	GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS		CÓDIGO	FO-GS-15	
			VERSIÓN	02	
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN			FECHA	03/04/2017
				PÁGINA	1 de 1
ELABORÓ		REVISÓ	APROBÓ		
Jefe División de Biblioteca		Equipo Operativo de Calidad	Líder de Calidad		

## RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR:

NOMBRE(S): DIEGO ANDRES

APELLIDOS: PATIÑO EPALZA

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

DIRECTOR:

NOMBRE(S): SERGIO ALEXANDER

APELLIDOS: CASTRO ASADIEGO

NOMBRE(S): WILSON

APELLIDOS: TAFUR PRECIADO

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA PROCESOS TÉRMICOS EN LA EMPRESA INGENIERIA BRASILEIRO COLOMBIANA S.A.S

### 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.

PALABRAS CLAVE: SCADA; Monitoreo de temperatura; PLC; Procesos térmicos;

LabVIEW

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 57 PLANOS: 0 ILUSTRACIONES: 27 CD ROOM: 1

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA PROCESOS TÉRMICOS EN LA  
EMPRESA INGENIERIA BRASILERO COLOMBIANA S.A.S

DIEGO ANDRES PATIÑO EPALZA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRONICA

SAN JOSE DE CÚCUTA

2020

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA PROCESOS TÉRMICOS EN LA  
EMPRESA INGENIERIA BRASILERO COLOMBIANA S.A.S

Presentado por:

DIEGO ANDRES PATIÑO EPALZA

Director:

M.Sc SERGIO ALEXADER CASTRO CASADIEGO

Codirector:

M.Sc WILSON TAFUR PRECIADO

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRONICA

SAN JOSE DE CÚCUTA

2020

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE UN TRABAJO DE GRADO


Fecha: CÚCUTA, 4 DE NOVIEMBRE DE 2020  
Hora: 15:30  
Lugar: MODALIDAD REMOTA SINCRÓNICO  
Plan de Estudios: INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
Título de la Tesis: "DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA PROCESOS TÉRMICOS EN LA EMPRESA INGENIERIA BRASILEIRO COLOMBIANA S.A.S."  
Jurados: IE, PhD FRANCISCO ERNESTO MORENO GARCÍA  
I TEL, ES<sup>p</sup> WILLIAM CARLOS GUTIERREZ MEJÍA  
Director: IE, MSc SERGIO ALEXANDER CASTRO CASADIEGO  
Codirector: IEM, MSc WILSON TAFUR PRECIADO

Nombre del Estudiante	Código	Calificación
DIEGO ANDRÉS PATIÑO EPALZA	1161150	CUATRO, CUATRO (4.4)

### APROBADA

  
FRANCISCO ERNESTO MORENO GARCÍA

  
WILLIAM CARLOS GUTIERREZ MEJÍA

  
DINAEL GUEVARA IBARRA  
Coordinador Comité Curricular  
Ingeniería Electrónica



**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA  
LA CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y LA PUBLICACIÓN  
ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Cúcuta,

Señores  
BIBLIOTECA EDUARDO COTE LAMUS  
Ciudad

Cordial saludo:

Diego andres Patiño Epalza, identificado(s) con la C.C. N° 1.093.790.482, autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado diseño de un sistema automatizado para procesos térmicos en la empresa ingeniería brasilero colombiana S.A.S presentado y aprobado en el año 2020 como requisito para optar al título de ingeniero electrónico; autorizo(amos) a la biblioteca de la Universidad Francisco de Paula Santander, Eduardo Cote Lamus, para que con fines académicos, muestre a la comunidad en general a la producción intelectual de esta institución educativa, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo de grado en la página web de la Biblioteca Eduardo Cote Lamus y en las redes de información del país y el exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad Francisco de Paula Santander.
- Permita la consulta, la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD-ROM o digital desde Internet, Intranet etc.; y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

Lo anterior, de conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la ley 1982 y el artículo 11 de la decisión andina 351 de 1993, que establece que “**los derechos morales del trabajo son propiedad de los autores**”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Diego A. Patiño E.  
C.C 1093790482  
FIRMA Y CEDULA

## **Contenido**

Introducción	12
1. Descripción del problema	13
1.1 Planteamiento del Problema	13
1.2 Justificación	14
1.2.1 Tipo de Proyecto	15
1.2.2 Impacto Esperado	15
1.2.3 Beneficios tecnológicos	16
1.2.3 Beneficios Institucionales	16
1.3 Objetivos	16
1.3.1 Objetivo general	16
1.3.2 Objetivos específicos	17
1.4 Limitaciones y Delimitaciones	17
1.4.1 Limitaciones	17
1.4.2 Delimitaciones	17
2. Marco Referencial	19
2.1. Antecedentes	19
2.2. Marco Teórico	21
2.2.1. Procesamiento térmico de materiales sensibles al calor	21
2.2.2. Sistemas de control para temperatura y movimiento	23

2.2.3. Controladores lógico programable	23
2.2.4. interfaz hombre máquina (HMI)	25
2.2.5. Motores para control de movimiento.	25
2.2.6. Sensores de temperatura.	26
2.2.7. driver para motores DC Brushless	27
2.3. MARCO LEGAL	28
3. Diseño Metodológico	31
3.1. Objetivo 1	31
3.1.1. Actividades	31
3.1.2 Metodología	31
3.2. Objetivo 2	32
3.2.1. Actividades	32
3.2.2. Metodología	32
3.3. Objetivo 3	32
3.3.1. Actividades	32
3.3.2. Metodología	33
3.4 Objetivo 4	33
3.4.1Actividades	33
3.4.2 Metodología	33
4. Resultados	34

4.1. Análisis de las características de las máquinas de procesamiento térmico	34
4.1.1. Hardware de las maquinad de procesamiento térmico.	34
4.2 Diseño del sistema automatizado	37
4.2.3 especificaciones de los componentes	50
4.3 Análisis de resultados	54
4.4 Divulgación de resultados	60
5. Conclusiones	.61
6. Recomendaciones	62
Referencias	63



## Lista de Figuras

Figura 1. Máquina de procesos térmicos, Fuente (Preciado, 2019).	23
Figura 2. Estructura de un PLC. Fuente: (Sánchez, 2013).	24
Figura 3. Representación en LD de la función $S=A B(C+D)$ .	25
Figura 4. componentes principales de un motor BRUSHLESS (sin escobilla) (Kenjo, 1985).	26
Figura 5. Estructura de la máquina de corte con alambre caliente.	35
Figura 6. Estructura de la máquina de calentamiento por inducción.	36
Figura 7. Estructura de la máquina de soldadura.	37
Figura 8. panel frontal y un panel de código de LabVIEW, fuente autor.	38
Figura 9. Interfaz principal.	39
Figura 10. Subproceso del VI para el menú principal.	39
Figura 11. Interfaz de la máquina de corte con alambre caliente.	40
Figura 12. panel de código.	41
Figura 13. Interfaz de la máquina de calentamiento por inducción.	42
Figura 14. Interfaz de la máquina de ensayos de soldadura.	43
Figura 15. Diagrama de flujo máquina de corte con alambre caliente.	44
Figura 16. Diagrama de flujo de la máquina de calentamiento por inducción.	45
Figura 17. Diagrama de flujo de la máquina de ensayos de soldadura.	46
Figura 18. panel principal de STEP 7-Mirco/WIN.	48
Figura 19. lenguaje Ladder del PLC	49
Figura 20. interfaz de OPC para crear los tags de comunicación entre LabVIEW y PLC.	50
Figura 21. Arquitectura del hardware.	52
Figura 22. Circuito del calentador por inducción.	53

Figura 23. Implementación máquina de corte con alambre caliente.	54
Figura 24. Ensayo de calentamiento por inducción.	57
Figura 25. Temperatura de precalentamiento a diferentes distancias del centro de la bobina.	58
Figura 26. Implementación en la máquina de ensayos de soldadura.	59
Figura 27. Temperaturas del cordón de soldadura.	59

## **Lista de Tablas**

Tabla 1.características del PLC S7 -200	47
Tabla 2. Componentes de las máquinas de procesamiento térmico.	51
Tabla 3. Ensayos de calentamiento en alambre.	56

## **Introducción**

La empresa Ingeniera Brasileiro-colombiana S.A.S (INGEBRACOL) es una empresa dedicada a la fabricación de máquinas para procesamiento térmico, actualmente se encuentra trabajado en la creación de bancadas de ensayos que le permitan hacer maquinas más eficientes e innovador logrando así patentar sus productos.

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 por lo que se ha desarrollado un sistema de Control de supervisión y Adquisición de Datos (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.

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 Interfaz) se diseñó con paneles de control para cada máquina, seleccionables por el usuario para operar las máquinas de forma independiente.

## **1. Descripción del problema**

En este capítulo se define el planteamiento del problema, la justificación, los alcances, objetivos, limitaciones y delimitaciones, marco referencial, marco teórico que se establecieron para llevar a cabo esta investigación.

### **1.1 Planteamiento del Problema**

La empresa Ingeniería Brasileru Colombiana (INGEBRACOL) trabaja en el diseño y fabricación de máquinas y equipos especiales y en sistemas informáticos de gestión; enfocándose en proyectos para el sector productivo con el fin de mejorar sus procesos de manera eficiente. Al constituirse como una empresa de base tecnológica, tiene como fundamento la investigación para desarrollar o mejorar sus productos y servicios. Uno de estos, es el procesamiento térmico de aceros para diversos propósitos mediante soldadura, tratamiento térmico, corte y conformado, en los cuales se requiere exactitud y precisión en el control de la temperatura y posicionamiento de la pieza siendo procesada. Por ejemplo, en el caso de tratamiento térmico, el sistema de posición debe desplazar la pieza hasta dentro de un horno donde se le aplica calor, hasta elevar la temperatura y mantenerla un cierto tiempo. Una vez sea terminado el ciclo térmico, la pieza debe ser sacada del horno para depositarla en algún medio de enfriamiento que puede ser agua, aceite o aire.

En el caso de la soldadura el sistema se aplicó para aproximar la pieza a una fuente de calor de soldadura (herramienta del proceso) o retirarla de allí cuando la pieza alcance cierta

temperatura y llevarla hasta algún medio de enfriamiento que le baje la temperatura y luego de eso repetir el ciclo. De manera similar se aplica en operaciones de corte y conformado de aceros sensibles al calor con el fin de no alterar drásticamente su microestructura.

Por consiguiente, la problemática está en que no se cuenta con un sistema electrónico que pueda programarse para definir la velocidad de avance y recorrido de una herramienta y que controle la temperatura de la pieza de manera sincronizada con el movimiento del actuador de posición. Como pregunta de investigación se plantea la siguiente:

¿Cómo se puede crear un sistema de control de posición en función de la temperatura en los procesos térmicos de la empresa Ingeniería Brasilerio-Colombiana SAS?

## **1.2 Justificación**

A medida que evoluciona la tecnología en los procesos industriales se aprecia una mejora significativa especialmente en la exactitud, precisión y eficiencia que estos ofrecen, permitiendo altos estándares de calidad y durabilidad en los materiales que están siendo procesados.

Así mismo, al automatizar un proceso este se optimiza y reduce errores considerables que afecten su productividad y calidad dispensando los procedimientos manuales e incrementando de esta forma su exactitud y precisión, desde que se conozcan las principales variables de influencia.

En cuanto al uso de procesos térmicos, es necesario controlar la temperatura para evitar fracturas o daños en la microestructura del material de la pieza siendo procesada y un control de

posicionamiento con alta precisión para regular los ciclos de calentamiento y enfriamiento de esta.

Con respecto a lo anterior, la empresa Ingeniería Brasilerocolombiana S.A.S cuenta con algunas máquinas que promueven el calentamiento de la pieza por medio de diversas herramientas las cuales, requieren un sistema electrónico que controle la temperatura de la pieza y el posicionamiento de la herramienta o fuente de calor que permita la optimización del procesamiento térmico de los materiales.

### **1.2.1 Tipo de Proyecto**

Este proyecto es de tipo investigativo y de desarrollo tecnológico. Se emplearon técnicas de investigación para relacionar las acciones mecánicas y el esfuerzo humano con la automatización mediante el desarrollo de modelos matemáticos, de control y de electrónica de potencia.

### **1.2.2 Impacto Esperado**

Gracias al diseño creado del sistema con control de temperatura de pieza y movimiento de herramienta en máquinas de procesamiento térmico para la empresa Ingeniería Brasilerocolombiana S.A.S, se mejoró la calidad de los productos procesados, disminuyendo las fallas en las piezas y permitiendo el posicionamiento a nivel regional como pionera en procesamiento térmico de materiales altamente sensibles al calor como los aceros para herramienta y aleaciones especiales.

### **1.2.3 Beneficios tecnológicos**

El sistema permitió programar velocidades de avance y posición de la herramienta, configurar los ciclos de calentamiento y enfriamiento de piezas y visualizar en pantalla gráficos de supervisión y monitorización de las variables de proceso.

### **1.2.3 Beneficios Institucionales**

Los estudiantes de la Universidad Francisco de Paula Santander se beneficiarán ya que obtendrán aplicaciones de electrónica de potencia, control análogo y digital, programación orientada a objetos, entre otras.

Por otro lado, la Universidad Francisco de Paula Santander se beneficiará de manera directa por los convenios con empresas que estén interesadas en invertir en diseños e implementaciones de adaptaciones automatizadas, mejorando la calidad de procesos y otorgando a la universidad nombramientos por la aplicación de tecnología.

## **1.3 Objetivos**

Para el desarrollo de este proyecto, los siguientes objetivos fueron establecidos:

### **1.3.1 Objetivo general**

Diseñar un sistema automatizado para procesos térmicos en la empresa INGENIERÍA BRASILEIRO COLOMBIANA S.A.S



### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Analizar las características con las que cuenta la máquina de procesamiento térmico, definiendo las funciones y variables a controlar.
- Diseñar el sistema automatizado para el control de las variables definidas.
- Realizar pruebas de simulación a los diseños propuestos para verificar el cumplimiento de las funciones, los requerimientos de diseño y las medidas de las variables.
- Divulgar los resultados del proyecto mediante artículos y conferencias

### **1.4 Limitaciones y Delimitaciones**

En el procesamiento térmico de materiales manufacturados se destacaron las siguientes limitaciones y delimitaciones:

#### **1.4.1 Limitaciones**

El proyecto se limitó al diseño y elaboración de un prototipo con el cual se podrán realizar algunas pruebas de validación de diseño y funcionalidad no constituyéndose en un producto comercializable.

#### **1.4.2 Delimitaciones**

Por ser un proyecto de diseño existen varias delimitaciones, entre estas están:

- a) Espacial: este diseño se aplicó en la empresa Ingeniería Brasilerio-Colombiana S.A.S., Cúcuta, Norte de Santander;

b) Técnica: el proyecto abarco únicamente tres variables: temperatura, posición y velocidad; las cuales influyeron de manera significativa en la calidad del producto final. Las demás variables que pudieron afectar quedan descartadas del sistema de supervisión y deben ser objeto de futuras investigaciones.

## 2. Marco Referencial

### 2.1. Antecedentes

En la siguiente parte se hará alusión de proyectos relevantes con la temática de automatización de procesos dentro de empresas nacionales e internacionales:

La tesis “SEGUIMIENTO Y ANÁLISIS DE ENTORNOS DE SOLDADURA POR ARCO AUTOMATIZADA MEDIANTE ULTRASONIDOS”. En este proyecto se usa sensores de ultrasonido de baja y alta frecuencia, para examinar el entorno donde se desea aplicar soldadura y seguir la línea de esta respectivamente. Con los datos arrojados se pueden controlar la variable distancia entre los obstáculos que se encuentran en la superficie y el seguimiento de la línea de soldadura, esto demuestra que se consiguen buenos resultados analizando la influencia que hay en el entorno sobre la señal ultrasónica (Freire).

Esta tesis prueba que se puede realizar un sistema automatizado a procesos térmicos como la soldadura, mediante un control de posición por ultrasonido, dando como resultado reconocimiento del entorno de trabajo para realizar así soldaduras de alta confiabilidad.

La tesis “DISEÑO DE UN PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA MEDIANTE EL PROCESO GMAW UTILIZANDO UN BRAZO ROBÓTICO”. El proyecto tiene como justificación poner a funcionar un brazo robótico que realiza soldadura de arco, el cual se encuentra inactivo desde el año 2005. Se espera que este trabajo ayude para la empresa con un aumento del volumen de producción, la calidad de sus productos y otros factores. Para mejorar la calidad se hacen diseños en diferentes ángulos de posicionamientos con respecto a sus 6 ángulos

de libertad que tiene este brazo robótico, demostrando así una mejora en su utilización y aplicación tecnológica (Rincon).

Este trabajo ayuda para que el diseño que se proponga cumpla con la finalidad de ayudar a la empresa INGEBRACOL S.A.S a mejorar la calidad de sus productos y así pueda aumentar el volumen de producción siendo estos dos factores una necesidad.

La tesis “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE SEGUIMIENTO DE JUNTA DE SOLDADURA, MEDIANTE BARRIDO DE SUPERFICIE CON VISIÓN ARTIFICIAL”. En este proyecto de seguimiento de junta de soldara se realiza un diseño de un robot con movimientos en x, y, z; para soldadura inteligente. Automatizar un proceso de soldadura requiere de sensores que identifiquen el camino adecuado para soldar y corregir su trayectoria. Se usa el software libre OPENCV y una de sus librerías para filtros RGB. Esta ayuda a dimensionar los componentes mecánicos para ejercer el movimiento controlado de la soldadura. Para realizar los caminos de soldadura se pone a 45° para unir la soldadura en L con filete. Las pruebas de simulación y de funcionamiento comprobaron que la triangulación entre el láser y las pruebas de soldadura son las adecuadas para obtener una soldadura casi perfecta (Samtamaria).

Esta investigación ayuda a realizar movimientos controlados a la herramienta en máquina con el uso de sensores que intervienen con el control del movimiento del motor, mediante una lógica de programación que consiste en retroalimentar el sistema para corregir el movimiento de la pieza.

El artículo “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CALENTADOR POR INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA PARA EL MONTAJE DE RODAMIENTOS”. Se plantea el diseño e implementación de un calentador por inducción electromagnética para el montaje de

rodamientos. En las industrias que manejan el tema de los rodamientos se presentan inconsistencias en el proceso de montaje de estos, debido a que no es efectivo pues se ocasionan fracturas y delineamientos. Con la ayuda del calentamiento por inducción las piezas se podrán expandir más y así facilitar su ubicación en los ejes. Para el funcionamiento del calentamiento por inducción se cuenta con una interfaz de usuario, que muestra el valor de la temperatura que se desea para calentar el rodamiento; tres pulsadores, dos para aumentar o disminuir la temperatura y uno para que se inicie o suspensión del proceso de calentamiento; y por último un control para la parte lógica y manejo de pulsadores. (Bolívar, 2016)

Los diseños que muestra el artículo anterior son referentes claves para proponer un prototipo para la empresa que realice calentamiento a piezas sensible al calor, pues esta es una de la función que se pretende realice la máquina de procesos térmicos.

## **2.2. Marco Teórico**

### **2.2.1. Procesamiento térmico de materiales sensibles al calor**

Existen formas de procesamiento de los materiales en los cuales se requiere un sistema de posicionamiento de pieza en función de la temperatura con el fin de controlar los ciclos térmicos.

Entre estos están:

- Depósito de cordones de soldadura en materiales sensibles al calor
- Tratamiento de aceros mediante calentamiento por inducción
- Corte de espuma

En los procesos de soldadura se requiere poder elevar o bajar la pieza hacia un recipiente con agua para enfriarla y mantenerla a una temperatura mínima cuando es depositado un cordón con el fin de dar continuidad a la deposición de los siguientes pases de soldadura.

En los hornos de resistencia se requieren programar las ramplas de calentamiento y enfriamiento para promover velocidades de calentamiento o enfriamiento en las piezas con el fin de obtener diferentes microestructuras y durezas. Las piezas deben ser retiradas o ingresadas al horno mediante un sistema de posicionamiento en función de la temperatura que se le programe. El controlador debe comandar la potencia del calor necesaria para alcanzar cierta temperatura en cierto tiempo. Otra aplicación del sistema de posicionamiento en el horno es la realización de soldaduras con precalentamiento de las piezas, las cuales al alcanzar las temperaturas en el horno se extraen para proceder a realizar los pases de soldadura. Luego de la soldadura esta pieza es ingresada de nuevo al horno para controlar el enfriamiento de la soldadura. Este último caso se puede realizar aplicando calentamiento por inducción para reducir el consumo de energía.

En el corte abrasivo de materiales sensibles al calor se debe activar algún medio de enfriamiento para reducir la temperatura de la pieza cuando sea realizado el corte. Esto consiste en desplazar la pieza hacia el disco o retirarla para realizar el enfriamiento y retornarla al corte cuando este alcance la temperatura mínima.

Ya se tienen algunos accesorios como la mesa donde se pueden adaptar los procesos térmicos antes mencionados. En la figura 1, se muestra la mesa especialmente diseñada para la adecuación de los accesorios. (Preciado, 2019)



**Figura 1.** Máquina de procesos térmicos, Fuente (Preciado, 2019).

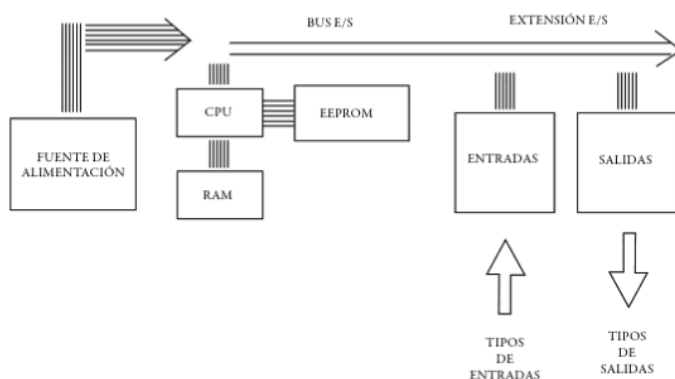
### **2.2.2. Sistemas de control para temperatura y movimiento**

Para crear el diseño de la automatización, se deben tener claro los conceptos teóricos y técnicos de los procesos electrónicos que interactúan en este, para esto se seleccionaron los materiales y procesos principales que hacen parte del proceso de control de temperatura y movimiento.

### **2.2.3. Controladores lógico programable**

Un PLC se puede considerar como una computadora industrial, la cual procesa todos los datos como sensores, actuadores o señales de entradas y salidas. Su estructura básica se muestra en la figura donde consta de una fuente de alimentación que es la encargada de suministrar energía al CPU, alimentar las tarjetas con 5V, y 24 voltios para los buses de corriente de 20 mA; la CPU

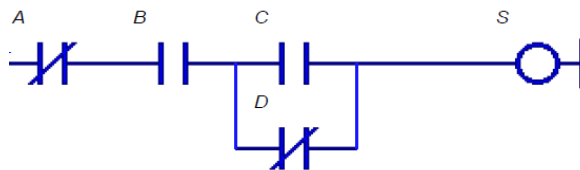
está compuesta de manera semejante a la de un microprocesador debido a que cuenta con: unidad de control, tarjeta interna RAM, temporizadores, contadores, proceso de entradas/salidas, etc.; los diferentes módulos de entradas y salidas pueden ser añadidos independientemente de la aplicación a realizar, se pueden encontrar diferentes tipos de E/S en un PLC con son: discretas, análogas, rectificadores, acondicionamiento de señal, protección, convertidores A/D y viceversa; una parte fundamental del PLC es la unidad de programación quien es el medio de comunicación entre el usuario y el dispositivo (Carman, 2013)



**Figura 2.** Estructura de un PLC. Fuente: (Sánchez, 2013).

La programación de un PLC se logra mediante un lenguaje gráfico denominado *LADDER*, esta usa contactares para construir la red, en ella se representan ecuaciones lógicas (ver figura 2) ,y se aprecia una ecuación booleana representada gráficamente en lenguaje Ladder en donde cada variable corresponde un contacto normalmente abierto o normalmente cerrado; los elementos básicos solo permiten lógicas simples pero existen otras funciones que complementan este lenguaje como son comparadores, saltos a subrutinas, temporizadores, instrucción END que indica la terminación del programa aunque no todos los PLC usan esta última función . (Maloy)





**Figura 3.** Representación en LD de la función  $S = \bar{A} B(C + \bar{D})$ .

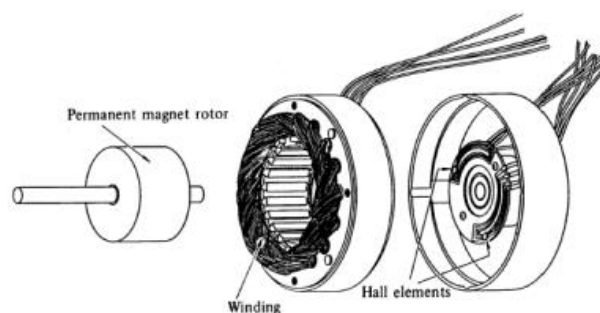
#### 2.2.4. interfaz hombre máquina (HMI)

La interface hombre máquina permite que un operario pueda supervisar o interactuar con el proceso que se esté automatizando, esta herramienta asegura una completa supervisión, permitiendo hacer un tratamiento de la situación en casos de alarmas, gestionar el historial de datos presentes en el proceso, también es muy común usar la HMI en la creación de informes o información en general; la programación numérica también es posible gracias a esta herramienta pues lo realiza sobre la CPU del ordenador y no del PLC reduciendo retardos en el sistema . Para indicar el estado de los procesos desde equipos convencionales o unas más robustas que cuentan con lápiz óptico y pantalla *touch screen* (Rodríguez P. A., 2017).

#### 2.2.5. Motores para control de movimiento.

Los motores con control de movimiento son de gran ayuda en la atomización industrial gracias a que pueden hacer movimientos precisos, los más comunes en la industria son los motores paso a paso y los motores DC *Brushless*, el primero funciona mediante el control de impulsos magnéticos, esto quiere decir que a diferencia de un motor convencional que tiene un movimiento lineal, tiene la capacidad de avanzar una serie de grados que pueden ir desde tan solo  $1.8^\circ$  dependiendo de las entradas de control en cada embobinado; otra diferencia de los

motores convencionales es el enclavamiento en cierta coordenada si al menos una de sus bobinas queda energizada. El principio de funcionamiento de los motores paso a paso se encuentra en el rotor donde se encuentran los imanes y embobinados, todo el control de bobinas se hace desde un controlador como Arduino, en caso de motores pequeños o PLC para mayor control de potencia y durabilidad, con la lógica adecuada se puede lograr excitar el estator de manera que se genere un campo magnético necesario para girar el eje central o bien para enclavar el eje en cierto lugar, los motores *Brushless* son usados actualmente en la industria gracias a su relación con un motor DC con escobilla, su principal razón es el desgaste que tienen estas escobillas lo que hace un obligatorio mantenimiento, en los motores *Brushless* se evita esta acción repetitiva y tediosa en cualquier aplicación, en la figura se muestran las partes de un motor sin escobilla, estos son muy similares a las de un motor AC en donde el rotor es el componente magnético permanente y en el estator se encuentran varias bobinas como las de un motor AC monofásico, pero lo que hace que sean diferentes es la forma de determinar la posición del rotor, esto se debe al sensor de efecto Hall que comúnmente se utiliza. (Escobar F. Martínez J. Téllez Germán, 2005)



**Figura 4.** componentes principales de un motor BRUSHLESS (sin escobilla) (Kenjo, 1985).

### 2.2.6. Sensores de temperatura.

La temperatura podemos definirla como la intensidad de calor de un cuerpo, su medición se realiza mediante la energía cinética generada por el movimiento de las partículas, dicho de otra

manera, entre mayor sea la excitación de partículas mayor será su temperatura. Este fenómeno puede cambiar las propiedades de los materiales en valores extremos tanto positivo como negativamente, por ejemplo, un calor excesivo puede debilitar la fuerza de soldadura. Con la ayuda de los distintos sensores que hay de temperatura se puede monitorear estos fenómenos; en el mercado se encuentran múltiples opciones que están diseñadas para todo uso tanto industrial como de menor resolución de adquisición; enfocándonos al caso industrial, los más usados son los detectores de temperatura resistivos (RTD), dispositivos termoeléctricos (Termopares) y el medidor de temperatura a distancia (Pirómetro), estos dos últimos son los más usados hoy en día gracias a su rango de medición; el termopar ha revolucionado la forma de medir temperatura, este consiste en la unión de dos materiales metálicos con diferentes propiedades, existen diferentes conjuntos de metales usados en sistema, comúnmente el termopar tipo K cuenta con un rango de  $-200$  a  $1250^{\circ}\text{C}$  lo que lo convierte en el más usado de su tipo. Para temperaturas muy altas o áreas donde el sensor puede sufrir un desgaste acelerado es recomendado el uso de pirómetros, este dispositivo cuenta con dos grandes ventajas la primera es el rango de medida hasta de  $4000^{\circ}\text{C}$  y como su nombre lo indica puede hacer la mediciones sin necesidad de estar en contacto con el material, las lecturas se adquieren a una distancia que no afecte los componentes del sensor (Germán, Corona Ramírez, Leonel, 2014).

### **2.2.7. driver para motores DC BRUSHLESS**

La principal función de un Driver para el caso de los motores es suministrar la potencia que el controlador no puede dar y mantener una velocidad lo más estable posible, de igual manera estos pueden ofrecer un control de posición, el cual compara la posición medida con la deseada y de esta manera tener una mejor calibración, en el mercado podemos encontrar desde simples etapas

de potencias hasta drivers más robustos que pueden proporcionar un control de corriente.  
(Maxon, 2012).

### **2.3. MARCO LEGAL**

El proyecto está sujeto a cumplir con los reglamentos técnicos mencionados a continuación:

Debido a que el objetivo del proyecto es la instalación e implementación de un sistema electrónico y eléctrico, es necesario tener en cuenta la normativa existente que declara las obligaciones a cumplir para proteger la integridad física de los trabajadores encargados de las instalaciones eléctricas en el sector industrial. Estas normas son:

- RESOLUCIÓN NO. 9 0708 de AGOSTO 30 de 2013, REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS (RETIE)
- ARTÍCULO 10°. REQUERIMIENTOS GENERALES DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Toda instalación eléctrica objeto del presente reglamento debe cumplir los siguientes requerimientos generales:

1- DISEÑO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS Toda instalación eléctrica a la que le aplique el RETIE, debe contar con un diseño realizado por un profesional o profesionales legalmente competentes para desarrollar esa actividad. El diseño podrá ser detallado o simplificado según el tipo de instalación.

2- INTERVENCIÓN DE PERSONAS CON LAS COMPETENCIAS PROFESIONALES La construcción, ampliación o remodelación de toda instalación eléctrica objeto del RETIE, debe ser dirigida, supervisada y ejecutada directamente por profesionales competentes, que según la ley

les RESOLUCIÓN No. 9 0708 de AGOSTO 30 DE 2013 Anexo General Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE 50 faculte para ejecutar esa actividad y deben cumplir con todos los requisitos del presente reglamento que le apliquen. Conforme a la legislación vigente, la competencia para realizar bajo su responsabilidad directa actividades de construcción, modificación, reparación, operación y mantenimiento de las instalaciones eléctricas, corresponderá a los siguientes profesionales, quienes responderán por los efectos resultantes de su participación en la instalación.

Ingenieros electricistas, electromecánicos, de distribución y redes eléctricas, de conformidad con las Leyes 51 de 1986, 842 de 2003, las demás que la adicionen, modifiquen o sustituyan. Ingenieros electrónicos, Ingenieros de Control y de otras ingenierías especializadas en actividades relacionadas con las instalaciones eléctricas, solo podrán ejecutar la parte o componente de la instalación eléctrica que le corresponda a su especialización y competencia técnica y legal.

Tecnólogos en electricidad o en electromecánica, de acuerdo con la Ley 842 de 2003 y en lo relacionado con su Consejo Profesional se registrará por la Ley 392 de 1997 de conformidad con lo establecido en la Sentencia C - 570 de 2004.

Técnicos electricistas conforme a las Leyes 19 de 1990 y 1264 de 2008, en el alcance que establezca su matrícula profesional para el ejercicio de la profesión a nivel medio.

**3- PRODUCTOS USADOS EN LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS.** La selección de los productos o materiales eléctricos y su instalación debe estar en función de la seguridad, su utilización e influencia del entorno, por lo que se deben tener en cuenta entre otros los siguientes criterios básicos, además los exigidos en el artículo 20 de este Anexo General:

- a. Certificado de Conformidad de Producto conforme al RETIE.
- b. Compatibilidad de materiales: No deben causar deterioro en otros materiales, en el medio ambiente ni en las instalaciones eléctricas adyacentes.
- c. Corriente de cortocircuito: Los equipos deben soportar las corrientes de cortocircuito previstas durante el tiempo de disparo de las protecciones y las protecciones deben despejar la falla, en condiciones que no causen peligro a las personas.
- d. Corriente y Tensión de trabajo: Asegurar que la corriente y tensión de operación no exceda la nominal del equipo, teniendo en cuenta los derrateos, temperatura de trabajo y altura sobre el nivel del mar en el punto de operación.

### **3. Diseño Metodológico**

A continuación, se nombran cada uno de los objetivos específicos y la metodología a utilizados en su ejecución.

#### **3.1. Objetivo 1**

Analizar las características con las que cuenta la máquina de procesamiento térmico, definiendo las funciones y variables a controlar.

##### **3.1.1. Actividades**

Se identificaron de las características de las máquinas de tratamiento térmico y se establecieron las variables y funciones que hacen parte del proceso a controlar.

##### **3.1.2 Metodología**

Se estableció una entrevista informal con el fin de extraer información clave, referente a las máquinas de procesos térmicos. De acuerdo con los resultados obtenidos por la entrevista, se contó con un plano detallando las características que posee cada máquina. Luego, se determinó que procesos térmicos se hacen en la empresa, que funciones requieren y cuáles de estas fueron factibles a automatizar.

## **3.2. Objetivo 2**

Diseñar el sistema automatizado para el control de las variables definidas.

### **3.2.1. Actividades**

Se diseño de la HMI junto con el algoritmo para el PLC y se determinaron las especificaciones de los componentes que trabajaran en conjunto con el PLC.

### **3.2.2. Metodología**

En el diseño del circuito de control para automatizar un sistema electromecánico de procesos térmicos y el monitoreo mediante la HMI. Se utilizo un PLC, por medio del lenguaje Ladder en el respectivo programa que entrega el fabricante del controlador, de igual manera en el diseño de la HMI se contó con el software que entrega la marca del dispositivo. De igual manera, se buscó interpretara las ecuaciones matemáticas que rigen los componentes propuestos para el proyector.

## **3.3. Objetivo 3**

Realizar pruebas de simulación a los diseños propuestos para verificar el cumplimiento de las funciones, los requerimientos de diseño y las medidas de las variables.

### **3.3.1. Actividades**

Se desarrollo un prototipo donde se evalúen los diseños planteados además se planificaron y ejecutaron pruebas con el fin analizar y corregir parámetros al momento que fueran necesarios para obtener resultados eficientes.



### **3.3.2. Metodología**

Se realizó una tabla indicando los sensores y actuadores o demás componentes a simular, de igual manera se especificó que parámetros se han de asignar a cada uno. Teniendo en cuenta lo anterior, se hizo un software en lenguaje Ladder para realizar las pruebas necesarias en los sensores y actuadores que se utilizan en el proceso de producción y las características que estos poseen. Luego, se ejecutaron los códigos de programación tanto del PLC como de la HMI verificando los requerimientos de diseño y funcionalidad en una prueba de campo de aplicación del sistema. En seguida, se compararon los resultados arrojados en la prueba con resultados esperados para obtener las diferencias con el fin de corregirlas.

## **3.4 Objetivo 4**

Divulgar los resultados del proyecto mediante artículos y conferencias.

### **3.4.1Actividades**

Se informó a la comunidad académica sobre los objetivos alcanzados, así como los resultados y conclusiones acerca del proyecto.

### **3.4.2 Metodología**

Se realizó mediante el trabajo escrito del proyecto, ponencias y/o publicaciones de un artículo científico del mismo, donde se dio a conocer los resultados y conclusiones del proyecto.

## 4. Resultados

### 4.1. Análisis de las características de las máquinas de procesamiento térmico

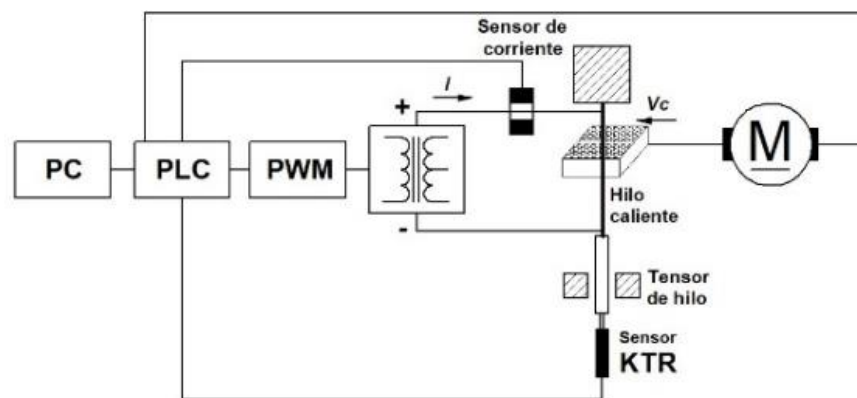
Para describir el sistema propuesto se muestran las implementaciones de hardware, se explica la interfaz desarrollada y la lógica implementada para las tres máquinas trabajadas. Estas máquinas operan de forma independiente y son la de corte de alambre caliente, la de calentamiento por inducción y la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

#### 4.1.1. Hardware de las máquinas de procesamiento térmico.

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

La empresa INGEBRACOL S.A.S se encuentra actualmente trabajando en la patente de una máquina para corte de espuma horizontal con control numérico por computadora (CNC), para lograr este objetivo se realizó una bancada de ensayos que ayudara a determinen variables específicas con la que finalmente se operara dicha máquina. Entre las características que comprende la maquina se encuentran los materiales con que se trabajan los cuales son espumas que puede variar entre  $15 \text{ Kg/m}^3$  hasta  $60 \text{ Kg/m}^3$ ; entre mayor densidad de espuma mayor debe ser la temperatura del alambre para poder hacer un corte uniforme. El material que realizará el corte de espuma es una aleación entre hierro, cobre y aluminio y es conocido comercialmente como RESISTOHM 125 pues puede soportar una temperatura máxima de  $950 \text{ }^\circ\text{C}$  sin deformarse

(Rescal) . Una de las funciones a automatizar de esta máquina es mantener en el rango de operación al alambre para que este no pierda sus propiedades y se rompa rápidamente, las variables que influyen en la deformación de dicho alambre son el voltaje, corriente que circula por el alambre y dilatación del material que da como resultado un cambio en la temperatura del material. Con la hoja de datos que entrega el fabricante del alambre (Rescal) y mediante la supervisión y control de las variables mencionadas se permite realizar diversas pruebas como variación de voltaje, corriente, temperatura máxima permitida y velocidad de corte que permitirá establecer el punto de operación a la que deben operar las máquinas de corte de espuma horizontal.

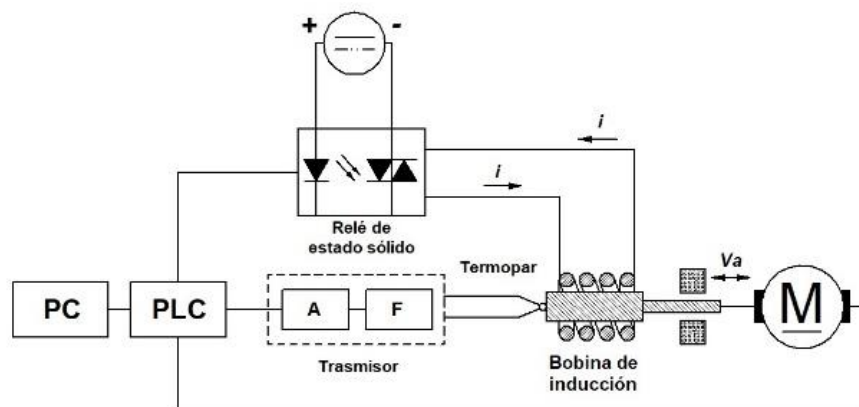


**Figura 5.** Estructura de la máquina de corte con alambre caliente.

El diagrama de la Figura 5 refleja 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 tal como. Esta información es enviada a la interfaz HMI para que el operario pueda ver el comportamiento térmico de la máquina.

La función de esta máquina es poder usar el calentamiento por inducción para poder controlar y observar el precalentamiento o programar rampas de calentamiento para materiales sensibles al calor fundamentales con el objetivo de describir la influencia de la temperatura en materiales como el acero por lo una de funciones principales es visualizar el historial térmico experimentado por el material tratado para conocer el comportamiento y propiedades mecánicas que presentará en su proceso.

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 (ver Figura 6). 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.

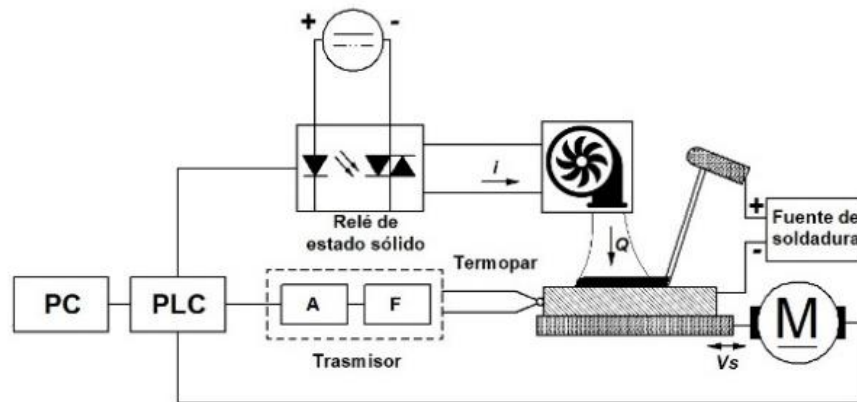


**Figura 6.** Estructura de la máquina de calentamiento por inducción.

La máquina automatizada de soldadura consta de una banda transportadora que prensa la pieza a soldar y la mueve en línea recta a una velocidad constante gracias a un control de posición compuesto principalmente por un motor *Brushless*, cuenta con dos sensores de

temperatura tipo k de 0 a 1300 °C, la función del primer sensor es medir la temperatura de precalentamiento y el segundo mide la temperatura en la línea donde se realiza la soldadura,

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

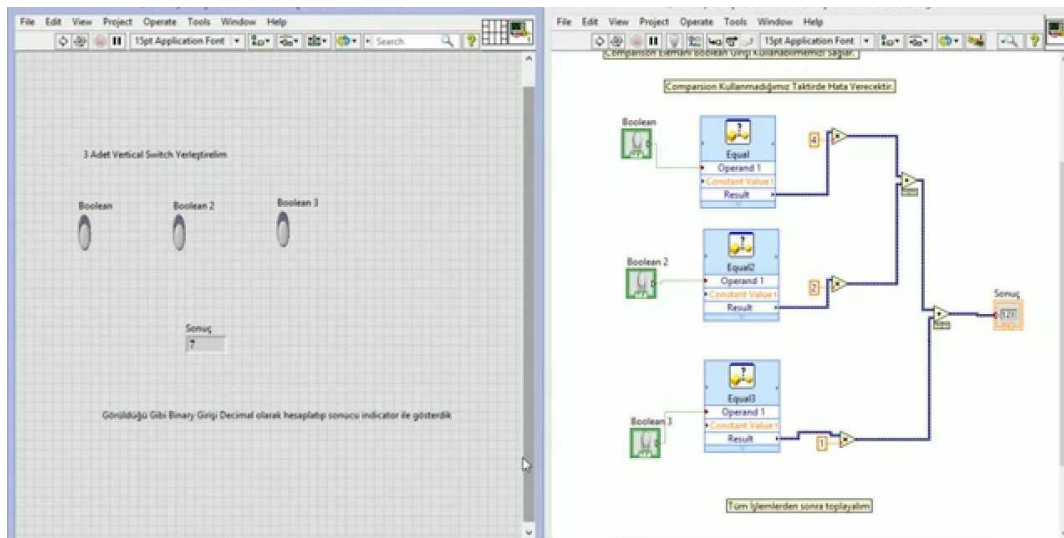


**Figura 7.** Estructura de la máquina de soldadura.

#### 4.2 Diseño del sistema automatizado

El desarrollo de la HMI es de gran importancia para la realización de este proyecto por lo cual se implementó la herramienta computacional LabVIEW de National Instruments como plataforma de interfaz gráfica, en este proyecto se usó como interfaz entre PLC y el operador de la máquina, esto se logró mediante protocolo OPC Server que permite conectar cualquier PLC a LabVIEW.

LabVIEW se programó de manera gráfica y se compone por un panel frontal y un panel de código como se muestra en la Figura 8, en el primer panel se realizó el diseño de la interfaz y se ubican todos los controladores que pueden ser de tipo booleanos, numéricos, Sting, entre otros, además permite añadir diversos tipos de gráficos que ayudan a monitorear los procesos. En el panel de código se establecieron las funciones de cada componente que se encuentra en el panel frontal, así como el orden en que se ejecutaron o el tiempo que duro cada función.



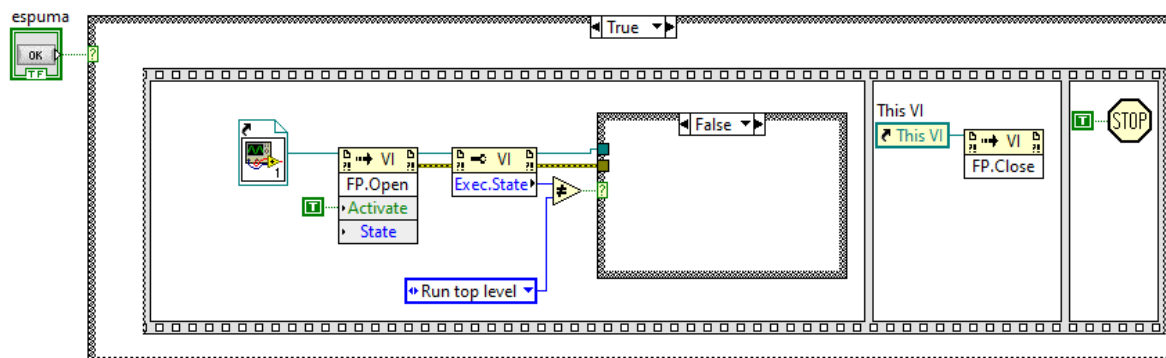
**Figura 8.** panel frontal y un panel de código de LabVIEW, fuente autor.

se han creado 4 cuatro instrumentos virtuales, VIs (*Virtual Instrument*), en los que se encuentra un VI principal como se ilustra en la Figura 9 y en ella se puede seleccionar el tipo de maquina en la que quiere trabajar.



**Figura 9.** Interfaz principal.

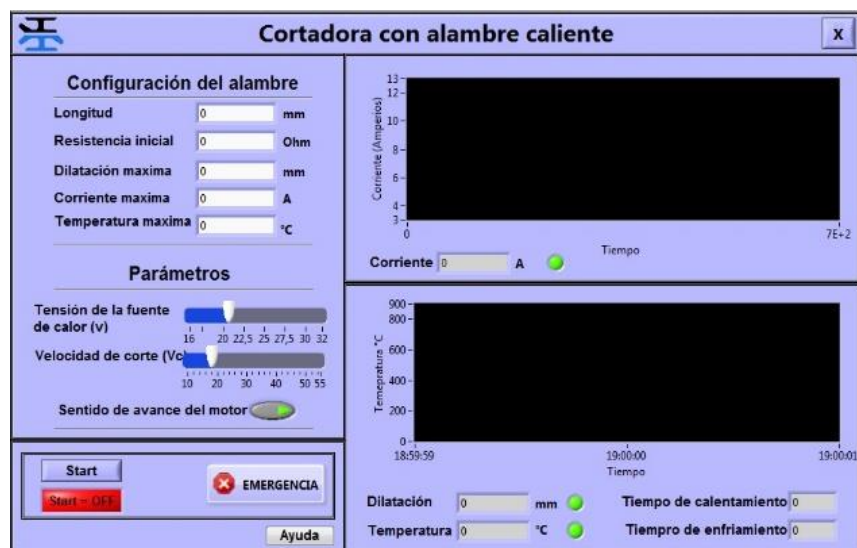
El panel de código para este VI consta de 3 subprocesos cada uno encargado de habilitar los VI de cada máquina, la Figura 10 muestra el uno de los tres subprocesos y su funcionamiento se basa en habilitar el VI de la máquina que se haya seleccionado en el menú principal y posteriormente cerrar todos los demás VI que se encuentren funcionando.



**Figura 10.** Subproceso del VI para el menú principal.

En la Figura 11 se muestra la interfaz de la máquina de corte con alambre caliente, se especifica en la configuración del alambre según su tipo y dimensiones, los valores máximos de

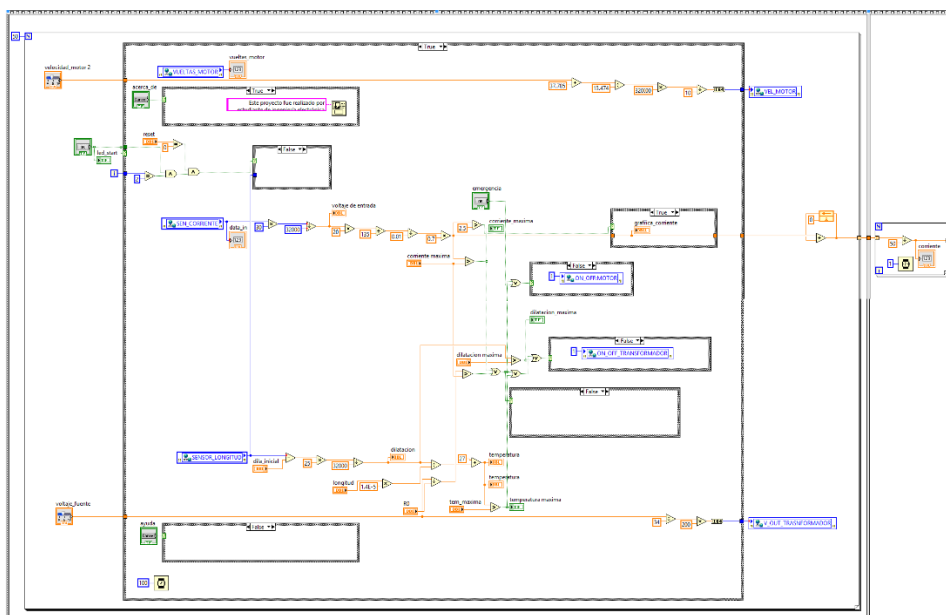
corriente, temperatura, y la dilatación, además de la longitud del alambre y su resistencia eléctrica. Seguidamente, se regulan los parámetros de operación, a saber, el voltaje de la fuente y la velocidad de corte. Se visualiza un gráfico para la corriente que circula por el alambre y otro para la temperatura medida a través de la dilatación térmica del alambre.



**Figura 11.** Interfaz de la máquina de corte con alambre caliente.

El panel de código correspondiente a la máquina de corte de alambra caliente se compone por un *Flat Sequence Structure* como lo muestra la Figura 12 permitiendo que funcione de manera ordenada y estructurada y su estructura permite recibir datos del PLC que corresponden a los sensores y al estado de las variables y una vez recibido realizar su tratamiento datos para finalmente enviar datos para comandar el PLC.





**Figura 12.** panel de código.

Una de las funciones principales del panel de código es calcular la temperatura con la ayuda del sensor de longitud y los parámetros iniciales del alambre, una vez realizado este proceso lo visualiza en una casilla numérica, así como en una gráfica, también está programado para que no exceda la temperatura máxima, pues si esto sucede automáticamente se corta el flujo de corriente hasta que esté por debajo de lo permitido. Este proceso se realiza también cuando se excede la dilatación máxima.

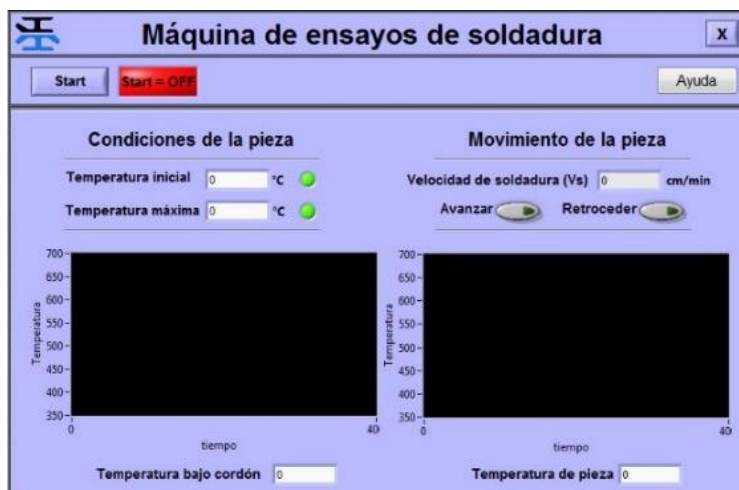
La grafica de corriente es un elemento fundamental en la HMI debido a que la corriente está relacionada con la deformación del alambre, al disminuir la corriente indicara que el alambre se esta deformando lo que podría ocasionar el rompimiento de este, por esta razón el panel de código de la HMI está diseñado para recibir los datos del sensor de corriente y visualizarlo en la gráfica para que el usuario pueda monitorear la caída de corriente y de esta manera comprender el estado del alambre.

En la interfaz de la máquina de calentamiento por inducción (ver Figura 13), 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, la figura muestra la HMI de la máquina.



**Figura 13.** Interfaz de la máquina de calentamiento por inducción.

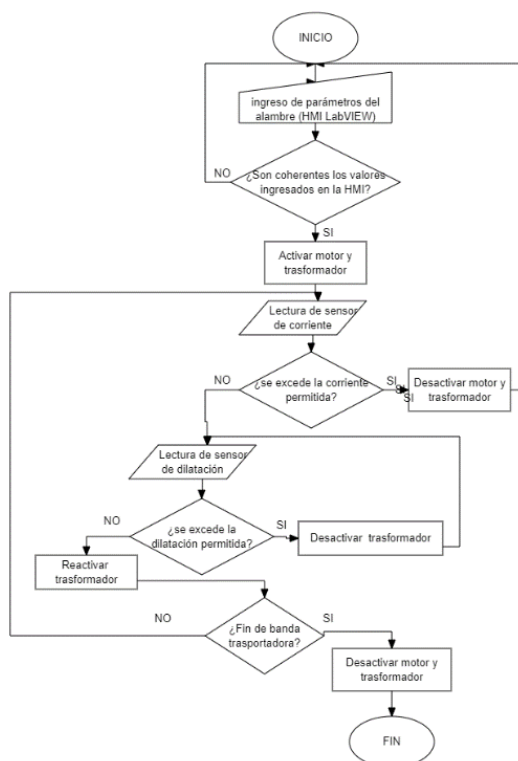
Para la interfaz de la máquina de ensayos de soldadura tal como se ilustra en la figura 14, se deben ingresar las temperaturas de precalentamiento y máxima esperadas, así como la velocidad de soldadura para el movimiento de la pieza respecto al electrodo en sentidos de avance o retroceso. Los dos termopares 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.



**Figura 14.** Interfaz de la máquina de ensayos de soldadura.

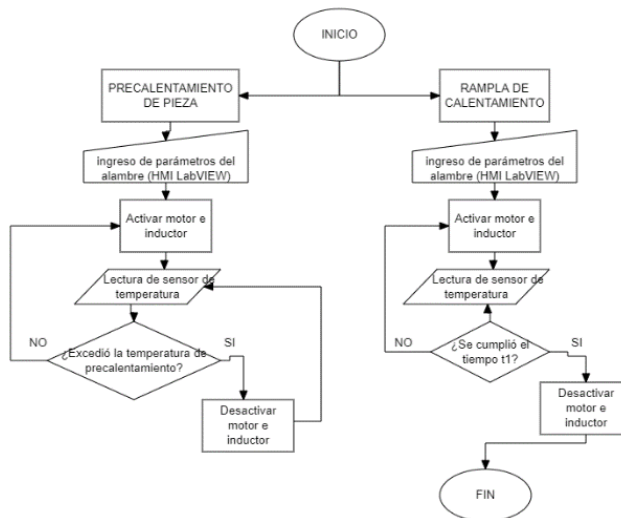
Para realizar un diseño automatizado completo se realizó un algoritmo del control para el PLC que pudiera cumplir con los requerimientos ya mencionados; aunque se hizo un solo algoritmo para controlar las tres máquinas este se dividió en subprocesos para cada máquina.

La lógica de control de la Figura 15 corresponde a la máquina de corte con alambre caliente, consiste en comprobar la coherencia de los valores ingresados, verificar la corriente permitida y la dilatación para finalmente establecer el control del motor y del transformador.



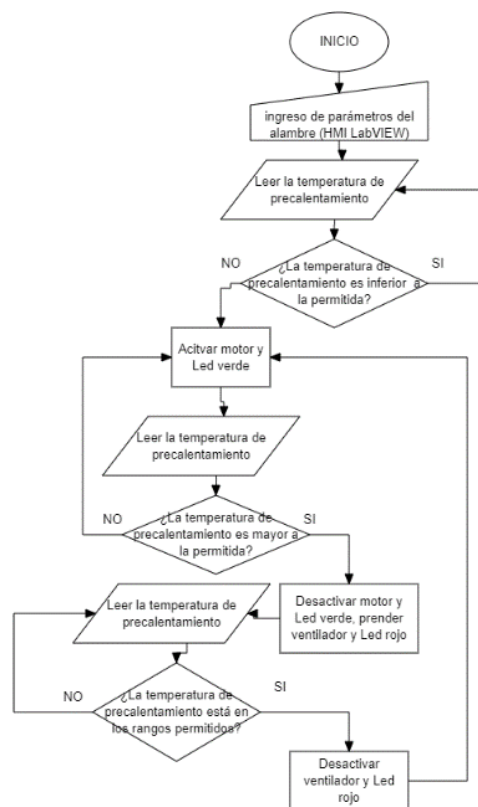
**Figura 15.** Diagrama de flujo máquina de corte con alambre caliente.

El diagrama de flujo de la figura 16 muestra la lógica de funcionamiento para la máquina de procesamiento térmico por inducción, su función es verificar el precalentamiento de la pieza y, por otra parte, se verifican los parámetros para visualizar la rampla de temperatura con respecto al tiempo. cabe resaltar que este diagrama consta de dos secciones la primera ilustra proceso lógico para precalentar la pieza a una temperatura específica; la segunda sección se señala los pasos que se requieren para poder visualizar la rampla de temperatura vs tiempo, esta última está diseñada para realizar el historial térmico del material desde el punto en que empieza a calentarse, pasando por el punto máximo y terminando nuevamente en la temperatura en la que inicio.



**Figura 16.** Diagrama de flujo de la máquina de calentamiento por inducción.

El proceso lógico que se realizó para trabajar la máquina de soldadura tal como se observa en la Figura 17, inicia validando el precalentamiento de la pieza y luego se verifican los rangos permitidos para las operaciones de la máquina. Es de aclarar que esta máquina no tiene la función de precalentamiento de ninguna pieza debido que la máquina de calentamiento térmico por inducción realiza esta labor. Este proceso permite mantener un control de posición con respecto a la temperatura de precalentamiento, más no con la temperatura del cordón de soldadura pues esta variable solo se usa para trazar un reporte térmico.



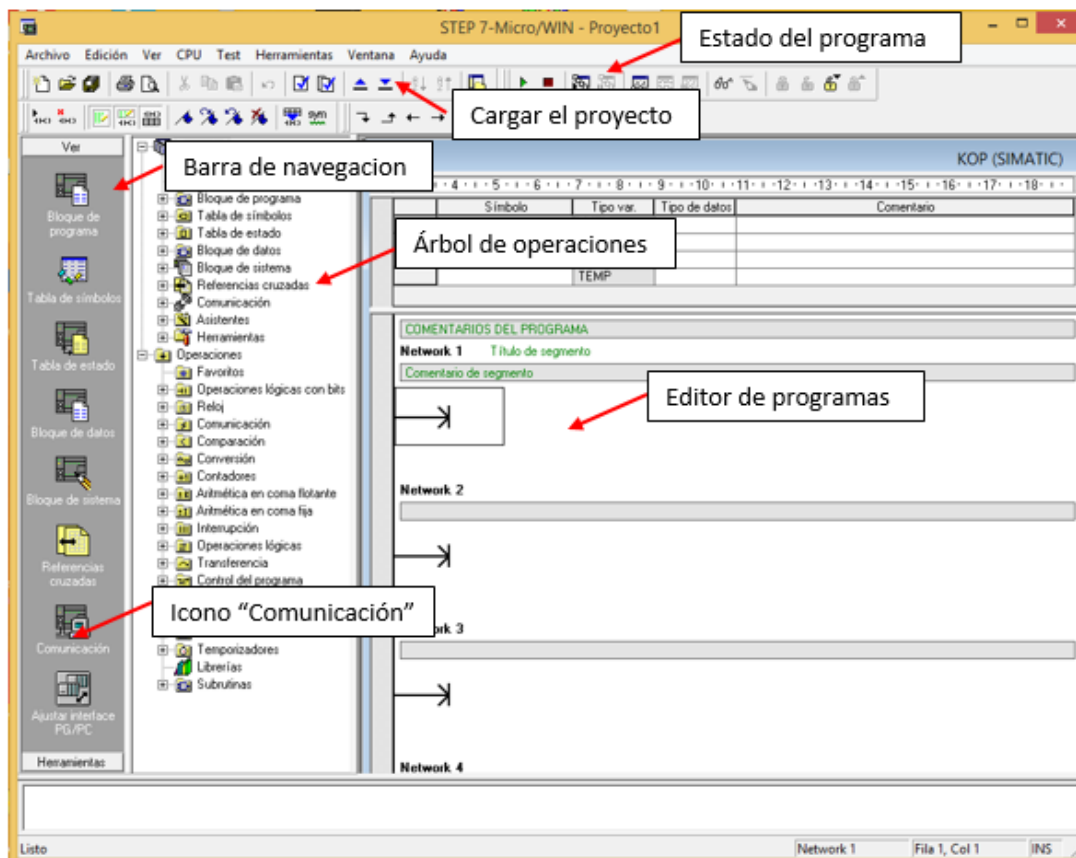
**Figura 17.** Diagrama de flujo de la máquina de ensayos de soldadura.

El algoritmo de control se realizó no solo tomando como referencia los actuadores y sensores, se tubo presente las características de la CPU del controlador, El PLC usado en este proyecto es un s7-200 de la marca AMSAMOTION y su CPU posee un microprocesador 224XP, las características del CPU se encuentran en la tabla 2; este PLC cuenta con herramientas para el manejo de diversos componentes que hay en automatización, permitiendo una compatibilidad entre diferentes dispositivos que operan a voltajes diferentes de 24 Voltios, también cuenta con puerto de ampliación que satisfacen aún mejor los requisitos de la aplicación.

**Tabla 1.** características del PLC S7 -200

algoritmo de control para el PLC	CPU 224XP
Dimensiones (mm)	140 x 80 x 62
Memoria de datos	10240 bytes
Entradas/Salidas digitales	14 E/10 S
Entradas/Salidas analógicas	2 E/1 S
Tipo de comunicación	RS-485
Puertos de comunicación	2
Frecuencia de salida de pulsos (DC)	2 a 100 kHz

STEP 7-Micro/WIN es el software requerido para este tipo de PLC, cuenta con un entorno de fácil manejo para el desarrollo de programas, en la Figura 18 muestra el panel principal donde se encuentran las funciones a usar. En ella se encuentra la barra de navegación para añadir o modificar aspectos de los diagramas de bloques, en esta barra se encuentra el icono de comunicaciones donde se configura la comunicación ente el ordenador y el PLC. El árbol de operaciones ofrece las herramientas para realizar todo tipo de opresiones lógicas y matemáticas, en el editor de programas es donde se realiza la programación que requiere el PLC, una vez terminado la programación se carga el proyecto y el programa permite mediante la opción estado del programa monitorear en tiempo real el estado de las variables.

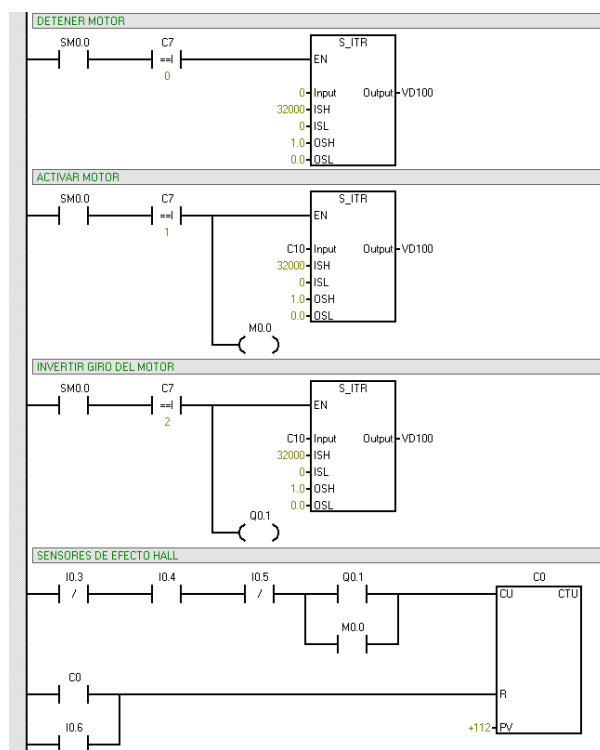


**Figura 18.** panel principal de STEP 7-Mirco/WIN.

Tomando en cuenta lo anterior ya mencionado sobre el programa STEP 7-Micro/WIN Se procedió a plasmar en lenguaje Ladder el algoritmo de control para las tres máquinas. Como resultado se obtuvo un programa capaz de controlar el transformador, quien es el encargado de suministrar la alimentación de corriente al alambre, igualmente la capacidad de comandar el sentido del giro del motor y con la ayuda de los sensores de efecto Hall el programa es capaz de determinar la posición exacta de banda transportadora que está conectada al motor, los sensores de corriente ,longitud y temperatura también se tuvieron presentes realizando la función establecida



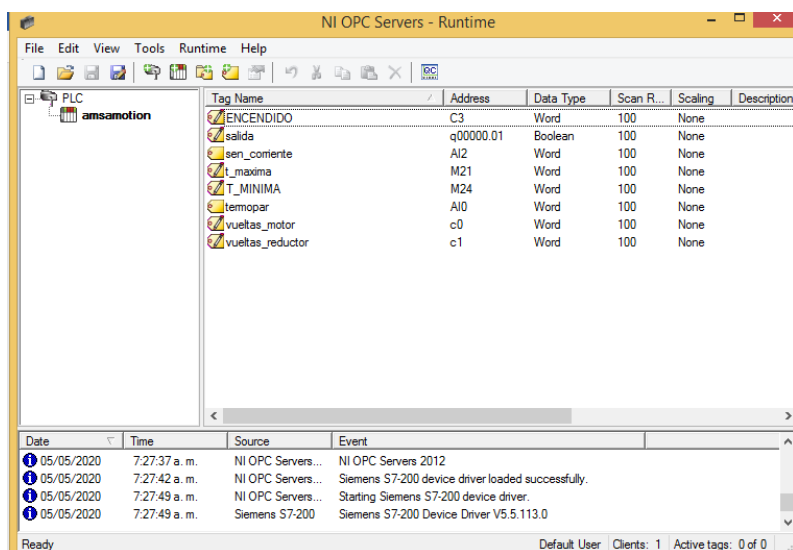
por el algoritmo, en la figura 19 se muestra una recopilación del programa señalando alguna de las funciones que este realiza.



**Figura 19.** lenguaje Ladder del PLC

*National Instruments* cuenta con el módulo de supervisión y control de procesos industriales (OPC server) quien es el responsable de enlazar LabVIEW con cualquier tipo de PLC mediante protocolo TCP/IP o RS485, en este proyecto se hizo necesario el uso de OPC server como puente entre la variables de PLC S7-200 y LabVIEW, la figura 20 se muestra todos los tag de enlace que se usaron en el proyecto, también se puede apreciar la dirección que tiene cada tag dentro del PLC así como el tipo de variables que por lo general son de tipo Word y por último se encuentra

el tiempo de muestreo el cual se ha configurado para que sea cada 100 milisegundos. Al estar todos los enlaces declarados en el OPC Server LabVIEW puede comandar o monitorear el PLC sin ninguna restricción.











**Figura 20.** interfaz de OPC para crear los tags de comunicación entre LabVIEW y PLC.

### 4.2.3 especificaciones de los componentes

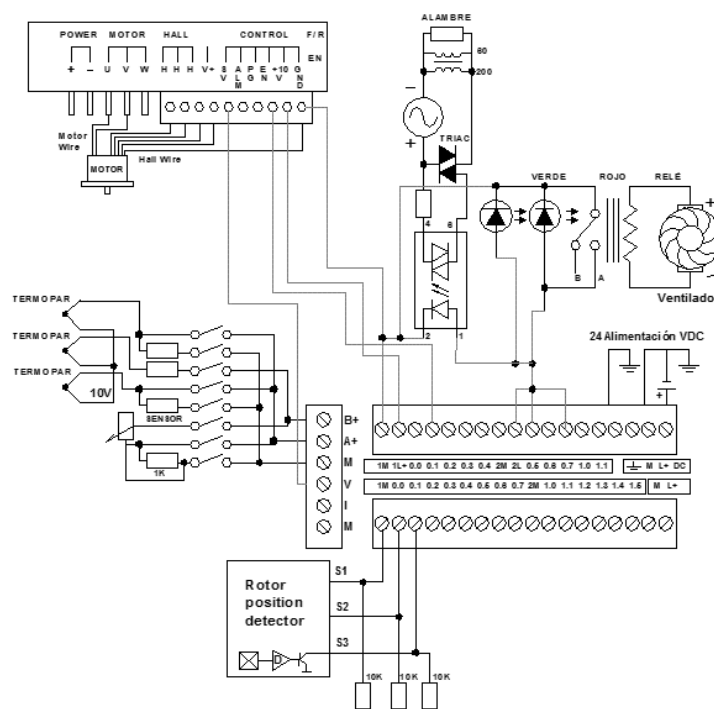
La tabla 3 muestra una serie de componentes y características acompañados de un diagrama real para una mejor comprensión. Estos componentes hacen parte del sistema SCADA para las tres máquinas, en las características se encuentran principalmente los voltajes de operación de cada componente, también los rangos de operación para cada sensor, acompañado de su margen de error definido por cada fabricante

**Tabla 2.** Componentes de las máquinas de procesamiento térmico.

COMPONENTE	DIAGRAMA REAL	CARACTERÍSTICAS
Motor Brushless		Motor Brushless puede trabajar en un rango de 30 a 48 voltios en corriente directa (VDC), cuenta con dos sensores de efecto Hall el primero trabaja en un rango de +5...24 VDC y el segundo solo a 5VDC.
BLDC Driver		permite trabajar en un rango de +18... 50 VDC y permite corrientes hasta de 30 Amperios, permite variar la velocidad del motor con un voltaje analógico externo de 0 ~ 5V o 0 ~ 10V, no es necesario conectar el sensor de efecto Hall.
Sensor de corriente		transformador con relación de vueltas 2000/1 lo que permite un rango de entrada de 0 ~20 Amperios en corriente alterna y sumista una corriente de salida de 0 ~10mA con una tasa de error equivalente a $\pm 0.1\%$ .
PLC		El PLC utilizado es un CPU224XP AMX-200 PLC de la marca AMSAMOTION, cuenta con 14 entradas y 10 salidas digitales, 2 entradas y 1 salida analógica, dispone de dos puestos de comunicación RS-485.
Sensor de desplazamiento lineal		rango de medición de 0-25 mm, voltaje de operación de 5-24 voltios, precisión de 0.001%.
Alambre RESISTOHM 125		aleación entre hierro, cobre y aluminio, soportar una temperatura máxima de 950 °C sin deformarse, Resistividad 1.25 $\Omega$ mm <sup>2</sup> /m. Densidad 7.35 g/cm <sup>3</sup> .
Termopar tipo K		Termopar tipo K con composición Cr-Ni, Si-Ni
Placa de calentamiento por inducción		Voltaje de trabajo 24 voltios, bobina fabricada 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

Los componentes de la tabla anterior se pueden ver en la figura 21 conectados entre sí formando el sistema electrónico de las tres máquinas, debido a que las máquinas se encuentran unidas al mismo PLC se implementó una barra de 8 interruptores para conectar los cinco

sensores, 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 maquina a la vez.

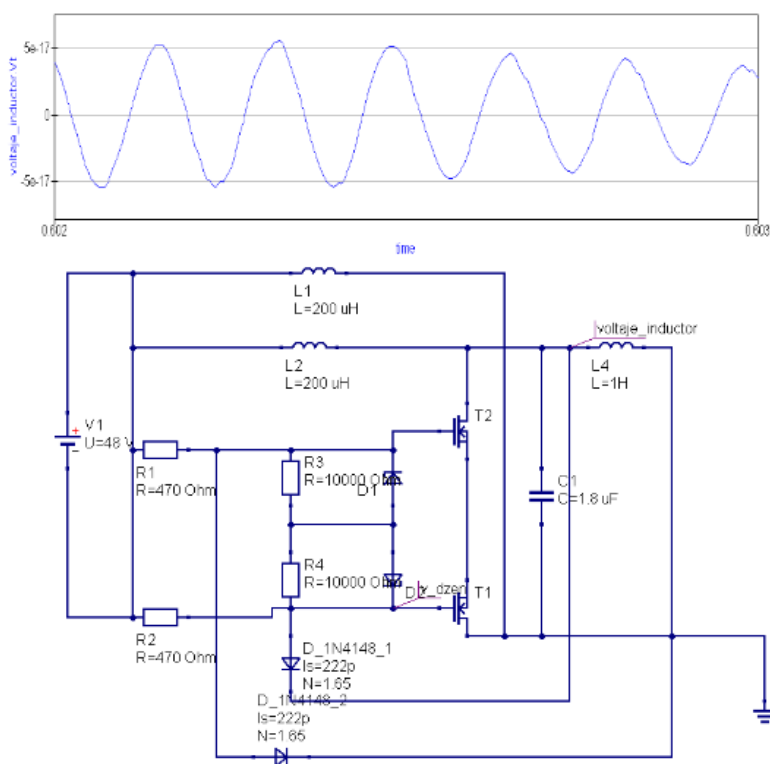


**Figura 21.** Arquitectura del hardware.

Para el funcionamiento del motor *Brushless* fue necesario adicionar un controlador que permite orientar el sentido del giro del motor y variar la velocidad. Así mismo, 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.

La máquina de corte de alambre caliente se encuentra conectados un sensor de dilatación lineal y un sensor de corriente al PLC, igualmente se encuentra conectado por medio de la salida Q0.2 quien genera pulsos PWM (*pulse-width modulation*) para el circuito eléctrico que permite variar el voltaje promedio que circula por el alambre para la máquina de corte de espuma.

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, la figura 22 muestra la simulación del circuito de la bobina por inducción con la ayuda del software Qucs, este opera a una frecuencia de 7kHz siendo esta una frecuencia media por lo que el calentamiento de una pieza se obtiene en medos de 1 minuto.



**Figura 22.** Circuito del calentador por inducción.

Por ultimo 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. Así

mismo, el pin Q0.8 es el encargado de activar o desactivar el ventilador. Los pines 7 y 8 de la barra de interruptores corresponden a los termopares usados en esta máquina.

### 4.3 Análisis de resultados

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 32 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 23, se muestra la implementación de la máquina de corte de alambre caliente.



**Figura 23.** 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  $\alpha$  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 3.** Ensayos de calentamiento en alambre.

<b>Diámetro</b>	<b>Fuente variable</b>		<b>Fuente fija</b>	
<b>Longitud (mm)</b>	<b>T máxima (°C)</b>	<b>I (A)</b>	<b>T máxima (°C)</b>	<b>I (A)</b>
<b>800</b>	788	8,7	779	8,6
<b>800</b>	791	8,7	780	8,6
<b>800</b>	790	8,7	784	8,6
<b>900</b>	651	8,2	642	8,15
<b>900</b>	654	8,2	640	8,15
<b>900</b>	649	8,2	640	8,15
<b>1000</b>	583	8	576	8
<b>1000</b>	585	8	578	8
<b>1000</b>	580	8	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 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 A.S., 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 23 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



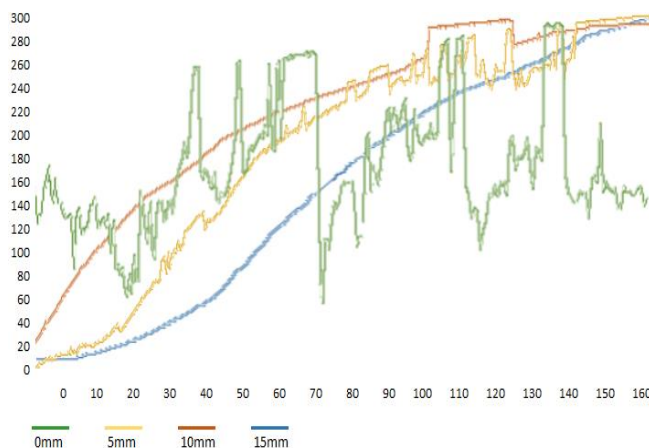
configurando el tiempo de encendido de la bobina con un control ON/OFF comandado desde LabVIEW.

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 24.** Ensayo de calentamiento por inducción.

El termopar puesto en la mitad de inductor presenta una alta interferencia (línea verde Figura 24) debido al campo magnético generado por la bobina. Al retirar el termopar 15 mm la interferencia desaparece (línea azul Figura 24). En experimentos previos (Alejos, 2015) se constató este aspecto.



**Figura 25.** Temperatura de precalentamiento a diferentes distancias del centro de la bobina.

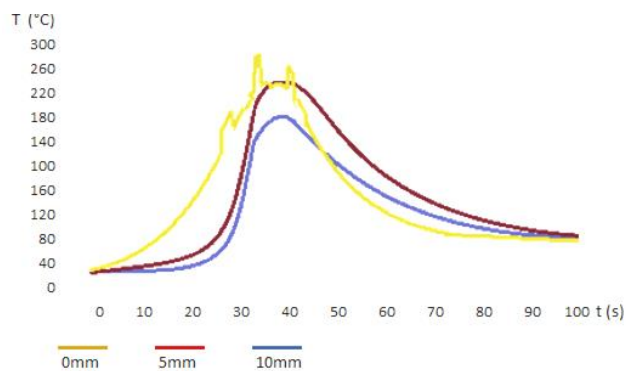
Finalmente, se realiza la implementación en la máquina de ensayos de soldadura. En esta, un carro accionado con motor *Brushless*, que se utilizó en la máquina de corte, se adaptó una prensa para sostener la pieza a ser soldada. En una platina de acero se insertaron dos termopares tipo K para realizar 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 (ver Figura 25).

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 26.** Implementación en la máquina de ensayos de soldadura.

Adicionalmente, una fuente de alimentación conmutada de 12 V a 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 (ver Figura 26).



**Figura 27.** 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., 2015)

#### **4.4 Divulgación de resultados**

Se realizo un articulo titulado “SISTEMA SCADA BASADO EN PC-PLC PARA MÁQUINAS DE PROCESAMIENTO TÉRMICO DE MATERIALES” para la revista Colombia de Tecnologías de Avanzadas, de igual forma se envió este articulo para el XIV Congreso Internacional de Electrónica y Tecnologías de Avanzada- modalidad Virtual.

## 5. Conclusiones

El análisis del funcionamiento de cada máquina fue crucial para establecer las variables que hacen parte de cada proceso y de esta manera se estableció como se podían automatizar cada una de la función que requería la empresa INGEBRACOL.

LabVIEW mostro ser una herramienta practica para la realización de la HMI y junto con OPC Serve fue capaz de trabajar con el PLC de manera óptima, aunque con un retraso en la transferencia de datos no mayor a un segundo, este retraso está relacionado con las características del equipo, ya que al aumentarle la memoria RAM del computador este retraso se redujo a la mitad de tiempo.

Las pruebas realizadas a las máquinas de procesamiento térmico mostraron resultados coherentes con los requerimientos del diseño propuesto, cumpliendo con las funciones que establecieron. Aunque el PLC está diseñado para trabajar las tres máquinas al mismo tiempo esto no se pudo probar debido a que solo se contó con dos entregas analógicas, además la programación del encendido del motor *Brushless* se hizo gracias a un BLDC driver para evitar sobrecargar la CPU del PLC.

## 6. Recomendaciones

Para mejorar la exactitud del circuito electrónico compuesto por Triac y con ayuda de la señal PWM generadas por el PLC se requiere de mínimo dos fuentes de voltajes diferentes a los de la tabla 3 y de esta manera mantener coherencia con los valores generados por la fuente variable usada en esta máquina.

En la máquina de calentamiento por inducción es necesario adicionar una refrigeración adicional cuando se superen los 24 voltios de entrada para evitar el recalentamiento de los componentes electrónicos de la bobina de inducción

En soldadura es importante regular las velocidades de avance del cordón, así como ubicación del termopar en la platina soldada pues 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 y soldadura.

## Referencias

- Alejos, J. O. (2015). Sistema de calentamiento por inducción electromagnética para pruebas experimentales en laboratorios de Físico-Química. *Instituto Tecnológico de Celaya*.
- Bolívar, C. (2016). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CALENTADOR POR INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA PARA EL MONTAJE DE RODAMIENTOS. *VISIÓN ELECTRÓNICA*, 38.
- Carman, A. (2013). *Electrónica digital aplicada para ingeniería mecánica*. México: Notabilis Scientia.
- Carmen, A. (s.f.). *Electrónica digital aplicada para ingeniería mecánica*.
- Escobar F. Martines J. Téllez Germám. (2005). *control de un motor brushless con frenado regenerativo* . bogota : Pontificia univerdidad Javeriana .
- Freire, T. (s.f.). *Seguimiento y análisis de entornos de soldadura por arco automitzada mediante ultrasonidos*. Madrid: Univerisdad Complutense de Madrid.
- Germán, Corona Ramírez, Leonel. (2014). *Sensores y actuadores : Aplicaciones con arduino*. México : Grupo Editorial PATRIA.
- Kenjo, T. (1985). *Permenent magnet and brushless dc motors*. Oxford.
- Konstantinos A.S., M. K. (2018). Konstantinos A.S., Masahiro K., Hiro Use of Indiction-heating in Steel structures: Material properties and novel brace design. . *Journal of Constructional Steel Reasearch*, 148, 112-123.

- Limited, O. E. (s.f.). *Omega a spectris company*. Recuperado el 25 de 04 de 2020, de <https://es.omega.com/technical-learning/calibracion-dispositivos-medicion-de-temperatura.html>
- Maloy, A. (s.f.). *Atómatas Programables* . barcelon: Marcombo.
- Maxon. (2012). maxon motor control. Maxon.
- Orge L. Pacheco Y., M. O. (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*, 23, 116.
- Preciado, W. T. (2019). INGENIERIA BRASILEIRO COLOMBIANA S.A.S. Cucuta.
- Rescal, A. A. (s.f.). *aperam.com*. Recuperado el 20 de 05 de 20, de <https://www.aperam.com/sites/default/files/documents/2018-07/RESCAL%20catalogue.pdf>
- Rincon, A. (s.f.). *diseño de un procedimiento de soldadura mediante elproceso gmaw utilizado un brazo robotico*. Colombia : Universidad Libre.
- Rodríguez, P. (2013). *Metalurgia de la soldadura*. Habana: Eduniv.
- Rodríguez, P. A. (2017). *Sistemas scada (2a. ed.)*. Barcelona: Marcombo.
- Rodríguez, P. A. (s.f.). *Sistemas scada (2a. ed.)*.
- Samtamarca, A. (s.f.). *diseño y construcción de un sistema de seguimiento de junta de soldadura, mediante barrido de superficie con visión artificial*. Ecuador: Universidad de las Fuerzas armadas .



Sánchez, M. D. (2013). *Introducción a la síntesis y programación de automatismos secuenciales*.

Universidad de Cádiz.

Veldez, D. (2009). *Fundición y soldadura*. El Cid Editor.