

Citar este artículo como: Beato, L., Toribio, R., Hernández Cruz, A.N., & Tavera Ureña, D. (2018). Diseño de una máquina secadora de café automatizada por medio de microcontroladores. *Revista Utesiana de la Facultad de Arquitectura e Ingeniería*, 3(3), 14-24.

DISEÑO DE UNA MÁQUINA SECADORA DE CAFÉ AUTOMATIZADA POR MEDIO DE MICROCONTROLADORES

Luciano Beato^{3a}

Universidad Tecnológica de Santiago

Raul Toribio³

Universidad Tecnológica de Santiago

Ana Nikaully Hernández Cruz⁴

Universidad Tecnológica de Santiago

Dariana Tavera Ureña⁴

Universidad Tecnológica de Santiago

RESUMEN: El proyecto consiste en una máquina secadora de café programable, con un sistema de telemediciones para el monitoreo de las variables de temperatura, humedad y tiempo, mejorando las características de sabor que se obtienen mediante el secado del grano de forma equilibrada. El prototipo desarrollado puede regular la cantidad de calor suministrada a la máquina y realizar las mediciones de temperatura correspondientes. A través del prototipo diseñado y verificado, se ha podido lograr el control y la estabilidad de la temperatura y la humedad dentro del reservorio de secado; hacer una cinta transportadora que facilitara el transporte de los granos a la máquina; y, controlar el tiempo y la eficiencia del proceso de secado.

Palabras clave: calefacción, SSR, regulación.

ABSTRACT: The project consists of a programmable coffee drying machine, with a telemetering system for the monitoring of temperature, humidity and time variables. Improving the flavor characteristics obtained by drying the grain in a balanced way. The developed prototype can regulate the amount of heat supplied to the machine and perform the corresponding temperature measurements. Through the purpose designed and verified it has been possible to achieve the control and stability of temperature and humidity inside the drying reservoir; make a conveyor belt that facilitates the transport of the grains to the machine; and, control the time and efficiency of the drying process.

Key words: heating, SSR, regulation.

³ Profesor de la Facultad de Arquitectura e Ingeniería de la Universidad Tecnológica de Santiago.

^a Autor para correspondencia: lucianodel@docente.utesa.edu

⁴ Estudiante de la Carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Tecnológica de Santiago.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este artículo es presentar el diseño de una máquina electrónica secadora de café automatizada, mejorando las características de olor y sabor que se obtienen mediante la uniformidad de secado del grano en una forma equilibrada. En el diseño de esta máquina se manejan variables de temperatura y tiempo, con el propósito de obtener un café de alta calidad y disminuir las pérdidas del mismo.

La justificación para el diseño de este proyecto viene dada porque, el proceso de secamiento del grano de café es decisivo para la composición, forma y estructura del grano. A priori, se demanda un esfuerzo físico previo por parte de los agricultores y, en la actualidad, como las máquinas existentes no son económicamente asequibles, se sigue utilizando el método tradicional de secar los granos de café al sol en patios de cemento, esparciéndolo en tendales con capas de 8 centímetros de espesor, los cuales deben removerse varias veces al día secándolos de esta manera al sol, durante diez o veinte días de forma manual. Estos sistemas requieren un esfuerzo respectivamente grande por parte del agricultor y ocasiona grandes pérdidas en los cultivos, debido a que, en este período, existe carencia de luz solar. De esta manera, en República Dominicana es muy difícil encontrar una máquina capaz de realizar el proceso de secamiento de granos de café. Los existentes, aparte de tener un elevado costo, deben traerse del exterior y no son fáciles de operar por el usuario.

PLANTEAMIENTO DEL DISEÑO

Antecedentes

En la actualidad el café es una bebida altamente estimulante por el contenido de cafeína que contiene, obteniéndose a partir de las semillas tostadas y molidas de los frutos de la planta del café. Es conocido como una de las bebidas sin alcohol más socializadoras en muchos países. Los granos del café son uno de los principales productos de origen agrícola que se comercializan en los mercados internacionales, y su cultivo está culturalmente ligado a la historia y al progreso de muchos países que lo han producido por más de un siglo. Pero al igual que cada producto, lleva un proceso estricto y delicado para su distribución.

El proceso de secamiento de cualquier material es decisivo para la composición, forma y estructura del grano del cual se pretende reducir la humedad. La forma habitual de secar los granos de café es al sol en patios de cemento, esparciéndolo en tendales con capas de 8 centímetros de espesor, los cuales deben removerse varias veces al día secándolos de esta manera al sol, durante diez o veinte días. Este proceso tiene como objetivo reducir la cantidad de humedad contenida en el grano, aproximadamente a un 11% o

12%, que es lo establecido por las normas vigentes para la comercialización de café (Cortijo, s/f).

La práctica de secamiento tiene por objetivo disminuir el agua del grano de café previamente lavado y escurrido de una forma natural o mecánica, a un punto comercialmente aceptado que reúna las características para almacenarlo, venderlo o trillarlo posteriormente. El mecanismo del secamiento del café es más complicado que el de cualquier otro grano, debido a su alto contenido de humedad (55%), por la volatilización de componentes aromáticos que aparecen si se emplean altas temperaturas y, también, por el efecto que las condiciones de operación puedan causar en el aspecto y, particularmente, en la bebida.

Normativas y regulaciones

Este trabajo cumple con las siguientes regulaciones:

- ISO 13849-1:2006: el prototipo de máquina cumple con los requerimientos de seguridad y orientación sobre los principios del diseño y la integración de sus partes relacionadas con la seguridad de los sistemas de control, incluyendo el diseño de *firmware*.
- Norma J-STD-001: se cumple con este estándar que describe los materiales, métodos y criterios de verificación para producir interconexiones de alta calidad soldada, adaptándonos a los requisitos para la soldadura de montajes eléctricos y electrónicos.
- EN 61508-1-7:2010: la máquina está diseñada y construida bajo los requerimientos de seguridad generales para los dispositivos eléctricos y electrónicos programables, ya que la misma aplica para cualquier sistema de seguridad que esté basado, al menos, en un componente eléctrico, electrónico o electrónico programable.
- Norma RAEE: se aplica esta norma sobre los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, cuidando la sostenibilidad ambiental.
- ISO 22000: se establecen los requisitos que debe cumplir un sistema de gestión alimentario, asegurando la inocuidad de los alimentos, y manteniendo los estándares de inocuidad de alimentos desde el inicio de su producción hasta el consumidor final.
- IPC-2518: en este trabajo queda contemplada una lista de piezas de todos los dispositivos utilizados para elaboración del producto.
- Decreto No. 528-01, sobre Control de Riesgos en Alimentos y Bebidas en la República Dominicana: se aplica esta norma debido a que la máquina a diseñar será utilizada para tratar alimentos.

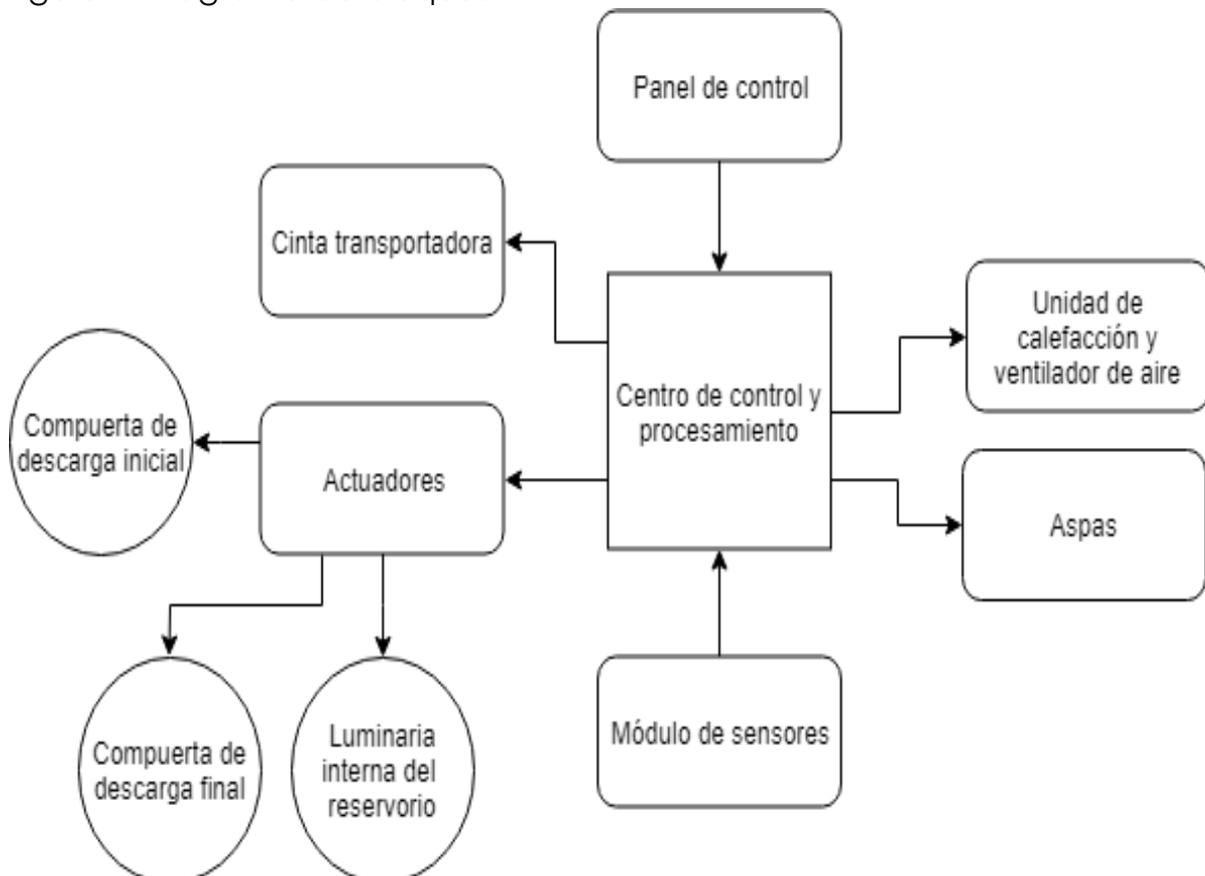
Especificaciones de la máquina a diseñar

- Capacidad de secado 60kg de café pergamino húmedo en 24hrs.
- Grado de humedad final 11-12% bh.
- Conexión de red monofásica 120-240 V a 60Hz.

- Temperatura de operación mínima de 46 °C, máxima 50 °C.
- Microcontrolador ATMEGA16 a 5 V, 16 MHz.
- Panel central con capacidad de visualización de temperatura.
- Botón de inicio del sistema automático.
- Botón de parada de emergencia.
- Botón de rearme para emergencias.
- Indicador luminoso de puesta en marcha.
- Indicador luminoso de emergencia.
- Cinta transportadora de granos hasta orificio de entrada.

Diagrama de bloques

Figura 1. Diagrama de bloques.



Fuente: elaboración propia.

A continuación se explica el diagrama:

- Centro de control y procesamiento (MCU): es el centro de control y procesamiento de señales de la máquina.
- Control de movimiento: recibe las señales de control del microprocesador hacia el motor y las convierte a señales de tensión que los motores soporten, con una mayor corriente.
- Unidad de calefacción: es el método mediante el cual se aporta calor con el fin de mantener o elevar la temperatura de la máquina.
- Ventilador de aire: es el encargado de la impulsar señales de un ventilador para que circule el aire a través del reservorio.

- Panel de control: es la interface de interacción del usuario con la máquina, en este está contenida la pantalla de visualización, los botones de operación y emergencias, además, está la alarma de alerta por detección de fallas y los indicadores de la máquina (energizada, detección de fallas y procesos).
- Mecanismo actuador: sistemas de accionamiento para abrir la compuerta de entrada y salida del café.
- Módulo de sensores: estos dispositivos tienen la tarea de censar humedad, temperatura y nivel para el correcto funcionamiento de la máquina.

CIRCUITO ESQUEMÁTICO

Descripción del circuito

Se diseñará y construirá el prototipo de una máquina electrónica secadora de café automatizada, mejorando las características de color, olor y sabor, que se obtienen mediante la cocción del grano de forma equilibrada, manejando variables de temperatura y tiempo para lograr obtener un café de alta calidad y disminuir las pérdidas del mismo. Esta máquina constará con un tablero de mando donde el usuario podrá visualizar el funcionamiento y los estados de la máquina (energizada, fallas y procesos), y en este mismo espacio encontrará los botones de encendido, rearme y emergencia.

El proyecto consta de tres módulos principales:

- Unidad de calefacción eléctrica.
- Control de movimiento.
- Módulo de sensores.

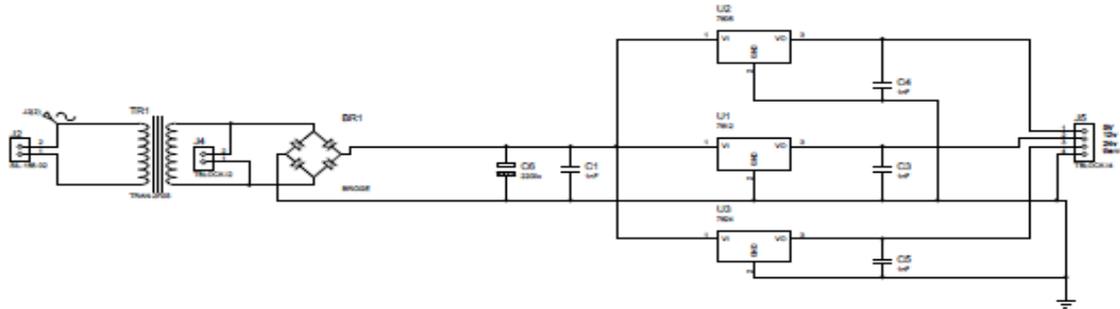
La unidad de calefacción eléctrica es el método mediante el cual se aporta calor con el fin de mantener o elevar la temperatura de la máquina. Esta unidad estará controlada por las variables que maneja el microcontrolador, en conjunto con un ventilador para la expansión de aire.

El control de movimiento recibe las señales del centro de control y procesamiento, convirtiéndolas a señales tensión, con una mayor corriente para manejar los giros del motor y, al mismo tiempo, el esparcir el café a través de la máquina.

La otra parte está formada por el módulo de sensores, y tiene como función captar la señal analógica de los sensores y convertirla mediante comparadores a una señal aceptada por el microprocesador. Tiene la tarea de identificar la temperatura, el nivel y la humedad que está manejando la máquina en el momento.

Módulo de regulación de voltaje

Figura 2. Módulo de regulació de voltaje.

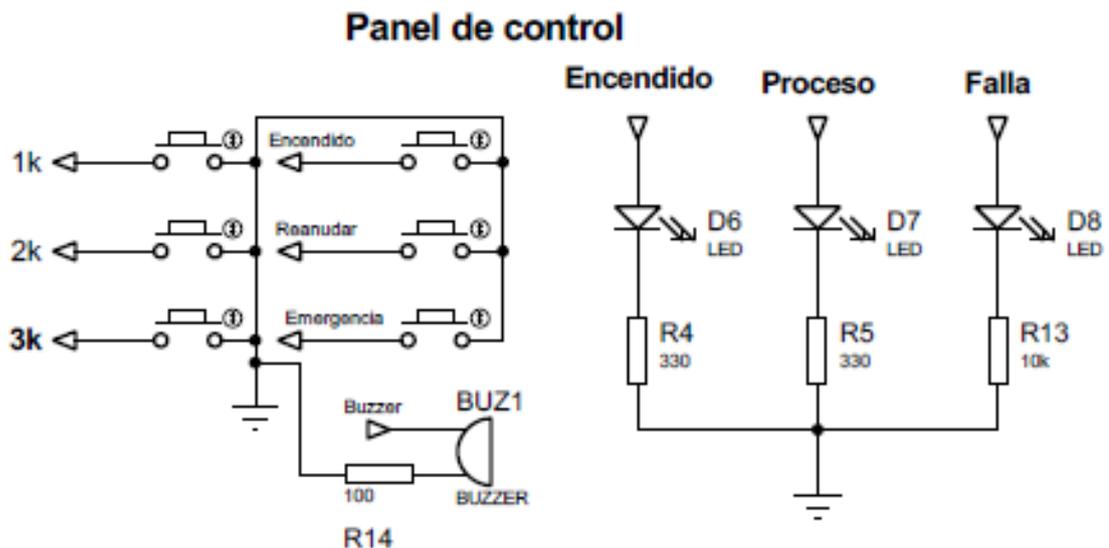


Fuente: elaboración propia.

Esta es la parte destinada a la adecuación de las características y parámetros de energía disponible. Con la finalidad de abastecer la alimentación de los equipos que posee la máquina, dándole un funcionamiento estable y seguro. Los dispositivos empleados en la creación de la secadora manejan corriente directa.

Esta etapa tiene como finalidad, estabilizar los voltajes a través de los reguladores 7805, 7812 y 7824, adecuando la tensión a través del filtrado de las señales por medio de los capacitores eliminando el rizado. El resultado final de este módulo es proporcional voltaje estable DC a 5 voltios, 12 voltios y 24 voltios.

Figura 3. Panel de control.



Fuente: elaboración propia.

El buzzer está como un elemento de seguridad pasiva, utilizado como emisor de alerta en caso de que se detecte algún fallo de operación en la máquina.

Es la señal por medio del cual se informa al usuario que la máquina no está funcionando correctamente o tiene alguna anomalía.

Los indicadores luminosos son diodos semiconductores capaces de emitir luz al ser atravesados por una corriente eléctrica. Esta máquina cuenta con cuatro indicadores: uno rojo indicando al usuario que existen errores de operación, verde para mostrar que la máquina está en un ciclo de trabajo, y naranja y amarillo para indicar advertencias.

Pulsadores

Dentro del panel de control se encuentran seis elementos para el control y manejo de la máquina:

- Botón de encendido, para suministrarle energía a la máquina y ponerla en funcionamiento.
- Botón de emergencias, el cual tendrá como función detener cualquier proceso que la máquina este haciendo en el momento en que se presione.
- Tiene tres pulsadores dedicados a seleccionar el peso que se le va a introducir a la máquina (1kg, 2kg o 3kg).
- El panel cuenta además con una pantalla LCD para la visualización de las opciones de secado, la temperatura y las muestras.

Centro de control y procesamiento (MCU)

El MCU es el circuito de control, alimentado por los 5V que vienen generados del regulador de baja potencia, el dispositivo principal de este circuito es el microcontrolador Arduino Mega, del cual dependen los demás periféricos de control pertenecientes a la máquina. Estos son el módulo de calefacción, el módulo de sensores para identificar la humedad y temperatura de la máquina y el módulo de control de movimiento del motor para controlar y manejar el giro de los motores.

Módulo de calefacción y circulación del aire caliente

Este módulo tiene como objetivo controlar una resistencia eléctrica para emitir el calor que circulará a través de la máquina. Posee como dispositivo actuador un relé de estado sólido (SSR), que es un dispositivo interruptor electrónico que conmuta el paso de la electricidad cuando una pequeña corriente es aplicada en sus terminales de control. Posee el optoacoplador MOC3031M que responde a una señal de control. Este dispositivo es un interruptor sin partes mecánicas diseñado para conmutar corriente alterna o continua. Hace la misma función que el relé electromecánico, pero sin partes móviles para alargar la duración del mismo.

Medidores de temperatura y humedad

En esta etapa los sensores DS18B20 tienen la tarea de muestrear el nivel de temperatura de la máquina en ambos extremos, con la finalidad de obtener magnitudes físicas precisas para ser transformadas en variables eléctricas y el resultado sea entendido por el microcontrolador capturando los datos, procesándolos y, con esto, controlar el módulo de calefacción de la máquina. El sensor DHT22 se utiliza para medir la humedad de los granos de café y determinar si se encuentran dentro del rango de un 10% o 12% de humedad. Estos sensores, en conjunto, se colocarán en la máquina con la finalidad de modificar la temperatura dentro del 45-50°C, para que el secado sea eficiente, por medio del equilibrio entre ganancia y pérdida de calor dentro del rango de un 10% o 12% de humedad que es establecido por la asociación de caficultores (Cortijo, s/f).

Control de descarga final

Esta etapa posee una válvula solenoide de descarga que tiene la importante función de controlar la salida de los granos de café que se encuentren en los parámetros establecidos por las normativas de agricultores, listo para almacenarse o exportarse. Una vez que se expulse todo el grano de café, la válvula regresa a su estado inicial obstaculizando el paso de los granos.

Control de descarga de tolva

En esta etapa se visualiza un puente en H realizado con relé; estará conectado al pin digital # de la placa de desarrollo, con este se controlan un motor de corriente continua que al que abrirá la compuerta de descarga de la tolva permitiendo esto que el café pase a la cinta transportadora y de esta, al reservorio. Cuando el café termine de descargarse, el usuario dará un pulso para cerrar la compuerta.

Control de la cinta transportadora

El microcontrolador enviará la señal de activación a un relé conectado al pin 5. Al recibir la señal, el relé energizará un motor CD el cuál está encargado del movimiento de la cinta.

Control de velocidad de las aspas

En este circuito se realiza modulación de ancho de pulso. El mismo está basado en un integrado 555, el cuál genera la modulación necesaria para controlar el transistor que activa el motor DC. La frecuencia de oscilación del circuito estará manejada por los componentes colocados, controlando así la velocidad de movimiento de las aspas.

VERIFICACIÓN Y PRUEBAS DEL PROTOTIPO

Pruebas y mediciones

- Prueba de unidad de calefacción y sensores de temperatura del prototipo (ver prototipo en figura 4): el objetivo de esta prueba es verificar la cantidad de calor emitida por la resistencia eléctrica y evaluar la posibilidad de controlar y mantener la temperatura dentro de la recámara mediante la lectura obtenida de los sensores.
 - Definición: controlar el flujo de calor emitido a través de la resistencia eléctrica, mediante la comparación de lecturas de los sensores.
 - Escenario o configuración de prueba: conectar los pines de los sensores DS18B20 y el SSR a los pines 08, 33 y 34 del Atmega2560, que corresponden a pines analógicos y digitales del microcontrolador. Inicialmente se enciende la unidad calorífica enviando un pulso al SSR (relé de estado sólido); recibido este, se activa la dicha unidad y se empieza el muestreo de los sensores de temperatura cada 10 segundos.
 - Resultados esperados: se pretende obtener un nivel de lectura de los sensores adecuado y mediante estos, poder modular el ancho de pulso del SSR sin llegar a apagar totalmente la unidad calorífica, manteniendo así un nivel de calor idóneo.
 - Ejecución y resultados reales: luego de conectados y establecidos todos los componentes, en la estación de pruebas se procedió a energizar tomando energía alternar para el SSR, alimentando los sensores y el microcontrolador con 5 volt. Luego esto, se empezó a hacer muestreo de los sensores en el intervalo de tiempo anteriormente mencionado, controlando con un promedio de las lecturas obtenidas el tiempo On y Off de la resistencia eléctrica.
 - Análisis de la prueba: la prueba no fue satisfactoria ya que no se pudo modular completamente el ancho de pulso del SSR. Sin embargo, las pruebas de los sensores fueron exitosas, ya que se pudieron parametrizar las lecturas de temperatura y enviar los pulsos de regulación.
- Prueba de control de aspas mediante motor DC: la finalidad de esta prueba es comprobar si los granos de café son esparcidos uniformemente dentro del equipo.
 - Definición: inspeccionar el movimiento de los granos de café.
 - Escenario o configuración de prueba: conectar las terminales del motor al relé y al microcontrolador en los pines dos y tres del atmega16, que corresponden a pines digitales. Inicialmente para realizar esta prueba se envía un pulso desde la unidad de procesamiento al relé excitando de esta manera al motor para provocar su movimiento.
 - Resultados esperados: obtener un movimiento homogéneo y estable en el motor que maneja las aspas.

- Ejecución y resultados reales: Luego de organizados todos los componentes, se procedió a energizar el motor y el microcontrolador.
- Análisis de la prueba: la prueba no fue exitosa debido a un desperfecto mecánico que provoca que las aspas actuales rocen con la carcasa y se tranque el motor, por consiguiente, no se puede realizar la correcta distribución de los granos.

Figura 4. Prototipo construido.



Fuente: elaboración propia.

- Prueba de módulo de relés y fuente de alimentación: el objetivo de esta prueba es verificar que la fuente utilizada para alimentar la parte electrónica de control del proyecto tiene suficiente potencia para manejar la carga que será instalada.
- Definición: explorar el funcionamiento de la fuente de alimentación.
- Escenario o configuración de prueba: conectar los actuadores al módulo de relés, es decir, conectar las válvulas solenoides y el motor, además de conectar los indicadores para comprobar el funcionamiento.

- Resultados esperados: obtener el correcto funcionamiento de los actuadores, utilizando el módulo de relés como interface entre el microcontrolador y los dispositivos.
- Ejecución y resultados reales: cargarle al microcontrolador el programa prueba para enviar a activar las salidas relacionadas con los actuadores. Luego de esto, se procedió a energizar el módulo de relés y los actuadores.
- Durante la prueba se observó que cuando 3 de los actuadores estaban activados, el nivel de energía bajaba considerablemente hasta el punto de apagarse la fuente.
- Análisis de la prueba: la prueba fue exitosa debido a que pudimos determinar una falla en el sistema de energía propuesto para el proyecto.

CONCLUSIONES

El proyecto ha logrado muchas de las expectativas propuestas, entre las que se citan:

- Lograr el control y la estabilidad de la temperatura y la humedad dentro del reservorio de secado.
- Hacer una cinta transportadora que facilitara el transporte de los granos a la máquina.
- Controlar el tiempo y la eficiencia del proceso de secado.
- Desarrollar un mecanismo de emergencia que detiene el proceso en su totalidad en caso de fallas.

Para este tipo de secador es mejor utilizar un sistema de combustible a una resistencia eléctrica, debido a que el consumo que presenta este tipo de tecnología es menor. También, es necesario escoger otro tipo de sensores de temperatura que soporten condiciones más hostiles. Como futura línea de investigación, se estará trabajando en la mejora de este prototipo.

BIBLIOGRAFÍA

Cortijo, J.D. (s/f). *El mundo del café*. España, Homatic Vending.

Decreto No. 528-01, sobre Control de Riesgos en Alimentos y Bebidas en la República Dominicana. Santo Domingo, República Dominicana.

Recibido: 31/03/2018

Reenviado: 09/04/2018

Aceptado: 24/04/2018

Sometido a evaluación de pares anónimos