

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE PERFIL DE CALENTAMIENTO Y AGITACIÓN PARA UN TOSTADOR POR RESISTENCIAS ELÉCTRICAS CON CAPACIDAD DE 25 LIBRAS DE CAFÉ DE QUINUA

ARTICULO CIENTÍFICO

Pozo Benavides Lenin Gonzalo¹, Ing. Gustavo Mosquera²

Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador

lenin.gpb90@outlook.com, gmosquera@utn.edu.ec

Resumen. - En el presente artículo se demuestran los resultados de la investigación realizada para determinar si la implementación de un sistema de control para la máquina tostadora de café de quinua permite mejorar la homogeneidad del tostado del producto.

Para el desarrollo de este proyecto se ha realizado una investigación sobre el calentamiento con el uso de resistencias eléctricas para ser implementadas en la máquina tostadora de café de quinua desarrollada por la Srta. Jeniffer Pozo, para que en conjunto se pueda tostar café de quinua con una capacidad de 25 lb con una temperatura de 180°C en un tiempo de 45min.

Con las resistencias eléctricas se puede obtener un calentamiento mucho más preciso y manejable para el procesamiento de productos alimenticios, además con el uso de un sistema de control se puede mejorar las características de calentamiento de la máquina, también se aprovecha las ventajas de la electrónica de potencia moderna, los microcontroladores y sensores.

Disponiéndose así de una potencia de calentamiento de 7.2kW y un sistema de control basado en microcontrolador, un sensor termocupla tipo K además de un actuador relé de estado sólido, y contactores de arranque de la

máquina y del motor del sistema de agitación controlado de manera automática.

Palabras Claves

Calentamiento por resistencias, control de temperatura, tostadora.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad las personas buscan productos que se caractericen por su alto contenido proteínico y que permitan llevar una dieta saludable. Este es el caso del café de quinua que por sus excelentes beneficios a la salud del consumidor se convierte en un sustituto de gran calidad del café tradicional, sin tener que dejar de disfrutar de su aroma y sabor característico.

El uso de productos autóctonos del Ecuador ha llevado a centrarse en la quinua como opción para la producción de derivados manteniendo las características que diferencian a la quinua de otros cereales. El aprovechamiento de los valores proteínicos que la quinua brinda hacen que el café de quinua se apto para todos, desde niños hasta personas con restricciones del consumo de café tradicional.

Para la elaboración de este producto el proceso más importante es el tostado porque este define

el color y el aroma que caracteriza a un café. El factor más significativo es la temperatura de tostado, porque es determinante en las características del producto.

Las máquinas facilitan la elaboración u obtención de diferentes productos y suministran una vía más confiable para el control de los factores más relevantes de los procesos. No es una excepción la producción de café de quinua que requiere tecnificar y mejorar la calidad de la elaboración de este producto.

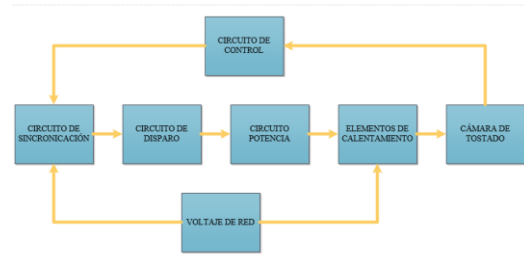
Para poder aprovechar además los beneficios de la tecnología se presenta como alternativa a los sistemas de calentamiento el método de resistencias, que permite beneficiarse de la energía eléctrica como medio de calentamiento. Aunque el calentamiento por resistencias es un método conocido desde hace mucho tiempo atrás es en la actualidad que se le presta la atención necesaria.

2. DESARROLLO

Para el diseño del sistema de control se toma en cuenta el dimensionamiento del sistema de calentamiento a implementar, la electrónica de control, electrónica de potencia y los elementos de seguridad.

2.1. Diseño del sistema de calentamiento por resistencias

Los sistemas de calentamiento por resistencias dependen de ciertos factores para su diseño que son: potencia, voltaje de entrada, circuito de potencia y circuito de control, la Figura 1 muestra un esquema del sistema.



2.1.1. Calculo de la potencia requerida

Para poder entregar calor a la cámara de tostado se debe realizar un análisis termodinámico, específicamente de la transferencia de calor que se lleva a cabo dentro de la cámara de calentamiento y de tostado. El calor aprovechado se concentra en la cámara de tostado, mientras el calor perdido se dirige hacia los exteriores del sistema, con lo cual se obtiene el calor aprovechado:

$$Q_{\text{aprovechado}} = \dot{m} * C_p * (T_i - T_{\text{amb}})$$

Donde:

$q_{\text{aprovechado}}$: Calor para el tueste, [W]

m : Flujo másico del café de quinua, [Kg/s]

C_p : calor específico a presión constante del café de quinua, [KJ/(Kg °C)]

T_i : Temperatura necesaria para el tueste, [°C]

T_{amb} : Temperatura ambiente, [°C]

Se reemplaza y se resuelve:

$$q_{\text{aprovechado}} = 0.02 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 2.05 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} * (180^\circ\text{C} - 21^\circ\text{C})$$

$$q_{\text{aprovechado}} = 6500 \text{ W}$$

A más de este valor se toma en cuenta el calor perdido de 400W, con lo cual se obtiene una potencia requerida de 6900W.

2.1.2. Selección de las resistencias eléctricas

Para poder determinar los elementos de calentamiento o resistencias eléctricas es necesario determinar ciertos parámetros necesarios como el material de la resistencia y la forma que la resistencia debe tener. Como parámetros iniciales tenemos la temperatura que tiene que soportar con un valor de 310.38°C y una potencia de 6900. mediante la Tabla 1 se selecciona el material para las resistencias.

Tabla 1: Características de los distintos materiales para resistencias eléctricas

CARACTERÍSTICAS/TIPO	METÁLICAS	CARBURO DE SILICIO	DILURIO DE MOLIBDENO
TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO	Puede soportar temperaturas hasta aproximadamente 1400 C	Soporta altas temperaturas hasta 1600C	Trabaja en altas temperaturas sobre los 1800 C
DIMENSIONES Y FORMAS	Se puede encontrar en forma de barras y tiras, pueden ser fabricadas con técnicas convencionales de formado de metales con una variedad de formas y dimensiones	Disponible en varias dimensiones y formas	Disponible en varias dimensiones y formas
SISTEMA DE POTENCIA	Puede operar con el voltaje de la red de distribución	Necesita sistemas de transformación	Necesita sistemas de transformación
COSTO	Tienen un precio mas bajo en comparación con los otros tipos	Necesita de un control de potencia mas costoso	Tiene un costo elevado el tipo de material

Fuente: (MacGinnis, s.f.)

Para poder determinar ciertas características de las resistencias como el diámetro, área de calentamiento y resistencia, es necesario aplicar las formulas estandarizadas para el cálculo de las resistencias tubulares y además se dispone de una guía para la selección de estos elementos, utilizando la Figura 2.

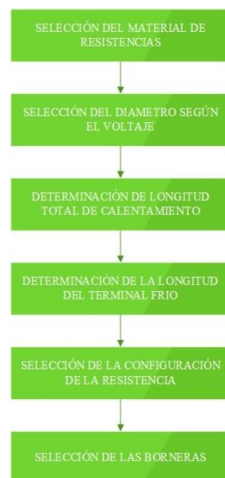


Figura 2: Pasos para la selección de las resistencias eléctricas

Fuente: (Caloritech, s.f.)

De esta manera se obtiene resistencias con las siguientes características.

Material: Acero Inoxidable

Diámetro: 8mm

Longitud: 6900 mm

Forma: U

Terminal de conexión: Tipo AB

Con estas características y la disponibilidad en el mercado local se selecciona seis resistencias de 1200W, para obtener la potencia de 7.2kW y la longitud de 7200mm con lo que se asegura la potencia requerida y la potencia perdida en la cámara de calentamiento. En la Figura 3 se muestra la resistencia electa.

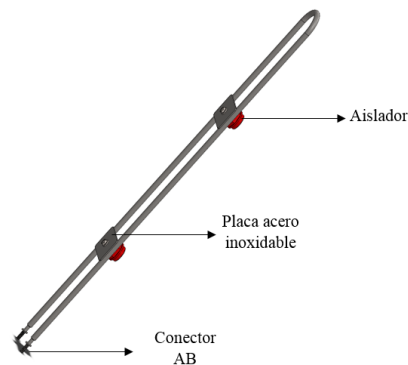


Figura 3: Resistencia tipo U de acero inoxidable

2.1.3. Circuito de sincronización

El circuito de sincronización sirve para determinar cuando la onda sinusoidal cruza por cero, de esta manera se puede detectar cuando inicia la onda y así puede generar el pulso de disparo para el SSR de manera coordinada con la red eléctrica, que permite disminuir perturbaciones por la rápida conmutación del SSR.

En la figura 4 se muestra el circuito implementado.

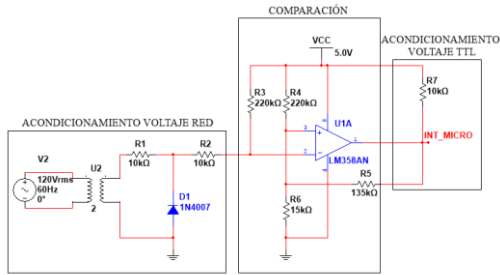


Figura 2.1: Circuito de Sincronización

2.1.4. Selección SSR

Para una correcta selección del relé de estado sólido (SSR), es importante tomar en cuenta ciertos parámetros como la máxima corriente que circula en el calentador, el tipo de carga, el voltaje de alimentación y el tipo de control, y los parámetros del sistema a controlar se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Parámetros del sistema de calentamiento de la maquina tostadora

PARÁMETRO	VALOR
POTENCIA	7200W
TIPO DE CARGA	Resistiva
CORRIENTE	32A
VOLTAJE	220V
TIPO DE CONTROL	TTL microcontrolador

Con estos datos se selecciona un SSR marca CNC con las siguientes características:

Amperaje: 40A

Voltaje de Salida: 48-240 VAC

Voltaje de Control: 3-32 VDC

Disipador de Calor: 0.6 °C/W

En la Figura 4 se muestra la conexión empleada para este elemento.

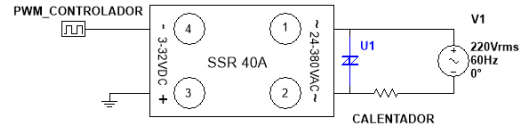


Figura 4: Conexión del SSR y la carga

2.1.5. Circuito de Control

Para la medición de temperatura se utiliza un sensor termocupla tipo K por sus características. Para obtener una lectura más precisa de la temperatura de la cámara de tostado se debe usar un circuito acondicionador, que permite ajustar los valores de voltaje que entrega el sensor con los requerimientos del sistema de control. En la Figura 5 se muestra el circuito empleado.

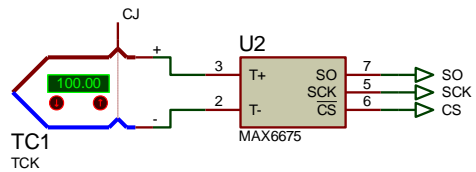


Figura 5: Conexión del MAX6675 y termocupla K

De esta manera se obtiene el circuito completo de control con cada uno de sus componentes, que permiten controlar la temperatura y el accionar del motor de agitación, la Figura 6 muestra el circuito completo.

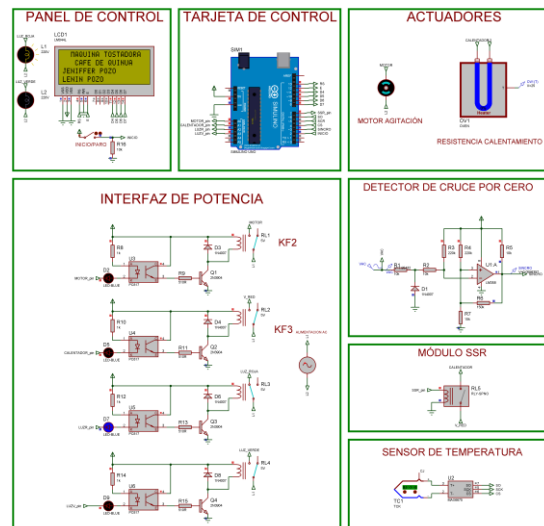


Figura 6: Circuito de control maquina tostadora

2.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL PARA EL TOSTADOR POR RESISTENCIAS ELÉCTRICAS

En la maquina tostadora de café de quinua es muy importante un sistema de control que permita mantener la temperatura de la cámara de tostado según los requisitos del perfil de calentamiento, la Figura 7 muestra las etapas del sistema de control.

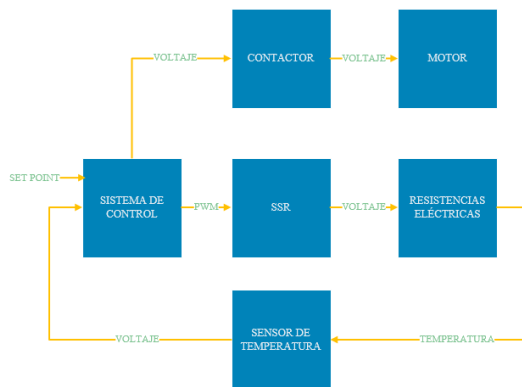


Figura 7: Etapas del sistema de control

2.2.1. Modelamiento del sistema de calentamiento

Para determinar el modelo del proceso de calentamiento es necesario seguir los pasos de identificación y luego el reconocimiento mediante los métodos basados en la curva de reacción y además para este fin se utiliza el software Matlab mediante una aplicación GUI, y se obtiene los datos de manera experimental, y se obtiene el resultado que se muestra en la Figura 8.

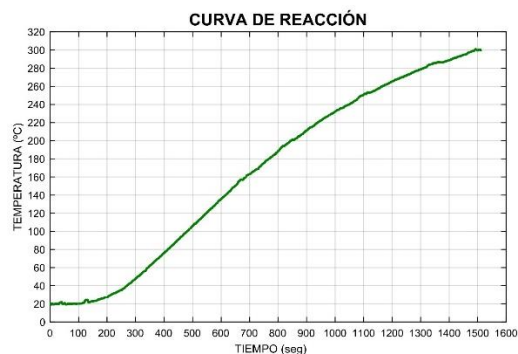


Figura 8: Curva de reacción experimental

Para la identificación del modelo matemático se utiliza los siguientes métodos recomendados por Alfaro (2001): Ho et al (primer orden), Alfaro (primer orden), Chen y Yang (primer orden), Ho et al (segundo orden), Vitecková et al (segundo orden). Y se obtiene los siguientes modelos:

$$G_{Ho}(s) = \frac{1.4}{457.7s + 1} * e^{-182.6s}$$

$$G_{Chen\ y\ Yang}(s) = \frac{1.4}{520,8s + 1} * e^{-277,12s}$$

$$G_{Alfaro}(s) = \frac{1.4}{516,88s + 1} * e^{-247,18s}$$

$$G_{Ho(so)}(s) = \frac{1.4}{(328.73s + 1)^2} * e^{-158.46s}$$

$$G_{Viteckova}(s) = \frac{1.4}{(335.55s + 1)^2} * e^{-126.22s}$$

Para determinar el modelo más aproximado se utiliza la herramienta IDENT de Matlab con lo cual se obtiene las siguientes graficas (Figura 9 y Figura 10) en donde se demuestra el porcentaje de aproximación.

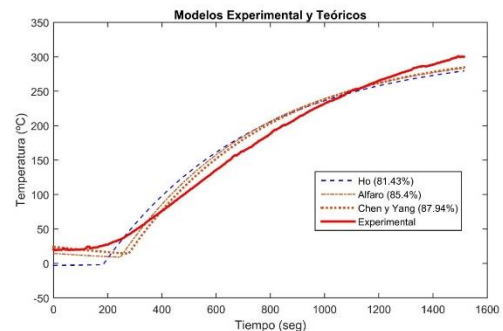


Figura 9: Resultados y porcentajes de aproximación modelos de primer orden

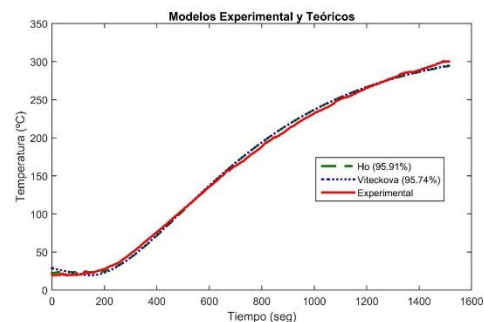


Figura 10: Resultados y porcentajes de aproximación modelos de segundo orden

Una vez comprobado el resultado se elige el modelo determinado por el método de Ho de segundo orden porque tiene un valor de 95.91% de similitud.

2.2.2. SINTONIZACIÓN DEL CONTROLADOR PID

La sintonización es determinar los valores correspondientes a las acciones proporcional, integrativa y derivativa, para que el controlador cumpla con las funciones de mejorar y estabilizar el proceso. Para la sintonización existen algunos métodos que se basan en reglas determinadas por experimentación.

Como principales métodos de sintonización se cuenta con: Ziegler Nichols, Cohen Coon y AMIGO (Método de ajuste por respuesta al escalón).

Los valores obtenidos se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3: Resultados de la sintonización PID

MÉTODO	Kp	Ti	Ki	Td	Kd
Ziegler Nichols	2,94	502,13	0,0059	125,53	369,06
Cohen Coon	3,15	549,66	0,0057	86,46	272,35
AMIGO	1,14	568,85	0,0020	114,93	131,02
PID TUNER MATLAB	1,41	677,5	0,0020	150,3	212,90

Y para comprobar el resultado de cada valor sintonizado se usa la respuesta al escalón por medio de Matlab y los resultados se muestran en la Figura 11.

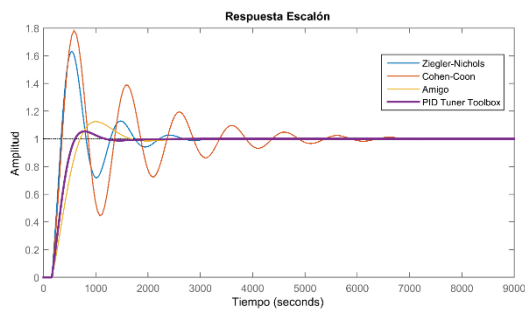


Figura 11: Respuesta ante la entrada escalón controladores sintonizados

El método de PID TUNER permite tener un sobre pico máximo de 5.4% con lo cual se puede evitar que el café de quinua se queme.

Los valores para el controlador PID son:

$$Kp = 1.146$$

$$Kd = 0.0020$$

$$Ki = 212.9$$

2.2.3. Interfaz de Usuario

Para que el operario pueda manejar la máquina de manera correcta esta debe alertar y permitir visualizar ciertos datos e información la cual debe ser relevante, por tal motivo el panel de control posee selectores, luces y pantalla como se muestra en la Figura 12.

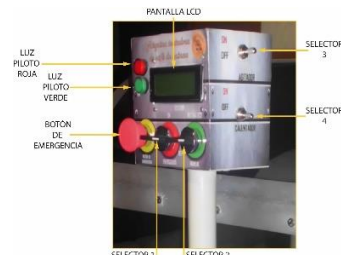


Figura 12: Interfaz del panel de control

2.2.4. Programación del microcontrolador

Para que la maquina funcione de acuerdo con los parámetros establecidos, tanto en tiempos y sincronización de encendido y apagado de motor y resistencias es necesario el desarrollo del programa para el microcontrolador tomando en cuenta todos los datos disponibles para el sistema y sus requerimientos el diagrama de flujo de la programación se muestra en la Figura 13.

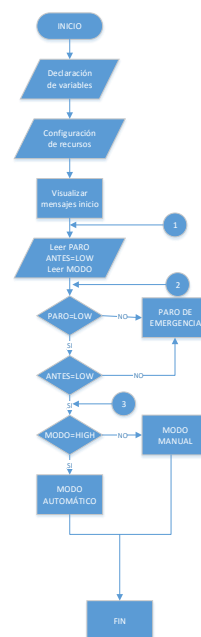


Figura 13: Diagrama de flujo programa principal

3. PRUEBAS

La implementación de los elementos del sistema de calentamiento tiene una gran importancia porque en esta etapa del proyecto se puede corroborar los datos teóricos con el funcionamiento real, además la etapa de pruebas permite conocer el comportamiento de la maquina en pleno funcionamiento y se puede identificar ciertos parámetros importantes dentro de la investigación. En la Figura 14, Figura 15 y Figura 16 se muestra la disposición de las resistencias, gabinete y panel de control.

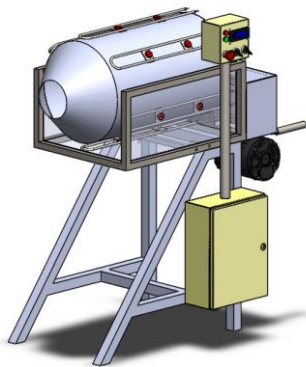


Figura 14: Disposición de los de elementos de control y calentamiento

Los resultados de las pruebas del sistema de calentamiento sin el controlador se muestran en la Tabla 4 y Tabla 5.

Tabla 4: Temperatura máxima sin controlador

Nro. PRUEBA	TIEMPO DE PRUEBA (min)	TEMPERATURA INICIAL (°C)	TEMPERATURA FINAL (°C)
1	25 min	21	302
2	25 min	21	300
3	25 min	20	275
4	25 min	19,5	301
5	25 min	20	295
TEMPERATURA PROMEDIO			294,6

Tabla 5: Tiempo para alcanzar 180 °C

Nro. PRUEBA	TEMPERATURA PRUEBA (°C)	TIEMPO (min)
1	180	12,8
2	180	14
3	180	12
4	180	13
5	180	13
TIEMPO PROMEDIO		12,96

De esta manera se obtiene una temperatura máxima promedio de 294 °C a los 25 min, y para alcanzar los 180°C al sistema le toma en promedio 13 minutos.

4. CONCLUSIONES

- En la optimización del proceso de tostado de café de quinua se determinó un perfil de calentamiento con una temperatura máxima de 180°C, una velocidad de agitación constante de 10 RPM y un tiempo de 45 minutos, para el tueste de 25 libras de café de quinua, con lo cual se mejora la producción y homogeneidad del producto que se obtenía mediante el proceso artesanal que se demoraba 90 minutos para tostar 10 libras.
- Para obtener un calentamiento eficiente se utilizó el método calentamiento por resistencias eléctricas tubulares en forma de U, con una potencia de 7.2 kW. Y se distribuyó la potencia en seis resistencias de 1.2kW cada una y repartidas alrededor de la cámara de calentamiento.
- Para el diseño del sistema de control fue necesario realizar la identificación del modelo matemático del proceso de calentamiento de la cámara de tostado, se obtuvo un resultado del 95.91% de aproximación al utilizar el método de identificación de Ho para segundo orden.
- Para mantener la temperatura estable a 180°C se utilizó un controlador PID programado en un microcontrolador y se obtuvo las mejores características al utilizar el método de sintonización PID Tuner de Matlab, que permitió alcanzar un sobre pico del 5.4%.
- Las pruebas realizadas al sistema de calentamiento permitieron determinar la temperatura máxima que alcanza la máquina que es de 295°C en un tiempo de 25 min.
- Con las pruebas realizadas se determina que el sistema de control mantiene la temperatura en el valor preestablecido de 180°C y con la velocidad de agitación se logra un tostado uniforme, además para evitar que el producto se queme el agitador se acciona cuando la temperatura supera los 50°C.

5. RECOMENDACIONES

- Para que la máquina tenga un buen funcionamiento y de acuerdo con las especificaciones técnicas se debe leer y estudiar el manual de usuario y mantenimiento, lo cual también ayudará en el adiestramiento del operario.
- El sistema de control está preestablecido para el tostado estrictamente de café de quinua, en caso de existir la necesidad de realizar ajustes de los parámetros de funcionamiento deberá recurrir al soporte técnico.
- Se debe evitar por todos los medios el contacto de las resistencias eléctricas con líquidos, debido a que esto puede provocar daños severos a estas y también se puede generar una descarga eléctrica al operario.
- Es recomendable instalar un interruptor termo magnético adicional de 50 amperios justo antes del tomacorriente que tiene que ser específicamente para uso industrial, y se utilizará para cortar la corriente de manera remota en caso de ser necesario.
- Como factor de seguridad no se debe grabar en el microcontrolador programas sin la autorización y supervisión del técnico calificado.
- Se debe tomar en cuenta las normas de seguridad y utilizar la indumentaria adecuada para el uso de la máquina.
- No se tiene que utilizar la máquina con el sensor fuera de la cámara de tostado, porque ocasiona una lectura errónea de la temperatura y el sistema de control forzará el calentamiento y el producto se quemará.
- Para evitar interferencias electromagnéticas ocasionadas por el accionamiento de las bobinas de los contactores se recomienda utilizar un módulo de SSR para realizar la interfaz entre el sistema de control y el de potencia.

6. BIBLIOGRAFÍA

Pozo Enríquez, J. P. (2016). *Diseño y construcción de un tostador por resistencias eléctricas para la elaboración de café de quinua con capacidad de 25 libras* (Tesis inédita de ingeniería). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2011). *La quinua: cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/017/aq287s/aq287s.pdf>

Nacimba Nacimba, D. A. (2011). *Automatización de una soldadora de punto estática* (Tesis inédita de ingeniería). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

Hornos del Valles. (2016). *Horno ZETA 5 resistencias*. Recuperado de <http://www.tecnopiro.com/LinkClick.aspx?link=ZETA+ATR-902+02-16.pdf&tabid=210&mid=1074>

Mendez Altamirano, J. P. & Suasnavas Flores, W. P. (2012). *Diseño y construcción de un horno eléctrico para el secado de bobinados de motores de hasta 10 HP* (Tesis inédita de ingeniería). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

CRYDOM. (s.f.). *Why Use Solid State Relays?*. Recuperado de https://www.digikey.com/Web%20Export/Supplier%20Content/Crydom_172/

PDF/crydom-why-use-
ssr.pdf?redirected=1

Creus Solé, A. (2010). *Instrumentación Industrial* (8va ed.). Mexico: Alfaomega Grupo Editor.

Duff, M. & Towey, J. (2010). *Two Ways to Measure Temperature Using Thermocouples Feature Simplicity, Accuracy, and Flexibility*. Recuperado de <http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/44-10/thermocouple.pdf>

Alfaro, V. M. (2001). Identificación de Procesos Sobre amortiguados Utilizando Técnicas de Lazo Abierto. *Electrónica*, (11). Recuperado de http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/documentos/pub_inv/articulos/valfaro01A.pdf

Alfaro, V. M. (2001). Identificación de Modelos de Orden Reducido a Partir de la Curva de Reacción del Proceso. *Ciencia y Tecnología*, (24). Recuperado de <http://www.ppgel.net.br/mazzini/ident-alfaro.pdf>

WRCAKRON. (s.f.). *Solid State Relays: Applications*. Recuperado de http://www.wrcakron.com/catalog/10b_SSR_Applications.pdf

NAINPA. (2015). *Automatización y Control: Catálogo de Productos*.

7. BIOGRAFÍA



Lenin Gonzalo Pozo Benavides nacido en la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura, el 13 de septiembre de 1990. Realizo sus estudios secundarios en el Colegio Fisco - Misional “San Francisco”. Egresado de la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte de la ciudad de Ibarra



IMPLEMENTATION OF A CONTROL SYSTEM PROFILE OF HEATING AND STIRRING FOR A TOASTER FOR ELECTRICAL HEATERS WITH CAPACITY OF 25 POUNDS OF QUINOA COFFEE

Pozo Benavides Lenin Gonzalo¹, Ing. Gustavo Mosquera²

Faculty of Engineering of Applied Science, Technical University of the North, Ibarra-Ecuador

lenin.gpb90@outlook.com, gmosquera@utn.edu.ec

Summary. - *In this paper the results of research conducted to determine whether implementation of a control system for the machine coffee roaster quinoa improves homogeneity of roasting the product are shown.*

For the development of this project it has been conducted research on heating using electric heaters to be implemented in the machine coffee roaster quinoa developed by Ms. Jeniffer Pozo, that together can roast coffee quinoa with a capacity of 25 lb. with a temperature of 180 in a time of 45min.

With electric resistances can be obtained a much more accurate and manageable for processing food products, along with the use of a control system heating can improve the heating characteristics of the machine, the advantages of electronics also take advantage modern power microcontrollers and sensors.

Provided well of a power of 7.2kW heating and a control system based on microcontroller, a K type thermocouple sensor actuator plus a solid state relay and contactor boot the machine and motor agitation system controlled manner automatically.

Keywords

Resistance heating, temperature control, toaster.

1. INTRODUCTION

Today people seek products that are characterized by their high protein content and allow a healthy diet. This is the case of coffee

quinoa for its excellent health benefits the consumer becomes a substitute for traditional high quality coffee without having to stop to enjoy its aroma and flavor.

The use of indigenous products has led Ecuador to focus on quinoa as an option for production of derivatives maintaining the characteristics that differentiate quinoa other cereals. The use of protein quinoa provides values that make coffee quinoa suitable for everyone, from children to restricted consumption of traditional coffee.

For the development of this product is the most important roasting process because it defines the color and aroma that characterizes a coffee. The most significant factor is the roasting temperature, because it is decisive in the product characteristics.

The machines facilitate the development or procurement of different products and provide a more reliable control of the most important factors of the process route. There is an exception coffee production that requires technify quinoa and improve the quality of the development of this product.

To take advantage of the benefits plus technology as alternative heating systems resistors method which allows benefit of electricity as the heating medium. Although the resistance heating is a

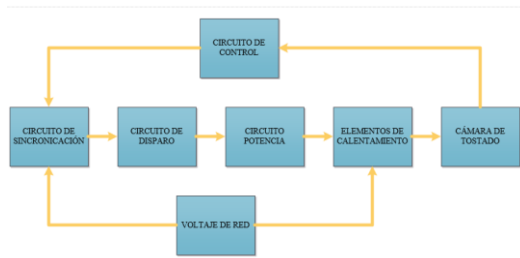
method known for a long time back is now paid to it the necessary attention.

2. DEVELOPMENT

For the design of the control system takes into account the sizing of the heating system to implement, control electronics, power electronics and safety features.

2.1. Design resistance heating system

The resistance heating systems depend on certain design factors are: power, input voltage circuit and control circuit, Figure 1 shows a diagram of the system.



2.1.1. Calculation of the required power

In order to deliver heat to the roasting chamber should be performed thermodynamic analysis, specifically the heat transfer takes place within the heating chamber and roasting. The harnessed heat is concentrated in the roasting chamber, while the waste heat is directed toward the outside of the system, which the heat is obtained advantage:

$$Q_{aprovechado} = \dot{m} * C_p * (T_i - T_{amb})$$

Where:

$q_{aprovechado}$: Heat for roasting, [W]

m : Mass flow coffee quinoa, [kg / s]

C_p : specific heat at constant pressure coffee quinoa, [kJ / (kg °C)]

T_i : temperature required for roasting, [°C]

T_{amb} : Ambient temperature [°C]

It replaces and resolved:

$$q_{aprovechado} = 0.02 \frac{kg}{s} * 2.05 \frac{KJ}{kg^{\circ}C} * (180^{\circ}C - 21^{\circ}C)$$

$$q_{aprovechado} = 6500 W$$

More than this value is taken into account the waste heat of 400W, which required a power of 6900W is obtained.

2.1.2. Selection of electrical resistors

To determine the heating elements or electric resistance is necessary to determine certain necessary parameters such as resistance material and the way that the resistance should have. As initial temperature parameters we have to bear with a value of 310.38 °C and power by 6900. Table 1 shows the material for the resistors is selected.

Table 1: Characteristics of various materials for electrical resistors

CARACTERÍSTICAS/TIPO	METÁLICAS	CARBURO DE SILICIO	DISILICIO DE MOLIBDENO
TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO	Puede soportar temperaturas hasta aproximadamente 1400 c	soporta altas temperaturas hasta 1800C	Trabaja en altas temperaturas sobre los 1800 C
DIMENSIONES Y FORMAS	Se puede encontrar en forma de barras y tiras, pueden ser fabricadas con técnicas convencionales de formado de metales con una variedad de formas y dimensiones	Disponible en varias dimensiones y formas	Disponible en varias dimensiones y formas
SISTEMA DE POTENCIA	Puede operar con el voltaje de la red de distribución	Necesita sistemas de transformación	Necesita sistemas de transformación
COSTO	Tienen un precio mas bajo en comparación con los otros tipos.	Necesita de un control de potencia mas costoso	Tiene un costo elevado el tipo de material

In order to determine certain characteristics of resistance as the diameter, heating area and resistance, it is necessary to apply the standardized formulas for calculating the tubular heating elements and also has a guide for the selection of these elements, using Figure 2.

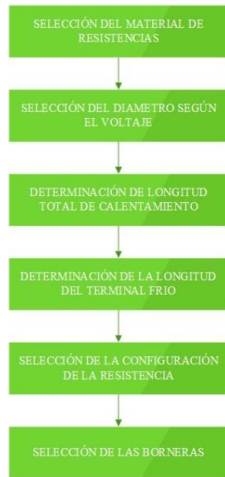


Figure 2: Steps to the selection of electrical resistors

Thus resistors with the following characteristics is obtained.

Material: Stainless Steel

Diameter: 8mm

Length: 6900 mm

Form: U

Terminal: Type AB

With these features and availability in the local market six resistors 1200W is selected to obtain the power of 7.2kW and length of 7200mm making the required power and the power lost in the heating chamber is ensured. Figure 3 shows the resistance elected.

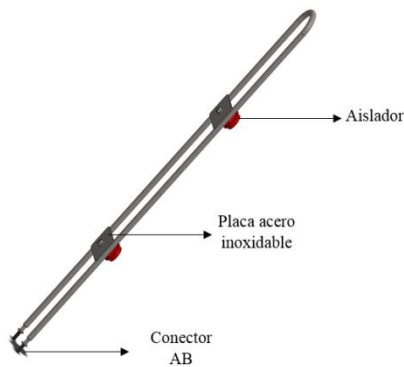


Figure 3: U type stainless steel resistance

2.1.3. Timing circuit

The synchronization circuit is used to determine when the sine wave crosses zero, thus can be detected when launching the wave and thus can generate the trigger pulse for the SSR in coordination with the electrical network, which allows to reduce disturbance by fast switching SSR.

Figure 4 shows the implemented circuit.

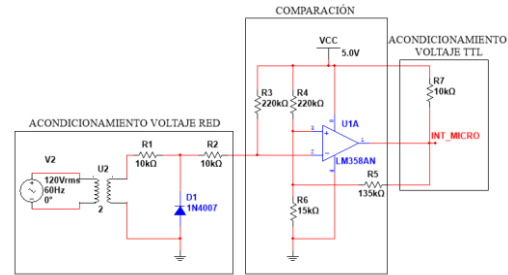


Figure 2.4: Circuit Synchronization

2.1.4. SSR Selection

For proper selection of the solid state relay (SSR), it is important to take into account certain parameters such as peak current flowing in the heater, the type of load, the supply voltage and the type of control and system parameters control shown in Table 2.

Table 2: Parameters of the heating system of the roaster

PARÁMETRO	VALOR
POTENCIA	7200W
TIPO DE CARGA	Resistiva
CORRIENTE	32A
VOLTAJE	220V
TIPO DE CONTROL	TTL microcontrolador

With these data, a CNC SSR mark is selected with the following characteristics:

Amperage: 40A

Output voltage: 48-240 VAC

Control voltage: 3-32 VDC

Heatsink: 0.6 °C / W

In Figure 5 the connection used for this item is displayed.

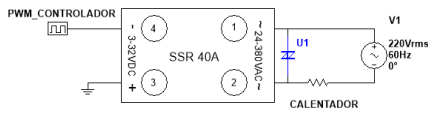


Figure 5: Connecting the SCR and load

2.1.5. Control circuit

Temperature measurement for a type-K thermocouple sensor whose characteristics is used. For a more accurate reading of the temperature of the roasting chamber should use a conditioner circuit to adjust the voltage values delivered by the sensor with the requirements of the control system. In Figure 6 the circuit used is shown.

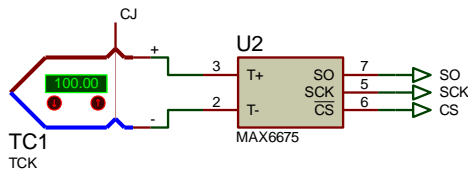


Figure 6: Connecting the MAX6675 and thermocouple K

In this way the entire control circuit with each of its components, which control the temperature and stirring drive motor, Figure 7 shows the complete circuit is obtained.

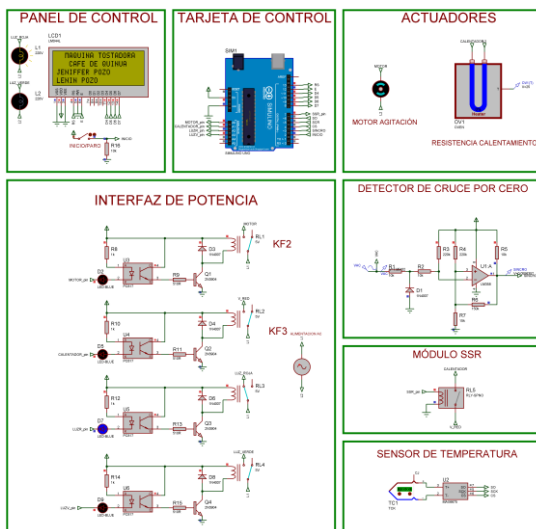


Figure 7: Control circuit machine toaster

2.2. CONTROL SYSTEM DESIGN FOR TOASTER FOR ELECTRICAL HEATERS

In the toaster quinoa coffee machine a control system that maintains the temperature of the roasting chamber as required by the heating profile, Figure 8 shows the steps of the control system is very important.

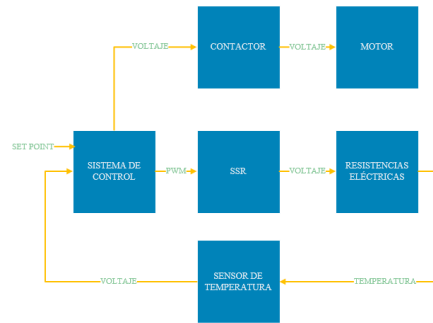


Figure 8: Steps control system

2.2.1. Modeling heating system

To determine the model of the heating process is necessary to follow the steps of identification and then the recognition by the methods based on the reaction curve and also for this purpose the Matlab software is used by a GUI application, and data is obtained so experimental, and the result shown in Figure 9 is obtained.

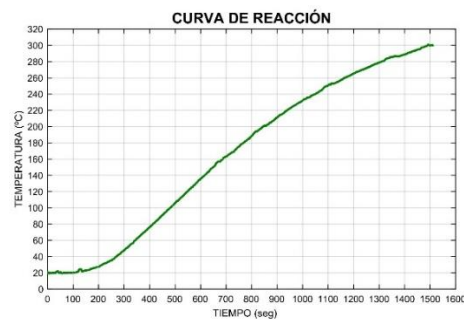


Figure 9: experimental reaction curve

Ho et al (first order), Alfaro (first order), Chen and Yang (first order), Ho et al (second order), Viteckova et: to identify the mathematical model the following recommended by Alfaro (2001) methods used the (second order). And you get the following models:

$$GH_o(s) = \frac{1.4}{457.7s + 1} * e^{-182.6s}$$

$$G_{Chen y Yang}(s) = \frac{1.4}{520.8s + 1} * e^{-277.12s}$$

$$G_{\text{Alfaro}}(s) = \frac{1.4}{516,88s + 1} * e^{-247,18s}$$

$$G_{\text{Ho(so)}}(s) = \frac{1.4}{(328.73s + 1)^2} * e^{-158.46s}$$

$$G_{\text{Viteckova}}(s) = \frac{1.4}{(335.55s + 1)^2} * e^{-126.22s}$$

To determine the approximate model IDENT Matlab tool whereby the following graphs (Figure 10 and Figure 11) where the percentage of approximation is obtained demonstrated used.

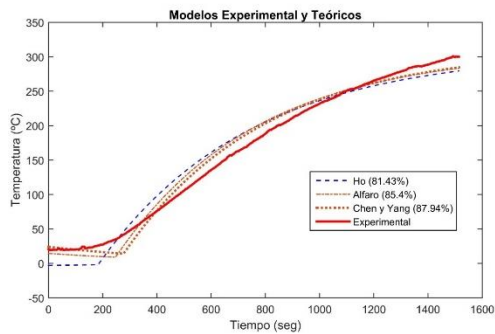


Figure 10: Results and percentages of first-order approximation models

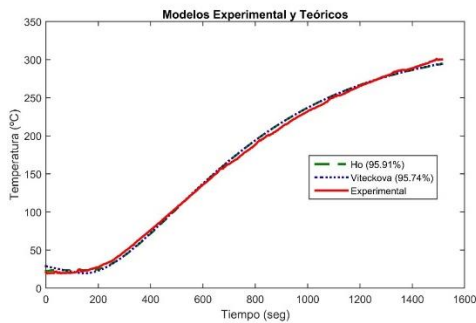


Figure 11: Results and percentages of second-order approximation models

After checking the result determined by the method of Ho second order because it has a value of 95.91% similarity model is chosen.

2.2.2. TUNING THE PID CONTROLLER

Tuning is to determine the values for the proportional, integrative and derivative actions, so that the controller meets the functions improve and stabilize the process. For tuning there are some methods which are based on rules determined by experimentation.

As main methods of tuning it has: Ziegler Nichols, Cohen Coon and AMIGO (adjustment method step response).

The values obtained are shown in Table 3.

Table 3: Results tuning PID

MÉTODO	Kp	Ti	Ki	Td	Kd
Ziegler Nichols	2,94	502,13	0,0059	125,53	369,06
Cohen Coon	3,15	549,66	0,0057	86,46	272,35
AMIGO	1,14	568,85	0,0020	114,93	131,02
PID TUNER MATLAB	1,41	677,5	0,0020	150,3	212,90

And to check the result of each tuned the step response value by means of Matlab is used and the results are shown in Figure 12.

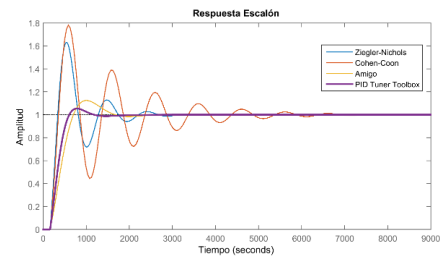


Figure 12: Response to the step input tuned drivers

TUNER PID method allows a peak of 5.4% thereby can prevent the coffee quinoa burn.

The values for the PID controller are:

$$Kp = 1.146$$

$$Kd = 0.0020$$

$$Ki = 212.9$$

2.2.3. User interface

In order for the operator to operate the machine correctly this should alert and display allow certain data and information which must be relevant, for this reason the control panel switches, lights and screen as shown in Figure 13.

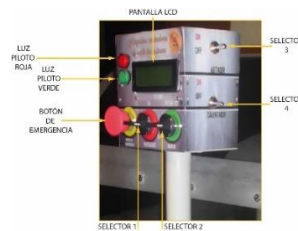


Figure 13: Control Panel Interface

2.2.4. Microcontroller programming

In order for the machine to operate in accordance with the established parameters, both in timing and synchronization on and off motor and resistance development program for the microcontroller it is necessary taking into account all available data for the system and its requirements diagram programming flow shown in Figure 14.

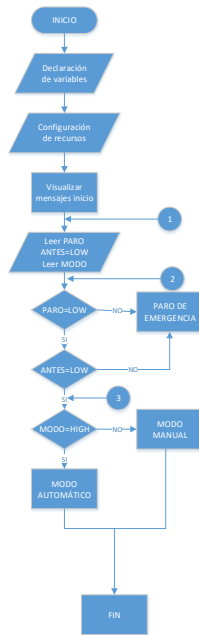


Figura 14: Diagrama de flujo programa principal

3. TESTS

The implementation of the elements of the heating system is very important because at this stage of the project can corroborate theoretical data with the actual operation, plus the testing stage allows to know the behavior of the machine fully operational and can identify certain important parameters in the investigation. In Figure 15 the arrangement of resistors, cabinet and control panel displays.

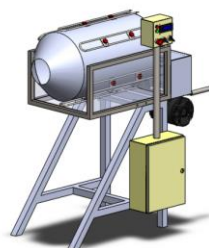


Figure 15: Arrangement of control elements and heating

The test results of the heating system without the controller are shown in Table 4 and Table 5.

Table 4: Maximum temperature without driver

Nro. PRUEBA	TIEMPO DE PRUEBA (min)	TEMPERATURA INICIAL (°C)	TEMPERATURA FINAL (°C)
1	25 min	21	302
2	25 min	21	300
3	25 min	20	275
4	25 min	19,5	301
5	25 min	20	295
TEMPERATURA PROMEDIO			294,6

Table 5: Time to reach 180 ° C

Nro. PRUEBA	TEMPERATURA PRUEBA (°C)	TIEMPO (min)
1	180	12,8
2	180	14
3	180	12
4	180	13
5	180	13
TIEMPO PROMEDIO		12,96

Thus an average maximum temperature of 294 ° C for 25 min is obtained, and to achieve the 180 C system takes on average 13 minutes.

4. CONCLUSIONS

- In process optimization coffee roasting quinoa one heating profile was determined with a maximum temperature of 180° C, a constant agitation of 10 rpm and a time of 45 minutes for the toasting 25lbs coffee quinoa, whereby the production and product homogeneity that was obtained by the traditional process that was delayed 90 minutes to roast 10 pounds improvement.
- For efficient heating of tubular heating resistors method U-shaped, with a power of 7.2 kW was used. And power was distributed in six resistors 1.2kW each and spread around the heating chamber.
- To design the control system was necessary to identify the mathematical model of the process of heating the roasting chamber, a result of 95.91% was obtained approximation using the method of identifying Ho for second order.
- To keep the temperature stable at 180 ° C a PID controller programmed into a microcontroller and the best features was obtained by using the method of tuning PID Tuner Matlab which achieved used a peak of about 5.4%.

- Tests heating system allowed to determine the maximum temperature

reached by the machine 295 is in a time of 25 min.

- With the tests performed it is determined that the control system maintains the temperature at the preset value of 180 ° C and agitation speed even toasting is achieved also to prevent burning of the product agitator is operated when the temperature exceeds 50 ° C.

5. RECOMMENDATIONS

- For the machine to have a good performance and according to the technical specifications should be read and study the user manual and maintenance, which will also help in training the operator.
- The control system is preset for roasted coffee strictly quinoa, should be a need to make adjustments to the operating parameters of your technical support.
- should be avoided by all means contact electrical resistance with liquids because this can cause severe damage to these and also can generate a shock the operator.
- It is advisable to install an additional magnetic thermal switch 50 amperes just before the outlet has to be specifically for industrial use, and will be used to cut the power remotely if necessary.
- As a safety factor should not be recorded in the microcontroller programs without the authorization and supervision of qualified technician.
- It should take into account the safety and use appropriate clothing for the use of the machine.
- No need to use the machine with the sensor outside the roasting chamber, because it causes a misreading of temperature and force control system heating and the product will burn.
- To prevent electromagnetic interference caused by the operation of the contactor coils is recommended to use SSR module to interface between the control system and power.

6. REFERENCES

Pozo Enríquez, J. P. (2016). Diseño y construcción de un tostador por resistencias eléctricas para la elaboración de café de quinua con capacidad de 25 libras (Tesis inédita de ingeniería). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2011). La quinua: cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/017/aq287s/aq287s.pdf>

Nacimba Nacimba, D. A. (2011). Automatización de una soldadora de punto estática (Tesis inédita de ingeniería). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

Hornos del Valles. (2016). Horno ZETA 5 resistencias. Recuperado de <http://www.tecnopiro.com/LinkClick.aspx?link=ZETA+ATR-902+02-16.pdf&tabid=210&mid=1074>

Mendez Altamirano, J. P.& Suasnavas Flores, W. P. (2012). Diseño y construcción de un horno eléctrico para el secado de bobinados de motores de hasta 10 HP (Tesis inédita de ingeniería). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

CRYDOM. (s.f.). Why Use Solid State Relays?. Recuperado de https://www.digikey.com/Web%20Export/Supplier%20Content/Crydom_172/PDF/crydom-why-use-ssr.pdf?redirected=1

Creus Solé, A. (2010). Instrumentación Industrial (8va ed.). Mexico: Alfaomega Grupo Editor.

Duff, M. & Towey, J. (2010). Two Ways to Measure Temperature Using Thermocouples Feature Simplicity, Accuracy, and Flexibility. Recuperado de <http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/44-10/thermocouple.pdf>

Alfaro, V. M. (2001). Identificación de Procesos Sobre amortiguados Utilizando Técnicas de Lazo Abierto. Electrónica, (11). Recuperado de

http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/documentos/pub_inv/articulos/valfaro01A.pdf

Alfaro, V. M. (2001). Identificación de Modelos de Orden Reducido a Partir de la Curva de Reacción del Proceso. Ciencia y Tecnología, (24). Recuperado de <http://www.ppgel.net.br/mazzini/ident-alfaro.pdf>

WRCAKRON. (s.f.). Solid State Relays: Applications. Recuperado de http://www.wrcachron.com/catalog/10b_SR_Applications.pdf

NAINPA. (2015). Automatización y Control: Catálogo de Productos.

7. BIOGRAPHY

Lenin Gonzalo Pozo Benavides born in the city of Ibarra, Imbabura province, on 13 September 1990. He did his secondary education at the high school "San Francisco". Bachelor's degree Mechatronics Engineering at the Technical University North of the city of Ibarra

