

**SISTEMA SCADA BASADO EN PC-PLC PARA MÁQUINAS DE
PROCESAMIENTO TÉRMICO DE MATERIALES**

**PC-PLC BASED SCADA SYSTEM FOR THERMAL MATERIAL PROCESSING
MACHINES**

Diego A. Patiño*, MSc. Wilson Tafur, MSc. Sergio Castro*, MSc. Gloria Sandoval***

* Universidad Francisco de Paula Santander, Facultad de Ingeniería
Grupo de Investigación y Desarrollo en Energía - GRIDEN
Avenida Gran Colombia No. 12E-9, Cúcuta, Norte de Santander, Colombia
Teléfono: (57+7) 5776655.
E-mail: {diegoandrespe, sergio.castroc, gloriaesmeraldasm}@ufps.edu.co.

** Universidad de Pamplona, Facultad de Ingenierías y Arquitectura
Grupo de Investigación en Ingeniería Mecánica GIMUP
Km 1 Vía Bucaramanga Ciudad Universitaria, Pamplona, Norte de Santander, Colombia
Teléfono: (57+7) 5685303 - 5685304.
E-mail: {wilson.tafur}@unipamplona.edu.co.

Resumen: Se ha desarrollado un sistema SCADA para monitorizar tres máquinas para procesamiento térmico de materiales: una cortadora de hilo caliente, un calentador por inducción y una bancada de ensayos de soldadura. La cortadora usa un transformador con tensión regulable entre 20 V y 32 V y corriente de 8 A midiendo la temperatura del hilo con la dilatación térmica. El calentador usa una fuente de 24 V y 15 A y un termopar tipo K incrustado en la pieza para medir la temperatura. En soldadura se implementó un sistema de control de temperatura de la pieza usando termopar tipo K y un ventilador de refrigeración de la pieza usando una fuente de 12 V y 20 A. El sistema SCADA consta de un PLC y un PC con una interfaz gráfica desde donde se selecciona el proceso a trabajar y se muestra la historia térmica del objeto monitoreado. El sistema SCADA usa un PC con sistema operativo Windows 7 de 32 bits y un paquete de software OPC que se ejecuta en la plataforma LabVIEW académica; fue diseñado para usar una sola interfaz hombre-máquina para distintos procesos térmicos. Este documento describe los componentes importantes del sistema, incluida su arquitectura, el desarrollo de software y las pruebas de funcionamiento.

Palabras clave: SCADA; Monitoreo de temperatura; PLC; Procesos térmicos; LabVIEW

Abstract: A SCADA system has been developed to monitor three machines for thermal processing of materials: a hot wire cutter, an induction heater, and a welding test bench. The cutter uses a transformer with an adjustable voltage between 20 V and 32 V and a current of 8 A, measuring the temperature of the wire with thermal expansion. The heater uses a 24 V 15 A source and a type K thermocouple embedded in the part to measure temperature. In welding, a part temperature control system was implemented using type K thermocouple and a part cooling fan using a 12 V and 20 A source. The SCADA system consists of a PLC and a PC with a graphical interface from where the process to work is chosen and the thermal history of the monitored object is displayed. The SCADA system uses a PC with a Windows 7 32-bit operating system and an OPC software package that runs on the academic LabVIEW platform; It was designed to use a single human-machine

interface for different thermal processes. This document describes the important components of the system, including its architecture, software development and functional testing.

Keywords: SCADA; Temperature monitoring; PLC; Thermal processes; LabVIEW

1. INTRODUCCIÓN

El procesamiento térmico de materiales requiere que se pueda realizar la medición de las temperaturas y su comportamiento en el tiempo con el fin de registrar la historia térmica y comprender los fenómenos físicos inherentes a cada proceso.

La máquina cortadora por hilo caliente utiliza un alambre aleado al cromo-níquel entre 0.5 y 1 mm de diámetro que se calienta bajo el efecto Joule (Welgang, Shaoyi y Xing, 2018) que es producido por una fuente de energía eléctrica que hace circular corriente por el hilo. En el ajuste de parámetros de operación de la máquina es siempre requerido especificar la temperatura del alambre y la velocidad con que avanza el corte (Ahn, Lee y Yang, 2002). Además, se debe mantener tensionado el alambre para cortar determinados materiales como espumas e icopor (Brooks y Aitchison, 2010).

En el caso de los procesos de soldadura es útil la información térmica de la pieza, siendo soldada para describir los fenómenos del proceso desde el punto de vista de la tecnología del proceso, la metalurgia y transferencia de calor, según se requiera en el desarrollo de procedimientos de soldadura (Niño, 2001). La medición de temperaturas abajo del cordón de soldadura y su ubicación respecto al cordón es útil para utilizar un programa de computador (Santos, 2006), que prevé la distribución de temperaturas de la pieza soldada. En el caso particular de soldadura de materiales sensibles a la alta temperatura, como en el caso de los aceros aleados al manganeso es necesario mantener la temperatura de la pieza por debajo de 250 °C para evitar la fisuración del material y pueden usarse ventiladores para el enfriamiento de la pieza antes de continuar realizando nuevos depósitos de soldadura (Ferreira, Reis, Machado, 2016).

La máquina de calentamiento por inducción se utiliza con el fin de realizar el tratamiento térmico de materiales ferrosos (Mühl, Jarms, Kaiser, Dietrich, 2020). En el caso de estudio se calentaron piezas cilíndricas de pequeño tamaño con el fin de obtener los ciclos de calentamiento, mantenimiento y enfriamiento de la pieza. El historial térmico

experimentado por el material tratado es de vital importancia para conocer el comportamiento y propiedades mecánicas que presentará en su servicio.

Para poder interactuar con las máquinas de procesamiento térmico ubicadas en un mismo espacio de laboratorio se requiere de un sistema SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) que realice la supervisión y control de las variables presentes, esto se logra con el uso de una plataforma de interfaz gráfica como Labview de National Instruments y el aplicativo STEP 7 Micro WIN para la programación del PLC (*Programmable Logic Controller*) (Sanchez, Gelvez y Ramirez, 2012). Otras aplicaciones han sido destinadas a la adquisición de datos en laboratorio y control de variables (Pardo y Maldonado, 2005; Patel, Cole, Pryor y Wilmot, 2004) tal y como se pretende realizar con las máquinas de procesamiento térmico. No se llegaron a desarrollar sistemas sofisticados de control de temperatura (Nuñez y Bohorquez, 2017; Hernandez, Diaz, Pinzón, 2011) pero si se lograron resultados sin interferencia en la señal.

En el presente trabajo se conectaron tres máquinas al sistema SCADA y, en consecuencia, se realizaron subprocesos en el PLC para usar una sola interfaz gráfica desde el PC. La HMI (*Human Machine Interface*) se diseñó con paneles de control para cada máquina, seleccionables por el usuario para operar las máquinas de forma independiente.

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA SCADA

Para describir el sistema SCADA propuesto se muestran las implementaciones de hardware, se explica la interfaz desarrollada y la lógica implementada para las tres máquinas trabajadas. Estas máquinas operan de forma independiente y son la de corte de alambre caliente, la de calentamiento por inducción y la de ensayos en soldadura.

2.1 Hardware para el sistema SCADA

La arquitectura del sistema está compuesta por una interfaz HMI encargada de la supervisión de las variables térmicas de los materiales con los que se

trabaja e inserta los parámetros iniciales para su ejecución y un PLC conectado a cada máquina. El PLC es un S7-200 de la marca Amsamotion que cuenta con 14 entradas y 10 salidas digitales.

En la máquina de corte el PLC controla el movimiento del motor y regula el voltaje del alambre tomando las lecturas de corriente y dilatación del alambre (Fig. 1). Esta información es enviada a la interfaz HMI para que el operario pueda ver el comportamiento térmico de la máquina.

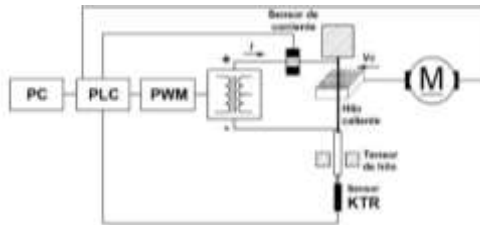


Figura 1. Estructura del sistema SCADA en la máquina de corte con alambre caliente

En la máquina de calentamiento por inducción el PLC solo puede aplicar lógica ON/OFF para el control de la bobina ya que se trabaja con un voltaje fijo de 24 V (Fig. 2). La interfaz de esta máquina solo muestra la temperatura de la pieza de todo su ciclo térmico, es decir, la temperatura y el tiempo que se demora en llegar a su punto máximo y el tiempo que demora en llegar la temperatura ambiente.

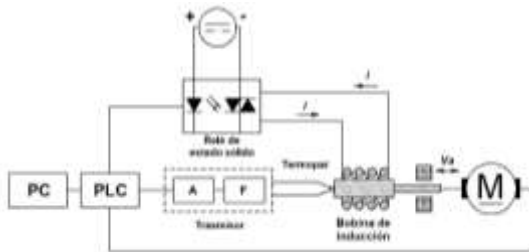


Figura 2. Estructura del sistema SCADA en la máquina de calentamiento por inducción

Para la máquina de soldadura se monitoriza la temperatura de precalentamiento y la temperatura en el punto de soldadura (Fig. 3). Lo anterior, se logra por medio de dos termopares conectados desde el PLC. Adicionalmente, se encuentra conectado directamente un ventilador usado para el enfriamiento de la pieza. La función de la interfaz para esta máquina es establecer la temperatura de precalentamiento deseada y visualizar los datos de los dos sensores de temperatura.

Debido a que las máquinas se encuentran unidas al

mismo PLC se implementó una barra de 8 interruptores para conectar los cinco sensores (Fig. 4.).

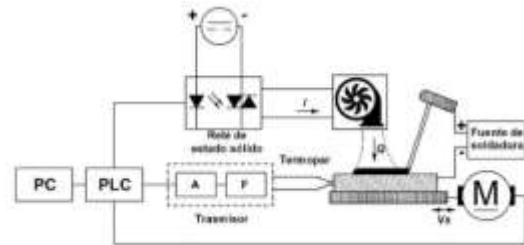


Figura 3. Estructura del sistema SCADA en la máquina de soldadura

Así, es posible usar los cinco sensores con tan solo dos entradas analógicas. Sin embargo, existe la restricción de usar sólo los sensores de una máquina a la vez.

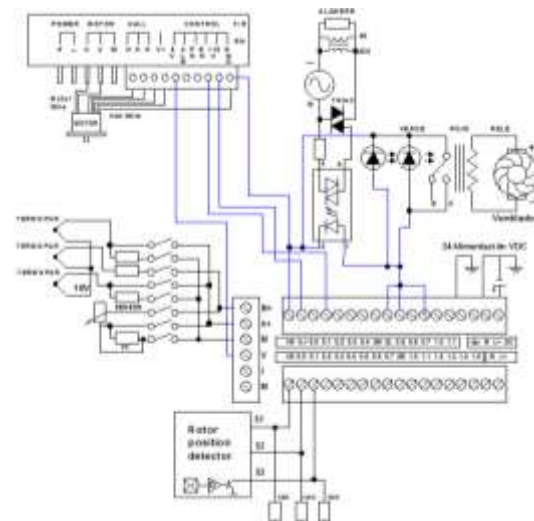


Figura 4. Arquitectura del hardware

Para el funcionamiento del motor *Brushless* fue necesario adicionar un controlador que permite orientar el sentido del giro del motor y variar la velocidad. Asimismo, para determinar la posición del motor se conectaron sensores de efecto Hall a los pines de entrada del PLC para determinar la posición exacta en la que se encuentra el rotor del motor.

Para la máquina de corte de alambre caliente se encuentran conectados un sensor de dilatación lineal y un sensor de corriente al PLC manipulados por medio de pulsos PWM (*pulse-width modulation*). Igualmente, la salida Q0.2 está conectada a un circuito eléctrico que permite variar el voltaje promedio que circula por el alambre.

El calentamiento por inducción es comandado por el pin Q0.4 que opera el encendido y apagado de la

bobina. Además, se usa un termopar tipo K conectado a los pines 5 y 6 de la barra de interruptores que a su vez está conectada a la entrada analógica +A del PLC.

Por último los pines usados para el control y monitoreo de la máquina de soldadura son los pines Q0.6 y Q0.7, que indican la aplicación de soldadura o el detenimiento del proceso. Asimismo, el pin Q0.8 es el encargado de activar o desactivar el ventilador.

2.2 Interfaz y lógica de sistema SCADA

Para el desarrollo de la interfaz HMI se utiliza la herramienta computacional LabVIEW, implementando cuatro instrumentos virtuales, VIs (*Virtual Instrument*), uno principal (Fig. 5) y tres adicionales.



Figura 5. Interfaz principal

En la interfaz de la máquina de corte con alambre caliente (Fig. 6), se especifica en la configuración del alambre según su tipo y dimensiones, los valores máximos de corriente, temperatura, y la dilatación, además de la longitud del alambre y su resistencia eléctrica. Seguidamente, se regulan los parámetros de operación, a saber, el voltaje de la fuente y la velocidad de corte. Se visualiza un gráfico para la corriente que circula por el alambre y otro para la temperatura medida a través de la dilatación térmica del alambre.

En la interfaz de la máquina de calentamiento por inducción (Fig. 7), se configura la temperatura de precalentamiento de la pieza. Inicialmente, la pieza será calentada hasta estabilizarla a una temperatura inicial. Luego, se establece una rampla que eleva la temperatura desde la inicial hasta la temperatura final. Además, se especifican las condiciones de la pieza, a saber, temperatura inicial, longitud y la velocidad de avance para indicar el movimiento en un sentido, en sentido contrario o en sentido alternante.



Figura 6. Interfaz de la máquina de corte con alambre caliente

La temperatura que finalmente alcanza la pieza es representada gráficamente para observar la historia térmica del material.



Figura 7. Interfaz de la máquina de calentamiento por inducción

Para la interfaz de la máquina de ensayos de soldadura (Fig. 8), se deben ingresar las temperaturas de precalentamiento y máxima esperadas, así como la velocidad de soldadura para el movimiento de la pieza respecto al electrodo en sentidos de avance o retroceso. Los dos termopares instalados en la pieza miden las temperaturas abajo del cordón de soldadura y la temperatura de la pieza; estas son mostradas gráficamente en la pantalla y los datos se procesan para análisis de ciclos térmicos en soldadura.

A nivel de software, además de los Vis para las interfaces, se diseñó el automatismo en un algoritmo de control para el PLC con las funcionalidades de las tres máquinas. El lenguaje de programación del PLC utilizado fue Ladder, junto con el módulo OPC (*Object Linking and Embedding for Process Control*) de LabVIEW para la comunicación entre PC, el PLC y sensores.



Figura 8. Interfaz de la máquina de ensayos de soldadura

La lógica de la máquina de corte con alambre caliente (Fig. 9) consiste en comprobar la coherencia de los valores ingresados, verificar la corriente permitida y la dilatación para finalmente desactivar el motor y el transformador.



Figura 9. Diagrama de flujo máquina de corte con alambre caliente

La lógica de funcionamiento para la máquina de procesamiento térmico por inducción (Fig. 10) verifica el precalentamiento de la pieza y, por otra parte, se verifican los parámetros para visualizar la rampla de temperatura con respecto al tiempo.

El proceso lógico que se requiere para trabajar la máquina de soldadura (Fig. 11) inicia validando el precalentamiento de la pieza y luego se verifican los

rangos permitidos para las operaciones de la máquina.



Figura 10. Diagrama de flujo de la máquina de calentamiento por inducción

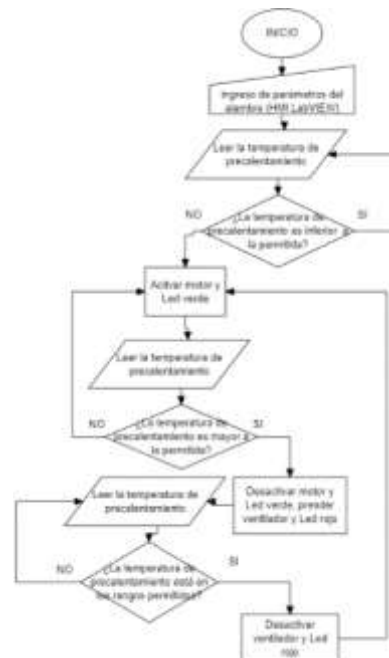


Figura 11. Diagrama de flujo de la máquina de ensayos de soldadura

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con base en el diseño mecánico de las máquinas y la fabricación e instalación de componentes previamente realizado por la empresa INGEBRACOL se procedió a realizar la automatización de los procesos térmicos con el sistema SCADA realizando las siguientes instalaciones: Primero, se diseñó e instaló un transformador con tensión variable entre 18 V a 30 V de corriente alterna (AC). El control se realiza

desde el PLC por medio de un Optotriac usado como interfaz entre el controlador y el Triac de potencia del transformador, con el fin de variar los voltajes. El amperaje máximo alcanzado fue de 9A. En la Figura 12, se muestra la implementación de la máquina de corte de alambre caliente.



Figura 12. Implementación máquina de corte con alambre caliente

Luego, se implementó un sensor de desplazamiento tipo KTR que al estar soldado al contrapeso que tensiona el alambre consigue medir la dilatación lineal a causa del calentamiento de este. La franja de medición de este sensor es de 0 cm a 2.5 cm con un error máximo 0.02 mm. Al medir la dilatación térmica lineal del alambre al calentarse, se realizó una medición indirecta de la temperatura mediante uso de la Ecuación 1. (Carballo, 2018)

$$T_f = T_0 + \frac{L_f - L_0}{\alpha L_0} \quad (1)$$

Donde, L_f y L_0 son las longitudes final e inicial del alambre, T_f y T_0 son las temperaturas final e inicial del alambre y α es el coeficiente de dilatación térmica obtenido del fabricante del alambre.

Adicionalmente, a los ensayos con tensión variable, se realizaron pruebas usando un transformador con tensión fija de 20 V. Esto para determinar la confiabilidad en la función del sistema SCADA y para comparar la precisión. De esta manera se estableció la viabilidad del uso de PWM para manipular la salida y obtener diferentes voltajes para calentar el alambre. La Tabla 1, muestra la comparativa entre las dos fuentes de voltaje. Para ello se usó un alambre de diámetro de 0.7 mm y se trabajaron tres diferentes longitudes (800 mm, 900 mm y 1000 mm) como lo muestra en dicha tabla. Para obtener un margen aceptable de error se realizaron tres iteraciones para cada valor de longitud, con un total de 9 muestras por cada fuente.

Comparando las temperaturas medidas con cada fuente, se puede apreciar un error máximo de 5 °C. Teniendo claro este error, se puede considerar el uso

del sensor como una buena alternativa para medir la temperatura de manera indirecta en el alambre. También se logra validar que los resultados obtenidos con tensión variable son coherentes con los obtenidos con tensión fija.

Tabla 1. Ensayos de calentamiento en alambre

Diámetro	Fuente variable		Fuente fija	
	Longitud (mm)	T máxima (°C)	T máxima (°C)	I (A)
800	800	788	779	8,6
	800	791	780	8,6
	800	790	784	8,6
900	900	651	642	8,15
	900	654	640	8,15
	900	649	640	8,15
1000	1000	583	576	8
	1000	585	578	8
	1000	580	576	8

En las pruebas con la máquina de calentamiento por inducción se utilizó una placa de calefacción Flyback marca Adeeing de 1000 W y 20 A para inducción a baja tensión ZVS entre 12 V y 48 V. La alimentación se realiza con una fuente conmutada de 24V DC con corriente de 15 A DC. La pieza de acero a ser calentada debe dimensionalmente cumplir con una relación 1/3 entre diámetro y la longitud (Konstantinos, Masahiro, Hironari, Minehiro, 2018) para una inducción efectiva en procesamiento térmico del acero. De esta manera el cuerpo de prueba utilizado fue de 15 mm de diámetro por 45 mm de longitud. Por lo tanto, en la Figura 13 se observa que el cuerpo de prueba alcanzó la coloración rojo cereza brillante requerido para realizar algún tratamiento térmico al acero. La temperatura en estas condiciones debe superar los 700 °C hasta llegar a máximo 1100 °C. En la medición realizada con el termopar se verificó que la temperatura alcanzada en el proceso superó los 700°C. Para obtener este buen resultado también ayudó el diseño de la bobina, hecha en tubería de cobre de 6 mm de diámetro obteniéndose una forma cilíndrica de 7 espiras con 35 mm de diámetro interno y 50 mm de altura. En otra fase, se probó la programación de una rampa de calentamiento desde una temperatura inicial hasta una temperatura final. Esto se realizó configurando el tiempo de encendido de la bobina con un control ON/OFF comandado desde LabVIEW.

A fin de determinar la mejor ubicación de la punta del termopar respecto al centro de la bobina, se

realizaron cuatro pruebas a distancias de 0, 5, 10 y 15 mm.



Figura 13. Ensayo de calentamiento por inducción

El termopar puesto en la mitad de inductor presenta una alta interferencia (línea verde Fig. 14) debido al campo magnético generado por la bobina. Al retirar el termopar 15 mm la interferencia desaparece (línea azul Fig.14). En experimentos previos (Alejos, 2015), se constató este aspecto.

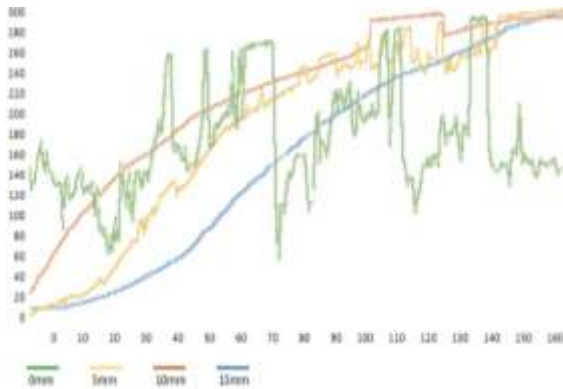


Figura 14. Temperatura de precalentamiento a diferentes distancias del centro de la bobina

Finalmente, se realiza la implementación en la máquina de ensayos de soldadura. En esta, un carro accionado con motor *Brushless*, que se utilizó en la máquina de corte, se adaptó una prensa para sostener la pieza a ser soldada. En una platina de acero se insertaron dos termopares tipo K para realizar el monitoreo de las temperaturas. Para cada termopar fue utilizado un transmisor que amplifica y filtra la señal de temperatura para llevarla al PLC. Desde la interfaz HMI fue accionado el motor para avanzar el carro con la pieza a la velocidad de soldadura cuando se da el encendido del arco eléctrico (Fig.15).

Dos pilotos (uno rojo y otro verde) se colocaron en la máquina para indicar en qué momento se llega a temperatura para iniciar la soldadura, lo cual enciende el piloto verde. El piloto rojo, se enciende cuando la pieza alcanza la temperatura máxima especificada previamente en la HMI. Cuando esto

sucede, se acciona un ventilador que acelera el enfriamiento de la pieza para dar continuidad a las operaciones de soldadura.



Figura 15. Implementación en la máquina de ensayos de soldadura

Adicionalmente, una fuente de alimentación conmutada de 12 V y 20 A fue usada para la puesta en marcha del ventilador. La ubicación de la punta del termopar respecto a la fuente de calor (el arco eléctrico), es también importante para evitar interferencias en la señal por el campo magnético de la corriente de soldadura, como sucedió alejando el termopar entre 5 y 10 mm (Fig.16).

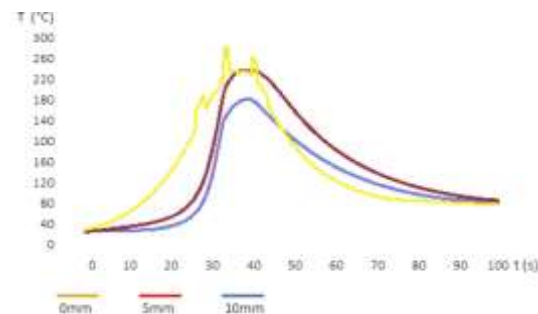


Figura 16. Temperaturas del cordón de soldadura

De este modo se establecen tres maneras de medir la temperatura en platinas soldadas, de acuerdo con (Orge L. Pacheco Y., Miguel Olmos M., Ramiro Chamorro C. Y Jimmy Unfried S, 2015).

5. CONCLUSIONES

El la máquina de corte con alambre caliente el circuito electrónico compuesto por Triac y con ayuda de la señales PWM generadas por el PLC mantiene coherencia con la linealidad de tan solo un error máximo de 1,4 %, por lo que permite variaciones suaves en el voltaje de manera continua y segura.

En la máquina de calentamiento por inducción se logra llevar el acero a la temperatura de austenitización, necesaria para el tratamiento térmico de temple. También se pudo ubicar el termopar dentro de la pieza eliminando

interferencias en la señal con retardo no superior a 40 segundos, que puede ser disminuido con el aumento de la potencia del inductor.

En soldadura es importante regular las velocidades de avance del cordón, así como la medición de los ciclos térmicos experimentados en la zona soldada, lo cual fue cumplido a cabalidad por la automatización implementada. Para ubicar correctamente un termopar en la platina soldada se debe perforar esta de modo que al insertar el termopar este quede distanciado entre 5 y 10 mm a partir de centro del cordón e soldadura.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la empresa Ingeniería Brasilerio-Colombiana SAS – INGEBRACOL por la infraestructura de ensayos de laboratorio y por la disponibilidad de las máquinas de procesamiento térmico para realización del proyecto.

REFERENCIAS

- Welgang, M. Shaoyi, S. Xing Z. (2018) *Three-wire method to characterize the thermoelectric properties of one-dimensional materials*. Journal of Vacuum Science and Technology B: Nanotechnology and Microelectronics, Vol 36(2), 022903
- Ahn D., Lee S. y Yang, D. (2002). *Investigation into development of progressive-type variable lamination manufacturing using expandable polystyrene foam and its apparatus*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, Vol 216(9), pp. 1239-1252.
- Brooks, H.L. Aitchison, D.R. (2010). *Force feedback temperature control for hot-tool plastic foam cutting*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, Vol 224(5), pp. 709-719
- Niño, C.E. *Especificación de procedimientos de reparación por soldadura sin tratamiento térmico posterior: efecto del revenimiento producido por los ciclos térmicos*. Tesis (Doctorado en Ingeniería Mecánica). Programa de postgrado en Ingeniería Mecánica. Universidad Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Brasil. 2001.
- Santos, L.A. y Silva, A.F. (2006). *A Computer Program for Predicting Thermal Cycles at the HAZ of Bead on Plate Welds Using Dimensions of the Molten or Heat Affected Zone as Input Data*. Revista Soldagem & Inspección, Vol 11, No 4.
- Ferreira M.F., Reis A.V., Machado A.L. (2016) *Utilizacao de revestimento soldado para o aumento da vida útil de punteiras sulcadoras em semeadoras adubadoras*. Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade, Vol. 2, 39-44
- Mühl, F., Jarms, J., Kaiser, D., Dietrich, S., Schulze, V. (2020) *Tailored bainitic-martensitic microstructures by means of inductive surface hardening for AISI4140*. Materials and Design, Vol. 195, 108964
- Sanchez J. Gelvez J., Ramirez R., (2012). *Implementación de un sistema tipo scada para mejorar los procesos de secado y cocción de la ladrillera SIGMA Ltda*. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, Vol. 2, 20
- Pardo A. G, Maldonado J. I. (2005). *Diseño del control y monitoreo en un reactor anerobio en la Universidad de Pamplona*. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, Vol.1,5
- Patel, M., Cole, G.R., Pryor, T.L., Wilmot, N.A., Schulze, V. (2004). *Development of a novel SCADA system for laboratory testing*. ISA Transactions, Vol. 43, 477-490
- Núñez R.A, Bohorquez L. (2017). *Control robusto QFT de temperatura en tiempo real*. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, Vol.2, 30
- Hernandez E.A., Diaz J.L., Pinzón O. (2011). *Comparación de diferentes técnicas de control aplicadas al control de temperatura en tiempo real*. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, Vol.2, 18
- Konstantinos A.S., Masahiro K., Hironari S., Minehiro, N. (2018) *Use of Induction-heating in Steel structures: Material properties and novel brace design*. Journal of Constructional Steel Research, Vol. 148, 112-123
- Alejos, J. O. (2015). *Sistema de calentamiento por inducción electromagnética para pruebas experimentales en laboratorios de Físico-Química*. México: Instituto Tecnológico de Celaya.
- Orge L. Pacheco Y., Miguel Olmos M., Ramiro Chamorro C. Y Jimy Unfried S. (2015). *Modelado de ciclos térmicos durante la soldadura al arco eléctrico con electrodo revestido en juntas disímiles de aceros inoxidables*. Revista de la Facultad de Ingeniería, Vol 23, 116.