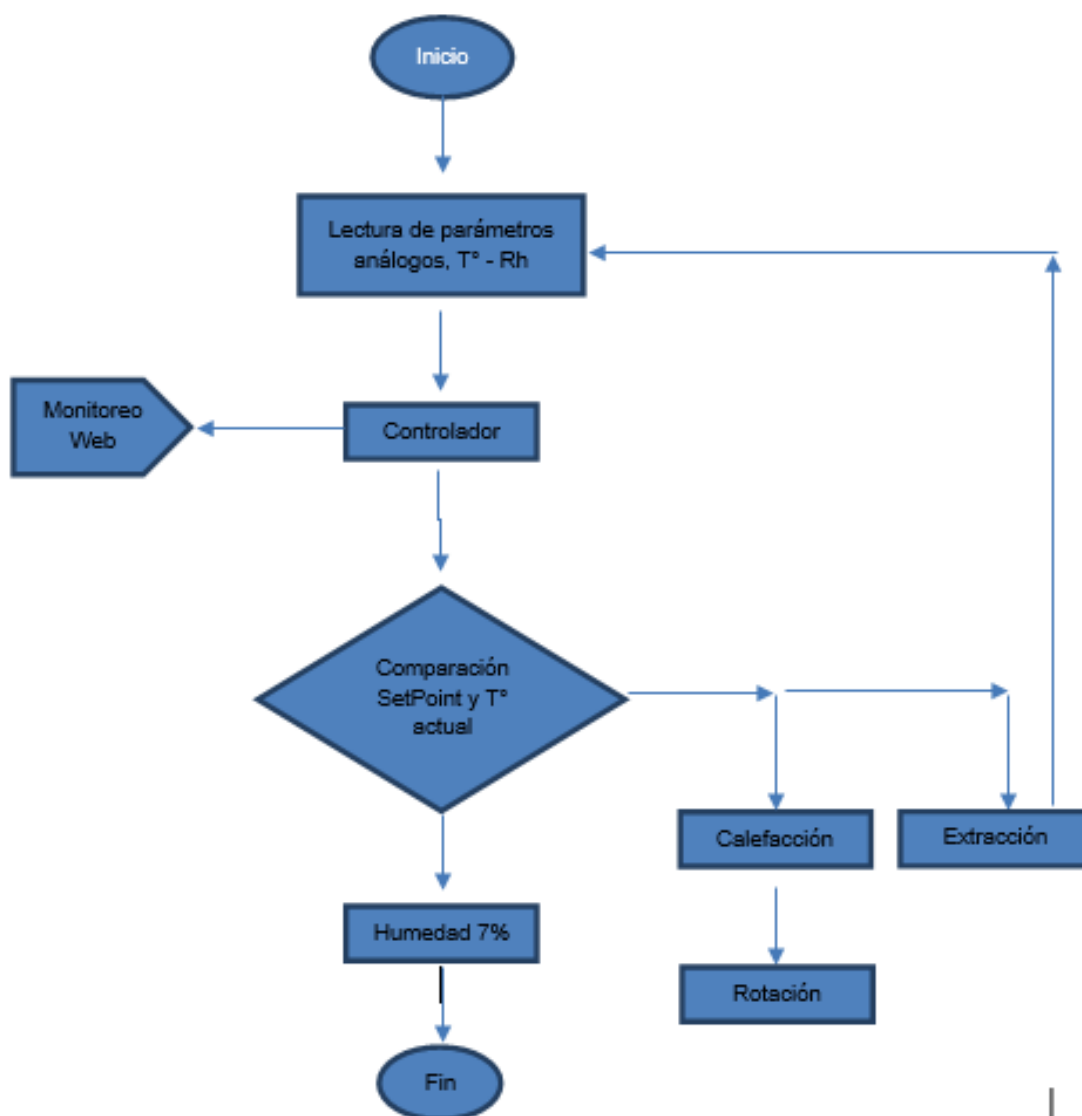


Figura 35. Diagrama en flujo del sistema de control

Fuente: El Autor

6.4 LOGICA DE PROGRAMACION

De acuerdo al funcionamiento del prototipo, relacionando cada una de los sistemas instalados en la cámara de secado para llevar a cabo la automatización del proceso del secado del cacao en los valores óptimos, se tuvo en cuenta como se mencionó anteriormente se comandara con la tarjeta Arduino, conteniendo un programa en su memoria, elaborado en un entorno de desarrollo óptimo para este tipo de aplicaciones, rigiéndose por los parámetros esenciales definidos a lo largo del libro Tabla 8, emitiendo una señal de control sobre los sistemas encargados de ejecutar las acciones necesarias para realizar el secado del cacao, a la vez estableciendo comunicación serial monitoreando cada parámetro y acción que se esté ejecutando o emitiendo, en una interfaz web Figura 36.

Tabla 8. Parámetros y sus valores fundamentales para el proceso del secado de cacao.

Parametro Fisico	Valor
Temperatura	55 – 65 [°c]
Humedad del grano	6 – 8 [%]



Figura 36. Diagrama en bloques de funcionamiento general
Fuente: El Autor

En la figura 36, se presencia un bloque que representa una comunicación serial del entorno de tratamiento de los datos, con la tarjeta Arduino que le envía la adquisición de los valores de cada parámetro físico medido en la cámara de secado. Cuenta con ajuste

de baudios, y el puerto para el reconocimiento de la tarjeta Arduino sirviendo como enlace para obtener y visualizarle al operador en tiempo real cada detalle en el monitoreo online.

Establecida la comunicación serial con el entorno de desarrollo de la plataforma de Arduino, se dispone de los datos que circulen a través de los puertos configurados. Conociendo esta función podremos configurar un servidor web compatible abriendo la posibilidad de tener un control remoto con ciertas funcionalidades, como iniciar el proceso de secado, visualizar páginas con información gráfica de un dato deseado compartido en la comunicación serial del proceso en tiempo real.



Figura 37. Diagrama en bloques funcionalidades interfaz web

Fuente: El Autor

En la funcionalidad nombrada “Inicio” Figura 37, se realiza el envío desde el servidor web, un carácter condicional a la tarjeta Arduino que inicia la adquisición de los datos, y la creación de un vector que me permitirá almacenar cada una de los datos que son transmitidos por comunicación serial, temperatura, humedad, entre otras peticiones que desarrollen el proceso optimo, programadas en el entorno Figura 38.



Figura 38. Funcionalidad Web – Inicio

Fuente: El Autor

```
if (Serial.available() > 0) {  
    int accion = Serial.read();  
}
```

Figura 39. Sentencia para la lectura y captura de la muestra de las variables
Fuente: El Autor

En la figura 39, se usó una sentencia de código que me permite leer los valores que adquiere la tarjeta Arduino por comunicación serial, provenientes del servidor web. En este caso se lee y captura en una variable el dato recibido, posteriormente si es el dato condicional para iniciar el proceso se ejecutará la programación establecida para controlar la cámara de secado.

La tarjeta de desarrollo implementará lo definido para cada uno de los sistemas que están involucrados en la automatización del proceso de secado. Tal el caso para el sistema de adquisición se codifica un algoritmo capaz de activar y adquirir las señales emitidas por los sensores empleando una función de lectura de valores análogos, convirtiendo y procesándolas de manera que se obtenga un fundamento de los parámetros a sensar, así pudiendo establecer el control en conjunto con elementos actuadores de un modo proporcional (PWM) estabilizando de este modo los Setpoints que el proceso de secado para el cacao requiera Figura 40.

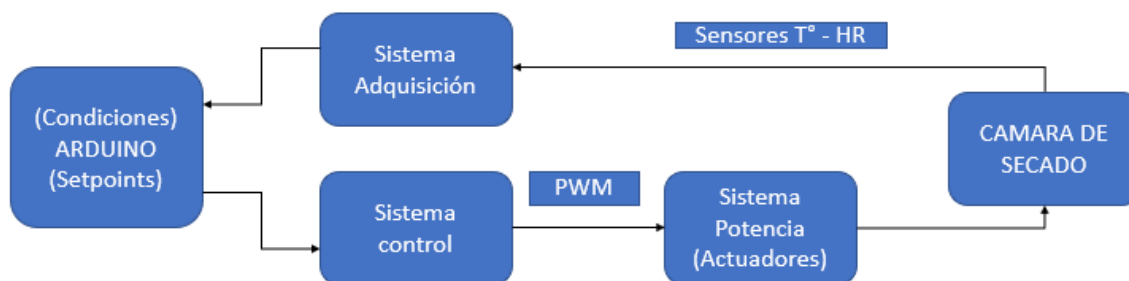


Figura 40. Diagrama en bloques implementación general del proceso

Fuente: El Autor

La lectura de los valores análogos, en conjunto con su conversión es una utilidad muy beneficiosa para este tipo de proyectos prestando precisión y flexibilidad, pudiéndose



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



implementar con una función(analogRead) que muestrea, cuantifica, y da un valor basado en la resolución que presta la cantidad de bits con los que se trabaje Figura 41.

```
signalVoltage = analogRead(TEMP_SENSOR);
```

Figura 41. Uso de la función en lectura de valores análogos del sensor de temperatura

Fuente: El Autor

El control proporcional brindara la estabilidad ambiente de forma general comparando el parámetro deseado a controlar sin que tenga cambios bruscos en sus variables, con una diferenciación de valores entre la medición tomada y un punto establecido. El PWM cuenta con valores de salida entre 0 – 255 según la resolución de los bits, restringiendo su operación con los valores 0 – 1023 de la conversión del sistema de adquisición para los voltajes de acondicionamiento, siendo cuatro veces más del máximo permitido para esos pines. Se puede representar sustrayendo del valor máximo constante, la cuarta parte del valor medido en el conversor, estableciendo un rango optimo para las salidas PWM Figura 42.

```
analogWrite(resistencia, pwm);
```

Figura 42. Representación de la función PWM en Arduino

Fuente: El Autor

Continuando con la funcionalidad nombrada “Grafica”, se realizará un envío a una página que presentara una visualización gráfica, de los parámetros deseados y su transición en el tiempo. Obteniendo lo datos en el servidor web con un envío por sockets, después de ser recibidos por comunicación serial en la consola de desarrollo web por parte del Arduino y la adquisición en la cámara de secado Figura 43.

La data correspondiente que se envía por Arduino, se etiqueto con atributos semejantes al parámetro representativo, al comunicarse con la consola web esta cuenta con

funciones compatibles para reconocer esos distintivos de cada dato, almacenando las variables representativas del parámetro deseado en una base que será ilustrada en diseños estadísticos organizando la información para una apreciación mas exacta por parte del operador, siendo un apoyo para la toma de decisiones en beneficio del proceso.

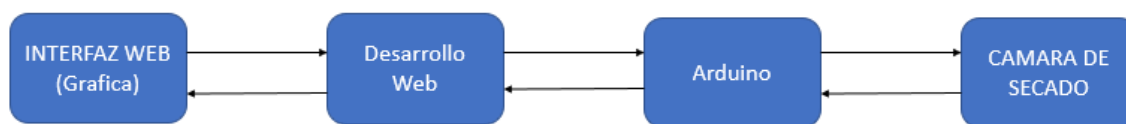


Figura 43. Diagrama en bloques de Funcionalidad Web Grafica
Fuente: El Autor

7. ACTUADORES

7.1 RESISTENCIA

Este dispositivo es empleado en el sistema de calefacción de la cámara de secado, encargado de elevar las temperaturas del aire, a los niveles estipulados, haciendo que el proceso de secado, se pueda realizar artificialmente.

La resistencia para la transferencia de calor Figura 44, en el aire ambiente, brinda una ventaja respecto a otros sistemas de calentamiento del aire, como por ejemplo el uso de gases, derivados del petróleo, o calentamiento con minerales, debido a que presenta un nivel de contaminación por debajo de los otros, al no expulsar humos que pueden llegar a ser tóxicos, afectando el proceso químico interno del grano, donde se obtienen las características de aroma y sabor, y si otro agente externo interviene en ese proceso, la calidad del resultado estará fuera de los estándares requeridos.



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!

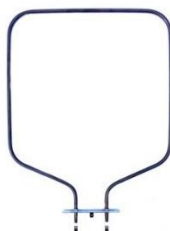


Figura 44. Resistencia

Fuente: [resistencia-horno-balay-teka-1000w-solera.jpg \(458×458\) \(electrorecambio.es\)](http://resistencia-horno-balay-teka-1000w-solera.jpg)

Las dimensiones de la resistencias son:

- Ancho: 20 cm
- Largo: 25 cm

Características eléctricas:

- Alimentación: 110Vac
- Consumo : 2 A
- Impedancia: 5k ohm

7.2 VENTILADOR

Este dispositivo se utiliza en el sistema de extracción de humedad, encargado de extraer la humedad, que se va acumulando en la cámara de secado, luego de la deshidratación del grano, permitiendo que fluya aire nuevo con oxígeno que permita un eficiente proceso de secado del cacao.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



Figura 45. Ventilador

Fuente: D_NQ_NP_712373-MLV43253187713_082020-W.jpg (568×550) (mlstatic.com)

Las dimensiones del ventilador son:

- Ancho: 12cm
- Largo : 13 cm

Características eléctricas:

- Alimentación: 110Vac
- Consumo corriente 0.24 A
- Frecuencia de trabajo: 60 hz

7.3 MOTOR SINCRONO

Este dispositivo cumple una función importante en el proceso del secado del cacao, siendo empleado para darle rotación al tanque que contiene al grano del cacao, con la finalidad de causar movimiento al grano, evitando que aglomeren en la paredes del tanque y entre la masa de granos, permitiendo que haya un flujo uniforme, con mayor presencia de oxígeno acelerando los procesos de reacción, como la oxidación de características químicas del grano, causando cambio organolépticos representativos de sabor y aroma.



Figura 46. Motor Síncrono

Fuente: [images \(225×225\) \(gstatic.com\)](https://images225x225.gstatic.com)



Las dimensiones del motor síncrono son:

- 5,8 cm x 4,5 cm

Características eléctricas:

- Alimentación: 110 Vac
- Potencia: 4 w
- Consumo corriente: 0.036 A
- Velocidad de trabajo: 2.5 RPM

7.4 ANALISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El consumo de energía eléctrica se determinará en base, a los datos de los actuadores anteriormente referenciados, como son voltaje de alimentación, consumo de corriente, potencia, y la cantidad de tiempo que se le dio de uso al dispositivo de secado Tabla 9. Estimando que el proceso de secado se determine en horas, se realiza un comparativo, relacionando cuanto se consumirá en valores de tiempo aleatorios

Tabla 9. Consumo de energía total del prototipo para el secado de cacao, por 1 hora.

Elemento	Voltaje [V]	Corriente [A]	Potencia [W]	Tiempo [hr]	Energía Total [Wh/día]
Resistencia	110	2	220	1	220
Ventilador	110	0.24	26.4	1	26.4
Motor Sincrono	110	0.036	4	1	4
		Potencia Total	250.4	Energía total	250.4



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



En la tabla 9, se obtiene el valor de consumo de energía eléctrica:

- Consumiendo 250.4 Watts. Hora/ día, lo que significa utilizar la máquina de secado del cacao 1 hora al día.

Este dato se tendrá en cuenta para diseñar el respaldo de energía, utilizando métodos alternativos, disminuyendo la contaminación ambiental.

8. RESPALDO DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON ENERGÍAS ALTERNATIVAS

Se dimensionará un diseño para un sistema de respaldo del suministro eléctrico, que pueda satisfacer la demanda de la cámara de secado, con el uso de fuentes de energía alternativas, reduciendo en lo posible la implementación de fuentes que produzcan emisiones de CO₂.

En la región se implementa un tipo de energía alternativa, el cual es un sistema generador que funciona a base de derivado del petróleo (Gasolina) Figura 47, entregando unos niveles aceptables en el suministro de alimentación alterna, pero a medida que se va consumiendo la gasolina, que suele ser de una manera proporcionalmente rápida, se presentan ciertas deficiencias en su constancia para satisfacer los requerimientos eléctricos. Esto junto con que provoca emisiones de CO₂, no lo hace una buena elección para ser un respaldo con el que se quiera disminuir los impactos negativos de la cámara de secado, en la contaminación ambiental. Tampoco se puede descartar su uso en caso de no contar con la red de suministro eléctrico u otro tipo de energía alternativa.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



Figura 47. Generador de corriente alterna a base de gasolina
 Fuente: (MasFerreteria, 2018)

8.1 ENERGÍAS RENOVABLES

Son fuentes de energía que se producen de manera natural, ya que cuentan con un ciclo de regeneración, brindando unos recursos ilimitados dependiendo del sistema empleado, que permita lograr aprovechar los factores de cada una de las fuentes disponibles en la naturaleza, siendo la tecnología para energía solar la que presenta un menor impacto ambiental en comparación con otros tipos de energía Figura 48.



Figura 48. Representación del impacto ambiental, de las tecnologías para energías renovables

Fuente: (Slim, 2022)



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



- **Energía Solar**

Es la proveniente de la radiación del sol, que llega sobre la superficie terrestre, utilizando tecnologías para aprovechar su potencial, en forma de calor y electricidad.

Los sistemas encargados de transformar esa radiación, en energía calorífica, o eléctrica son (Alexis Fabian Barbecho, 2019):

- a. Sistema solar fotovoltaico: Generación de energía eléctrica a partir del sol
- b. Sistema solar térmico: Conversión de la radiación proveniente del sol, en energía calórica.

Se implementará un sistema solar fotovoltaico, como respaldo para el suministro de energía eléctrica para suplir la demanda de energía de la cámara de secado del cacao.

El siguiente mapa de irradiancia nos puede dar una visión para determinar si implementar un sistema basado en energía solar, sería óptimo en la zona que se pretende llevar a cabo el soporte de suministro de respaldo.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co

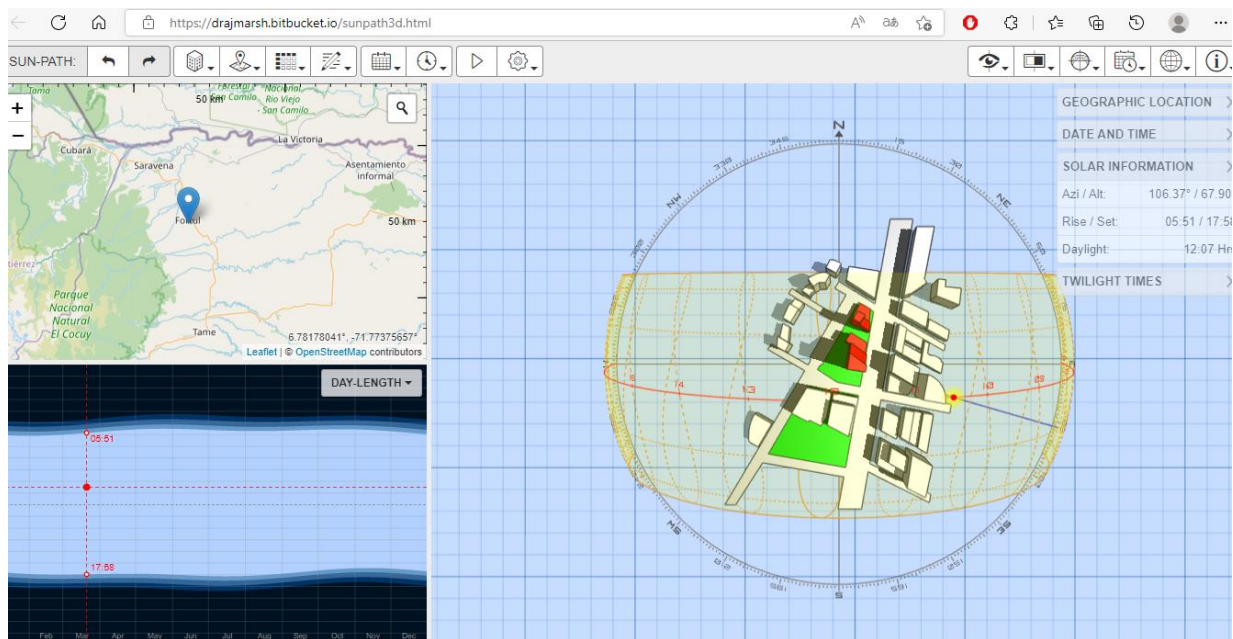


Figura. Mapa Irradiación solar

Fuente: El Autor

Esta representación grafica me permite visualizar las trayectorias solares sobre una ubicación específica, en el transcurso de cada día con sus momentos de mayor irradiación y oscuridad, pudiendo localizar la posición en que se encuentra el sol, observando posibles obstáculos a la irradiación que emana la luz solar la cual influirá en la producción eficiente de energía por parte de los captadores solares encargados. Así determinar si es viable operar un sistema fotovoltaico autónomo en la zona.

8.2 INSTALACION DE SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO

Un sistema solar fotovoltaico, consiste en recibir la radiación solar, para ser transformada en energía eléctrica. Este proceso se lleva a cabo por medio de paneles solares que cuentan con materiales capaces de elaborar esa transformación, para posteriormente ser almacenada en baterías, que alimentaran un proceso de inversión, obteniendo el mismo suministro de una red eléctrica nacional, buscando producir una energía limpia minimizando el impacto ambiental Figura 49.

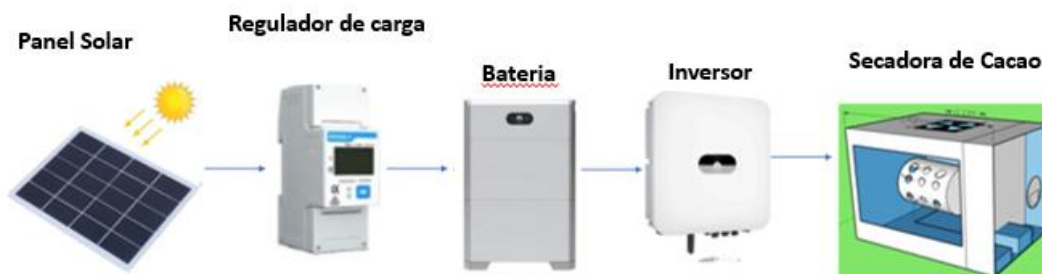


Figura 49. Instalación de un sistema fotovoltaico autónomo
Fuente: El Autor

El desarrollo de una instalación de sistema fotovoltaico autónomo, se basará en el levantamiento eléctrico de la cámara de secado, planteado anteriormente en la tabla 9.

Tomando los parámetros concernientes para establecer este sistema como un respaldo de suministro eléctrico para la cámara de secado del cacao:

- Potencia total: sería la energía instantánea a cubrir para el funcionamiento óptimo de los elementos
- Energía watt. Hora/ día: siendo la demanda requerida para el lapso de tiempo que se llevara el proceso de secado del cacao en este caso.

Consumo energético real

Se establece un rendimiento global de la instalación, establecido por un conjunto de perdidas referenciadas que presentan los sistemas fotovoltaicos autónomos.

La relación matemática del rendimiento, con la energía total watt. Hora/día, establecerá la energía real que el sistema deberá cubrir para el suministro de energía optimo tabla 10.

Tabla 10. Consumo energético real

Característica	Cantidad
Rendimiento (R)	0,73
Energía total (ET) [Wh/día]	250.4
Energía Real (ER) [Wh/día]	343.01
$ER = \frac{ET}{R}$ Ecuación 11.	

Existe la condición para determinar la tensión de trabajo del sistema fotovoltaico, determinado por la potencia total de la cámara de secado Tabla 11.

Tabla 11. Tensión nominal de la instalación

Potencia total [Watts]	Si $P \leq 800$ [V]	Si $P > 800$ [V]
250.4	12 v	24 v

El almacenamiento de la energía requiere de baterías con las capacidades idóneas para esta función, se detalla el cálculo para determinar la capacidad requerida Tabla 12.

Tabla 12. Capacidad requerida en las baterías.

Característica	Valor
Energía Real(ER)	343.01 [Wh/día]
Días de autonomía (N)	2
Profundidad de descarga batería(Pd)	70 % [Wh/día]
Voltaje de la batería (v)	12 [v]
Capacidad requerida	81.66 [Ah]
$C = \frac{ER * N}{Pd * v}$ Ecuacion 12.	

La selección de los paneles solares es un factor primordial, ya que son los cuales brindaran los niveles de energía eléctrica al resto del sistema, teniendo como referencia para un correcto cálculo de estos, la cantidad de tiempo que dura la radiación en su punto pico máximo sobre la superficie a cubrir Figura 50, así establecer la cantidad de paneles de cierta potencia que se utilizaran.

-END HEADER-													
SI_EF_MIN_TILTED_SURFACE_HORIZONTAL	4.87	4.74	4.44	4.09	3.62	3.50	3.53	3.92	4.25	4.04	4.23	4.43	4.14
SI_EF_MIN_TILTED_SURFACE_LAT_MINUS15	4.48	4.50	4.33	4.09	3.68	3.58	3.60	3.94	4.19	3.89	3.96	4.07	4.03
SI_EF_MIN_TILTED_SURFACE_LATITUDE	5.01	4.81	4.45	4.06	3.57	3.44	3.47	3.88	4.25	4.08	4.32	4.56	4.16
SI_EF_MIN_TILTED_SURFACE_LAT_PLUS15	5.28	4.90	4.37	3.86	3.31	3.15	3.20	3.64	4.11	4.08	4.47	4.82	4.10
SI_EF_MIN_TILTED_SURFACE_VERTICAL	3.16	2.44	1.80	1.44	1.31	1.28	1.28	1.37	1.51	1.95	2.56	3.03	1.93
SI_EF_MIN_OPTIMAL	5.32	4.90	4.45	4.10	3.68	3.60	3.60	3.95	4.25	4.10	4.47	4.87	4.27
SI_EF_MIN_OPTIMAL_ANG	27.50	17.50	6.00	-5.00	-13.00	-16.50	-15.00	-8.50	1.50	12.00	23.00	29.00	5.00
SI_EF_MIN_OPTIMAL_ANG_ORT	S	S	S	N	N	N	N	N	S	S	S	S	S
SI_EF_MIN_TRACKER	6.19	5.62	4.97	4.48	3.94	3.84	3.85	4.28	4.69	4.52	5.03	5.56	4.75

Figura 50. Representación de las horas solar pico mensuales promedio, en la región

Fuente: El Autor

Se fijo un valor en la figura 50, el cual representa el tiempo de abastecimiento máximo de la radiación en la zona, siendo la peor de las horas solar pico, seleccionada para realizar los cálculos sobre estos niveles asegurando que se supla la cantidad correcta, aun en los peores momentos de radiación solar

tabla 13

Tabla 13. Calculo del numero de paneles solares a utilizar

Parámetro	Cantidad
Horas solar pico(HSP)	3.58
Energía Real (ER)	343.01 [Wh/dia]
Potencia del panel seleccionado (Wp)	120 [w]
Numero de paneles	1
$NP = \frac{ER}{(0,9) * (Wp) * (HSP)}$ Ecuacion 13	

Un dato importante que me asegura que la instalación del sistema fotovoltaico autónomo, va cumplir con las demandas exigidas por las cargas a suministrarle la energía eléctrica, es el factor de utilidad. Indicando si el sistema es el indicado, por medio de una relación entre energía disponible, y la consumida, siendo un valor de 1 el preciso, ya si se obtienen valores más grandes, significa que el sistema produce mas de lo requerido Tabla 14.



Tabla 14. Factor de utilidad del sistema fotovoltaico autónomo

Característica	Cantidad
Energía consumida (ER)	343.01 [Wh/día]
Energía disponible (ED)	386.64 [Wh]
$ED = NP * Wp * HSP * 0,9$ Ecuación 14.	
Factor de utilidad	1.12
$Fi = \frac{Energía\ disponible}{Energía\ Consumida}$ Ecuación 15.	

El controlador y el inversor son elementos fundamentales en el control de la corriente, por lo que se requiere un buen cálculo procurando no establecer valores muy cercanos a los límites, evitando que sobre cargas puedan superar esos valores y causar algún daño en el sistema, como a la cargas que se les suministra energía eléctrica. Para ello se realiza el cálculo tomando los datos de corriente que provee el panel solar Figura 51.

POTENCIA MÁXIMA (PMÁX.) 120 Wp +/- 3 %
Eficiencia Módulo 14.90 (%)
Eficiencia Celda 16.90 (%)
DIMENSIONES 1230 x 670 x 35 mm
PESO 9,7 Kg
Corriente de máxima potencia (IMÁX.) 6,60 A
Tensión de máxima potencia (VMÁX.) 18,45V
Corriente de cortocircuito (ISC) 6,96A
Tensión de circuito abierto (VOC) 21,97 V

Figura 51. Características eléctricas del panel

Fuente: Ficha técnica del panel solar

Tabla 15. Cálculo de controlador e inversor

Característica	Cantidad
Corriente en cortocircuito del panel(Icc)	6,96 [A]
Corriente máxima del sistema(I _{max})	6,96 [A]
$I_{max} = I_{cc} * NP$ Ecuacion 16.	
Potencia del inversor	300.48 [w]
$P_{inv} = Potencia Total * 1.2$ Ecuacion 17	



Los resultados finales del diseño de la instalación de sistema fotovoltaico autónomo, para respaldo de suministro de energía eléctrica son tabla 16.:

Tabla 16. Tabla de resultados

Elemento	Cantidad	Especificaciones
Panel Solar	1	120 Wp
Batería	1	12v, 90 Ah
Controlador	1	10 A
Inversor	1	320 W

9. DESARROLLO WEB

9.1 INDUSTRIA 4.0

La industria 4.0 es el avance de las tecnologías digitales, como de internet, complementando procesos más allá de solo realizar estrategias de inicio y fin de la producción, enfrentando los cambios de globalización, conectividad, etc. Desarrollando modelos que permitan la automatización de procesos, apropiándose de los avances tecnológicos, con un enfoque donde la interacción sujeto – maquina se quiere reducir brindando aspectos en la mejora de la calidad de vida, con nuevas áreas que requieren de personal idóneo para la gestión de las tecnologías, caracterizando por fusionar los aspectos físicos, digitales de una manera que aporten a la transformación de los procesos, con la organización de la digitalización que ha existido ya hace tiempo, estableciendo la dependencia a ciertas áreas complementando la interacción entre objetos de manera autónoma, como los es el Big data, contando con gran cantidad de datos desarrollando componentes característicos de la industria 4.0, como son los productos inteligentes que reducen los límites entre objetos físicos, desarrollando un sistema interconectado que esté totalmente automatizado en conjunto con la digitalización (comunicaciones, 2019).



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



- **Tecnologías de la industria 4.0**

Con el objetivo de satisfacer el monitoreo de la cámara de secado de una manera remota, se aplicaron ciertas tecnologías al desarrollo del proyecto, con enfoques necesarios para el crecimiento de la utilidad del proceso, estableciendo una automatización del proceso, con tecnologías aprobadas en algunos casos estandarizadas asegurando alguna capacidad competitiva (comunicaciones, 2019).

- La implementación del internet de las cosas en la conectividad de los diferentes elementos digitales
- Análisis de Big Data, con técnicas de procesamiento y adquisición de datos respaldando la toma de decisiones
- El monitoreo online, para el acceso desde diferentes dispositivos que cuenten con los servicios de tecnología web.

9.2 INTERFAZ WEB

El monitoreo online se llevará a cabo por medio de una interfaz, la cual me permite una operabilidad remota de la cámara de secado, conteniendo la adquisición de las variables importantes permitiendo su visualización, y permitiendo conocer si el resultado del proceso fue de buena calidad.

Para la realización de la interfaz web, se requiere de un servidor y la plantilla de la interfaz que resulte amigable y comprensible, esto desarrollado con herramientas de HTML, CCS, BOOSTRAP y JavaScript. La interfaz web se encarga de poder iniciar el proceso de manera remota, con comunicación serial, posteriormente empezar a obtener los datos adquiridos de las variables a visualizar y que son importantes en el proceso, según la lógica la cámara de secado, ejecutara el proceso de secado, visualizando los valores finales en la interfaz, para poder determinar si la calidad de los resultados es la requerida.

La aplicación principal para el desarrollo web que se utilizó fue WebStorm Figura 52, el cual es un editor muy completo actualmente que cuenta con todas las herramientas para trabajar cualquier proyecto web, permitiendo integrar diferentes lenguajes que se requieran para las partes involucradas Frontend, y Backend.



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Figura 52. Logo editor Webstorm
Fuente: JetBrains.com

El desarrollo Front-End es la parte encargada de desarrollar la interfaz gráfica con la que interactuara el usuario u operador, basando un poco su éxito en la facilidad de uso, la buena organización aprovechando al máximo la aplicación.

El desarrollo Back-End se encarga del dinamismo que se da en cada una de las opciones con las que interactúa el usuario en el sitio web, procesando la información basada en las peticiones, obteniendo salidas almacenadas en bases de datos dando como resultado sitios web de gran operación en áreas de investigación, salud y comunicación.

Se estableció la comunicación serial, entre el sistema de adquisición y la terminal local del entorno de desarrollo web usando las librerías preestablecidas, transmitiendo los datos que se programaron para ser enviados como los valores de los parámetros, siendo capturados usando diferentes sentencias con las funcionalidades de comunicación. Así mismo recibir cualquier petición desde la interfaz más adelante presentada.



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



```
const SerialPort = require('serialport');  
const ReadLine = SerialPort.parsers.Readline;  
  
const port = new SerialPort("COM5", {  
  baudRate: 9600  
});
```

Figura 53. Sentencias para la comunicación serial en Webstorm
Fuente: El Autor

Una vez con la comunicación funcionando, se crea el servidor que contendrá la interfaz gráfica en conjunto con el manejo de cada una de las peticiones y servicios con los que va contar el monitoreo online. Webstorm cuenta con funciones características que me establecen un hosting, un espacio permitido para reproducir el contenido que será redactado en el editor.

```
const server = http.createServer(app);  
const { Server } = require("socket.io");
```

Figura 54. Sentencias para la creación de un servidor, sockets de emisión y recepción.
Fuente: El Autor

Contando con el espacio online para nuestro monitoreo, se procede a realizar la terminal web visualizando en una página principal al usuario todo el proceso concurrente con la cámara de secado, presentando los datos de manera dinámica en un estándar HTML, dando las opciones al operador del inicio, y el servicio de monitoreo grafico de los parámetros para lo cual se trabaja con paquetes JavaScript.

```
<!DOCTYPE html>
```

Figura 55. Sentencia para la estructura HTML
Fuente: El Autor



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



Figura 56. Interfaz Web - pagina principal
Fuente: El Autor

```
const socket = io();
```

Figura 57. Sentencia para la captura de los datos en el entorno JavaScript
Fuente: El Autor



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!

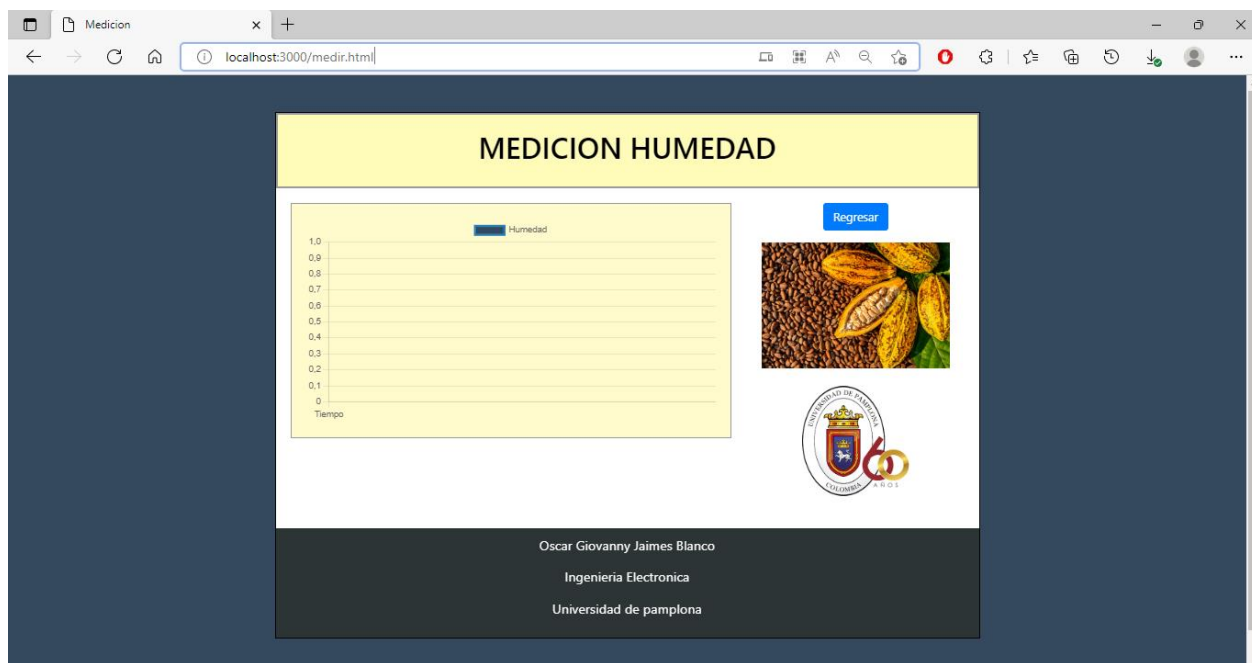


Figura 58. Interfaz Web – Grafica
Fuente: El Autor

10. RESULTADOS

10.1 IMPLEMENTACION DEL SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL SECADO DE CACAO CON MONITOREO ONLINE

10.2 CONSTRUCCION DE LA CAMARA DE SECADO

El diseño que se realizó para la cámara de secado anteriormente, se basó en una estructura que se reciclo de un horno microondas elaborada en acero inoxidable Figura 53., por lo que presentaba buenas características, como sus espacios característicos como zona de secado para el ingreso del grano de cacao, zona de control respectivamente, pudiendo ser reutilizado en la creación de la maquina secadora cacao, cumpliendo con las normas de inocuidad para el manejo de productos alimenticios y

conservación de las temperaturas altas sin desprender alguna sustancia toxica que afecte el producto.



Figura 59. Horno microondas reutilizado
Fuente: El Autor

Para dejar lista la estructura y proceder a realizarles la instalación de los sistemas correspondientes al proceso, se le realizaron ajustes de latonería Figura 54., y Pintura Figura 55. A la estructura reutilizada dejando en óptimas condiciones para su presentación.



Figura 60. Instalación de láminas de acero inoxidable en la cámara de secado
Fuente: El autor

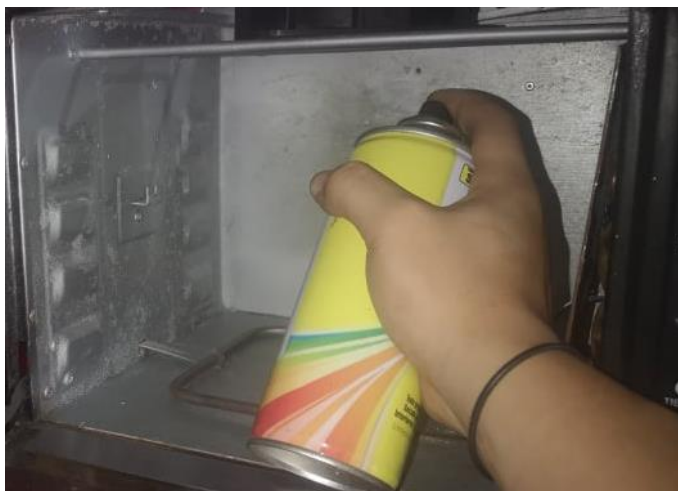


Figura 61. Proceso de pintura con anticorrosivo
Fuente: El autor

10.3 INSTALACION DEL SISTEMA DE CALEFACION

Se realizo la instalación de la resistencia térmica en la ubicación designada, ajustándola con un tornillo pasante, para que cumpla la función de calentar el aire ambiente de la cámara uniformemente Figura 56, realizando su conexión con la zona de control.



Figura 62. Instalación de sistema de calefacción

Fuente: El autor

10.4 INSTALACION DE SISTEMA DE EXTRACCION DE HUMEDAD

La instalación del sistema de extracción, se realizó sobre una estructura formada por barras paralelas, con la capacidad de soportar el dispositivo ventilador con un peso aproximado de 600 gr. Para su conexión con la zona de control se utilizó cable aislado para evitar cortos circuitos con la estructura metálica de la cámara de secado Figura 57.



Figura 63. Instalación del sistema extractor de humedad
Fuente: El Autor

10.5 INSTALACION DEL SISTEMA DE ROTACION

Se realizo una pequeña estructura adicional ajustada en la pared de la cámara de secado, de manera que se pueda sostener el motor síncrono con su eje, ubicado de manera que tenga una rotación libre y pueda tener una transferencia de calor eficiente, atornillado asegurando su estabilidad, ya que va contar con movimientos internos del grano. Figura 58.



Figura 64. Instalación del sistema de rotación – motor síncrono
Fuente: El Autor

La otra parte del sistema de rotación se elaboró en acero inoxidable, para la conservación de las altas temperaturas necesarias para la deshidratación requerida en el grano de cacao.

Se escogió este material sobre otros, como la madera que también es un buen material para la retención del calor necesario y evita que se provoque quemaduras en el contacto con el grano, como sucede con cualquier metal a temperaturas menores, sin embargo, al estar trabajando constantemente en un ambiente húmedo se provoca la degradación del material pudriéndolo afectando las características organolépticas del grano. Debido a esto se optó por la elaboración en el material designado anteriormente Figura 59.



Figura 65. Instalación del sistema de rotación – tanque contenedor del grano
Fuente: El Autor

10.6 CREACION DE LA PCB ELECTRONICA

Con los diseños esquemáticos de los módulos, sistema de acondicionamiento y sistema de potencia, se procede a diseñar las PCB's finales rigiendo las normas IPC, optimizando el espacio ubicando cada etapa lo más ordenado para evitar confusiones, presentando una visualización en 3D como resultado para su fabricación.

Contando con la verificación de cada uno de las etapas en cuanto a su funcionamiento, simulando los análisis teóricos pudiendo corroborar el buen diseño, permitiendo continuar con la fabricación física.

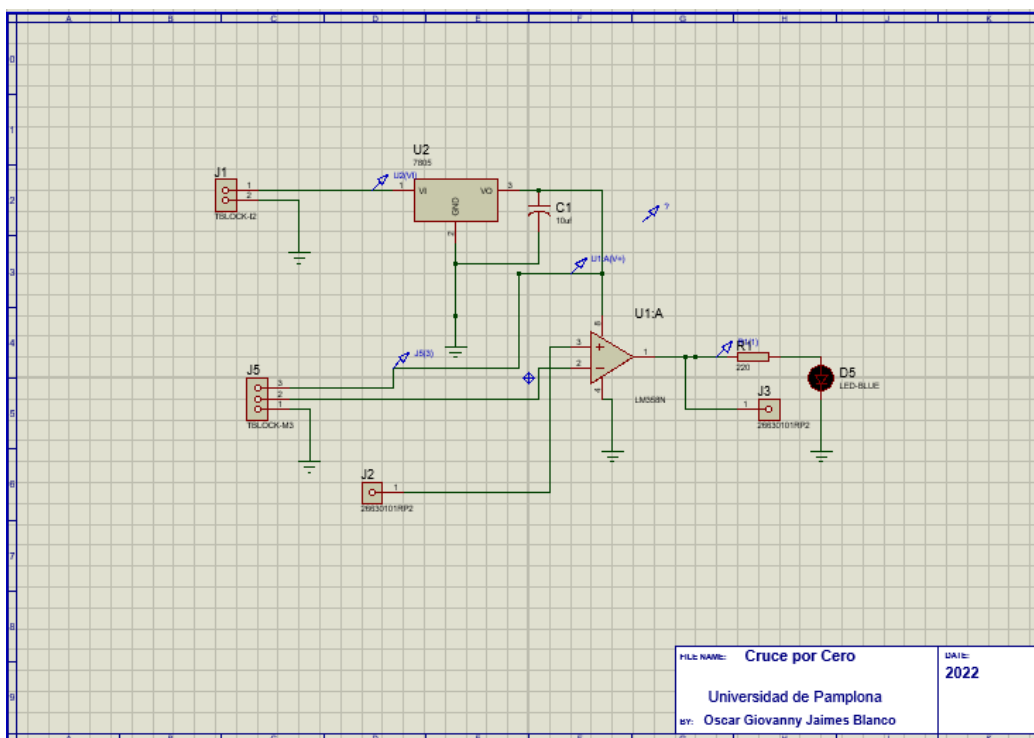
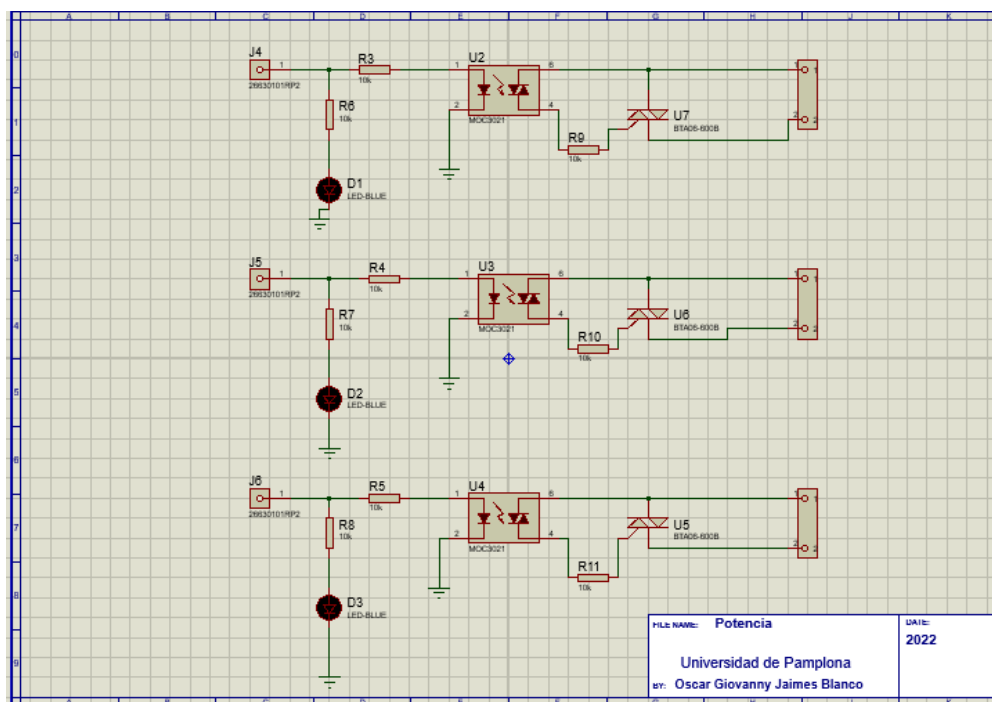


Figura 66. Esquemático Final – Cruce por cero

Fuente : El Autor



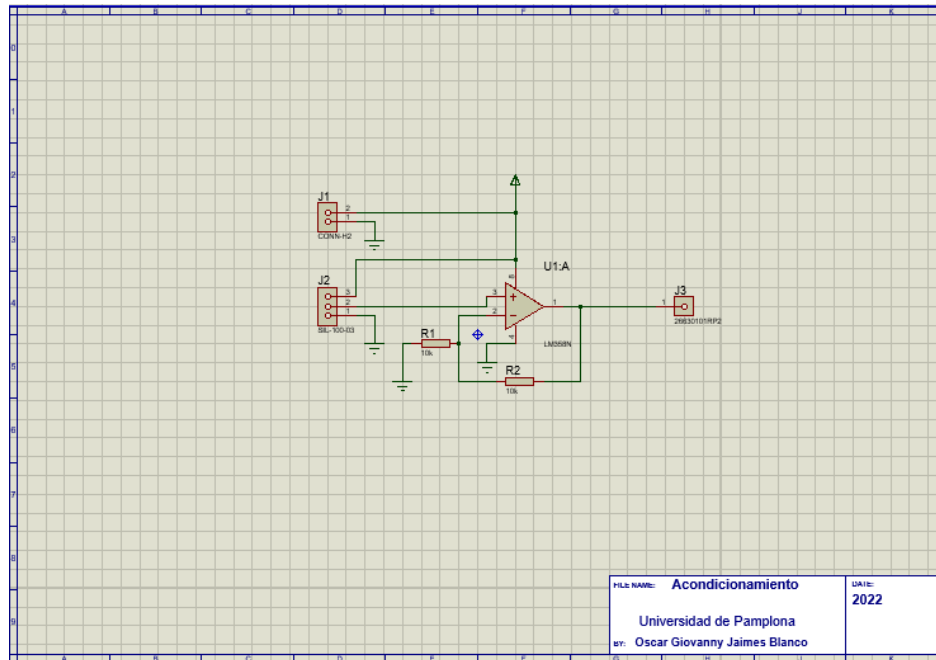


Figura 68. Esquemático Final – Acondicionamiento

Fuente: El Autor

Luego de la elaboración del esquemático final, se procede a realizar el PCB Layout que será el diseño que utilizaremos en la fabricación, donde se utilizaran las normas establecidas actualmente IPC. La PCB se diseñará de una capa, teniendo en cuenta las protecciones para alteraciones electroestáticas, por lo que se diseñó una distancia entre pistas más de la recomendada, evitando las conexiones a 90° entre pines.

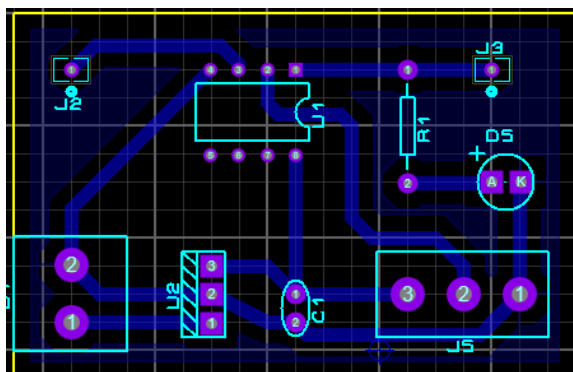


Figura 69. PCB layout – Cruce por cero
 Fuente: El Autor

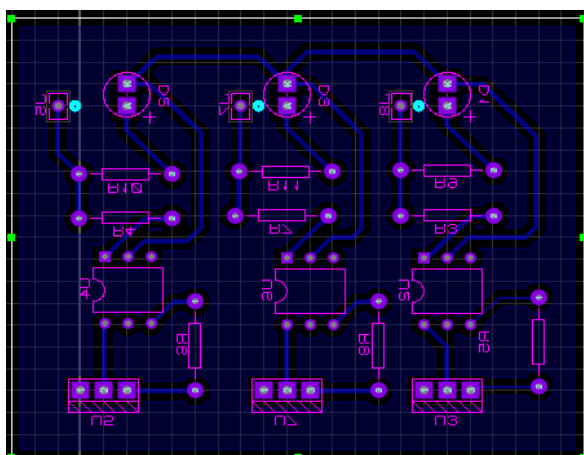


Figura 70. PCB Layout – Etapa de Potencia
 Fuente: El Autor

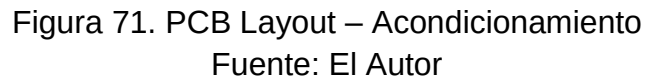


Figura 72. Vista en 3D – Etapa de potencia
Fuente: El Autor

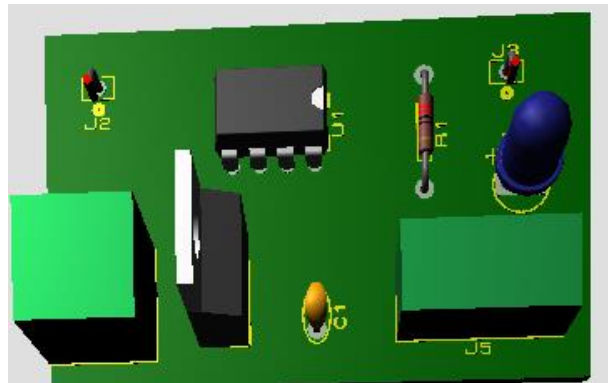


Figura 73. Vista 3D – Cruce por cero
 Fuente: el Autor

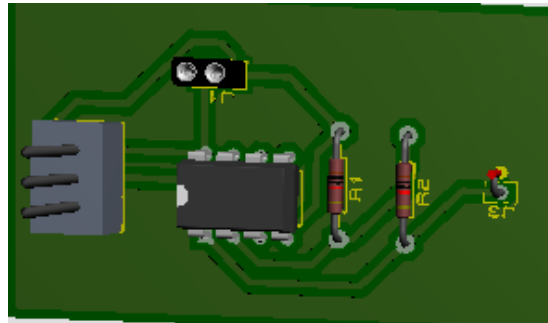


Figura 74. Vista 3D – Acondicionamiento
 Fuente: El Autor

En la fabricación de la placa electrónica física, se utilizará el método más empleado con anterioridad en múltiples proyectos, el cual se denomina el método de planchado. Consiste en la impresión sobre papel propalcote, del PCB layout por medio de impresión laser, brindando una capa de tinta con la imagen. Junto con una baquela de cobre empleando un método para la elaboración de este tipo de diseños.



Figura 75. Baquela de cobre para la fabricación de PCB's
Fuente: El autor

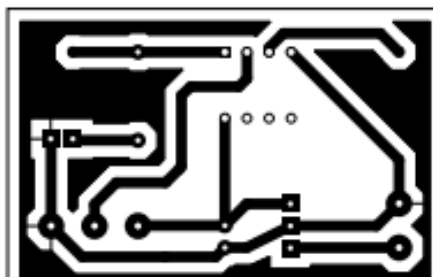


Figura 76. PDF para impresión laser – Cruce por cero
Fuente: El Autor

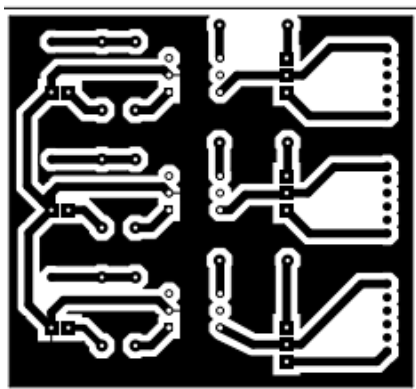


Figura 77. PDF para impresión laser – Etapa de potencia
Fuente: El Autor

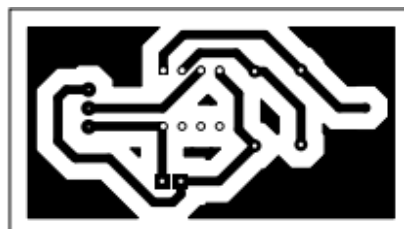


Figura 78. PDF para impresión laser – Acondicionamiento Lm35
Fuente: El Autor

Ya teniendo estos materiales, se procede a ubicar la imagen sobre la baquela de forma que quede ajustada, para después aplicarle altas temperaturas constantemente durante un tiempo determinado con una plancha, provocando que la tinta cubra y se adhiera a la baquela de cobre. Figura 73.



Figura 79. Método planchado
Fuente: El Autor

con ese proceso finalizado se hace uso de ácido férrico el cual provoca una reacción en cierto tiempo, que elimina las zonas con cobre que no se encuentren cubiertas por la tinta planchada dando un resultado de buena calidad.

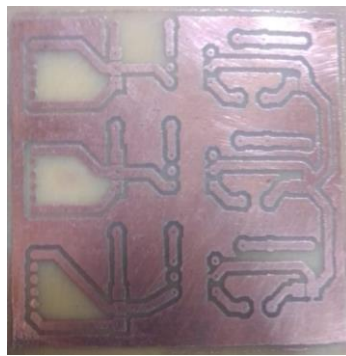
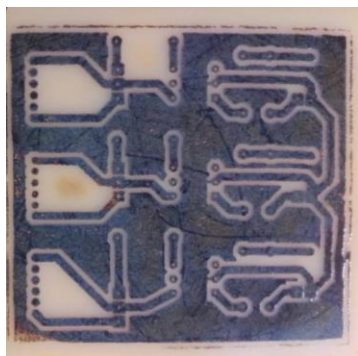


Figura 80. PCB Fabricada con método planchado – Etapa de potencia
Fuente: El Autor



Figura 81. PCB Fabricada con método planchado – Cruce por cero
 Fuente: El Autor

Contando con la PCB lista, después de su revisión correspondiente como continuidad entre cada una de las conexiones de los dispositivos, se realizará el montaje de los componentes de cada uno de los sistemas de acondicionamiento y sistema de potencia.



Figura 82. Placa Electrónica Final – Sistema de Potencia
 Fuente: El Autor



Figura 83. Placa Electrónica Final – Acondicionamiento
Fuente: El Autor



Figura 84. Placa Electrónica Final – Cruce por cero
Fuente: El Autor

10.7 INSTALACION DE SISTEMA DE ADQUISICION

La estructura de la cámara de secado al estar fabricada de metal, podría generar interferencias como cortos circuitos, debido a que la tarjeta de desarrollo para la adquisición de los datos, Arduino, tiene un diseño con unos pines que podrían hacer contacto con la estructura y causar los riesgos mencionados. Se realizó un piso con un

pliego de cartulina que cuenta con características aislantes a la electricidad. Ubicándolo de manera que sus conexiones no causen molestias entre componentes. Figura 79.



Figura 85. Instalación sistema de adquisición
Fuente: El Autor

10.8 INSTALACION DE LA PLACA ELECTRONICA FINAL

Se ubico la placa electrónica de manera que las conexiones a las cargas alternas, no causaran fatiga en los bornes a disposición, debido a que los cables utilizados cuentan con una rigidez alta y se requiere hacerles unas curvas para su instalación.

La posición de la placa electrónica la permite que haya un flujo de aire uniforme por ambas caras de la PCB para evitar calentamiento excesivo de los componentes electrónicos. Figura 80.



Figura 86. Instalación de la placa electrónica final
Fuente: El Autor

10.9 PUESTA EN MARCHA

El proceso que se conlleva para darle ejecución a la automatización del secado de cacao, basado en las referencias mencionadas tomando la información relevante con la expectativa de brindar un aporte en el secado de este producto pilar de la economía agrícola de la región, se encamino obteniendo la materia prima en su punto de cosecha recomendado, observando las características principales de un fruto listo para realizarles los pasos de producción.



Figura 87. Cosecha del cacao

Fuente: El Autor

Una vez seleccionado el fruto, se le extraen los granos desechando la cascara disponiéndola como compuesto orgánico. Estos granos cuentan con altos valores de humedad, siendo la fermentación un método utilizado en el proceso, consiguiendo que los valores de humedad reduzcan por aumentos de temperatura, al acumular los granos en espacios adecuados para tal tarea evitando la oscuridad o se podría desarrollar moho.



Figura 88. Desgranado

Fuente: El Autor

La etapa de fermentación se realiza en un espacio que contendrá los granos con altos volúmenes de agua, procurando que circule pequeñas cantidades de aire al interior, a temperatura ambiente. El propósito de esta etapa es obtener unos granos con cantidades de humedad que rondan entre los 50 – 60 % aproximadamente, como apoyo al secado artificial queriendo tener un proceso eficiente.



Figura 89. Caja de fermentación

Fuente: El Autor

Realizada la estructuración del prototipo, se correspondió a iniciar el proceso de secado, ingresando la materia prima en la cámara de secado, conteniendo altas cantidades de humedad del 40 – 55%, encontrando temperaturas bajas a las requeridas para tener un proceso de secado optimo.

Las muestras se estuvieron registrando en tiempo real, extendiendo los límites de tiempo del proceso, acorde se llegue a los valores establecidos de temperatura y humedad, teniendo la cámara de secado una ejecución continua hasta cumplir los requisitos establecidos.

El control de ambiente dentro de la cámara de secado se mantuvo en optimo funcionamiento, controlando los niveles de temperatura con el sistema proporcional, manteniéndose en la histéresis logrando conservar la temperatura necesaria para un secado del cacao eficientemente. Esto llevando a un desprendimiento de la humedad del grano, provocado por sus reacciones químicas, causando la deshidratación, extrayendo

la humedad restante fuera de la cámara, reduciendo los niveles de humedad del grano, llegando a los valores de calidad establecidos, siendo monitoreados estos parámetros en la interfaz web, finalizando el proceso. Figura 69



Figura 90. Puesta en marcha

Fuente: El autor



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se realizó la investigación del proceso de secado de cacao a lo largo de registros históricos, donde se determinan los factores claves, métodos e innovaciones que se hayan presentado, o se presenten actualmente, teniendo toda esa información en cuenta y poder determinar cuál sería una propuesta que demuestre unos resultados eficientes respecto a su viabilidad.

Tomando como referencia la información respecto a un proceso de secado, se determinaron los parámetros importantes a analizar, implementando una serie de circuitos, con un diseño que me permite acondicionar las señales detectadas y en un proceso de adquisición registrarlas en una base de datos, con una precisión y exactitud alta, para su posterior tratamiento en beneficio del proceso de secado, manteniendo el ambiente controlado, con métodos que no podría ser el más óptimo ingenierilmente, presta unos servicios aceptables para lograr obtener valores cercanos a los estándares de buena calidad.

El diseño de respaldo de suministro de energía eléctrica realizado resulta como una buena alternativa, debido a que el dimensionamiento cubre la demanda de energía, dejándolo como propuesta al no contar con la instalación necesaria.

El usuario de la máquina del secado de cacao, va contar con una herramienta que le posibilitará reducir los tiempos del proceso, reducir la mano de obra, y realizar un monitoreo en tiempo real de los cambios que le ocurren al grano dentro de la cámara, de manera remota por medio de la interfaz web, determinando la calidad del producto en valores estándar, con lo que obtendrá un aumento en sus ingresos económicos.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



2. BIBLIOGRAFÍA

3. Referencias

- (2018). Obtenido de MasFerreteria: <https://www.masferreteria.com/blog/generadores-de-corriente/>
- Alexis Fabian Barbecho, J. c. (2019). *DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE MAQUINA HIBRIDA DE SECADO DE GRANOS DE CACAO CON SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO DE TEMPERATURA*. Cuenca: Universidad Politecnica salesiana.
- Amor al chocolate. (2021). Obtenido de <https://amoralchocolate.weebly.com/proceso-del-cacao.html>
- comunicaciones, M. d. (2019). *ASPECTOS BASICOS DE LA INDUSTRIA 4.0*. Bogota: Oficina Asesora de Planeacion y estudios sectoriales.
- Electronica, C. (2020). *Carrod Electronica*. Obtenido de <https://www.carrod.mx/products/lm358n-ka358>
- Facil, M. e. (2020). *Mi electronica facil*. Obtenido de <https://mielectronicafacil.com/analogica/amplificador-no-inversor/#ejercicios-resueltos>
- Garcia, A. B. (2015). *CONTROL Y MONITORIZACIÓN DE UN INVERNADERO A TRAVEZ DE UNA APLICACION MOVIL*. Madrid: Universidad Politecnica de madrid.
- Guerrero, J. (21 de Septiembre de 2014). *Pluselectric*. Obtenido de <https://pluselectric.wordpress.com/2014/09/21/arduino-uno-especificaciones-y-caracteristicas/>
- HENRY ALFONSO GILCES VERA, F. M. (2013). *ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE PROCESO DE SECADO DE CACAO Y*. Milagro: Universidad Estatal de Milagro.
- JIMÉNEZ, E. L. (2018). *SISTEMA DE MONITOREO MULTISENSORIAL QUE MEJORA LA CALIDAD DEL PROCESO*. Pamplona: Universidad de Pamplona.
- Llamas, L. (2016). *luis llamas, Ingenieria, informatica y diseño*. Obtenido de <https://www.luisllamas.es/medir-temperatura-con-arduino-y-sensor-lm35/>
- Samuel Huayamave Astudillo, E. t. (2015). *Diseño e implementacion de un intercambiador de calor para secado artificial de particulas solidas. Caso de estudio theobroma cacao*. Guayaquil: Universidad Politecnica Salesiana Ecuador .
- Vargas, V. (2021). *Diseño de una instalacion de un sistema fotovoltaico autonomo*. Pamplona: Universidad de pamplona.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co

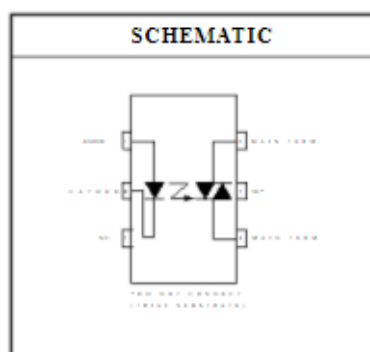
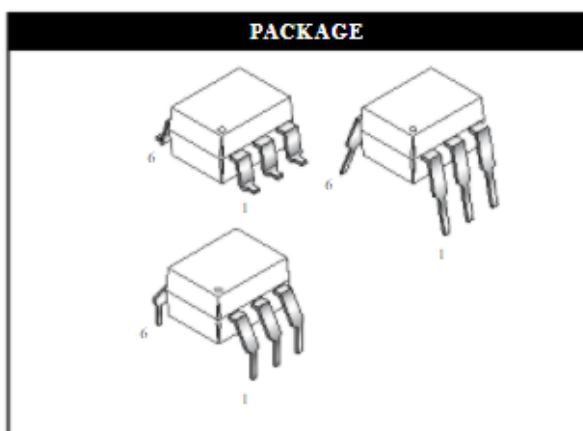
ANEXOS

ANEXO 1. DATASHEET MOC3021



6-PIN DIP RANDOM-PHASE OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT (250/400 VOLT PEAK)

MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M



DESCRIPTION

The MOC301XM and MOC302XM series are optically isolated triac driver devices. These devices contain a GaAs infrared emitting diode and a light activated silicon bilateral switch, which functions like a triac. They are designed for interfacing between electronic controls and power triacs to control resistive and inductive loads for 115 VAC operations.

FEATURES

- Excellent IFT stability—IR emitting diode has low degradation
- High isolation voltage—minimum 5300 VAC RMS
- Underwriters Laboratory (UL) recognized—File #E90700
- Peak blocking voltage
 - 250V-MOC301XM
 - 400V-MOC302XM
- VDE recognized (File #94766)
 - Ordering option V (e.g. MOC3023VM)

APPLICATIONS

- Industrial controls
- Traffic lights
- Vending machines
- Solid state relay
- Lamp ballasts
- Solenoid/valve controls
- Static AC power switch
- Incandescent lamp dimmers
- Motor control



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
Avanzamos... ¡Es nuestro objetivo!



FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR®

**6-PIN DIP RANDOM-PHASE
OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT
(250/400 VOLT PEAK)**

MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (T _A = 25°C unless otherwise noted)				
Parameters	Symbol	Device	Value	Units
TOTAL DEVICE				
Storage Temperature	T _{STG}	All	-40 to +150	°C
Operating Temperature	T _{OPR}	All	-40 to +85	°C
Lead Solder Temperature	T _{SOL}	All	260 for 10 sec	°C
Junction Temperature Range	T _J	All	-40 to +100	°C
Isolation Surge Voltage(1) (peak AC voltage, 60Hz, 1 sec duration)	V _{ISO}	All	7500	Vac(pk)
Total Device Power Dissipation @ 25°C Derate above 25°C	P _D	All	330	mW
			4.4	mW / °C
EMITTER				
Continuous Forward Current	I _F	All	60	mA
Reverse Voltage	V _R	All	3	V
Total Power Dissipation 25°C Ambient Derate above 25°C	P _D	All	100	mW
			1.33	mW / °C
DETECTOR				
Off-State Output Terminal Voltage	V _{DSM}	MOC3010M/1M/2M	250	V
		MOC3020M/1M/2M/3M	400	
Peak Repetitive Surge Current (PW = 1 ms, 120 pps)	I _{TSM}	All	1	A
Total Power Dissipation @ 25°C Ambient Derate above 25°C	P _D	All	300	mW
			4 mW / °C	

Note

1. Isolation surge voltage, V_{ISO}, is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co

ANEXO 2. DATASHEET TRIAC BT136

Triacs

BT136 series

GENERAL DESCRIPTION

Glass passivated triacs in a plastic envelope, intended for use in applications requiring high bidirectional transient and blocking voltage capability and high thermal cycling performance. Typical applications include motor control, industrial and domestic lighting, heating and static switching.

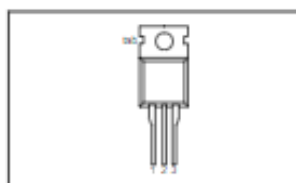
QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	MAX.	MAX.	MAX.	UNIT
V_{DRM}	Repetitive peak off-state voltages	500	600	800	V
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current	4	4	4	A
I_{TSM}	Non-repetitive peak on-state current	25	25	25	A

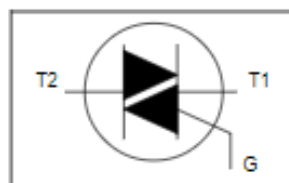
PINNING - TO220AB

PIN	DESCRIPTION
1	main terminal 1
2	main terminal 2
3	gate
tab	main terminal 2

PIN CONFIGURATION



SYMBOL



LIMITING VALUES

Limiting values in accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{DRM}	Repetitive peak off-state voltages		-	-500 500 ¹	V
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current	full sine wave; $T_{jmax} \leq 107^\circ\text{C}$	-	4	A
I_{TSM}	Non-repetitive peak on-state current	full sine wave; $T_j = 25^\circ\text{C}$ prior to surge	-	25	A
I_{Pt}	I_{Pt} for fusing	$t = 20\text{ ms}$	-	27	A
di_T/dt	Repetitive rate of rise of on-state current after triggering	$t = 10\text{ ms}$	-	3.1	A/s
I_{GT}	Peak gate current	$I_{GT} = 6\text{ A}$; $I_G = 0.2\text{ A}$	-	50	A
V_{GM}	Peak gate voltage		-	50	V
P_{GM}	Peak gate power		-	50	W
$P_{G(AV)}$	Average gate power	over any 20 ms period	-	0.5	W
T_{stg}	Storage temperature		-40	150	$^\circ\text{C}$
T_j	Operating junction temperature		-	125	$^\circ\text{C}$

¹ Although not recommended, off-state voltages up to 800V may be applied without damage, but the triac may switch to the on-state. The rate of rise of current should not exceed 3 A/s.

ANEXO 3. Conexiones de los circuitos

Fuente: El autor

