



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**ACTUALIZACIÓN DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE  
FABRICACIÓN DE HIDROTANQUES E INTEGRACIÓN DE CONTROLES AL  
SISTEMA HMI**

**Eduardo Andre Girón Dubois**

Asesorado por la Inga. Ingrid Rodríguez de Loukota

Guatemala, abril de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ACTUALIZACIÓN DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE  
FABRICACIÓN DE HIDROTANQUES E INTEGRACIÓN DE CONTROLES AL  
SISTEMA HMI**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**EDUARDO ANDRE GIRÓN DUBOIS**

ASESORADO POR LA INGA. INGRID RODRÍGUEZ DE LOUKOTA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA**

GUATEMALA, ABRIL DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
EXAMINADORA	Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota
EXAMINADOR	Ing. José Aníbal Silva de los Ángeles
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **ACTUALIZACIÓN DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE HIDROTANQUES E INTEGRACIÓN DE CONTROLES AL SISTEMA HMI**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 19 de octubre de 2016.

**Eduardo Andre Girón Dubois**

Guatemala 14 de marzo de 2017

Ingeniero  
Carlos Eduardo Guzmán Salazar  
Coordinador del Área de Electrónica  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Estimado Ingeniero Guzmán.

Me permito dar aprobación al trabajo de graduación titular: **"Actualización de sistema de automatización del proceso de fabricación de hidrotanques e integración de controles al sistema HMI"**, del señor Eduardo André Girón Dubois, por considerar que cumple con los requisitos establecidos.

Por tanto, el autor de este trabajo de graduación y, yo, como su asesora, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, me es grato saludarle.

Atentamente,



Inga. Ingrid Rodríguez de Loukota  
Colegiada 5,356  
Asesora

Ingrid Rodríguez de Loukota  
Ingeniera en Electrónica  
colegiado 5356



REF. EIME 12. 2017.  
Guatemala, 22 de MARZO 2017.

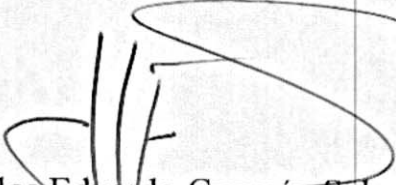
Señor Director  
Ing. Francisco Javier González López  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
**ACTUALIZACIÓN DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DEL  
PROCESO DE FABRICACIÓN DE HIDROTANQUES E  
INTEGRACIÓN DE CONTROLES AL SISTEMA HMI,** del  
estudiante **Eduardo André Girón Dubois,** que cumple con los  
requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing Carlos Eduardo Guzmán Salazar  
Coordinador Area Electrónica



S/O



REF. EIME 12. 2017.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante: **EDUARDO ANDRÉ GIRÓN DUBOIS** Titulado: **ACTUALIZACIÓN DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE HIDROTANQUES E INTEGRACIÓN DE CONTROLES AL SISTEMA HMI**, procede a la autorización del mismo.

  
Ing. Francisco Javier González López



GUATEMALA, 27 DE MARZO 2017.

Universidad de San Carlos  
De Guatemala



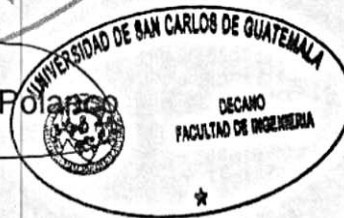
Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.D.164.2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica al trabajo de graduación titulado: **ACTUALIZACIÓN DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE HIDROTANQUES E INTEGRACIÓN DE CONTROLES AL SISTEMA HMI**, presentado por el estudiante universitario: **Eduardo Andre Girón Dubois**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

9/4/17  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Forero  
Decano



Guatemala, abril de 2017

/cc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Por haberme encontrado y haberme hecho su hijo y permitirme ser parte de su pueblo elegido y, por ende, realizar todos mis objetivos de bien.

### **Mi madre**

Ana Mariela Girón Dubois por hacer todo en la vida para que yo logre mis sueños, por empujarme a ser mejor persona todos los días, por nunca dejar de confiar en mí. Por hacerme un hombre de bien, con valores, con disciplina, por ser quien me acercó a Dios y por su esfuerzo inigualable ante las adversidades.

### **Mi hermana**

Mariella Julissa Carrillo Girón por su dulzura, motivación, por darme su hombro en muchos momentos difíciles, por darme ejemplo de actitud y por su esfuerzo y dedicación.

### **Mi abuela**

Violetta de Lourdes por ser el pilar de ejemplo de lo que es bueno y malo, por su increíble esfuerzo y ejemplo de valentía, por enseñarme los valores que hacen fuerte a nuestra familia, por nunca desfallecer y hacer frente a cualquier adversidad, por enseñarme que todo en la vida es posible de la mano de Dios.

**Mi padre**

Julio Cesar Carrillo Yela por enseñarme a trabajar y lo que se necesita para triunfar en la vida, por su cariño, comprensión, dedicación y por siempre enseñarme que todo en la vida merece un esfuerzo y dedicación extra para poder llegar a ser alguien, por confiar en mí.

**Mi novia**

Estefany Gabriela Díaz Álvarez, porque es quien me inspira a continuar, quien me alienta a seguir, quien me cuida en mis momentos difíciles, me aconseja sobre cómo afrontar los problemas, por ser mi consuelo, por guiarme siempre al bien, por permanecer a mi lado siempre, por enseñarme a nunca caer y siempre aprender de mis errores, por ayudarme a superarme en todo aspecto y por amarme tanto.

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por formar parte de mi caminar hacia la profesionalización, por ayudarme a cumplir mis metas, por enseñarme lo que ahora sé.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

- Dios** Por hacerme su hijo y regalarme la vida eterna.
- Ana Mariela Girón Dubois** Por ser una madre ejemplar, amiga, confidente, una gran apoyo, guía en mi vida y ejemplo de excelentes valores.
- Ing. Julio Carrillo** Por revelarme el arte del trabajo en su mejor esplendor, por ejemplo de trabajo, líder positivo, dedicación, disciplina, esfuerzo y por ser quien me enseñó cómo emprender un sueño.
- Licda. Estefany Díaz** Por ser la novia que todos desearían tener, por siempre estar a mi lado y amarme tanto.
- Inga. Ingrid de Loukota** Por su apoyo a lo largo de mi carrera, por ser uno de los cinco mejores ingenieros de los cuales más aprendí y quien me enseñó más allá de una simple materia, me enseñó el arte de ser un buen líder y por su apoyo en la elaboración de mi trabajo de graduación.
- Universidad de San Carlos de Guatemala** Por ser la cuna de mis conocimientos académicos y por formarme como futuro profesional.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XI
GLOSARIO .....	XIII
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN .....	XXIII
1. AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL .....	1
1.1. Definición.....	2
1.2. Sensores .....	3
1.2.1. Definición .....	3
1.3. Sistema actuador.....	3
1.3.1. Definición .....	4
1.4. Controlador lógico programable (PLC) .....	4
1.4.1. Historia.....	5
1.4.2. Definición .....	6
1.4.3. Evolución de sistemas de control.....	6
1.4.4. Ventajas y desventajas .....	9
1.4.5. Funciones básicas de un PLC .....	10
1.4.6. Estructura y funcionamiento de un PLC.....	10
1.4.6.1. Fuente de alimentación .....	12
1.4.6.2. Unidad central de proceso .....	12
1.4.6.3. Módulos de entradas y salidas .....	12
1.4.6.4. Entradas .....	13
1.4.6.5. Salidas .....	14

1.4.6.6.	Direccionamiento.....	16
1.4.6.7.	Memorias.....	16
1.4.6.8.	Memorias internas.....	17
1.4.6.8.1.	Área de imágenes de entrada / salida y área interna (IR) .....	17
1.4.6.8.2.	Área especial (SR) .....	17
1.4.6.8.3.	Área auxiliar (AR).....	17
1.4.6.8.4.	Área de enlace (LR) .....	18
1.4.6.8.5.	Área de retención (HR) .....	18
1.4.6.8.6.	Área de temporizadores y contadores (TIM/CNT)....	18
1.4.6.8.7.	Área de datos (DM) .....	18
1.4.6.9.	Unidad de programación .....	19
1.4.7.	Ciclo de funcionamiento .....	19
1.4.8.	Proceso inicial .....	19
1.4.9.	Ciclo de operación.....	20
1.4.9.1.	Proceso común .....	20
1.4.9.2.	Ejecución del programa.....	21
1.4.9.3.	Servicio a periféricos .....	22
1.4.10.	Campos de aplicación .....	22
1.4.11.	Programación básica.....	23
1.4.11.1.	Instrucciones lógicas .....	23
1.4.11.1.1.	LD ( <i>Load</i> ) y LD NOT ( <i>Load Not</i> ) .....	24
1.4.11.1.2.	OUT y OUT NOT.....	25
1.4.11.1.3.	AND (Función Y) contactos en serie .....	26

	1.4.11.1.4.	OR (Función O) contactos en paralelo .....	26
	1.4.11.2.	Enclavamientos .....	26
	1.4.11.2.1.	Con instrucciones lógicas .....	26
	1.4.11.2.2.	Instrucción mantener KEEP(11).....	27
	1.4.11.2.3.	Funciones SET y RSET....	28
	1.4.11.3.	Flancos .....	28
	1.4.11.3.1.	Flanco ascendente DIFU (13) .....	29
	1.4.11.3.2.	Flanco descendente DIFD(14).....	29
	1.4.11.4.	Temporizadores y contadores .....	30
	1.4.11.4.1.	Temporizadores TIM .....	30
	1.4.11.4.2.	Contadores CNT.....	30
1.5.		Interfaz hombre-máquina (HMI).....	31
	1.5.1.	Historia.....	32
	1.5.2.	Tipos de HMI.....	33
	1.5.2.1.	Paquetes enlatados HMI.....	33
	1.5.2.2.	Desarrollados a medida.....	33
	1.5.3.	Funciones de un software HMI .....	33
	1.5.3.1.	Monitoreo.....	34
	1.5.3.2.	Supervisión .....	34
	1.5.3.3.	Alarmas.....	34
	1.5.3.4.	Control .....	34
	1.5.3.5.	Históricos .....	35
	1.5.4.	Tareas de un software de supervisión y control.....	35
	1.5.5.	Base de datos .....	36

1.5.6.	Driver .....	36
1.6.	Proceso de rotomoldeo .....	36
1.6.1.	Definición del proceso .....	37
2.	DISEÑO DE HARDWARE DEL SISTEMA DE CONTROL .....	39
2.1.	Familia de CPU CP1H.....	39
2.1.1.	Modelos de CPU .....	40
2.1.2.	Unidades opcionales .....	41
2.1.3.	Consumo .....	41
2.1.4.	Controlador programable CP1H-X.....	42
2.1.4.1.	CP1H-X40DR-A .....	42
2.1.4.1.1.	Características técnicas del PLC .....	43
2.1.4.1.2.	Comunicación en serie.....	45
2.1.4.1.3.	Mejoras relativas al PLC anterior.....	46
2.1.4.1.4.	Ventajas de este equipo....	48
2.2.	Interfaz hombre-máquina NS5 .....	49
2.2.1.	Objetivos del cambio de HMI.....	50
2.2.2.	Diseño de la interfaz hombre-máquina.....	51
2.2.3.	Características técnicas.....	51
2.2.4.	Mejoras relativas a la HMI anterior .....	53
2.2.5.	Ventajas del HMI por utilizar .....	53
2.3.	Panel de control .....	54
2.3.1.	Dimensionamiento del panel de control.....	54
2.3.1.1.	Medidas de equipos por utilizar .....	55
2.3.1.1.1.	Medidas PLC.....	55
2.3.1.1.2.	Medidas fuente de alimentación .....	55

	2.3.1.1.3.	Medidas de unidad de expansión .....	56
	2.3.1.1.4.	Medidas de relés de control.....	57
	2.3.1.1.5.	Medidas de HMI .....	58
	2.3.1.2.	Panel de control.....	59
3.		MIGRACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.....	61
3.1.		Escenario actual del sistema de control .....	61
3.2.		Descripción del proceso de migración .....	61
	3.2.1.	Levantamiento .....	62
	3.2.2.	Programación.....	63
	3.2.3.	Migración del PLC.....	65
	3.2.4.	Pruebas y ajustes finales .....	66
3.3.		BackUp del PLC .....	67
3.4.		BackUp de HMI.....	70
3.5.		Migración de PLC .....	73
3.6.		Migración de HMI.....	78
3.7.		Modificaciones al programa del PLC .....	82
3.8.		Modificaciones al programa de la HMI.....	88
3.9.		Carga del nuevo programa del PLC .....	90
3.10.		Carga del nuevo programa de la HMI.....	91
4.		ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO DERIVADO DE LA MIGRACIÓN ..	93
4.1.		Análisis de la migración .....	93
4.2.		Valor de inversión del proyecto .....	93
4.3.		Análisis comparativo de costo beneficio .....	95



CONCLUSIONES.....99  
RECOMENDACIONES ..... 101  
BIBLIOGRAFÍA..... 103  
APÉNDICE ..... 109

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Elementos de un sistema de control de lazo cerrado.....	2
2.	Controlador lógico programable .....	6
3.	Familias de PLC .....	8
4.	Estructura del PLC .....	11
5.	Diagrama de entradas.....	14
6.	Diagrama de salidas.....	15
7.	Contacto normalmente abierto .....	24
8.	Contacto normalmente cerrado .....	24
9.	Salida normalmente abierta .....	25
10.	Salida normalmente cerrada .....	25
11.	Enclavamiento con instrucciones lógicas .....	27
12.	Instrucción KEEP .....	27
13.	Instrucción SET y RSET.....	28
14.	Instrucción DIFU .....	29
15.	Instrucción DIFD .....	29
16.	Temporizador TIM.....	30
17.	Contador CNT .....	31
18.	Molde hueco para hidrotanque.....	37
19.	Proceso de rotomoldeo .....	37
20.	Proceso de rotomoldeo .....	38
21.	CP1H-X40DR-A .....	43
22.	Módulos de comunicación.....	46
23.	Velocidad comparativa CPM2A vs CP1H.....	47

24.	Pantalla NS5 .....	50
25.	Medidas CP1H-X40DR-A .....	55
26.	Medidas S8VK-G06024 .....	56
27.	Medidas CP1W-8ER.....	57
28.	Medidas G2RV.....	58
29.	Medidas NS5-SQ11B-V2 .....	58
30.	Distribución de equipos dentro del panel .....	60
31.	Cx-Programmer .....	64
32.	Cx-Designer .....	64
33.	Cx-Programmer .....	67
34.	Directamente en línea.....	68
35.	Carga exitosa.....	69
36.	Menú memorias .....	69
37.	NT-Series Support Tool .....	70
38.	<i>Comms. Settings</i> .....	71
39.	Descarga de aplicación.....	72
40.	Guardar programa .....	72
41.	Cambiar modelo.....	73
42.	Menú cambiar PLC .....	74
43.	Menú configuración del tipo de dispositivo .....	75
44.	Advertencia de migración .....	75
45.	Advertencias y errores de migración.....	76
46.	Solución de errores y advertencias.....	77
47.	Cambo de direcciones de salida .....	77
48.	Migración de PLC .....	78
49.	Conversión de NT21 a NT31 .....	79
50.	Cambio de extensión de archivo.....	80
51.	Conversión de NT31 a NS5 .....	81
52.	Migración de HMI.....	81

53.	Programa del semáforo.....	82
54.	Semáforo.....	83
55.	Pantalla de contraseña.....	84
56.	Programa de contraseña de ajustes.....	84
57.	Pantalla de ajustes.....	85
58.	Programa de contador de piezas .....	86
59.	Contador de piezas .....	86
60.	Programa de integración controles al HMI .....	87
61.	Controles integrados al HMI.....	88
62.	Modificación de tamaños y posiciones de elementos .....	89
63.	Creación de elementos en la pantalla .....	89
64.	Directamente en línea .....	90
65.	Carga del programa de la HMI .....	91

## TABLAS

I.	E/S CP1H.....	13
II.	Direccionamiento .....	16
III.	Modelos disponibles.....	40
IV.	Unidades opcionales .....	41
V.	Consumo.....	41
VI.	Medidas de equipos y materiales .....	59
VII.	Costos de la solución implementada.....	95
VIII.	Costos e ingresos mensuales por producción de tanques .....	96



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>PLC</b>	Controlador lógico programable
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>c.a.</b>	Corriente alterna
<b>c.c.</b>	Corriente continua
<b>cm</b>	Centímetro
<b>g</b>	Gramo
<b>Hz</b>	Hercio
<b>kHz</b>	Kilohercio
<b>kV</b>	Kilovoltios
<b>m/s<sup>2</sup></b>	Metros sobre segundo cuadrado
<b>max</b>	Máximo
<b>MB</b>	Megabyte
<b>mm</b>	Milímetro
<b>MΩ</b>	Mega ohm
<b>μs</b>	Microsegundo
<b>Vac</b>	Voltaje alterno
<b>Vdc</b>	Voltaje directo



## GLOSARIO

<b>Actuador</b>	Dispositivo capaz de transformar energía neumática en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado.
<b>Automatización</b>	Aplicación de máquinas o de procedimientos automáticos en la realización de un proceso o en una industria.
<b>Bit</b>	Número binario que puede estar encendido (1, alto) o apagado (0, bajo).
<b>Bobina</b>	Elemento fundamental de sistemas eléctricos, construido con numerosas vueltas de alambre alrededor de un núcleo ferromagnético o de aire.
<b>Bus de campo</b>	Es un sistema o protocolo de red de transmisión de información que simplifica enormemente la instalación y operación de máquinas y equipamientos industriales utilizados en procesos de producción.
<b>Circuito</b>	Red eléctrica que contiene al menos una trayectoria cerrada.
<b>Circuito comparador</b>	Compara una tensión variable con otra tensión fija que se utiliza como referencia.



<b>Código</b>	Conjunto de símbolos que representa una información codificada.
<b>Componente</b>	Dispositivo que se considera parte constituyente de un circuito electrónico.
<b>Conductividad</b>	Propiedad natural de los cuerpos que permiten el paso a través de sí del calor o la electricidad, como por ejemplo, el cobre.
<b>Conductores</b>	Materiales que permiten un flujo generoso de electrones con muy poco voltaje aplicado.
<b>Contactador</b>	Interruptor automático que sirve para restablecer los enlaces entre distintos circuitos o aparatos eléctricos.
<b>Cortocircuito</b>	Conexión directa de bajo valor resistivo que puede alterar considerablemente el comportamiento de un elemento o sistema.
<b>Corriente</b>	Circulación de cargas eléctricas en un circuito eléctrico.
<b>Driver</b>	Controlador, rutina o programa que enlaza un dispositivo periférico al sistema operativo.
<b>Electrónica</b>	Parte de la física que estudia los cambios y los movimientos de los electrones libres y la acción de

las fuerzas electromagnéticas y los utiliza en aparatos que reciben y transmiten información.

<b>Frecuencia</b>	Cantidad de oscilaciones de un movimiento ondulatorio y vibratorio, calculado en una unidad temporal, se llama hercio al suceso que ocurre una vez por segundo.
<b>FTDI</b>	Empresa que desarrolla, fabrica, y da apoyo a dispositivos y sus correspondientes controladores de software para la conversión de transmisiones serie RS-232 o TTL a señales USB.
<b>Fuente</b>	Elemento activo que es capaz de generar una diferencia de potencial entre sus extremos o proporcionar una corriente eléctrica para que otros circuitos funcionen.
<b>Hardware</b>	Conjunto de elementos físicos o materiales que constituyen una computadora o un sistema informático.
<b>HMI</b>	Interfaz hombre máquina.
<b>Interfaz</b>	Dispositivo capaz de transformar las señales generadas por un aparato en señales comprensibles por otro.

<b>Led</b>	Diodo emisor de luz. Componente electrónico cuya función principal es convertir la energía eléctrica en una fuente luminosa.
<b>Modbus</b>	Protocolo de comunicaciones situado en el nivel 7 del modelo OSI, basado en la arquitectura maestro/esclavo o cliente/servidor, diseñado para los controladores lógicos programables.
<b>Motor</b>	Elemento que produce un movimiento como resultado de una excitación eléctrica.
<b>Neumática</b>	Parte de la física que trata de las propiedades de los gases desde el punto de vista de su movimiento.
<b>Ordenador</b>	Máquina electrónica capaz de almacenar información y tratarla automáticamente mediante operaciones matemáticas y lógicas controladas por programas informáticos.
<b>Periféricos</b>	Aparatos y/o dispositivos auxiliares e independientes conectados a la unidad central de procesamiento de un PLC.
<b>PLC</b>	Dispositivo electrónico que puede ser programado por el usuario para ser utilizado en la industrial con el fin de resolver problemas de secuencia en la maquinaria o procesos.

<b>Potencia</b>	Indicación de cuánto trabajo puede ser realizado en una cantidad específica de tiempo. Se mide en Joules/segundo (J/s) o vatios (W).
<b>Proceso</b>	Procesamiento o conjunto de operaciones a que se somete una cosa para elaborarla o transformarla.
<b>Regulador</b>	Dispositivo electrónico capaz de mantener un nivel de tensión constante.
<b>Relé</b>	Dispositivo electromagnético que, estimulado por una corriente eléctrica muy débil, abre o cierra un circuito en el cual se disipa una potencia mayor que en el circuito estimulador.
<b>Rotomoldeo</b>	Proceso de conformado de productos plásticos en el cual se introduce un polímero en estado líquido o polvo dentro de un molde y este, al girar en dos ejes perpendiculares entre sí, se adhiere a la superficie del molde, creando piezas huecas.
<b>Resistencia</b>	Medida de la oposición al flujo de carga a través de un material.
<b>Sensor</b>	Dispositivo que capta magnitudes físicas y las transforma en variables eléctricas captables por el PLC.

<b>Señal análoga</b>	Tipo de señal generada por algún tipo de fenómeno electromagnético y que es representable por una función matemática continua en la que es variable su amplitud y periodo en función del tiempo.
<b>Software</b>	Conjunto de programas y rutinas que permiten al PLC realizar determinadas tareas.
<b>Válvula</b>	Dispositivo que abre o cierra el paso de un fluido por un conducto en una máquina gracias a un mecanismo.
<b>Voltaje</b>	Potencial eléctrico, expresado en voltios.

## RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se presenta la solución técnica y económica así como la implementación de la migración de un sistema de control.

En el primer capítulo se describen las características básicas de los equipos utilizados así como conceptos básicos de automatización industrial, aplicaciones, ventajas y desventajas y se describirán uno a uno los módulos y partes del hardware utilizados.

Posteriormente, se detalla el diseño del hardware del sistema de control, descripción del CPU por utilizar, desglose de I/Os presentes en el sistema y adecuación del mejor equipo por emplear, mejoras por realizar, ventajas de los nuevos equipos y diseño del panel de control.

En el capítulo tercero se describe la solución y migración como tal. El escenario previo y posterior a la migración y los equipos y software con el que el cliente contaba y sus limitantes para luego mostrar la mejora realizada.

Por último se hará un estudio técnico-económico derivado de la migración que nos ayudará a entender por qué se debía realizar la misma.



# OBJETIVOS

## General

Desarrollar la migración de un sistema de control de una fábrica de elaboración de hidrotanques plásticos para que sea eficiente tanto económica como técnicamente y así permitir la modernización y expansión del mismo.

## Específicos

1. Establecer los fundamentos de automatización y control.
2. Comprender el funcionamiento básico del hardware utilizado.
3. Documentar el proceso de migración y mejoras a la máquina.
4. Presentar un estudio técnico económico del proceso realizado.





## INTRODUCCIÓN

La migración de los sistemas de control es una necesidad que actualmente enfrenta la industria como consecuencia de los cambios y avances tecnológicos en los campos de la electrónica y comunicaciones, que también afectan a los sistemas de control.

Estos avances son determinantes de igual forma y afectan directamente el ciclo de vida de los sistemas de control en materia de hardware y software. Creando un escenario en el que se hace casi imposible sustituir los equipos por iguales debido a estar obsoletos.

Los componentes de entradas y salidas y cableado tienen un tiempo de vida promedio entre 10 y 25 años, mientras que los HMI y los CPUs solamente tienen un tiempo de vida útil de 5 años en promedio, por lo que es evidente que la migración a una tecnología más reciente se hace necesaria y deriva en un reto delicado tanto para la industria como para el proveedor, quien debe determinar la mejor opción para la ejecución de la misma.

La situación actual trata un sistema de control que consta de un PLC marca OMRON y modelo SYSMAC CPM2A que corre con instrucciones y canales obsoletos dentro de CX-Programmer V9.4, y una pantalla táctil como interfaz hombre-máquina marca OMRON y modelo NT21-ST121B-E, que corre sobre un software caducado y obsoleto según OMRON quien ya no distribuye el NT Series Support Tool.

El problema se presenta para el usuario cuando ocurre un error o fallo en su estación, a lo cual no se puede responder con repuestos, porque estos ya no son distribuidos ni vendidos por el fabricante. Ante tal situación, cuando ocurren estos problemas, la estación de operación queda sin funcionar hasta que se logre solucionar el problema, ocasionando pérdidas económicas para la empresa, y como consecuencia, la operación ya no es factible para el proceso asignado a dicha estación.

Ante dicha situación, en este trabajo de graduación se pretende realizar la migración del sistema de control, que presente tanto técnica como económicamente la mejor solución para actualizar y mejorar el sistema de control existente en una industria de fabricación de hidrotanques, aprovechando los recursos existentes y asegurando una modernización completa del sistema, con opción a expansión y crecimiento a futuro de ser necesario. De esta manera, se buscará fundir las bases de implementación de una arquitectura con mejor disponibilidad que satisfaga el crecimiento del sistema hacia el resto de máquinas rotomoldeadoras dentro de la fábrica y con ello, la modernización continua de la industria.

## **1. AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

La importancia de la migración de sistemas de control radica en aumentar la eficiencia y la disponibilidad de los mismos al momento en que se presente un inconveniente, así mismo, en proveer un manejo efectivo del ciclo de vida del sistema de control. Para realizar la migración de un sistema de control, es necesario realizar un estudio técnico-económico para determinar la mejor solución que se adapte a las necesidades actuales del usuario y cliente, tanto a nivel operación, de ingeniería, o de costo del proyecto.

Actualmente, las industrias y empresas cuentan con sistemas automatizados, ya que con ello se reduce la variable error o problemas humanos en datos que se utilizan diariamente, garantizando la calidad en la ejecución de instrucciones, así como su disponibilidad para lo cual se aprovechan los recursos materiales y humanos si llegase a ocurrir una falla o error, sin dejar de mencionar la reducción de costos o el ahorro financiero a largo plazo.

Cabe la pena mencionar que los fabricantes de estos equipos ofrecen soluciones particulares para realizar la migración dependiendo del tamaño del sistema por migrar, así como, el software desde el cual se desea hacerlo. Tratan siempre de conservar los beneficios del sistema actual y adicionando los nuevos beneficios de la plataforma nueva.

A continuación se presenta toda la información teórica necesaria para comprender en su totalidad la migración realizada en el proyecto, explicando aspectos importantes tanto del hardware como del software involucrado.

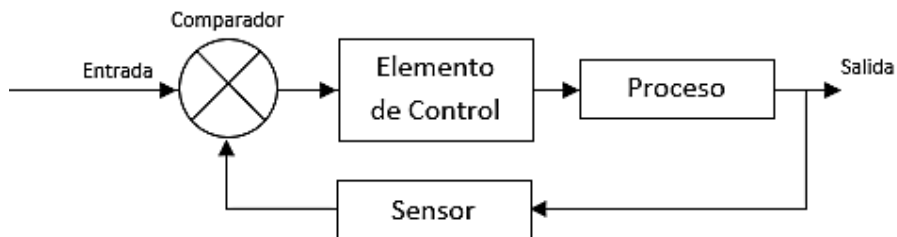
## 1.1. Definición

Automatización se refiere a la aplicación de máquinas o de procedimientos automáticos en la realización de un proceso o en una industria que podría verse como hacer algo de forma automática, es decir, “que un proceso funcione por sí solo sin necesidad de la intervención directa del interesado.”<sup>1</sup>

Es todo sistema de control automático de lazo cerrado o un autómeta, que se define como “una máquina automática programable capaz de realizar determinadas operaciones de manera autónoma y sustituir a los humanos en algunas tareas.”<sup>2</sup> (ver figura 1). Necesita, al menos, de los siguientes cuatro elementos:

- Sensores o elemento de medición
- Sistema actuador
- Elemento de control (controlador lógico programable)
- Interfaz hombre máquina para interacción

Figura 1. **Elementos de un sistema de control de lazo cerrado**



Fuente: elaboración propia.

<sup>1</sup> Real Academia Española. <http://dle.rae.es/?id=4TO3M08>. Consulta: enero de 2017.

<sup>2</sup> Diccionario Oxford: <https://es.oxforddictionaries.com/definicion/robot>. Consulta: febrero de 2017.

## **1.2. Sensores**

Existe una gran diversidad de sensores en el mercado, para aplicarlos se utilizan sensores de tipo inductivo a fin de conocer la posición en tres puntos críticos en donde se deberá mover el molde.

El primer punto es cuando el molde se encuentra centrado a la mitad y el programa da una pausa para agregar cada capa de producto; la segunda posición y segundo sensor es el que indica cuando el molde se encuentra en la posición superior y envía la señal al PLC para que cambie de giro el motor de elevación; y el tercer y último sensor es el utilizado para indicarle al PLC que el molde ya está en la posición inferior y que deberá cambiar su dirección hacia arriba nuevamente.

### **1.2.1. Definición**

Para efectos de este proyecto, se definirá como sensor al encargado de captar una señal física, por medio de un sensor inductivo de detección de materiales ferrosos, con la cual se puede dar seguimiento al proceso para su control por medio del autómatas. Al mismo tiempo, recibe la información exacta sobre su posicionamiento y envía esta señal discreta hacia el autómatas para que este convierta y manipule esta información hacia una señal de salida discreta según sea necesaria.

## **1.3. Sistema actuador**

El proceso tiene varios actuadores tanto eléctricos como neumáticos. El primero es una válvula 2/2 neumática que bloquea y permite el paso del gas combustible utilizado para la quema del molde. El segundo actuador es un

motor eléctrico encargado del movimiento en el eje vertical. El tercer actuador es el motor eléctrico encargado del movimiento rotativo del molde. El cuarto y último actuador del sistema, es el encargado de encender la flama de los mecheros.

### **1.3.1. Definición**

El sistema es el dispositivo capaz de transformar la energía eléctrica entregada, primero por la salida discreta del PLC y luego transferida hacia un contactor, en la activación del proceso con la finalidad de generar un efecto sobre el proceso automatizado, en este caso, el giro del molde y el cambio de nivel del mismo. Estos motores reciben las órdenes directamente del PLC a través de sistemas de elevación de voltaje que solamente traducen señales discretas de las salidas del PLC, hacia voltajes útiles para el funcionamiento de los mismos.

### **1.4. Controlador lógico programable (PLC)**

Hasta hace poco tiempo, el control de procesos industriales se realizaba de forma cableada por medio de contactores y relees mecánicos. Al personal encargado de la realización e instalación y posterior mantenimiento de estos equipos, se le demandaba demasiados y altos conocimientos técnicos para poder realizarlos. Además que cada vez que fuese necesario realizar un cambio o modificación de los mismos, debido a un cambio en el proceso o simple mantenimiento, suponía modificar físicamente gran parte de las conexiones de los montajes, siendo necesario para ello un conocimiento técnico muy elevado y gran costo económico.

Actualmente, ya no se realizan procesos complejos y de alto nivel desarrollados puramente con técnicas cableadas. Los controles lógicos programables han derivado una ayuda muy significativa y disminución de trabajo requerido para manipular procesos complicados y extensos; y sustituyendo el trabajo mecánico por trabajo en forma de programación.

El controlador lógico programable nació como una solución al control de circuitos complejos de automatización. A partir de esto se puede concluir que el PLC no es más que una solución electrónica que sustituye a los circuitos auxiliares o de mando de los sistemas automáticos. A este se conectan sensores y captadores de señales por el bloque de entradas y actuadores al bloque de salidas.

#### **1.4.1. Historia**

En 1960 inicia el PLC como una solución a la automatización industrial. Esto derivado del problema económico que representa reemplazar sistemas de control complejos basados en relees y contactores. El primero en introducir al mercado algo similar a lo que hoy se conoce como PLC, fue la empresa Bedford Associates con su denominado controlador digital modular (MODICON, *Modular Digital Controller*) al ofrecerlo a un gran fabricante de automóviles. Paralelo a este hecho, varias compañías propusieron, a la vez, esquemas basados en ordenador, uno de los cuales estaba basado en el PDP-8. El MODICON 084 (Schneider) resultó ser el primer PLC del mundo en ser producido de manera comercial.



### 1.4.2. Definición

Un autómatas programable industrial (API) o controlador lógico programable (PLC por sus siglas en inglés: *Programmable Logic Controller*), es un equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial, procesos secuenciales.

Un PLC trabaja en base a la información recibida por los captadores y el programa lógico interno, actuando sobre los accionadores de la instalación. La figura 2 muestra la ilustración de un controlador lógico programable o PLC.

Figura 2. **Controlador lógico programable**



Fuente: Autómata Programable CP1H. <https://industrial.omron.es/es/products/cp1h>

Consulta: enero 2017

### 1.4.3. Evolución de sistemas de control

Existieron dificultades que hicieron posible la creación de una solución que hiciera más fácil el control de los sistemas de control. Uno de los principales problemas que existieron fue el hecho que cuando los requerimientos de producción cambiaban también lo hacía el sistema de control, y debido a que el

método de control era por medio de relés, esto proponía un cambio muy grande en los tableros y costos muy elevados para las empresas. Esto implicó costos elevados cuando los cambios eran muy recurrentes.

Otro gran problema con el que la automatización se topaba era que los elementos de control eran mecánicos, por lo que la vida útil de los mismos era muy limitada y era necesario tener un estricto control de mantenimientos programados para evitar que alguna maquina dejase de funcionar por períodos de tiempo prolongados. Por otra parte, el factor cableado representa una tarea tediosa y, a la vez, demasiado extensa, complicada y que requería de mucho conocimiento técnico, lo que también implicaba un enorme esfuerzo de diseño y mantenimiento.

A fin de disminuir los inconvenientes que se fueron encontrando a lo largo del tiempo, se debía iniciar la investigación a fin de diseñar equipos simplificados que hicieran las mismas tareas de forma económica, fácil y rápida. Por lo que los nuevos controladores debían ser fácilmente programables por ingenieros de plana o personal de mantenimiento. El tiempo de vida debía aumentarse y los cambios en el programa tenían que realizarse de forma sencilla. Finalmente se debía diseñar de tal manera que soportara ambientes de trabajo exigentes y entornos industriales adversos. La primera solución surge con la implementación de una programación amigable y fácil y luego sustituyendo los relés mecánicos por otros de estado sólido que no sufren desgaste.

El siguiente gran paso que surge para mejorar los procesos, es comenzar en el campo de la comunicación de los PLC cuyos primeros avances surgen en 1973, aproximadamente. El primer sistema de comunicación entre PLC es el bus Modicon (Modbus). Este avance ayudo a que se pudieran comunicar por

primera vez varios equipos y que estos no tuviesen que estar cerca de los equipos que gobernaban. Esto también permitió el envío y recepción de señales de tensión variables, por lo que fue la primera vez que sale a luz la utilización de señales análogas. Este continuo cambio de tecnología atrajo problemas al no existir estándares de comunicación, provocando un maremágnum de sistemas físicos y protocolos incompatibles entre sí que fue parcialmente mejorado con el protocolo MAP (*Manufacturing Automation Protocol*) de General Motor's, que en la década de 1980 produjo el primer intento de estandarización de las comunicaciones.

Hacia la década de 1990 se produjo una reducción gradual en el número de nuevos protocolos. Surge luego el estándar (IEC1131-3) que intenta unificar el sistema de programación de todos los PLC en un único estándar internacional. Esto derivó en lo que hoy conocemos como programación en diagrama de bloques, lista de instrucciones y texto estructurado.

Figura 3. Familias de PLC



Fuente: familias de PLC. <http://www.uteq.edu.mx/tesis/ITA/0180.pdf>. Consulta: enero 2017.

#### **1.4.4. Ventajas y desventajas**

No todos los autómatas ofrecen las mismas ventajas sobre la lógica cableada, ello se debe, principalmente, a la variedad de modelos existentes en el mercado y las innovaciones técnicas que surgen constantemente.

Entre las principales ventajas que nos trajeron los PLC tenemos:

- Posibilidad de reemplazar la lógica cableada de un tablero, mediante un programa que corre en un PLC.
- Estandarización.
- Es requerido menos tiempo para elaborar proyectos.
- Es posible realizar cambios sin necesidad de agregar nuevos componentes.
- El espacio que ocupan es mucho menor dentro del panel.
- Se requiere menos manos para instalar los equipos.
- Economía de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismos autómatas pueden indicar y detectar fallas.
- Es posible gobernar varios equipos y máquinas con el mismo PLC.
- La puesta en marcha se realiza en menor tiempo.

Existen dos problemas principales que derivan de los PLC, el primero es que se necesita mayor conocimiento técnico en el dimensionamiento y programación de los equipos y su alto costo. Pero al mismo tiempo, esto no representa un problema ya que cada vez se facilita la forma de programación de los PLC y el costo ha disminuido por la competencia entre marcas.

#### **1.4.5. Funciones básicas de un PLC**

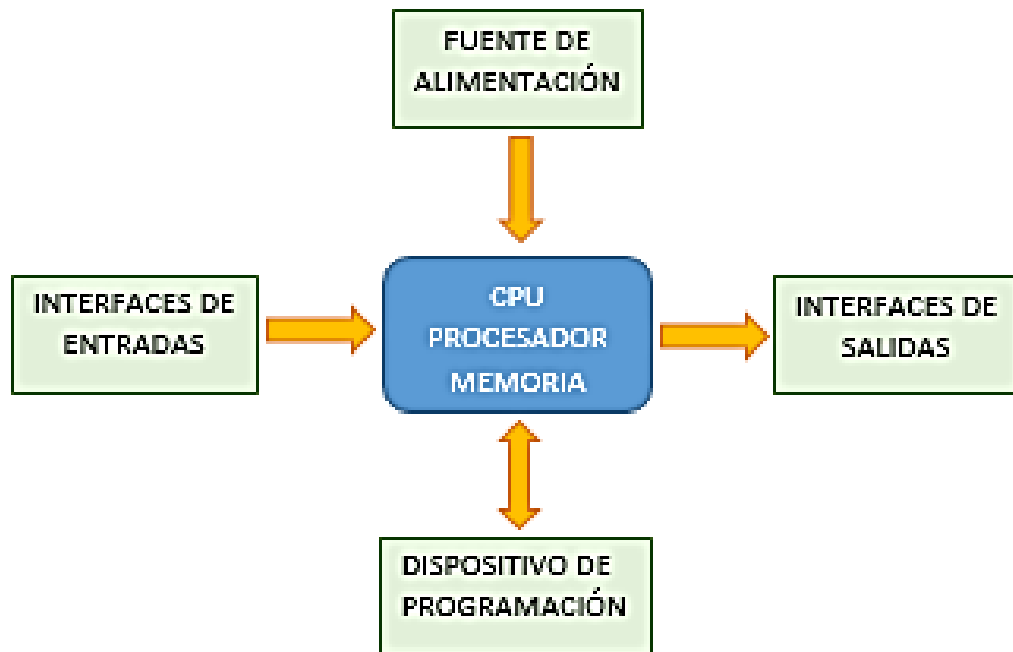
- Detección: lectura de la señal de los captadores distribuidos por el sistema de control.
- Mando: elaborar y enviar las instrucciones al sistema de control utilizando los actuadores.
- Diálogo hombre-máquina: mantener un diálogo con los operarios de producción, obedeciendo sus consignas e informando del estado del proceso.
- Programación: para introducir, elaborar y cambiar el programa de aplicación del autómatas. El diálogo de programación debe permitir modificar el programa incluso con el autómatas controlando la máquina.

#### **1.4.6. Estructura y funcionamiento de un PLC**

Los controladores lógicos programables son máquinas secuenciales que ejecutan correlativamente las instrucciones indicadas en el programa de usuario almacenado en su memoria, generando unas órdenes o señales de mando a partir de las señales de entrada leídas de la aplicación: al detectarse cambios en las señales, el autómatas reacciona según el programa hasta obtener las órdenes de salida necesarias. Esta secuencia se ejecuta continuamente para conseguir el control actualizado del proceso.

A continuación en la figura 3 se muestra la estructura de un PLC:

Figura 4. **Estructura del PLC**



Fuente: elaboración propia.

Para explicar el funcionamiento del PLC, se pueden distinguir las siguientes partes:

- Módulos de entradas y salidas I/O
- CPU (unidad central de proceso)
- Memoria
- Dispositivos de programación
- Fuente de alimentación

#### **1.4.6.1. Fuente de alimentación**

Esta es la encargada de proporcionar las tensiones necesarias para el funcionamiento de los distintos circuitos del sistema.

La alimentación del CPU puede ser de corriente continua 24 Vcc o de corriente alterna a 110 / 220 Vac. En ambos casos, es siempre la CPU quien alimenta las interfaces conectadas a través del bus interno.

#### **1.4.6.2. Unidad central de proceso**

La CPU, que es el cerebro del PLC, es el encargado de procesar toda la información que recibe del exterior a través de sus módulos de entrada y, de acuerdo con la programación y de dichos estados, activa las respectivas salidas del módulo de salidas.

#### **1.4.6.3. Módulos de entradas y salidas**

En el control de un proceso automatizado, es imprescindible un dialogo entre operador y máquina junto con una comunicación entre la máquina y el PLC. Estas comunicaciones se establecerán por medio del conjunto de entradas y salidas del citado elemento.

Los módulos I/O son los encargados de adaptar las señales internas a niveles de la CPU activando relés internos según sea el caso. Los módulos de entradas y salidas utilizados en el sistema de control de rotomoldeo, son en su totalidad discretos, lo que significa que reciben y envían señales solamente de 1 y 0, verdadero o falso.

Estas interfaces tienen la simple función de informar al CPU, de la ausencia o presencia de una señal, tensión o corriente, en un circuito, apertura o cierre de un contacto, pulsador, límite de carrera, entre otros. En el caso de las salidas estas se conectan o desconectan al circuito de actuación de un solenoide, contactor, lámpara, entre otros.

Los distintos modelos CP1H se definen por el número de puntos de I/O que llevan incorporados, el utilizado en el sistema de control tiene 40 puntos de I/O con el 60 % de entradas (24 entradas) y 40 % de salidas (16 salidas). Las direcciones físicas vienen indicadas en la carcasa, junto a unos *leds* que indican su estado.

Tabla I. **E/S CP1H**

Modelo CP1H de 40 puntos I/O		
<b>Entradas (12 + 12 = 24 entradas)</b>		
Canal 0	00, 01, 02, ... 11	12 entradas
Canal 1	00, 01, 02, ... 11	12 entradas
<b>Salidas (8 + 8 = 16 salidas)</b>		
Canal 100	00, 01, 02, ... 07	8 salidas
Canal 101	00, 01, 02, ... 07	8 salidas

Observamos que aunque OMRON trabaja con canales (16 bits), no todas las direcciones se corresponden con entradas o salidas físicas. Así en las entradas solo utiliza 12 bits (del 00 al 11) y en las salidas sólo 8 (del 00 al 07). Las direcciones no utilizadas, pueden usarse como relees internos.

Fuente: elaboración propia.

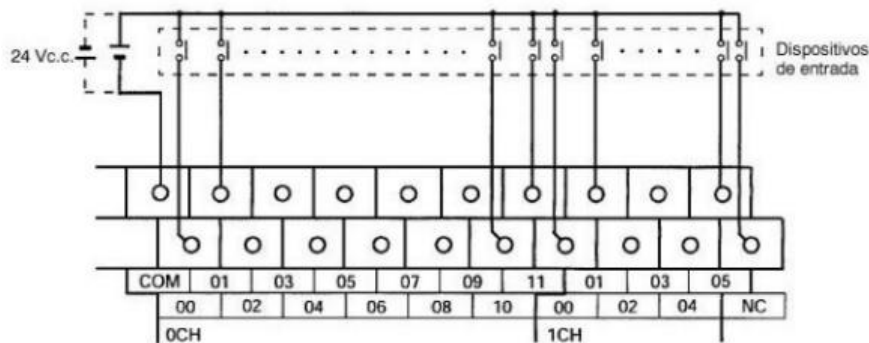
#### 1.4.6.4. Entradas

La unidad de entradas es el medio por el que el autómatas recibe la información del entorno. Para activar una entrada deberemos enviar un impulso o bien mantener un valor de tensión en un rango determinado entre el borne de común y la entrada.



El PLC utilizado en el proyecto (CP1H-X40DR-AC), consta solamente de entradas discretas o digitales que son las que tienen solo 2 valores posibles, ACTIVADO-DESACTIVADO (1 o 0).

Figura 5. **Diagrama de entradas**



Fuente: Bloque entradas: <http://www.infopl.net/1118-programacion-basica-automatas-omron>  
 Consulta: enero 2017.

#### 1.4.6.5. **Salidas**

Son las encargadas de transmitir las órdenes dadas por el CPU del autómatas en función de la programación al sistema automatizado. Nuevamente el tipo de PLC utilizado, solo tiene salidas discretas o digitales.

Existen modelos con salidas a transistor PNP, salida a transistor NPN y con salida a relé, que es la más habitual y la utilizada en nuestro sistema de control.

En el caso de las salidas, tendremos varios comunes (COM), algunos para salidas especiales (la 100.00 y la 100.01) que tienen un COM exclusivo y otros que son compartidos por varias salidas. Esto permite poder conectar distintos



### 1.4.6.6. Direccionamiento

El formato de las direcciones de memoria del autómata comprende dos dígitos separados por un punto, indicando el número de canal y el bit (XXX.YY). En caso de necesidad, se indicará el área de memoria a que pertenece:

Tabla II. **Direccionamiento**

XXX	Número de canal (registro)	Ejemplos:
YY	Número de bit (entre 00 y 15)	134,05 = Canal 134, bit 05 HR 11,04 = Canal 11, bit 05 del área HR

Fuente: elaboración propia.

### 1.4.6.7. Memorias

La memoria es el espacio designado donde el PLC guarda todo cuanto necesita para ejecutar la tarea de control.

- Datos del proceso
- Señales de planta, entradas y salidas
- Variables internas, de bit y de palabra
- Datos alfanuméricos y constantes
- Datos de control
- Instrucciones de usuario (programa)
- Configuración básica del PLC

#### **1.4.6.8. Memorias internas**

En un PLC, la memoria interna es aquella que almacena el estado de las variables que maneja, entradas, salidas, contadores, relés internos, señales de estado, entre otros. Esta memoria interna se encuentra dividida en varias áreas, cada una de ellas con un cometido y características distintas.

La clasificación de la memoria interna se realiza según el tipo de variable que almacena y el número de bits que ocupa la variable. Así, la memoria interna del PLC queda clasificada de la siguiente manera:

##### **1.4.6.8.1. Área de imágenes de entrada / salida y área interna (IR)**

En esta área se encuentran los canales asociados a los terminales externos, los relés internos y estos no retienen la información al faltar la fuente de alimentación.

##### **1.4.6.8.2. Área especial (SR)**

Son los relés de señalización de funciones como servicio (siempre ON, OFF), diagnósticos, temporizaciones, cálculo, con espacio de bit o canal y no conservan información ante falta de alimentación.

##### **1.4.6.8.3. Área auxiliar (AR)**

Contienen bits de control e información de recursos de PLC como puertos periféricos, casetes de memoria, señalización, errores de configuración, datos

del sistema, memorización y gestión de datos. Espacio de bit o canal y tampoco conservan su estado ante la falta de alimentación.

#### **1.4.6.8.4. Área de enlace (LR)**

Dedicados al intercambio de información entre PLC's. si estos no se utilizan como LR, pueden ser usados como IR. Tamaño de bit o canal y tampoco conservan su estado ante la ausencia de alimentación.

#### **1.4.6.8.5. Área de retención (HR)**

Mantienen su estado ante fallos de alimentación o cambio de modo de PLC.

#### **1.4.6.8.6. Área de temporizadores y contadores (TIM/CNT)**

Es el área de memoria que simula el funcionamiento de estos dispositivos. Son usados por el PLC para programar retardos y cuentas.

#### **1.4.6.8.7. Área de datos (DM)**

Se trata de memorias de 16 bits (palabra), utilizable para gestión de valores numéricos, mantiene su estado ante cambios de modos de trabajo o fallo de alimentación.

#### **1.4.6.9. Unidad de programación**

Es el conjunto de medios, hardware y software mediante el cual el programador introduce y depura sobre las secuencias de instrucciones que constituyen el programa por ejecutar.

Esta puede estar constituida por un teclado pequeño adosable al controlador, donde cada tecla responderá a un elemento del programa por desarrollar.

#### **1.4.7. Ciclo de funcionamiento**

Al inicio del ciclo, la CPU lee el estado de las entradas. A continuación ejecuta la aplicación empleando el último estado leído. Una vez completado el programa, la CPU ejecuta tareas internas de diagnóstico y comunicación. Al final del ciclo se actualizan las salidas. El tiempo de ciclo depende del tamaño del programa, del número de E/S y de la cantidad de comunicación requerida.

#### **1.4.8. Proceso inicial**

Antes de entrar en el ciclo de operación el autómata realiza una serie de acciones comunes, que tratan fundamentalmente de inicializar los estados del mismo y chequear el hardware. Estas rutinas de revisión, incluidas en el programa monitor ROM, comprueban:

- El bus de conexiones de las unidades de E/S
- El nivel de la batería, si esta existe
- La conexión de las memorias internas del sistema
- El módulo de memoria exterior conectado, si existe

Si se encontrara algún error, se activaría el LED y quedaría registrado el código del error.

Comprobadas las conexiones, se inicializan las variables internas:

- Se ponen a OFF las posiciones de memoria interna (excepto las mantenidas o protegidas contra pérdidas de tensión).
- Se borran todas las posiciones de memoria imagen E/S.
- Se borran todos los contadores y temporizadores (excepto los mantenidos o protegidos contra pérdidas de tensión).

Transcurrido el proceso inicial y si no han aparecido errores, el autómata entra en el ciclo de operación.

#### **1.4.9. Ciclo de operación**

Este ciclo se puede dividir en tres bloques:

- Proceso común
- Ejecución del programa
- Servicio a periféricos

##### **1.4.9.1. Proceso común**

En este primer bloque se realizan los chequeos cíclicos de conexiones y de memoria de programa, protegiendo el sistema contra:

- Errores de hardware (conexiones E/S, ausencia de memoria de programa, etc).

- Errores de sintaxis (programa imposible de ejecutar).

El chequeo cíclico de conexiones comprueba los siguientes puntos:

- Niveles de tensión de alimentación
- Estado de la batería si existe
- Buses de conexión con las interfaces

El chequeo de la memoria de programa comprueba la integridad de la misma y los posibles errores de sintaxis y gramática:

- Mantenimiento de los datos, comprobados
- Existencia de la instrucción END de fin de programa
- Estructura de saltos y anidamiento de bloque correctas
- Códigos de instrucciones correctas

#### **1.4.9.2. Ejecución del programa**

En este segundo bloque se consultan los estados de las entradas y de las salidas y se elaboran las órdenes de mando o de salida a partir de ellos.

El tiempo de ejecución de este bloque de operaciones es la suma del:

- Tiempo de acceso a interfaces de E/S
- Tiempo de escrutación de programa

Y, a su vez, esto depende de:

- Número y ubicación de las interfaces de E/S



- Longitud del programa y tipo de CPU que lo procesa

#### **1.4.9.3. Servicio a periféricos**

Este tercer y último bloque es únicamente atendido si hay pendiente algún intercambio con el exterior. En caso de haberlo, la CPU le dedica un tiempo limitado, de 1 a 2 ms en atender el intercambio de datos. Si este tiempo no fuera suficiente, el servicio queda interrumpido hasta el siguiente ciclo.

#### **1.4.10. 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, entre otros.

Por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, control de instalaciones, entre otros. 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, etc., hace que su eficacia se aprecie fundamentalmente en procesos en que se producen necesidades tales como:

- Espacio reducido
- Procesos de producción periódicamente cambiantes
- Procesos secuenciales
- Maquinaria de procesos variables

- Instalaciones de procesos complejos y amplios
- Revisión de programación centralizada de las partes del proceso

Ejemplos de aplicaciones generales:

- Maniobras de máquinas
- Maquinaria industrial de plástico
- Maquinaria de embalajes
- Maniobra de instalaciones
- Instalación de aire acondicionado, calefacción...
- Instalaciones de seguridad
- Señalización y control
- Chequeo de programas
- Señalización del estado de procesos

#### **1.4.11. Programación básica**

El propósito de la programación básica, es crear programas que exhiban un comportamiento deseado de la máquina a programar.

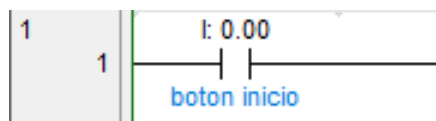
##### **1.4.11.1. Instrucciones lógicas**

Estas realizan operaciones lógicas bit a bit con sus operandos. Las instrucciones lógicas incluyen las operaciones que se realizan con los operandos, “AND”, “OR”, XOR”, entre otros.

#### 1.4.11.1.1. LD (Load) y LD NOT (Load Not)

- (LD) Leer bit: determina el estado del bit (I: 0.00) como un requisito de ejecución para posteriores operaciones del programa. Si el bit (I: 0.00) está activo nos dará continuidad esa línea de programa, si no lo está, se detendrá la ejecución en ese punto.

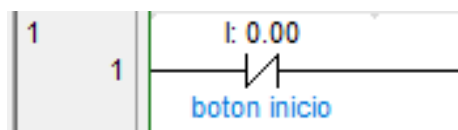
Figura 7. **Contacto normalmente abierto**



Fuente: captura de pantalla de CX-Programmer.

- (LD NOT) Leer bit negado: determina el estado inverso del bit (I: 0.00) como una condición de ejecución para posteriores operaciones del programa. Si el bit (I: 0.00) está activo no nos dará continuidad esa línea de programa, deteniendo la ejecución en ese punto, si no lo está, dará continuidad.

Figura 8. **Contacto normalmente cerrado**

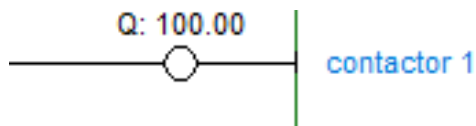


Fuente: captura de pantalla de CX-Programmer.

#### 1.4.11.1.2. OUT y OUT NOT

- (*OUT*) salida: pone a *ON* el bit designado para una condición de ejecución *ON* y lo pone a *OFF* para una condición de ejecución *OFF*. Esto es, solo si los contactos previos a la salida tienen continuidad, la salida se activará.

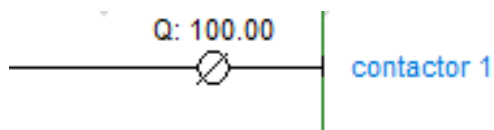
Figura 9. **Salida normalmente abierta**



Fuente: captura de pantalla de CX-Programmer.

- (*OUT NOT*) salida negada: Pone a *OFF* el bit designado para una condición de ejecución *ON* y lo pone a *ON* para una condición de ejecución *OFF*. Esto es, la salida se activará solo si los contactos previos no tienen continuidad.

Figura 10. **Salida normalmente cerrada**



Fuente: captura de pantalla de CX-Programmer.

#### **1.4.11.1.3. AND (Función Y) contactos en serie**

La función AND (Y), implica que deben cumplirse las condiciones simultáneamente para tener continuidad en la línea del programa. Eléctricamente, equivale a disponer de dos contactos en serie. Pueden utilizarse indistintamente con las entradas o salidas negadas.

#### **1.4.11.1.4. OR (Función O) contactos en paralelo**

La función OR (O), implica que basta con que se cumpla una de las condiciones para tener continuidad en la línea del programa. Eléctricamente equivale a disponer de dos contactos en paralelo. Pueden utilizarse indistintamente con las entradas o salidas negadas.

### **1.4.11.2. Enclavamientos**

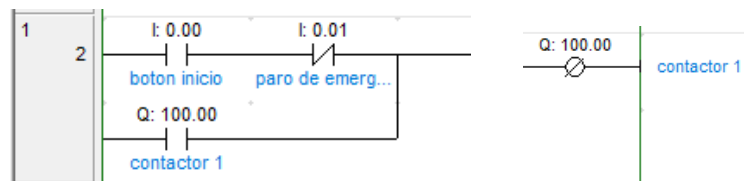
Es el que controla la condición de estado de cierto mecanismo para habilitar o no un accionamiento y que se puede realizar con tres métodos comunes, como lo son con instrucciones lógicas, con funciones "SET", "RESET" y con la instrucción "KEEP".

#### **1.4.11.2.1. Con instrucciones lógicas**

Se puede utilizar una salida, física o no, de forma similar a como se utilizan los contactos auxiliares de los contactores o relés para hacer un enclavamiento. De esta forma, bastará dar un pulso para activar una salida con otro pulso, en otra entrada, para desactivarla.

El programa será una traducción casi literal de un circuito eléctrico, utilizando una marca de la propia salida en paralelo (función OR) con el pulsador de marcha, y los pulsadores de marcha y paro conectados en serial (función AND).

Figura 11. **Enclavamiento con instrucciones lógicas**

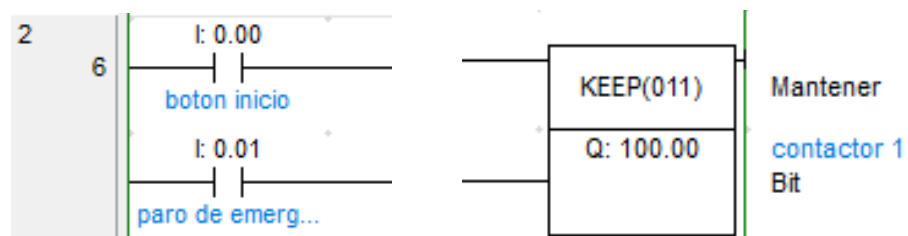


Fuente: captura de pantalla de CX-Programmer.

#### 1.4.11.2.2. Instrucción mantener **KEEP(11)**

Esta función realiza el enclavamiento de un bit, activado por una entrada de set (I: 0.00) y desactivado por una entrada de reset (I: 0.01). Es equivalente al ejemplo anterior, pero resumido en una única función. En caso de recibir señales simultáneas por ambas entradas, siempre predomina el reset sobre el set.

Figura 12. **Instrucción KEEP**



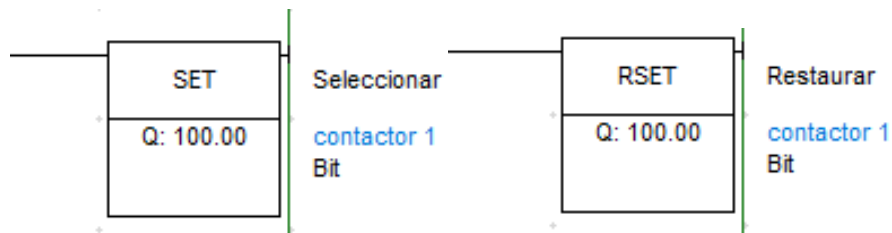
Fuente: captura de pantalla de CX-Programmer.

### 1.4.11.2.3. Funciones SET y RSET

- Función SET: pone el bit operando en *ON* cuando la condición de ejecución es *ON*.
- Función RSET: pone el bit operando en *OFF* cuando la condición de ejecución es *ON*.

En caso de simultaneidad de señales a un mismo bit, siempre predominará el RSET sobre el SET.

Figura 13. Instrucción SET y RSET



Fuente: captura de pantalla de CX-Programmer.

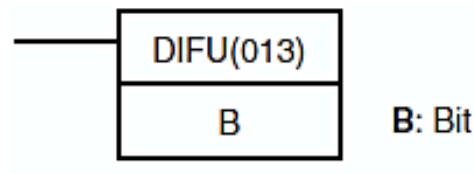
### 1.4.11.3. Flancos

Los flancos ponen a *ON* un bit durante un ciclo de scan (el tiempo que tarda en completarse el programa), cuando la condición de ejecución (los bits de entrada a la introducción) pasan de *OFF* a *ON* (flanco ascendente DIFU (13)) o de *ON* a *OFF* (flanco descendente DIFD (14)). Se utiliza cuando queremos dar únicamente un pulso de señal, independientemente del tiempo que el bit de entrada este activo.

### 1.4.11.3.1. Flanco ascendente DIFU (13)

DIFU (013) pone en *ON* el bit designado (B) durante un ciclo de scan cuando la señal de entrada pasa a *ON*.

Figura 14. Instrucción DIFU

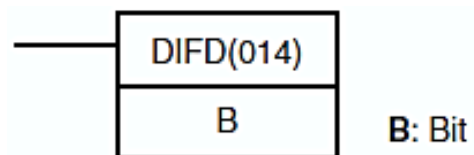


Fuente: captura de pantalla de CX-Programmer.

### 1.4.11.3.2. Flanco descendente DIFD(14)

DIFD (014) pone en *ON* el bit designado (B) durante un ciclo de scan cuando la señal de entradas pasa a *OFF*.

Figura 15. Instrucción DIFD



Fuente: captura de pantalla de CX-Programmer.



#### 1.4.11.4. Temporizadores y contadores

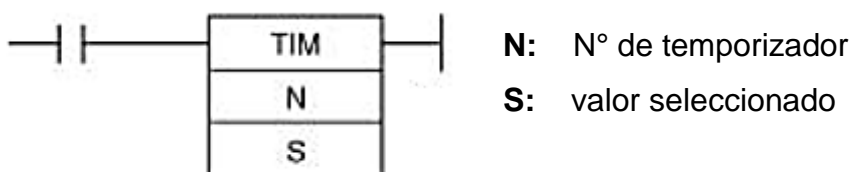
El modelo de PLC utilizado cuenta con 4090 temporizadores y 4090 contadores que pueden ser utilizados de manera independiente.

##### 1.4.11.4.1. Temporizadores TIM

Es un temporizador a la conexión que se activa cuando su condición de ejecución es *ON*, y se resetea (al valor seleccionado) cuando la condición de ejecución se pone en *OFF*. Una vez activado, TIM mide en *unidades de 0.1 segundo* desde el valor.

Si la condición de ejecución permanece en *ON* lo suficiente para que transcurra el tiempo fijado en TIM, se pondrá en *ON* el indicador de finalización del número de TC utilizado y permanecerá en dicho estado hasta que se resetee TIM (es decir, hasta que su condición de ejecución se ponga en *OFF*).

Figura 16. **Temporizador TIM**



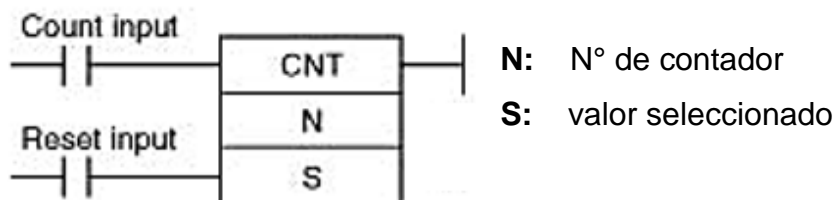
Fuente: captura de pantalla de CX-Programmer.

##### 1.4.11.4.2. Contadores CNT

Los contadores son utilizados para descontar a partir del valor fijado (SV) cuando la condición de ejecución en el impulso de entrada pase de *OFF* a *ON*,

el valor del temporizador será reducido en uno, siempre que CNT se ejecute con una condición de ejecución *ON*. Si la condición de ejecución no ha cambiado, o lo ha hecho de *ON* a *OFF*, el valor del CNT no cambiará. El indicador de finalización para un contador se pone en *ON* cuando alcanza cero y permanecerá en *ON* hasta que el contador se resetee. El contador con una entrada de reset, R. cuando R pasa de *OFF* a *ON*, se resetea al valor fijado.

Figura 17. **Contador CNT**



Fuente: captura de pantalla de CX-Programmer.

### 1.5. Interfaz hombre-máquina (HMI)

Las siglas HMI es la abreviación en inglés de interfaz hombre máquina. Los sistemas HMI podemos pensarlos como una ventana de un proceso. Esta ventana puede estar en dispositivos especiales como paneles de operador o en una computadora. Los sistemas HMI en computadoras se los conoce también como software HMI (en adelante HMI) o de monitoreo y control de supervisión. Las señales del proceso son conducidas al HMI por medio de dispositivos como tarjetas de entrada/salida en la computadora, PLC, RTU (unidades remotas de I/O) o DRIVE (variadores de frecuencia). Todos estos dispositivos deben tener una comunicación que entienda el HMI.

La interfaz hombre-máquina nos sirve para controlar y monitorear un proceso. Cuando se hace mención del término “controlar”, se hace referencia a arrancar y detener las máquinas, entendiendo como máquinas, ya sea una computadora, robots, motores, entre otros.

### **1.5.1. Historia**

Antes de comenzar a dar una referencia específica del origen del término HMI, se hará mención a Marshall McLuhan; él fue el primero en tener una visión de este concepto, y aunque esta no es tal y como se conoce en estos días, gracias a ésta visión se dio pie para que fuera posible. McLuhan dio origen y logró reestructurar varios términos dándoles un enfoque distinto, originando que futuros investigadores se basaran en su trabajo para dar principio al concepto HMI.

La industria HMI nació, particularmente de la necesidad que existía de estandarizar la forma de controlar y monitorear distintos sistemas remotos, tales como PLC´s, entre otros mecanismos de control.

HMI es un software utilizado para controlar, monitorear y determinar el estado de un sistema de control y automatización, para esto es necesario tener una interfaz entre el sistema y el usuario. HMI, es el punto en el que los seres humanos y maquinas logran ponerse en contacto; transmitiéndose de manera mutua no solo información, órdenes y datos sino también intuiciones, sensaciones y nuevas formas de ver las cosas.

## **1.5.2. Tipos de HMI**

Por su naturaleza de programación, las HMI se dividen en dos grupos, las programadas en ambientes completos y que incluyen todas las funciones que se pueden utilizar y las que se deben ser programadas desde cero utilizando lenguajes de programación universales gratuitos.

### **1.5.2.1. Paquetes enlatados HMI**

Son paquetes de software que contemplan la mayoría de las funciones estándares de los sistemas SCADA y que vienen ya listos solo para programar como el utilizado para este proyecto (*NS-Designer de Omron*).

### **1.5.2.2. Desarrollados a medida**

Se desarrollan en un entorno de programación gráfica como C++, Visual Basic, Delphi, entre otros.

## **1.5.3. Funciones de un software HMI**

Para poder realizar un programa completo que realice las operaciones dentro de una planta, es necesario que la interfaz gráfica cuente con diferentes funciones que la hagan más amigable y al mismo tiempo completa, es por ello que los fabricantes de HMI's han incluido módulos a sus software de programación que hacen la tarea del operador más fácil y completa.

### **1.5.3.1. Monitoreo**

Es la habilidad de obtener y mostrar datos de la planta en tiempo real. Estos datos se pueden mostrar como números, texto o gráficos que permitan una lectura más fácil de interpretar.

### **1.5.3.2. Supervisión**

Esta función permite, junto con el monitoreo, la posibilidad de ajustar las condiciones de trabajo del proceso directamente desde la computadora.

### **1.5.3.3. Alarmas**

Es la capacidad de reconocer eventos excepcionales dentro del proceso y reportarlos. Las alarmas son reportadas basadas en límites de control pre-establecidos.

### **1.5.3.4. Control**

Es la capacidad de aplicar algoritmos que ajustan los valores del proceso y así mantener estos valores dentro de ciertos límites. Control va más allá del control de supervisión removiendo la necesidad de la interacción humana. Sin embargo, la aplicación de esta función desde un software corriendo en PC puede quedar limitada por la confiabilidad que quiera obtener del sistema.

### **1.5.3.5. Históricos**

Es la capacidad de muestrear y almacenar en archivos, datos del proceso a una determinada frecuencia. Este almacenamiento de datos es una poderosa herramienta para la optimización y corrección de procesos.

### **1.5.4. Tareas de un software de supervisión y control**

- Permitir una comunicación con dispositivos de campo.
- Actualizar una base de datos dinámica con las variables del proceso.
- Visualizar las variables mediante pantallas con objetos animados.
- Permitir que el operador pueda enviar señales al proceso, mediante botones, controles *ON/OFF*.
- Supervisar niveles de alarma y alertar/actuar en caso de que las variables excedan los límites normales (en este sistema de control no se utilizó esta función de la pantalla táctil).
- Controlar en forma limitada ciertas variables de proceso.

Los softwares HMI están compuestos por un conjunto de programas y archivos. Hay programas para diseño y configuración del sistema y otros que son el motor mismo del sistema.

Con los programas de diseño, como el NS-Designer se crean moldes de pantallas para visualización de datos del proceso. Estos moldes son guardados en archivos y almacenan la forma en que serán visualizados los datos en las pantallas.

### **1.5.5. Base de datos**

Es un lugar de la memoria del HMI donde se almacenan los datos requeridos del proceso. Estos datos varían según el operador desee para variar los tiempos requeridos para el proceso de rotomoldeo.

### **1.5.6. Driver**

La conexión entre los bloques de la base de datos y las señales del proceso se realiza por medio de *drivers*, estos manejan los protocolos de comunicación entre el HMI y los distintos dispositivos de campo. Los *drivers* son básicamente la interfaz hacia la máquina.

## **1.6. Proceso de rotomoldeo**

Para entender en su totalidad el porqué de la migración realizada al proceso de rotomoldeo, será necesario también conocer sobre qué es en sí el proceso y como es que se fabrican los hidrotanques, para luego explicar cada equipo utilizado para su automatización y futura actualización.

El proceso de moldear rotacionalmente partes huecas de plástico es una parte importante, pero relativamente nueva de la industria del plástico. El rápido y constante crecimiento del moldeo rotacional excede permanentemente el abastecimiento de personal capacitado que se requiera para este importante segmento de la industria.

### 1.6.1. Definición del proceso

El moldeo rotacional o rotomoldeo es el proceso de transformación del plástico empleado para producir piezas huecas, en el que plástico en polvo o líquido se vierte dentro de un molde, luego se lo hace girar en dos ejes biaxiales mientras se calienta. El plástico se va fundiendo mientras se distribuye y adhiere en toda la superficie interna. Finalmente, el molde se enfría para permitir la extracción de la pieza terminada.

Figura 18. **Molde hueco para hidrotanque**



Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Proceso de rotomoldeo**



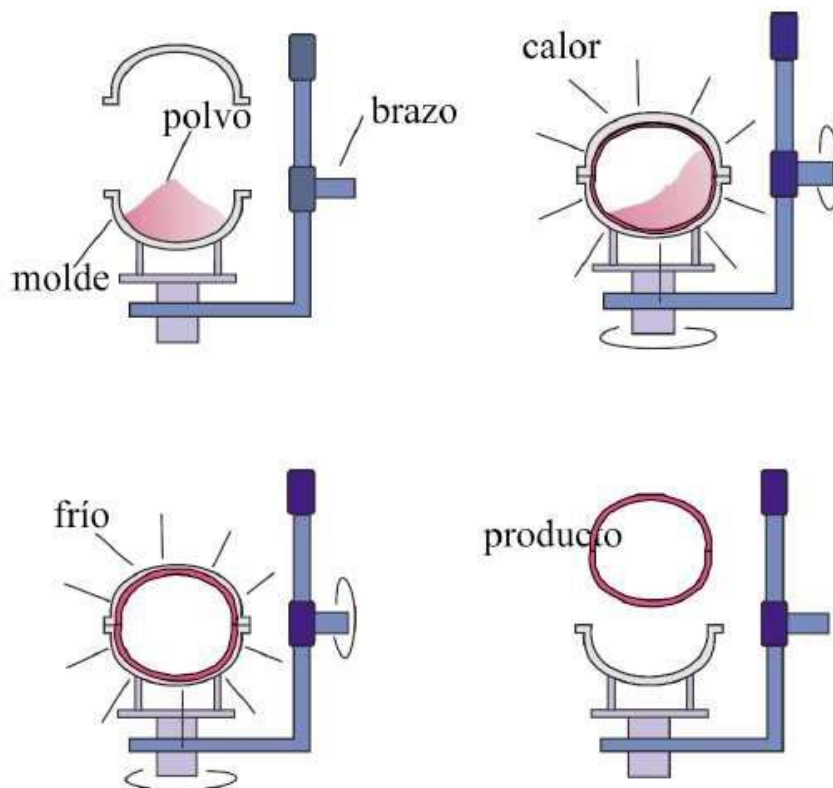
Fuente: elaboración propia.



En los últimos años, el rotomoldeo ha llamado fuertemente la atención de la comunidad industrial debido a las cualidades que presenta. Este proceso se va sofisticando día a día, de manera que actualmente es considerado entre los procedimientos de transformación con mayor madurez tecnológica debido a las innovaciones en equipo, materiales y técnicas de control que han sido incorporados.

A continuación se ilustra el proceso de rotomoldeo:

Figura 20. **Proceso de rotomoldeo**



Fuente: proceso de rotomoldeo. [construyendoocienciacierta/proceso-de-moldeo.html](http://construyendoocienciacierta/proceso-de-moldeo.html).

Consulta: 3 de febrero de 2017.

## **2. DISEÑO DE HARDWARE DEL SISTEMA DE CONTROL**

Los equipos y conceptos que se deben de describir para conocer el nuevo sistema de control actualizado realizado en la máquina de rotomoldeo son los siguientes:

- Controlador lógico programable (CP1H)
- Interfaz hombre-máquina (NS5)
- Panel de control

### **2.1. Familia de CPU CP1H**

Se dará una visión general de las características que incorpora el autómata programable de la serie CP1H de Omron.

Es un PLC que aúna la velocidad de procesamiento y arquitectura interna de los autómatas de la serie CS/CJ y, a su vez, la capacidad de E/S de CPUs de la serie CPM2A.

Hay disponibles tres modelos de CPUs:

- Básica (CP1H-X)
- Analógica (CP1H-XA)
- Posicionado (CP1H-Y)

Las principales características por resaltar son las siguientes:

- Incorporan hasta 24 entradas y 16 salidas en la propia CPU.
- Hasta 4 contadores de alta velocidad de hasta 1 MHz.
- Salida de pulsos para controlar hasta 4 ejes de manera independiente hasta 1 MHz (en modelos Y).
- Disponibilidad de 4 entradas y 2 salidas analógicas.
- Incorpora hasta 8 entradas de interrupción configurables.
- Puede expandirse hasta un máximo de 320 puntos de E/S.
- Expandible con módulos de la serie CPM1A y CJ1.
- Posibilidad de programación a través de bloques de función.
- Disponibilidad de 2 puertos serie de comunicación.

### 2.1.1. Modelos de CPU

En la siguiente tabla se muestran las características de cada uno de los modelos de CPU disponibles para la serie CP1H.

Tabla III. Modelos disponibles

Modelos	CPU "X"		CPU "XA"		CPU "Y"
	CP1H-X40DR-A	CP1H-X40DT-D CP1H-X40DT1-D	CP1H-XA40DR-A	CP1H-XA40DT-D CP1H-40DT1-D	CP1H-Y20DT-D
Alimentación	100 a 240 VAC 50/60 Hz	24 VDC	100 a 240 VAC 50/60 Hz	24 VDC	24 VDC
Capacidad de programa	20 Kpasos				
Max. Puntos de E/S	320				300
Puntos de E/S	40				20
Entradas normales	24				12
Entradas interrupción	8 max.				6 max.
Salidas	16 relé	16 transistor	16 relé	16 transistor	8 transistor
Contadores de alta velocidad	4 ejes, 100 kHz (fase simple) / 50 kHz (fase diferencial)				2 ejes, 1 MHz (fase simple) / 50 kHz (fase diferencial) - 2 ejes, 1 MHz (fase simple) / 500 kHz (fase diferencial)
Salida de pulsos	2 ejes, 100 kHz 2 ejes, 30 kHz				2 ejes, 1 MHz 2 ejes, 30 kHz
E/S analógicas			Entradas tensión/corriente: 4 Salidas tensión/corriente: 2		

Fuente: CP1H. [http://www.tecnical.cat/PDF/Omron/PLC/CP1H/GR\\_CP1H.pdf](http://www.tecnical.cat/PDF/Omron/PLC/CP1H/GR_CP1H.pdf).

### 2.1.2. Unidades opcionales

En la siguiente tabla se muestran todos los posibles accesorios que se pueden tener con esta serie de PLCs.

Tabla IV. **Unidades opcionales**

Referencia	Descripción
CP1W-CIF01	Módulo interface serie RS-232C
CP1W-CIF11	Módulo interface serie RS-422/485
CP1W-ME01M	Cartucho de memoria
CP1W-EXT01	Módulo para expansión con unidades de la serie CJ
CP1W-TER01	Tapa de terminación de bus
CP1W-CN811	Cable de expansión de 80 cms
CJ1W-BAT01	Batería de repuesto

Fuente: CP1H. [http://www.tecnical.cat/PDF/Omron/PLC/CP1H/GR\\_CP1H.pdf](http://www.tecnical.cat/PDF/Omron/PLC/CP1H/GR_CP1H.pdf). Consulta: 20 de enero 2017.

### 2.1.3. Consumo

En la tabla siguiente se visualizan los consumos de corriente de los distintos modelos de CPU.

Tabla V. **Consumo**

Modelo	Consumo de corriente	
	5 VDC	24 VDC
CP1H-XA40DR-A	0,43 A	0.18 A
CP1H-XA40DT-D	0,51 A	0.12 A
CP1H-XA40DT1-D	0,51 A	0.15 A
CP1H-X40DR-A	0,42 A	0.07 A
CP1H-X40DT-D	0,50 A	0.01 A
CP1H-X40DT1-D	0,50 A	0.02 A

Fuente: CP1H. [http://www.tecnical.cat/PDF/Omron/PLC/CP1H/GR\\_CP1H.pdf](http://www.tecnical.cat/PDF/Omron/PLC/CP1H/GR_CP1H.pdf). Consulta: 21 de enero de 2017.

#### **2.1.4. Controlador programable CP1H-X**

Para efectos del trabajo realizado, se expondrán detalles técnicos describiendo en su totalidad el controlador lógico programable CP1H-X40DR-A utilizado como actualización del PLC que el cliente poseía para su sistema de control.

Este micro-PLC de alta velocidad ofrece una potente capacidad de control de posición y comunicación.

Debido a las necesidades que el sistema de control posee, se optó por utilizar un PLC de la serie compacta CP1 y utilizando el de mayor efectividad pero sin la necesidad de utilizar las E/S analógicas, ya que nuestro sistema solo cuenta con señales E/S discretas.

##### **2.1.4.1. CP1H-X40DR-A**

Combinando la potencia de procesamiento y la capacidad de gestión de datos de la serie CJ1M y la funcionalidad de E/S digitales de la serie CPM2A en un diseño de PLC compacto, la serie CP1H marca nuevos estándares.

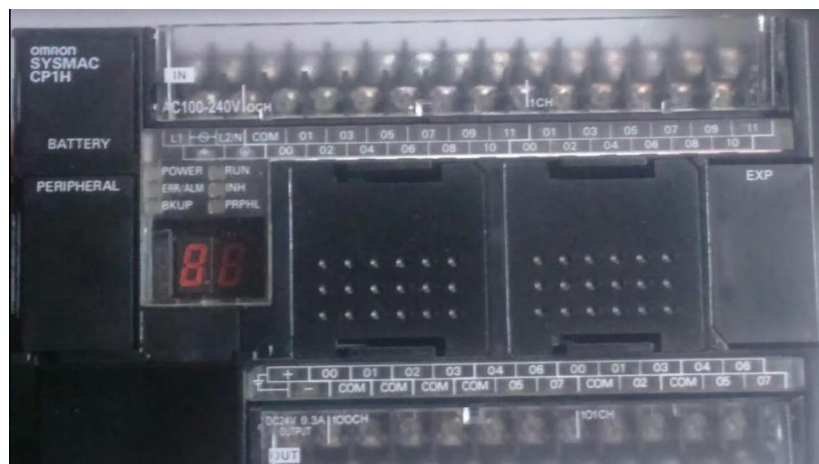
La serie CP1H ofrece toda la funcionalidad que se necesita para controlar aplicaciones relativamente sencillas, incluidas capacidades avanzadas de posicionamiento. Todas las CPU de la serie CP1H cuentan con USB de alta velocidad, para una programación igualmente rápida.

El “editor de entrada sencilla” permite una programación más rápida gracias a un intuitivo editor *ladder* que permite crear un programa organizado de aplicaciones.

El PLC utilizado es un PLC estándar que cuenta con un contador de alta velocidad en 4 ejes. Diseñado para aplicaciones compactas, el CP1H es un PLC compacto de alta velocidad y polivalente. Sus cuatro contadores de alta velocidad y cuatro salidas de pulsos resulta ideal para el control de posicionamiento multieje.

El CP1H se puede ampliar con diferentes E/S y es compatible con hasta dos unidades especiales de E/S CJ1W. Esto implica que está abierto a los buses de campo más populares y es compatible con la mayoría de unidades de comunicación de la serie CJ.

Figura 21. **CP1H-X40DR-A**



Fuente: elaboración propia.

#### **2.1.4.1.1. Características técnicas del PLC**

- Este PLC en concreto debe ser alimentado con un voltaje alterno de 100-240Vac a una frecuencia de 50/60 Hz.

- Consta de 4 entradas para codificar (100kHz).
- Posee 8 interrupciones / contadores.
- Tiene 24 entradas y 16 salidas a relé.
- Tiene una capacidad de hasta 20k pasos de programación en su memoria.
- Su velocidad de procesamiento es de 0.1  $\mu$ s (usando la instrucción "Load").
- Su comunicación con la PC es por medio de un puerto USB.
- Su comunicación con la pantalla HMI es por medio de un puerto CP1W-CIF01 por el protocolo RS-232.
- Posee un reloj de tiempo real.
- Tiene una dimensión de 110 alt. x 150 ancho x 85 prof. (mm).
- Su clasificación es: UL, cUL y CE; UL Clase I, División 2, Grupos A, B, C y D para uso en lugares peligrosos.
- Sus contadores de alta velocidad en 4 ejes tiene una velocidad de:
  - Fase simple: 4 x 100 kHz
  - Fase diferencial: 4 x 50 kHz
- Su salida de pulsos en 2 ejes tienen una velocidad de:
  - 2 ejes 100 kHz + 2 ejes 30 kHz.
  - Entradas de 100 a 120 Vac.: 20 A máx. 8 ms máx./entradas de 200 a 240 Vac.: 40 A máx. 8 ms máx.
- Tiene una resistencia al aislamiento de 20 M $\Omega$  mín. entre terminales de c.a. externa y de tierra.
- Su rigidez dieléctrica es de 2,300 Vac 50/60 Hz durante 1 minuto entre los terminales de c.a. externos y de tierra.
- Tiene inmunidad al ruido, conforma con IEC61000-4-4. 2 kV (línea de alimentación).

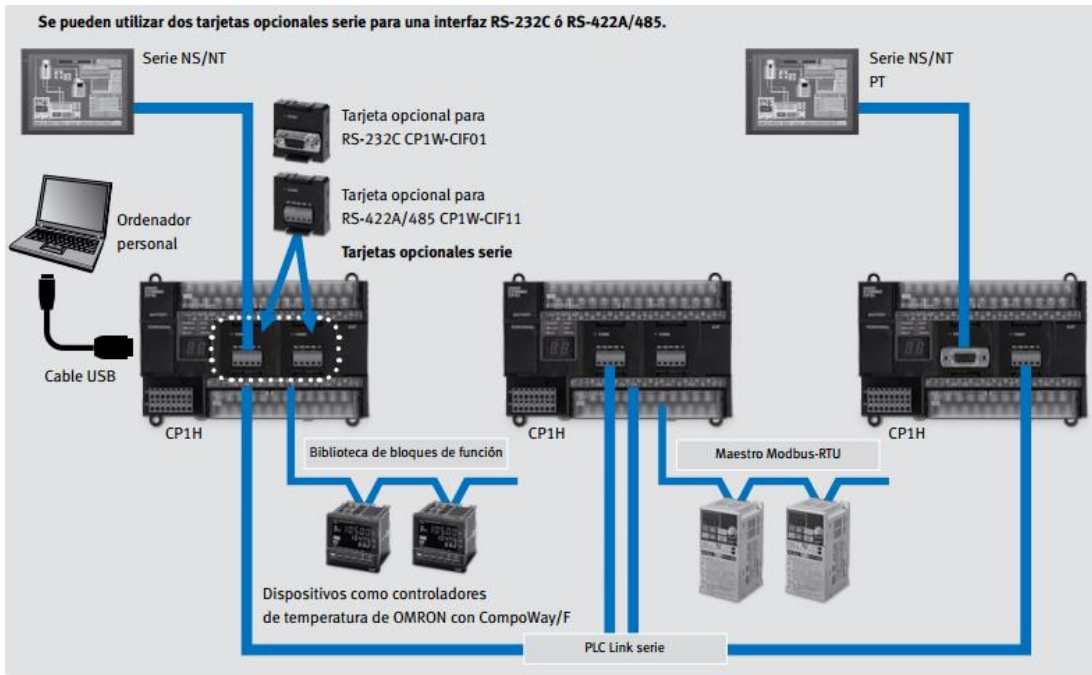
- Resistencia a vibraciones: 10 a 57 Hz, 0,075 mm de alitud, 57 a 150 Hz; aceleración:  $9,8 \text{ m/s}^2$  durante 80 minutos en cada una de las direcciones X, Y y Z.
- Resistencia a golpes:  $147 \text{ m/s}^2$ , tres veces en cada una de las direcciones X, Y y Z.
- Temperatura ambiente de servicio: 0 a 55 °C.
- Humedad ambiente: 10 % a 90 % (sin condensación).
- Entorno de operación ambiental: sin gas corrosivo.
- Temperatura ambiente de almacenamiento: -20 a 75 °C (sin incluir la batería).
- Peso: 740 g máx.

#### **2.1.4.1.2. Comunicación en serie**

Se pueden montar dos tarjetas opcionales para las comunicaciones RS-232C ó RS-422A/485, lo que facilita la conexión simultánea a un terminal programable y otros dispositivos como convertidores de frecuencia, controladores de temperatura, sensores inteligentes o LC Link serie. El puerto USB estándar se utiliza para la conexión a un ordenador personal.



Figura 22. Módulos de comunicación

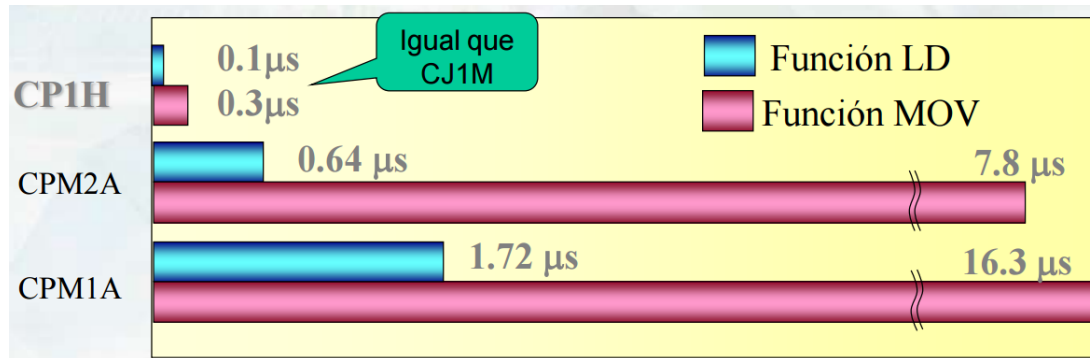


Fuente: CP1H. [http://www.tecsc.com.ar/wp-content/uploads/2013/07/om\\_cp1h.pdf](http://www.tecsc.com.ar/wp-content/uploads/2013/07/om_cp1h.pdf). Consulta: 15 de enero de 2017.

#### 2.1.4.1.3. Mejoras relativas al PLC anterior

- Función básica: más de 6 veces más rápido
- Función MOV: más de 26 veces más rápido
- Protocolos universales
- Migraciones simplificadas
- Conectividad con otros equipos de otras marcas

Figura 23. Velocidad comparativa CPM2A vs CP1H



Fuente: CP1H. [http://www.infoplac.net/omron/infoPLC\\_net\\_Presentacion\\_CP1H.pdf](http://www.infoplac.net/omron/infoPLC_net_Presentacion_CP1H.pdf). Consulta: 15 de enero de 2017.

- El CP1H tiene una potencia de procesamiento y una capacidad de gestión de datos mucho mejor que la anterior serie CPM2A.
- La forma de conexión con la PC se ha estandarizado con un cable USB económico, lo que ahorrara mucho tiempo y dinero a la hora de realizar cualquier cambio, ya que solo el obtener un cable de programación para el CPM2A se ha convertido en tarea casi imposible por tratarse de un equipo obsoleto. La estandarización de la conectividad ha hecho que los nuevos equipos tengan una vida útil más alargada, sin que se vuelvan obsoletos tan rápido.

Todas estas mejoras ayudan a que la interacción con la pantalla HMI nueva sea más fácil, sutil y menos complicada ya que se pueden agregar nuevas instrucciones y la respuesta que el operario recibirá será aún mejor; lo que logrará mejores procesos, más exactos y sin fallas.

#### 2.1.4.1.4. Ventajas de este equipo

- Es un equipo mucho más compacto, ocupe menos espacio dentro del panel de control.
- Tiene las mismas capacidades básicas que un PLC de gama alta, pero al precio de uno de gama baja.
- Sus protocolos de comunicación se han estandarizado, haciendo posible la comunicación, incluso, con equipos de otras marcas.
- Su programación es de las más fáciles si es comparada con equipos de las marcas competencia.
- Su programación se puede realizar de diferentes maneras, lo que ayuda a que los técnicos programadores tengan variedad de programación.
- Es un equipo capaz de trabajar en ambientes con atmósferas peligrosas.
- Puede expandir sus entradas y salidas sin necesidad de comprar otra CPU haciendo de las futuras expansiones una tarea fácil y económica.
- Tiene diferentes módulos que se pueden comprar por aparte, esto hace que su inversión inicial sea aún más económica sin limitar sus posibilidades, en caso de que se desee adquirir un módulo extra.
- Los diferentes módulos que se ofrecen, incluyen diferentes comunicaciones, expansión de memoria y más entradas y salidas, lo que podría convertir a este PLC en otro de gama más alta.
- Tiene una fácil instalación por medio de riel DIN o directo al panel.
- Tiene la posibilidad de migrarse a otro de más reciente modelo sin perder la programación o tener que desechar las instrucciones ya programadas. Estas migraciones se vuelven tarea muy fácil, economizando tiempo y dinero a quien contrata el servicio y a quien efectúa la migración.
- Es compatible con modelos anteriores, algo que no todas las marcas poseen, por lo que nunca se perderá información porque esta puede ser trasladada a un modelo más reciente.

- “Un software, una conexión” es el eslogan que la marca Omron tiene al referirse a su programa CX-One, que por un precio bastante accesible, ofrece acceso a más de 10 programas diferentes para manipular, modificar y programar todos en uno solo, ayudando a no tener que poseer varios programas para manipular los diferentes equipos Omron.
- Tiene la misma arquitectura que las familias CP1L, CJ1, CS1.
- No es necesario un PLC de gama alta para controlar equipos de alta velocidad como los encoders, ya que este cuenta con entradas de alta velocidad dispuestas para estas tareas.
- Su instalación es bastante sencilla, además de ocupar poco espacio y la posibilidad de manejar múltiples equipos de manera simultánea.
- Ideal para aplicaciones con servo en máquinas pequeñas y tiene alta precisión.

## **2.2. Interfaz hombre-máquina NS5**

La tarea de mantener informado al operador de lo que está sucediendo en alguna parte del proceso de rotomoldeo la realiza la interfaz hombre-máquina utilizada NS5-SQ11B-V2. La importancia de que exista una buena comunicación entre ambos, como parte de un sistema de control de procesos automatizados, radica en que solo así se podrán analizar las diferentes anomalías que puedan suceder, además de ajustar los diversos parámetros relacionados al proceso de control.

Una HMI debe contener, tanto componentes gráficos como componentes numéricos, además debe utilizar terminología estandarizada y clara para el usuario final. Se recomienda que las variables de proceso, *set point* y variable de control sean lo más claras posibles para el usuario. Asimismo, se debe

mantener un registro histórico de las variaciones ocurridas, esto con el fin de estudiar su comportamiento y realizar las predicciones respectivas.

Figura 24. **Pantalla NS5**



Fuente: NS5. <https://industrial.omron.us/es/products/ns5#software>. Consulta: 3 de octubre de 2017.

### **2.2.1. Objetivos del cambio de HMI**

Los objetivos que nos fijamos para la utilización de la HMI en este sistema de control son:

- Disminuir la tasa de errores de los operarios gracias a unas presentaciones gráficas más grandes, claras e intuitivas de las fases de control.
- Incrementar al máximo la productividad.
- Mejorar la calidad y reducir los costos operacionales, de desarrollo y de mantenimiento.
- Reducir los tiempos de aprendizaje del proceso en los nuevos operadores.

- Reducir los costos de rediseño al estandarizar procedimientos.

### **2.2.2. Diseño de la interfaz hombre-máquina**

El éxito de esta aplicación de visualización y por consiguiente su efectividad y rendimiento, va a radicar en la aceptación que los operarios tengan sobre la migración. Esto significa que las pantallas y la migración deben aproximarse a lo que el operario está acostumbrado a manejar, así que se realizó la migración de la pantalla en conjunto con ellos ya que son los que realmente saben cómo deben ser sus pantallas de visualización y son los más indicados para mencionar las necesidades de su aplicación.

La migración y mejora del programa debe implementarse de manera que su manejo sea intuitivo, dentro de lo posible. Interesa tener una aplicación práctica, sencilla y cómoda antes que una vistosa llena de controles superfluos y complicados caminos para pedir realizar una tarea sencilla, como la continuación del proceso cuando este es trabajo en manual o cuando se desea encender los mecheros o la salida de gas.

### **2.2.3. Características técnicas**

Esta serie consta de modelos monocromos con 16 escalas de grises y modelos STN/TFT de hasta 30,768 colores. Está equipada con una conexión USB para la descarga y carga de proyectos, así como la posibilidad de establecer comunicaciones por Ethernet. Una de las mayores ventajas de NS es que puede utilizar las *Smart Active Parts* (SAP) exclusivas de Omron que le ahorran tiempo en la configuración, puesta en funcionamiento y mantenimiento de la máquina. Las SAP son objetos de visualización preprogramados y

precomprobados con un código de comunicaciones incrustado, lo que permite diseñar los terminales HMI con el sencillo método de “arrastrar y colocar”.

Algunas de las características básicas de las pantallas de la serie NS son:

- Pantallas de claridad perfecta y cambio rápido
- Duración extremadamente larga de la retroalimentación (hasta 75,000 horas).
- Admite todos los idiomas europeos, asiáticos y cirílicos.
- Sencillo registro de datos en tarjeta CompacFlash.
- Memoria de gran capacidad (60MB).
- 5,7 pulgadas QVGA LCD con luz LED o modelos en escala gris de 16 niveles.
- Monitor de escala y consola de programación para PLC´s Omron.
- Proyectos escalables entre todos los tamaños de los modelos.
- La pantalla instalada consta de 4 096 colores y 320 x 240 pixeles.
- Pantalla táctil de matriz resistiva.
- Peso de 1,0 kg máx.
- Serial (COM1): 1 x RS-232.
- Serial (COM2): 1 x RS-232.
- Voltaje de alimentación de 24 VDC  $\pm$  15 %.
- Consumo de potencia: 15 W máx.
- La batería tiene una duración de hasta 5 años (a 25 °C).
- Tiene una protección IP65F (equivalente a NEMA 4).
- Cumple con los estandares UL 1604 Clase 1 División 2, cUL, CE, Lloyds, DNV.
- Inmunidad al ruido: conforme a IEC61000-4-4, 2 KV.
- Temperatura ambiente de operación: 0 a 50 °C.

- Humedad ambiente de operación: 35 % a 85 % (0 a 40 °C) sin condensación.

#### **2.2.4. Mejoras relativas a la HMI anterior**

- Mejor imagen y resolución.
- Mayor rapidez de procesamiento, comunicación, respuesta y ejecución de instrucciones.
- Mayor tamaño de pantalla lo que deriva en mayor tamaño para los botones que se coloquen, facilitando la tarea a los operarios.
- Estandarización de protocolos, por lo que ahora se puede conectar por medio de Ethernet o RS-232, haciendo posible la conexión con otros PLC de otras marcas.
- Debido a su protocolo Ethernet, ahora es posible la comunicación con varios equipos conectados a la misma LAN.
- Mayor sensibilidad en su pantalla táctil de matriz resistiva.
- Mayor protección frente al agua y al polvo.

#### **2.2.5. Ventajas del HMI por utilizar**

- Mejor resolución de imagen y color.
- Tiene una mayor compatibilidad con los dispositivos y PLCs Omron que ofrece un proceso de diseño avanzado que permite disponer de máquinas más eficientes.
- Se han reducido considerablemente el trabajo y el coste de conexión a PLCs y dispositivos Omron.
- Tiene un soporte técnico actualizado que no ofrece la pantalla NT previa debido a que se encuentra obsoleta.



- Es programable utilizando el mismo programa de los PLC, evitando tener que realizar la compra de un programa nuevo o tener que utilizar varios programas a la vez para manejar los equipos Omron.
- Desde diseños conceptuales hasta tareas de puesta en marcha, funcionamiento y mantenimiento, la serie NS cubre las necesidades de todos los usuarios.
- Reducción de la carga de trabajo.
- Solucionador de problemas incorporado.
- Presenta un sistema de seguridad encriptado para resguardar la información del sistema de control.

### **2.3. Panel de control**

El panel de control del sistema de control de rotomoldeo, es un buen ejemplo en el que se ve de forma clara la dificultad de proponer especificaciones de diseño. En primer lugar, es importante la locación del panel para evitar faltar contra la seguridad industrial, luego se deberá saber si en un futuro se desea expandir el programa o si desea que ocupe el menor espacio posible, también se deberá saber si la empresa requiere de normas de seguridad extras para dimensionar y diseñar su panel de control. Todos estos son factores y más son los que se deben tomar en cuenta al momento de la realización y montaje del panel de control.

#### **2.3.1. Dimensionamiento del panel de control**

Para conocer qué dimensiones deberá tener nuestro panel de control, será necesario conocer primero los equipos por utilizar y luego conocer sus medidas para, por último, realizar un cálculo del espacio requerido para uno dentro del

panel junto con elementos necesarios para el cableado y conexiones tales como canaletas, riel DIN, borneras, cables, entre otros.

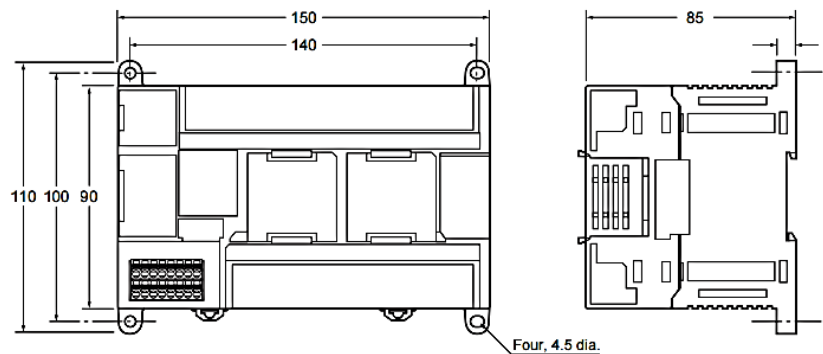
### 2.3.1.1. Medidas de equipos por utilizar

A continuación, se presentan las medidas exactas de los equipos utilizados para un mejor desarrollo del panel.

#### 2.3.1.1.1. Medidas PLC

El PCL utilizado es el CP1H-X40DR-A, se describen sus medidas a continuación.

Figura 25. Medidas CP1H-X40DR-A

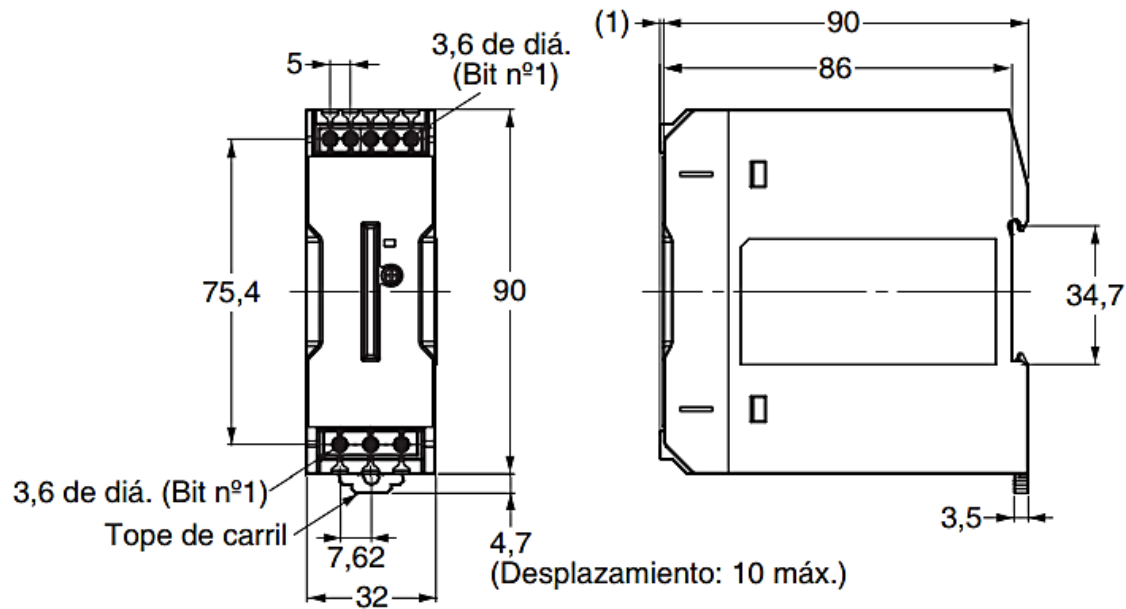


Fuente: catálogo CP1H: KatalogCP1H.pdf. Consulta: 3 de febrero de 2017.

#### 2.3.1.1.2. Medidas fuente de alimentación

La fuente de alimentación utilizada fue la S8VK-G06024, la cual se presentan las medidas a continuación.

Figura 26. **Medidas S8VK-G06024**

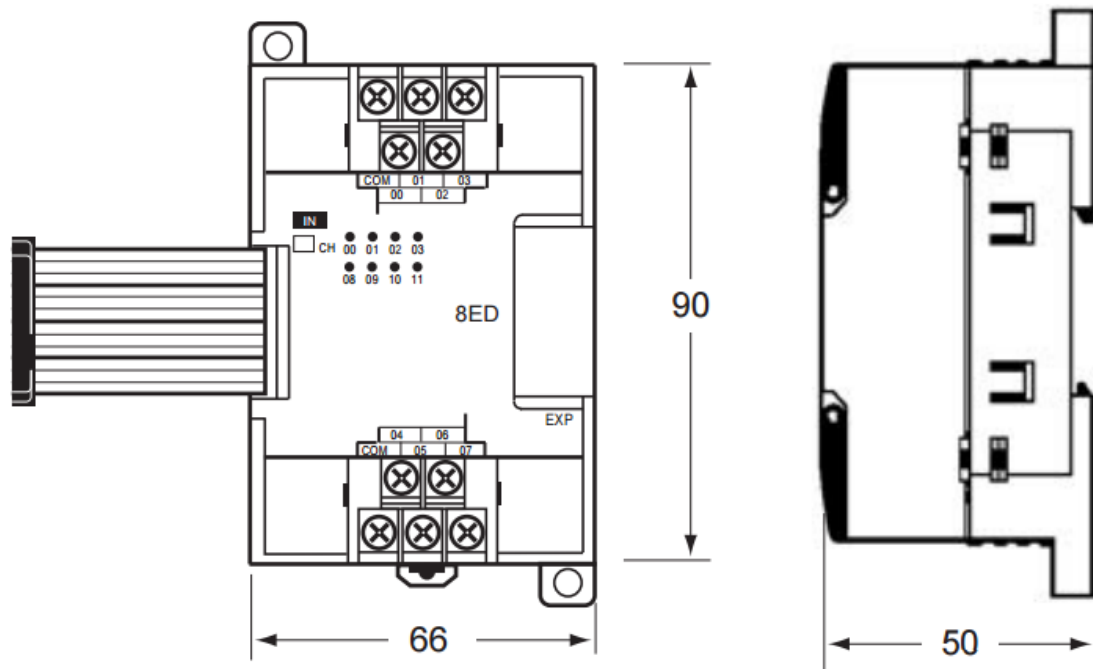


Fuente: catálogo S8VK-G: KatalogS8VK-G.pdf. Consulta: 3 de febrero de 2017.

### 2.3.1.1.3. **Medidas de unidad de expansión**

La unidad de expansión fue la CP1W-8ER, la cual posee las siguientes medidas.

Figura 27. **Medidas CP1W-8ER**

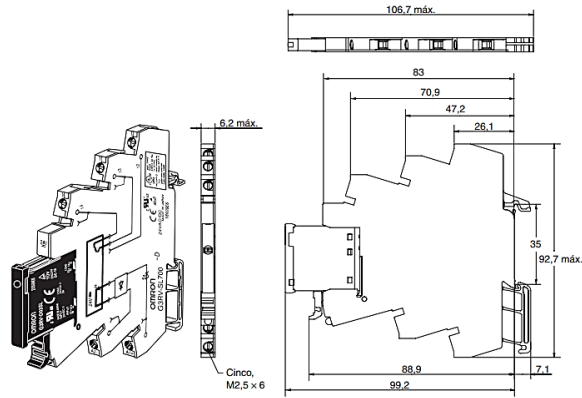


Fuente: catálogo CP1H: KatalogCP1H.pdf. Consulta: 3 de febrero de 2017.

#### 2.3.1.1.4. **Medidas de relés de control**

Los relés utilizados fueron los G2RV, los cuales poseen las siguientes medidas.

Figura 28. **Medidas G2RV**

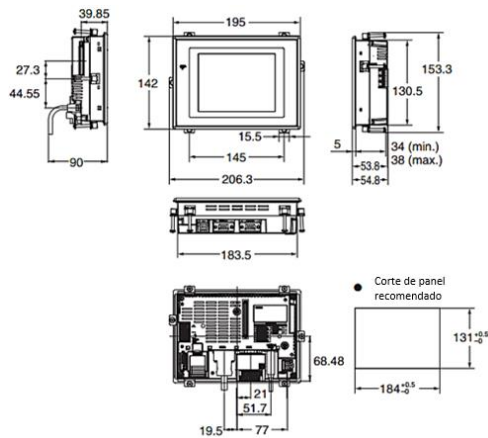


Fuente: catálogo G2RV-relay-series.pdf. Consulta: 3 de febrero de 2017.

### 2.3.1.1.5. **Medidas de HMI**

La interfaz gráfica utilizada fue la NS5-SQ11B-V2, la cual posee las siguientes medidas.

Figura 29. **Medidas NS5-SQ11B-V2**



Fuente: serie NS5: [http://www.ia.omron.com/data\\_sheet/ns\\_series\\_dsheets\\_gwv405-e1-01.pdf](http://www.ia.omron.com/data_sheet/ns_series_dsheets_gwv405-e1-01.pdf).

Consulta: 3 de febrero de 2017.

### 2.3.1.2. Panel de control

Luego de obtener las medidas de todos los equipos por utilizar (alto x largo x profundidad), se procederá a realizar el diseño general de como quedarían los equipos dentro del panel y así poder colocar un panel acorde con las necesidades.

Tabla VI. **Medidas de equipos y materiales**

<b>Equipo/Material</b>	<b>ALTO (mm)</b>	<b>LARGO (mm)</b>	<b>PROFUNDIDAD (mm)</b>
PLC	110	150	85
Pantalla	N/A	N/A	90 (con cable)
Fuente	90	32	90
Módulo de expansión	90	66	50
Relés de protección	92,7	6,2	106,3
Borneras	4	4	10
Canaleta	40	40	40
<b>TOTAL</b>	215 (Suma total de elementos)	298,2	196,3 (Suma de pantalla y rele)

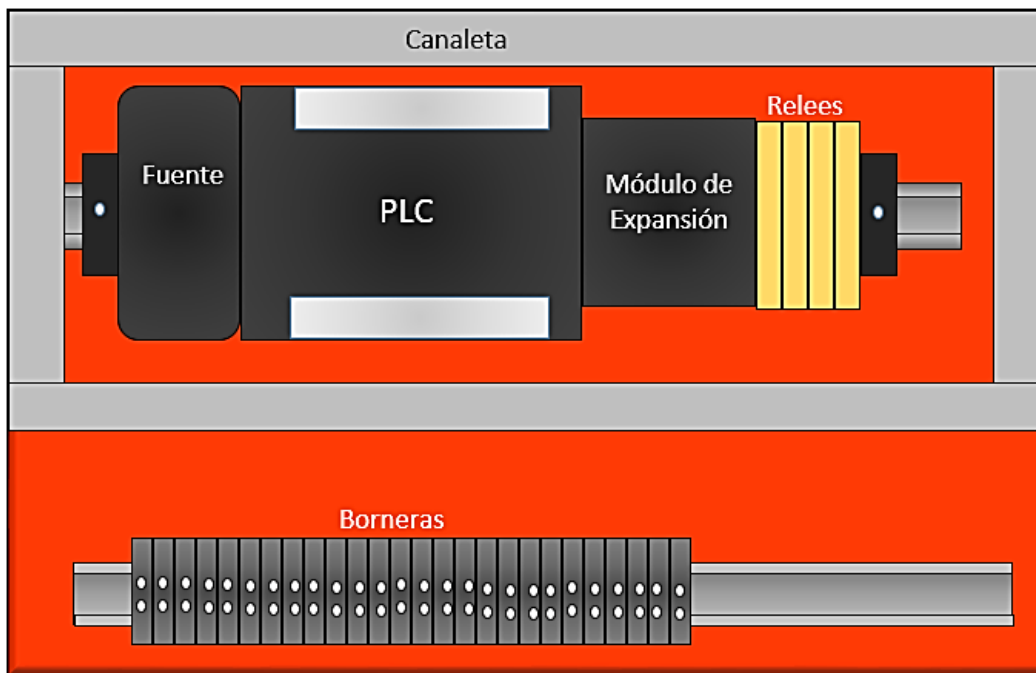
Fuente: elaboración propia.

Como estándar se manejará un espacio de 30mm entre canaleta y equipo; 5cm entre canaleta y conexión superior de bornera; y 10cm entre bornera y conexión inferior.

Para conocer cuáles serán las dimensiones del panel por utilizar, basta con conocer la suma total del alto de todos los equipos para saber el alto del panel; el ancho de todos los equipos, para conocer el ancho del panel y la suma entre la pantalla y el elemento más profundo para conocer la profundidad del panel.

Teniendo esto, se procede a realizar un bosquejo de como quedarían los equipos dentro del panel.

Figura 30. **Distribución de equipos dentro del panel**



Fuente: elaboración propia.

Finalizado este proceso, ya se puede saber qué dimensiones tendrá por lo que se elige el panel comercial más cercano posible y se deja espacio para futuras expansiones. El tablero de control fue contemplado como un panel rectangular metálico recubierto con pintura anticorrosiva de medidas 300 de alto x 500 de largo x 200 mm de profundidad que deja aun espacio suficiente para futuras expansiones.

### **3. MIGRACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL**

#### **3.1. Escenario actual del sistema de control**

El sistema de control de lazo cerrado actualmente instalado, controla la fabricación de hidrotanques en la planta y está constituido por un controlador lógico programable con entradas y salidas para manejar hasta 40 puntos o variables y una pantalla táctil que funciona como interfaz gráfica.

El panorama actual es que el sistema de control no puede ser modificado ya que no existen piezas de recambio debido a que el PLC y HMI se encuentran obsoletas y sus cables de programación ya no son fabricados, causando atrasos e inconvenientes cuando se trata de realizar algún mantenimiento correctivo como cambiar alguna entrada o salida, modificar el programa o la interfaz gráfica.

Esto hace necesario desarrollar una solución técnica y económicamente viable para modernizar el sistema de control y lograr que cubra las necesidades actuales y soporte el futuro crecimiento de la planta.

#### **3.2. Descripción del proceso de migración**

La actualización o migración del sistema de control se dividió en cuatro etapas para llevar un control respecto de tiempos.



### **3.2.1. Levantamiento**

El propósito de un levantamiento consiste en realizar una visita de campo y poder ver las necesidades de suministro eléctrico para la conexión del equipo que se instalará en el proyecto.

Se hizo la primera visita de campo donde se llevó a cabo el proyecto, para realizar el levantamiento correspondiente y obtener la información necesaria para la planeación y cotización.

Se comenzó por hacer la petición de los diagramas del proceso de rotomoldeo y por el programa impreso del PLC, pero la petición fue denegada ya que el ingeniero de planta me mencionó que no contaba con dichos documentos.

Se optó por elaborar una lista de todos los equipos que son utilizados en el proceso de rotomoldeo, incluyendo sus características y algunas etiquetas que describen mejor a cada equipo.

Se solicitó al técnico de planta que realizara un diagrama a mano alzada de las conexiones de las entradas y salidas del PLC y de las conexiones de todos los instrumentos que interfieren en el proceso de fabricación de hidrotanques por rotomoldeo.

Posteriormente, se solicitó el diseño de un diagrama representativo de las conexiones de las botoneras, para entender cómo estaban ligados hacia el proceso y pudieran ser incluidos en la pantalla táctil al momento de realizar la migración, ya que el ingeniero solicitó que estos fueran eliminados del panel y mejor se incluyeran dentro de la HMI.

Finalmente, se solicitó que me realizara una breve descripción de cada paso que realiza el proceso, junto al que se lleva como operario manejar el sistema en la interfaz gráfica.

En esta visita también se realizó el BackUp del PLC y HMI a fin de contar con los respectivos programas al momento de realizar las migraciones.

### **3.2.2. Programación**

Para realizar una programación de PLC es muy importante conocer con detalle todos y cada uno de los equipos con los que se trabajará. Se debe conocer el número de entradas y salidas que vamos a requerir, conocer el proceso general que se va a realizar, para así definir los tiempos de ejecución del programa y la duración del mismo.

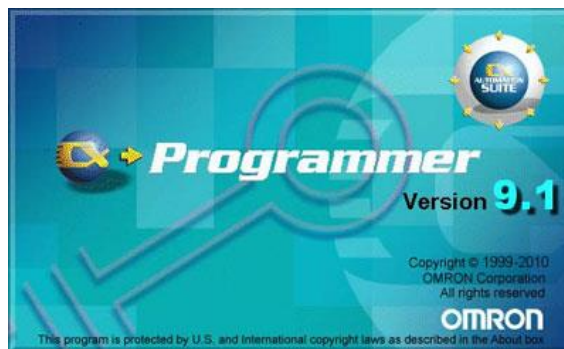
Se comenzó por ordenar los datos obtenidos en el levantamiento, para así entender las conexiones existentes, se realizó el diagrama eléctrico para un mejor entendimiento y una mejor organización para el diseño del programa.

En base a los diagramas obtenidos por el técnico de planta y la explicación dada por el ingeniero, se logró definir puntos para agregar al nuevo programa como la eliminación de los botones físicos colocados en el panel para sustituirlos por botones dentro de la HMI y así minimizar espacio y hacer el panel menos cargado. También se agregó un semáforo que indicaría si el proceso se encontraba en precalentamiento, moldeado o enfriamiento. Asimismo, el ingeniero solicitó agregar contraseñas al menú de ajustes para evitar que los operarios puedan manipular los tiempos de rotomoldeo; por último, se solicitó un contador para llevar el control de piezas producidas y su reseteo con contraseña.

Estos requerimiento realizados por el ingeniero, crearon la necesidad de contar con más salidas para gobernar los semáforos, por lo que fue necesaria la compra del módulo de expansión mencionado en el capítulo anterior.

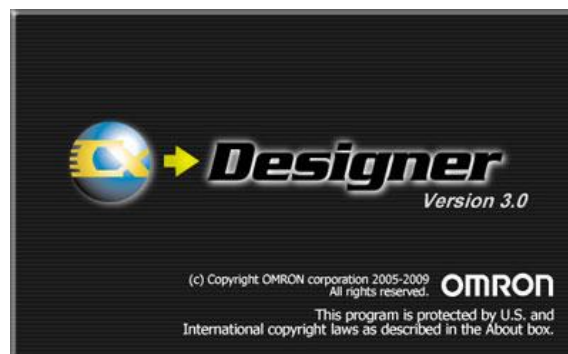
Para la realización de la migración y programación del PLC se utilizó el software Cx-Programmer; mientras que para realizar la migración de la HMI fue necesario utilizar los softwares NT y Cx-Designer.

Figura 31. **Cx-Programmer**



Fuente: CD Cx-ONE.

Figura 32. **Cx-Designer**



Fuente: CD Cx-ONE.

Previo a realizar la migración, se realizaron pruebas al PLC antiguo forzando algunas señales de entrada y otras de salida para comprender en su totalidad el funcionamiento del sistema de control.

### **3.2.3. Migración del PLC**

Consiste en el acto de mantenimiento preventivo, es decir, actualizar el PLC de un proceso antes de que este falle. Es importante trabajar con los PLC actualizados ya que una falla de ellos ocasiona una gran pérdida de tiempo en la producción.

Se realizó la segunda visita de campo, luego de aprobado el proyecto, para llevar a cabo la migración del PLC, se rectificaron las conexiones existentes de los equipos de modo que coincidieran con los diagramas que se obtuvieron a partir del levantamiento, con el fin de cerciorarse que se está realizando todo de manera correcta.

Con la migración ya efectuada en el computador, se procedió a la compra de materiales para el desarrollo del panel nuevo y se continuó con la realización del mismo para avanzar en ello, previo al cambio de paneles en planta.

En una tercera visita se procedió al paro de máquina para realizar la desconexión y retiro del panel viejo y colocación y cableado del panel nuevo. Se realizó la conexión del nuevo PLC de manera ordenada y con el debido numerado de identificación que facilitará el reconocimiento y seguimiento de cables en futuros mantenimientos.

Luego de instalado el nuevo panel, se procedió a cargar el programa ya modificado previamente del PLC y HMI. Para, posteriormente, realizar la debida puesta en marcha del todo el sistema y sus ajustes finales.

#### **3.2.4. Pruebas y ajustes finales**

Varias de las instrucciones tuvieron que ser modificadas en campo, ya que presentaban errores al ser probadas. Los tiempos en los contadores y temporizadores debieron ser modificados por el agente de calidad para que el proceso funcionase acorde con los parámetros ya establecidos por la planta.

Se solicitó al operario y al técnico que realizaran pruebas en conjunto para corroborar que todos los datos, botones, instrucciones y registros funcionasen de manera correcta. Por lo que se procedió al inicio de la máquina para realizar el primer tanque, ya con el nuevo equipo actualizado y mejorado.

Después de varias pruebas, se obtuvieron los tiempos deseados, y el operador fue entrenado en el uso de los nuevos botones de la pantalla y las nuevas mejoras realizadas al mismo. También se le mostró al agente de calidad y al ingeniero de planta las contraseñas de ajustes de tiempos, por si hubiese alguna necesidad de modificación futura.

Se demostró, luego de varias pruebas, el correcto funcionamiento de la máquina, cumpliendo con cada uno de los requerimientos realizados por el técnico y el ingeniero de planta.

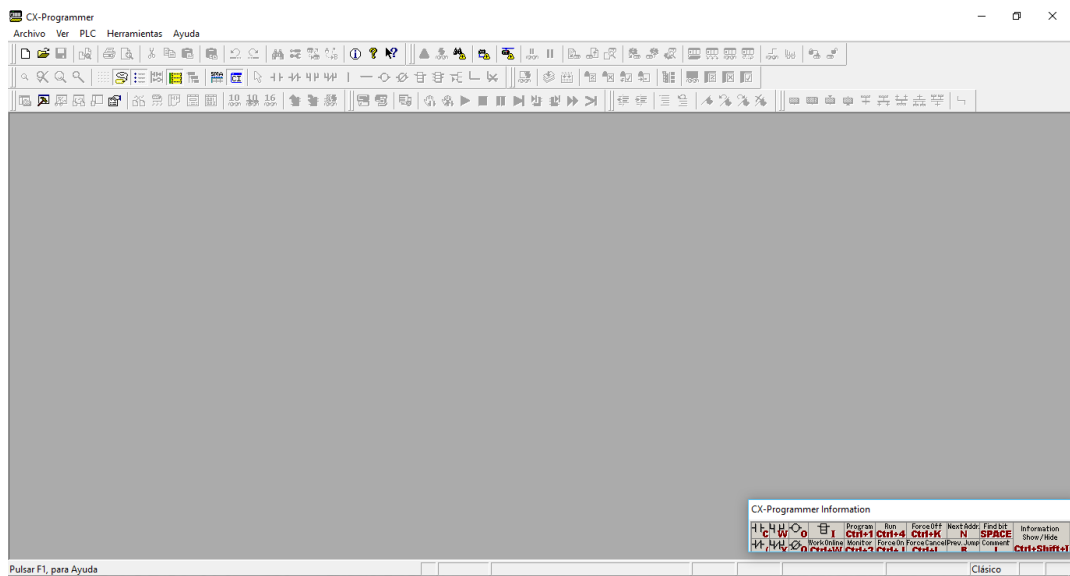
### 3.3. BackUp del PLC

Para la realización del BackUp del programa del PLC de la máquina de rotomoldeo fabricadora de hidrotanques, se utiliza el programa Cx-Programmer y se realiza de la siguiente manera siguiendo estos pasos:

#### 3.3.1.

- Se abre el software y se muestra la siguiente pantalla:

Figura 33. Cx-Programmer

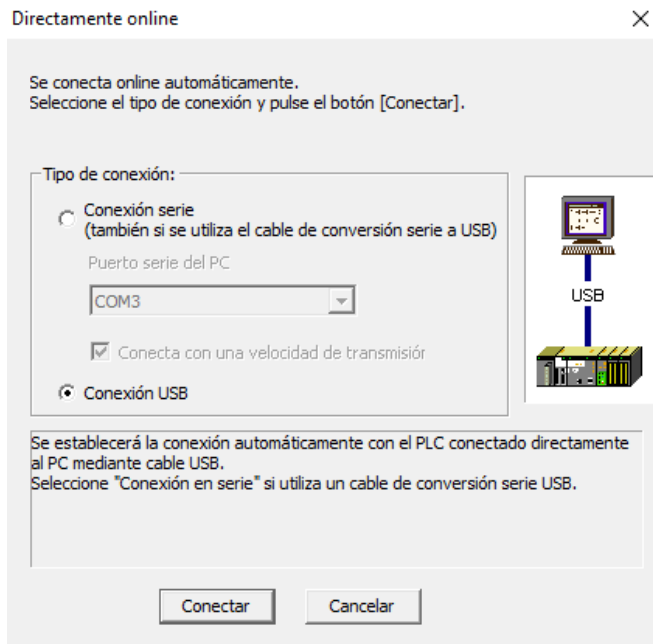


Fuente: software Cx-Programmer

- Luego se conecta el cable de comunicación entre el PLC encendido y el computador para comenzar a realizar la descarga del programa del PLC hacia la computadora.
- Luego se selecciona el ícono “directamente online” para que aparezca la ventana que solicita el tipo de conexión y detalles de comunicación en

donde se seleccionará el tipo de conexión (en este caso USB) y luego se da clic al botón “conectar” que hará que comience a buscar el PLC al cual se está físicamente conectado y hará aparecer un cuadro de diálogo donde se pregunta si se desea extraer el programa del PLC en donde se debe hacer clic en “SI”.

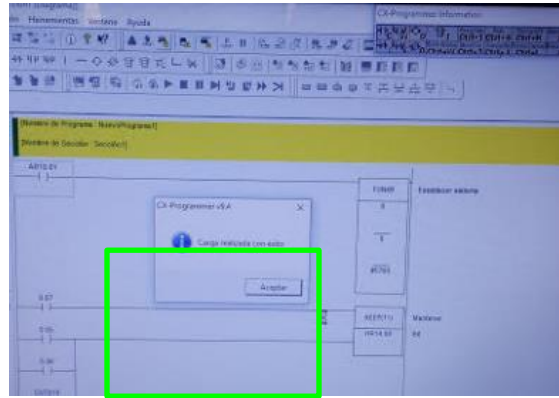
Figura 34. **Directamente en línea**



Fuente: software Cx-Programmer

- Luego de que el programa ha sido cargado, se muestra una ventana que indica que la carga fue exitosa y se muestra el programa que el PLC tiene cargado.

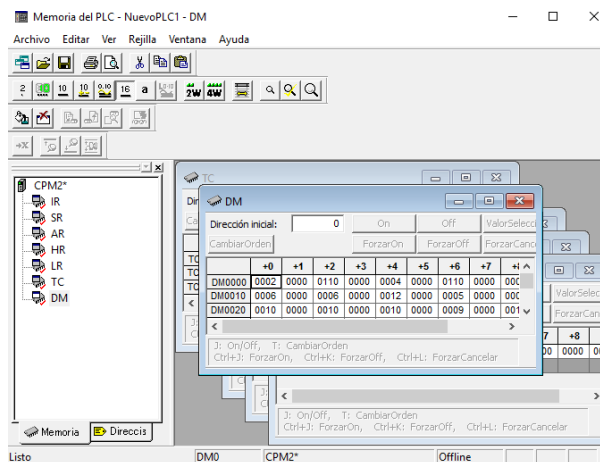
Figura 35. Carga exitosa



Fuente: software Cx-Programmer

- Luego de realizada la descarga del programa de PLC al computador, se procede a la extracción de memorias del programa dándole doble clic al menú memorias localizado en el árbol del proyecto, a la izquierda del programa para que aparezca la siguiente pantalla de memorias.

Figura 36. Menú memorias



Fuente: software Cx-Programmer



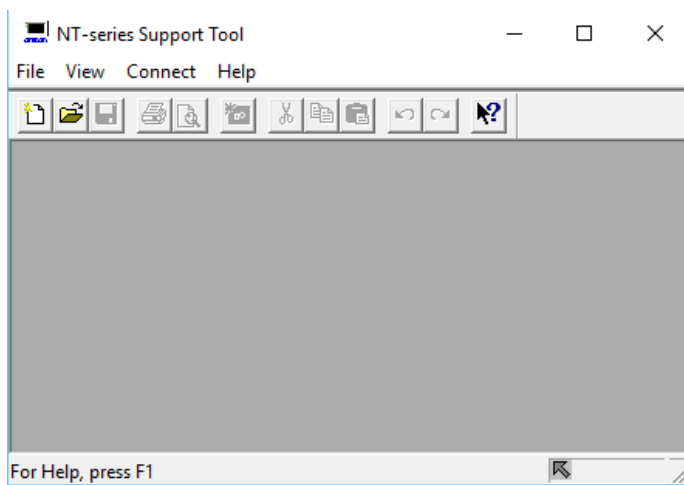
- Al aparecer la pantalla de memorias, se deberá dar clic al botón “transferir del PLC” y se abrirá un cuadro de diálogo donde se deberán seleccionar todas las memorias que se desean extraer y luego se deberá presionar en extraer.
- Luego de extraídas las memorias y el programa, se procederá a guardar el programa con el nombre deseado y las memorias se deberán guardar dentro del mismo proyecto dándole clic al botón “guardar como” en el menú “Archivo”.

### 3.4. BackUp de HMI

Para extraer el programa de la pantalla se utiliza el software “NT-Series Support Tool” y se deberán seguir los siguientes pasos:

- Abrir el software y aparecerá la siguiente pantalla.

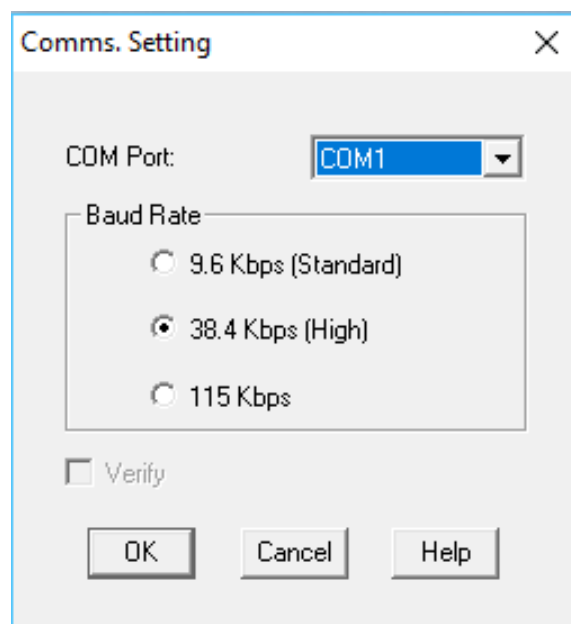
Figura 37. NT-Series Support Tool



Fuente: NT-Series Support Tool.

- Dar clic al menú “connect” y se deberán cambiar los ajustes de comunicación para podernos conectar a la pantalla, por lo que se dará clic al submenú “Comms. Settings” y se cambiará el puerto de comunicación según el computador haya asignado al USB.

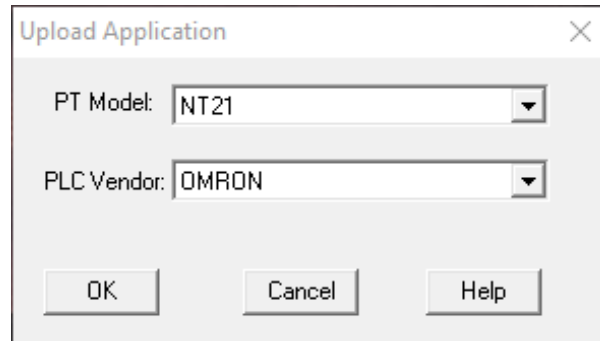
Figura 38. **Comms. Settings**



Fuente: NT-Series Support Tools

- Luego de cambiar el puerto y la velocidad de transmisión, se procederá a descargar el programa de la HMI hacia el computador dando clic al menú “connect” y luego al submenú “Upload Application”, aparecerá la siguiente pantalla donde se deberá seleccionar el tipo de HMI al que se conectará.

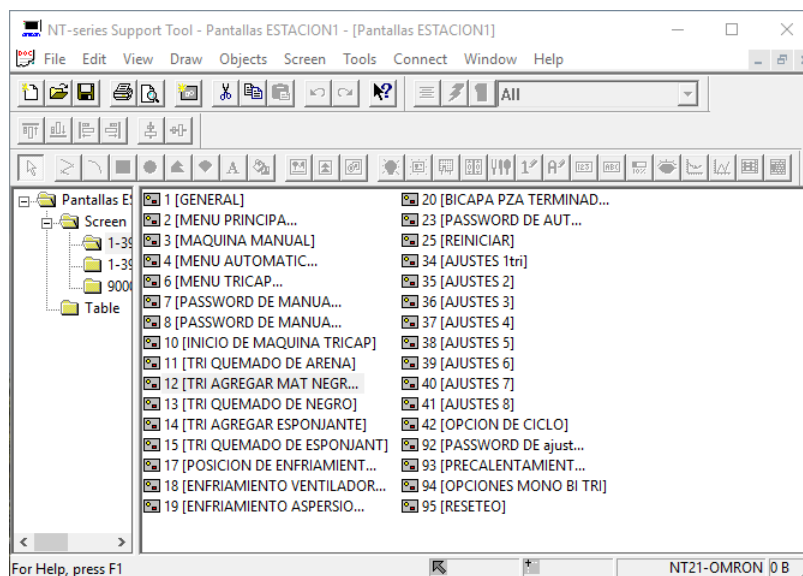
Figura 39. Descarga de aplicación



Fuente: NT-Series Support Tools

- Por último, se hará clic en “OK” y el programa se cargará en la pantalla por lo que se deberá guardar con el nombre deseado en la carpeta deseada dando clic a “guardar como” en el menú “Archivo”.

Figura 40. Guardar programa

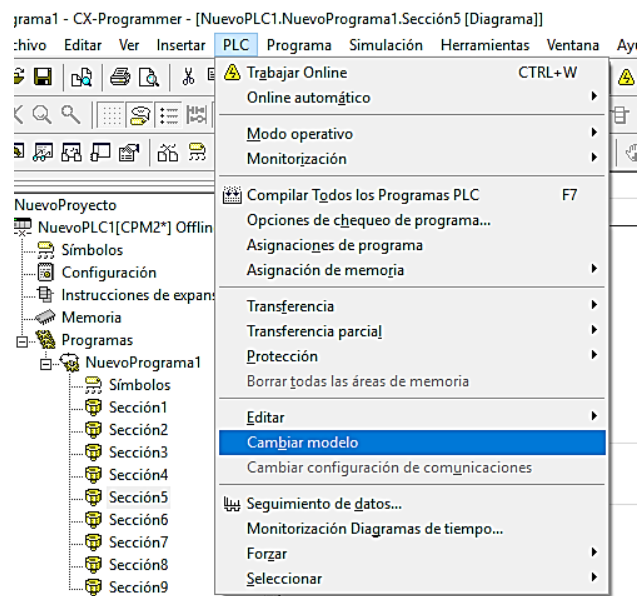


Fuente: NT-Series Support Tools.

### 3.5. Migración de PLC

Para realizar la migración del PLC y luego de haber guardado el proyecto, se procede a abrirlo y a cambiar de CPU para comenzar la migración. Lo primero será abrir el menú “PLC” ubicado en la barra superior y luego seleccionar la opción “cambiar PLC”.

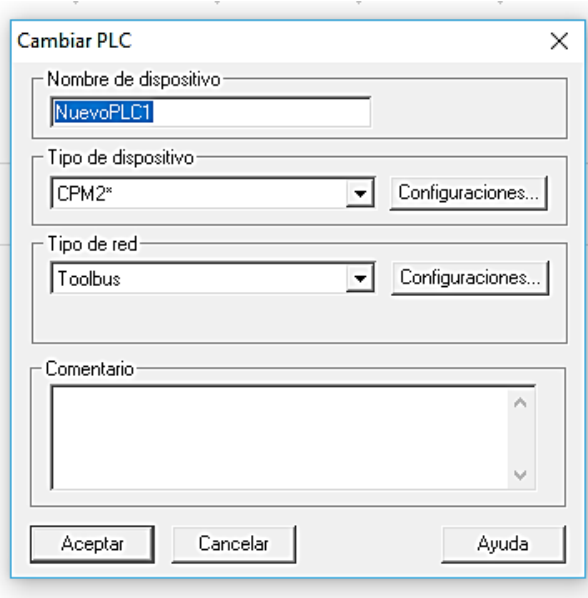
Figura 41. **Cambiar modelo**



Fuente: captura de pantalla de Cx-Programmer.

Al hacer clic sobre la opción anterior, se abrirá la ventana que permitirá realizar el cambio de CPU y todas sus características físicas.

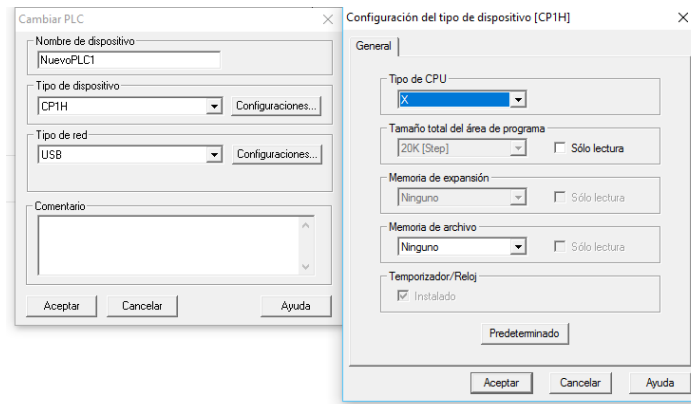
Figura 42. **Menú cambiar PLC**



Fuente: captura de pantalla de Cx-Programmer.

En este menú se podrá cambiar el nombre al PLC, el tipo de dispositivo y el tipo de comunicación que se utilizará. Por lo que cambiaremos el PLC actual “CPM2A” por nuestro PLC escogido “CP1H” y el tipo de CPU que será tipo “X”. Dejamos la comunicación, por defecto, en USB y no modificamos la velocidad de transmisión.

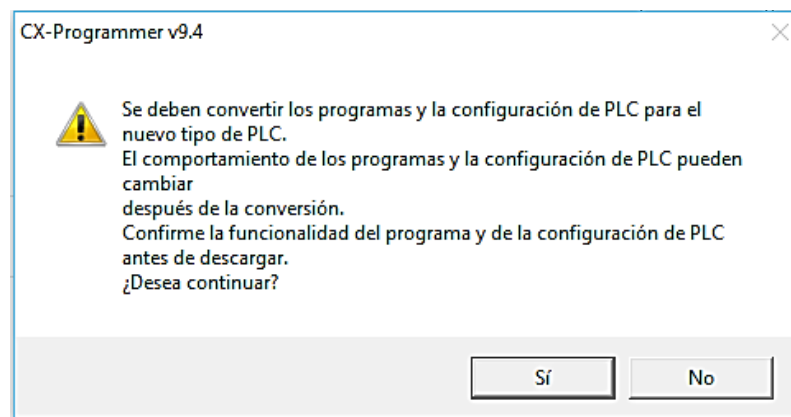
Figura 43. **Menú configuración del tipo de dispositivo**



Fuente: captura de pantalla de Cx-Programmer.

Luego de realizado el cambio de CPU, se procede a darle “aceptar” a ambos menús y aparecerá un mensaje de advertencia que indica que estamos a punto de realizar la migración y que deberemos de revisar el programa a fin de que no muestre errores o advertencias.

Figura 44. **Advertencia de migración**



Fuente: captura de pantalla de Cx-Programmer.

Luego de aceptar la advertencia, el programa comenzará a realizar la migración de manera automática. Cuando la migración haya finalizado, será necesario revisar todas las advertencias y errores que surjan, ya que existen instrucciones y áreas de memoria que cambian entre cada CPU, por lo que será necesario cambiarlas de manera que funcionen en el nuevo programa y CPU.

Figura 45. **Advertencias y errores de migración**

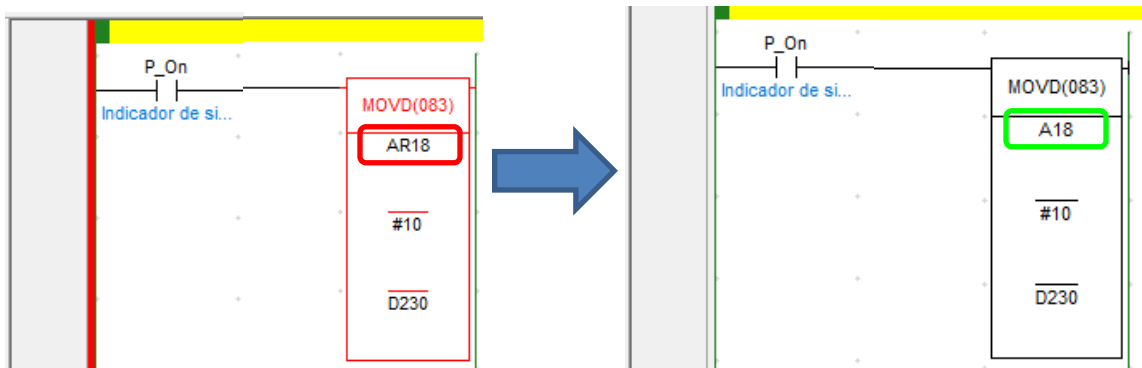
```
PLC: 'NuevoPLC1' (Modelo de PLC "CPM2*" a "CP1H X")
Resultados de conversión...
[PLC/Nombre de Programa : Programas/NuevoPrograma1]
[Diagrama de relés Nombre de Sección : Sección1]
[Diagrama de relés Nombre de Sección : Sección2]
[Diagrama de relés Nombre de Sección : Sección3]
[Diagrama de relés Nombre de Sección : Sección4]
[Diagrama de relés Nombre de Sección : Sección5]
ERROR: Operando 1 Área de memoria no válida en línea de programa 0 (6, 1).
ADVERTENCIA: AR18 el área no existe en línea de programa 0 (6, 1)
ERROR: Operando 1 Área de memoria no válida en línea de programa 1 (6, 1).
ADVERTENCIA: AR18 el área no existe en línea de programa 1 (6, 1)
ERROR: Operando 1 Área de memoria no válida en línea de programa 2 (6, 1).
ADVERTENCIA: AR19 el área no existe en línea de programa 2 (6, 1)
ERROR: Operando 1 Área de memoria no válida en línea de programa 3 (6, 1).
ADVERTENCIA: AR19 el área no existe en línea de programa 3 (6, 1)
ERROR: Operando 1 Área de memoria no válida en línea de programa 4 (6, 1).
ADVERTENCIA: AR20 el área no existe en línea de programa 4 (6, 1)
ERROR: Operando 1 Área de memoria no válida en línea de programa 5 (6, 1).
ADVERTENCIA: AR20 el área no existe en línea de programa 5 (6, 1)
[Diagrama de relés Nombre de Sección : Sección6]
[Diagrama de relés Nombre de Sección : Sección7]
[Diagrama de relés Nombre de Sección : Sección8]
[Diagrama de relés Nombre de Sección : Sección9]
NuevoPLC1 - 6 errores, 6 advertencias.
|◀◀▶▶| \ Compilar \ Error de compilador \ Buscar Informe \ Transferencia /
```

Fuente: captura de pantalla de Cx-Programmer.

Al momento de migrar el programa, se mostraron 6 errores y 6 advertencias que hacen referencia a las áreas de memoria utilizadas de la “AR18-AR20”, en las instrucciones MOVD(083) de la sección 5 del programa. Estos errores se deben a que en los PLC modernos, como el utilizado, esas áreas de memoria han cambiado de nombre y ahora son llamadas solamente

como "A18-A20" por lo que se debió cambiar cada dirección en las 6 instrucciones que lo mencionaba.

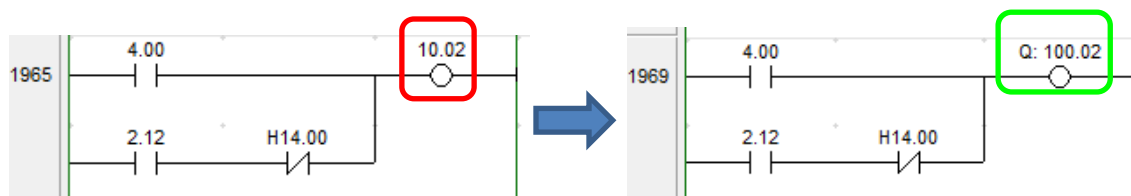
Figura 46. **Solución de errores y advertencias**



Fuente: captura de pantalla de Cx-Programmer.

Otro de los errores que se deberá corregir, a pesar de que no lo indique el software Cx-Programmer, es el cambio de las salidas que con el PLC CPM2A eran nombradas como CIO 10 y con el CP1H son nombrados como CIO 100.

Figura 47. **Cambio de direcciones de salida**



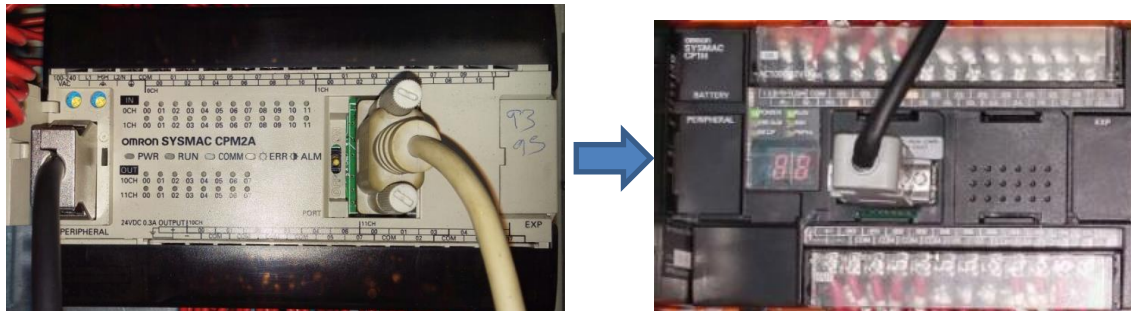
Fuente: captura de pantalla de Cx-Programmer.

Luego de finalizada la corrección de errores, advertencias y cambio de direcciones de salida, el programa está completamente migrado, por lo que ya



se pueden comenzar a realizar pruebas, ajustes, modificaciones y mejoras según el cliente solicitó y que se describirán más adelante.

Figura 48. **Migración de PLC**



Fuente: elaboración propia.

### 3.6. **Migración de HMI**

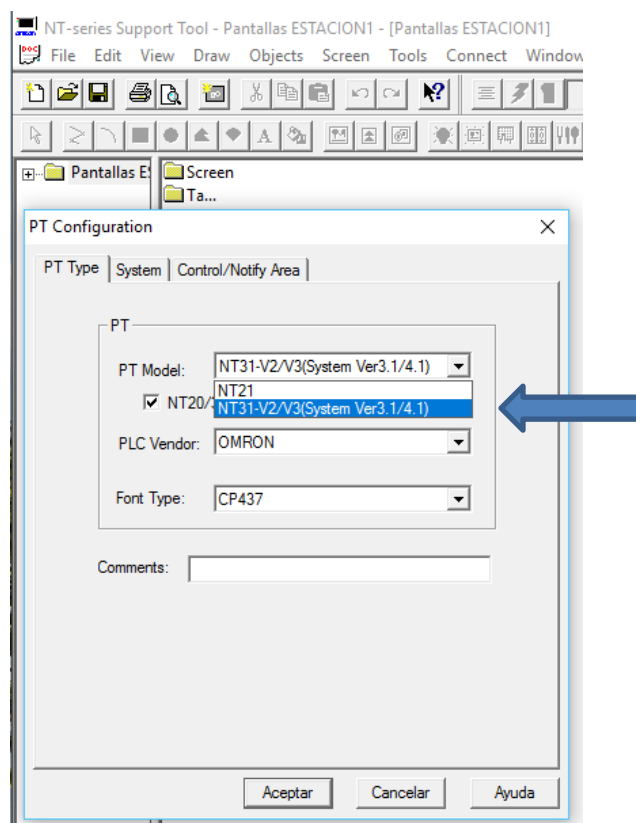
Para realizar la migración de la pantalla de una NT21 hacia la NS5 que se necesita, se deberán seguir los siguientes pasos.

Debido a que no existe una forma directa de transferir el tamaño de la pantalla NT21 a una equivalente de la serie NS, será necesario realizar 2 migraciones. Primero, se migrará hacia un modelo NT compatible y luego hacia la serie NS y, por último, se realizarán las modificaciones de tamaños de cada elemento de la pantalla.

Para ello, primero abrimos el documento extraído de la pantalla NT21 que poseía el cliente en el software NT-Support Tool y luego hacemos la primera migración cambiando la versión de los datos de NT21 a uno compatible, que en nuestro caso será convertido a NT31C-V2.

Para ello abrimos el menú “Tools” y luego damos clic al submenú “PT-Configuration”, el cual abrirá una nueva pantalla en donde nos permitirá realizar el cambio de modelo de HMI en la pestaña “PT-Type” y en la opción “PT Model” donde se despliega un menú que tiene la opción NT31-V2.

Figura 49. **Conversión de NT21 a NT31**

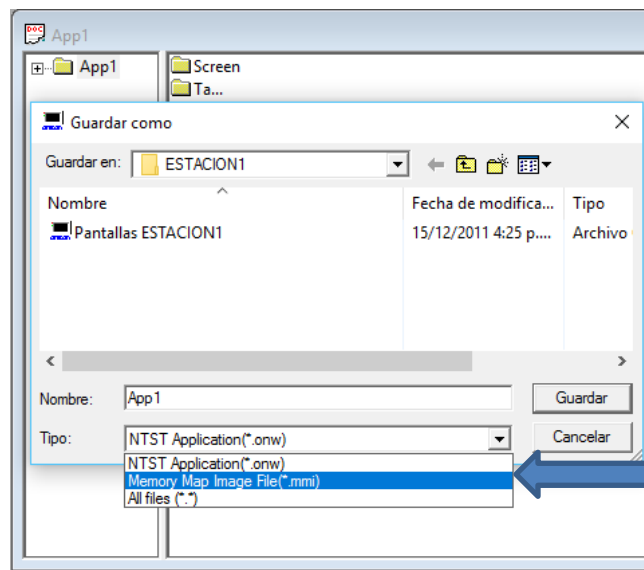


Fuente: captura de pantalla de NT-Series Support Tool.

Luego de realizado el cambio aparecerá un mensaje de confirmación de la conversión a lo que se deberá dar clic en aceptar.

Luego se deberá guardar el archivo convertido pero con una extensión diferente. Para poder hacer un archivo compatible con el convertidor, será necesario hacerlo un archivo con extensión “.mmi” (*Memory Map Image*) dando clic a “guardar como” y cambiado su extensión manualmente.

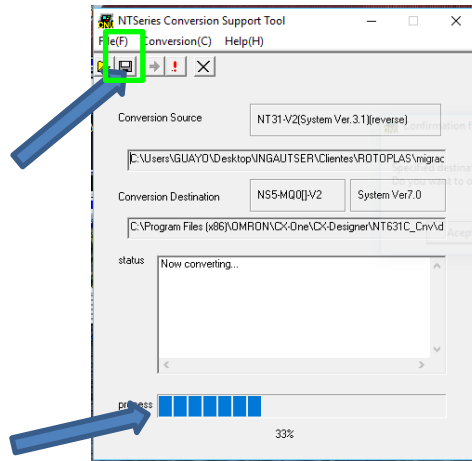
Figura 50. **Cambio de extensión de archivo**



Fuente: captura de pantalla de NT-Series Support Tool.

A partir de este momento, ya se cuenta con la primera migración terminada de la HMI y ahora es posible realizar la segunda y última migración hacia el modelo por utilizar, “NS5”. Esto se realiza primero abriendo el software de conversión llamado “NT-Series Conversion Support Tool”, luego abriendo el archivo con extensión “.mmi” del paso anterior, después se deberá especificar el destino a donde se desea guardar el archivo convertido y, por último, se da clic al botón de “conversión” con flecha verde.

Figura 51. **Conversión de NT31 a NS5**

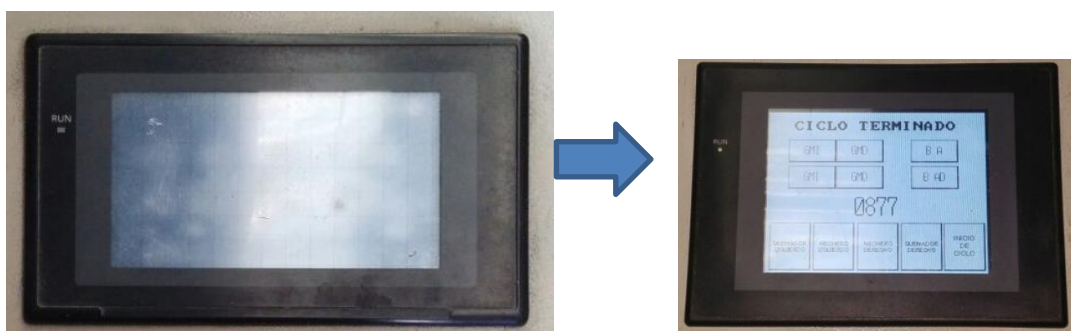


Fuente: captura de pantalla de NT-Series Conversion Support Tool.

El archivo que se generará luego de la conversión será uno con extensión “.ipp” para la nueva versión de pantalla NS5 que se creó.

Luego se podrá continuar con el proceso de modificación de tamaños, ajustes, modificaciones y demás necesarias y solicitadas por el Ingeniero de planta.

Figura 52. **Migración de HMI**



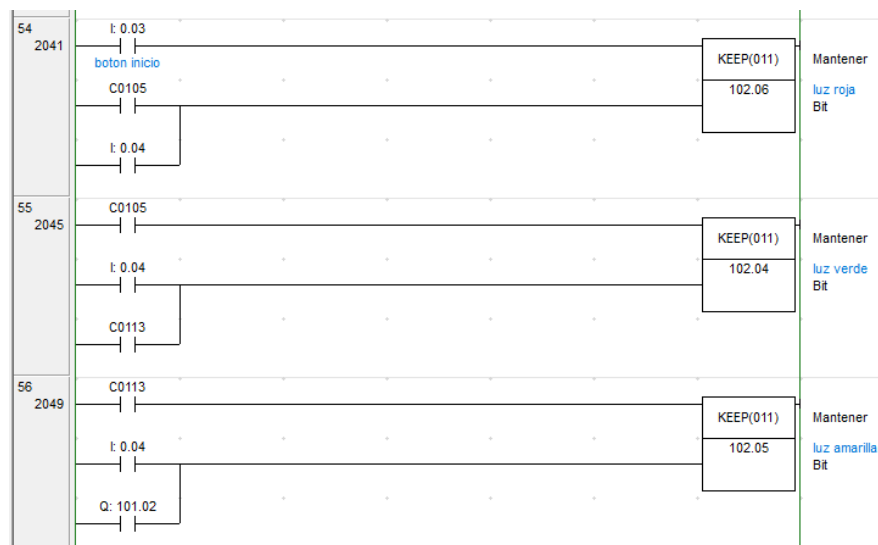
Fuente: elaboración propia.

### 3.7. Modificaciones al programa del PLC

El ingeniero solicitó como cambios para el nuevo programa lo siguiente:

- Agregar tres señales de salida para encender las luces del semáforo de forma automática, según la actividad en la que se encuentre el proceso de rotomoldeo (pre-calentamiento, proceso o enfriamiento).

Figura 53. Programa del semáforo

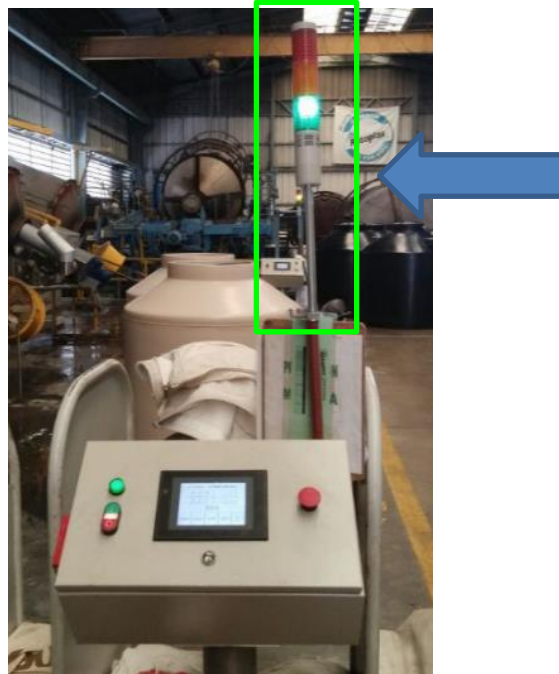


Fuente: captura de pantalla de Cx-Programmer.

Se utilizaron las señales digitales de salida del módulo de expansión para gobernar el encendido y apagado de las luces del semáforo de la siguiente manera: CIO10.06 luz roja que indica que la maquina se está precalentando; CIO102.04 luz verde que indica que la máquina se encuentra en proceso y CIO102.05, luz amarilla que indica que el proceso está en etapa de enfriamiento. Cada salida fue encendida con la señal previa que enciende cada

fase, mientras que el precalentamiento es iniciado con el botón de encendido colocado en el panel de control.

Figura 54. **Semáforo**



Fuente: elaboración propia.

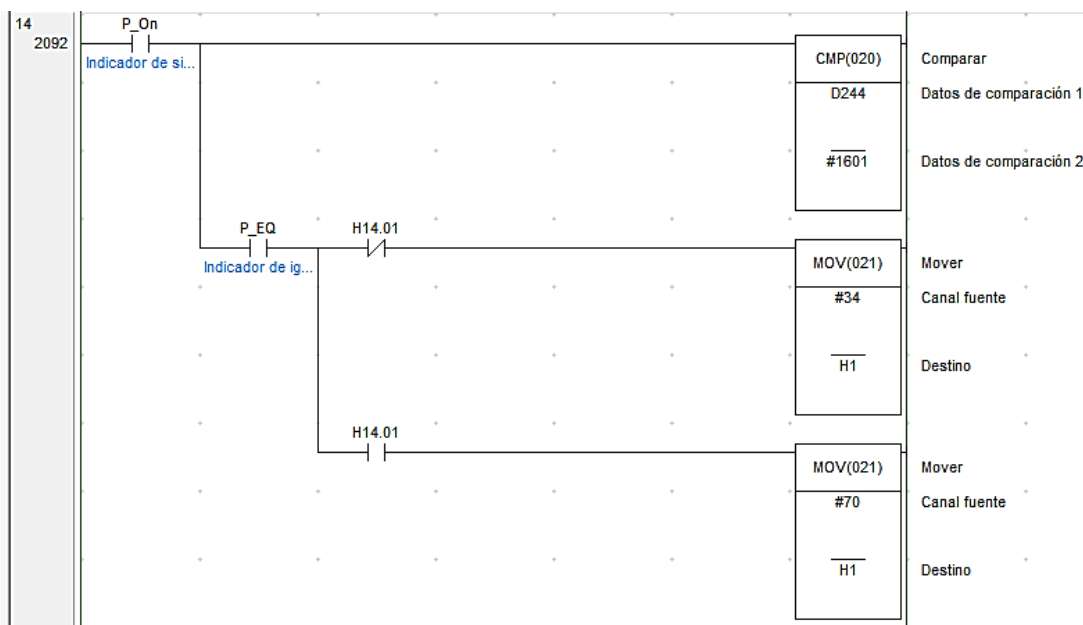
- Crear una contraseña para ingresar al menú “ajustes”, lo cual tendrá como objetivo la modificación de tiempos, contadores y parámetros del proceso, por lo que solo tendrá acceso a la contraseña el ingeniero de calidad y el ingeniero de planta.

Figura 55. Pantalla de contraseña



Fuente: captura de pantalla de Cx-Designer.

Figura 56. Programa de contraseña de ajustes



Fuente: captura de pantalla de Cx-Programmer.

Estas líneas de programación realizan una comparación entre el valor ingresado en el espacio de contraseña de la HMI con memoria DM244 y el valor asignado a la memoria H1 que asignamos como contraseña y que para este caso es #1601. Si el valor ingresado en DM244 coincide con la contraseña, este activará la marca H14.01 que, a la vez, activará la instrucción MOV(021) que moverá el valor #70 a la memoria H1, ocasionando que se abra la primera ventana de ajustes en la HMI.

Figura 57. **Pantalla de ajustes**

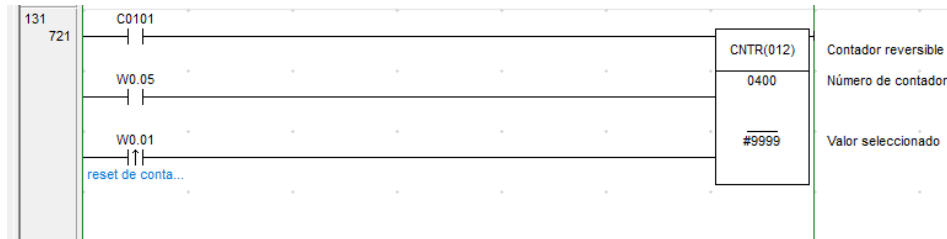


Fuente: captura de pantalla de Cx-Designer.

- Crear un contador de producto terminado para llevar un doble control con el que se lleva en el departamento de calidad y en bodega. Esto facilitará el control de la producción de manera más exacta y ordenada. Este contador tendrá una contraseña de reseteo la cual estará discretamente escondida de manera que solamente el Ingeniero de planta tenga acceso a ella.



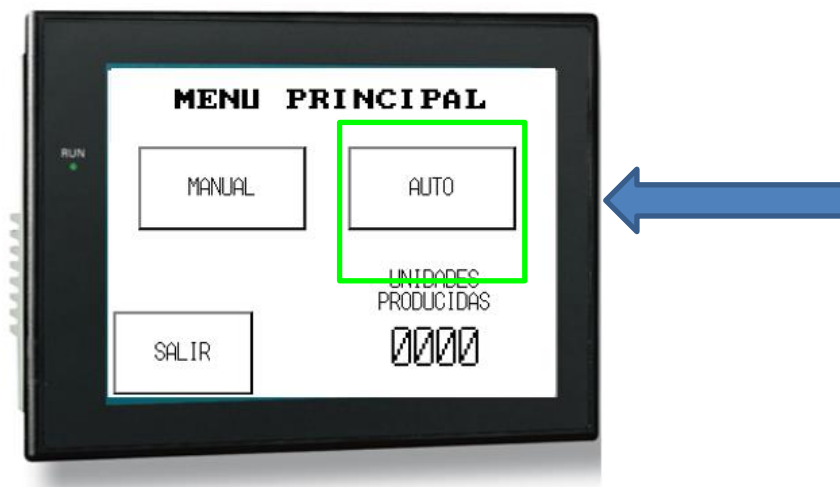
Figura 58. Programa de contador de piezas



Fuente: captura de pantalla de Cx-Programmer.

Estas líneas de programa realizan un conteo ascendente utilizando el contador C0400 y la instrucción CNTR(012) y usando como señal de conteo el contador C0101 que indica el final del último paso de enfriamiento del proceso de rotomoldeo. Esto ayuda a realizar el conteo hasta que la pieza este completamente terminada y así evitar que el operador extraiga la pieza aun cuando esta no esté terminada.

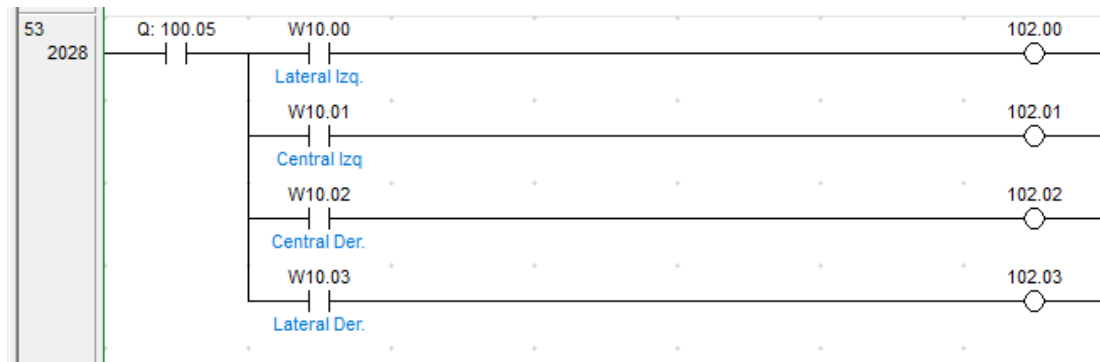
Figura 59. Contador de piezas



Fuente: captura de pantalla de Cx-Designer.

- Trasladar los interruptores mecánicos que se encontraban previamente en el panel, hacia botones digitales en la pantalla táctil para minimizar la cantidad de elementos por ser cambiados en futuros mantenimientos y para reducir la cantidad de elementos en el panel, haciéndolo ver más limpio y ordenado al necesitar menos cableado interno.

Figura 60. Programa de integración controles al HMI



Fuente: elaboración propia.

Previo a la migración, la manera de encender los quemadores era mediante la activación de los interruptores que se encontraban sobre el panel. Luego de la migración y agregando las líneas de programas en la figura 54. Ahora el método de activación de las salidas que enciende los quemadores se hace presionando los botones agregados en la HMI que activan las salidas CIO102.00, CIO102.01, CIO102.02 y CIO102.03 y que van conectados hacia los relés de control dentro del panel y estos, a su vez, accionan las bobinas de cada quemador.

Figura 61. Controles integrados al HMI



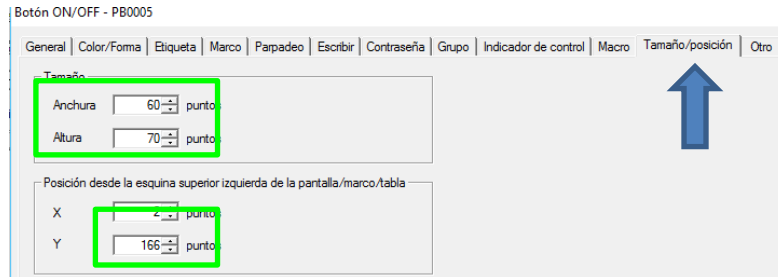
Fuente: elaboración propia y capturas de pantalla de Cx-Designer.

### 3.8. Modificaciones al programa de la HMI

Parte de las modificaciones realizadas a la HMI ya fueron descritas previamente en la sección 3,7, sin embargo, se tuvo que modificar también los tamaños de todos los elementos ya que en la pantalla previa los espacios eran más reducidos, mientras que en la NS5, la pantalla aumentó de tamaño.

- Para realizar la modificación de tamaños de los elementos, basta con seleccionar el deseado y luego dar doble clic, lo que desplegará un menú de configuración del elemento. Luego, se selecciona la pestaña “Tamaño/Posición” y se modifican los parámetros de anchura, altura, posición en X y posición en Y.

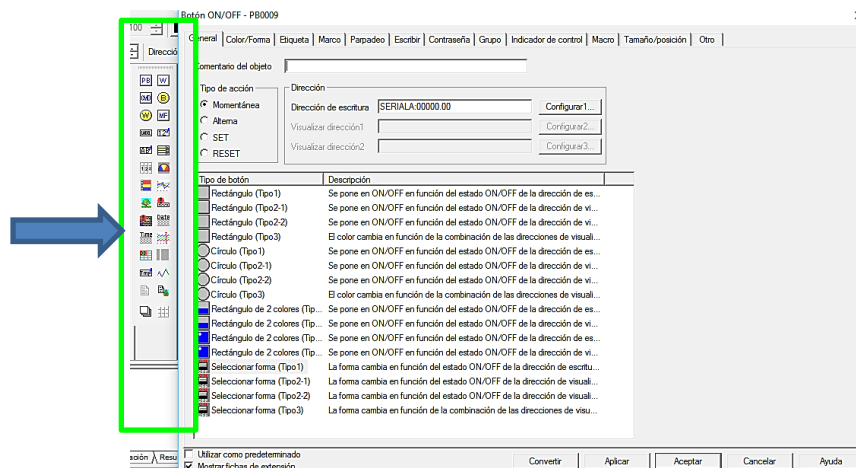
Figura 62. **Modificación de tamaños y posiciones de elementos**



Fuente: Captura de pantalla de Cx-Designer.

- Para agregar elementos nuevos a la pantalla, se deberá seleccionar el elemento deseado en el menú “Objeto Funcional” y luego crearlo en la posición deseada. Enseguida, se da doble clic sobre él para asignar las instrucciones que se desea ejecute. Desde asignar una marca, salida o simplemente por estética, cambiando tamaño de letra y color del elemento.

Figura 63. **Creación de elementos en la pantalla**



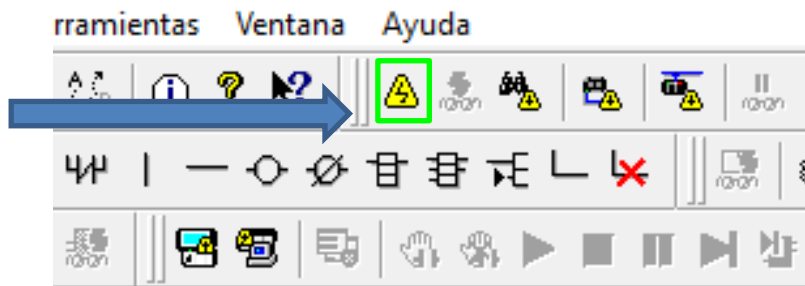
Fuente: captura de pantalla de Cx-Designer.

### 3.9. Carga del nuevo programa del PLC

Finalmente, luego de terminar las modificaciones y la migración del PLC, se procede a cargar el programa al nuevo PLC. Esto se realiza simplemente cargando 3 elementos básicos: El programa, las memorias y las configuraciones.

Para cargar el programa se debe estar en línea con el PLC al cual se cargará el programa teniendo conectado el cable USB al PLC y al computador. Luego se presiona el “trabajar online” situado en la parte superior en la barra de menús.

Figura 64. **Directamente en línea**



Fuente: captura de pantalla de Cx-Programmer.

Luego de estar conectado en línea, se procede a realizar la carga del programa haciendo clic en el botón “cargar al PLC” y este, a su vez, preguntará cuales áreas se desea transferir, por lo que se deberá seleccionar todas las opciones que incluyen: programa, memorias y configuraciones.

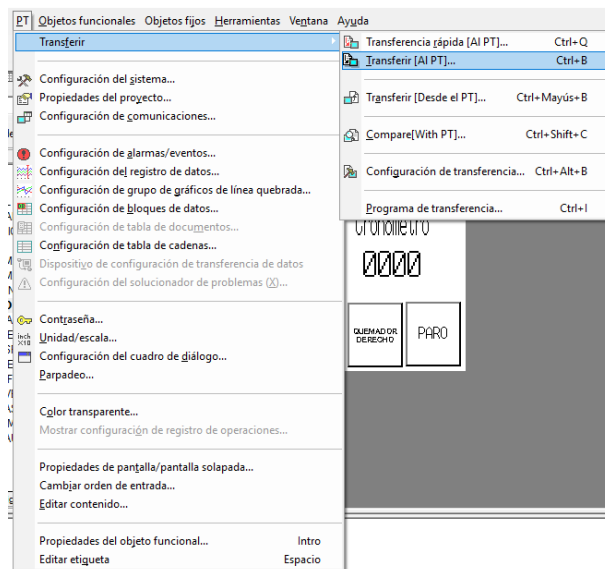
Al presionar “OK”, el programa comenzará a cargarse y al finalizar aparecerá un aviso de carga exitosa y si se desea colocar el PLC en modo

“RUN”, por lo que se presiona “OK” y el programa estará cargado finalmente al PLC.

### 3.10. Carga del nuevo programa de la HMI

La carga del programa de la pantalla al HMI es aun más sencillo. Sin necesidad de conectarse en línea, solo será necesario estar conectado por medio del cable USB entre pantalla y computador y luego se hace clic sobre el menú “PT” y sobre la opción “transferir” que a su vez desplegará otro menú en donde se deberá seleccionar la opción “Transferir al PT”. Al seleccionar esta opción, se comenzará la carga a la pantalla si las configuraciones de comunicación son las correctas. Al finalizar, se desplegará un mensaje que indica que la carga fue exitosa y el programa de la pantalla está finalmente cargado.

Figura 65. Carga del programa de la HMI



Fuente: captura de pantalla de Cx-Designer.



## **4. ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO DERIVADO DE LA MIGRACIÓN**

### **4.1. Análisis de la migración**

Después de que se definieron los problemas que el sistema de control presentaba y se establecieron las causas que ameritaban la solución de migración realizada, es pertinente mostrar un estudio de retorno de inversión que determina los costos y beneficios.

En los capítulos anteriores se hizo la descripción de las ventajas, desventajas y problemáticas que conllevaban mantener el sistema de control previo, evaluando la tecnología existente. A partir de ello se determinaron los componentes técnicos para realizar la migración. En los párrafos siguientes se determinará la eficiencia técnico económica que se deriva de la migración realizada.

### **4.2. Valor de inversión del proyecto**

A continuación se realiza el desglose económico de los recursos utilizados para desarrollar e implementar la migración.

Este análisis le será de utilidad, tanto al gerente de planta como a la empresa para que realicen un comparativo entre la relación de costos de la solución realizada, conociendo de antemano los beneficios que la migración otorga.



En esta solución también se debió considerar la ingeniería, ya que fue un componente muy importante para la realización del proyecto. La solución empleada permite un costo de ingeniería menor en comparación al que se debiera invertir en un cambio total del sistema o incluso la modernización total del mismo.

Debido a que el sistema de control no presentaba muchos inconvenientes que hicieran de la migración una tarea difícil por la necesidad de muchos cambios, mejoras o nuevas implementaciones, el costo de ingeniería representado solo englobaba la extracción y BackUp del programa, migración de ambos equipos, modificación parcial del programa que no representó gran variación y por último el cambio de panel. Todo esto hizo que el precio por mano de obra e ingeniería disminuyera considerablemente, haciendo al principio el proyecto más factible de realizar.

Parte de los servicios realizados otorgados y contemplados al momento de la adquisición del proyecto, fueron el diseño del diagrama de control del nuevo panel impreso y digital, así como una capacitación al personal operativo y de mantenimiento para que fuese más fácil la adaptación a la migración.

A continuación, se presentan los costos del sistema tanto en el hardware como en el software y también se presentan los costos de ingeniería para su implementación.

Tabla VII. **Costos de la solución implementada**

N°	Cant	Descripción	Precio U.	Sub-total
<b>Equipos</b>				
1	1	Autómata programable SYSMAC CP1H	Q. 6 373,08	Q. 6 373,08
2	1	Pantalla táctil NS5	Q.11 824,13	Q. 11 824,13
3	1	Módulo de expansión CP1W-8ER	Q. 1 700,76	Q. 1 700,76
4	1	Tablero 500x400x250mm	Q. 350,00	Q. 350,00
5	1	Luz piloto verde 110V marca WEG	Q. 68,00	Q. 68,00
6	1	Botón doble de arranque simple marca WEG	Q. 75,00	Q. 75,00
7	1	Hongo para paro de emergencia	Q. 80,00	Q. 80,00
8	1	Módulo de comunicación CP1W-CIF11	Q. 594,16	Q. 594,16
9	30	Metros de cable TFF18 color azul	Q. 1,60	Q. 48,00
10	2	Riel DIN	Q. 35,00	Q. 70,00
11	35	Bornera de caballete de 4mm	Q. 3,50	Q. 122,50
12	1	Flipón mini-automático 1x2	Q. 50,00	Q. 50,00
13	1	Canaleta ranurada 20x40mm	Q. 80,00	Q. 80,00
14	100	Terminales tipo pin para calibre AWG18	Q. 1,00	Q. 100,00
15	20	Bases autoadhesivas pequeñas	Q. 2,00	Q. 40,00
16	20	Cinchos plásticos pequeños	Q. 1,00	Q. 20,00
17	2	Metro de cable UTP	Q. 3,00	Q. 6,00
18	1	Conector macho DB9	Q. 7,00	Q. 7,00
<b>Ingeniería</b>				
19	n/a	Desarrollo y migración de la aplicación	Q.17 000,00	Q. 17 000,00
20	n/a	Puesta en marcha del sistema	Q. 2 000,00	Q. 2 000,00
21	n/a	Instrumentación/Instalación	Q. 5 000,00	Q. 5 000,00
22	n/a	Redacción de documentos y capacitación	Q. 1 000,00	Q. 1 000,00
<b>TOTAL</b>				<b>Q. 46 608,63</b>

Fuente: elaboración propia.

### 4.3. Análisis comparativo de costo beneficio

El objetivo de la solución realizada fue evitar la pérdida o falla de la estación de operación del sistema de control de rotomoldeo que, como principal consecuencia, conllevaría a un paro total de la producción de dicha máquina.

Razón por la cual se analizan los beneficios del proyecto en función de la producción estimada de la máquina durante el período necesario para su retorno de inversión.

La pérdida de la estación resultará en pérdida de dinero equivalente al beneficio promedio de la producción diaria de tanques en la planta durante el tiempo de paro.

Para esto se evaluará de la siguiente manera, se tomará que el valor de la inversión será cubierto por los costos que representaría la pérdida de producción durante el tiempo que llevaría todo el proceso de migración, en caso fallara el PLC o HMI y no se tuviera un reemplazo. Esto significa que se debe tomar en cuenta el tiempo de cotización, aprobación, ejecución y puesta en marcha y ante una situación de emergencia, que podría realizar.

En la tabla VIII se presentan los ingresos y egresos durante el tiempo que estaría en paro la máquina, datos calculados con base en la información proporcionada por el técnico de mantenimiento y el gerente de planta en cuanto a turnos de producción, precio de venta de cada tanque y costo de producción del mismo.

**Tabla VIII. Costos e ingresos mensuales por producción de tanques**

Producción estimada de tanques durante 1 mes de paro	940
Tiempo estimado de paro en días	60
Producción promedio de unidades diarias	45
Costo de fabricación del tanque fabricado	Q. 700,00
Precio del tanque de 1100Lt según página oficial de Rotoplas	Q. 1 518,12
Beneficio promedio en quetzales	Q. 818,12
Total costo mensual por producción de tanques	Q. 658 000,00
Total ingreso mensual por producción de tanques	Q. 769 032,80

Fuente: elaboración propia.

La tabla anterior muestra un ingreso aproximado que cubre en su totalidad el valor de inversión realizada para la migración. Lo que garantiza que la

solución de migración resultó bastante factible para evitar futuros paros prolongados de producción y pérdida económica.



## CONCLUSIONES

1. La programación básica y el conocimiento de las partes del PLC y HMI, son fundamentales para implementar un equipo.
2. Se logró diseñar un panel adecuado con base en el requerimiento en dimensiones necesario para posicionar cada equipo que se utilizará en la migración, empleando un PLC y una HMI como objetos principales, alimentados por una fuente de voltaje, que realizará el trabajo del sistema de control migrado expuesto en el capítulo 2.
3. Con la ayuda del software requerido para los diferentes procesos de migración de cada equipo, en este caso Cx-Programmer, Cx-Designer y NT-Support Tool, se realizó una migración exitosa y amigable que logró una optimización del proceso al asistir de manera fácil al operador al momento de querer realizar una acción en el proceso de rotomoldeo y al hacer efectivo mayores y más rápidos controles del proceso.
4. Una vez finalizada la migración, se realizó un estudio técnico-económico que resultó exitoso al lograr optimizar el proceso de producción al hacer más rápida la interacción entre PLC y pantalla, al mismo tiempo, se mejoró el proceso implementando diferentes mejoras propuestas por el cliente. Por último, se logró un retorno de inversión muy rápido por la eficacia realizada al migrar los equipos recurriendo a otros que tendrán una vida útil de, al menos, 10 años desde la fecha de instalación.



## RECOMENDACIONES

1. Realizar mantenimientos preventivos constantes y revisión de equipos cada semana.
2. Considerar un mantenimiento por parte de la empresa cada 6 meses con el fin de eliminar fallas encontradas y mejorar el programa, según se requiera.
3. Realizar una limpieza general a los equipos con el fin de alargar su vida útil y evitar daños a los mismos.
4. Tomar en cuenta el consumo de potencia de los dispositivos por utilizar.
5. Tomar acciones de corrección de problemas inmediatamente al ser detectadas las fallas, para lograr llevar un registro de la máquina de manera correcta y así evitar daños futuros.
6. Esta migración fue considerada para un máximo de 8 salidas extras, por lo que en el caso de requerir de más señales por controlar, se podrá realizar mediante la adición de un módulo extra de E/S.
7. Para evitar el desperdicio de gas del proceso, se puede integrar en conjunto a este sistema un control de temperatura PID que gradúe el suministro de gas según sea necesario.



8. Tener cuidado con las conexiones si se desea realizar algún mantenimiento en cuanto al calibre del cable a reemplazar, marcas de equipos a utilizar, humedad, polvo, entre otros.

## BIBLIOGRAFÍA

1. *Ajuste del brazo robot controlado por el PLC.* [en línea]. <<http://docplayer.es/6339789-Universidad-veracruzana-facultad-de-ingenieria-mecanica-electrica-ajuste-del-brazo-robot-controlado-por-plc-fc440-trabajo-practico-tecnico.html>>. [Consulta: 12 de septiembre de 2016].
2. *Arranque por autotransformador.* [en línea]. <<http://controlamos.blogspot.com/2013/05/automatas-en-la-historia.html>>. [Consulta: 7 de noviembre de 2016].
3. *Autómatas programables.* [en línea]. <[http://www.infoplc.net/files/descargas/omron/infoplc\\_net\\_cableado\\_analogicas.pdf](http://www.infoplc.net/files/descargas/omron/infoplc_net_cableado_analogicas.pdf)>. [Consulta: 11 de octubre de 2016].
4. *Automatización.* [en línea]. <<http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCQMH1/PAGINA%20PRINCIPAL/PLC/plc.htm>>. [Consulta: 11 de octubre de 2016].
5. *Automatización industrial práctica con equipo festo controlado.* [en línea]. <<http://www.todopic.net/utiles/plc.pdf>>. [Consulta: 12 de septiembre de 2016].
6. *Automatización y puesta en marcha de la máquina lavadora UNIMAC UF250.* [en línea]. <<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/>>

21000/3396/1/T-ESPEL-0434.pdf>. [Consulta: 11 de octubre de 2016].

7. *Automatismo industrial*. [en línea]. <<http://automatismoyk.blogspot.com/2010/05/sistemas-automatizados.html>>. [Consulta: 11 de octubre de 2016].
8. *Básico omron programación*. [en línea]. <<https://es.scribd.com/document/78042754/BASICO-OMRON-PROGRAMACION>>. [Consulta: 7 de noviembre de 2016].
9. *Campo de la aplicación de la electricidad y electrónica industrial*. [en línea]. <<https://es.scribd.com/doc/56979599/UNIDAD-4-ELECCION-CIDAD>>. [Consulta: 7 de noviembre de 2016].
10. *Ciencia y tecnología colaborativa*. [en línea]. <<http://www.wikiciencia.org/electronica/electricidad/plc/index.php>>. [Consulta: 12 de septiembre de 2016].
11. *Comunicaciones flexibles de impulsos de 4 ejes*. [en línea]. <<http://docplayer.es/6037554-Serie-cp1h-e-l-p-l-c-t-o-d-o-e-n-u-n-o-c-o-m-u-n-i-c-a-c-i-o-n-e-s-f-l-e-x-i-b-l-e-s-e-s-de-impulsos-de-4-ejes.html>>. [Consulta: 7 de noviembre de 2016].
12. *Control moderno aplicado a máquinas eléctricas rotatorias y a sistemas automatizados*. [en línea]. <<http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/6854/ice%20165.pdf?sequence=1>>. [Consulta: 11 de octubre de 2016].

13. *Controlador lógico programable*. [en línea]. <<http://myslide.es/documents/controlador-logico-programable-5597967596f54.html>>. [Consulta: 11 de octubre de 2016].
14. *Controlador lógico programable – PLC*. [en línea]. <[http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electro/cat/eye\\_archivos/apuntes/a\\_practico/CAP%209%20Pco.pdf](http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electro/cat/eye_archivos/apuntes/a_practico/CAP%209%20Pco.pdf)>. [Consulta: 12 de septiembre de 2016].
15. *Controladores programables*. [en línea]. <<http://documents.tips/documents/controladores-programables-autoguardado.html>>. [Consulta: 12 de septiembre de 2016].
16. *Diseño de PLC y sensores*. [en línea]. <<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/1089/3/04%20ISC%20054-CAP%20C3%208DTULO%20II.pdf>>. [Consulta: 7 de noviembre de 2016].
17. *Diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos para el área de extrusión de pastilene S.A.* [en línea]. <<http://gdsproc.com/tesis/Dise%F1o%20e%20implementacion%20de%20un%20sistema%20de%20adquisicion%20plastilene.pdf>>. [Consulta: 7 de noviembre de 2016].
18. *Elementos y equipos eléctricos*. [en línea]. <<http://docplayer.es/5577086-Elementos-y-equipos-electricos.html>>. [Consulta: 12 de septiembre de 2016].
19. *Evaluación de estándares HMI/SCADA. Aplicación de la guía GEDIS a los sistemas de SCADA del NAP (Network Access Point) de Canarias*. [en línea]. <<http://docplayer.es/857532-Evaluacion-de>>

estandares-hmi-scada-aplicacion-de-la-guia-gedis-a-los-sistemas-scada-del-nap-network-access-point-de-canarias.html>. [Consulta: 7 de noviembre de 2016].

20. *El PLC todo en uno*. [en línea]. <[http://www.tecsc.com.ar/wp-content/uploads/2013/07/om\\_cp1h.pdf](http://www.tecsc.com.ar/wp-content/uploads/2013/07/om_cp1h.pdf)>. [Consulta: 7 de noviembre de 2016].
21. *Generalidades de los PLC*. [en línea]. <<https://www.cubensayos.com/Ciencia/Generalidades-De-Los-Plcs/183060.html>>. [Consulta: 11 de octubre de 2016].
22. *Historia de los PLC S*. [en línea]. <https://es.slideshare.net/carcpolo/2-historia-de-los-plc-s>>. [Consulta: 7 de noviembre de 2016].
23. *Infoplcnet autómatas omron instrucciones*. [en línea]. <<http://documents.mx/documents/infoplcnet-automatas-omron-instrucciones-55a74bfa35f14.html>>. [Consulta: 12 de septiembre de 2016].
24. *Innovación al PLC*. [en línea]. <<http://docplayer.es/14949844-Universidad-tecnologica-de-queretaro.html>>. [Consulta: 7 de noviembre de 2016].
25. *Introducción al PLC*. [en línea]. <[http://www.unet.edu.ve/~nduran/Teoria\\_Instrucontrol/Introduccion\\_al\\_PLC.pd](http://www.unet.edu.ve/~nduran/Teoria_Instrucontrol/Introduccion_al_PLC.pd)>. [Consulta: 12 de septiembre de 2016].

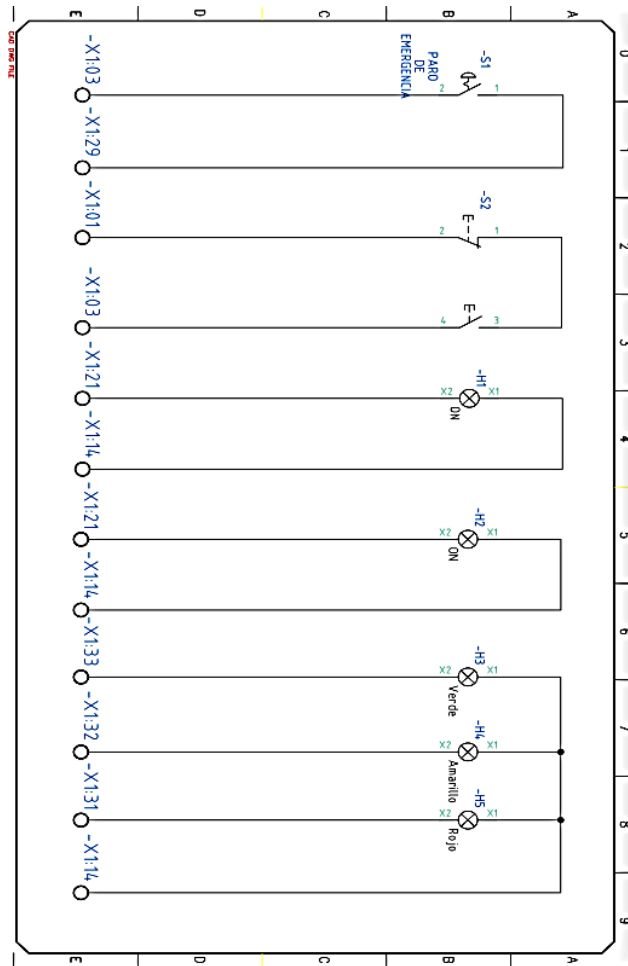
26. *Introducción a los controladores lógicos programables*. [en línea]. <<http://docplayer.es/22734292-Introduccion-a-los-controladores-logicos-programables.html>>. [Consulta: 12 de septiembre de 2016].
27. *La historia de un PLC*. [en línea]. <<http://plcmecatronico.blogspot.com/>>. [Consulta: 12 de septiembre de 2016].
28. *Lógicas, cableada y programada*. [en línea]. <<http://hector.sena.me.catronica2.blogspot.com/2008/05/logica-programada.html>>. [Consulta: 11 de octubre de 2016].
29. *Mantenimiento de máquina de planta*. [en línea]. <<http://berryscott.blogspot.com/>>. [Consulta: 11 de octubre de 2016].
30. *Material handling / drive control*. [en línea]. <<http://instrumentacionycontrol.blogspot.com/2008/05/controles-logicos-programables-plcs.html>>. [Consulta: 7 de noviembre de 2016].
31. *Normativa numeración cables*. [en línea]. <<http://docslide.net/documents/infoplcn-net-automatas-omron-instrucciones.html>>. [Consulta: 7 de noviembre de 2016].
32. *PLC, redes de comunicación industrial*. [en línea]. <<http://plcsyredesindustrialesitlerma.blogspot.com/>>. [Consulta: 11 de octubre de 2016].
33. *Programación básicas de autómatas*. [en línea]. <<http://docplayer.es/10195656-Automatas-programables-programacion-basica-de-automatas-omron.html>>. [Consulta: 12 de septiembre de 2016].

34. *Rediseño de una operación automatizada con la implementación de un PLC.* [en línea]. <[http://dobleagente.blogspot.com/2008/08/blog-post\\_07.html/](http://dobleagente.blogspot.com/2008/08/blog-post_07.html/)>. [Consulta: 12 de septiembre de 2016].
  
35. *Sistemas de control y automatización a partir de un PLC.* [en línea]. <<http://148.206.53.84/tesiuami/UAM4069.pdf>>. [Consulta: 11 de octubre de 2016].

# APÉNDICE

Se presenta el diagrama eléctrico final que ayudará a los técnicos a realizar futuros mantenimientos de manera precisa, rápida y eficaz.

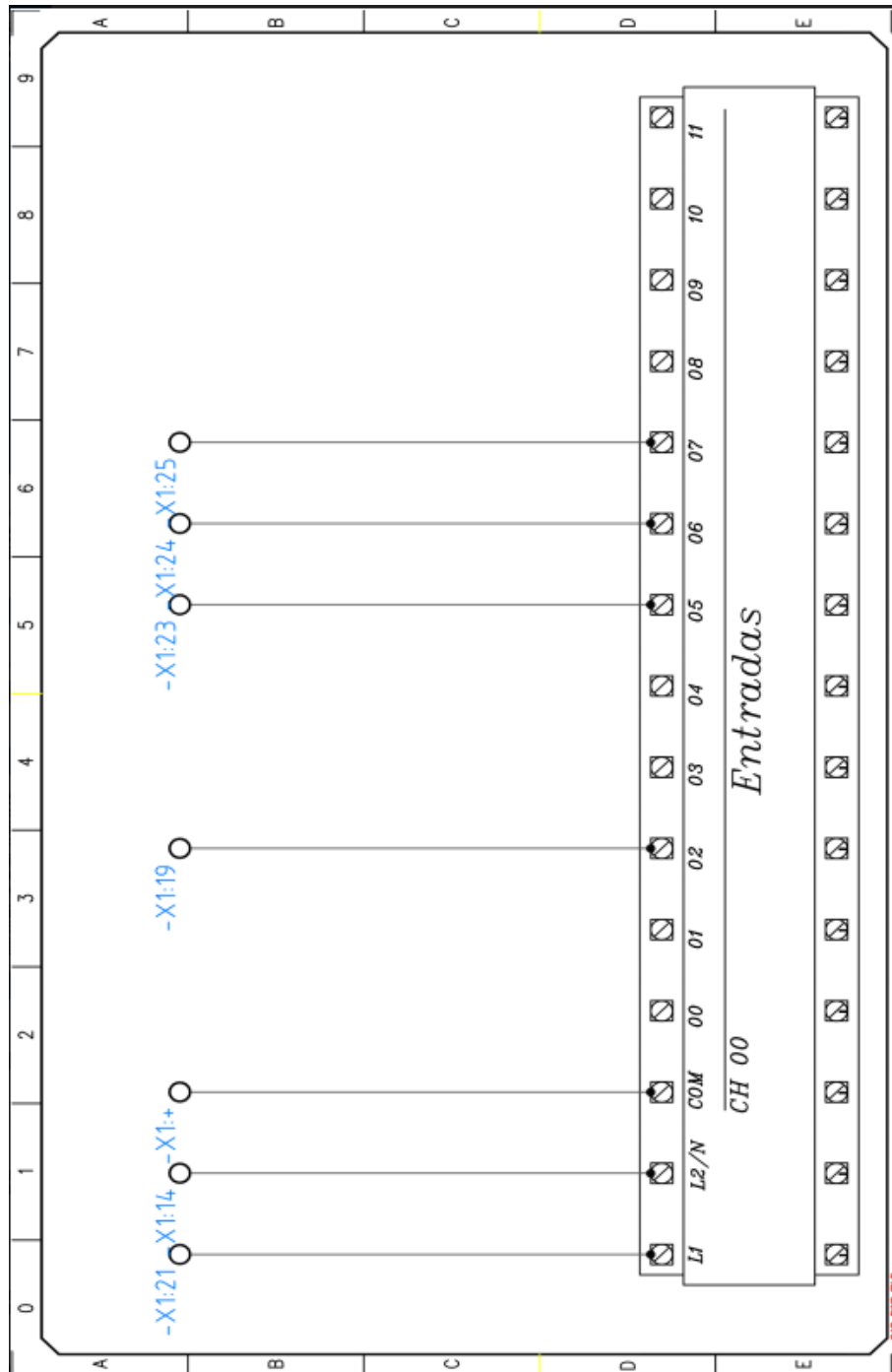
Apéndice 1. Diagrama eléctrico hoja 1



Fuente: elaboración propia, empleando el software AutoCAD Electrical.

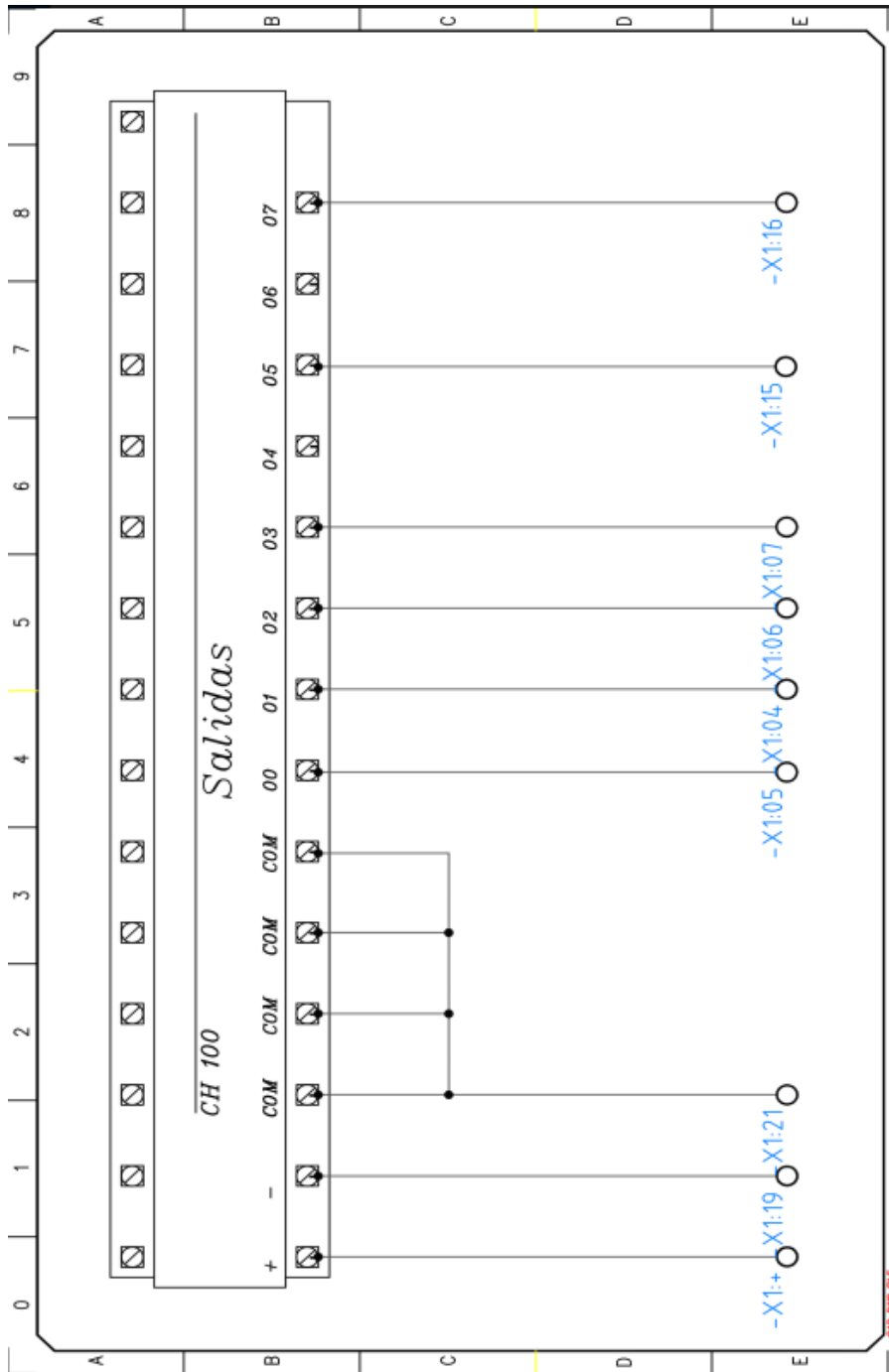


## Apéndice 2. Diagrama eléctrico hoja 2



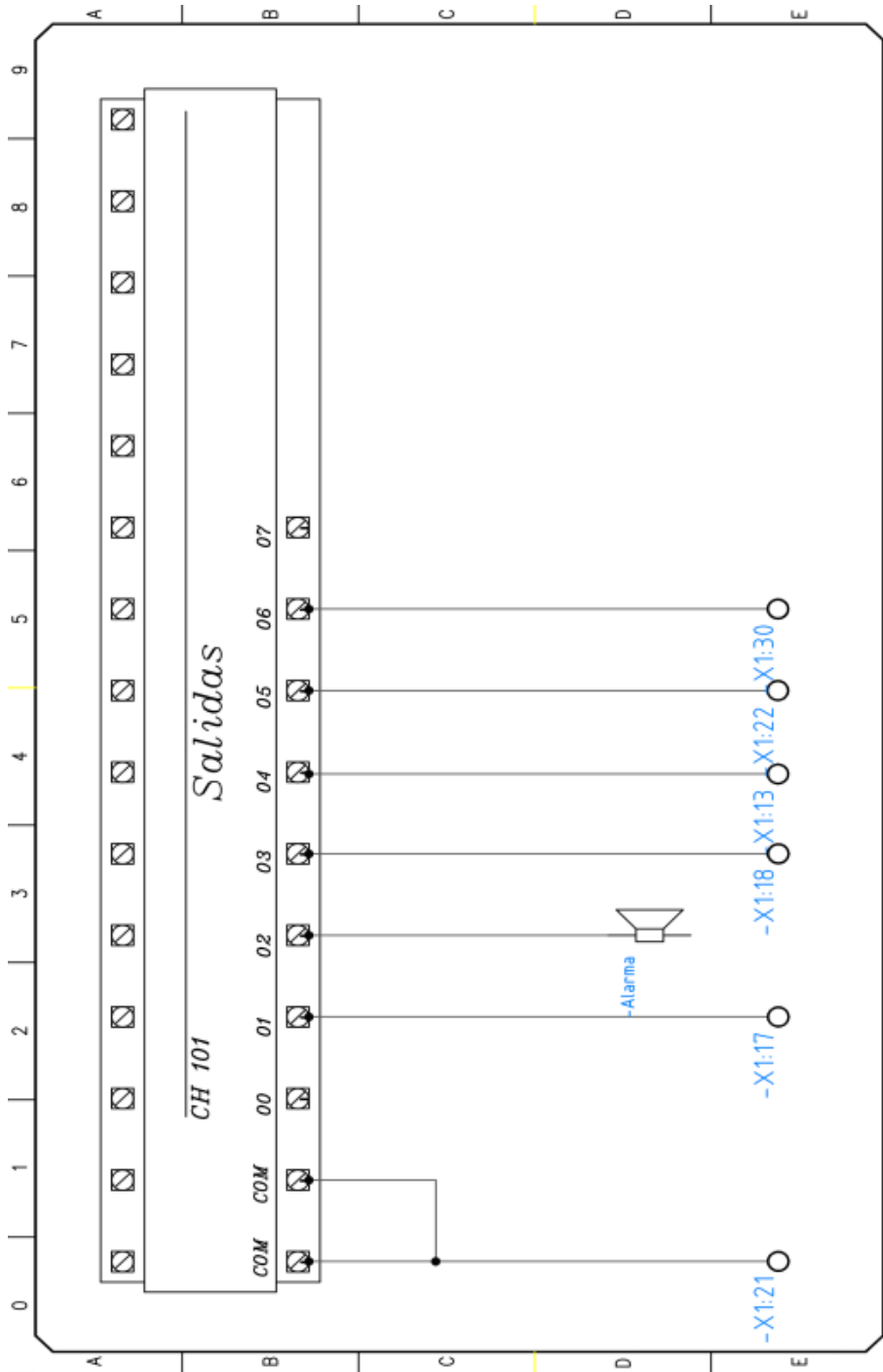
Fuente: elaboración propia, empleando el software AutoCAD Electrical.

Apéndice 3. Diagrama eléctrico hoja 3

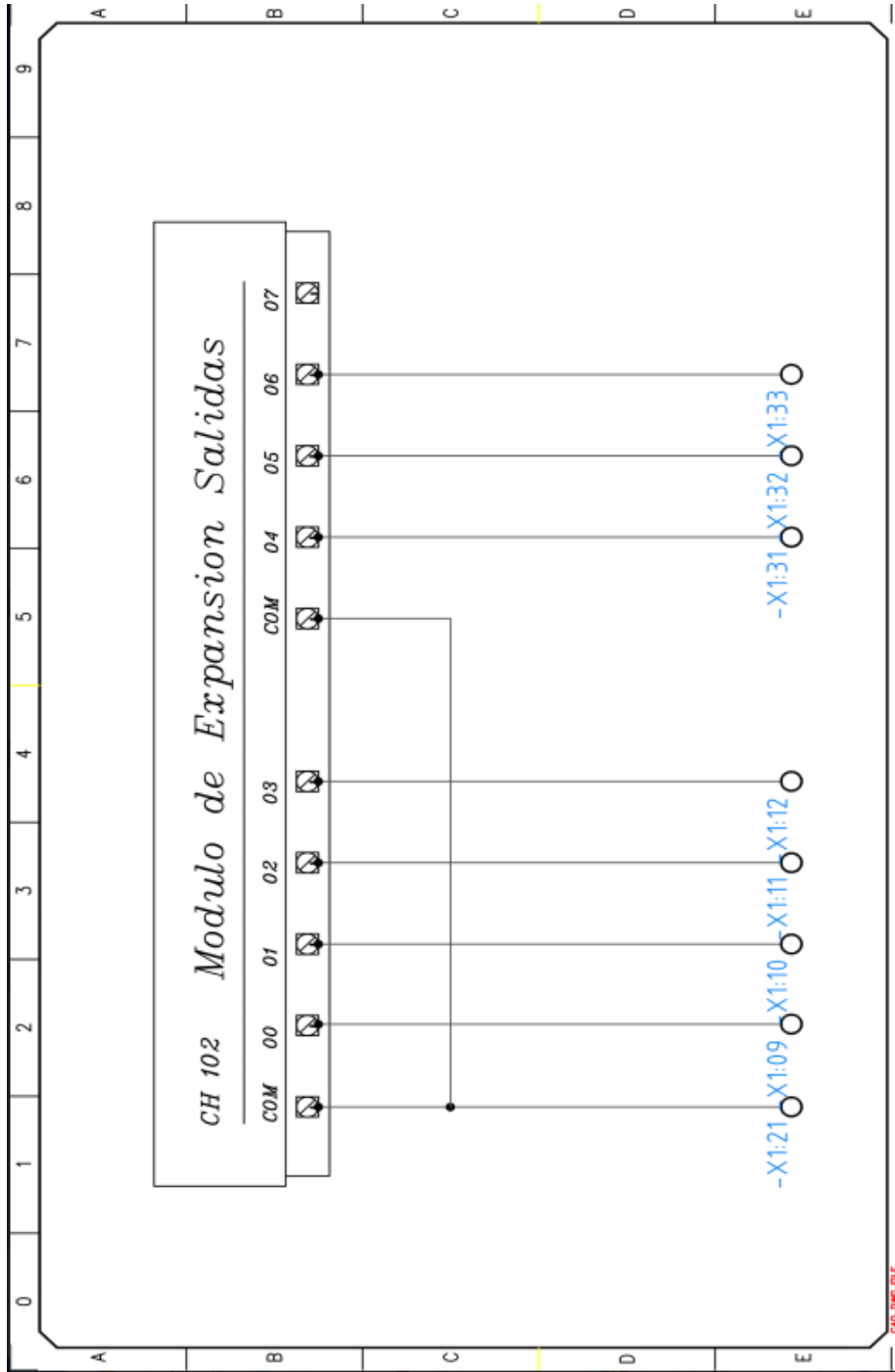


Fuente: elaboración propia, empleando el software AutoCAD Electrical.

Apéndice 4. Diagrama eléctrico hoja 4

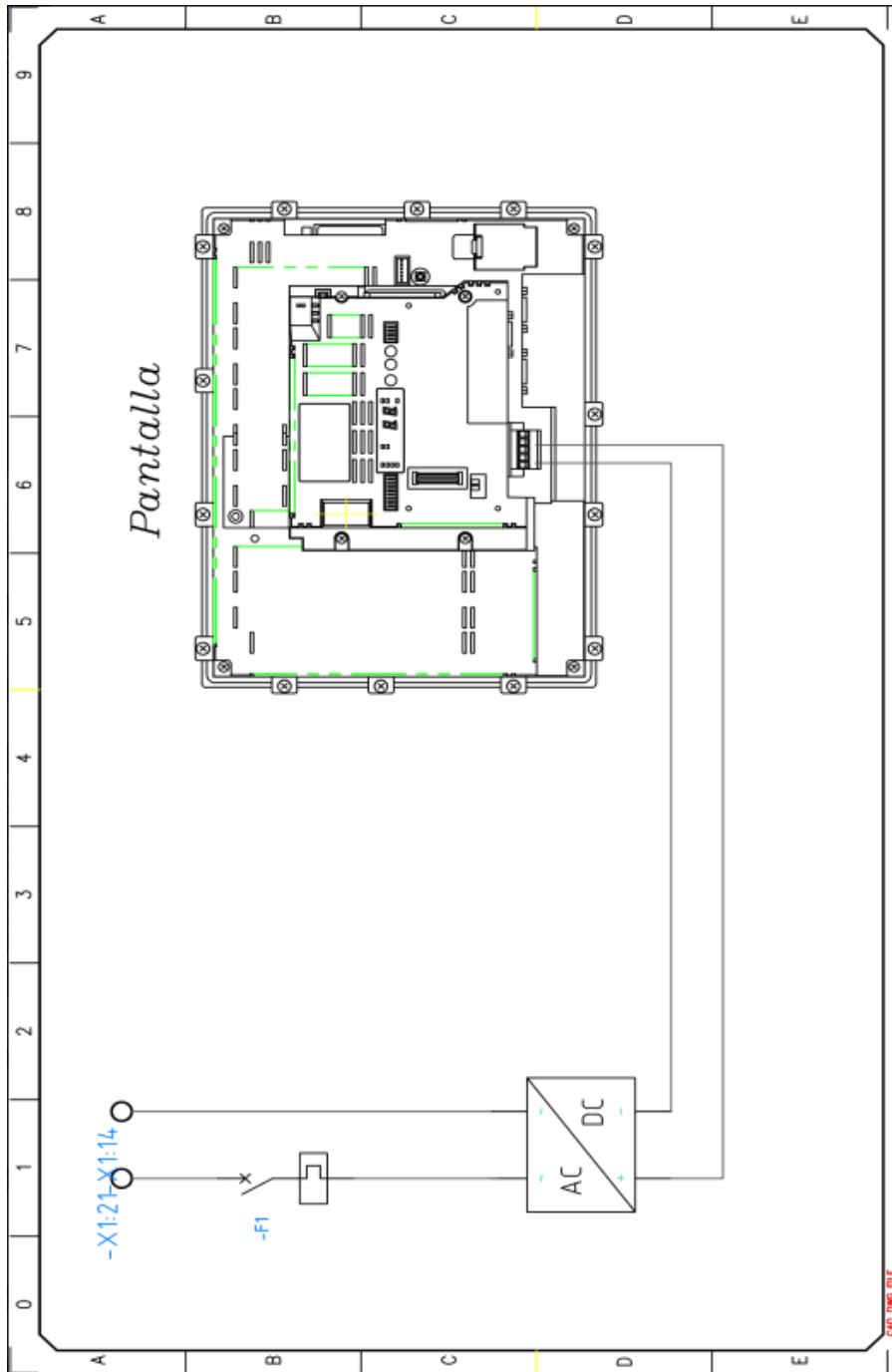


Fuente: elaboración propia, empleando el software AutoCAD Electrical.



Fuente: elaboración propia, empleando el software AutoCAD Electrical.

Apéndice 6. Diagrama eléctrico hoja 6



Fuente: elaboración propia, empleando el software AutoCAD Electrical.

Se presentan documentos que el operador y el de calidad utilizan para manipular los tiempos y ajustes del programa de rotomoldeo.

### Apéndice 7. Instrucciones de rotomoldeo

INSTRUCCIONES DE ROTOMOLDEO GPV1100			
FECHA DE TRABAJO	10/10/2024	PRODUCTO:	GPV 1100 MAQUINA 6
MAQUINA	4	Presión:	110
TURNO:	1	peso Dra Cap	4
OPERARIO	MYNOR	peso 2da Cap	2
		peso 3ra Cap	5
CALIDAD:	FREDY ESPAÑA		
Pre calentamiento	TODO		
PRIMERA CAPA	TODO EN 2 CENTRO APAGAR FONDOS, CUERPOS HASTA EL FINAL		
SEGUNDA CAPA	TODO MENOS BRIDA NO APAGAR NADA HASTA EL FINAL		
TERCERA CAPA	TODO MENOS BRIDA Y BOCA EN 3 ARRIBA APAGAR TODO		
ENFRIAMIENTO	AUTOMATICO		
OBSERVACIONES	BASCULACION DELANTERA 45 BASCULACION TRASERA 50 ANGULOS DE QUEMADORES 50-45 PSI 20		

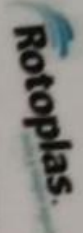
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. Temporizadores y contadores


Producto: GPV100 PROGRAMA APOLO			21/05/2015
0		ALARMA	3
1	PRIMERA CAPA	PRECALENTAMIENTO	110
2		PERMANENCIA TRASERA	8
3		PERMANENCIA DELANTERA	8
4		BASCULACIONES	5
5		ROMPE INERCIA	5
6	SEGUNDA CAPA	PERMANENCIA TRASERA AL CARGAR	5
7		REFUERZO CUERPO S/FLAMA	10
8		PRIMER PERMANENCIA DELANTERA	15
9		DESCANSO DESPUES DE CONT. 8	15
10		PERMANENCIA TRASERA	25
11		PERMANENCIA DELANTERA	10
12		BASCULACIONES	4
13	TERCERA CAPA	PERMANENCIA TRASERA AL CARGAR	5
14		REFUERZO DE CUERPO S/FLAMAS	7
15		PRIMER PERMANENCIA DELANTERA	3
16		DESCANSO DESPUES DE CONT. 15	6
17		PERMANENCIA TRASERA	25
18		PERMANENCIA DELANTERA	5
19		BASCULACIONES	5
20		DESCANSO EN EL CENTRO ANTES DE ENFRIAMIENTO	10
21	ENFRIAMIENTO	ENFRIAMIENTO CON AIRE	5
22		ASPERSION	120
23		ENFRIAMIENTO CON AIRE	5
24		ASPERSION	5
25		ENFRIAMIENTO CON AIRE	3
26		ASPERSION	5
27		ENFRIAMIENTO CON AIRE	3
28		ASPERSION	5
29		ENFRIAMIENTO CON AIRE	3
30		ASPERSION	10
31		ENFRIAMIENTO CON AIRE	3
32		ASPERSION	10
33		ENFRIAMIENTO CON AIRE	3
34		PURGA	3
35		POSICION DESPUES DE ENFRIAR	11
113		ROMPE INERCIA	5
120		POSICION PARA ENFRIAMIENTO	14
220		INICIA SECUENCIA DE CAMBIO DE GIROS	9999
221		PAUSA ENTRE CAMBIO DE DIRECCION DE GIRO	9999
TEMPO PROGRAMA(segundos)			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. Estándar del proceso



**ESTANDAR DE PROCESO**  
**CPV 1100 L.**  
**Tipo de Gas: LP**  
**Programa: APOLLO 13**



PROGRAMA CON EL APOLLO		VALOR TOL. ± REAL				
OPERACION	REVENO	4	1	2	5	
1	RECARGA	90	40	80	15	
2	PRECALENTAMIENTO	10	5	15	5	
3	PERMANENCIA TERCERA	10	5	15	5	
4	PERMANENCIA DELANTERA	5	1	5	5	
5	PERMANENCIA TRASERA	5	1	5	5	

PRIMERA CAPA		VALOR TOL. ± REAL				
OPERACION	REVENO	4	1	2	5	
6	PERMANENCIA TERCERA AL CARGAR	10	2	10	5	
7	PERMANENCIA TERCERA SIN FLAMAS	10	2	10	5	
8	PERMANENCIA DELANTERA	15	5	10	5	
9	PERMANENCIA TRASERA	15	5	10	5	
10	PERMANENCIA DELANTERA	15	5	10	5	
11	PERMANENCIA TRASERA	15	5	10	5	
12	PERMANENCIA DELANTERA	15	5	10	5	

SEGUNDA CAPA		VALOR TOL. ± REAL				
OPERACION	REVENO	4	1	2	5	
13	PERMANENCIA TERCERA AL CARGAR	10	2	10	5	
14	PERMANENCIA TERCERA SIN FLAMAS	10	2	10	5	
15	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
16	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
17	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
18	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
19	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
20	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	

TERCERA CAPA		VALOR TOL. ± REAL				
OPERACION	REVENO	4	1	2	5	
21	PERMANENCIA TERCERA AL CARGAR	10	2	10	5	
22	PERMANENCIA TERCERA SIN FLAMAS	10	2	10	5	
23	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
24	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
25	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
26	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
27	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
28	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	

ENFRIAMIENTO		VALOR TOL. ± REAL				
OPERACION	REVENO	4	1	2	5	
29	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
30	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
31	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
32	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
33	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
34	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
35	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
36	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
37	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
38	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
39	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
40	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
41	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
42	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
43	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
44	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
45	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
46	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
47	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
48	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
49	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
50	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
51	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
52	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
53	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
54	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
55	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
56	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
57	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
58	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
59	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
60	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
61	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
62	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
63	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
64	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
65	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
66	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
67	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
68	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
69	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
70	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
71	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
72	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
73	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
74	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
75	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
76	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
77	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
78	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
79	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
80	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
81	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
82	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
83	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
84	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
85	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
86	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
87	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
88	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
89	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
90	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
91	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
92	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
93	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
94	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
95	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
96	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
97	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
98	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	
99	PERMANENCIA DELANTERA	10	2	10	5	
100	PERMANENCIA TRASERA	10	2	10	5	

CONDICIONES MECANICAS		DISTANCIAS	
Descripción	U/M	Valor	Tol. ±
1. Ángulo de inclinación de quemador en operación	Grados	35	±0
2. Dist. entre quem. y anillo trasero	mm	20	±3
3. Dist. entre quem. y anillo delantero	mm	20	±3
4. Distancia entre quemador trasero y volante	mm	20	±3
5. Dist. entre quemador de fondo y volante	mm	20	±3
6. Ángulo de inclinación del quemador	°	40	±5
7. Ángulo de separación quemador	°	50	±5
8. Presión de gas	kg/cm <sup>2</sup>	1.0	±0.2
9. Presión de aire	kg/cm <sup>2</sup>	0.8	±0.2
10. Condiciones de viento	C. 6 MC	5	C
11. Condiciones de humedad (rel.)	C. 6 MC	5	C
12. Condiciones de temperatura ambiente y del quemador	C. 6 MC	5	C
13. Velocidad	ft/min	0.8	±0.1
14. Tolerancia	mm	1.0	±0.1

### DIAGRAMA DE PROCESO



Fuente: elaboración propia.



