



AUTOMATIZACIÓN DE UN HORNO PARA FUNDICIÓN DE ALUMINIO Y COBRE

AUTOMATION OF A FURNACE FOR ALUMINIUM AND COPPER CASTING

AUTOMAÇÃO DE FORNO DE FUNDIMENTO DE ALUMÍNIO E COBRE

Gabriel Alejandro Vaca Ortega, MSc.

Instituto Superior Tecnológico María Natalia Vaca

gvaca.istg@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-6192-7868>

Carlos Ramiro Corrales Tapia, Ing.

Instituto Superior Tecnológico María Natalia Vaca

ccorrales.istg@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-4604-8929>

Fecha de recepción: 19/ mayo /2021

Fecha de aceptación: 26/ mayo/2021

Fecha de publicación: 01/junio /2021

ISSN:2600-5557/Volumen 4/ Número 1 /junio -2021/pp.108-127

Como citar:

Vaca, G. Corrales, C. (2021). Automatización de un horno para fundición de aluminio y cobre. *Revista de Investigación Científica TSE´DE*, 4(1), 108 -127.

Resumen

El presente trabajo se enfocó en mejorar el proceso de fundición de cobre y aluminio, mediante la automatización de un horno con capacidad de 13 kilogramos, con lo cual se disminuye la contaminación atmosférica y se deja de lado los hornos tradicionales que funcionan ocasionando humo. La máquina está compuesta por un horno eléctrico, un controlador que puede alcanzar temperaturas continuas de trabajo de 1200°C, una termocupla tipo K con revestimiento cerámico, un autómata programable y una pantalla táctil como interfaz Hombre-Máquina. La función del autómata programable es controlar el encendido y apagado del horno de fundición, para que la temperatura alcance a su punto máximo de fusión tanto del aluminio como del cobre, obteniendo una correcta disolución de estos materiales. Además, se diseñó una interfaz en la pantalla táctil, mediante la cual se monitorea el proceso de derretimiento de las dos materias primas, en donde se visualiza la temperatura de fusión del aluminio que es de 800 °C y la del cobre que es de 1200 °C, dichos valores fueron tomados en función de la temperatura del metal fundido para que pueda estar en condiciones óptimas de colado y ser puesto en moldes adecuados. En este sistema se implementó la función de exportar los datos de la variación de temperatura en función del tiempo de todos los procedimientos realizados por el horno automático, los cuales pueden ser guardados en un dispositivo de almacenamiento externo. Finalmente se elaboró un manual de uso del equipo para su correcta manipulación.

Palabras Claves: ambientalista, automatización, cobre, innovación científica, Interacción hombre-máquina, tecnología.

Abstract

The present research is focused on improving the copper and aluminum casting process, by automating a furnace with a capacity of 13 kilograms, thus reducing atmospheric contamination and leaving aside traditional furnaces that work by causing smoke. The machine is composed of an electric furnace, a controller that can reach continuous working temperatures of 1200 °C, a ceramic coated K-type thermocouple, a programmable automaton and a Human-Machine Interface touch screen. The function of the programmable automaton is to control the turning on and off of the casting furnace, so that the temperature reaches its maximum melting point of both aluminum and copper, obtaining a correct dissolution of these materials. In addition, an interface was designed on the touch screen, through this the melting process of the two materials is monitored, where the melting temperature of aluminum 800 °C and that of copper 1200 °C is displayed, these values were taken based on the temperature of the molten metal so that it can be in optimal casting conditions and be placed in suitable molds. In this system, the function of exporting the temperature variation data as a function of time of all the procedures carried out by the implemented automatic furnace, which can be stored in an external storage device. Finally, a user manual for the equipment was prepared for its correct handling.

Keywords: environmentalists, automation, copper, scientific innovations, Human machine interaction, technology.

Resumo

Este trabalho teve como foco a melhoria do processo de fundição de cobre e alumínio, por meio da automação de um forno com capacidade de 13 quilos, reduzindo a poluição atmosférica e desprezando os fornos tradicionais que operam gerando fumaça. A máquina é composta por um forno elétrico, um controlador que pode atingir temperaturas de trabalho contínuas de 1200 ° C, um termopar tipo K com revestimento cerâmico, um autômato programável e uma tela de toque como interface Homem-Máquina. A função do autômato programável é controlar o liga e desliga do forno de fundição, para que a temperatura atinja seu ponto máximo de fusão do alumínio e do cobre, obtendo uma correta dissolução desses materiais. Além disso, foi projetada uma interface na tela de toque, por meio da qual é monitorado o processo de fusão das duas matérias-primas, onde a temperatura de fusão do alumínio é de 800 ° C e a do cobre é de 1200 ° C, esses valores foram tomada em função da temperatura do metal fundido para que ele possa estar em ótimas condições de fundição e ser colocado em moldes adequados. Neste sistema, foi implementada a função de exportar os dados da variação da temperatura em função do tempo de todos os procedimentos realizados pelo forno automático, que podem ser salvos em um dispositivo de armazenamento externo. Por fim, foi elaborado um manual de utilização do equipamento para seu correto manuseio.

Palavras Chave: ambientalista, automação, cobre, inovação científica, interação homem-máquina, tecnologia.

1. Introducción

Al pasar del tiempo y a medida que el mundo se desarrolla, se van modificando los procesos productivos industriales y con ello se mejoran las plataformas de desarrollo para cumplir con tales exigencias, por ello es necesario introducir sistemas capaces de controlar procesos bastante grandes o pequeños por sí solos, dando paso a los llamados sistemas automatizados de control y supervisión (Pérez & Ruiz, 2012).

En la Industria Ecuatoriana, los procesos industriales sobre todo en la fundición de metales no han crecido como los demás países exportadores de materia prima, en la mayoría de Universidades e Institutos Superiores del país no cuentan con los equipos o elementos necesarios para eliminar la operación manual, realizar este proceso de manera empírica conlleva a la pérdida de recursos tanto en el tiempo utilizado como en el esfuerzo realizado por los operarios.

La presente investigación surge de la necesidad de contar con un horno para tratamientos térmicos controlado por un PLC y mediante el diseño de una interfaz Hombre-Máquina (HMI) que permite programar, supervisar, visualizar y almacenar los datos obtenidos durante el proceso de tratamiento térmico metales, esto con la finalidad de brindar al Laboratorio de Fundición del Instituto Superior Tecnológico Guayaquil, un equipo didáctico que mejore notablemente la comprensión de estos procesos (Herrera & Vásquez, 2011).

Actualmente existen hornos con las características requeridas para este tipo de proceso, sin embargo, la variación de costos dependiendo de las dimensiones de los mismos hace casi imposible adquirirlos y por la misma razón aún se utiliza el modelo antiguo de tratamientos térmicos mediante calentamiento forzado de la pieza en una forja y posteriormente ser expuesta al frío bañada en aceite para llegar

a la temperatura requerida, sin ser ninguno de estos procesos controlados automáticamente. Por medio de la automatización del horno eléctrico se ayuda a la sociedad a disminuir la atmósfera contaminada, lo cual es también una manera de proteger la sustancia ambiental (Cáceres & Enríquez, 2016).

Automatizar un proceso tiene como finalidad volver la operación de este repetitiva, es decir, la rutina de trabajo se realiza sin la necesidad de la intervención del operador. El operador únicamente actúa en el proceso mediante un HMI (interfaz hombre-máquina) cuando sea necesario realizar algún ajuste en cualquiera de las variables de proceso. Además de la operación del horno, el sistema SCADA recabará información sobre el desarrollo del proceso con esto se facilitará la detección de fallas y su rápida solución (Vergara, Molina & Ruiz, 2011).

La implementación del sistema para automatizar el horno de tratamiento térmico requiere una correcta comprensión del proceso y de los elementos relacionados con el mismo; en tal sentido es necesario e importante fundamentar teóricamente dichos procedimientos y componentes a fin de obtener un panorama general que sustente el desarrollo del proyecto (Herrera, 2015).

1.1. Tratamiento térmico

Es una combinación de operaciones aplicadas a un metal o aleación solidificada, el proceso incluye el calentamiento de la muestra a una temperatura predefinida, permanencia a esta temperatura y posterior enfriamiento hasta alcanzar la temperatura ambiente; logrando así cambiar sus propiedades mecánicas, forma o estructura con el propósito de mejorar condiciones como dureza, resistencia y maleabilidad (Avner, 1988).

1.2. Horno Mufla

Es un horno destinado normalmente para la fundición de metales a través de la energía térmica. Dentro del laboratorio una cocina se utiliza en la calcinación de elementos, secado de sustancias, fusión y procesos de control. Una estufa consta de una parte interior construida con componentes incombustibles que son los ladrillos refractarios. En el techo de la chimenea se ubica un agujero por donde salen los gases de la cámara interna. Las paredes del fogón están hechas de placas de materiales térmicos y aislantes. Este horno es utilizado cuando se requiere alcanzar temperaturas mayores a 200 °C hasta llegar a temperaturas elevadas como los 1200°C (Sacoto, 2017).

1.3. Controlador Lógico Programable (PLC)

Es un dispositivo que puede ser programado y además controla todas las operaciones que se ejecutan en tiempo real. Se encarga de la lectura de datos. Por ejemplo, los valores de la temperatura para realizar el control y la toma de acciones específicas (Delta, 2018).

1.4. Interfaz Hombre-Máquina (HMI)

Es un sistema que presenta datos a un operador por medio del cual controla un determinado proceso. Las HMI se pueden definir como una ventana de un proceso que puede estar en dispositivos como paneles de operador o en una computadora o pantalla táctil (Flores, 2016).

1.5. Termocupla tipo K

Es uno de los sensores que más se utilizan en la industria, está formado por una aleación de Chromel (Ni 64%, Fe 25% y Cr 11%), constituye la punta positiva (+) y Alumel (Ni 94%, Mn 3%, Al 2% y Si 1%), constituye la punta negativa (-). Se

usa típicamente en fundición y hornos a temperaturas menores de 1300°C (Herrera & Vásquez, 2011).

1.6. Relé de estado sólido (SSR)

Es un elemento que permite aislar eléctricamente el circuito de entrada o mando y el circuito de salida. Estos relés se utilizan para controlar calentadores de gran resistencia junto con reguladores de temperatura. Los relés de estado sólido son dispositivos conmutadores normalmente abiertos sin partes móviles, capaces de realizar millones de ciclos de operaciones (Cáceres & Enríquez, 2016).

2. Materiales y Métodos

El diseño de este sistema se ilustra en la Figura 1, en donde se puede observar el esquema general del proceso de automatización del horno, la base del control radica en el PLC, el monitoreo y supervisión lo ejecuta la HMI, la termocupla recolecta la información de la temperatura y la envía al PLC, finalmente las resistencias del horno eléctrico son los actuadores que se activan según las órdenes del PLC y se encargan de aumentar o reducir la temperatura de fundición.

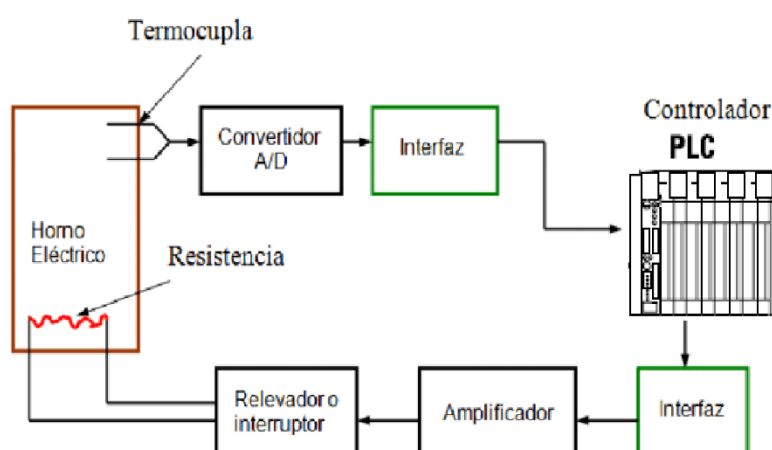


Figura 1. Esquema general del sistema.

De acuerdo a la metodología empleada, este trabajo se divide en 3 fases, la primera de las cuales se refiere a la selección de materiales, la segunda consiste

en el diseño y conexión eléctrica, la tercera comprende la programación de la lógica de control.

2.1. Fase 1 Selección de Materiales

En esta fase inicial se realizó una investigación sobre las características, ventajas y desventajas de los elementos que satisfagan las necesidades y requerimientos del sistema de automatización, después de lo cual se procedió a seleccionar y adquirir los siguientes materiales:

- Horno de fundición eléctrico mufla.
- Controlador de temperatura Rex C-100.
- Crisol de grafito de 13 Kg.
- PLC Delta DVP20SX211R.
- HMI Delta serie DOP-W.
- Ladrillo y cemento refractario.
- Relé de estado sólido.
- Termocupla tipo K.
- Resistencia Kanthal.
- Fusible de 1A.
- Interruptor de 3 posiciones.
- Transformador de 220 Vac a 24Vdc.
- Equipo de protección personal.
- Paro de emergencia independiente del PLC

2.2. Fase 2 Diseño y conexión eléctrica

En esta etapa primeramente se realizó la instalación de la acometida de 220Vac en el laboratorio de fundición, ya que el horno eléctrico adquirido funciona a dicho valor de alimentación.

A continuación, se procedió a realizar las conexiones eléctricas de los dispositivos como se observa en la Figura 2. El transformador tiene una entrada 220Vac y una salida 24Vdc, de la salida del transformador se conecta a un fusible de 1A y la salida del fusible al pin C0 del PLC Delta, del pin Y0 del PLC se conecta al relé, el valor de la temperatura del horno es proporcionada por la termocupla que está conectada a la entrada del controlador de temperatura y a su vez la salida del controlador de temperatura está conectada a la entrada RS485 del PLC Delta que es una entrada analógica para leer la información.

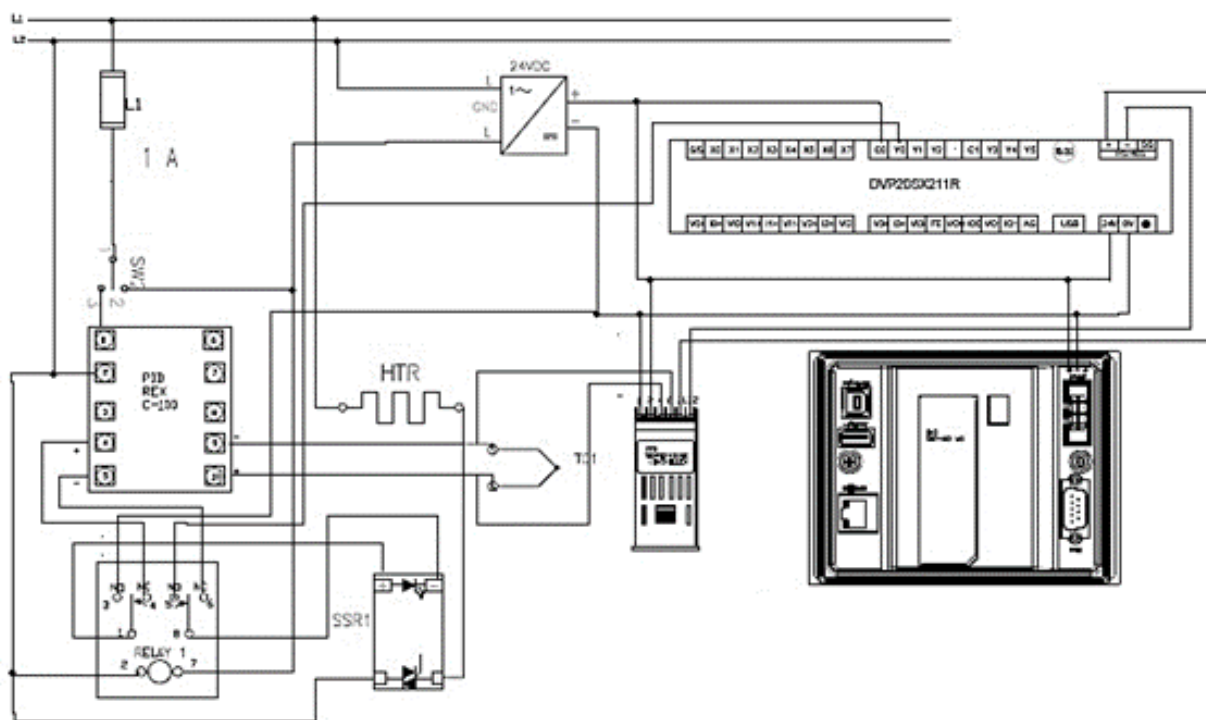


Figura 2. Conexiones eléctricas.

Seguidamente se colocaron todos los dispositivos eléctricos en un gabinete metálico como se puede ver en la Figura 3, en la parte frontal del gabinete se instaló la pantalla HMI Delta y un interruptor de tres posiciones en la parte lateral del gabinete para que si el interruptor de tres posiciones, el cual permite seleccionar el modo manual o automático del funcionamiento del horno.



Figura 3. Gabinete de control.

2.3. Fase 3 Programación de la lógica de control

Esta etapa final abarca la programación tanto del PLC como de la HMI, para lograr los objetivos de la automatización. Inicialmente se descargaron los softwares necesarios para controlar los dispositivos: para la programación del PLC Delta el software ISP-Soft, el software DOP-Soft para la simulación de la pantalla Táctil HMI Delta, y el software COMMGR1.09 para establecer la comunicación entre el PLC Delta y la pantalla HMI Delta. Posteriormente se realizó la programación del PLC, de acuerdo al diagrama de flujo que se muestra en la Figura 4.

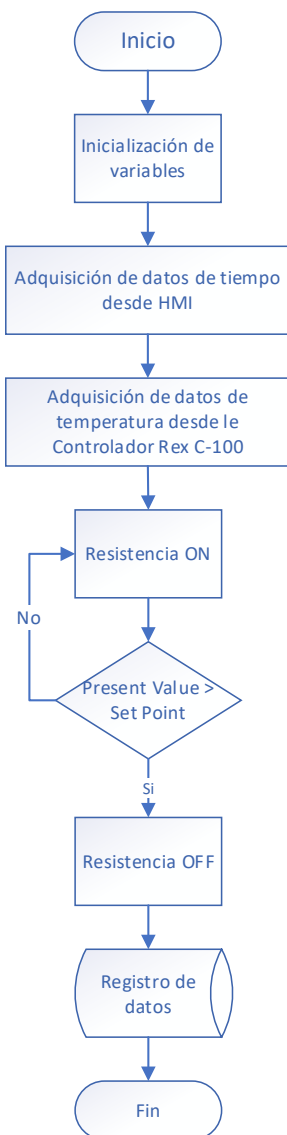


Figura 4. Diagrama de flujo del PLC.

Una vez depurada y finalizada la programación del PLC, se procedió a diseñar la interfaz visual que se mostrará en la HMI, según la lógica de programación que se observa en la Figura 5.

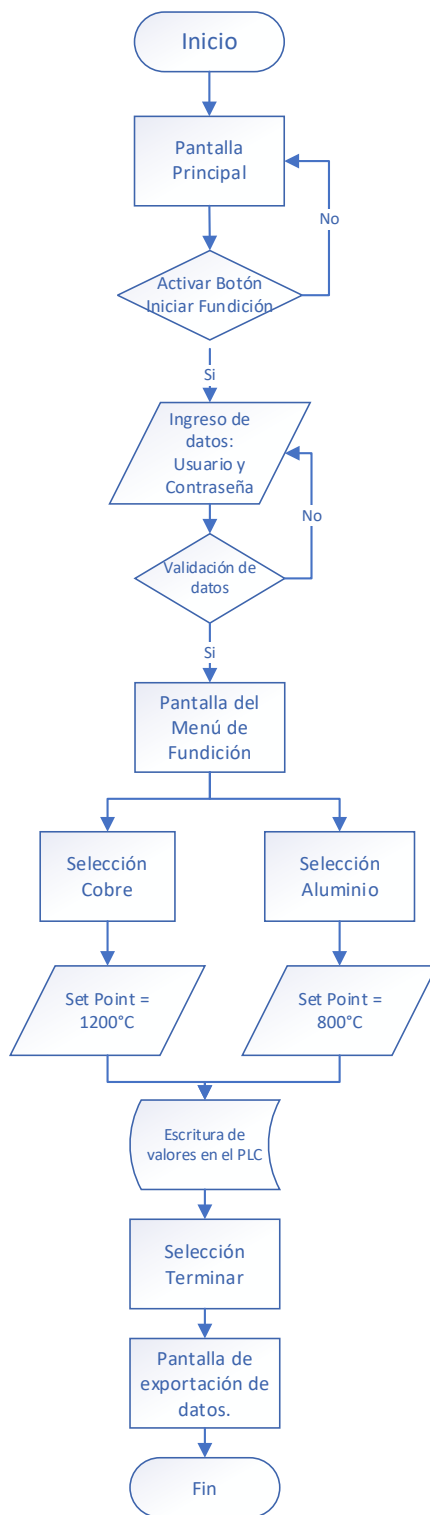


Figura 5. Diagrama de flujo de la HMI.

3. Resultados y Discusión

Una vez concluida la automatización del horno eléctrico se procedió a realizar las respectivas pruebas de funcionamiento para verificar el correcto accionar de todos los elementos involucrados en el sistema. Primeramente, se preparó el molde para la pieza seleccionada, en donde se va a vaciar el material fundido, en este caso se utilizará aluminio, no sin antes mencionar que también se puede usar cobre, dicho procedimiento se puede ver en la Figura 6.



Figura 6. Muestra a replicar por medio de la fundición.

Posteriormente se colocó arena silis alrededor del molde, procurando dejar las entradas para vaciar el aluminio fundido mediante tubos, como se ilustra en la Figura 7.



Figura 7. Molde listo para recibir el material fundido.

A continuación, se colocó la vestimenta apropiada para realizar la fundición de aluminio, los cuales son guantes, mangas, polainas, capucha, delantal de cuero,

protector facial plástico y mascarilla con filtro. Es imprescindible el uso de todo este equipo de protección personal como se indica en la Figura 8, para mitigar el riesgo de accidentes en las prácticas dentro del laboratorio de fundición.



Figura 8. Equipo de protección personal.

Para iniciar el proceso de fundición en el horno se coloca el crisol junto con la tapa de ladrillo refractario; después se enciende el horno y se ubica el interruptor en la posición de funcionamiento automático, en ese momento se enciende la HMI y se despliega la pantalla principal en donde se puede iniciar el proceso de fundición, tal como detalla la Figura 9.

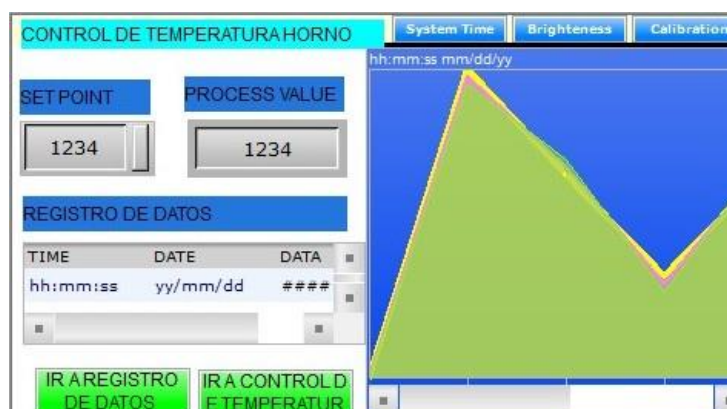


Figura 9. Pantalla principal de la HMI.

A continuación, se despliega la ventana en donde se debe ingresar los datos de usuario y contraseña, los cuales son validados para la autorización del uso del

sistema; en el caso de ingresar los datos correctos se desplegará la siguiente pantalla como la mostrada en la Figura 10, en la cual se presenta el menú del material que se desea fundir, en este caso se puede observar las opciones cobre y aluminio, se procedió a pulsar “Aluminio” para la presente prueba de fundición, en ese instante se envía los datos de la temperatura a la cual el PLC regulará el horno (Set Point), la fundición del metal debe realizarse a mayor temperatura la misma que debe ser uniforme y para colar a la mejor temperatura posible. Por consiguiente, en este punto cabe mencionar que la temperatura de fusión del cobre será 1200°C y del aluminio será 800°C, si se requiere comenzar el proceso se pulsa el Botón “Iniciar”.



Figura 10. Pantalla de Menú de Fundición de la HMI.

Cuando se ha finalizado la fundición del aluminio se guardan los datos de tiempo y temperatura en un archivo Excel que se almacena en una memoria USB externa, los cuales pueden ser utilizados posteriormente para el análisis pertinente en el área de tratamientos térmicos, dicho proceso se puede observar en la Figura 11.

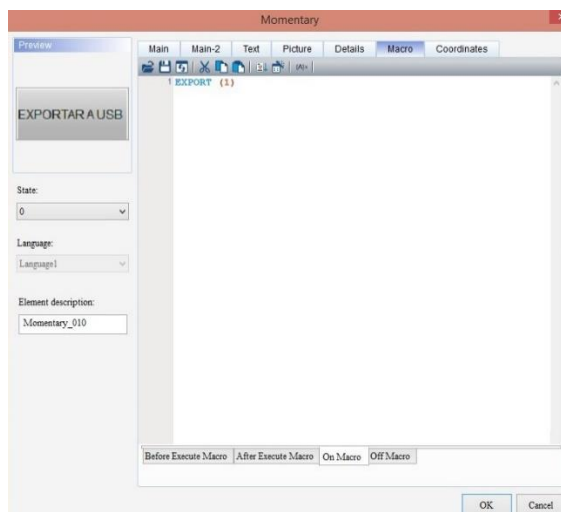


Figura 11. Almacenamiento de datos en un dispositivo USB.

Como último paso del proceso, se extrae el material fundido contenido en el crisol, utilizando una pinza y con las debidas precauciones, se debe vaciar el área de trabajo, de tal manera que no se encuentre ningún objeto a 1 metro de radio alrededor del horno. Se vierte el aluminio en el molde preparado inicialmente, una vez que el aluminio se ha enfriado se procede a sacar la muestra del molde, se limpia y se cortan los excesos que se puedan presentar debido a los canales de entrada del molde, obteniendo la pieza que se distingue en la Figura 12.



Figura 12. Muestra terminada.

Finalmente, se realizó las pruebas para calibrar, verificar y validar su funcionamiento. Se realizó pruebas de calentamiento del horno, además de fundir los perfiles de aluminio reciclado. Se decide fundir 13 Kg que es la carga para la

cual se diseñó el horno y de esta manera obtener las curvas características del horno, se graficó curvas de tiempo - temperatura. Se realizaron tres pruebas en cada ocasión para demostrar su arranque en frío y la segunda carga se realiza con horno en caliente.

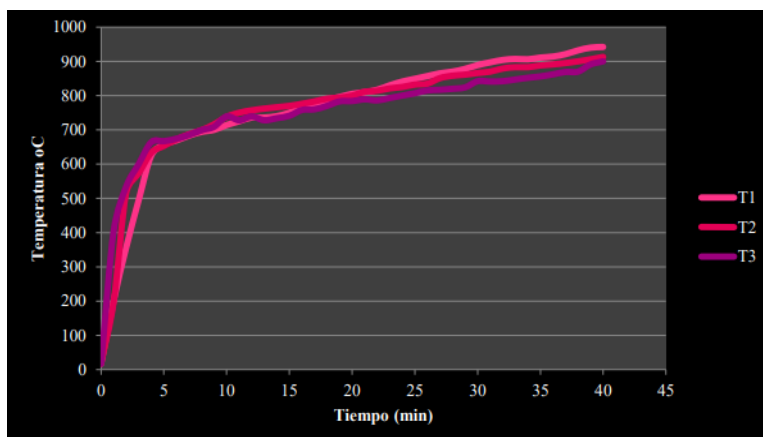


Figura 13. Diagrama de tiempo y temperatura de operación del horno (arranque en frío).

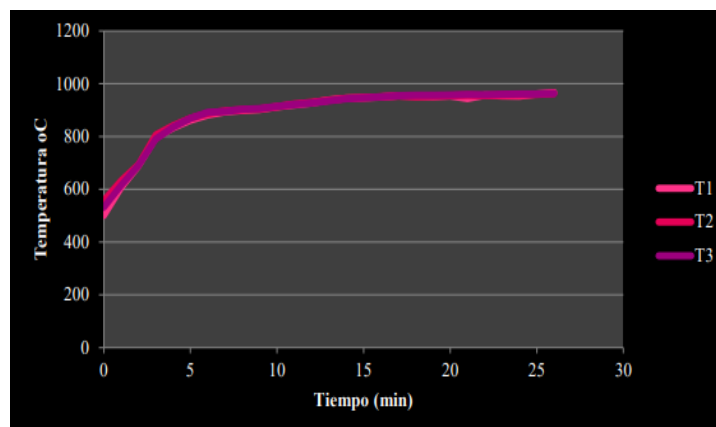


Figura 14. Diagrama de tiempo y temperatura de operación del horno (arranque en caliente).

Adicionalmente, se elaboró un manual técnico para el uso del horno automatizado en el cual se detalla minuciosamente los pasos a seguir para su correcta manipulación.

4. Conclusiones

Con base en los resultados experimentales se puede argumentar que con la automatización del horno eléctrico se reduce la contaminación ambiental, reciclando todo el material ya sea de cobre o aluminio que no se usa para transformar todo este material en productos finales que benefician a las personas. Los programas informáticos que se utilizaron han demostrado su versatilidad tanto en la simulación como en el desarrollo de la programación del PLC y la HMI, DOP-Soft permite diseñar pantallas atractivas al usuario, ISP-Soft tiene la ventaja de contar con todas las funciones para cualquier tipo de automatización, además estas dos herramientas se comunican de forma adecuada utilizando el software Commgr1.09; además todos los programas utilizados son libres lo cual da una gran motivación para elegirlos en comparación con otras marcas que son muy costosas.

El comportamiento del sistema es muy estable, con respecto al valor Set Point de la temperatura de fusión tanto del aluminio como del cobre, lo cual se refleja en resultados satisfactorios del proceso.

La elaboración de un manual de uso del proyecto implementado será de gran beneficio para los estudiantes que realicen prácticas de tratamientos térmicos en el laboratorio de fundición, ya que permitirá darle la utilidad adecuada al equipo, de igual manera se hace indispensable hacer un seguimiento del mantenimiento preventivo y correctivo del mismo.

Como trabajo futuro se propone realizar un estudio comparativo entre el proceso de fundición manual y el proceso de fundición automático, en relación a los datos que se obtengan al variar parámetros como tiempo y temperatura.

Referencias bibliográficas

- Pérez, A. y Ruiz, A. (2012). *Automatización de una planta piloto de un horno eléctrico* [Proyecto de titulación, Universidad Tecnológica de Bolívar]. Repositorio Institucional – Universidad Tecnológica de Bolívar.
- Herrera, L. y Vásquez, E. (2011). *Diseño, programación e instalación de un sistema de control de supervisión y adquisición de datos de un horno Lindberg para el laboratorio de tratamientos térmicos* [Proyecto de titulación, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio Institucional – Escuela Politécnica Nacional.
- Cáceres, T. y Enríquez, J. (2016). *Implementación de un horno eléctrico controlado por touch panel para tratamientos térmicos* [Proyecto de titulación, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio Institucional – Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Vergara, J., Molina, R. y Machado, C. (2011). Prototipo para control automático de nivel y caudal de líquidos. *Ingenius*, 6, 9-18. <https://doi.org/10.17163/ings.n6.2011.02>
- Herrera, M. (2015). *Diseño e implementación de un sistema para automatización de dos hornos para tratamiento térmico pertenecientes al laboratorio de metalografía, desgaste y falla del departamento de materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica* [Proyecto de titulación, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio Institucional – Escuela Politécnica Nacional.
- Avner, S. H. (1988). Tratamiento térmico del acero en *Introducción a la Metalurgia Física*, 2da ed., vol. 1 (pp. 252–347). Ed. McGraw-Hill.
- Sacoto, R. (2017). *Hornos industriales*. <http://samothermal.com>
- Delta (2018). *Controladores lógicos programables*. <https://es.delta-americas.com/>
- Flores, M. (2016). *Diseño e implementación de un sistema automático de control de temperatura de un horno industrial utilizado en el proceso de secado del bobinado de motores y generadores eléctricos en la empresa Aflomotors* [Proyecto de titulación, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional – Universidad Politécnica Salesiana.