



Facultad de Ingeniería Eléctrica
Departamento de Ingeniería Automática

Trabajo de Diploma

Propuesta de automatización para los hornos de recocido del acero en la Empresa Herramientas de Mano "Guaso" de Guantánamo.

Autor: Keyler Flores Quiala

Tutora: MSc. Ing. Irina Bausa Ortiz

Curso: 2015-2016

"Año 58 de la Revolución"

PENSAMIENTO.



“...la verdad es que da vergüenza ver algo y no aprenderlo, y el hombre no ha de descansar hasta que aprenda todo lo que ve.”

José Martí Pérez.

DEDICATORIA.

Dedico este trabajo a aquellas personas que han estado siempre a mi lado en los buenos y malos momentos de mi vida:

- A mi madre (la vida), por estar conmigo hasta el último momento y guiarme en todas las etapas de mi vida, por amarme, eres inigualable e insustituible, por eso te amo con la vida.
- A papi, por apoyarme y confiar en mí, por amarme y respetarme, por traerme al mundo, en fin por estar siempre aquí.
- A mí amada novia Irileis, amor sin competencia, dueña de todos mis pensamientos y acciones, compañera incondicional, sin duda una estrella.
- A mi hermana Adayaris, por ser un motivo de inspiración en todo momento.
- A toda mi familia, a todos mis amigos, los quiero.

AGRADECIMIENTOS.

Este es el momento más difícil en todo el trabajo de investigación que ha enfrentado obstáculos y retos, es el momento de agradecer a todas las personas que con su ayuda y confianza han desarrollado el ingenio y la creatividad con el fin de lograr alcanzar una nueva meta.

Espero que me disculpen si quedan algunas personas sin mencionar, con toda sinceridad no hubo ninguna intención.

Mis más sinceros agradecimientos:

- A mis padres Alina y Miguel por todo su cariño, apoyo y total confianza en mí.
- A mi tutora MSc. Ing. Irina Bausa Ortiz, por su guía, paciencia, ayuda, tiempo y dedicación, tanto en los momentos felices como en los difíciles durante el desarrollo de esta investigación.
- A los ingenieros Rafael y Rodion por su apoyo constante e incondicional en el desarrollo de esta investigación.

En fin a todos muchas gracias, pues fueron muchos los involucrados en el desarrollo de mi carrera.

RESUMEN.

En la actualidad, las producciones de herramientas agrícolas requieren algún tratamiento térmico, por lo que resulta de vital importancia el control de la temperatura. En esta tesis se presenta una propuesta de automatización para los hornos eléctricos de recocido del acero en la Empresa Herramientas de Mano "Guaso" de Guantánamo utilizando el PLC Master-K 120S, mostrando las principales características y ventajas que demuestran que es factible su utilización en la automatización industrial.

Se empleó un control ON-OFF, se muestran las características de los medios técnicos de automatización empleados y esquemas eléctricos. Además se realiza la programación del Autómata utilizando el software KGL_WIN, y se emplea el panel XGT para el monitoreo del sistema.

Este trabajo permitirá minimizar las actuales paradas de la planta, garantizar el control de la temperatura en los hornos eléctricos, lográndose un alto grado de fiabilidad y eficiencia del sistema, además de facilitar al personal calificado la programación y mantenimiento del Autómata.

ABSTRACT.

At the present time, the productions of agricultural tools require some thermal treatment, for what is of vital importance the control of the temperature. In this thesis an automation proposal is presented for the electric ovens of having recooked of the steel in the Company Tools of Hand "Guaso" of Guantánamo using the PLC Master-K 120S, showing the main ones characteristic and advantages that demonstrate that it is feasible its use in the industrial automation.

A control ON-OFF was used, the characteristics of the used technical means of automation and electric outlines are shown. He/she is also carried out the Robot's programming using the software KGL_WIN, and the panel XGT is used for the monitoreo of the system.

This work will allow to minimize the current stops of the plant, it guaranteed the control of the temperature in the electric ovens, being achieved a high grade of reliability and efficiency of the system, besides facilitating the qualified personnel the programming and maintenance of the Programmable Logic Controller.

ÍNDICE.

INTRODUCCIÓN.	1
Capítulo 1. Caracterización de los sistemas de automatización para hornos eléctricos utilizando PLC.	6
1.1 Breve reseña histórica de los PLC.	6
1.2 Los Controladores Lógicos Programables (PLCs).	9
1.2.1 Arquitectura Interna.	10
1.2.2 Funcionamiento de los PLCs.	12
1.2.3 Principales productores.	13
1.2.4 Ventajas e Inconvenientes de los Autómatas.	14
1.2.5 Campos de Aplicación.	15
1.3 Estado del arte en la automatización actual.	15
1.3.1 Funcionalidades de los PLCs.	16
1.4 Lenguajes de Programación IEC-1131-3 Compatibles.	17
1.5 Caracterización del subproceso de recocido del acero de la Empresa Herramientas de Mano "Guaso"	19
1.6 Breve reseña del surgimiento del acero.	20
1.7 Tratamiento térmico.	21
1.7.1 Principales tratamientos térmicos.	22
1.7.2 El tratamiento térmico consiste de los siguientes pasos:	23
1.8 Descripción del subproceso de recocido del acero de la Empresa Herramientas de Mano "Guaso"	24
1.8.1 Exigencias técnicas del producto.	26
1.8.2 Descripción de los hornos de fosos eléctricos.	26
Capítulo 2. Propuesta de automatización para el subproceso de recocido del acero.	29
2.1 Descripción del funcionamiento del sistema propuesto.	29
2.2 Selección de los componentes que se utilizan en la propuesta.	30
2.2.1 Master – K 120S de tipo estándar K7M-DRT20U.	31
2.2.2 Módulo de expansión analógico.	34

2.2.3	Relé de estado sólido.....	35
2.2.4	Termopar.....	36
2.2.5	Fuente de alimentación.....	37
2.2.6	Transformador.....	37
2.2.7	Interruptor automático de caja moldeada de tres polos.....	38
2.2.8	Interruptor automático modular de tres polos.....	38
2.2.9	Interruptor automático modular de dos polos.....	39
2.3	Instalación y cableado del PLC MASTER – K120S.....	39
2.3.1	Entorno de instalación:.....	39
2.3.2	Precauciones durante la instalación:.....	40
2.4	Pantalla de monitoreo XGT.....	41
2.4.1	Principales características.....	42
2.5	Software de Programación KGL_WIN.....	46
2.5.1	Principales características del software de Programación KGL_WIN.....	46
2.6	Estrategia de control ON-OFF.....	47
2.7	Esquema eléctrico.....	48
2.8	Programación del PLC.....	50
2.9	Valoración económica.....	54
	Conclusiones parciales.....	55
	CONCLUSIONES GENERALES.....	56
	RECOMENDACIONES.....	57
	BIBLIOGRAFÍA.....	58
	ANEXOS.....	59

INTRODUCCIÓN.

El control automático desempeña una función vital en el avance de la ciencia y la técnica. El siglo XX marcó el inicio de una etapa en el desarrollo científico técnico sin precedentes hasta el momento. En él se han logrado cambios significativos en lo referente a: tecnología de los procesos productivos, teoría de los sistemas de control y técnicas computacionales.

En la actualidad la tendencia a una sociedad moderna automatizada va en incremento, lo que significa reemplazar y perfeccionar toda la automatización existente, con el objetivo de lograr mejores resultados productivos, mayor eficiencia y que esta se corresponda con la calidad requerida.

Gracias al desarrollo e innovación de nuevas tecnologías, la automatización de procesos industriales, a través del tiempo, ha dado lugar a avances significativos que le han permitido a las compañías implementar procesos de producción más eficientes, seguros y competitivos.

Desde los años 70's hasta la fecha, los Controladores Lógicos Programables (*Programmable Logic Controller, PLC's*) han sido los dispositivos mayormente utilizados en la solución de problemas de automatización y control, los cuales con una programación bien implementada son capaces de optimizar al máximo el proceso productivo; además de su principal característica que es la fácil automatización para diferentes aplicaciones.

Los Autómatas Programables son dispositivos de automatización industrial, adaptados al ambiente de control de procesos que cuentan tanto con parte electrónica (hardware) como de programación (software). Estos dispositivos se encargan de garantizar el comportamiento deseado de un proceso determinado, disponen de varias entradas y salidas que lo comunican con el proceso a controlar u otros dispositivos.

Su uso se extiende a soluciones muy diversas, que van desde plantas industriales, el confort de hoteles y edificios, elevadores, sistemas telefónicos, sistemas de seguridad crítica hasta sistemas de generación de electricidad, entre otros.

La industria moderna requiere de altos niveles de automatización para garantizar producciones rentables que permitan competir en el mercado globalizado internacional pero a la vez, se requiere de flexibilidad de los modelos a producir y rapidez en la velocidad de cambio de los parámetros de producción.

Específicamente la Empresa Herramientas de Mano "Guaso" se encuentra ubicada en el kilómetro 2.5 de la Carretera a Jamaica, de la provincia de Guantánamo, con una subordinación nacional al Ministerio de la Industria Sidero Mecánica y el Reciclaje. La misma se inauguró el 28 de Octubre del 1963, por Fernando Borrego Viceministro del entonces Ministerio de Industria, entidad que produce y comercializa de forma mayorista equipos, partes, piezas y accesorios para maquinarias agrícolas y herramientas de mano para su uso en la agricultura e industria, por tanto, es de gran importancia en el sector económico de la provincia, siendo imprescindible lograr los niveles de automatización que garanticen un control cada vez más eficiente en su proceso productivo.

A pesar que a nivel mundial la producción de instrumentos agrícolas en su mayoría están modernizados, esta empresa carece de automatización en varias partes del proceso, como en los hornos eléctricos para el recocido del acero, lugar este de gran importancia en el resultado final del producto ya que es donde se someten los metales a una secuencia específica de temperatura vs tiempo con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas, especialmente la dureza, la resistencia y la tenacidad, siendo este indispensable en el proceso productivo.

Actualmente los hornos de recocido del acero no están funcionando debido al mal estado técnico de los controladores, que no garantizan que se obtengan los mínimos requerimientos para llevar a cabo los niveles de calidad, productividad y seguridad deseados en el proceso. Debido a esto el recocido del acero lo están buscando en otras provincias, esto trae aparejado pérdidas económicas, de

tiempo para la empresa y la producción actual no es la suficiente para abastecer a los clientes.

Teniendo en cuenta las dificultades existentes en dicha planta, la siguiente investigación se propone resolver como **problema de la investigación** la necesidad de un sistema de automatización del subproceso de recocido del acero en los hornos eléctricos.

Debido a esto constituye **objeto de la investigación** el sistema de automatización en los hornos eléctricos.

El **objetivo** del trabajo es proponer un sistema de automatización utilizando PLC que garantice el control de la temperatura en los hornos eléctricos de la Empresa Herramientas de Mano "Guaso" de Guantánamo.

Se define como **campo de acción** el sistema de automatización en los hornos eléctricos utilizando como autómeta programable el Master-K 120S.

Todo lo anterior arroja la siguiente **hipótesis**: si se implementa el sistema de automatización de la Empresa Herramientas de Mano "Guaso" de Guantánamo, utilizando autómeta programable, en los hornos eléctricos, se podrá solucionar la situación actual del subproceso de recocido del acero, aumentaría la eficiencia y reduciría los costos de producción actuales de la empresa, en la elaboración de su producto final.

Para dar cumplimiento al objetivo de esta investigación se definieron las siguientes:

Tareas de la investigación:

1. Caracterizar los Autómetas Programables y el uso de los mismos en la automatización industrial.
2. Caracterizar el subproceso de recocido del acero.
3. Seleccionar la instrumentación para la automatización del subproceso.
4. Diseñar la estrategia de control a utilizar.

5. Desarrollar la programación del Autómata Programable.

Técnicas y métodos empleados en la investigación:

1. Análisis de fuentes documentales.
2. Técnicas y métodos empíricos: Observación, medición y análisis de datos.
3. Método histórico-lógico.
4. Método de análisis y síntesis.
5. Método experimental.

Significación práctica de la investigación: Esta investigación constituye una base para la modernización de la Empresa Herramientas de Manos "Guaso" de Guantánamo, la misma brinda un sistema capaz de garantizar la característica temperatura vs tiempo que requiere el acero para lograr un recocido eficiente, permite al personal técnico monitorear y controlar el subproceso, se humaniza el trabajo de los operadores y brinda un alto grado de flexibilidad para futuras extensiones.

Estructura del trabajo: El presente trabajo se ha estructurado en dos capítulos, en el **capítulo I** se realiza una breve reseña histórica y caracterización de la automatización empleando Autómatas Programables teniendo en cuenta los aspectos históricos, teóricos y contextuales. Se caracteriza el subproceso de recocido del acero así como las principales características de los hornos eléctricos. Además se exponen las principales características y tipos de tratamientos térmicos.

En el **capítulo II**, se seleccionan los componentes que se van a utilizar para la propuesta de automatización, se ofrece el diseño de la estrategia de control ON-OFF y se realiza la programación del Autómata Programable Master-K 120S de tipo estándar (K7M-DRT20U). Además, serán expuestas algunas de las principales características del panel de monitoreo (XGT) y se realiza una valoración económica de la propuesta.

Finalmente se plasman las conclusiones, recomendaciones y referencias bibliográficas. Además de anexarse todas las figuras, esquemas, algoritmos y programación que facilitan la comprensión de esta investigación.

Capítulo 1. Caracterización de los sistemas de automatización para hornos eléctricos utilizando PLC.

En el presente capítulo se define el marco teórico de esta investigación. Se realiza una breve reseña histórica y caracterización de la automatización empleando Autómatas Programables teniendo en cuenta los aspectos históricos, teóricos y contextuales, destacando las grandes ventajas y facilidades que proporcionan en el control de procesos secuenciales. Se caracteriza el subproceso de recocido del acero así como las principales características de los hornos eléctricos. Además se exponen las principales características y tipos de tratamientos térmicos.

1.1 Breve reseña histórica de los PLC.

La historia del Controlador Lógico Programable se remonta a finales de la década de 1960, cuando la industria buscó en las nuevas tecnologías electrónicas una solución más eficiente para reemplazar los sistemas de control basados en circuitos eléctricos con relés, interruptores y otros componentes comúnmente utilizados para el control de los sistemas de lógica combinacional. Estos nuevos controladores debían ser fácilmente programables por ingenieros de planta o personal de mantenimiento. El tiempo de vida debía ser largo y los cambios en el programa tenían que realizarse de forma sencilla. La solución fue el empleo de una técnica de programación familiar y reemplazar los relés mecánicos por relés de estado sólido.

La tecnología cableada no era muy adecuada para implementar sistemas de control complejos. Los elementos que la forman son electromecánicos (en el caso de los relés), lo cual implica un número limitado de maniobras (se rompen) y la necesidad de implantar logísticas de mantenimiento preventivo.

En sistemas muy grandes era muy complicado realizar las conexiones entre cientos o miles de relés, lo que implicaba un enorme esfuerzo de diseño y mantenimiento y la probabilidad de avería era enorme.

Debido a las constantes modificaciones que las industrias se veían obligadas a realizar en sus instalaciones para la mejora de la productividad, se cambiaban los procesos de producción, por lo que cambiaba también el sistema de control y por tanto los armarios de maniobra tenían que ser cambiados, con la consiguiente pérdida de tiempo y el aumento del costo que ello producía.

En 1968 GM *Hydramatic* (la división de transmisión automática de *General Motors*) emitió una solicitud de propuestas para un reemplazo electrónico de los sistemas cableados de relés. La propuesta ganadora vino de *Bedford Associates*. El resultado fue el primer PLC, estos fueron programados en lenguaje de escalera (*Ladder Diagram, LD*), que se parece mucho a un diagrama esquemático de la lógica de relés designado n°84 porque era el proyecto de *Bedford Associates n°84*. *Bedford Associates* comenzó una nueva empresa dedicada al desarrollo, fabricación, venta y mantenimiento de este nuevo producto: *Modicon (MODular DIGital CONtroller)*. Una de las personas que trabajaron en ese proyecto fue Dick Morley, quien es considerado como el padre del PLC. La marca Modicon fue vendida en 1977 a *Gould Electronics*, y posteriormente adquirida por la compañía francesa AEG y luego por la alemana *Schneider Electric*, el actual propietario.

A mediados de los 70, los microprocesadores convencionales cedieron la potencia necesaria para resolver de forma rápida y completa la lógica de los pequeños PLC's. Por cada modelo de microprocesador había un modelo de PLC basado en el mismo. No obstante, el modelo 2903 de AMD fue de los más utilizados.

Ya en 1971, los PLCs se extendían a otras industrias. Las facilidades de comunicación comenzaron a aparecer en 1973. El primer sistema fue el bus Modicon (*Modbus*). El PLC podía ahora dialogar con otros PLC's y en conjunto podían estar aislados de las máquinas que controlaban. También podían enviar y recibir señales de tensión variables, entrando en el mundo analógico.

Desafortunadamente, la falta de un estándar en aquel momento acompañado con un continuo cambio tecnológico hizo que la comunicación de PLC's fuera un gran océano de sistemas físicos y protocolos incompatibles entre sí.

El desarrollo tecnológico que trajeron los semiconductores primero y los circuitos integrados después, intentó resolver el problema sustituyendo las funciones realizadas mediante relés por funciones realizadas con puertas lógicas.

Con estos nuevos elementos se ganó en fiabilidad y se redujo el problema del espacio, pero no así la detección de averías ni el problema de mantenimiento. De todas maneras subsistía un problema: la falta de flexibilidad de los sistemas.

En la década de los ochenta, ya los componentes electrónicos permitieron un conjunto de operaciones en 16 bits, comparados con los 4 de los 70s, en un pequeño volumen, lo que los popularizó en todo el mundo.

Se produjo un intento de estandarización de las comunicaciones con el Protocolo de Automatización Industrial (*Manufacturing Automation Protocol, MAP*) de *General Motors*. También fue un tiempo en el que se redujeron las dimensiones del PLC y se pasó a programar con programación simbólica a través de ordenadores personales en vez de los clásicos terminales de programación.

A comienzo de los noventa, aparecieron los microprocesadores de 32 bits con posibilidad de operaciones matemáticas complejas, y de comunicaciones entre PLCs de diferentes marcas y PCs, los que abrieron la posibilidad de fábricas completamente automatizadas y con comunicación a la Gerencia en "tiempo real". La década de los noventa mostraron una gradual reducción en el número de nuevos protocolos.

Hoy en día, los PLC no sólo controlan la lógica de funcionamiento de máquinas, plantas y procesos industriales, sino que también pueden realizar operaciones aritméticas, manejar señales analógicas para realizar estrategias de control, tales como controladores PID. Además permiten automatizar a todos los niveles, desde pequeños sistemas mediante autómatas compactos, hasta sistemas sumamente complejos mediante la utilización de grandes redes de autómatas.

En la actualidad los grandes competidores de los PLC son los ordenadores personales o PC, debido a las grandes posibilidades que éstos pueden proporcionar, aunque los Autómatas con su reducido tamaño, su gran versatilidad y las facilidades que proporcionan en el control de procesos secuenciales, es decir, procesos compuestos de varias etapas consecutivas, en donde el Autómata controla que las etapas se ejecuten sólo cuando se hayan cumplido una serie de condiciones fijadas en el programa aún controlan el escenario industrial. Hoy día el PLC más pequeño es del tamaño de un simple relé.

1.2 Los Controladores Lógicos Programables (PLCs).

Se entiende por Controlador Lógico Programable o Autómata Programable a toda máquina electrónica o dispositivo de automatización industrial diseñado para controlar procesos secuenciales en tiempo real y en medio industrial, que cuentan tanto con parte electrónica (hardware) como de programación (software). Estos dispositivos se encargan de garantizar el comportamiento deseado de un proceso determinado, disponen de entradas/salidas digitales y analógicas que lo comunican con el proceso a controlar u otros dispositivos, donde, la relación funcional entre las entradas y las salidas se establece a través de un programa que está cargado internamente en dicho PLC, realizan funciones lógicas: series, paralelos, temporizaciones, conteos, operaciones aritméticas y otras más potentes como cálculos, regulaciones, etc.

Por sus características y exigencias, este campo generó sus propios métodos de diseño y lenguajes de programación, desarrollándose varios de estos últimos debido al rápido auge de los PLCs en los años 80's. Con el objetivo de estandarizar estos lenguajes en 1993, la Comisión Internacional de Electrotecnia presentó la norma IEC1131 creada basándose en la experiencia de varios fabricantes líderes en esta rama, unificando de esta forma los esfuerzos de fabricantes, investigadores e ingenieros que trabajan sobre esta línea. En la parte 3 de esta norma (IEC1131-3) se define la sintaxis, y en menor parte, la semántica de cinco lenguajes de programación.

Si se asume que la parte del hardware está funcionalmente bien y garantiza la correcta operación del controlador, entonces la aplicación con Autómata Programable, estará determinada por el software asociado a éste; es decir, por el programa de su algoritmo de control.

1.2.1 Arquitectura Interna.

El autómata programable, es un sistema digital, basado en un microprocesador y su estructura puede comprenderse con el diagrama de la figura 1.1.

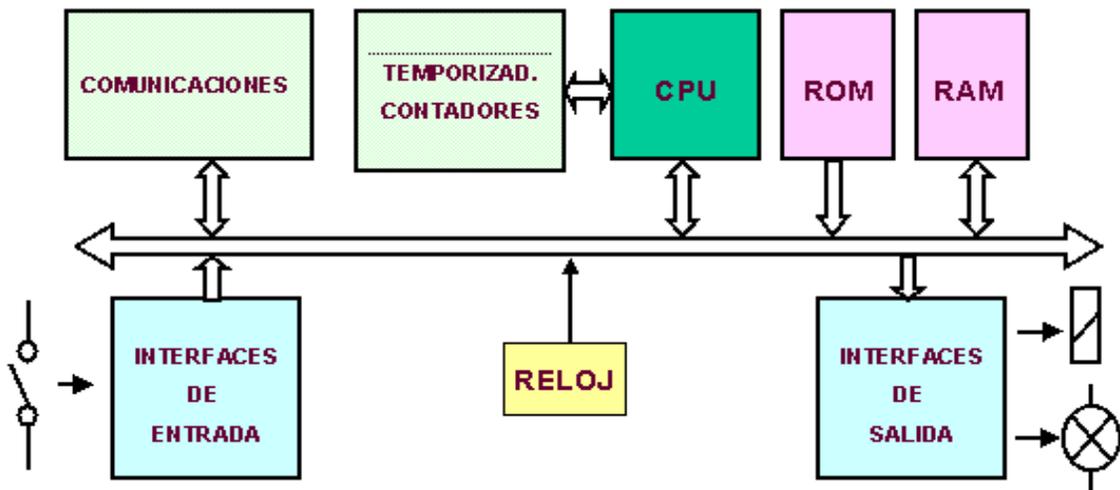


Figura 1.1 Estructura interna general de los PLCs.

Están formadas básicamente por:

La Unidad Central de Proceso (CPU): es el “cerebro” del PLC. Se encarga de recibir las órdenes del operario por medio de la consola de programación y el módulo de entradas, mediante la interpretación de las instrucciones del programa de usuario y en función de los valores de las entradas, activa las salidas deseadas.

Periféricos: Ellos no intervienen directamente en el funcionamiento del Autómata pero sí facilitan la labor del operario.

Reloj: Marca el ritmo de funcionamiento de todo el sistema.

Memoria ROM (*Read Only Memory*): Es una memoria de solo lectura. En estas memorias se puede leer su contenido, pero no se puede escribir en ellas, los datos e instrucciones las graba el fabricante y el usuario no puede alterar su contenido. La información en ellas se mantiene ante falta de corriente (no volátil).

Memoria RAM (*Random Access Memory*): Es una memoria de acceso aleatorio o memoria de lectura – escritura. En este tipo de memoria se pueden realizar los procesos de lectura y escritura por procedimiento eléctrico, pero su información desaparece al faltarle la corriente (volátil).

Interfaces de Entrada: Es un módulo de entrada que se sitúa entre el terminal de entrada y la CPU, realiza varias tareas tales como: provisión de los niveles de voltaje requeridos para la medición mediante la interfaz, proporciona el aislamiento eléctrico entre señales de entrada y la CPU, adapta y codifica de forma comprensible por la CPU las señales procedentes de los dispositivos de entrada o captadores, como son los pulsadores, sensores, etc.

Interfaces de Salida: Trabaja de forma inversa al de entradas, es decir, mediante el interfaz, decodifica las señales procedentes de la CPU, las amplía y manda con ellas los dispositivos de salida o actuadores como lámparas, relés, contactores, electroválvulas, etc.

Comunicaciones: Las forma como los PLCs intercambian datos con otros dispositivos son muy variadas. Típicamente un PLC puede tener integrado puertos de comunicaciones series que pueden cumplir con distintos estándares de acuerdo al fabricante.

Fuente de Alimentación: Convierte la tensión de la red, 110 ó 220 VAC a baja tensión de DC (24 V por ejemplo) que es la que se utiliza como tensión de trabajo en los circuitos electrónicos que forma el Autómata.

Señales Digitales: Las señales digitales o discretas, son simplemente una señal de ON-OFF (1 ó 0, Verdadero o Falso, respectivamente). Los aparatos tales como interruptores de presión, temperatura y limitadores, todos proporcionan una señal de

encendido cuando sus condiciones prefijadas se cumplen. Las señales discretas son enviadas usando la tensión o la corriente, donde un rango específico corresponderá al ON y otro rango al OFF. Inicialmente los PLC solo tenían E/S discretas.

Señales Analógicas: Las señales analógicas son como controles de volúmenes, con un rango de valores entre 0 y el tope de la escala. Esto es normalmente interpretado con valores enteros por el PLC, con varios rangos de precisión dependiendo del dispositivo o del número de bits disponibles para almacenar los datos. Presión, temperatura y flujo son normalmente representados por señales analógicas. Estas pueden usar tensión o corriente con una magnitud proporcional al valor de la señal que se procesa. Por ejemplo, una entrada de 4-20mA ó 0-10V será convertida en enteros. Antes que la señal analógica pueda ser usada en la CPU debe ser convertida a una señal en código binario digital mediante un convertidor analógico-digital.

1.2.2 Funcionamiento de los PLCs.

En la figura 1.2 se muestra esquemáticamente el ciclo de trabajo de un PLC. En ella se puede distinguir una secuencia que se realiza en el momento de la puesta en marcha, primero el sistema operativo inicia la vigilancia de tiempo de ciclo, denominada perro guardián (*Watchdog*), con el objetivo de que la ejecución del programa de usuario no exceda un determinado tiempo máximo, luego realiza un auto test para verificar sus conexiones con el exterior (por ejemplo: si tiene conectado algún dispositivo de programación). Además dentro de este mismo proceso coloca todas las salidas a 0. Luego entra en un ciclo que comienza creando una imagen de las entradas, ya que el programa de usuario no debe acceder directamente a dichas entradas. A continuación comienza a cumplir instrucción por instrucción el programa de usuario. Con los resultados que va obteniendo internamente, "una imagen" renueva el estado de las salidas (actualiza las salidas) en función de la imagen de las mismas, obtenida al final del ciclo de ejecución del programa de usuario. Al final de un ciclo el sistema realiza las tareas pendientes y luego realiza un chequeo del sistema, y vuelve a "cargar" las entradas y así

sucesivamente. Por lo que el funcionamiento del Autómata es un continuo ciclo cerrado y periódico.

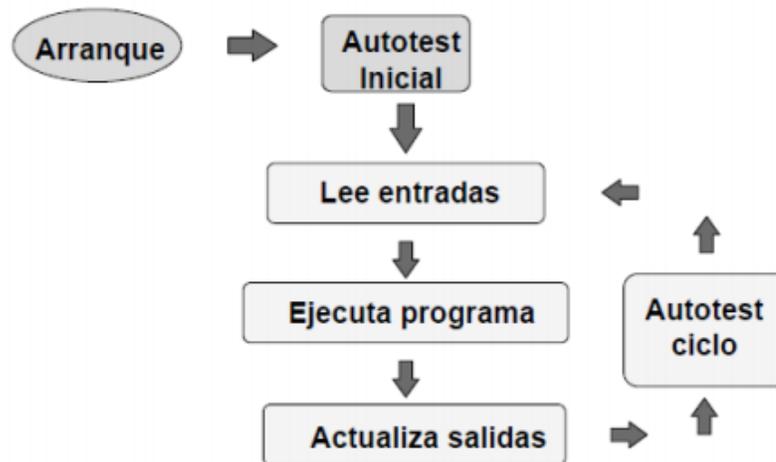


Figura 1.2 Funcionamiento de un PLC.

1.2.3 Principales productores.

Son varias las compañías que han alcanzado un alto desarrollo en la producción y comercialización de PLCs en el mundo a lo largo de estas cinco décadas de historia. En Cuba se trabaja con autómatas de varias de estas compañías. A continuación se relacionan en tabla 1.1 de las principales compañías y su PLC líder en el mercado actual (Bolton 2009; Guille 2010).

Tabla 1.1 Principales compañías en el desarrollo de autómatas.

Compañía	PLC	País
Schneider Electric Telemecanique	TSX	Francia
Siemens	S7	Alemania
OMRON	CPL	Japón
LG /LS	MK	Corea del Sur
ABB	AC	Estados Unidos
Mitsubishi	FX	Japón
Allen Bradley	SLC	Estados Unidos
Semaphore	TBox-MS	Malasia

1.2.4 Ventajas e Inconvenientes de los Automatas.

No todos los autómatas ofrecen las mismas ventajas sobre la lógica cableada, ello es debido, principalmente, a la variedad de modelos existentes en el mercado y las innovaciones técnicas que surgen constantemente. Tales consideraciones obligan a hacer mención de las ventajas que proporciona un autómata de tipo medio estandarizado.

Algunas de las ventajas más significativas que presentan los PLCs son las siguientes:

- Menor tiempo de elaboración de proyectos.
- Posibilidad de añadir modificaciones sin costo añadido en otros componentes.
- Velocidad de operación.
- Mínimo espacio de ocupación.
- Están diseñados para trabajar en condiciones severas como: vibraciones, campo magnético, humedad, temperaturas extremas.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con el mismo autómata. Menor tiempo de puesta en funcionamiento.
- Si por alguna razón la máquina queda fuera de servicio, el autómata sigue siendo útil para otra máquina o sistema de producción.

Inconvenientes de los PLCs.

Se puede señalar, en primer lugar, que hace falta un programador, lo que obliga adiestrar a uno de los técnicos en tal sentido. Pero hay otro factor importante, como el costo inicial, que puede o no ser un inconveniente, según las características del automatismo en cuestión. Dado que el PLC cubre ventajosamente un amplio espacio entre la lógica cableada y el microprocesador, es preciso que el proyectista lo conozca tanto en su amplitud como en sus limitaciones. Por tanto, aunque el costo inicial debe ser tenido en cuenta a la hora de decidirse por uno u otro sistema, conviene analizar todos los demás factores para asegurar una decisión acertada.

1.2.5 Campos de Aplicación.

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplía constantemente este campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales.

Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control, señalización, etc. por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, control de instalaciones, etc.

Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos hacen que su eficacia se aprecie fundamentalmente en procesos industriales que posean una o varias de las siguientes necesidades:

- Espacio reducido.
- Procesos de producción periódicamente cambiantes.
- Procesos secuenciales.
- Maquinaria de procesos variables.
- Instalaciones de procesos complejos y amplios.
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso.

1.3 Estado del arte en la automatización actual.

El desafío constante que toda industria tiene planteado para ser competitiva, ha sido el motor impulsor del desarrollo de nuevas tecnologías para conseguir una mayor productividad.

A diferencia de lo que sucedía hace unos años, hoy en día es posible encontrar en el mercado entornos de desarrollo de aplicaciones para PLCs que permiten crear programas siguiendo las recomendaciones de la Comisión Internacional de Electrotecnia (*International Electrotechnical Commission, IEC*), simularlos en una

computadora y hacer automáticamente las conversiones necesarias para ejecutarlos en equipos de diferentes fabricantes. Sin embargo, aún no se ha llegado a una situación en la que se disponga de un entorno realmente abierto, que pueda ser utilizado tanto para la docencia como a nivel industrial, que tenga la facilidad de uso de los entornos comerciales y que no requiera de grandes desembolsos económicos.

Los fabricantes han ido incorporando el estándar lentamente y una década después de su aparición aún hay muchas cuestiones no resueltas en cuanto a la portabilidad de los programas o la semántica de los lenguajes estandarizados.

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y el software amplía constantemente este campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales.

Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control y señalización; por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, control de instalaciones, comercial, de servicio o doméstico.

1.3.1 Funcionalidades de los PLCs.

Redes de comunicación:

Permiten establecer comunicación con otras partes del sistema de control. Las redes industriales permiten la comunicación y el intercambio de datos entre Autómatas en tiempo real. En unos cuantos milisegundos pueden enviarse mensajes e intercambiar tablas de memoria compartida.

Sistema de supervisión:

Permiten comunicarse con ordenadores provistos de programas de supervisión industrial. Esta comunicación se realiza por una red industrial o por medio de una simple conexión por el puerto serie del ordenador.

Control de procesos continuos:

Además de dedicarse al control de sistemas de eventos discretos los Autómatas llevan incorporados funciones que permiten el control de procesos continuos. Disponen de módulos de entradas y salidas analógicas y la posibilidad de ejecutar controladores Proporcional, Integral y Derivativo (*Proportional Integral Derivative*, PID) que están programados en el Autómata.

Entradas-Salidas distribuidas:

Los módulos de entrada – salida no tienen por qué estar en el armario del Autómata. Pueden estar distribuidos por la instalación, se comunican con la unidad central del Autómata mediante un cable de red.

Buses de campo:

Mediante un solo cable de comunicación o bus se pueden conectar al bus sensores, reemplazando el cableado tradicional. El Autómata consulta cíclicamente el estado de los sensores y actualiza el estado de los elementos de acción final.

1.4 Lenguajes de Programación IEC-1131-3 Compatibles.

Al aumentar la complejidad de los sistemas de control, de las exigencias en cuanto a fiabilidad y seguridad, así como los costos de éstos, los diseñadores se han visto en la necesidad de buscar métodos de verificación y validación que aseguren el funcionamiento seguro y correcto de la solución generada.

Debido a ello, la programación de los Autómatas que tradicionalmente se ha venido realizando de forma directa, ha generado en los últimos años que estudiosos en esta rama, orienten sus esfuerzos hacia la aplicación de métodos formales, ya utilizados

con anterioridad en la programación de computadoras, a este campo de la automática. Estando orientados éstos a los lenguajes estándares recogidos en la norma IEC1131-3.

La IEC 1131-3 es una norma aprobada como estándar internacional para los lenguajes de programación de PLCs. Dicha norma recoge todos los tipos de operandos de uso común en los Automatas. En su apartado 2.2 (Representación exterior de los datos) se establece que dicha representación deberá consistir en literales numéricos (enteros y reales), literales de cadenas de caracteres y literales de tiempo.

Este estándar se ha desarrollado para:

- Poder usar un solo entorno de programación independientemente del hardware utilizado para el control del sistema: (PLC, PC, Controladores).
- Incorporar en un solo entorno todos los elementos de la automatización (controladores, HMI, periféricos).
- El funcionamiento del automatismo tiene que ser independiente del sistema operativo utilizado.

El estándar incluye la definición de los tipos de datos y variables, con el objetivo de estandarizar los lenguajes de programación para PLCs se definieron, según la norma IEC 1131-3, los siguientes grupos de lenguajes de programación:

- Gráficos: LD y FBD
- Textos: IL y ST
- Generales: SFC

A continuación se ofrece una breve caracterización de los mismos:

1. **LD:** Diagrama a contactos o de escalera (*Ladder Diagram*). Es una representación gráfica de expresiones booleanas, combinando contactos (condiciones) con bobinas (resultados) similar a un diagrama de contactos eléctricos.

2. **IL:** Lista de Instrucciones (*Instruction List*). Su estructura principal es una lista de instrucciones, donde cada instrucción debe ocupar una nueva línea. Cada línea contiene un operador, que es completado por modificadores opcionales y uno o más operandos, si la operación específica lo requiere.
3. **FBD:** Diagrama de Bloques Funcionales (*Function Block Diagram*). Consiste en una representación gráfica de diferentes tipos de ecuaciones. Los operadores son representados por cajas rectangulares de funciones y los operandos se conectan a su lado izquierdo (entradas) y derecho (salidas).
4. **ST:** Texto Estructurado (*Structured Text*). Un programa en ST es una lista de sentencias ST. Cada sentencia termina en un separador “;” y se incluye dentro de uno de los tipos básicos de: asignación, selección, iteración, control o especiales. Los nombres usados en el código fuente (identificadores de variables, constantes, palabras reservadas del lenguaje) se desagrupan usando separadores inactivos o activos.
5. **SFC:** Carta de Funciones Secuenciales (*Sequential Function Chart*). Es un conjunto gráfico de pasos y transiciones enlazados por conexiones orientadas. Cada transición es atada a una condición booleana. Las acciones de los pasos son detalladas usando otros lenguajes (ST, IL, LD, FBD).

1.5 Caracterización del subproceso de recocido del acero de la Empresa Herramientas de Mano “Guaso”.

El proceso de producción de los diferentes productos agrícolas como: limas, palas, vagones para la construcción, barretas, entre otras. Utiliza como materia prima fundamental el acero, además de: viruta de hierro, carbón vegetal y cloruro de sodio. Actualmente se llevan a cabo en la empresa dos tratamientos térmicos, que son: el recocido empleando hornos de pozo eléctricos y el temple mediante hornos de inducción eléctrica. La producción más comercializada de la empresa son las limas agrícolas, por tal motivo la figura 1.4 muestra las etapas de elaboración de este producto.

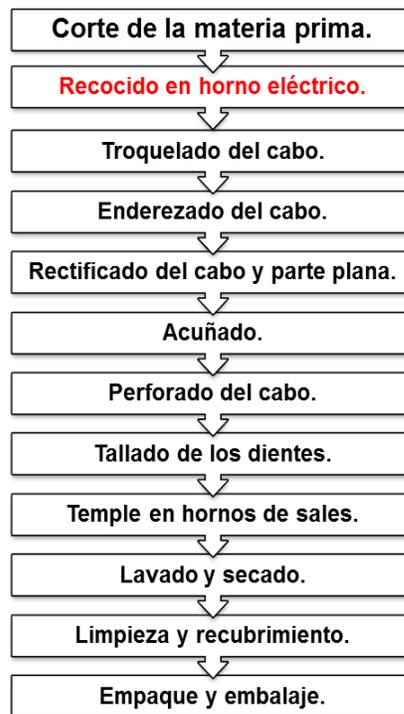


Figura 1.4 Etapas de elaboración de las limas agrícolas.

1.6 Breve reseña del surgimiento del acero.

Según datos históricos el uso del hierro y del acero como materiales estructurales ha sido uno de los desarrollos tecnológicos de mayor importancia. El término "acero" procede del latín "aciarius", y éste de la palabra "acies", que es como se denomina en esta lengua el filo de un arma blanca. "Aciarius" sería, por tanto, el metal adecuado, por su dureza y resistencia, para ponerlo en la parte cortante de las armas y las herramientas. Se desconoce la fecha exacta en que se descubrió la técnica para obtener hierro a partir de la fusión de minerales. Sin embargo, los primeros restos arqueológicos de utensilios de hierro datan del 3000 a. C. y fueron descubiertos en Egipto, aunque hay vestigios de adornos anteriores, estos se fabricaron de hierro meteorítico, obtenidos de los meteoritos que habían caído en la tierra. Los griegos ya conocían hacia el 1.000 a.C. la técnica, de cierta complejidad, para endurecer armas de hierro mediante tratamiento térmico. El verdadero trabajo en hierro se inició en Asia Menor aproximadamente 1100 a.C., y señaló la llegada de

la Edad de hierro. La invención del alto horno, aproximadamente 1340 d.C., hizo posible el trabajo con grandes cantidades de hierro y acero.

1.7 Tratamiento térmico.

Se conoce como tratamiento térmico el proceso al que se someten los metales con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas, especialmente la dureza, la resistencia y la tenacidad. La clave consiste en las reacciones que se producen en el material y ocurren durante el proceso de calentamiento y enfriamiento de las piezas, con unas pautas o tiempos establecido.

El material al que se le aplica el tratamiento térmico es básicamente el acero, que no es más que una aleación de hierro y carbono que contiene otros elementos de aleación como son: el cromo, tungsteno, manganeso, níquel, vanadio, cobalto, molibdeno, cobre, azufre y fósforo. A estos elementos químicos que forman del acero se les llama componentes, y a las distintas estructuras cristalinas o combinación de ellas constituyentes.

Características mecánicas a tener en cuenta:

- Resistencia al desgaste: Es la resistencia que ofrece un material a dejarse erosionar cuando está en contacto de fricción con otro material.
- Tenacidad: Es la capacidad que tiene un material de absorber energía sin producir fisuras (resistencia al impacto).
- Maquinabilidad: Es la facilidad que posee un material de permitir el proceso de mecanizado por arranque de viruta.
- Dureza: Es la resistencia que ofrece un acero para dejarse penetrar. Se mide en unidades BRINELL (HB).

Esta propiedad de tener diferentes estructuras de grano con la misma composición química se llama polimorfismo y es la que justifica los tratamientos térmicos. Técnicamente el polimorfismo es la capacidad de algunos materiales de presentar distintas estructuras cristalinas, con una única composición química, el diamante y el grafito son polimorfismos del carbono.

Los tratamientos térmicos han adquirido gran importancia en la industria en general, ya que con las constantes innovaciones se van requiriendo metales con mayores resistencias tanto al desgaste como a la tensión.

1.7.1 Principales tratamientos térmicos.

- Temple: Su finalidad es aumentar la dureza y la resistencia del acero. Para ello, se calienta el acero a una temperatura ligeramente más elevada que la crítica superior (entre 900-95 ° C) y se enfría luego más o menos rápidamente (según características de la pieza) en un medio como agua, aceite, etcétera.
- Revenido: Sólo se aplica a aceros previamente templados, para disminuir ligeramente los efectos del temple, conservando parte de la dureza y aumentar la tenacidad. El revenido consigue disminuir la dureza y resistencia de los aceros templados, se eliminan las tensiones creadas en el temple y se mejora la tenacidad, dejando al acero con la dureza o resistencia deseada. Se distingue básicamente del temple en cuanto a temperatura máxima y velocidad de enfriamiento.
- Recocido: Consiste básicamente en un calentamiento hasta temperatura de austenitización (700-925°C) seguido de un enfriamiento lento. Con este tratamiento se logra aumentar la elasticidad, mientras que disminuye la dureza. También facilita el mecanizado de las piezas al homogeneizar la estructura, afinar el grano y ablandar el material, eliminando la acritud que produce el trabajo en frío y las tensiones internas.
- Normalizado: Tiene por objeto dejar un material en estado normal, es decir, ausencia de tensiones internas y con una distribución uniforme del carbono. Se suele emplear como tratamiento previo al temple y al revenido.

El propósito principal del tratamiento térmico es generar una estructura ferrítica y remover perlita y carburos, lográndose así la máxima ductilidad y tenacidad. El recocido puede ser usado para lograr propiedades específicas, como un 15% o más de elongación. El tratamiento puede tener variantes, pero los más comunes son el

enfriamiento interrumpido, enfriamiento lento controlado y tratamiento en una sola etapa.

- Enfriamiento interrumpido: la primera etapa es homogeneizar el hierro como se ha descrito antes. Esto es seguido por un enfriamiento hasta 680-700 ° C y mantenido a esta temperatura de 4-12 horas para desarrollar la ferrita. Cuanto mayor sea la pureza del hierro, más corto será el tiempo requerido. Las fundiciones de forma sencillas pueden ser enfriadas en horno por debajo de los 650 ° C y enfriadas al aire, pero las fundiciones complejas que pueden desarrollar tensiones residuales deben ser enfriadas en horno de acuerdo a las recomendaciones mencionadas para el aliviamiento de tensiones.
- Enfriamiento lento controlado: la primera etapa es la homogenización como se ha dicho antes; esto es seguido por un enfriamiento a razón de 30-60 ° C por hora desde los 800-650 ° C. Hierros de más baja pureza requieren de tasas de enfriamiento más lentas. El enfriamiento a temperatura ambiente se lleva a cabo como el método interrumpido.
- Tratamiento de una sola etapa: la fundición es calentada desde la temperatura ambiente hasta los 680-700 ° C, sin una austenización previa, es entonces mantenida a esta temperatura por 2-16 horas para que garantice la perlita. El tiempo aumenta con la disminución de la pureza del metal, y generalmente es mayor que para los otros métodos debido a la falta de una homogenización previa. El enfriamiento a temperatura ambiente se lleva a cabo como en el método de enfriamiento interrumpido. Este tratamiento se aplica solo para quitar la perlita en hierros con carburo no eutéctico. Si el hierro contiene carburos debe usarse el método del enfriamiento interrumpido o el del enfriamiento lento controlado.

1.7.2 El tratamiento térmico consiste de los siguientes pasos:

Calentamiento: Eleva la temperatura de un pieza.

Pre calentamiento: Calentamiento seguido de un mantenimiento a una o más temperaturas (pre calentamiento de múltiples etapas) por debajo de la temperatura

máxima seleccionada. El objetivo del precalentamiento es reducir las tensiones de fisuras ocasionadas por tensiones térmicas.

Calentamiento superficial: Consiste en un calentamiento hasta que la zona superficial de la pieza obtiene una temperatura específica.

Calentamiento a Fondo: Calentamiento Superficial + igualación de la temperatura.

Mantenimiento: Consiste en mantener una cierta temperatura sobre toda la sección.

Enfriamiento: Consiste en disminuir la temperatura de una pieza. Todo enfriamiento que sucede más rápidamente que aquel que se presenta al aire quieto, es denominado temple.

El tiempo de exposición: (antiguamente llamado tiempo de inmersión, encaso del temple en baño de sales), por ejemplo el período de tiempo transcurrido entre la introducción de la pieza en el horno y su retiro, comprende el tiempo de calentamiento a fondo y el tiempo de mantenimiento.

1.8 Descripción del subproceso de recocido del acero de la Empresa Herramientas de Mano "Guaso".

El subproceso de recocido del acero, es un proceso ininterrumpido y solo admite variaciones de temperatura de $\pm 10^{\circ} \text{C}$. Inicialmente se coloca en los hornos de pozos eléctricos mediante una grúa transportadora un molde que posee 6 divisiones donde se depositan un total de 630 unidades a razón de 105 unidades por división y se le echa el 95% de carbón desmenuzado o viruta de hierro fundido y 5% de carbono de sodio, se cierra el molde herméticamente con la tapa la cual posee un orificio en el centro donde se introduce el sensor de temperatura (Figura 1.4), luego se enciende el horno eléctrico y una vez alcanzada la temperatura de 700°C comienza el proceso de recocido y con esto el control de la temperatura, se aumenta la temperatura hasta 780°C durante 6 horas, luego se mantiene esta temperatura por 6 horas más, se disminuye la temperatura hasta 700°C por 3 horas, se mantiene esa temperatura durante 3 horas más, después se disminuye la temperatura hasta 500°C durante 8 horas, y finalmente la grúa saca el molde del

horno de foso eléctrico y se enfría al aire durante 1 hora y luego se descargan los cajones en la cuba de enfriamiento donde existe una solución de NaCl de 10~20 % en agua a menos de 25 °C (Figura 1.3).

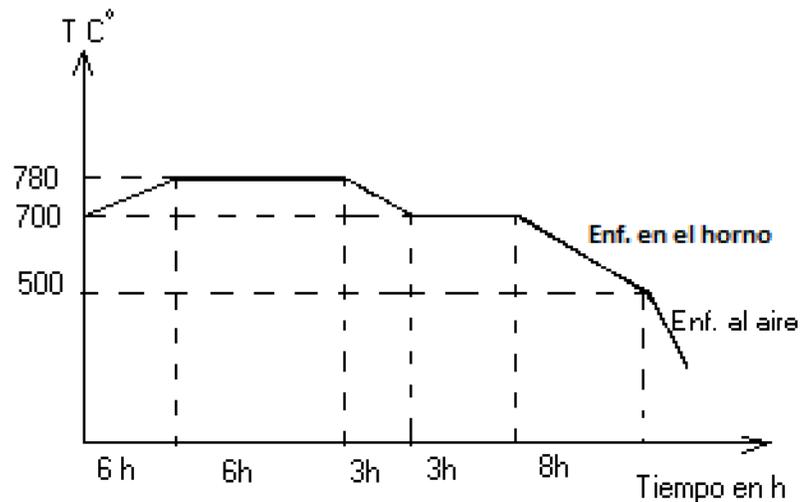


Figura 1.3 Gráfica de las etapas del proceso de recocido.

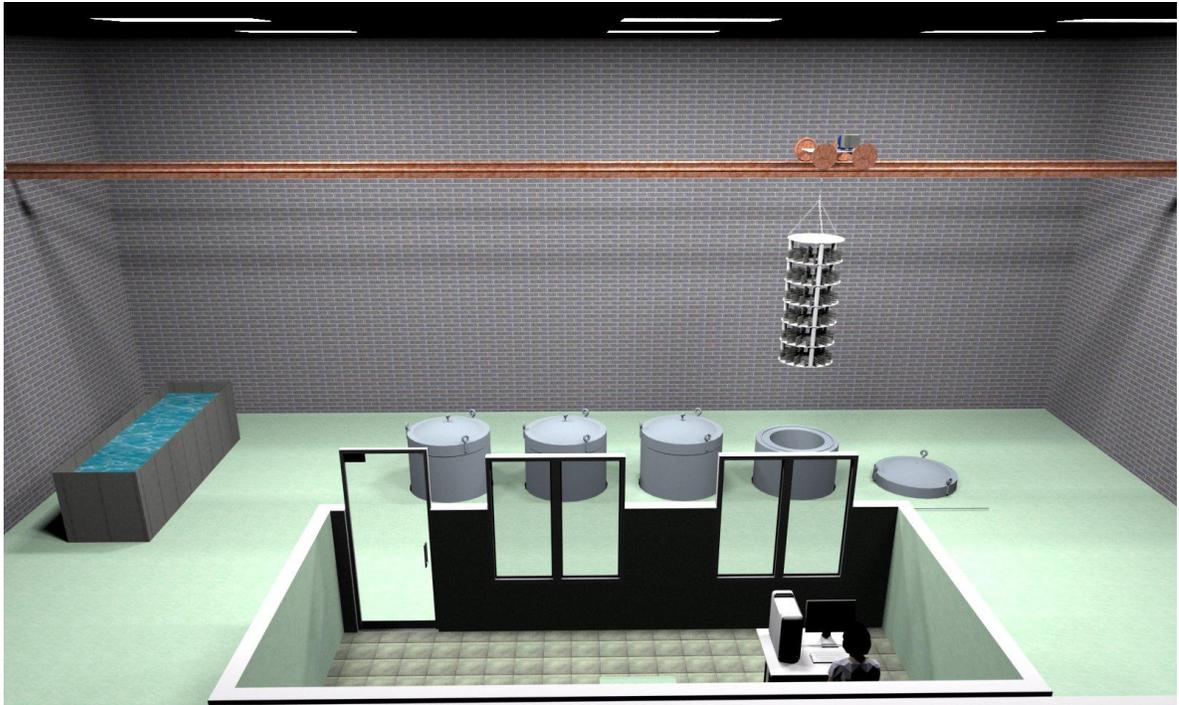


Figura 1.4 Vista del área de recocido.

1.8.1 Exigencias técnicas del producto.

- La profundidad total de la capa descarburada no debe ser mayor de 0.25 mm.
- La dureza BRINELL en la superficie, debe ser de 153~196 HB.
- Debe existir concetricidad de los radios con relación al eje de la lima.
- No se permiten grietas o rajaduras en el cabo de la lima, las rebabas producidas por el corte no deben ser superiores a 0.2 mm.
- Las limas deben quedar rectilíneas a simple vista.
- El desplazamiento máximo del agujero con respecto al eje de la lima, no debe ser mayor de 1 mm.
- Las limas deben poseer un color metálico claro, con apariencia uniforme en todo su volumen.
- Las limas deben de quedar completamente cubierta con aceite anticorrosivo luego de ser secadas.

1.8.2 Descripción de los hornos de fosos eléctricos.

Los cuatro hornos de fosos eléctricos para el recocido del acero se encuentra ubicados dos metros por debajo de la superficie del piso, uno a continuación del otro, separados por una pared de concreto, los mismos están formados por una cápsula cilíndrica de acero inoxidable de 2.5 metros de alto, forrado con un material no metálico y resistente al calor (ladrillos refractarios). El diámetro de la cápsula es de 0.80 centímetros y está rodeado de 12 resistencias colocadas de forma circular conectadas en estrella.

Datos nominales.

- Horno eléctrico, de fabricación austríaca.
- Modelo: H-60T.
- Tensión de alimentación: 440 VCA trifásica.
- Corriente: 48 A.
- Potencia: 36.5 KW.
- Inercia térmica: ± 5 ° C.

- Peso neto: 2400 Kg.
- Frecuencia: 60Hz
- Temperatura máxima (°C): 900 °C.

Conclusiones parciales.

1. El estudio del estado del arte sobre la automatización, sus características y principales ventajas, además de los antecedentes y estado actual de la temática permite asegurar que la tecnología no responde a las exigencias del subproceso tecnológico en las condiciones actuales de la Empresa.
2. A partir de este estudio y de la definición de los PLC's y partiendo de la descripción del flujo de producción de la Empresa Herramientas de Mano "Guaso" de Guantánamo, así como, la caracterización del horno eléctrico para el recocido del acero, se demuestra la factibilidad del empleo de un PLC en su automatización.

Capítulo 2. Propuesta de automatización para el subproceso de recocido del acero.

En el presente capítulo se seleccionan los componentes que se van a utilizar para la propuesta de automatización, se ofrece el diseño de la estrategia de control ON-OFF y se realiza la programación del Autómata Programable Master-K 120S de tipo estándar (K7M-DRT20U). Además, serán expuestas algunas de las principales características del panel de monitoreo (XGT) y se realiza una valoración económica de la propuesta.

2.1 Descripción del funcionamiento del sistema propuesto.

El sistema propuesto está compuesto por un circuito de fuerza y uno de control.

El circuito de fuerza consta de un panel eléctrico formado por interruptores automáticos de tres polos que protegen y seccionan los circuitos conectados a estos. A este panel se conectan los relés de estado sólido que actuarán sobre las resistencias trifásicas instaladas en los hornos.

El circuito de control cuenta de un PLC que posee entradas y salidas digitales a las que están conectadas las señales de control de los relés de estado sólido, pulsadores y balizas para las señalizaciones del proceso, y entradas analógicas a las cuales se conectan los sensores de temperatura que miden la temperatura en el horno. En el PLC se conecta por el puerto RS-485, un HMI para el monitoreo del proceso (Figura 2.1).

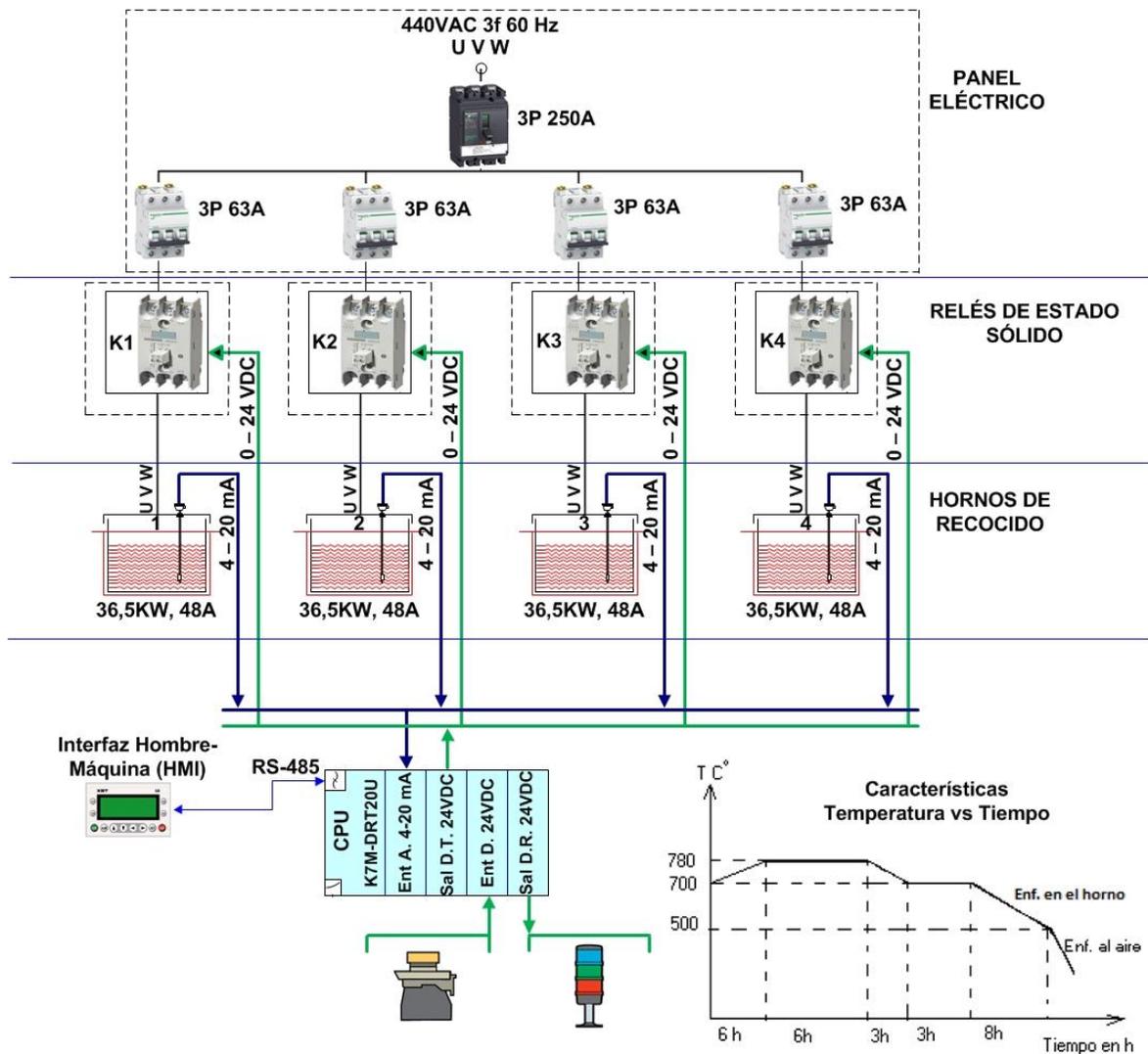


Figura 2.1 Esquema de la propuesta del sistema de automatización.

2.2 Selección de los componentes que se utilizan en la propuesta.

Las familias de PLC's de LG se agrupan en dos series comercialmente conocidas como GLOFA GM y MASTER – K, provistas de las más diversas herramientas para el desempeño de exigentes tareas en el campo de la automatización industrial.

2.2.1 Master – K 120S de tipo estándar K7M-DRT20U.

En la propuesta se utilizó el PLCs Master – K 120S de tipo estándar K7M-DRT20U (figura 2.1), serie extremadamente compacta y altamente funcional de acuerdo con la cantidad de puntos de entradas/salidas (I/O) en la unidad principal, ideal para automatizar aplicaciones a pequeña escala, como la que se presenta. El PLC es el centro del sistema de control, recibe la señales de los sensores de temperatura y teniendo como referencia el Setpoint el cual se calcula en dependencia de los datos de la carta de tiempo introducidos a través del XGT (Temperatura y tiempo), se envía una señal de mando al elemento de acción final (Relé de estado Solido) para energizar o desenergizar el conjunto de resistencias, según sea el caso. Hoja de datos técnica del PLC, (anexo # 1).

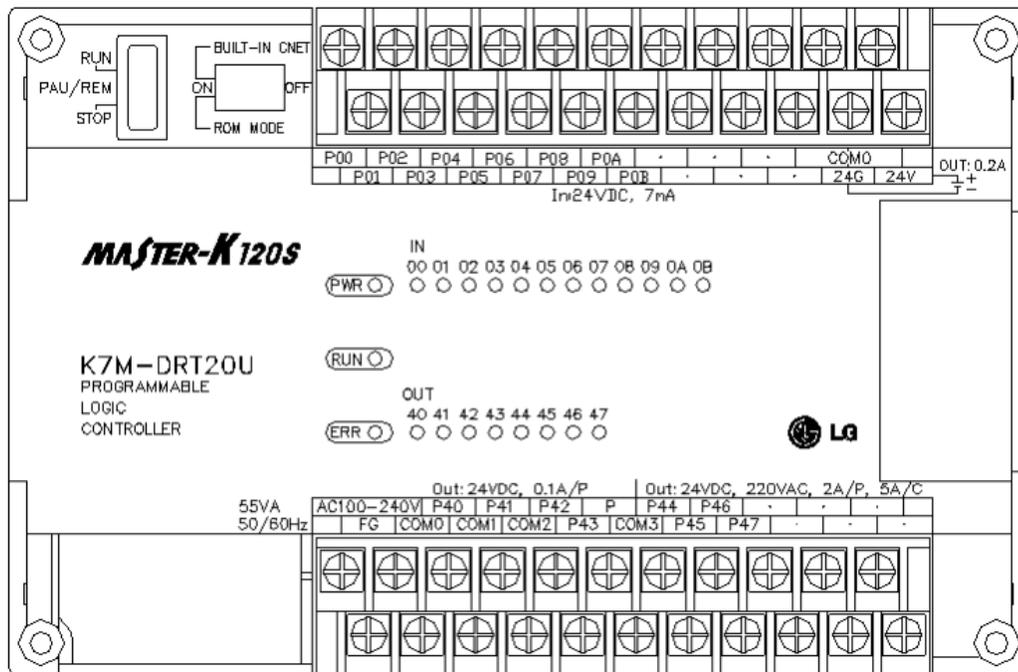


Figura 2.1 PLC Master-K 120S tipo K7M-DRT20U.

Principales características.

Número de E/S digitales: 12 entradas DC (24 VDC, 7mA); 8 salidas de las cuales 4 son salida a transistor (24 VDC, 0.1A) y 4 salida a relé (24VDC ó 220VAC).

Se le pueden conectar hasta 3 módulos de expansión.

Velocidad de procesamiento: 0.1~0,9 μ S/paso.

Incluido puerto serie RS-232 (Ch0) y RS-485 (Ch1).

Soporta monitoreo de datos transmitidos: KGLWIN.

Especificaciones de alimentación:

Entrada de voltaje: 85~264 VAC.

Entrada de Frecuencia: 50-60 Hz (47~63 Hz).

Entrada de corriente: 0,5 A (110 VAC)/0,25 A (220 VAC).

Eficiencia: 65 % min. (Entrada nominal/Carga máxima).

Fallo de energía momentáneo permisible: 10 ms.

Mapa de memoria del PLC Master-K 120S.

Tabla 2.1 Mapa de memoria del PLC Master-K 120S.

Áreas de datos de Bits			Área de Datos de Word		
I/O Relay 1024 puntos	P	P000 ~ P63F	Data Register 4500 registros	D	D0000 ~ D4499
Auxiliary Relay 3040 puntos	M	M0000 ~ M189F	Data Register Para funciones Especiales	D	D4500 ~ D4999
Special Auxiliary Relay 32 puntos	M	M1900 ~ M191F	Timer Preset Value 256 registros	T	T000 ~ T255
Keep Relay 512 pntos	K	K000 ~ K31F	Timer Elapsed Value 256 registros	T	T000 ~ T255
Special Relay 1024 puntos	F	F000 ~ F63F	Counter Preset Value 256 registros	T	C000 ~ C255
Link Relay 1024 puntos	L	L000 ~ L63F	Counter Elapsed Value 256 registros	T	C000 ~ C255
Timer 100ms 192 puntos	T	T0000 ~ T0191	Timer 100ms 192 registros	S	T0000 ~ T191F
Timer 10ms 59 puntos	T	T0192 ~ T0250			
Timer 1 5 puntos	T	T0251 ~ T0255			
Counter 256 puntos	C	C0000 ~ C0255			

Las entradas/salidas del Master-K 120S son direccionadas por el área P (P000~P63F).

El área M (M000~M191F) es un área para el uso interno de la CPU, se inicializa a 0 cuando el PLC se enciende o pasa a modo RUN, aunque puede referenciarse como palabra y Bit.

El área K (K000~K31F) se utiliza con el mismo propósito que el área M. Sin embargo, retiene su estatus cuando el PLC se enciende o pasa a modo RUN.

El área L (L000~L63F) es usada para enlazar datos en sistemas de comunicación. Puede ser usada de la misma forma que el área M si no se ha montado ningún módulo de comunicación en el PLC.

El área F (F000~F63F) es de solo lectura que contiene registros y banderas del sistema.

El área T (T0000~T0191) son los temporizadores del PLC y pueden ser de tres tipos:

100msec: T000 ~ T191 (192 puntos)

10msec: T192 ~ T250 (59 puntos)

1msec: T251 ~ T255 (5 puntos)

La cantidad de cada tipo es ajustable por parámetros en el KGL-Win.

El máximo valor de tiempo que puede establecerse depende de la base de tiempo:

Con base de 100 ms: $65535 * 100\text{mS} = 1\text{h}: 1\text{min}: 2\text{seg.}$

Con base de 10 ms: $65535 * 10\text{mS} = 10\text{min}: 55\text{seg.}$

Con base de 1 ms: $65535 * 1\text{mS} = 1\text{min}: 5\text{seg.}$

El área C (C0000~C0255) son los contadores del PLC y el máximo valor de conteo es 65535.

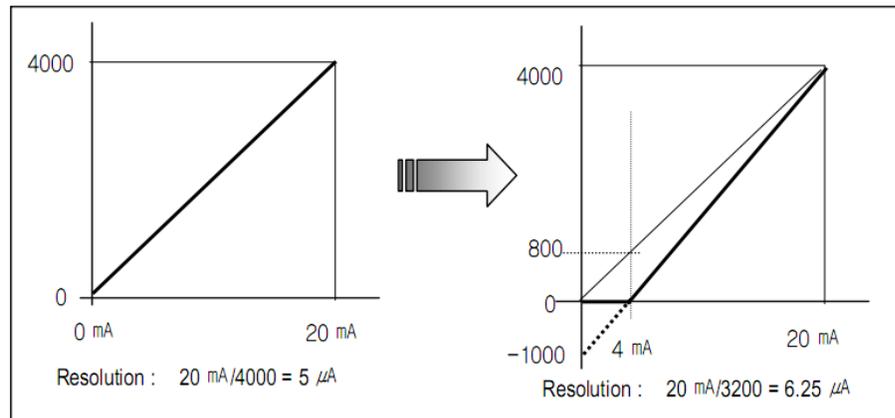


Figura 2.3 Equivalencia del valor analógico medido y el número digital asignado.

Características técnicas.

Número de E/S analógicas: 4 canales de entradas (CH0, CH1, CH2, CH3) respectivamente.

Entrada de voltaje: 0~10 VDC.

Entrada de corriente: 0~20 mA de DC; 4~20 mA de DC.

Salida digital: 12 bits (0~4000).

Exactitud: $\pm 0.5 \%$.

2.2.3 Relé de estado sólido.



Figura 2.4 Relé de estado sólido.

Debido a las frecuentes conmutaciones y a las altas corrientes que se manejan los actuadores que se proponen son relé de estado sólido (*Solid State Relays, SSR*) trifásicos del fabricante Siemens, modelo SIRIUS 3RF55, (Figura 2.4) que tienen

la función de energizar o desenergizar el conjunto de resistencias según sea el caso. El circuito de control de estos se manipula con una señal directa comprendida entre 4-30 VDC. Posee un consumo de corriente de 15 mA, la corriente que puede manipular es de 55 A, un límite de corriente de entrada de 10 mA, la frecuencia a la que trabaja es de $50/60 \pm 10 \%$ y un voltaje de operación entre 48~600 V. El tipo de salida de estado sólido es SCR (Salida a Tiristor) y una temperatura ambiente de operación $-25\sim 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Hoja de datos técnica (anexo # 3).

2.2.4 Termopar.



Figura 2.5 Termopar Tipo K.

Los sensores de temperaturas que existen en esta industria están en buen estado técnico por lo que se emplearan en la propuesta de automatización, estos son termopares industriales tipo K estándar del fabricante Endress + Hauser (Figura 2.5), con el transmisor incluido de salida 4-20 mA, con un rango de temperatura de $0 \sim 1250 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y un error de $\pm 2,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ en el rango de temperatura de 0 a $293 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $\pm 0,75 \%$ en el rango de temperatura de 293 a $1250 \text{ }^{\circ}\text{C}$, el transmisor posee 6 terminales, de los cuales el terminal 4 y el 6 se conectan al termopar y el terminal 1 y 2 se conectan a la fuente de alimentación en serie con el instrumento de medición (CH0 del módulo analógico del PLC). Hoja de datos técnica (anexo # 4).

2.2.5 Fuente de alimentación.



Figura 2.6 Fuente de alimentación.

La fuente modelo ABL8MEN24012, modular, regulada conmutada con rearme automático (Figura 2.6), se empleara para alimentar los sensores de temperatura, el circuito de control de los relés de estado sólido y las señalizaciones del sistema, con dimensiones de 36x59x90 y fijación sobre panel mediante tornillos, posee una tensión nominal de entrada: 100~240 VCA, tensión nominal de salida: 24 V y potencia nominal/corriente nominal: 30 W/1.2 A.

2.2.6 Transformador.



Figura 2.7 Transformador.

El transformador (Figura 2.7) reductor empleado, modelo ABL6TS06U, monofásico de 440/240 VAC (± 15), potencia nominal de 63 VA, de enrollado simple, debido a que no existe voltaje de 220 VAC en el área.

2.2.7 Interruptor automático de caja moldeada de tres polos.



Figura 2.8 Interruptor automático de caja moldeada de tres polos.

Para energizar el panel eléctrico de los hornos de recocido, se propone el interruptor automático de caja moldeada, del modelo NSX250B (Figura 2.8) del fabricante Schneider Electric, calibre 250 A, referencia LV431110, de tres polos, equipado de una unidad de control magnetotérmica TM-D y corriente de cortocircuito de 25 kA para un voltaje de 380/415 V.

2.2.8 Interruptor automático modular de tres polos.



Figura 2.9 Interruptor automático de tres polos.

El interruptor automático modular del modelo iC60N, de tres polos, curva C, calibre 63 A, corriente de cortocircuito de 10 kA, se utilizan para energizar el circuito de fuerza de cada horno, poseen las funciones siguientes: protección de los circuitos

contra las corrientes de cortocircuito y las corrientes de sobrecarga, señalización de disparo sobre falla mediante visualizador mecánico de estado rojo en la cara frontal del interruptor.

2.2.9 Interruptor automático modular de dos polos.



Figura 2.10 Interruptor automático de dos polos.

El interruptor automático modular del modelo iC60N, de dos polos, curva C, calibre 2 A (Figura 2.10), es el que alimenta al transformador antes mencionado.

2.3 Instalación y cableado del PLC MASTER – K120S.

Para la instalación del MASTER – K120S es necesario tener en cuenta varios aspectos:

2.3.1 Entorno de instalación:

La alta confiabilidad de operación del MASTER – K120S no depende del entorno en que se ubique, sin embargo para garantizar la fiabilidad de un sistema como el nuestro es necesario evitar su instalación en entornos sujetos o expuestos a:

- Filtraciones de agua y polvo.
- Choques o vibraciones continuas.
- Altas o bajas temperaturas, fuera del rango de 0 ~ 55 °C.
- Humedad Relativa fuera del rango de 5 ~ 95 %.

2.3.2 Precauciones durante la instalación:

No dejar que entren cuerpos extraños al PLC durante el taladrado o cableado, instalar en lugares donde se facilite su operación. Evitar instalarlo en el mismo panel que los equipos de alto voltaje, comprobar que la distancia entre las paredes con conductores eléctricos y la cubierta externa del PLC sea de 50 mm o más y chequear que el lugar de instalación tenga buena inmunidad al ruido ambiental.

Para la comunicación del programa con el Autómata se utilizó el puerto serie RS-232C, especificándose si es local o remota la comunicación entre ellos. Para utilizar esta conexión, se debe conectar el cable RS-232C al puerto serie en la computadora y en el puerto serie del PLC como puede observarse en la figura 2.11.

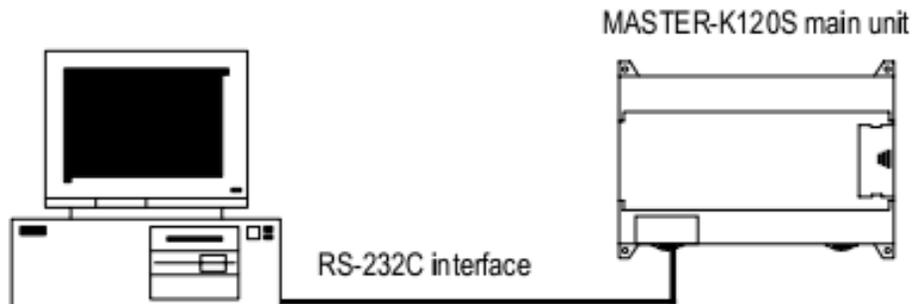


Figura 2.11 Conexión de la computadora al PLC.

El conector normalmente empleado en las interfaces RS-323C es un conector de 9 pines DB-9, el estándar define que el conector hembra se situará en los DCE (Equipo de Comunicación de Dato) y el macho en el DTE (Equipo Terminal de Dato). La configuración de pines del puerto RS-232 para la conexión del Autómata con la PC es como se muestra en la figura 2.12.

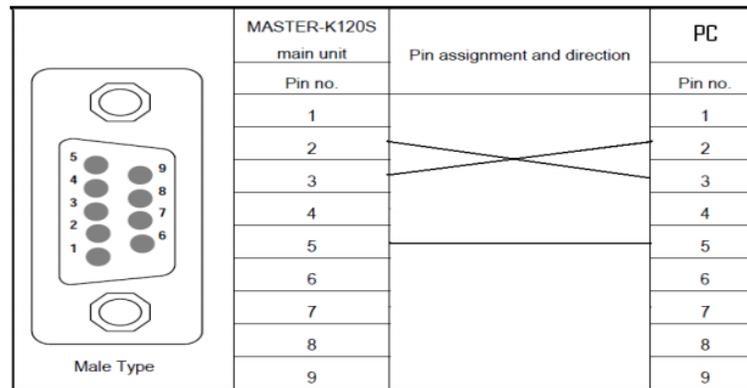


Figura 2.12 Esquema de conexión de pines entre el PLC y la PC.

2.4 Pantalla de monitoreo XGT.

El panel XGT perteneciente a LG Industrial Systems es una interfaz hombre-máquina para monitoreo de los estados del proceso, el mismo cuenta con 4 teclas de funciones definidas por el usuario (F1, F2, F3, F4) para apoyar cada pantalla, y 4 teclas de movimientos que tienen funciones predeterminadas por el fabricante, también consta de un botón de cancelación de entrada (ESC), uno para historial de alarmas (ALM), otro para entradas de datos al setup del PLC (SET) y el botón (ENT) para confirmar entradas de datos al PLC.

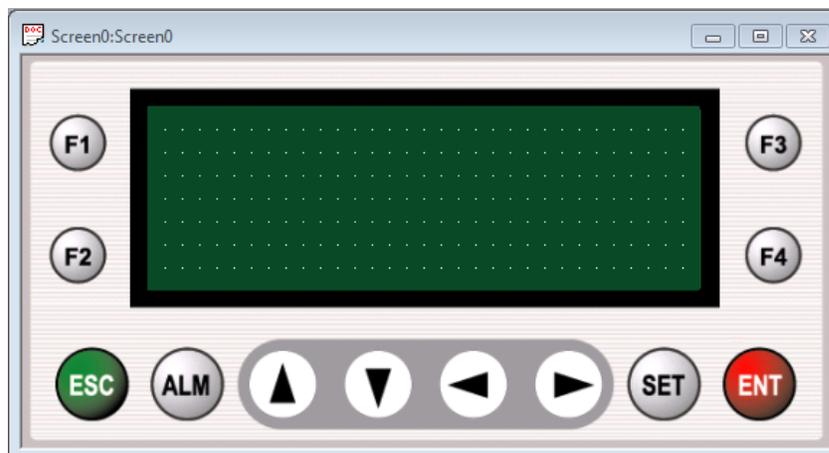


Figura 2.13 Panel XGT.

En el mismo se pueden observar e introducir los diferentes valores de temperatura y tiempo para cada etapa del subproceso del recocido del acero.

- Gestión eficiente y datos compartidos con el sistema host.
- Abundante librerías de vectores, imágenes prediseñadas, soporte de animación GIF.
- Aplicación de programas desarrollado por el usuario para Windows.

2.4.1 Principales características.

- Ethernet incorporada.
- Funciones de comunicación: RS-232C, 422/485.
- Panel portátil y fácil de configurar.
- Pantalla de mensajes modificables.
- Control de archivos de alarma.
- Expresión dinámica de alarmas.

La comunicación entre el XGT y el Automata es por medio del puerto serie RS-422/485, el esquema de conexión para los pines es como se muestra en la figura 2.14.

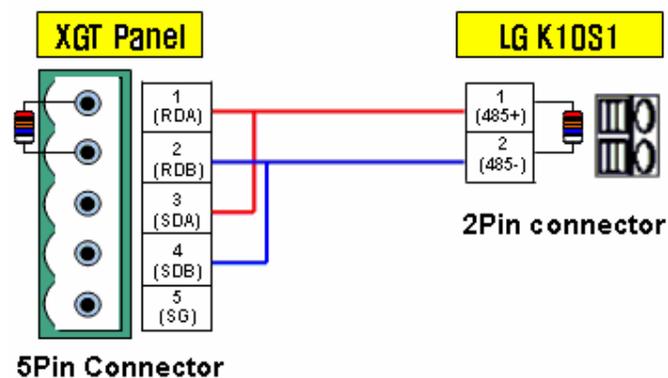


Figura 2.14 Configuración de pines para la comunicación del XGT con el PLC por el puerto serie RS-422/485.

Se le debe especificar al software del XGT (Panel editor 1.1) inicialmente porque canal se va a comunicar con el PLC (Ch2 RS-485) y luego seleccionar el tipo de PLC (LG: MASTER-K(Link)10S 30S 60S 100S) (Figura 2.15).

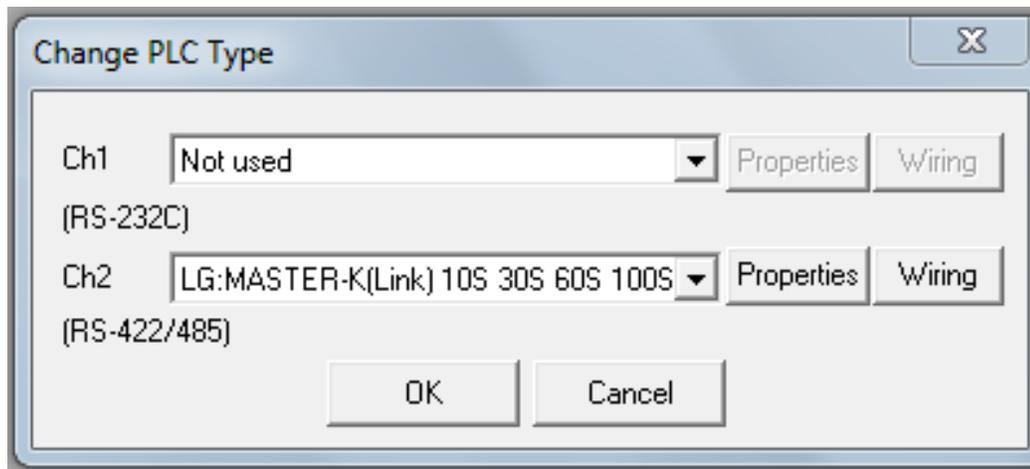


Figura 2. 15 Configuración de comunicación del panel XGT.

En el Screen 0 del HMI es donde se van a introducir los valores de temperatura y tiempo correspondientes a la carta de tiempo que se va utilizar en el proceso de recocido (Figura 2.16).

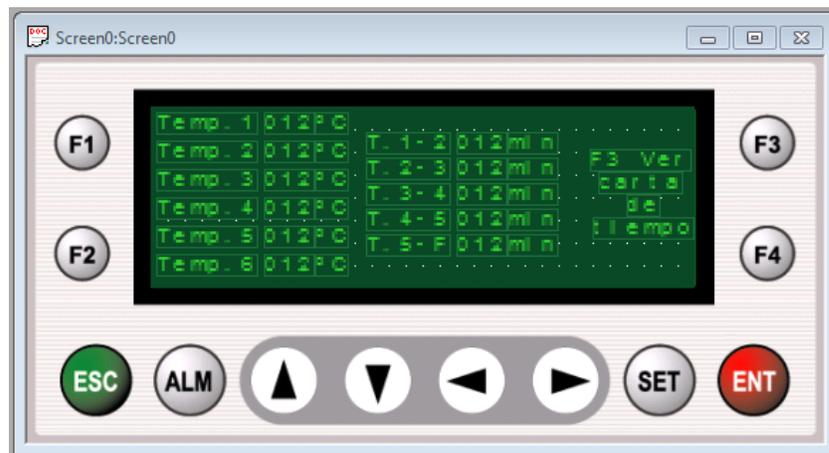


Figura 2.16 Screen 0 del HMI.

Para que los valores introducidos en el HMI, se escriban en el PLC y los del PLC se muestren en el HMI, es necesario especificarle a cada uno de ellos el canal por el cual se va a comunicar, con que estación lo va a hacer y en qué dirección se va a escribir o se va a leer (Figura 2.17).

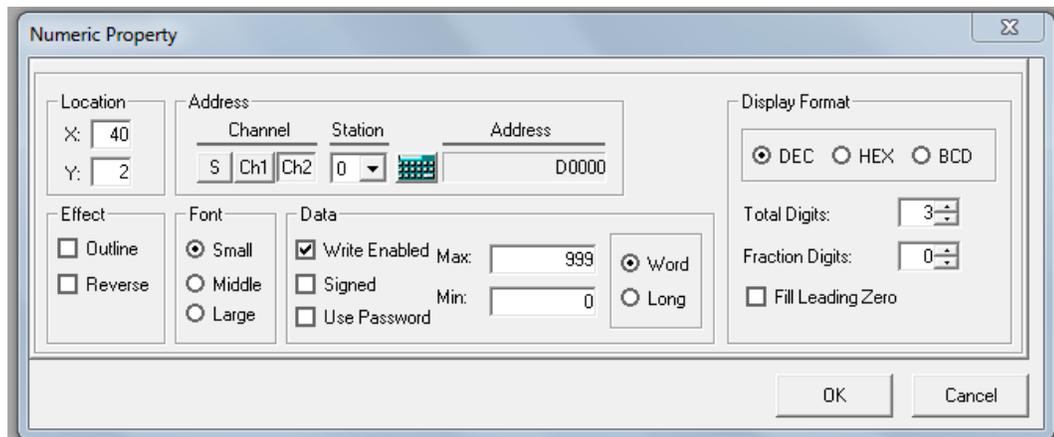


Figura 2.17 Ventana de propiedades.

En el Screen 1 del HMI se muestran: el valor de temperatura medida en el horno, el valor actual del setpoint y la gráfica de temperatura vs tiempo (Figura 2.18).

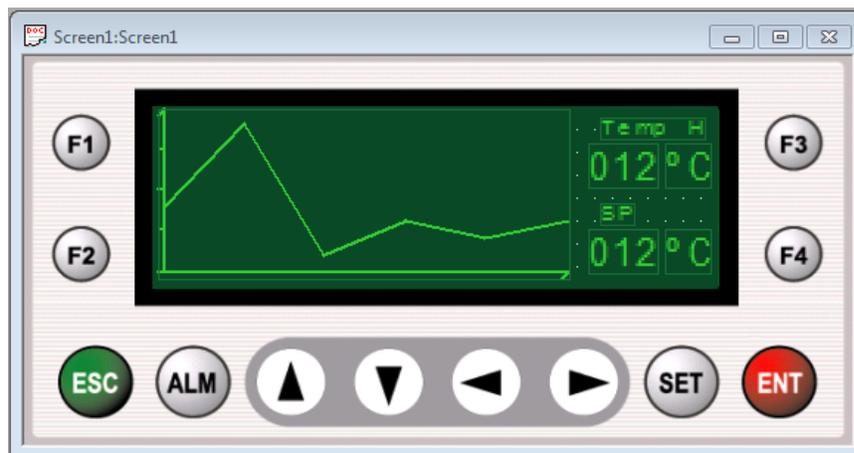


Figura 2.18 Screen 1 del HMI.

En el Screen 2 del HMI se configuran los botones de función (F1,F2,F3,F4) como botones de inicio del proceso de cada horno y se muestran las indicaciones de inicio de cada uno (Figura 2.19).

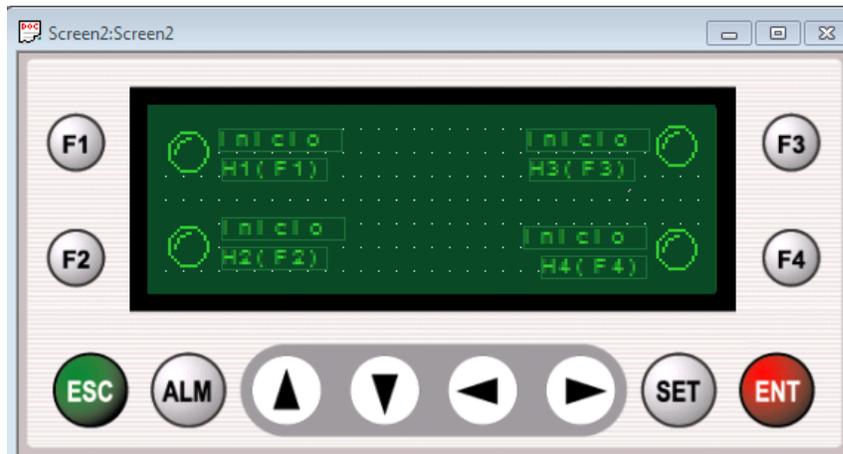


Figura 2.19 Screen 2 del HMI.

En el HMI se mostrara además, la alarma del sistema (falla de sensor de temperatura), la cual se va a mostrar en cualquier pantalla en el momento que se produzca, esta condición va a mostrar un mensaje de texto con la descripción de la alarma en cuestión.

La comunicación entre el XGT y la PC es por medio del puerto serie RS-232C, el esquema de conexión para los pines es como se muestra en la figura 2.6.

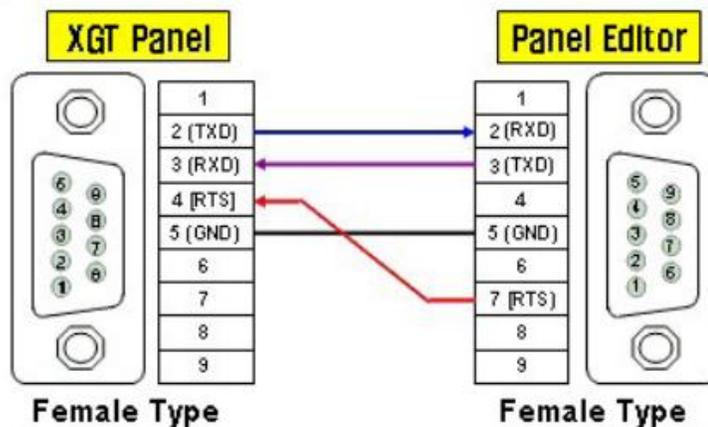


Figura 2.6 Configuración de pines para la comunicación del XGT con la PC por el puerto serie RS-232C.

2.5 Software de Programación KGL_WIN.

KGL_WIN es un software profesional estandarizado de automatización moderna de amplia difusión internacional, herramienta de programación que compila el programa, crea el fichero ejecutable, transfiere archivos al PLC, monitorea y actualiza los datos de este. Es compatible con toda la familia de MASTER-K y para GLOFA GM.

2.5.1 Principales características del software de Programación KGL_WIN.

- Lenguaje de programación LD.
- Herramienta Basada en Windows 95/ 98/2000/XP.
- Aplicable a todos los PLC's de las series MASTER-K y GLOFA-GM.
- Programación remota vía Red.
- Varias ventanas en una pantalla.
- Autodiagnóstico e información en modo On-Line.
- Muestra comentarios en programas disponibles para todos los printers soportados por Windows.
- Edición On-Line:
 - Edición de Programas en Modo Run.
 - Fuerza estado de I/O y cambia valores de datos.
- Ejecuta ciclos hasta el número definido.
- Ejecuta paso a paso y hasta un paso definido.

En relación a KGL_WIN PLC, después de haber realizado el proyecto se deberá definir previamente dos opciones: método de conexión y profundidad de la conexión en la opción conectar. Existen cuatro tipos de métodos de conexión, mediante RS-232C, MODEM, módulo de comunicación (GLOFA Fnet / Mnet para PC) y de Red (Ethernet) y tres tipos de profundidad de las conexiones: local, remoto 1 y remoto 2.

2.6 Estrategia de control ON-OFF.

El sistema de control propuesto se empleará para conseguir:

- Un mejor rendimiento del horno.
- Obtener productos de mejor calidad.
- Disminuir los costos de producción.
- Aumentar la producción.

Un procedimiento muy utilizado en la vida real para controlar la temperatura en un horno eléctrico cerrado es el control **ON-OFF** o también conocido como **TODO/NADA** o de dos posiciones donde el elemento actuante solo tiene dos posiciones, que casi siempre son: conectado y desconectado, a diferencia del control continuo donde el elemento calefactor puede aplicarse infinitas potencias diferentes entre los límites escogidos.

La variable controlada $c(t)$ es la resistencia de calefacción en el horno eléctrico, y la variable manipulada $m(t)$ es el voltaje. El controlador (PLC), en función de la diferencia entre la referencia y la temperatura dentro del horno, actúa sobre el elemento de acción final o actuador (Relé de estado sólido) conectando o desconectando la resistencia en el horno eléctrico según sea el caso.

El elemento de acción final es el elemento del sistema que permite alterar la variable manipulada hasta un valor conveniente para que la variable controlada regrese al valor deseado. El elemento de medida y transmisión, o canal de medición, término técnicamente más apropiado es el que garantiza la retroalimentación del sistema, o sea, que el controlador disponga en cada momento de la medición de la variable controlada.

Debido a la inercia térmica como consecuencia del retardo en la propagación del calor en el interior del horno desde el elemento calentador hasta el sensor de temperatura, la temperatura estará continuamente fluctuando alrededor del set

point (SP). Es decir el sistema es oscilatorio. Las fluctuaciones u oscilaciones aumentarán cuanto mayor sea la inercia térmica del horno.

Este control funciona satisfactoriamente si el proceso tiene una velocidad de reacción lenta que dependerá de las características del horno (potencia del calefactor, resistencia térmica del horno, volumen del horno, etc.) y posee un tiempo de retardo mínimo (Figura 2.7).

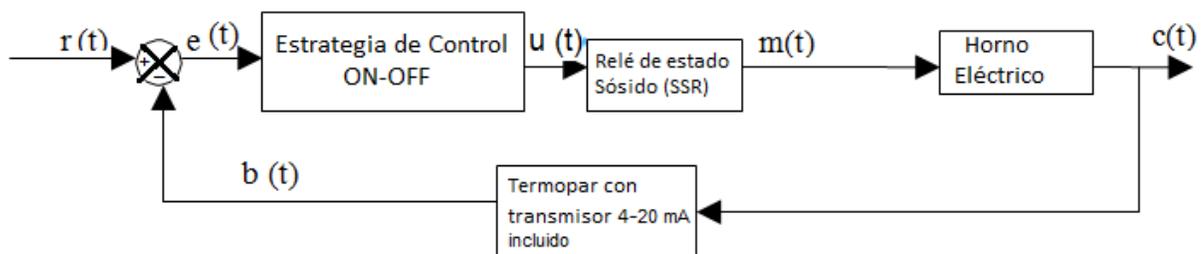


Figura 2.7 Lazo de control.

$r(t)$: Valor de referencia o Set Point.

$e(t)$: Error. $e(t) = r(t) - b(t)$

$u(t)$: Señal de control.

$m(t)$: Variable manipulada (MV).

$c(t)$: Variable controlada (CV).

$b(t)$: Variable medida.

2.7 Esquema eléctrico.

El esquema eléctrico cuenta con un esquema de fuerza y un esquema de control (anexo # 5).

El esquema de fuerza.

Consta de un interruptor principal o general de caja moldeada (Q1) de tres polos, con una corriente nominal de 250 A, aguas abajo están los cuatro interruptores automáticos (Q2,Q3,Q4,Q5), con una corriente nominal de 63 A encargados de energizar los relés de estado sólido trifásicos (K1,K2,K3,K4) correspondiente a

cada horno eléctrico y a su vez son los que energizan o desenergizan el conjunto de resistencias (CR1,CR2,CR3 Y CR4) conectadas en estrella.

Aguas abajo del interruptor general, antes mencionado, se toman dos fases de este (V1, U1) para alimentar por medio de un interruptor automático de dos polos (Q6), corriente nominal de 2 A, a un transformador monofásico reductor de 440/240 VAC (T1), y a la salida de este se conecta una fuente (G1), que tiene tensión nominal de entrada de 100~240 VCA y dos salidas de tensión nominal de 24 VDC (OUT1, OUT2) para alimentar el circuito de control y las señales lumínicas y sonoras utilizadas en el sistema. Aguas abajo del transformador se toman 240 VAC y se alimenta al PLC (A, B) que se está utilizando como lo especifica el fabricante.

Esquema de control.

Consta de las entradas digitales del PLC, del mismo se utilizaron cuatro entradas (P00, P01; P02, P003) a la cual se conectaron botones- pulsadores (S1, S2, S3, S4) que poseen un contacto normalmente abierto, para el inicio del programa correspondiente a cada horno eléctrico donde el fabricante especifica que se debe de conectar el COM 0 al (-) de la fuente de 24 VDC de la salida (OUT1) y puentear las salidas de los botones-pulsadores y conectarlos al (+) de la fuente correspondiente.

Las salidas digitales a transistor del PLC (P40~P43) se conectaron a los relés de estado sólido trifásicos (K1, K2, K3, K4) que energizan o desenergizan las resistencias correspondientes a cada horno eléctrico. Las salidas digitales a relés (P44, P45, P46) se conectaron a los relés electromecánicos de interface (K5, K6, K7) para las indicaciones lumínicas y sonoras correspondientes a los estados del proceso y para el (-) de la fuente de 24 VDC en el caso del P40 se utilizó el COMM 0, P41 el COM1, P42 y P43 el COM2.

Las salidas (P44, P45, P46) se conectaron relés electromecánicos de interface que son los encargados de encender las señales lumínicas y sonoras utilizadas en el sistema.

Las cuatros entradas analógicas (CH0, CH1, CH2, CH3) del módulo de expansión analógico, se conectaron como el fabricante específica, es decir, se puentea V0 con I0 del canal cero correspondiente a la salida 4-20 mA del sensor de temperatura del horno 1 y se conectan al (+) del transmisor y el COM0 al (-) del transmisor, y las tres entradas restantes se conectan de igual forma, solamente especificando el canal correspondiente. Además se debe conectar a este módulo una fuente de alimentación de 24 VDC (OUT2).

2.8 Programación del PLC.

De vital importancia resulta para la programación del autómatas la determinación de las señales de entradas y salidas ya sean analógicas o digitales que procesará el PLC (Tablas 2.2 y 2.3).

Pasos que se tuvieron en cuenta en la programación del PLC.

1. Chequeo de error de sensor por redundancia cíclica.
2. Conversión de la temperatura.
3. Fijar setpoint cuando se inicia el proceso.
4. Control de la temperatura.
5. Inicio de la carta de tiempo.
6. Supervisión de los tiempos de cada paso.
7. Comparación para conocer si va a ser una rampa (+), (-) o una meseta.
8. Cálculo del tiempo en el cual aumentar o disminuir 1° C al setpoint variable.
9. Contador de coeficiente para aumentar o disminuir 1° C al setpoint variable.
10. Indicación lumínica y sonora.

Tabla 2.2 Señales de entradas.

Entrada del PLC	Tipo de señal	Nombre	Dirección de memoria	Descripción
P00	Digital	Inicio	P0000	Le da el inicio al programa del horno 1.
P01	Digital	Inicio1	P0001	Le da el inicio al programa del horno 2.
P02	Digital	Inicio2	P0002	Le da el inicio al programa del horno 3.
P03	Digital	Inicio3	P0003	Le da el inicio al programa del horno 4.
CH0	Analógica	CH0	D4980	Valor de la medición de temperatura del horno 1 en el rango de 0~4000.
CH1	Analógica	CH1	D4981	Valor de la medición de temperatura del horno 2 en el rango de 0~4000.
CH2	Analógica	CH2	D4982	Valor de la medición de temperatura del horno 3 en el rango de 0~4000.
CH3	Analógica	CH3	D4983	Valor de la medición de temperatura del horno 4 en el rango de 0~4000.

Tabla 2.3 Señales de salidas.

Salida del PLC	Tipo de señal	Nombre	Dirección de memoria	Descripción
P40	Digital	Resistencia	P0040	Salida que energiza o desenergiza la resistencia del horno 1.
P41	Digital	Resistencia1	P0041	Salida que energiza o desenergiza la resistencia del horno 2.
P42	Digital	Resistencia2	P0042	Salida que energiza o desenergiza la resistencia del horno 3.
P43	Digital	Resistencia3	P0043	Salida que energiza o desenergiza la resistencia del horno 4.
P44	Digital	Lámpara verde	P0044	Indicación de inicio del programa correspondiente a cada horno.
P45	Digital	Lámpara roja	P0045	Indicación de varias señales.
P46	Digital	Buzzer	P0046	Indicación de varias señales.

Inicialmente se presiona el botón-pulsador (S1) correspondiente al horno 1, dando inicio al programa, a continuación se enciende una lámpara verde (P44) indicando que el proceso ya está en ejecución.

Luego se realiza un chequeo de error por redundancia cíclica, el cual consiste en tomar una muestra cada un segundo de la medición de temperatura en el horno y se compara con la muestra anterior, si hay una diferencia de temperatura de más de 1 ° C, ocurre un error de medición, inmediatamente se enciende una lámpara roja (P45) y si este error se mantiene por más de tres segundos, ocurre una falla de sensor, donde además de encenderse la lámpara roja se activa la indicación sonora continua (P46), en caso de que no haya error de medición, esa temperatura medida se compara con el setpoint.

Para la conversión de la temperatura se tuvo en cuenta lo siguiente:

Cálculo del factor de conversión:

$$q = \frac{T_{\text{máx}} (^{\circ}\text{C}) - T_{\text{mín}} (^{\circ}\text{C})}{N}$$

$$q = \frac{1250 ^{\circ}\text{C} - 0 ^{\circ}\text{C}}{4000}$$

$$q = 0,3125 ^{\circ}\text{C}$$

$q = 1\text{LSB}$ (Equivalente a una unidad leída por el PLC en el rango de 0~4000).

$N = 4000$ (Niveles de cuantificación dado por el fabricante del PLC).

Como el software empleado KGL_WIN no trabaja con números decimales, se tomó el valor de temperatura que se está leyendo por el canal 0, que se guarda en la dirección D4890 y se múltiplo por 0,3125 ° C.

$$\textit{Temperatura medida en el horno } (^{\circ}\text{C}) = \textit{rango } (0\sim 4000) \times q$$

$$\textit{Temperatura medida en el horno } (^{\circ}\text{C}) = \frac{\textit{rango } (0\sim 4000) \times 25}{80}$$

$$q = \frac{25}{80} = 0,3125 ^{\circ}\text{C}$$

Cálculo del rango de error.

$$N = \frac{T (^{\circ}C)}{q}$$
$$N = \frac{1 ^{\circ}C}{0,3125 ^{\circ}C}$$
$$N = 3,2 \cong 3$$

Luego la temperatura medida en el horno se compara con el primer setpoint de mí carta de tiempo (700 ° C), si es menor, se enciende las resistencias a través del pin (P40), si es mayor, damos inicio a la carta de tiempo correspondiente al primer paso y a su vez se activa el contador 0, incrementando su valor cada un minuto hasta que llegue al valor de tiempo en minutos que se le introdujo en el XGT, que no es más que el tiempo en el cual la temperatura 1 llega a la temperatura 2, luego se activa la salida de ese contador y este le da inicio al contador del segundo paso y así sucesivamente hasta llegar al paso 5.

Después se compara la temperatura 2 y la temperatura 1 para saber si es una rampa (+), (-) o meseta según sea el caso.

Para saber el tiempo en el cual voy a disminuir o aumentar 1 ° C al setpoint (coeficiente) se divide el tiempo que dura el primer paso entre la diferencia de temperatura de ese paso, y de ese mismo modo se calcula para los pasos restantes ese coeficiente.

Cada vez que se inicie un paso nuevo la lámpara roja va a parpadear tres veces cada un segundo. Cuando se termina el último paso (paso 5), la lámpara roja va a parpadear tres veces cada un segundo y el Buzzer sonara tres veces cada un segundo. Si ocurre una falla de sensor se enciende la lámpara roja y el Buzzer.

Cuando se termina el proceso o se produce una falla de sensor se activa la marca M17 (reset), la cual me va a resetear todo el sistema, es decir, ponerlo en su estado inicial.

2.9 Valoración económica.

En cualquier trabajo o proyecto, es de vital importancia realizar un análisis Técnico-Económico para tener una idea de cuánto se va a gastar, a cobrar, o cuanto se ahorrará con la realización del mismo. A continuación se muestra la tabla 2.4 correspondiente a los gastos de los materiales de la inversión.

Tabla 2.4 Gastos de los materiales de la inversión.

#	DESCRIPCION	UM	CANT	Precio UNIT	Importe (CUC)
1	PLC Master-K 120 S K7M-DRT20U	u	1	321.2	321.20
2	Módulo analógico G7F-AD2A	u	1	321.2	321.20
3	Cable de programación RS-232	u	1	10	10.00
4	Relé de estado sólido SIRIUS 3RF55	u	4	115.23	460.92
5	Interruptor NSX250B TM-250D, 3P	u	1	291.29	291.29
6	Interruptor automático iC60N, 3p, 63A	u	4	18.00	72.00
7	Interruptor automático A9F74202, 2p, 2A	u	1	16.85	16.85
8	Transformador ABL6TS06U, 63VA	u	1	35.64	35.64
9	Fuente de alimentación ABL8MEN24012	u	1	70.75	70.75
10	Baliza (dos leds+buzzer)	u	1	52.73	52.73
11	Botón- pulsador	u	4	6.1	24.40
12	Cable 4AWG	m	300	3.12	936.00
13	Cable 18AWG	m	100	0.17	17.00
14	Panel XGT	u	1	255	255.00
	TOTAL				2884.98

Para la realización de este trabajo la empresa CEDAI empleará dos hombres, en un período de 15 días de trabajo, cobrando 1085,4 CUC más 12550 CUP. Por tanto, el proyecto de manera general tendrá un costo de 4472,38 CUC (pesos convertibles).

El resultado del costo económico por interrupción en seis jornadas laborales, donde se dejan de producir 2520 unidades de limas, equivalentes a 6426,30 CUP (pesos en moneda nacional). Por consiguiente, en un período de trabajo de 54 jornadas laborales (equivalente a 18 días), se ingresa a la empresa un total aproximado de 115 668 CUP, con lo que se amortiza la inversión inicial.

Conclusiones parciales.

1. En este capítulo se seleccionaron los componentes que hicieron posible el diseño del sistema de automatización.
2. Se ofrece la estrategia de control utilizada.
3. Se explica el funcionamiento del sistema de automatización propuesto y se realiza el esquema eléctrico correspondiente.
4. Se obtuvo la programación del PLC del subproceso de recocido del acero.
5. Finalmente se realizó una valoración económica de la propuesta.

CONCLUSIONES GENERALES.

Con el presente trabajo se ha obtenido una solución factible desde el punto de vista técnico y económico a las deficiencias tecnológicas y operacionales del sistema, consistente en:

1. Se proponen soluciones tecnológicas a los problemas existentes mediante la programación del Autómata en lenguaje de contactos (LD), asequible para que el personal calificado de la empresa pueda operar el mismo sin necesidad de contratar ese servicio y sin que se detenga la producción.
2. La instrumentación instalada garantiza el correcto funcionamiento del lazo de control de la temperatura, solucionando los problemas que dieron origen a este estudio, con lo cual se valida la hipótesis del trabajo.

RECOMENDACIONES.

A pesar de que este trabajo da la solución al problema de la investigación actual de la Empresa, es prudente realizar las siguientes recomendaciones en aras de ampliar el espectro de las soluciones factibles.

1. Realizar en proyecciones futuras la supervisión, control y adquisición de datos del sistema de automatización.
2. Implementar otros tipos de control, como: control PID, control utilizando lógica difusa o sistema de control distribuido.
3. Mejorar la eficiencia energética de la planta, sustituyendo las actuales resistencias por otras de menos consumo.

BIBLIOGRAFÍA.

- [1] Hernández, Roberto. Metodología de la Investigación. Ed. Félix Varela. La Habana, 2003.
- [2] Benitez, I y Villafruela, L."Sistemas para redes locales de automatización industrial". UO, 2001.
- [3] LG Programmable Logic Controller: MASTERK-120S Series. User"s Manual.
- [4] Data Sheet User"s Manual LG Programmable Logic Controller MASTERK-120S Series. LG Industrial Systems.
- [5] Loyola Zubia, Iban. "Curso Básico de Autómatas Programables". Autómatas Programables. [en línea]. Grupo Tecnológico Maser; 2012.
- [5] Lewis, R.W., "Programming industrial control systems using IEC 1131-3". IEE Control Engineering Series 50. United Kingdom, 1998.
- [7] Data Sheet User"s Manual LG Programmable Logic Controller XGT Panel Series. LG Industrial Systems. PDF.
- [8] User Manual: "MASTER-K120S Instructions & Programming." I.Systems, LG 2008.
- [9] User Manual: "KGL for Windows. Master K- Series", LG, 2010.
- [10] Colectivos de autores. "Tratamientos térmicos", 2014.
- [11] Guille, M. "Automátas Programables. Arquitectura y aplicaciones",2010.
- [12] Acedo, J. "Control Avanzado de Procesos",2003.
- [13] Revista Electrónica Unicrom. "Historia del Controlador Lógico Programable". [en línea]; Julio 2013.<www.unicrom.com/art_historia_PLC.asp.

Sitios en INTERNET visitados el 22-3-2016:

<http://www.herrera.unt.edu.ar/eiipc/material/apuntes/Automatas%20Programables.pdf>

<http://www.lsis.com.mx>

<http://www.xa.yimg.com/kq/groups/21282826/451038252/name/funcionamientodereles1.pdf>.

ANEXOS.

Anexo 1. Características del Master – K120S.

LS Industrial Systems – 58

CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC), SERIE MASTER-K 120

PRODUCTO A PEDIDO

- Máximas E/S: 20-120 puntos.
- Tiempo proceso: 0,1 ~ 0,9 seg./paso.
- Capacidad programa: 10 kpasos.
- Expansible, con un máximo de tres módulos.
- Alimentación: 100-220 Vca (50-60 Hz.), 24 Vcc.
- Comunicación: Comunicaciones RS232 y RS485 (2 canales incorporados).



- Notas:**
- Software de programación, KGL-WIN para Windows 95/98/NT/2000/XP, incluido con suministro.
 - Consultar por otros tipos de módulos.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Modelo		K7M-DR20U	K7M-DR30U	K7M-DR40U	K7M-DR60U	
		K7M-DRT20U	K7M-DRT30U	K7M-DRT40U	K7M-DRT60U	
Número Instrucciones	Básicas	30				
	Aplicación	277				
Velocidad de procesamiento		Comandos básicos: 0,1 µseg/paso				
Capacidad Programa		10 kpasos				
Entradas / Salidas		20 puntos	30 puntos	40 puntos	60 puntos	
Dispositivo de memoria	P (relés E/S)	P000 ~ P63F				
	M (auxiliares)	M000 ~ M191F				
	K (retenidos)	K000 ~ K31F				
	L (enlace)	L000 ~ L63F				
	F (especiales)	F000 ~ F63F				
	T (temporizadores)	100 ms: T000 ~ T191 / 10 ms: T192 ~ T250 / 1 ms: T251 ~ T255				
	C (contadores)	C000 ~ C255				
	S (posicionamiento)	S00.00 ~ S99.99 (100 x 100 pasos)				
	D (registro de inf.)	D0000 ~ D4999				
Funciones incluidas	PID		Control por comando, auto-sintonización, salida PWM, salida forzada, función delta MV, función SV-Lamp.			
	Comunicaciones (Cnet)		Incluye 1 puerto RS232 y 1 puerto RS485. Protocolo Master-K dedicado, Modbus, definido por el usuario, sin protocolo.			
	Contador rápido	Capacidad	1 fase: 100 kHz 2 Ch / 20 kHz. 2 Ch 2 fases: 50 kHz 1 Ch / 10 kHz 1 Ch.			
	Funciones de posicionamiento (solo modelos DRT)	Funciones básicas		Nº ejes: 2 Método de control: punto a punto / velocidad Unidad control: Pulso Datos posicionamiento: 20 datos por eje Modo operación: End, keep, Cont.		
		Posicionamiento		Método posicionamiento: Absoluto / incremental Aceleración / desaceleración (patrón operación trapezoidal)		
		Retorno origen		Detección de origen cuando se aproxima.		
	JOG		Rango de velocidad: 5 ~ 100000 pps (high/low)			
	Captura de pulsos		Ancho pulso: 10 µseg 2 puntos / 50 µseg 6 puntos			
	Interrupción externa		8 puntos: 10 µseg 2 puntos / 50 µseg 6 puntos			
	Filtros de entrada		0, 1, 2, 5, 10, 50, 100, 200, 500, 1000 mseg ajustable por usuario			
Extensiones	E/S digitales		Máx. 3 módulos			

Anexo 2. Características del módulo analógico G7F-AD2A.

Item		A/D · D/A Hybrid module		A/D Module	
		G7F-ADHA	G7F-ADHB	G7F-AD2A	
Analog input	Input range	Voltage	DC 0~10V (input resistance: more than 1M Ω)		
		Current	DC 0~20mA (input resistance 250 Ω) DC 4~20mA (input resistance 250 Ω) Classified by parameter		
	Digital output	12 bits (0~4,000)			
	Voltage/current selection		Set by jumper pin for V/I selection upper part of product (Up: V, Down: I)	Set by dip S/W for V/I selection on left side of product (left: V, Right: I)	Set by input terminal (When current input is used, short the V and I terminal)
		V/I selected by KGLWIN parameter Short the V and I terminal when current input is used.			
	No. of channel	2Ch/module		4Ch/module	
	Absolute max. input	V	DC +12V		DC \pm 15V
I		DC +24mA		DC +25mA	
Analog output	Output range	V	DC 0~10V (External load resistance 2k Ω ~1M Ω)		
		I	DC 4~20mA (External load resistance 510 Ω) Classified by parameter		
	Digital input	12 bits (0~4,000)			
	Voltage/current selection	Separated from terminal			
	No. of channel	1Ch/module	2Ch/module		
	Absolute max. output	V	DC +12V		
		I	DC +24mA		
Common	Max. resolution	V	DC 0~10V: 2.5mV (1/4000)		
		I	DC 0~20mA: 5 μ A (1/4000)		
			DC 4~20mA: 6.25 μ A (1/3200)		
	Accuracy	\pm 0.5% (full scale)			
	Max. conversion speed	1ms/Ch+ scan time			
	Connect terminal	9 points 2 terminals	8 points 2 terminals	2 points/16 points terminals	
	Internal current consumption	20mA	20mA	100mA	
	External power supply	V	DC 21.6~26.4V		
		I	80mA	95mA	100mA
	Weight	240g	180g	300g	

Anexo 3. Características del relé de estado sólido SIRIUS 3RF55.

Siemens AG	Low-Voltage Controls and Distribution	Data Sheet
SIRIUS 3RF22..-AC. Zero-point Switching 3-phase Solid State Relays		

Main Characteristics:

3-phase control
 Space-saving, width of only 45 mm
 LED display
 Various connection technologies
 Plug-in control terminal
 Degree of protection IP 20



Standards / Approvals:

DIN EN 60947-4-3
 UL 508 / CSA¹
 CE / C-Tick

Ordering Key:

3RF22 Solid state relay without heat sink	30 Max. load current 30 = 30 A 55 = 55 A	- 1 Connection technology 1 = Screw connection 2 = Spring-loaded 3 = Ring cable connection M5	A Switching function A = Zero-point switching	C Controlled phases C = 3-phase	4 Control voltage 3 = 110 VAC 4 = 4 - 30 VDC	5 Operating voltage 5 = 48 - 600 V
---	--	--	--	--	--	---

Not all possible versions are available ex stock.

Main Circuit²:

Type	I _{max}		I _e IEC 947-4-3		I _e UL/CSA		Power loss With I _{max} W	Min. load current A	Max. leakage current mA
	A	With R _{thha} / 40 °C	A	With R _{thha} / 40 °C	A	With R _{thha} / 50 °C			
3RF2230-. .	30	0,33 K/W	30	0,33 K/W	30	0,25 K/W	122	0,5	10
3RF2230-2.			20	0,86 K/W	20	0,72 K/W			
3RF2255-. .	55	0,09 K/W	55	0,09 K/W	55	0,05 K/W	226		
3RF2255-2.			20	1,19 K/W	20	1,02 K/W			

Type		3RF22..- . AC . 5
Rated operating voltage U _e	V	48 ... 600
• Voltage range	V	40 ... 660
• Rated frequency	Hz	50/60 ± 10 %
Rated insulation voltage U _i	V	600
Rated impulse withstand voltage U _{imp}	kV	6
Blocking voltage	V	1200
Slew rate	V/μs	1000

Type	Rated impulse withstand strength I _{tsm} A	I ² t value A ² s
3RF2230-. .	300	450
3RF2255-. .	600	1800

Control Circuit A1-A2:

Type		3RF22..- . AC 3.	3RF22..- . AC 4.
Control voltage U _s	V	AC 110	DC 4 ... 30
Max. control voltage U _s	V	121	30
Typical operating current	mA	15	30
Response voltage	V	90	4
Drop-out voltage	V	< 40	1
Switching times ON delay	ms	40 + max. one half-wave	1 + max. one half-wave
OFF delay	ms	40 + max. one half-wave	1 + max. one half-wave

Anexo 4. Características del termopar.

Type of thermocouple	ANSI MC96.1				
	Class	Max deviation	Class	Max deviation	Cable colours
J (Fe-CuNi)	Standard	+/-2.2°C (0...293°C) +/-0.75% (293...750°C)	Special	+/-1.1°C (0...275°C) +/-0.4% (275...750°C)	+ black - red
K (NiCr-Ni)	Standard	+/-2.2°C (0...293°C) +/-0.75% (293...1250°C)	Special	+/-1.1°C (0...275°C) +/-0.4% (275...1250°C)	+ yellow - red

Ambient temperature (housing without head-mounted transmitter)

- metal housings -40÷130°C
- plastic housings -40÷85°C

Ambient temperature (housing with head-mounted transmitter)

-40÷85°C

Ambient temperature (housing with display)

-20÷70°C

Process temperature

It is restricted by the thermowell material:

- SS 316L/1.4404 < 600°C
- SS 316Ti/1.4571 < 800°C
- Hastelloy® C276/2.4819 and Inconel 600®/2.4816 < 1100°C.

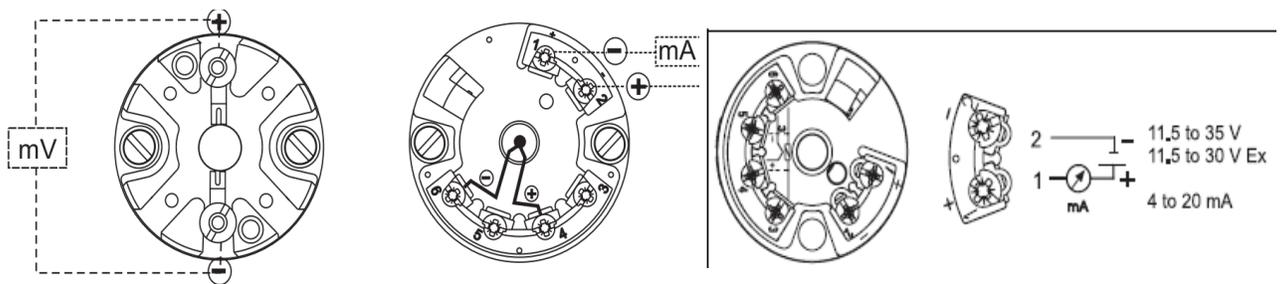
The head-mounted transmitters available are (also refer to the section "Electronics"):

- TMT 181 PCP 4...20 mA
- TMT 182 Smart HART®
- TMT 184 PROFIBUS-PA®.

The TMT 181 is a PCP programmable transmitter (see fig. 6).

The TMT 182 output consists of 4...20 mA and HART® superimposed signals.

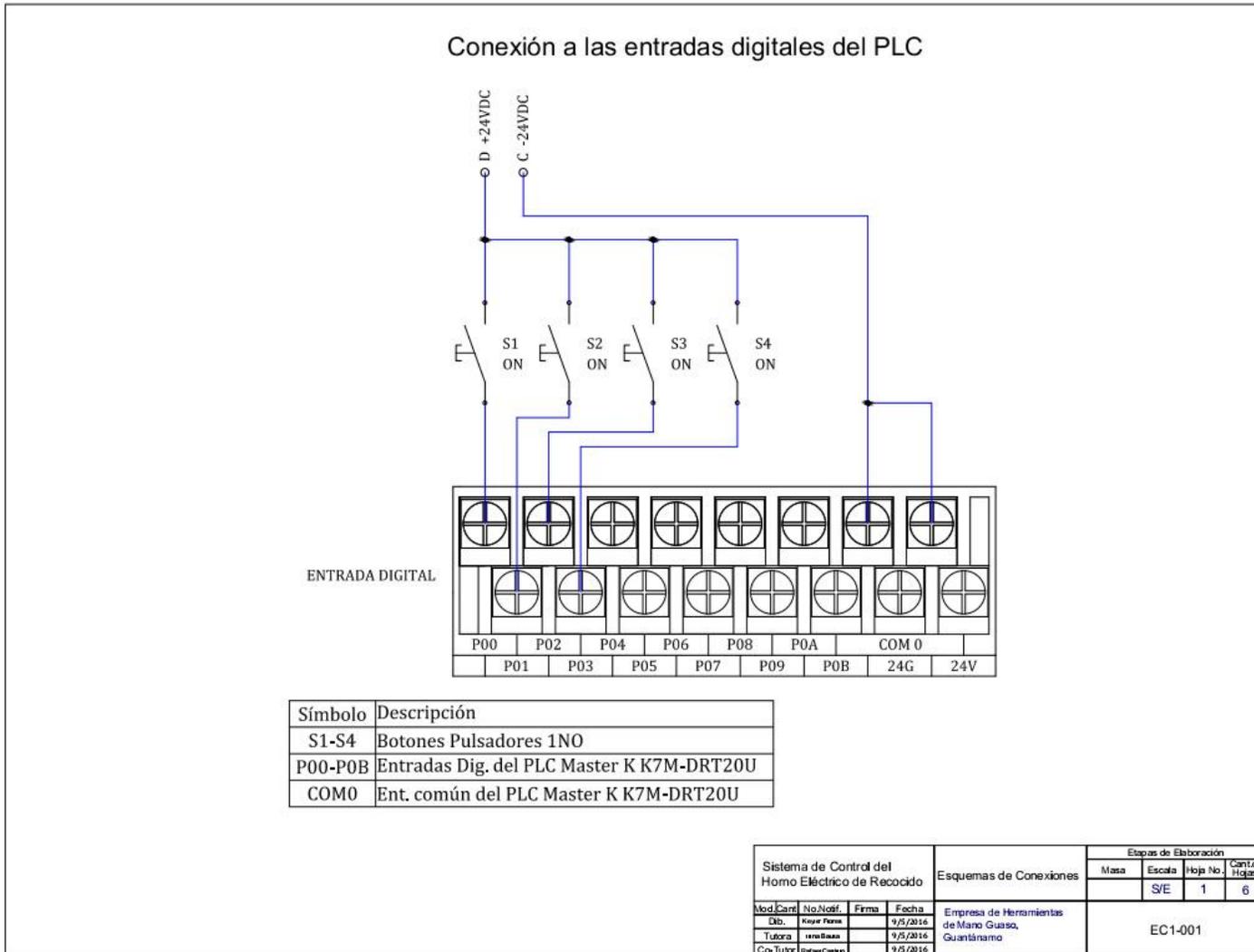
For the TMT 184 (see fig. 7), with PROFIBUS-PA® output signal, the communication address may be set via software or via mechanical dip-switch. The customer may specify the configuration desired during the order phase.

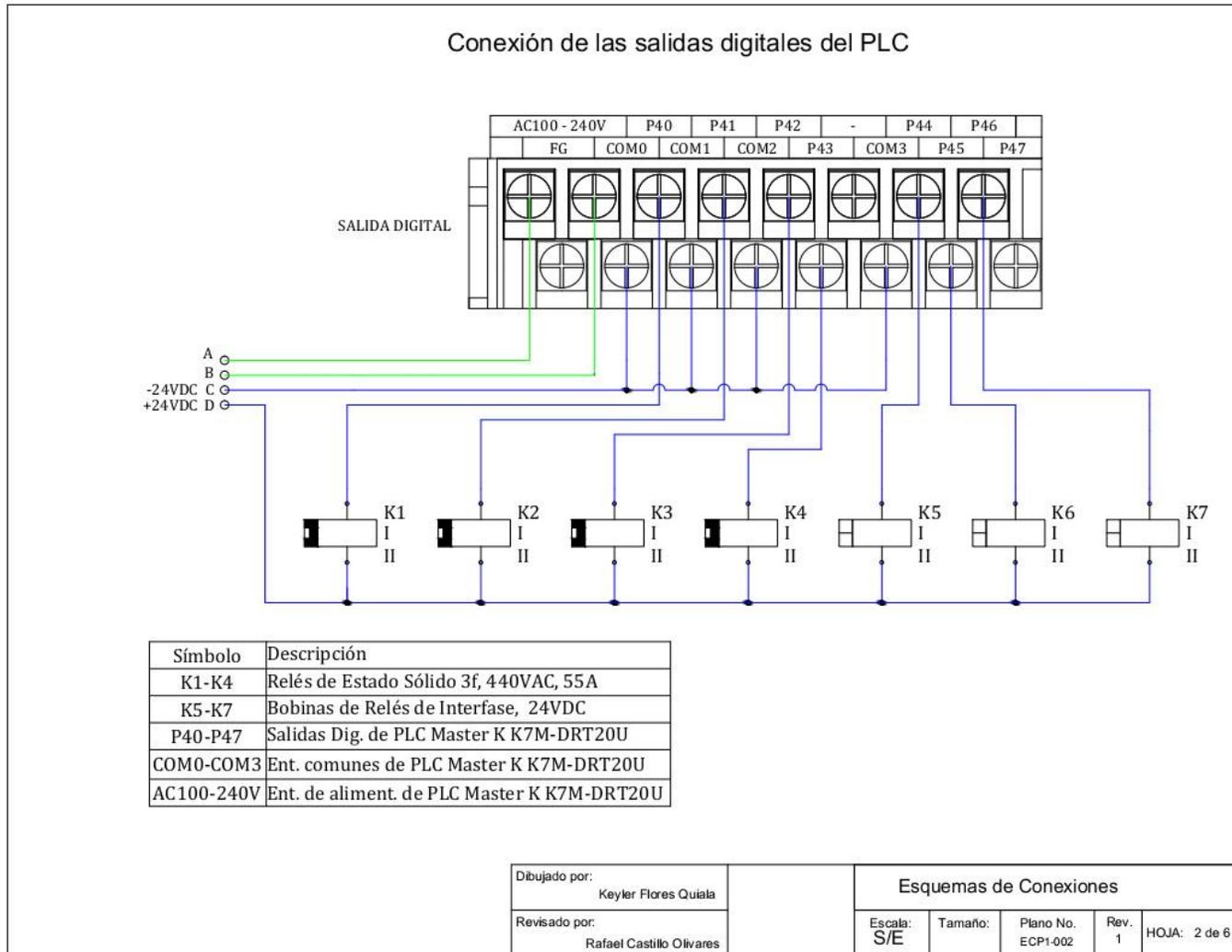


The measurement ranges defined in standards are shown in the following table:

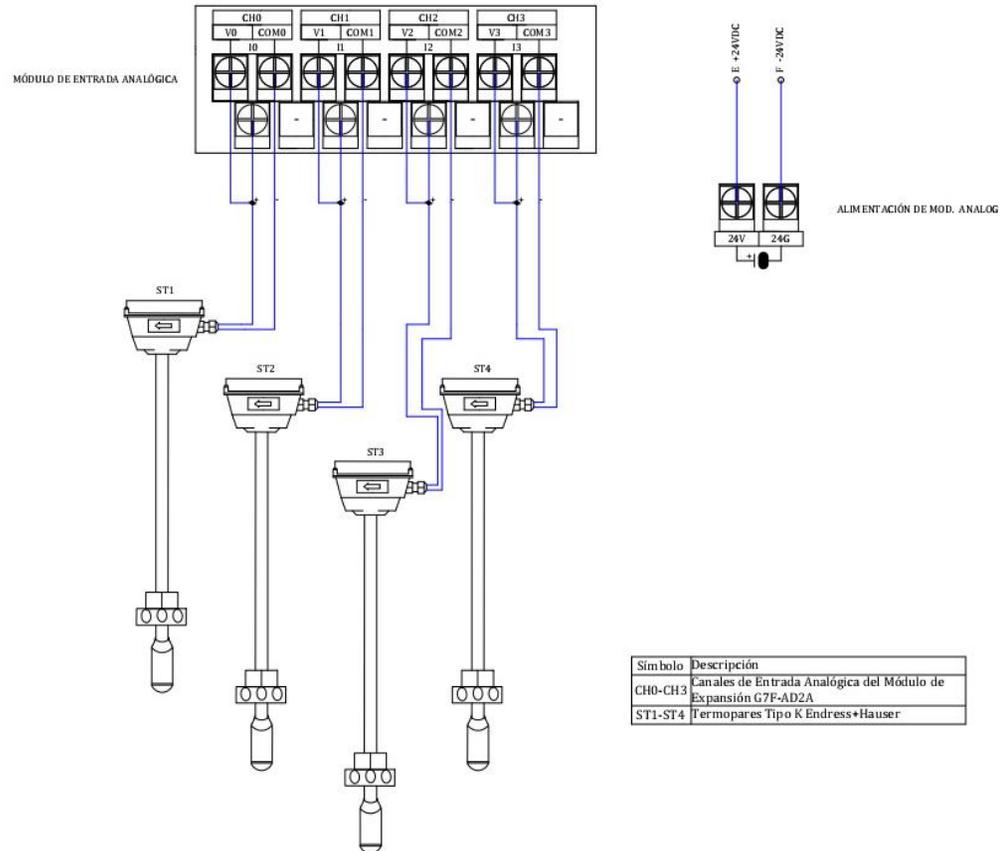
Type of thermocouple	DIN EN 60584	ANSI MC96.1
J	-40...750°C	0...750°C
K	-40...1200°C	0...1250°C

Anexo 5. Esquema eléctrico.



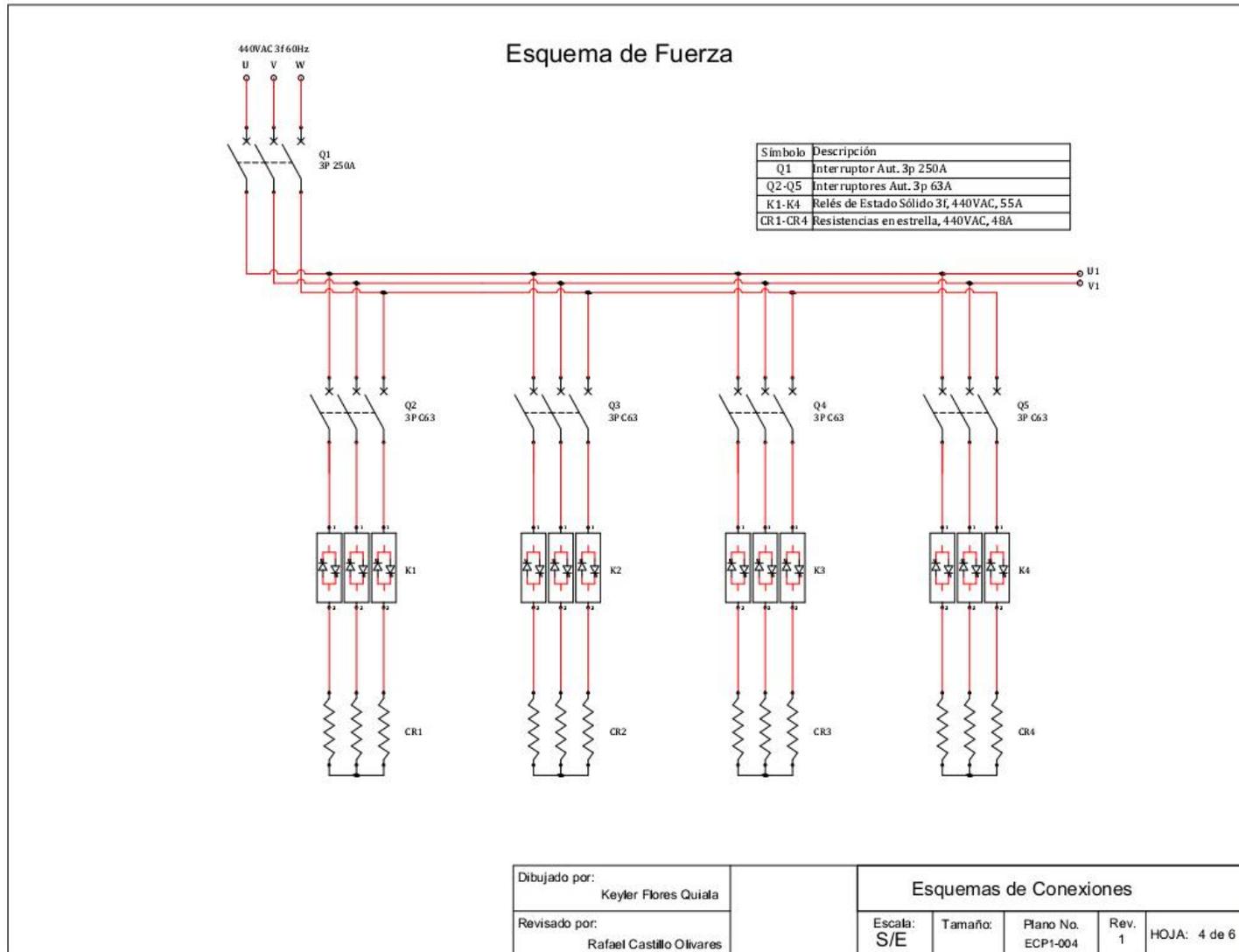


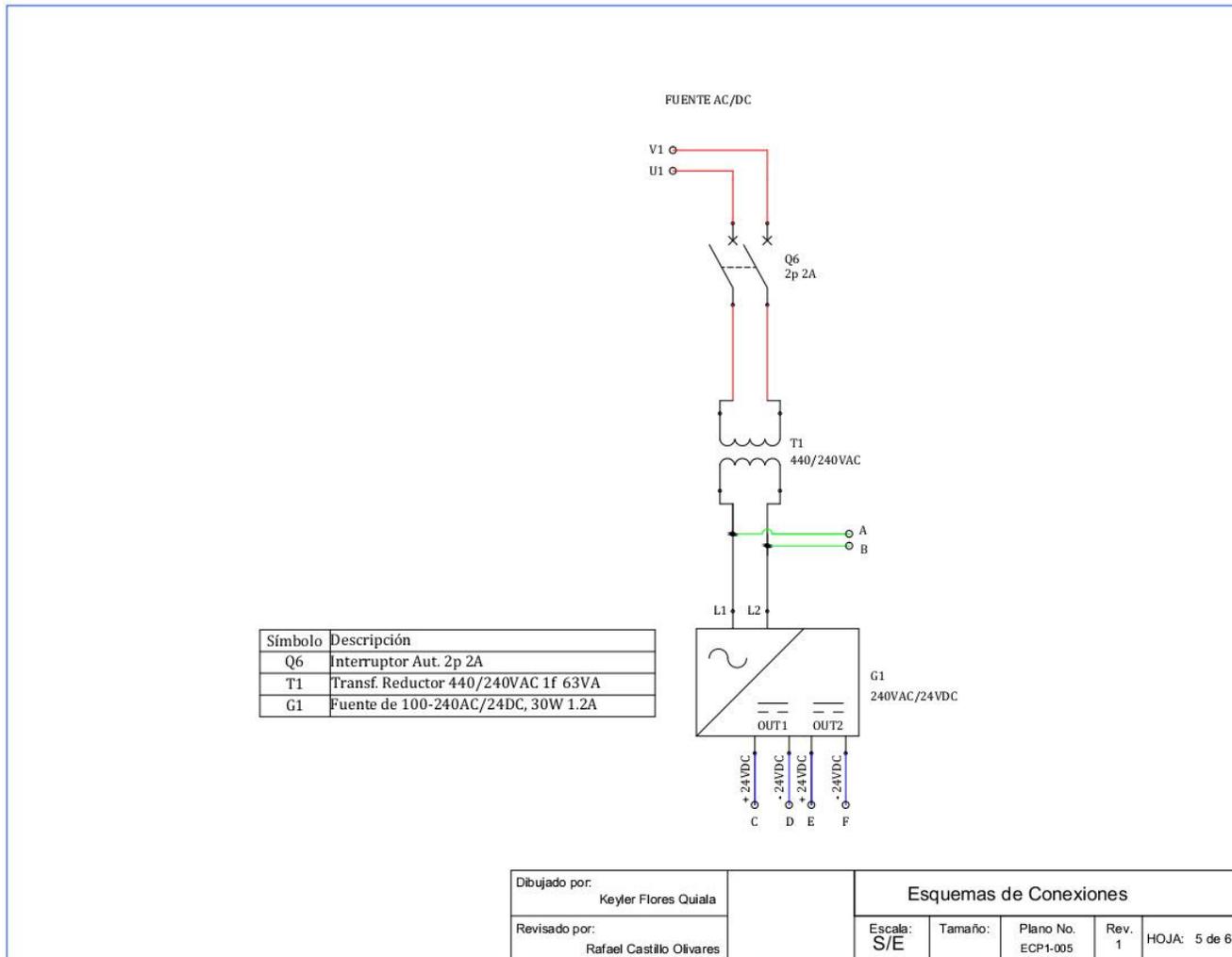
Conexión de las entradas analógicas del módulo de expansión y la fuente



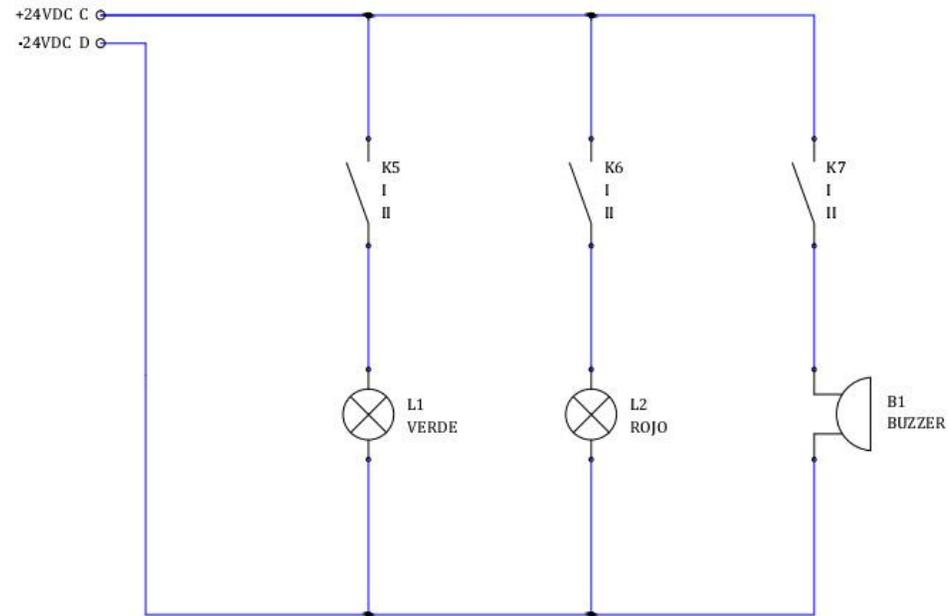
Símbolo	Descripción
CH0-CH3	Canales de Entrada Analógica del Módulo de Expansión G7F-AD2A
ST1-ST4	Termopares Tipo K Endress+Hauser

Dibujado por: Keyler Flores Quiala		Esquemas de Conexiones				
Revisado por: Rafael Castillo Olivares						Escala: S/E





Conexión de las señalizaciones



Símbolo	Descripción
K5-K7	Contacto NO de Relé de Interf Correspondiente
L1	Lámp. de Señalización Verde 24VDC
L2	Lámp. de Señalización Roja 24VDC
B1	Buzzer 24VDC

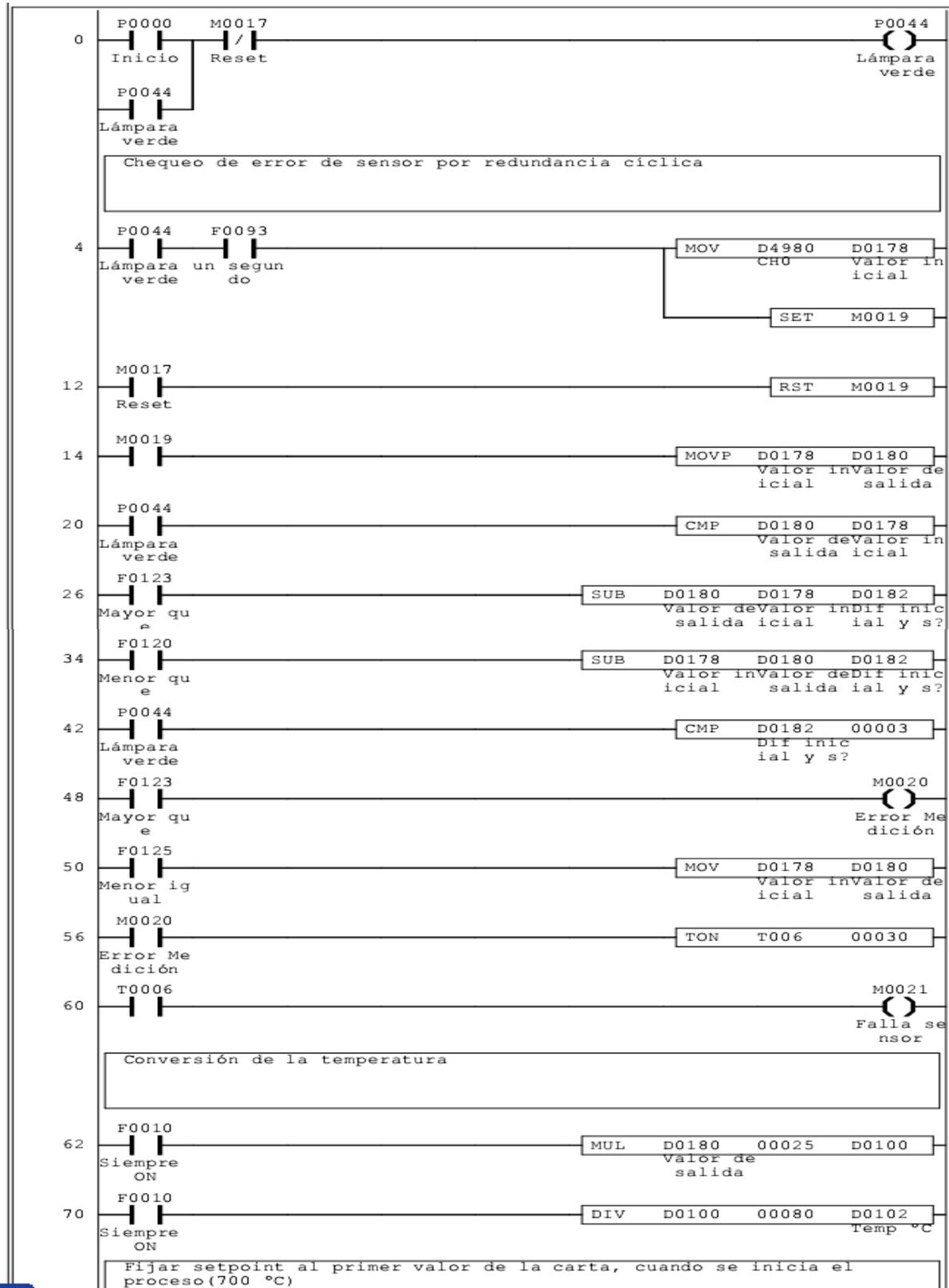
Dibujado por:
Keyler Flores Quijala

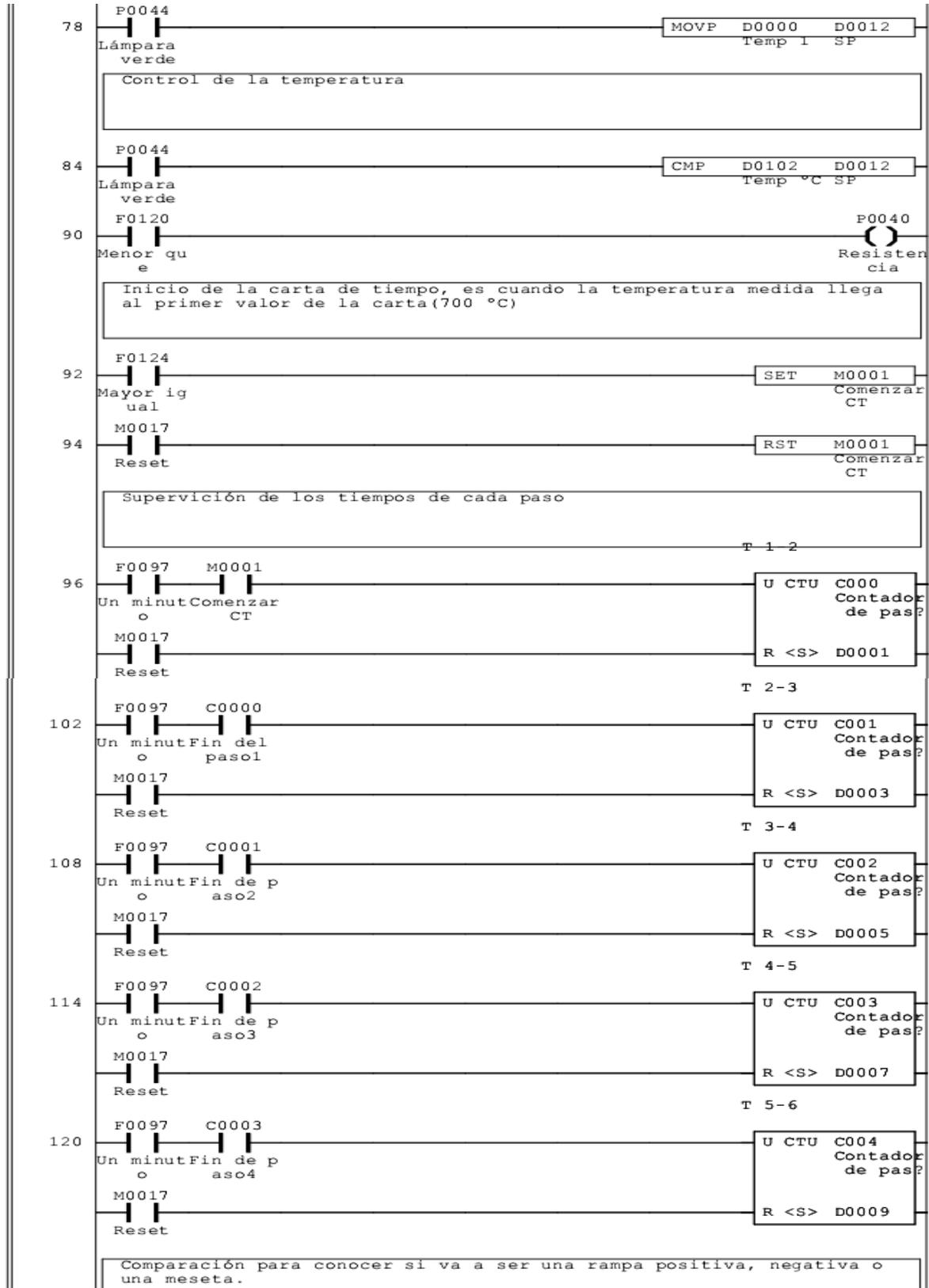
Revisado por:
Rafael Castillo Olivares

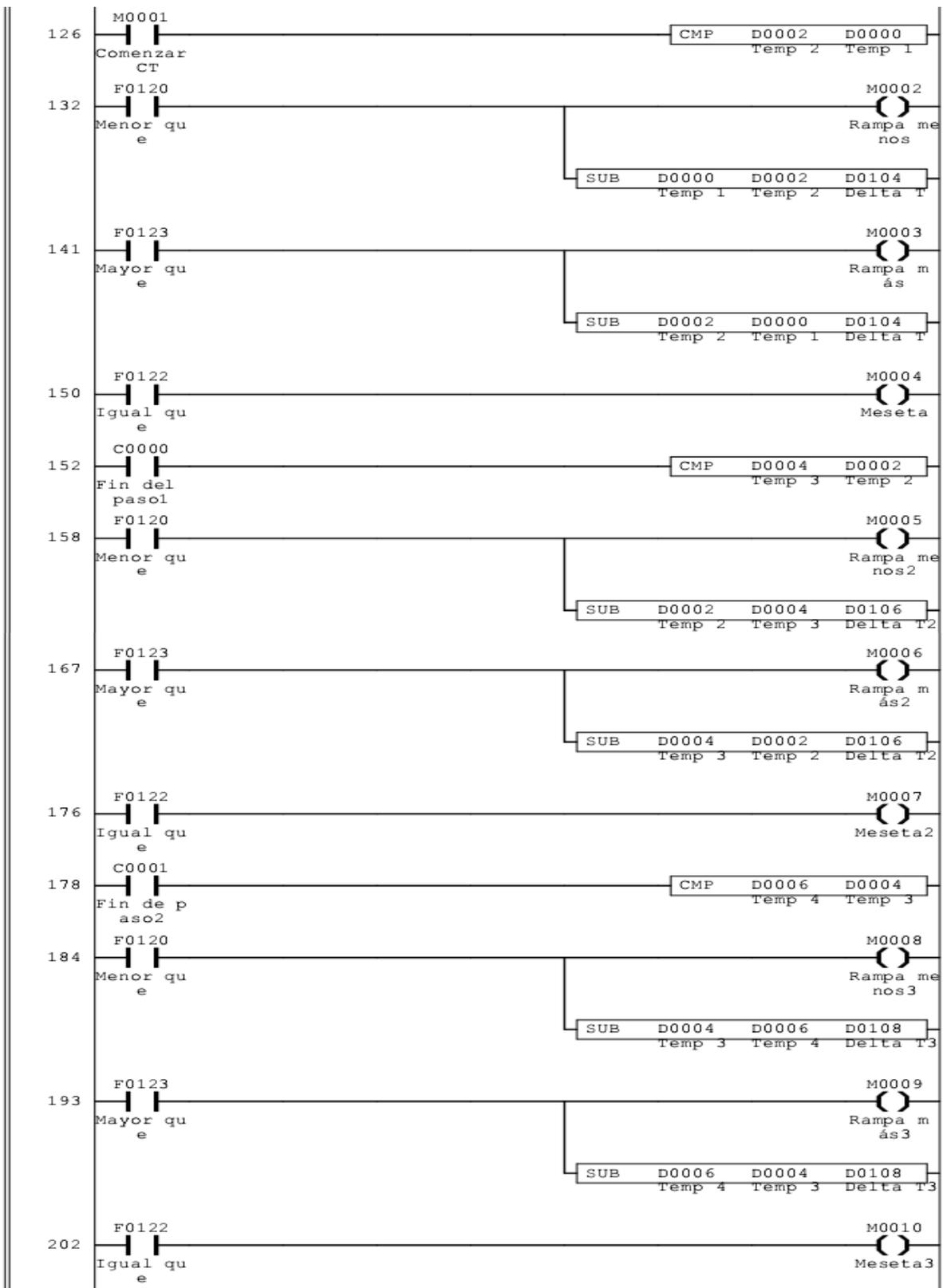
Esquemas de Conexiones

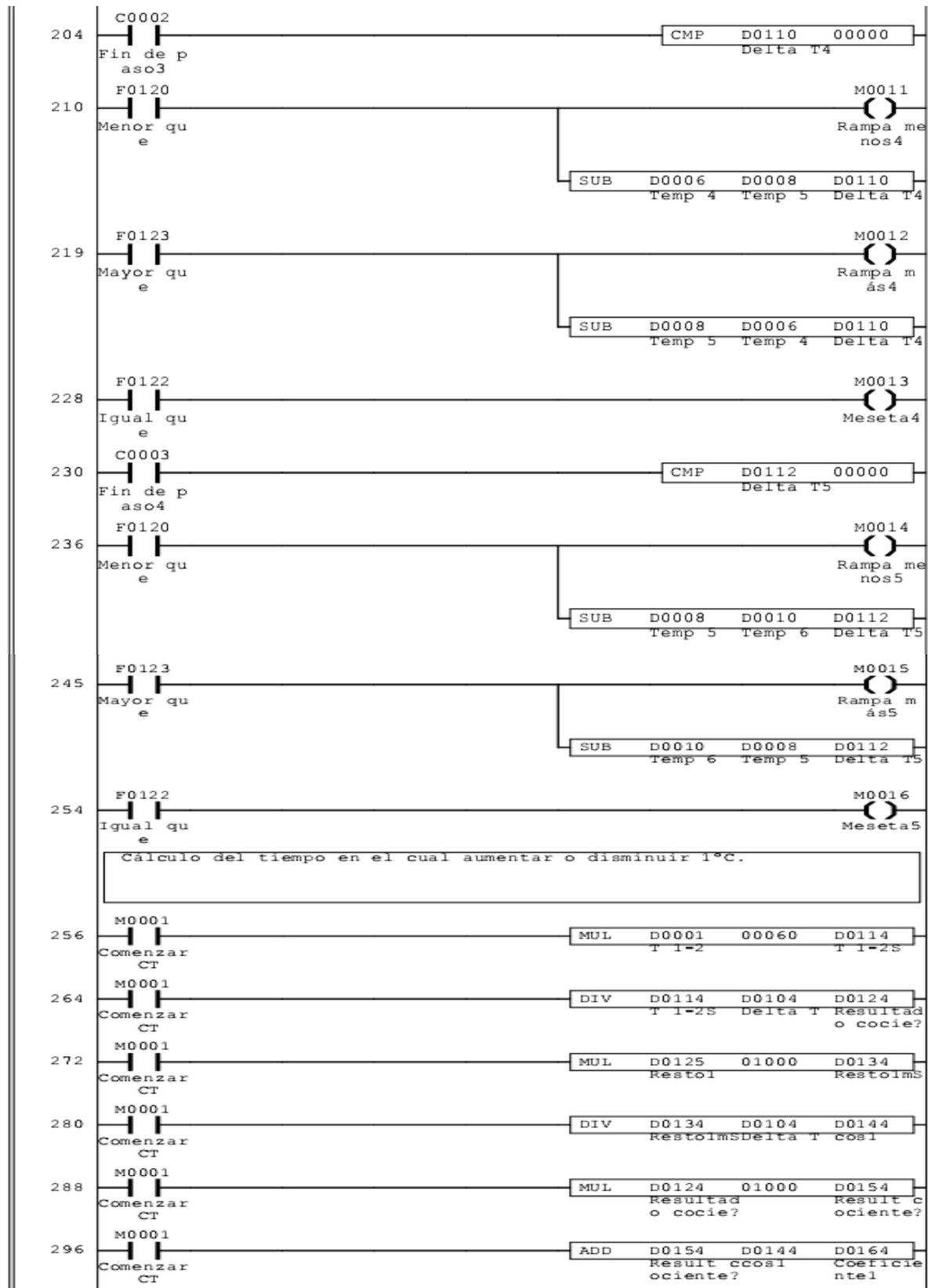
Escala: S/E	Tamaño:	Plano No. ECP1-006	Rev. 1	HOJA: 6 de 6
----------------	---------	-----------------------	-----------	--------------

Anexo 6. Programación del Autómata compatibles con la norma IEC-1131.









304	C0000	MUL	D0003	00060	D0116
	Fin del paso1		T 2-3		T 2-3S
312	C0000	DIV	D0116	D0106	D0126
	Fin del paso1		T 2-3S	Delta T2	Resultado o cocie?
320	C0000	MUL	D0127	01000	D0136
	Fin del paso1		Resto2		Resto2mS
328	C0000	DIV	D0136	D0106	D0146
	Fin del paso1		Resto2mS	Delta T2	cos2
336	C0000	MUL	D0126	01000	D0156
	Fin del paso1		Resultado o cocie?		Result c ociente?
344	C0000	ADD	D0156	D0146	D0166
	Fin del paso1		Result ccos2		Coficie nte2
352	C0001	MUL	D0005	00060	D0118
	Fin de p aso2		T 3-4		T 3-4S
360	C0001	DIV	D0118	D0108	D0128
	Fin de p aso2		T 3-4S	Delta T3	Resultado o cocie?
368	C0001	MUL	D0129	01000	D0138
	Fin de p aso2		Resto3		Resto3mS
376	C0001	DIV	D0138	D0108	D0148
	Fin de p aso2		Resto3mS	Delta T3	cos3
384	C0001	MUL	D0128	01000	D0158
	Fin de p aso2		Resultado o cocie?		Result c ociente?
392	C0001	ADD	D0158	D0148	D0168
	Fin de p aso2		Result ccos3		Coficie nte3
400	C0002	MUL	D0007	00060	D0120
	Fin de p aso3		T 4-5		T 4-5S
408	C0002	DIV	D0120	D0110	D0130
	Fin de p aso3		T 4-5S	Delta T4	Resultado o cocie?
416	C0002	MUL	D0131	01000	D0140
	Fin de p aso3		Resto4		Resto4mS
424	C0002	DIV	D0140	D0110	D0150
	Fin de p aso3		Resto4mS	Delta T4	cos4
432	C0002	MUL	D0130	01000	D0160
	Fin de p aso3		Resultado o cocie?		Result c ociente?
440	C0002	ADD	D0160	D0150	D0170
	Fin de p aso3		Result ccos4		Coficie nte4
448	C0003	MUL	D0009	00062	D0122
	Fin de p aso4		T 5-6		T 5-6S

