

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO EN INGENIERÍA

“INCORPORACIÓN DE LA TECNOLOGIA  
COMPACTLOGIX DE ALLEN BRADLEY A LA ESTACIÓN  
DE CONTROL DE PROCESOS PS-2800 DEL C.I.M 2000”

Autores:

WENDY YADIRA ERAS HERRERA  
DANNY RAÚL ARGUERO ZAPATA

SANGOLQUÍ - ECUADOR  
2010

## CERTIFICACION

Certificamos que el siguiente proyecto de grado titulado “Incorporación de la tecnología CompactLogix de Allen Bradley a la estación de Control de Procesos PS-2800 del C.I.M 2000” fue realizado en su totalidad por la Srta. Wendy Yadira Eras Herrera y Sr. Danny Raúl Arguero Zapata como requerimiento parcial a la obtención del título de INGENIERA ELECTRONICA, bajo la dirección de:

---

ING. RODOLFO GORDILLO  
DIRECTOR

---

ING. HUGO ORTIZ  
CODIRECTOR

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la dicha de cumplir uno más de mis sueños y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis padres por ser los pilares en mi educación, por proporcionarme una carrera para mi futuro y por acompañarme en este largo y duro camino, mi sueño de ser ingeniera. A mi madre por su incansable apoyo, por tantas horas de preocupación y entrega, por tantas madrugadas y desvelos que le provoqué durante todos estos años y a mi padre por sus consejos siempre llenos de sabiduría, les agradezco a los dos por creer en mí.

A mis hermanas y mi sobrino quienes siempre fueron una fuente de inspiración. Vanne, gracias por estar pendiente en cada momento de mi vida y ser un intachable ejemplo de lucha, sacrificio y amor. Saskia y Alejandro, gracias por brindarme la oportunidad de compartir tantos momentos llenos de alegría y amor.

A mi buen amigo, Marcelo gracias por tu apoyo incondicional, por provocar tantas sonrisas y alegrías y por permitirme formar parte de tu mundo, por tantas desveladas que poco a poco van dando frutos. A la Familia García Saquicela por convertirse en mi segundo hogar.

A mis profesores por brindarme un poco de la sabiduría que ellos poseen, especialmente al Ing. Rodolfo Gordillo e Ing. Hugo Ortiz, quienes estuvieron presentes en el proceso de mi formación académica y no dudaron en apoyarme para finalizar con éxito este proyecto.

Y por último a la persona que emprendió este gran reto junto a mí, Danny. Quién me brindando durante la realización de este proyecto toda su comprensión y paciencia, me tuvo siempre tendida una mano para no dejarme desfallecer. Gracias por aguantar todas mis locuras y arranques de stress.

Wendy

## AGRADECIMIENTO

La vida tiene que ser grata y justa, y en este afán es necesario dar las gracias a todas las personas que forman parte de mi vida, y que de alguna manera influyeron en mí para la culminación de este proyecto.

Creo que la palabra gracias no encierra todo lo que yo deseo para estas personas maravillosas, pero con todo mi corazón quiero dar las gracias a mis amados padres que siempre estuvieron brindándome su apoyo y su confianza, Madre querida siempre estuviste a mi lado cuidándome y entregando tu propia felicidad a cambio de la mía, y tu mi Padre siempre me brindaste tu apoyo y tu cariño, sin importar ese muro de la distancia, Abuelito y Hermana muchas gracias por la confianza en que este día llegaría, y por todo ese calor que nunca me faltó.

También quiero hacer llegar mi agradecimiento a todos esos seres que estuvieron brindándome una palabra de aliento, me tendieron una mano, lloraron mis penas y compartieron mis alegrías, mil gracias mis queridos amigos por ser esos seres grandiosos a los cuales nunca los olvidare, y que los llevare siempre en mi corazón y mi alma.

En este párrafo muy especial te quiero agradecer a ti Wendy, por haber sido mi compañera, por haber sacado adelante este proyecto, por estar en algunos momentos difíciles de los cuales logramos salir, gracias por la amistad que me brindaste, por las discusiones que tuvimos y que realmente las disfrute, que Dios te Pague por todo y que sea muy grato contigo, te deseo los más grades éxitos en tu vida, espero que cumplas todos tus sueños y seas muy feliz.

Finalmente agradezco a los profesores de Escuela Politécnica Ejercito por haberme formado como Ingeniero, por la confianza y la guía brindada para elaborar el proyecto de grado.

Danny

## DEDICATORIA

Dedico con todo mi corazón el presente proyecto a mis padres Wilson y Gladys, quienes durante toda mi vida han sabido guiar mis pasos y me han apoyado para que mi educación y preparación se dé día a día.

A ti Mamá, te lo entrego, esta es tu obra, por tu tenacidad, por tu lucha constante junto a mí, por no dejarme caer ni derrotar, por demostrarme que el sacrificio diario tienes su recompensa, por siempre haber sido mi soporte, porque de ti tome el ejemplo de lo que es ser profesional y por apoyarme desde siempre, solo quiero que sepas que no te defraudé y la gran persona que soy te lo debo a ti.

A ti Papá, por guiarme, por conformarte con mirarme a lo lejos, por soportar mis desplantes, por amarme en silencio, por tantas horas de consejos, de regaños, de reprimendas de tristezas y de alegrías de las cuales estoy muy segura que las han hecho con todo el amor del mundo para formarme como un ser integral y de las cuales me siento extremadamente orgullosa.

A mis hermanas Vanessa y Saskia quienes siempre han estado a mi lado y con alegría han sabido brindarme la fuerza necesaria para no decaer, han compartido todos esos secretos y aventuras que solo se pueden vivir entre hermanas y que han estado siempre alerta ante cualquier problema que se me puedan presentar.

A mi sobrino Alejandro, por permitirme descubrir un mundo lleno de alegría, inocencia, paciencia y lleno de amor porque nunca pensé que de tan pequeño cuerpecito emanara tanta fuerza y entusiasmo para sacar adelante a alguien. Tú, llegaste en el momento preciso para estrechar los lazos familiares, eres una bendición de Dios en nuestro hogar.

A mis amigos Gioco, Kari, Alex, Vane, Andre, Fer, Tito, Freddy, Flaco, Byron, Leo, por convertirse en mis cómplices y sobre todo, permitirme compartir junto a ustedes el hermoso mundo de la danza.

Solo quiero decirles que poco a poco lo logré... Wendy

## **DEDICATORIA**

“PER ASPERA AD ASTRA” POR EL ASPERA PENDIENTE HACIA LA CUMBRE, ese es su lema y la gran enseñanza que nos dejó.

Por eso este trabajo está dedicado a un noble Instituto forjador de valiosos hombres, que solo sabe enseñar un grupo de valores que nos hacen más humanos. Cuando salí de las aulas de este Instituto la única promesa que le hice fue no defraudarlo, demostrar quién soy y de donde vengo, intentar con todo el coraje que su nombre no sea mancillado.

Ahora a los cinco años y medio de haberlo abandonado quiero brindarle este humilde tributo dedicándole todo el esfuerzo realizado en cinco años de estudios superiores, y especialmente dedicándole el proyecto que me otorgara el título de Ingeniero Electrónico en Automatización y Control.

Este merito es tuyo mi Adorado y Amado “INSTITUTO NACIONAL MEJÍA”.

Danny

## PRÓLOGO

El objetivo de este proyecto es incorporar la tecnología CompactLogix de Allen Bradley a la estación de Control de Procesos PS-2800 del laboratorio CIM 2000, encargada de realizar un proceso de limpieza y revestimiento de las piezas metálicas procesadas por la estación FMS-2101. En consecuencia, la descripción y funcionamiento permitirá mejorar la productividad y logrará una mayor flexibilidad de la estación, en el sentido que se acoplará y sincronizará un flujo de datos e información de manera más rápida, a través de una red de EtherNet/IP.

El proceso comienza cuando un pallet que transporta una pieza cilíndrica llega a la estación PS-2800. El robot manipulador cartesiano, es el encargado de transportar el material a las siete etapas de limpieza y revestimiento, su orientación se realiza a través de movimientos detectados por sensores inductivos y sensores de contacto magnéticos.

Para llevar a cabo este proceso la estación PS-2800, realiza un control de flujo, nivel y temperatura mediante el PLC CompactLogix. Además, aprovechando las funcionalidades que presta esta estación para realizar controles de procesos se diseñará un set de prácticas básicas enfocadas a los diferentes lazos de control.

La estación posee tres lazos de control como son: flujo, nivel y temperatura. De tal manera, el control de nivel permite mantener un nivel fijo de agua en el baño de agua jabonosa B1, utilizando un interruptor flotador magnético. El control de flujo permite controlar el flujo y la circulación del agua en los baños de enjuague utilizando un medidor de rueda de paletas. Mientras que, el control de temperatura mantiene una temperatura

constante a 50°C el baño de limpieza y la estación cuenta con un resistor sensible a los cambios de temperatura denominados RTD PT-100.

El trabajo que realiza la estación de Proceso PS-2800 es resultado de la interacción entre el brazo robótico y un proceso industrial, por lo que es necesario, mostrar al usuario una interfaz gráfica HMI (Human Machine Interface) que permita visualizar e interactuar de forma directa con el proceso que está siendo supervisado y controlado.

Para la integración de la estación de la estación de Control de Procesos al sistema CIM 2000 se realizará a través de una red EtherNet/IP que permita la comunicación con la estación central CIM 2000. Utilizando redes CIP permiten recopilar datos de manera más fácil por todo el sistema, lo que aporta mejores herramientas para controlar y aumenta la eficiencia de la estación.

Finalmente, este trabajo permitirá a los estudiantes realizar prácticas que proporcionen e implementen alternativas de solución a los problemas de la colectividad, respondiendo a las actuales exigencias de la sociedad, del mercado ocupacional y de su propio desarrollo como seres humanos. Además, se espera que este proyecto sirva de guía para futuros trabajos realizados en la estación PS-2800.



## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>18</b>
2.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.....	19
2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESTACIÓN DE CONTROL DE PROCESOS.....	20
2.2.1 <i>Componentes del Sistema PS-2800</i> .....	22
2.2.2 <i>Descripción del Equipo de Medición de los Parámetros Requeridos en el Proceso</i> .....	24
2.2.2.1 Interruptores de Nivel.....	24
2.2.2.2 Detector de Temperatura .....	25
2.2.2.3 Bomba Centrífuga.....	26
2.2.2.4 Transmisor de Nivel .....	27
2.2.2.5 Flujómetro de Rueda de Paletas .....	29
2.2.3 <i>Manipulador Cartesiano de la PS-2800</i> .....	31
2.2.4 <i>Presentación de la estación de Control de Procesos</i> .....	33
2.3 TECNOLOGÍAS IMPLEMENTADAS EN LA ESTACIÓN DE CONTROL DE PROCESOS PS-2800.....	34
2.3.1 <i>Tecnología Robótica</i> .....	34
2.3.2 <i>Redes de Información</i> .....	36
2.3.2.1 Modelo Cliente-Servidor .....	36
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>37</b>
3.1 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA IMPLEMENTADO EN LA PS-2800 MEDIANTE EL PLC ALLEN BRADLEY .....	37
3.1.1 <i>Tablero de Control</i> .....	37
3.2 DESCRIPCIÓN DEL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE COMPACTLOGIX L43 DE ALLEN BRADLEY .....	38
3.2.1 <i>Sistema de Control del PS-28000</i> .....	39
3.3 DESCRIPCIÓN DE LOS MÓDULOS DE ENTRADAS Y SALIDAS ANALÓGICAS Y DIGITALES DE LA ESTACIÓN.....	40
3.3.1 <i>Descripción de los módulos de Entrada-Salida A/D y D/A</i> .....	40
3.3.1.1 Módulo De Entrada Analógica 1769-IF4.....	40
3.3.1.2 Módulo De Salida Analógica 1769-OF2.....	42
3.3.1.3 Direccionamiento de entradas/salidas analógicas.....	45
3.3.2 <i>Descripción de los módulos de Entrada-Salida Discretas</i> .....	45
3.3.2.1 Módulo De Entrada Digital 1769-IQ16F .....	45
3.3.2.2 Módulo De Salida Digital 1769-OB16P .....	47
3.3.2.3 Direccionamiento de entradas/salidas digitales .....	48
3.4 RED DE INTEGRACIÓN DE LA PS-2800 MEDIANTE ETHERNET/IP. ....	50
3.4.1 <i>Módulo De Comunicación 1768-ENBT/A</i> .....	53
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>55</b>
4.1 INTRODUCCIÓN AL PROGRAMA RSLOGIX 5000.....	55
4.2 INTRODUCCIÓN AL PROGRAMA RSLINX CLASSIC.....	55
4.3 ALGORITMO Y RUTINA DE PROGRAMACIÓN DEL MANIPULADOR CARTESIANO.....	56
4.3.1 <i>Rutina Principal</i> .....	56
4.3.1.1 Subrutina MENSAJERÍA.....	59
4.3.1.2 Subrutina STOP.....	59
4.3.1.3 Subrutinas CONTROL ROBÓTICO.....	60
4.3.1.4 Subrutina SIMULACIÓN.....	64
4.3.1.5 Subrutina VELOCIDAD .....	64
4.4 ALGORITMO Y RUTINA DE PROGRAMACIÓN DE LOS LAZOS DE CONTROL DE NIVEL, FLUJO Y TEMPERATURA.....	65
4.4.1 <i>Rutina periódica del lazo de control de nivel, flujo, temperatura (Baño 1)</i> .....	65

4.4.1.1	Subrutina Rutina_Baño_1.....	66
4.4.1.2	Subrutina Limpiar_Estado.....	67
4.4.2	<i>Rutina periódica del lazo de control de flujo (Baños 2, 4 y 6)</i> .....	67
4.4.2.1	Subrutina Rutina_Baños.....	68
4.4.2.2	Subrutina Limpiar_Estado.....	68
4.5	DISEÑO DE LA INTERFAZ GRÁFICA HMI.....	69
4.5.1	<i>Descripción del proceso</i> .....	69
4.5.2	<i>Asignación de tags</i> .....	70
4.5.2.1	Configuración general.....	71
4.5.2.2	Brazo robótico.....	72
4.5.2.3	Lazos de control.....	73
4.5.3	<i>Diseño de pantallas</i> .....	73
4.5.3.1	Pantalla de Caratula.....	74
4.5.3.2	Pantalla de Password.....	74
4.5.3.3	Pantalla de Modo de Operación.....	76
4.5.3.4	Pantalla de Modo Manual.....	77
4.5.3.5	Pantalla de Modo Semiautomático.....	82
4.5.3.6	Pantalla de Modo Automático.....	90
4.5.3.7	Pantalla de Proceso.....	95
4.5.3.8	Pantalla de Ingeniería.....	99
4.5.3.9	Pantalla de Presentación de Alarmas.....	108
4.6	CONFIGURACIÓN DE LA RED DE INTEGRACIÓN DE LA PS-2800 AL C.I.M 2000.....	109
4.6.1	<i>Mensajes de manufactura</i> .....	109
4.6.1.1	Mensaje de modo y estado de operación.....	109
4.6.1.2	Mensaje recepción de orden de manufactura.....	110
4.6.1.3	Mensaje confirmación de orden de manufactura.....	110
<b>CAPÍTULO 5.....</b>		<b>112</b>
5.1	CONTROL ON-OFF.....	112
5.2	CONTROL PI.....	116
5.3	CONTROL POR SOBREPOSICIÓN.....	119
<b>CAPÍTULO 6.....</b>		<b>123</b>
6.1	DISEÑO DE LOS LAZOS DE CONTROL.....	123
6.1.1	<i>Lazo de control Baño B1</i> .....	124
6.1.1.1	Lazos de control de las variables Flujo y Nivel.....	124
6.1.1.2	Lazos de control de la variable Temperatura.....	137
6.1.2	<i>Lazo de control Baño B2, B4 o B6</i> .....	138
6.2	PRUEBAS EXPERIMENTALES DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PS-2800.....	143
6.2.1	<i>Pruebas experimentales de los componentes de la estación</i> .....	143
6.2.1.1	Reconocimiento de los sensores.....	143
6.2.1.2	Reconocimiento de los actuadores.....	143
6.2.2	<i>Pruebas experimentales de la Red EtherNet/IP</i> .....	143
6.2.2.1	Mensajes de lectura o escritura.....	143
6.3	RESULTADO EXPERIMENTAL.....	144
6.3.1	<i>Brazo robótico</i> .....	144
6.3.2	<i>Red EtherNet/IP</i> .....	144
6.3.3	<i>Lazos de control</i> .....	144
6.3.3.1	Control ON-OFF.....	144
6.3.3.2	Control PI DE FLUJO.....	146
6.3.3.3	Control SOBREPOSICIÓN BAÑO 1.....	147
6.4	RESOLUCIÓN DE LAS PRÁCTICAS.....	149
6.4.1	<i>Control ON-OFF</i> .....	149
6.4.2	<i>Control PI</i> .....	153
6.4.3	<i>Control por sobreposición</i> .....	160
6.5	LIMITACIONES.....	169
<b>CAPÍTULO 7.....</b>		<b>171</b>
7.1	CONCLUSIONES.....	171
7.2	RECOMENDACIONES.....	173

<b>ANEXOS .....</b>	<b>176</b>
<i>Especificación de la ruta de acceso al programa RSLogix 5000 .....</i>	<i>177</i>
<i>Creación de un proyecto con RSLogix 5000 .....</i>	<i>178</i>
<i>Especificación de la ruta de acceso al programa RSLink Classic .....</i>	<i>182</i>
<i>Establecimiento de una conexión Ethernet con el controlador .....</i>	<i>183</i>
<i>Especificación de la ruta de acceso al programa Factory Talk View.....</i>	<i>185</i>
<i>Creación de un proyecto con Factory Talk View.....</i>	<i>186</i>
<i>Estándar IEC 61508.....</i>	<i>192</i>
<i>Manual de programación (Factory Talk View Studio).....</i>	<i>194</i>
<i>Configuración de mensajes.....</i>	<i>254</i>
<i>Normas ANSI / ISA-S5.1 .....</i>	<i>263</i>
<i>Creación de un Trend con RS Logix5000.....</i>	<i>265</i>
<i>System Identification Toolbox (MATLAB).....</i>	<i>268</i>
<i>Configuración de los parámetros de la instrucción PID.....</i>	<i>270</i>
<i>Lista de elementos y precios .....</i>	<i>273</i>

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUCCIÓN**

El diseño y la fabricación de un producto industrial exigen varias etapas de producción, desde la recepción y verificación de la materia prima, diseño del prototipo, producción, procesamiento, almacenamiento e incluso la distribución y el retiro del producto; con el objetivo de cumplir este proceso, surge la necesidad de utilizar herramientas informáticas que permitan minimizar las etapas iniciales de diseño y asegure al mismo tiempo que el producto diseñado cumpla con las necesidades definidas por el cliente.

Es por este motivo que en los años 70's se introduce a la industria el concepto de C.I.M. (Manufactura Integrada por Computadora), concepto que induce un desafío de la automatización al integrar y coordinar todos los niveles de decisión de la fábrica, de diseño, la manufactura, el control de procesos, almacenamiento, etc. Con lo cual se garantice un proceso de producción óptimo, con productos de calidad que cumplan con la expectativa de clientes y productores. Este sistema ha logrado una gran acogida de toda la industria moderna gracias al desarrollo, flexibilidad y productividad que el C.I.M. puede brindar.

Dentro del concepto C.I.M. es importante mencionar, que es un modelo jerárquico o piramidal necesario para una planificación e integración de toda la planta, niveles que se encuentra divididos como se indica a continuación:

Nivel de controlador de planta.- es el nivel más alto del C.I.M. y realiza todas las funciones corporativas como: administración y planeación general de la planta.

Nivel de control de área.- es responsable de la coordinación y programación de las actividades de las celdas de manufactura, así como de la entrada y salida de material.

Nivel de controlador de celda.- la función de este nivel implica la programación de las órdenes de manufactura y coordinación de todas las actividades dentro de una celda integrada de manufactura.

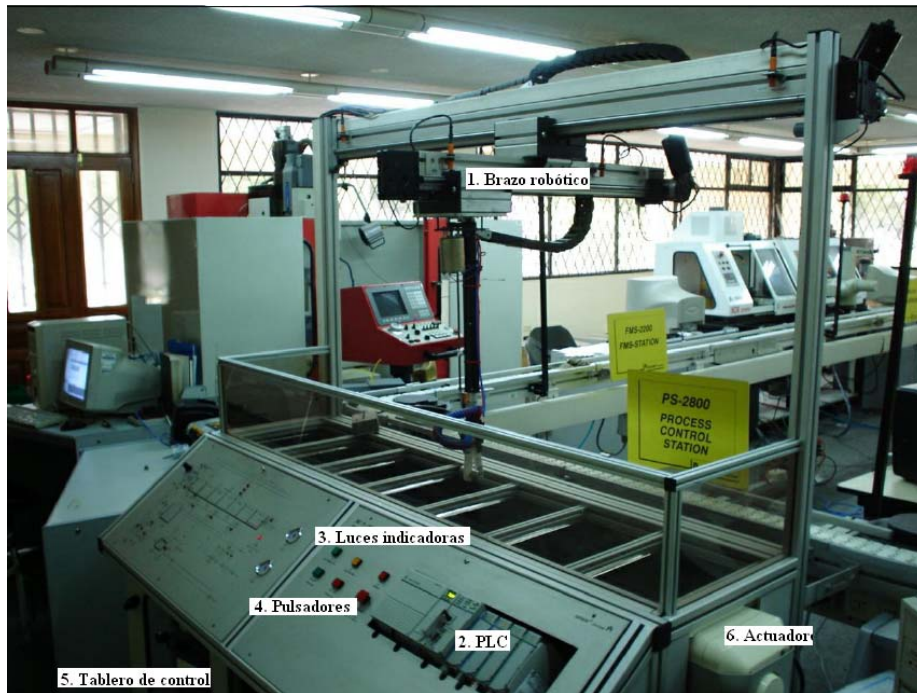
Nivel de controlador de procesos o nivel de controlador de estación de trabajo.- incluye los controladores de equipo, los cuales permiten automatizar el funcionamiento de las máquinas. Entre estos se encuentran los controladores de robots (RC's), controles lógicos programables (PLC's), CNC's, y microcomputadores.

Nivel de equipo.- es el más bajo nivel de la jerarquía, está representado por los dispositivos que ejecutan los comandos de control del nivel próximo superior. Estos dispositivos son los actuadores, sensores, switches, válvulas que se encuentra directamente sobre el equipo de producción. [1]

Dentro del Departamento de Eléctrica y Electrónica en el área Automática y Robótica de la Escuela Politécnica del Ejército, cuenta con el laboratorio denominado C.I.M. 2000, que es una instalación prototipo de la industria automatizada que se utiliza con fines académicos y educativos, cuyo fin, es demostrar cómo funcionan y para qué se utilizan las distintas etapas de producción que existen en la industria.

El sistema C.I.M. 2000 está constituido por nueve estaciones de trabajo que se encargan de la producción de un determinado producto, donde la característica principal del sistema implementado en el laboratorio se basa en el tercer nivel de automatización, representando un proceso completo, donde se controla cada uno de los procesos y adicionalmente existen aspectos de supervisión, optimización, gestión de mantenimiento, control de calidad, y seguimiento de la producción. Todo esto basado en un Control Multicapa donde existe un control centralizado y un dispositivo de control para cada proceso.

Una de las estaciones de trabajo del CIM 2000 es la “Estación de Control de Procesos PS-2800”, encargada de realiza el proceso de limpieza y revestimiento de piezas metálicas, ejecutando un control de flujo, nivel y temperatura mediante el PLC Modicom. Considerando que las otras estaciones trabajan bajo la plataforma CompactLogix de Allen Bradley.



**Figura. 1.1 Estación de Control de Procesos PS-2800**

En la actualidad, es posible el uso de diferentes sistemas de control e información para cada proceso. Esta estrategia se traduce en una integración difícil y costosa de sistemas debido al conjunto de limitaciones y a las fronteras de estos diferentes sistemas, lo cual reduce su capacidad de actuar y de tomar decisiones de manera oportuna.

El intercambio de información en tiempo real entre el área de producción y el resto de la empresa es crítico, en el sentido de tomar decisiones comerciales que mejoren la capacidad de respuesta, aumenten la productividad, reduzcan los costos y aseguren la conformidad con las normas. [2]

Actualmente, la estación de Control de Procesos se encuentra fuera de uso debido al deterioro y daño de ciertos componentes, falta de mantenimiento y principalmente la antigüedad del equipo que realiza el proceso; siendo necesario realizar el mantenimiento a toda la estación. Sin embargo la actual plataforma implementada en el CIM 2000 no está equipada con equipos Modicom, por tal motivo, es necesario cambiar la actual plataforma de trabajo, incorporando la tecnología CompactLogix de Allen Bradley, permitiendo que todas las estaciones del CIM 2000 se encuentren bajo una única arquitectura integrada, que facilita el flujo de información, mejorando el tiempo de respuesta, así como, la toma de decisiones, además proporciona acceso a los datos de producción de la planta en tiempo real.

Resumiendo en una arquitectura integrada se proporciona soluciones completamente integradas y escalables para toda la gama de disciplinas de control e información, proporcionando la información y el desempeño requeridos para optimizar la producción, responder rápidamente al cliente, y reducir costos. [2]

La estación de procesos PS-2800, es una de las estaciones de entrenamiento más completas con la que cuenta el laboratorio CIM 2000 porque se aplica los conocimientos adquiridos en las disciplinas como: Control de Procesos, Robótica, e Informática Industrial.

Esta estación de entrenamiento presenta la necesidad de controlar tres variables de proceso como son: temperatura, flujo, y nivel; variables de gran importancia en el ámbito industrial. De esta forma se puede mencionar que la temperatura es una de las variables físicas más medidas y controladas en todo el mundo tanto en ambientes industriales o en climatización de ambientes, de su valor muchas veces depende la calidad de un producto, la eficiencia de un proceso o el bienestar de un ambiente. La variable flujo es igual de importante ya que muchas veces es necesario medir el caudal de fluidos, contando con aplicaciones como: el transporte de líquidos, sistema de riego y en el sector automovilístico. Finalmente el control de nivel de tanques es una aplicación muy utilizada en la mayoría de industrias, como la petrolera, agua, procesamiento de alimentos y de su buen control dependerá que no existan accidentes, así como el éxito de un proceso. En la

estación de Control de Proceso el control de nivel es utilizado como una forma de seguridad que mantiene el nivel dentro de un rango de 20 a 22 cm mientras que del control de flujo dependerá la remoción de impurezas en la pieza cilíndrica.

Para llevar a cabo el control de las variables mencionadas es necesario el conocimiento de técnicas de control de procesos, es así que se analizará el uso de estas técnicas intentado obtener respuestas eficientes basándonos en solución poco compleja, por lo que se presentaran técnicas de control que van desde el control On-Off hasta control de Superposición.

En relación al área de la robótica la estación cuenta con un brazo robótico que permite que el proceso sea completamente automático, ya que este es controlado por el PLC. Este campo tiene grandes aplicaciones en la automatización de industrias, los robots programables son los encargados de la manipulación de los productos de manufactura, así como pueden sentir e interactuar en el entorno que los rodea mediante sistemas de sensores.

La solución a un problema de integración es el uso de una red que permita el flujo de información entre la estación PS-2800 y la estación central CIM-2000. Por lo tanto en una industria cada vez más exigente y desarrollada, es necesario el uso de redes con protocolos estándar y cada vez con mejoras en velocidades de transmisión y protección de datos, en este concepto el uso de la plataforma CompactLogix de Allen Bradley permite una integración del modelo C.I.M. 2000 mediante EtherNet/IP, que se encuentra basado en un protocolo abierto como es CIP (protocolo industrial común), el cual permite transmisión de datos en tiempo real.

El presente trabajo está organizado de la siguiente manera: Capítulo 2 se presenta una detalla descripción de la estación de Control de Procesos PS-2800 y las tecnologías implementadas en la misma. En el Capítulo 3 se describe brevemente el controlador lógico programable CompactLogix de Allen Bradley con sus respectivos módulos de entradas y salidas digitales y analógicas. Además, se indica la nueva red de integración mediante EtherNet/IP. En el Capítulo 4, se presenta el software usado en los diferentes algoritmos y rutinas de programación utilizadas para la integración del manipulador cartesiano, los lazos de control de nivel, flujo y temperatura, como también, la interfaz gráfica HMI. En el



Capítulo 5, se aprovecha las funcionalidades que presta el PLC CompactLogix para realizar controles de procesos, por lo que, se diseñará un set de prácticas básicas enfocadas a los diferentes lazos de control cerrados existentes en la estación. En el Capítulo 6, se muestra las pruebas realizadas en términos del comportamiento establecido en cada proceso. En este capítulo también se presenta los resultados experimentales de la simulación a pequeña escala de un proceso industrial. En el Capítulo 7, son presentadas las conclusiones acerca de la incorporación de la tecnología CompactLogix y las recomendaciones indicadas para el correcto funcionamiento de la estación.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. General**

- Incorporar la tecnología CompactLogix de Allen Bradley a la estación de control de procesos PS-2800 del C.I.M. 2000

### **1.1.2. Específicos**

- Reconfigurar el Sistema de Control implementado en la estación de control de procesos PS-2800.
- Implementar una red de integración entre la Estación de Control de Procesos PS-2800 y la Estación Central C.I.M. 2000.
- Realizar una interfaz máquina humano HMI, que permita al usuario controlar y visualizar el proceso realizado por la Estación de Control de Procesos PS-2800.
- Diseñar un grupo de prácticas dirigidas al control de nivel, flujo y temperatura de la Estación de Control de Procesos PS-2800.
- Comprobar el correcto funcionamiento de la Estación de Control de Procesos PS-2800.
- Evaluar el funcionamiento mediante la realización de pruebas y análisis de resultados bajo estándares de uso.

## **CAPÍTULO 2**

### **GENERALIDADES**

Debido a que el diseño y la fabricación de un producto industrial exigen realizar un proceso de limpieza y revestimiento, surge la necesidad de estudiar la Estación de Control de Procesos PS-2800 del C.I.M 2000. Por tanto, este capítulo se enfocará a describir conceptos básicos de la estación, funcionamiento y sus características principales.

Posteriormente se utilizó herramientas informáticas que permitan minimizar las etapas de diseño, con lo cual se garantice un proceso de producción óptimo, con productos de calidad que cumplan con las especificaciones indicadas en el proceso y las expectativas de los clientes. De tal manera que, este sistema consigue una gran flexibilidad y mayor productividad que brinda al CIM.

Finalmente se describió brevemente las tecnologías fundamentales que intervienen en la estación de control de procesos PS-2800, como son robótica y redes de comunicación de datos, conocimientos que permitirán entender la aplicación.

Además se aclara que durante la realización del presente trabajo se refirió en términos generales a la estación de control de procesos como PS-2800.

## 2.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

En los últimos años se incrementó la necesidad de encontrar nuevas formas de aumentar la productividad por medio del uso y aprovechamiento de la moderna tecnología propuesta por los controladores lógico programables CompactLogix de Allen Bradley; sin embargo, esto no sólo se logra gracias a la aplicación de la tecnología únicamente, sino que existen diferentes elementos que al unirlos permiten una verdadera integración.

En la actualidad la integración de todas las estaciones de trabajo de un sistema CIM representa una estrategia para incrementar la productividad y crear una empresa más competitiva. Dentro del conjunto de estaciones de trabajo se encuentra la estación de Control de Procesos PS-2800 cuyas características son las siguientes:

- Flexibilidad.- Se refiere a la gran capacidad de adaptación al entorno, ya que pueden producir gran variedad en el proceso de limpieza y revestimiento del cilindro metálico. La flexibilidad se consigue mediante el acoplamiento y sincronización del flujo de datos e información con los medios automatizados de fabricación, a través de la configuración de la red de integración, que permiten realizar secuencias de operaciones variables ya que el movimiento del material no es uniforme.
- Expandibilidad.- Se refiere a la facilidad con la cual se pueden añadir elementos al sistema después de la instalación inicial.
- Capacidad de control.- Se refiere a la potencia y flexibilidad de los algoritmos de control que pueden ser implementados en el sistema: designación de puntos sin derivación y parámetros de sintonización, disponibilidad de algoritmos complejos de control, habilidad de cambiar los algoritmos sin cambiar el hardware, capacidades de sintonización remotas y adaptativas.
- Capacidad de interfaz para el operador.- Se refiere a la capacidad del hardware proporcionada para ayudar al operador en la ejecución de las funciones de monitoreo y control de la planta. Dentro de la estación de control de procesos esta capacidad de

interface es poderosa, ya que el sistema posee un software denominado Factory Talk View, que utiliza el concepto de INTERFACE HUMANO-MÁQUINA, permite la operación, monitoreo y control total del sistema. La descripción detallada de la utilización de este programa (Factory Talk View) se realizará en el “SOFTWARE”, Capítulo 3.

- Aplicación industriales verdaderas.- neumática, robótica, control de procesos.[3]

## 2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESTACIÓN DE CONTROL DE PROCESOS

El sistema C.I.M. 2000 está configurado por nueve estaciones de trabajo que se encargan de la producción de un determinado producto. Dentro de las estaciones de trabajo se encuentra la “ESTACIÓN DE PROCESOS PS-2800”, encargada de realizar un proceso de limpieza y revestimiento de las piezas metálicas tratadas o procesadas previamente por las estaciones FMS-2101 y FMS-2200.

Para llevar a cabo este proceso la estación PS-2800, realiza un control de flujo, nivel y temperatura, dicho proceso comienza cuando un pallet que transporta un cilindro llega a la estación PS-2800. El manipulador cartesiano toma la pieza tratada por las estaciones nombradas anteriormente, y la transporta hacia la línea de procesamiento. El proceso de revestimiento comprende 7 etapas de limpieza y revestimiento.

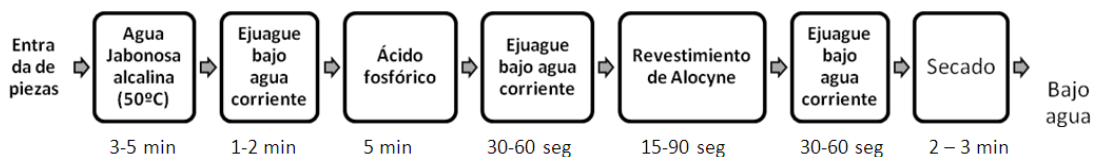


Figura. 2.1 Diagrama de flujo del proceso

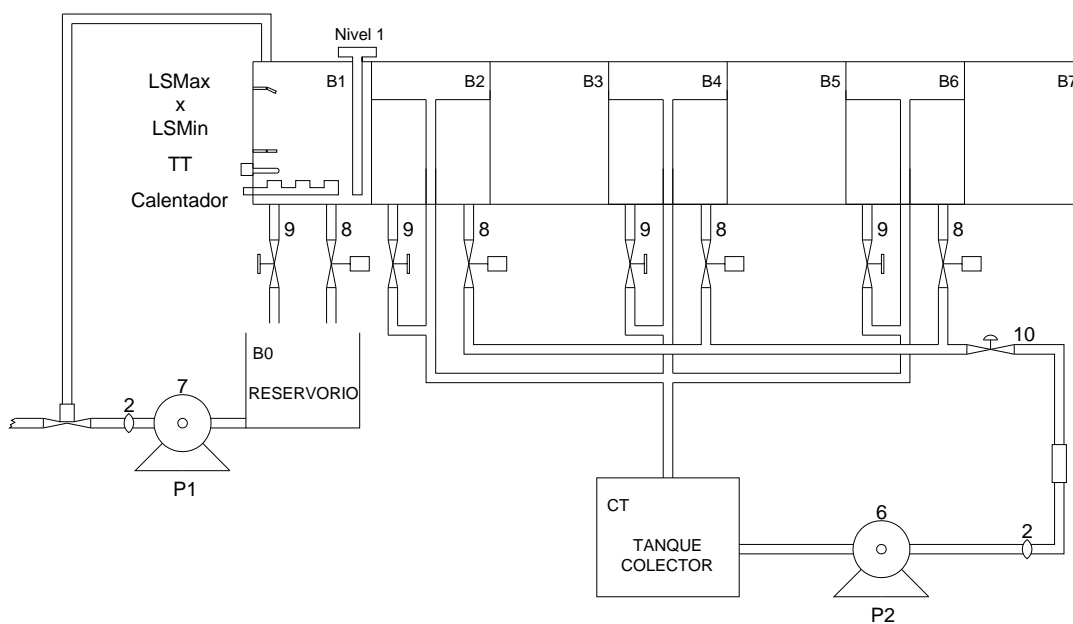
Las etapas por las cuales tiene que pasar la pieza metálica se describen brevemente a continuación:

1. **Primera etapa:** Limpieza de suciedad y pintura, mediante agua jabonosa alcalina a 50 ° C.
2. **Segunda etapa:** Lavado de residuos de suciedad.

3. **Tercera etapa:** Inmersión en ácido fosfórico (Matrox 4) para corrosión de la pieza (corrosión es el proceso de quitar una capa delgada de la superficie).
4. **Cuarta etapa:** Enjuague bajo agua corriente.
5. **Quinta etapa:** Revestimiento del aluminio con Allodyne.
6. **Sexta etapa:** Enjuague bajo agua corriente
7. **Séptima etapa:** Secado del aluminio revestido.

La remoción de la pieza revestida y su traslado para tratamientos posteriores es nuevamente efectuada por el manipulador.

Para realizar la ejecución de todo el proceso de revestimiento, es necesario controlar varios parámetros relacionados a él: nivel, flujo y temperatura. A fin de controlar estos parámetros se utilizan tres lazos de control cerrados, uno para cada parámetro. Los lazos son independientes, sin embargo actúan en conjunto durante el proceso. La figura 2.2 muestra las inmersiones y los principales elementos del sistema:



**Figura. 2.2 Elementos principales en la PS-2000.**

- Lazo de control de nivel: utilizado para mantener un nivel fijo de agua en el baño de agua jabonosa B1. El suministro de agua para el baño se realiza por medio de la bomba P1, que bombea el agua del reservorio Bo. Un transmisor continuo de nivel en el baño envía una señal al controlador de nivel, el cual controla respectivamente el ritmo de rotación de la bomba o la temporización de cierre/abertura de la válvula eléctrica a la salida.
- Lazo de control de flujo: utilizado para controlar el flujo y la circulación del agua en los baños de enjuague. La circulación se obtiene mediante la bomba de circulación P2, que bombea el agua desde el reservorio hacia el fondo de los reservorios de enjuague. La bomba opera en un voltaje constante. El exceso de agua es restituido al reservorio a través de la tubería de rebose. Un transmisor de flujo continuo mide el flujo de agua y envía una señal al controlador de flujo, que controla la abertura de la válvula proporcional y establece el flujo de agua.
- Lazo de control de temperatura: utilizado para mantener una temperatura constante 50 °C en el baño de limpieza. El calentamiento del baño se realiza mediante un elemento calefactor con una potencia de 2000 W. Un transmisor de temperatura envía constantemente una señal al controlador programable, que controla respectivamente el elemento calefactor (ON/OFF) o la activación de la unidad de enfriamiento (ON/OFF). La unidad de enfriamiento está compuesta por un radiador y un ventilador. Su activación se realiza alternadamente, de acuerdo a la temperatura. El control de temperatura es de tipo ON/OFF.

### 2.2.1 Componentes del Sistema PS-2800

La figura 2.2 muestra los componentes del sistema que se describen a continuación:

1. Siete baños son utilizados en el proceso de revestimiento:
  - Baño B1 contiene agua jabonosa para limpieza a 50 ° C;
  - Baño B2 es utilizado para el enjuague bajo agua corriente;
  - Baño B3 contiene ácido fosfórico;

- Baño B4 es utilizado para el enjuague bajo agua corriente;
  - Baño B5 contiene el material de revestimiento de Allodyne;
  - Baño B6 es utilizado para el enjuague bajo agua corriente;
  - Baño B7 es utilizado para secar el material mediante un ventilador;
2. Dos reservorios ubicados en la parte inferior de los baños.
    - Reservorio Bo recoge el exceso de agua del baño B1;
    - Reservorio CT es el reservorio principal del agua corriente utilizada para el enjuague.
  3. Una tubería de agua conecta entre los baños y los reservorios, y los filtros (2) están integrados a ella.
  4. Válvulas para controlar los procesos de enjuague y drenaje:
    - Válvulas de solenoide (8);
    - Válvulas de operación manual (9);
    - Válvula proporcional (10);
  5. Un radiador, combinado con un ventilador, para enfriar el agua que sale del baño B1 (3).
  6. Un elemento calefactor de 2000 W, para calentar el líquido en el reservorio B1 (4).
  7. Un ventilador que impele aire caliente, utilizado para secar el material que llega al baño B7 (5).
  8. Dos bombas:
    - Una bomba para la circulación y drenaje de agua P2 (6).
    - Una bomba para mantener el nivel conveniente P1 (7).
  9. Equipo de medición para medir los parámetros requeridos en el proceso (1).

## **2.2.2 Descripción del Equipo de Medición de los Parámetros Requeridos en el Proceso**

### **2.2.2.1 Interruptores de Nivel**

Uno de los tipos de interruptores de nivel más común y menos costoso, que puede ser montado de diversas maneras, es el interruptor flotador magnético. Este tipo de interruptor se adapta a diversos montajes, incluso montaje lateral. El interruptor está compuesto por una parte fija, montada en la pared del reservorio, y por una parte móvil, el flotador, que flota en el líquido está conectado a la primera mediante una bisagra (Figura. 2.3).

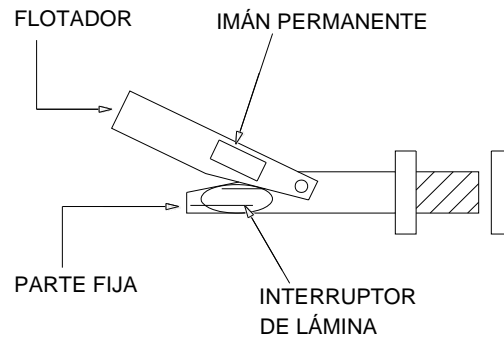
Dentro de la parte fija se encuentra el interruptor de lámina, y en el flotador existe un imán permanente. El interruptor de lámina consiste en realidad de un par de laminillas delgadas, colocadas en un tubo de vacío de vidrio opaco. Los bordes de las laminillas están muy cercanos entre sí, siendo una de ellas fija y la otra de tipo resorte.

La laminilla tipo resorte está hecha de un metal ferromagnético y la otra laminilla es de un material no ferroso. Cuando se acerca un imán al interruptor de lámina, el campo magnético pasa a través del interruptor. Debido al campo magnético, la laminilla ferromagnética queda magnéticamente polarizada, atrae a la otra laminilla y cierra el contacto.

Cuando el flotador se aproxima a la parte fija, el imán contenido en él provoca el de los contactos del interruptor y, en consecuencia, el circuito eléctrico también se cierra. El interruptor magnético puede ser utilizado para medir el punto de nivel mínimo, el punto de nivel máximo o cualquier otro punto, según el lugar donde se haya instalado. También puede utilizarse tanto para estar normalmente abierto como para estar normalmente cerrado, según la dirección del montaje.

El funcionamiento anteriormente descrito se ilustra en la figura 2.3.





**Figura. 2.3 Elementos del interruptor de nivel**

### 2.2.2.2 Detector de Temperatura

Uno de los medios utilizados comúnmente para medir la temperatura es un resistor sensible a los cambios de temperatura denominados RTD (Resistance Temperatura Detector). Este es un resistor de metal, generalmente platino o níquel, con un coeficiente de resistencia a la temperatura relativamente alto. Los cambios de temperatura afectan la resistencia del resistor. Estos cambios de resistencia son medidos e indicados a la temperatura resistida. En la estación el detector de temperatura tiene la denominación de PT-100.

Las características principales de este tipo de detectores son: resistencia relativamente alta a cambios de temperatura, punto de fusión superior a la escala de medición; linealidad en la medición, estabilidad en la medición y fortaleza mecánica. El principio de medición se basa en las ecuaciones de resistencia: la relación entre la resistencia y el tipo de dimensiones del resistor:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

siendo:

R- Resistencia [  $\Omega$  ]

$\rho$  - Coeficiente de resistencia [  $\Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$  ]

l - largo de resistor [m]

A - Sección de cables [mm<sup>2</sup>]

El factor que varía en relación al cambio de temperatura es  $\rho$ . De la relación entre resistencia y temperatura se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$R_T = R_0(1 + \alpha \Delta T)$$

$R_T$  = Resistencia a temperatura T [ $\Omega$ ]

$\alpha$  = Coeficiente de temperatura del material [ $1/^\circ\text{C}$ ]

$\Delta T$  = Diferencia de temperatura (temperatura medida - temperatura inicial) en  $^\circ\text{C}$

Siendo  $\alpha$  y  $R_0$  parámetros constantes, se obtiene la siguiente relación:

$$\Delta R = \text{cambio de resistencia.}$$

Especificación del PT-100

Tipo de material	PLATINO
Resistencia a 0 $^\circ\text{C}$	100 $\Omega$
Variación de temperatura	0 – 120 $^\circ\text{C}$
Variación de resistencia	100 – 146.06 $\Omega$
Resolución	0.1 – 0.39 $^\circ\text{C}$

### 2.2.2.3 Bomba Centrífuga

La bomba es utilizada para bombear agua en el reservorio Bo al baño de agua limpia B1. La bomba del sistema es centrífuga, y opera por medio de un motor CC con un imán constante, la cual hace girar a un rotor. La rotación del rotor permite que la bomba desagüe una cantidad de agua a la tubería. En la bomba centrífuga, el caudal puede ser cambiado por una de las siguientes maneras:

- a) Cambiando la velocidad del motor.
- b) Estrechando la abertura de salida por una válvula.

La variación de la velocidad de flujo en el sistema se logra cambiando la velocidad del motor. La bomba de drenaje tiene las siguientes especificaciones:

Tipo	PE50
l/min	5-40
Potencia	0.37 kw-0.50 Hp
R.p.m	2850
Corriente	2.5A
Voltaje	220 V-60 Hz

#### 2.2.2.4 Transmisor de Nivel

El transmisor de nivel está destinado a convertir el nivel de líquido a una corriente de voltaje estándar, de modo que la información pueda ser transferida a distancias y ser utilizada para visualización, control y recopilación.

La medición de nivel se realiza a través de la medición de la presión creada por la columna de líquido en el punto de medición, utilizando un medidor de presión hidrostática. La medición de presión en el transmisor se basa en el cambio de la capacitancia de un condensador. La estructura de la unidad de medición se muestra en la figura 2.4.

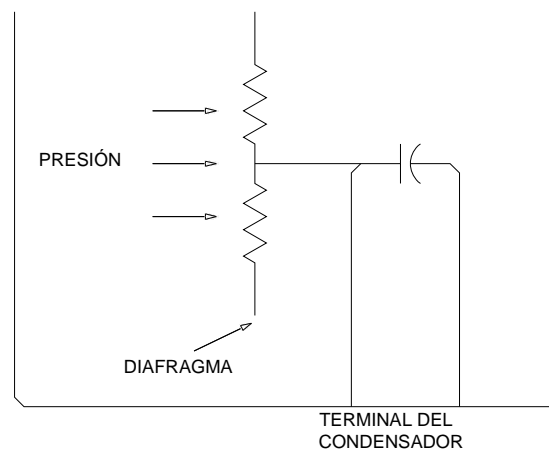


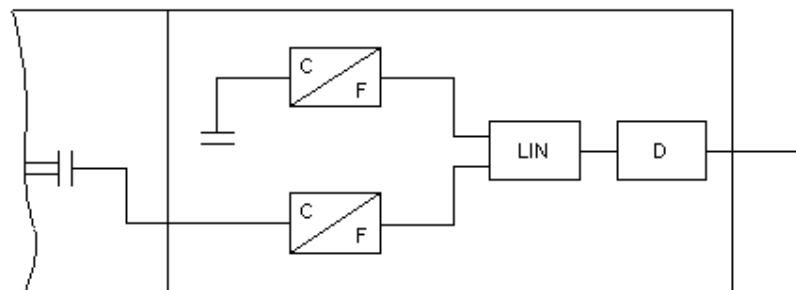
Figura. 2.4 Estructura del elemento medidor.

El elemento medidor del transmisor es un diafragma algo flexible hecho en cerámica, cuyo espesor determina la gama de medición. Una placa del condensador es fija y la otra placa está conectada al diafragma y se mueve con él.

La presión medida se aplica directamente y varía la distancia entre las placas del condensador, por lo tanto los cambios de capacitancia son proporcionales a los cambios de presión.

#### Estructura del Transmisor:

El transmisor está compuesto por dos unidades principales: la unidad de medición y la de transmisión como se indica en la figura 2.5.



**Figura. 2.5 Estructura del transmisor de presión hidrostática**

El transmisor contiene dos condensadores. Uno está conectado a un diafragma y constituye el elemento medidor, y el otro condensador es usado para referencia. Ambos condensadores están conectados a convertidores internos, que generan una frecuencia directamente proporcional a la capacitancia. Una unidad de procesamiento efectúa la linealización de las frecuencias obtenidas, y calcula la diferencia entre las mismas. Esta diferencia es proporcional al nivel del líquido. El producto es amplificado por una etapa de amplificación a fin de obtener la señal estándar para transmisión de largo alcance.

En la estación se encuentra un transmisor de nivel especificado como LT541, que es utilizado en el lazo de control de nivel, cuya señal de salida es aplicada al módulo 1769-IF4 del PLC en donde se realiza la conversión análoga-digital. Este transmisor LT541 tiene las siguientes especificaciones:

Voltaje de alimentación:	13-30 VDC
Variación de presión:	0..40 mbar
Variación de corriente:	4..20mA
Presión máxima:	0.2 bar

### 2.2.2.5 Flujómetro de Rueda de Paletas

El flujómetro de rueda de paletas es un medio simple y efectivo para realizar mediciones de caudal. La figura 2.6 muestra el corte transversal de un típico flujómetro de ruedas de paletas.

El principio de operación es muy simple: el líquido es dirigido a una turbina de funcionamiento libre en una cámara especialmente diseñada. La velocidad de rotación de la turbina es directamente proporcional al caudal, y el número de revoluciones es proporcional al total del líquido que pasa.

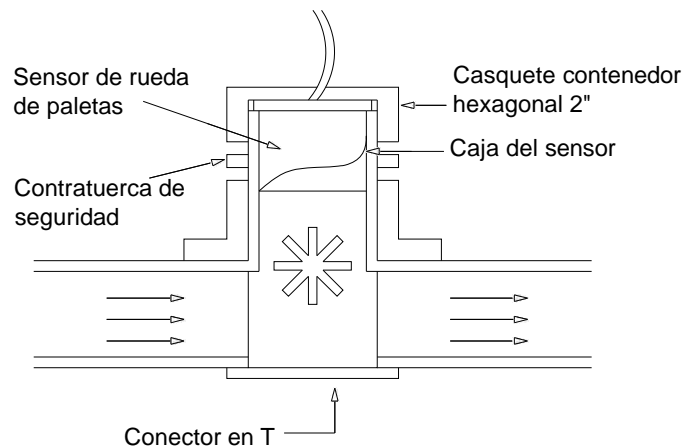
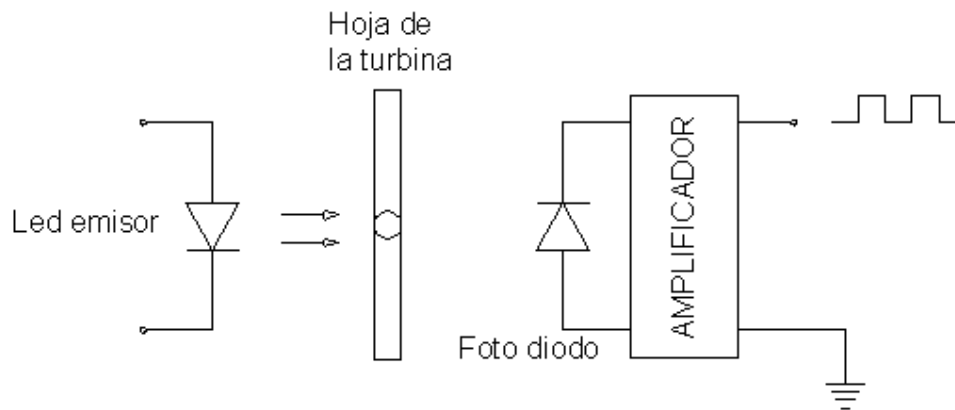


Figura. 2.6 Estructura del flujómetro de rueda de paletas

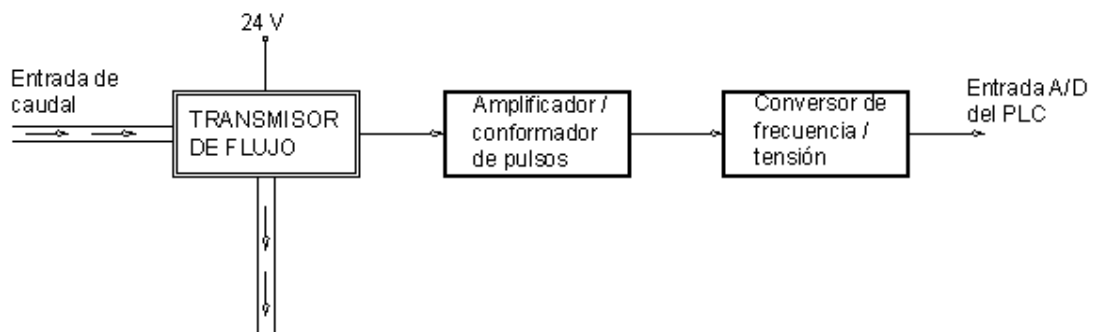
El paso de cada hoja de la turbina corta un rayo de luz infrarroja. Este bloqueo es detectado electrónicamente y transmitido como un pulso de salida.

La figura 2.7 representa el circuito electrónico simplificado del flujómetro.



**Figura. 2.7 Circuito electrónico simplificado del flujómetro**

En la estación de control de procesos existen dos transmisores de flujo, uno para lazo de control de nivel, denominado FT535 y otro para el lazo de control de flujo denominado FT531, ambos con las mismas características. El transmisor es conectado al módulo 1769-IF4 del controlador lógico programable a través de una tarjeta, que se describe en diagrama de bloques en la figura 2.8.



**Figura. 2.8 Adquisición de datos del transmisor de flujo**

### 2.2.3 Manipulador Cartesiano de la PS-2800.

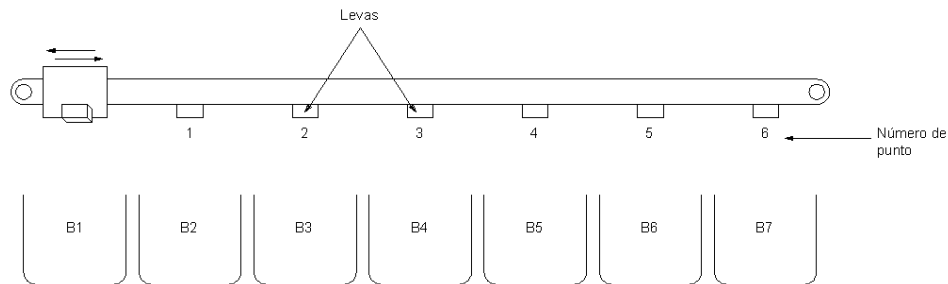
El manipulador es el medio de transporte para transportar las piezas de trabajo y trasladarlas de un punto a otro del proceso (recoger y colocar). El manipulador es en brazo con tres ejes de movimiento que se opera por movimientos en un sistema de ejes cartesianos, X, Y y Z, donde existe una unidad separada para cada eje.

El control del manipulador es eléctrico, utilizándose un motor de corriente continua de 24 V por cada eje. Al final del eje Z está instalado un sujetador, utilizado para agarrar las piezas de trabajo. El eje Y está montado sobre la unidad móvil del eje X, junto a una segunda unidad móvil que se mueve en ambas direcciones. Un pistón de subida y bajada está conectado a esta unidad, que constituye el eje Z. El cambio de sentido de rotación se ejecuta cambiando la polaridad del voltaje CC suministrado al motor. El cambio de velocidad de rotación se logra cambiando el voltaje suministrado al motor.

El movimiento de cada eje está restringido por sensores limitadores: interruptores de proximidad inductiva al final de los ejes X e Y, y sensores magnéticos en el interruptor de lámina del eje Z.

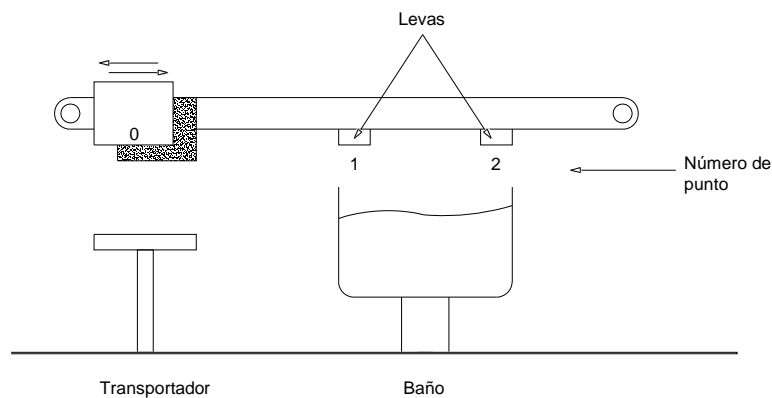
Para identificar los puntos de parada a lo largo del eje, los sensores se utilizan como puntos de referencia de posición. Las levas del interruptor de proximidad se utilizan para marcar el límite de la posición terminal eléctrica y punto de referencia de la unidad móvil de la correa.

En el eje X, el movimiento se define a lo largo de los baños, donde hay un punto de parada en cada uno de ellos (Figura 2.9). La orden de movimiento se da fijando el número de puntos de parada requeridos como valor X.



**Figura. 2.9** Movimiento a lo largo del eje X

En el eje Y, el movimiento se define entre el transportador y el baño, donde en dos puntos de parada dentro del baño (Figura 2.10). El movimiento se realiza fijando el punto de parada requerido como valor para Y.



**Figura. 2.10** Movimiento a lo largo del eje Y

En el eje Z, el movimiento está limitado a tres puntos correspondientes a los del baño y el transportador como se observa en la figura 2.11:



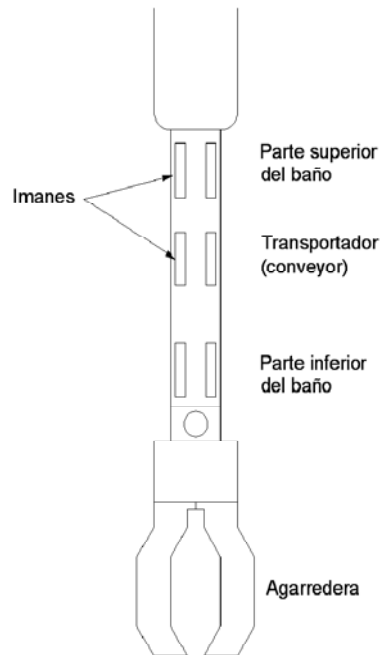


Figura. 2.11 Movimiento a lo largo del eje Z

#### 2.2.4 Presentación de la estación de Control de Procesos

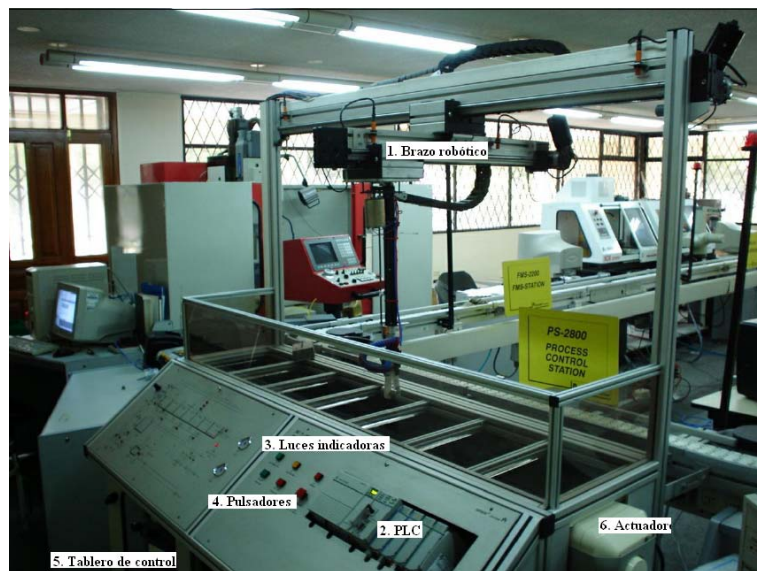


Figura. 2.12 Estación de Control de Procesos PS-2800

- |                      |                         |
|----------------------|-------------------------|
| 1. Brazo robótico    | 4. Pulsadores           |
| 2. PLC               | 5. Tablero de controles |
| 3. Luces indicadoras | 6. Actuadores           |

## 2.3 TECNOLOGÍAS IMPLEMENTADAS EN LA ESTACIÓN DE CONTROL DE PROCESOS PS-2800

### 2.3.1 Tecnología Robótica

La aplicación de los robots industriales es importante con el fin de realizar tareas repetitivas como la limpieza y revestimiento de un material. Un robot industrial puede ser definido como un manipulador multifuncional reprogramable para la ejecución de procesos industriales. Programable significa que un dispositivo tiene la capacidad de adquirir más de un conjunto de instrucciones.

Esto significa que el robot puede ejecutar más de una tarea. Una máquina multifuncional es capaz de llevar a cabo una variedad de tareas. Manipulador describe la habilidad del robot para mover partes y herramientas a través del espacio.

El robot industrial consiste de varios dispositivos eléctricos, mecánicos y electromecánicos que permiten un movimiento predeterminado de una herramienta o una de trabajo a través del espacio.

Los robots pueden ser clasificados en la base de cuatro diferentes consideraciones:

- Configuración geométrica
- Numero de ejes de movimiento
- Por el tipo de agarradera o actuador terminal
- Tipo de control

De acuerdo a la geometría, hay cuatro posibles combinaciones del manipulador de un robot: cartesiana, cilíndrica, esférica y articulada. La selección de una geometría en particular depende del tamaño del trabajo y de la complejidad de la tarea a ser llevada a cabo.

El número de ejes de movimiento y los grados de libertad disponibles de un robot son importantes porque ellos determinan la flexibilidad de un robot. Los ejes de movimiento afectan las posiciones y orientaciones que pueda tener el actuador terminal de un robot (una herramienta o una agarradera-gripper) en el espacio.

El número de ejes de movimiento y el número de grados de libertad disponibles en un robot no tienen que ser iguales, a pesar que en general se encuentran relacionados. En el espacio tridimensional existe un máximo de 6 grados de libertad.

El sistema de control provee información e instrucciones a los actuadores que controlan el movimiento del robot. Los controladores de robot son construidos para ser de lazo abierto o de lazo cerrado. Usualmente se prefiere los sistemas de control de lazo cerrado, porque dan al controlador del robot el continuo conocimiento de la posición y velocidad de movimiento durante una operación.

El movimiento de las juntas de los robots, brazos y agarraderas son realizadas por actuadores neumáticos, hidráulicos y electromecánicos los que proveen el torque para mover o rotar el robot.

Los sistemas neumáticos utilizan un fluido compresible, usualmente aire. Los de sistema hidráulico usan un fluido no- compresible tal como el aceite. En los dos casos los actuadores son usualmente cilindros que tienen un pistón que comprime o descomprime el fluido.

Los actuadores eléctricos son usualmente motores DC o motores de pasos. La estación de control de procesos PS-2800 permite la familiarización con los robots electromecánicos CRS-A255. [4]

### **2.3.2 Redes de Información**

Las claves para obtener rendimiento operacional son la información y los conocimientos, la información de lo que está ocurriendo en el proceso de fabricación y los conocimientos para responder ante esa información.

La información se transmite mediante redes CIP (DeviceNet, ControlNet y EtherNet/IP) que utilizan un lenguaje común y que comparten un conjunto universal de servicios de comunicación, por lo que es más fácil recopilar datos. Esto permite la comunicación por todo el sistema, lo que aporta mejores herramientas para controlar y aumenta la eficiencia de la estación.

Existen dos modelos de comunicación que permiten el intercambio de información: Cliente-Servidor y Productor-Consumidor. Para nuestra aplicación utilizaremos el modelo Cliente-Servidor.

#### **2.3.2.1 Modelo Cliente-Servidor**

La red Cliente/Servidor es aquella red de comunicaciones en la que todos los clientes están conectados a un servidor, en el que se centralizan los diversos recursos y aplicaciones con que se cuenta; y que los pone a disposición de los clientes cada vez que estos son solicitados.

El servidor disponen los requerimientos provenientes de los clientes que tienen prioridad, los archivos que son de uso público y los que son de uso restringido, los archivos que son de sólo lectura y los que, por el contrario, pueden ser modificados, etc.

El cliente inicia un requerimiento de servicio. La ubicación de los datos o de las aplicaciones es totalmente transparente para el cliente.[5]

## **CAPÍTULO 3**

### **EQUIPAMIENTO FÍSICO**

#### **3.1 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA IMPLEMENTADO EN LA PS-2800 MEDIANTE EL PLC ALLEN BRADLEY.**

Debido a la necesidad de incorporar el controlador CompactLogix de Allen Bradley a la estación de Control de Procesos (PS-2800) se procederá a explicar brevemente las partes constitutivas del dispositivo, así como su funcionamiento que permitirá mejorar la productividad y logrará una mayor flexibilidad de la estación, en el sentido que se acoplará y sincronizará un flujo de datos e información de manera más rápida, a través de una red de EtherNet/IP.

##### **3.1.1 Tablero de Control**

El tablero de control y los tableros sinópticos están instalados en el panel frontal (figura 3.1), sirven para el control de la operación de la estación y para recibir alarmas durante una operación incorrecta del sistema y comprenden las siguientes funciones.

Tres indicadores:

L1 (En línea con el CIM): Muestra la comunicación entre el CIM y la estación.

L3 (Voltaje DC activado): Indica que el voltaje DC está siendo alimentado al sistema.

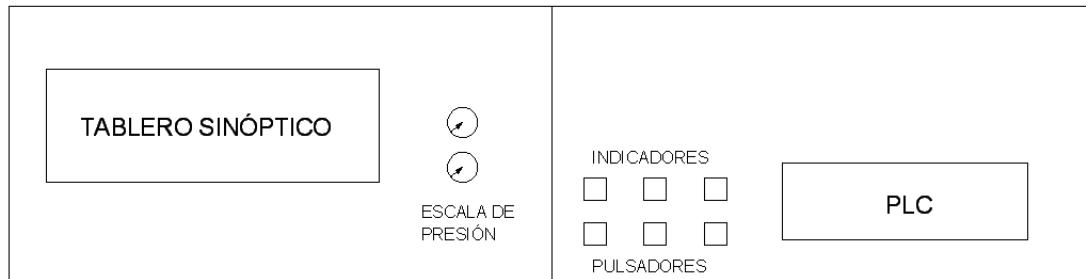
L4 (Error): Indica una falla en el sistema

Tres pulsadores:

PLC ON (ACTIVO): Botón de encendido del controlador

PLC OFF (INACTIVO): Botón de apagado del controlador

EMERGENCY STOP (PARADA DE EMERGENCIA): Botón para detener la operación de la estación PS-2800 en caso de una situación de emergencia. El modo de PARADA DE EMERGENCIA es superado al girar el botón.



**Figura. 3.1 Tablero de Control del PS-2800**

### **3.2 DESCRIPCIÓN DEL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE COMPACTLOGIX L43 DE ALLEN BRADLEY.**

El controlador CompactLogix 1768-L43 de Rockwell Automation tiene la capacidad para controlar hasta cuatro ejes de movimiento. Es ideal para manipulación de materiales, embalaje, trabajo con metales y otras aplicaciones que requieran velocidad, movimiento sincronizado y funciones para compartir información, todo ello en un dispositivo modular de reducidas dimensiones.[6]

Este controlador también es compatible con una completa gama de redes, como DeviceNet, ControlNet y EtherNet/IP, haciendo posible que la información fluya desde el dispositivo más pequeño hasta el sistema central de la empresa.

### 3.2.1 Sistema de Control del PS-2800

El sistema es controlado mediante un PLC, cuya función principal es actuar sobre el sistema ejecutando funciones de control tales como PID, PI y PD. Además de controlar el movimiento del manipulador cartesiano.

#### CONFIGURACION del PLC:

Tipo de PLC: CompactLogix L43

Potencia de disipación: 6.3 W

Memoria de usuario: 2 M bytes

Número máximo de módulos: 8

#### Módulos de Entrada/Salida del PS-2800

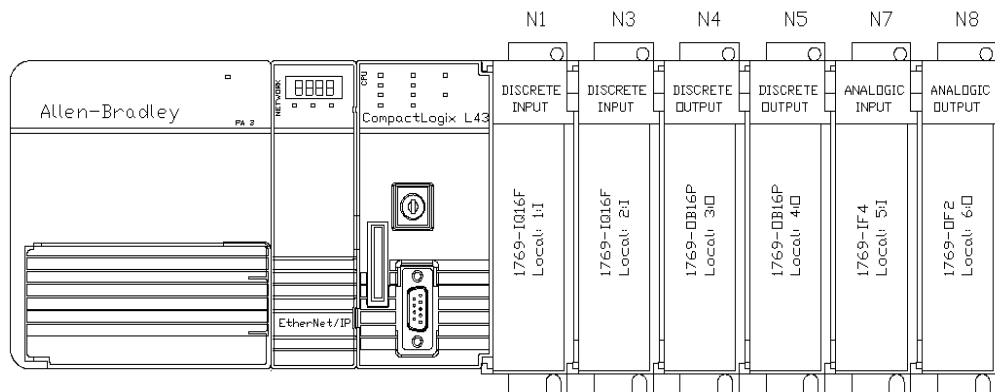


Figura. 3.2 Módulos de Entrada/Salida del PS-2800

Tabla 3.1 Lista de Entradas/Salidas de la PS-2800

Slot	Tipo	Entradas	Salidas	Descripción
1	1768-ENBT			COM. ETHERNET/IP
0	1768-L43			PLC-COMPACTLOGIX
1	1769-IQ16F	Local:1:I.Data.0 - Local:1:I.Data.16		16-IN24 V
2	1769-IQ16F	Local:2:I.Data.0 - Local:2:I.Data.16		16-IN24 V
3	1769-OB16P		Local:3:O.Data.0 - Local:3:O.Data.16	16-OUT 24 V
4	1769-OB16P		Local:4:O.Data.0 - Local:4:O.Data.16	16-OUT 24 V
5	1769-IF4	Local:5:I.Ch0Data Local:5:I.Ch3Data		4 CHANEL A/D
6	1769-OF2		Local:6:O.Ch0Data Local:6:O.Ch1Data	2 CHANNEL D/A

### 3.3 DESCRIPCIÓN DE LOS MÓDULOS DE ENTRADAS Y SALIDAS ANALÓGICAS Y DIGITALES DE LA ESTACIÓN.

#### 3.3.1 Descripción de los módulos de Entrada-Salida A/D y D/A

##### 3.3.1.1 Módulo De Entrada Analógica 1769-IF4

El 1769-IF4 es un módulo de entradas analógicas de cuatro canales con aislamiento eléctrico. Realiza conversiones A/D usando el método de conversión Delta Sigma, convirtiendo señales de entrada analógicas a una señal digital de 14 bits más un bit de signo. Puede manejar tanto entradas de voltaje en el rango de  $\pm 10$  V o entradas de corriente en el rango de 0 a 20 mA. [7]

Tabla 3.2 Especificaciones de E/S del módulo 1769-IF4

Rango de entrada del 1769-IF4	Datos sin procesar (Rango decimal)	Condición de rango de entrada
-10 V a +10 VCC	32767 (máx)	Sobrerango
	31206	Normal
	0	
	-31206	
0 V a 5 VCC	-32767 (min)	Bajo rango
	32767 (máx)	Sobrerango
	31206	Normal
	0	
0 V a 10 VCC	-3121 (min)	Bajo rango
	32767 (máx)	Sobrerango
	31206	Normal
	0	
1.0 V a 5 VCC	-1560 (min)	Bajo rango
	32767 (máx)	Sobrerango
	31206	Normal
	6243	
4 mA a 20 mA	3121 (min)	Bajo rango
	32767 (máx)	Sobrerango
	31206	Normal
	6241	
0 mA a 20 mA	4993 (min)	Bajo rango
	32767 (máx)	Sobrerango
	31206	Normal
	0	
	Menor a 0	Bajo rango

Por seguridad de operación no se debe exceder el voltaje de entrada de 30 VCA/30 VCC, ya que podrán causar daños permanentes al módulo.



### Selección de Entrada de Corriente o de Voltaje

El módulo tiene dos tipos de conexiones para seleccionar si la entrada es de voltaje o de corriente.

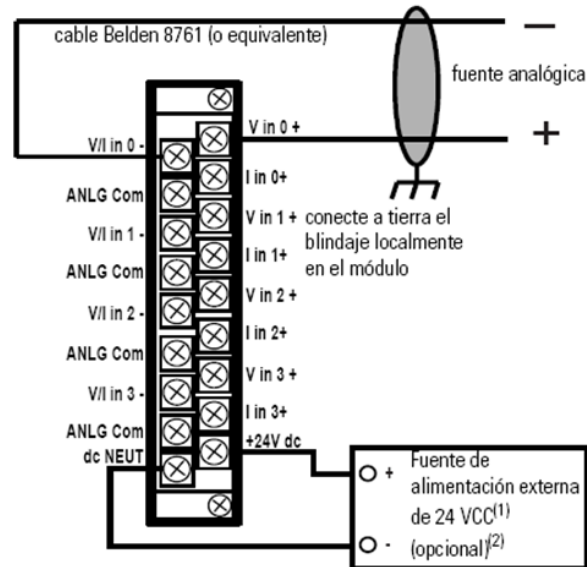


Figura. 3.3 Cableado de Entradas de Corriente o de Voltaje del módulo 1769-IF4

### Características del módulo 1769-IF4

#### TOPOLOGÍA:

Número de canales

Cuatro diferenciales o unipolares, con aislamiento eléctrico.

#### FORMATO DE DATOS:

Entradas de voltaje de dos polos.

#### FUENTE DE PODER:

Clase 2 de 24 VCC opcional

de 20.4 V a 26.4 VCC.

#### ENTRADAS DE VOLTAJE:

Rango de operación normal:

$\pm 10$  VCC, de 0 a 10 VCC, de 0 a 5 VCC, de 1 a 5 VCC.

Máximo voltaje absoluto de entrada:

$\pm 30$  VCC continuos, 0.1 mA .

Impedancia de entrada:

Terminal de voltaje: 220 K $\Omega$  (típico)

Tipo de cable:

Belden™ 8761 (blindado)

**ENTRADAS DE CORRIENTE:**

Rango de operación normal:	de 0 a 20 mA, de 4 a 20 mA.
Máximo voltaje absoluto de entrada:	$\pm 32$ mA continuos, $\pm 7.6$ VCC
Impedancia de entrada:	Terminal de corriente: $250 \Omega$
Tipo de cable:	Belden™ 8761 (blindado)

Resolución:	14 bits (unipolar)
	14 bits con signo (bipolar)

Límite de error en rango:	Voltaje: $\pm 0.3\%$
	Corriente: $\pm 0.5\%$

**SUPRESIÓN DE RUIDO**

Rechazo de modo normal:	-50 dB a 50 y 60 Hz con los filtros de 50 o 60 Hz seleccionados, respectivamente.
Rechazo de modo común:	más de 60 dB a 50 y 60 Hz con los filtros de 50 o 60 Hz seleccionados, respectivamente.

**3.3.1.2 Módulo De Salida Analógica 1769-OF2**

El 1769-OF2 es un módulo de salidas analógicas de dos canales analógicos. Cada canal mantiene voltajes en el rango de  $\pm 10$  V y corriente en el rango de 0 a 20 mA. [8]

Los canales de salida son individualmente aislados. El rango válido de datos de salida es mostrado en la tabla a continuación:

Tabla 3.3 Especificaciones de E/S del módulo 1769-OF2

Rango de entrada del 1769-OF2	Datos sin procesar (Rango decimal)	Condición de rango de entrada
-10 V a +10 VCC	32767 (máx)	Sobrerango
	31207	Normal
	0	
	-31207	
	-32767 (min)	Bajo rango
0 V a 5 VCC	32767 (máx)	Sobrerango
	31207	Normal
	0	
	-3121 (min)	Bajo rango
0 V a 10 VCC	32767 (máx)	Sobrerango
	31207	Normal
	0	
	-1560 (min)	Bajo rango
1.0 V a 5 VCC	32767 (máx)	Sobrerango
	31207	Normal
	6241	
	3121 (min)	Bajo rango
4 mA a 20 mA	32767 (máx)	Sobrerango
	31207	Normal
	6241	
	4993 (min)	Bajo rango
0 mA a 20 mA	32767 (máx)	Sobrerango
	31207	Normal
	0	
	-1560	Bajo rango

Por seguridad de operación no se debe exceder el voltaje de entrada de 30 VCA/30 VCC, ya que podrán causar daños permanentes al módulo.

### Selección de Salida de Corriente o de Voltaje

El módulo tiene dos tipos de conexiones para seleccionar si la salida es de voltaje o de corriente.

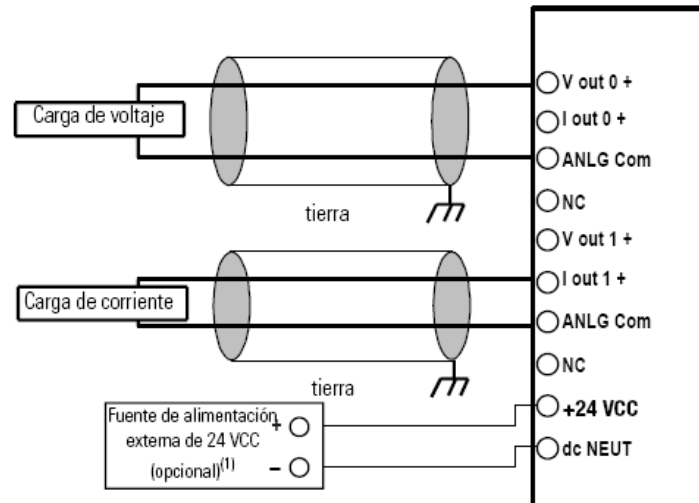


Figura. 3.4 Cableado de Entradas de Corriente o de Voltaje del módulo 1769-OF2

### Características del módulo 1769-OF2

#### TOPOLOGÍA:

Número de canales: Dos unipolares, con aislamiento eléctrico.

#### FORMATO DE DATOS:

14-bit, complemento a dos. El bit más significativo es el bit de signo.

#### FUENTE DE PODER:

Fuente externa requerida: 20.4 V a 26.4 VCC.  
Disipación de potencia: 2.52 W

#### CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS:

Voltaje de salida (operación normal):  $\pm 10$  VCC, 0 a 10 VCC, 0 a 5 VCC, 1 a 5 VCC.

Corriente de salida (operación normal): 0 a 20 mA, 4 a 20 mA.

Impedancia de salida: 15  $\Omega$  (típico)

Resolución: 14 bits (unipolar)  
14 bits con signo (bipolar)

Límite de error en rango: Voltaje:  $\pm 0.8\%$   
Corriente:  $\pm 0.55\%$

Tipo de cable: Belden™ 8761 (blindado)

3.3.1.3 Direccionamiento de entradas/salidas analógicas

Tabla 3.4 Lista de Entradas del módulo 1769-IF4

ENTRADAS	
Dirección	Descripción
Local:5:I.Ch0Data	Sensor de flujo para enjuague bajo agua corriente- Baños 2, 4, 6.
Local:5:I.Ch1Data	Sensor de flujo- Baño 1
Local:5:I.Ch2Data	Sensor de temperatura- Baño 1
Local:5:I.Ch3Data	Sensor de nivel-Baño1

Tabla 3.5 Lista de Salidas del módulo 1769-OF2

SALIDAS	
Dirección	Descripción
Local:6:O.Ch0Data	Válvula proporcional
Local:6:O.Ch1Data	Motor DC

3.3.2 Descripción de los módulos de Entrada-Salida Discretas

3.3.2.1 Módulo De Entrada Digital 1769-IQ16F

El 1769-IQ16F es un módulo de dieciséis entradas digitales con aislamiento eléctrico. [9]

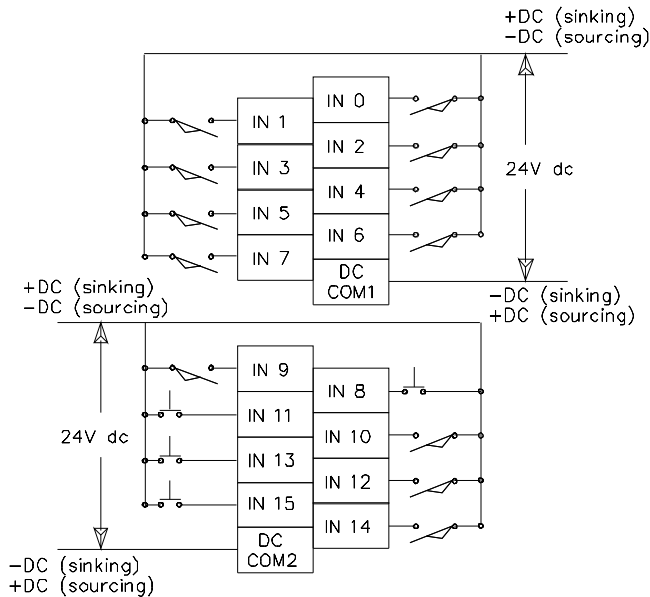


Figura. 3.5. Estructura del módulo de entradas 1769-IQ16F

**Características del módulo 1769-IQ16F**

Tipo de voltaje:	24 VCC (drenador o surtidor)
Rango de voltajes de funcionamiento:	10 a 30 VCC a 30°C 10 a 26.4 VCC a 60°C
Número de entradas:	16
Consumo de corriente de bus (máx.):	110 mA a 5 VCC (0.55 W)
Disipación de potencia:	3.55 W
Voltaje de estado desactivado (máx.):	5 VCC
Corriente de estado desactivado (máx.):	1.5 mA
Voltaje de estado activado (mín.):	10 VCC
Corriente de estado activado (mín.):	2.0 mA
Impedancia nominal:	3 K $\Omega$
Distancia respecto a la fuente de alimentación eléctrica:	8 módulos

Nota: El módulo no puede estar a más de 8 módulos de la fuente de alimentación eléctrica o del controlador.

### 3.3.2.2 Módulo De Salida Digital 1769-OB16P

El 1769-OB16P es un módulo de dieciséis salidas digitales con aislamiento eléctrico. [10]

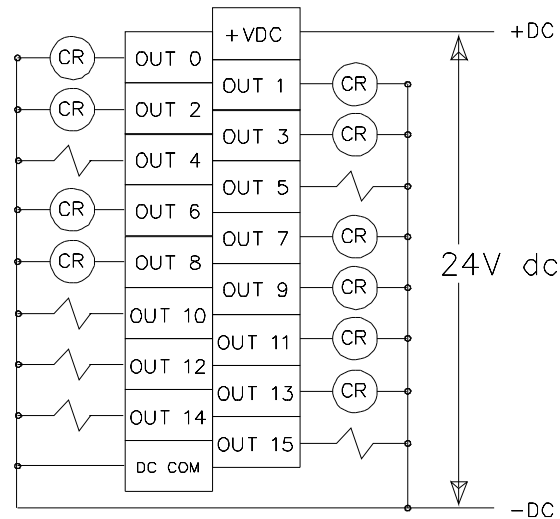


Figura. 3.6 Estructura del módulo de salidas 1769-OB16P

#### Características del módulo 1769-OB16P

Tipo de voltaje:	24 VCC (surtidor)
Rango de voltajes de funcionamiento:	20.4 VCC a 26.4 VCC
Número de entradas:	16
Corriente de fuga, salida en estado desactivado, máx.:	1.0 mA a 26.4 VCA
Corriente, salida en estado activado, mín.:	1.0 mA
Caída de voltaje, salida en estado activado, máx.	1.0 VCC a 1 A
Impedancia nominal:	3 K $\Omega$
Distancia respecto a la fuente de alimentación eléctrica:	8 módulos

### 3.3.2.3 Direccionamiento de entradas/salidas digitales

Tabla 3.6 Lista de Entradas del módulo 1769-IQ16F

ENTRADAS	
Dirección	Descripción
Local:1:I.Data.0	LS1/X-L: Sensor inductivo, manipulador en el eje X, posición izquierda
Local:1:I.Data.1	LS2/X-ML: Sensor inductivo, detección de posición de baño
Local:1:I.Data.2	LS3/X-MD: Sensor inductivo, detección de posición de baño
Local:1:I.Data.3	LS4/X-R: Sensor inductivo, manipulador en el eje X, posición derecha
Local:1:I.Data.4	LS1/Y-B: Sensor inductivo, manipulador en el eje Y, posición adelante
Local:1:I.Data.5	LS2/Y-MB: Sensor inductivo, manipulador en el eje Y, posición media (pallet)
Local:1:I.Data.6	LS3/Y-MF: Sensor inductivo, manipulador en el eje Y, posición media (baño)
Local:1:I.Data.7	LS4/Y-F: Sensor inductivo, manipulador en el eje Y, posición atrás
Local:1:I.Data.8	LS1/Z-U: Sensor inductivo, manipulador en el eje Z, posición arriba
Local:1:I.Data.9	LS2/Z-MU: Sensor inductivo, manipulador en el eje Z, posición media
Local:1:I.Data.10	LS4/Z-D: Sensor inductivo, manipulador en el eje Z, posición abajo
Local:2:I.Data.0	Parada de emergencia del tablero de control
Local:2:I.Data.1	Entradas libres para uso futuro
Local:2:I.Data.2	Entradas libres para uso futuro
Local:2:I.Data.3	Indicador de control manual vía hardware
Local:2:I.Data.4	Entradas libres para uso futuro
Local:2:I.Data.5	Entradas libres para uso futuro
Local:2:I.Data.6	PS 501 Baja Presión de aire
Local:2:I.Data.7	LS 541 B0- Transmisor de nivel, mínimo nivel en el reservorio Bo.
Local:2:I.Data.8	LS 542 B1- Transmisor de nivel, mínimo nivel en el reservorio B1.
Local:2:I.Data.9	LS 543 B1- Transmisor de nivel, máximo nivel en el reservorio B1.
Local:2:I.Data.10	LS 544 CT- Nivel mínimo en el tanque colector
Local:2:I.Data.11	C10/FB- Realimentación ventilador
Local:2:I.Data.12	C11/FB- Calentador, realimentación
Local:2:I.Data.13	C12/FB- Radiador, realimentación
Local:2:I.Data.14	C13/FB- Bomba de drenaje, realimentación
Local:2:I.Data.15	C14/FB-Bomba de succión, realimentación



Tabla 3.7 Lista de Salidas del módulo 1769-OB16P

<b>SALIDAS</b>	
<b>Dirección</b>	<b>Descripción</b>
Local:3:O.Data.0	CXR- Contacto de movimiento del eje X a la derecha
Local:3:O.Data.1	CXL- Contacto de movimiento del eje X a la izquierda.
Local:3:O.Data.2	CXN- Contacto de movimiento del eje X a velocidad normal.
Local:3:O.Data.3	CYB- Contacto de movimiento del eje Y hacia atrás.
Local:3:O.Data.4	CYF- Contacto de movimiento del eje Y hacia adelante.
Local:3:O.Data.5	CYN- Contacto de movimiento del eje Y a velocidad normal.
Local:3:O.Data.6	CZU- Contacto de movimiento del eje Z hacia arriba.
Local:3:O.Data.7	CZD- Contacto de movimiento del eje Z hacia abajo.
Local:3:O.Data.8	SOV12/GR- Válvula solenoide, abrir agarradera.
Local:3:O.Data.9	C10- Ventilador
Local:3:O.Data.10	C11- Calentador
Local:3:O.Data.11	C12- Radiador
Local:3:O.Data.12	C13- Bomba de drenaje (P2) control
Local:3:O.Data.13	Salidas libres para uso futuro
Local:3:O.Data.14	Salidas libres para uso futuro
Local:3:O.Data.15	Salidas libres para uso futuro
Local:4:O.Data.0	Salidas libres para uso futuro
Local:4:O.Data.1	Salidas libres para uso futuro
Local:4:O.Data.2	Salidas libres para uso futuro
Local:4:O.Data.3	Salidas libres para uso futuro
Local:4:O.Data.4	Salidas libres para uso futuro
Local:4:O.Data.5	Salidas libres para uso futuro
Local:4:O.Data.6	Salidas libres para uso futuro
Local:4:O.Data.7	Salidas libres para uso futuro
Local:4:O.Data.8	SOV 500: Reservorio 1, válvula solenoide de descarga
Local:4:O.Data.9	SOV 510: Reservorio 2, válvula solenoide de llenado
Local:4:O.Data.10	SOV 511: Reservorio 4, válvula solenoide de llenado
Local:4:O.Data.11	SOV 512: Reservorio 6, válvula solenoide de llenado
Local:4:O.Data.12	SOV 515: Tanque colector, válvula solenoide de control de llenado
Local:4:O.Data.13	SOV 516: Tanque colector, válvula solenoide de control de llenado
Local:4:O.Data.14	Salidas libres para uso futuro
Local:4:O.Data.15	C14: Bomba de succión P1

### 3.4 RED DE INTEGRACIÓN DE LA PS-2800 MEDIANTE ETHERNET/IP.

Una de las principales tendencias en el entorno industrial actual es la migración hacia sistemas automatizados abiertos y totalmente especializados. Sin duda alguna, uno de los principales factores que ha impulsado esta creciente tendencia ha sido la introducción de Ethernet en el entorno industrial.

La introducción de Ethernet ha tenido un profundo impacto en la industria: debido a sus capacidades para control de planta y datos de oficina, aportando una gran cantidad de ventajas que incluyen una integración más fácil entre los sistemas de planta y de administración, y la posibilidad de utilizar una sola infraestructura de red para distintas funciones.

Por esta razón, se han desarrollado varios sistemas basados en Ethernet para uso en el entorno industrial. Uno de ellos, EtherNet/IP, ofrece la optimización industrial de una red de control especializada con la apertura y flexibilidad de una Ethernet estándar, aprovechando la tecnología Ethernet estándar, aprovechando los medios físicos y chips de comunicación de Ethernet.

Ethernet /IP es un protocolo de red en niveles para aplicaciones de automatización industrial. Introducida a principios del año 2000, este protocolo es uno de los pioneros en las soluciones Ethernet para la industria, ofreciendo muchas ventajas a usuarios y fabricantes de automatización, como bajos costos de desarrollo de productos, facilidad de uso, simple integración de dispositivos y redes.

Esta solución estándar para la interconexión de redes admite la transmisión de mensajes implícita (transmisión de mensajes de E/S en tiempo real) y la transmisión de mensajes explícita (intercambio de mensajes). EtherNet/IP es una red abierta que utiliza tecnología comercial ya existente, como:

- El estándar de vínculo físico y de datos IEEE 802.3

- El conjunto de protocolos Ethernet TCP/IP (Protocolo de control de transmisión/Protocolo Internet), estándar del sector para Ethernet
- Protocolo de control e información (CIP), el protocolo que permite la transmisión de mensajes de E/S en tiempo real e información/transmisión de mensajes entre dispositivos similares.

TCP/IP es el protocolo del nivel de transporte y red de Internet. TCP/IP proporciona una serie de servicios que puede utilizar cualquier pareja de dispositivos para compartir datos, en forma eficiente y segura.

El UDP/IP (Protocolo de datagrama de usuario) también se utiliza junto con la red Ethernet. UDP/IP proporciona un transporte de datos rápido y eficiente, características necesarias para el intercambio de datos en tiempo real, pero basado en el mejor esfuerzo.

Para que EtherNet/IP tenga éxito, se ha agregado el protocolo CIP al conjunto TCP/UDP/IP con el fin de proporcionar un nivel de aplicaciones común. Por lo tanto, cuando elija un producto EtherNet/IP, estará seleccionado también prestaciones de TCP/IP y CIP. EtherNet/IP utiliza el modelo de red de productor/consumidor, al igual que las redes DeviceNet y ControlNet, que también utilizan CIP.

Con la introducción de la tecnología de conmutación de Ethernet y la transmisión de datos full-duplex, se eliminan las colisiones de datos y el rendimiento mejora drásticamente en la red EtherNet/IP.

Por lo general, una red EtherNet/IP utiliza una topología de estrella activa en la que los grupos de dispositivos están conectados punto a punto con un conmutador. La ventaja de una topología en estrella radica en la compatibilidad con productos de 10 y 100 Mbps, donde el conmutador de Ethernet negociará la velocidad. Asimismo, la topología de estrella le ofrece conexiones fáciles de cablear o de depurar, o en las que resulta fácil detectar fallos y llevar a cabo tareas de mantenimiento.

EtherNet/IP ha sido diseñada para gestionar grandes cantidades de datos de transmisión de mensajes, hasta 1500 bytes por paquete. Además de su capacidad para el tratamiento de datos, la velocidad de EtherNet/IP (10/100 Mbps), facilita aún más la transmisión de información.

Sin embargo es necesario mencionar que la plataforma CompactLogix EtherNet/IP se encuentra basada en la arquitectura NetLinx que es una arquitectura de red abierta que combina los servicios de una red de protocolo CIP, así como interfaces de software abiertas para garantizar un flujo de información a nivel de toda la empresa. Está diseñada para incluir redes de dispositivos, control e información y aportar un medio más eficiente para combinar redes sin que el rendimiento se vea afectado. Tiene la posibilidad de combinar una, dos o las tres redes, en función de los requisitos de su aplicación. Puede transferir datos sin problemas entre las redes, sin necesidad de programar, configurar o crear tablas de encaminamiento.

La arquitectura NetLinx abarca todos los componentes necesarios para la conexión de su sistema de producción al sistema comercial de la empresa, al ser la base de las tres redes abiertas: DeviceNet™, ControlNet™ y EtherNet/IP. Un protocolo de comunicaciones común e interfaces abiertas de software y hardware permiten conectar los dispositivos de la planta a Internet. El protocolo de comunicaciones es el CIP (Protocolo de control e información). Las tres redes de la arquitectura NetLinx utilizan este protocolo para la comunicación. La parte de control del CIP se utiliza para la transmisión de mensajes de E/S en tiempo real (transmisión de mensajes implícita). La parte de información del CIP se utiliza para el intercambio de mensajes y se denomina también transmisión de mensajes explícita. [11]

### **Características de la red EtherNet/IP**

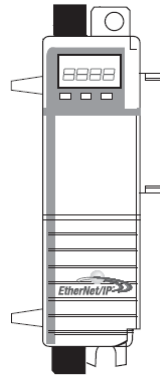
Cuando se usa con el controlador compacto CompactLogix, la red de comunicación EtherNet/IP proporciona estas características:

- Admite transmisión de mensajes, tags producidos/consumidos, HMI y E/S distribuidas

- Encapsulado de mensajes dentro del protocolo TCP/UDP/IP estándar
- Uso de una capa de aplicación compartida dentro de la red DeviceNet
- Fácil interface mediante el cable de par trenzado, sin blindaje RJ45, categoría 5
- Acepta operación half/full-duplex de 10 Mbps o 100 Mbps
- Acepta el uso de interruptores estándar
- No requiere priorización de red
- No requiere tablas de encaminamiento

#### 3.4.1 Módulo De Comunicación 1768-ENBT/A

El módulo de comunicación 1768-ENBT/A es una interfaz que permite al controlador CompactLogix L43 comunicarse con dispositivos a través de una red de conexión Ethernet/IP. [12]



**Figura. 3.7 Estructura del módulo de comunicación 1768-ENBT/A**

El módulo de comunicación ofrece: control de entradas/salidas, comunicación a través de etiquetas productor/consumidor e instrucciones MSG, comunicación con HMI, configuración y programación, tales como carga y descarga de un programa.

**Características del módulo**

Velocidad de comunicación:	10/100 Mbps
Conector:	RJ-45
Disipación de energía:	4.38 W
Tipo de cable:	2 – en los puertos de comunicación
Número de conexiones:	32

## **CAPÍTULO 4**

### **SOFTWARE**

#### **4.1 INTRODUCCIÓN AL PROGRAMA RSLogix 5000**

El software RSLogix 5000 Enterprise Series, ha sido diseñado para funcionar con las plataformas Logix de Rockwell Automation, sólo necesita un paquete de software para la programación de control secuencial, de seguridad, de procesos, de variadores y de control de movimiento. Además, ofrece un software de fácil uso, compatible con la interfaz IEC61131-3, un amplio conjunto de instrucciones que sirven en diferentes tipos de aplicaciones. Proporciona editores de lógica de escalera, texto estructurado, diagramas de bloques de funciones y diagramas de función secuencial para el desarrollo de programas de aplicación. [13] Adicionalmente, el Anexo 1 muestra la ruta a seguir para abrir el software RSLogix 5000.

Para configurar y programar un controlador CompactLogix, debe utilizar el software RSLogix™ 5000 para crear y administrar un proyecto para el controlador (Anexo 2).

#### **4.2 INTRODUCCIÓN AL PROGRAMA RSLinx Classic**

El software RSLinx gestiona la comunicación entre controladores Logix y los programas de software, tales como el software RSLogix 5000. Además, proporcionan varias interfaces abiertas para diferentes productos de otros fabricantes como HMI, paquetes de recolección y análisis de datos. [14] En el Anexo 3, se muestra la ruta a seguir para abrir el mencionado programa.

El software RSLinx permite que varias aplicaciones de software se comuniquen simultáneamente con una serie de dispositivos en muchas redes diferentes. Para establecer la comunicación con un controlador (p. ej., descargar, monitorear datos), se debe configurar el software RSLinx para la comunicación requerida (Anexo 4).

### 4.3 ALGORITMO Y RUTINA DE PROGRAMACIÓN DEL MANIPULADOR CARTESIANO

La estación de Control de Procesos, únicamente manipula barras cilíndricas, por lo cual no realiza tareas de control para los cubos rectangulares, realizando las siguientes rutinas:

#### 4.3.1 Rutina Principal

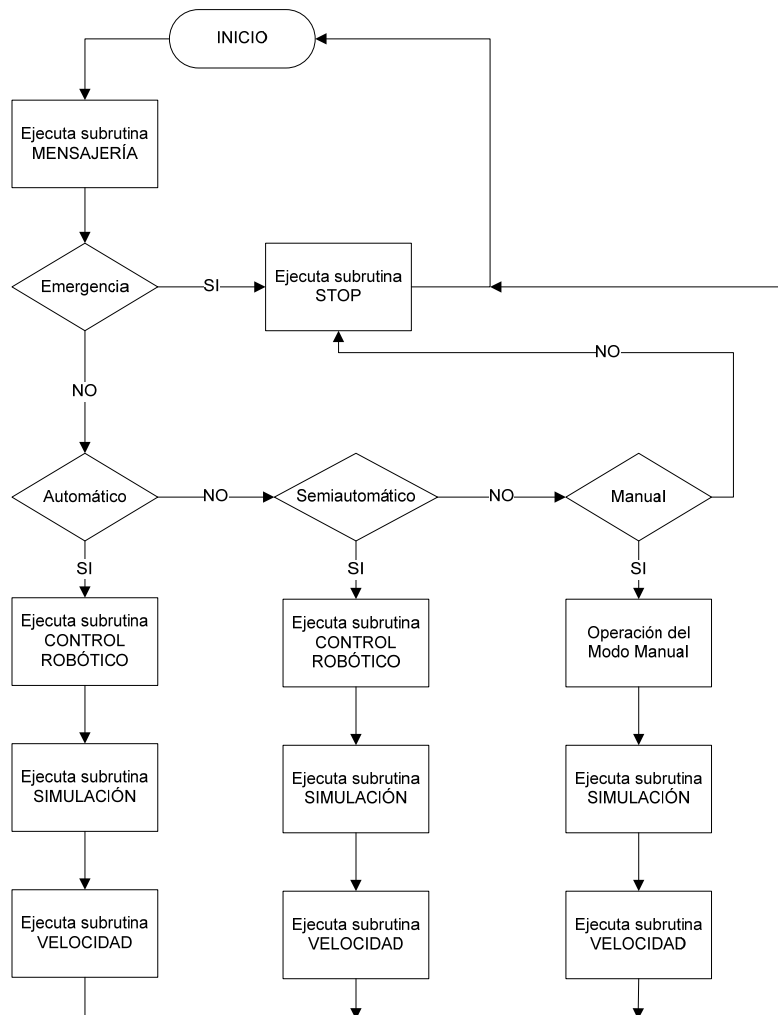


Figura. 4.1 Diagrama de flujo: Rutina Principal.



**Bits de Emergencia.**

Este bit corresponde al Tag EMERGENCY tiene prioridad sobre todo el programa, por lo cual, provoca una parada de emergencia en el proceso.

**Bits de Control.**

Corresponde a los Tags AUTOMÁTICO, SEMIAUTOMÁTICO y MANUAL representan a los Modos de Operación, activados a través de un enclavamiento y permitiendo acceder a la subrutina seleccionada.

**MODOS DE OPERACIÓN**

**Modo Manual.-** Hablamos de control manual toda vez que existe la presencia y la intervención de una persona en la acción de controlar y regular el comportamiento del sistema.

Esta persona participa en forma activa, registrando la inspección a través de sus sentidos (vista, olfato, etc.) y actuando con sus manos u otra parte del cuerpo, para llevar al sistema hacia los valores normales.

En consecuencia, el operador puede dirigir al brazo robótico en los ejes X, Y e Z utilizando el manipulador externo.

**Modo Semiautomático.-** Es aquel en el que se usa un controlador cuya configuración es seleccionada por el operador humano.

Entonces, el operador selecciona las etapas de baños a realizarse como la duración del tiempo correspondiente al baño. Además, podrá elegir la velocidad a la que se moverá el brazo robótico durante el proceso de limpieza y revestimiento de la pieza metálica.

**Modo Automático.-** Es aquel en el que se usa un controlador que opera en lugar del operador humano, cumpliendo idéntica función.

Los sistemas de control automáticos cumplen desde siempre la función de evitar al ser humano ciertas tareas, fundamentalmente las repetitivas y tediosas, por medio de dispositivos mecánicos, eléctricos, o de otro tipo.

Por lo tanto, el brazo cartesiano toma el cilindro metálico del conveyer y lo transporta hacia la primera etapa de limpieza (Baño B1). Realizando los siete baños necesarios para el proceso de revestimiento, cumpliendo con la siguiente secuencia:

- Baño B1 contiene agua jabonosa para limpieza a 50 ° C con una duración de 3 a 5 minutos.
- Baño B2 es utilizado para el enjuague bajo agua corriente con una duración de 1 a 2 minutos.
- Baño B3 contiene ácido fosfórico con una duración de 5 minutos.
- Baño B4 es utilizado para el enjuague bajo agua corriente con una duración de 30 a 60 segundos.
- Baño B5 contiene el material de revestimiento de Allodyne con una duración de 15 a 90 segundos.
- Baño B6 es utilizado para el enjuague bajo agua corriente con una duración de 30 a 60 segundos.
- Baño B7 es utilizado para secar el material mediante un ventilador con una duración de 2 a 3 minutos.

4.3.1.1 Subrutina MENSAJERÍA

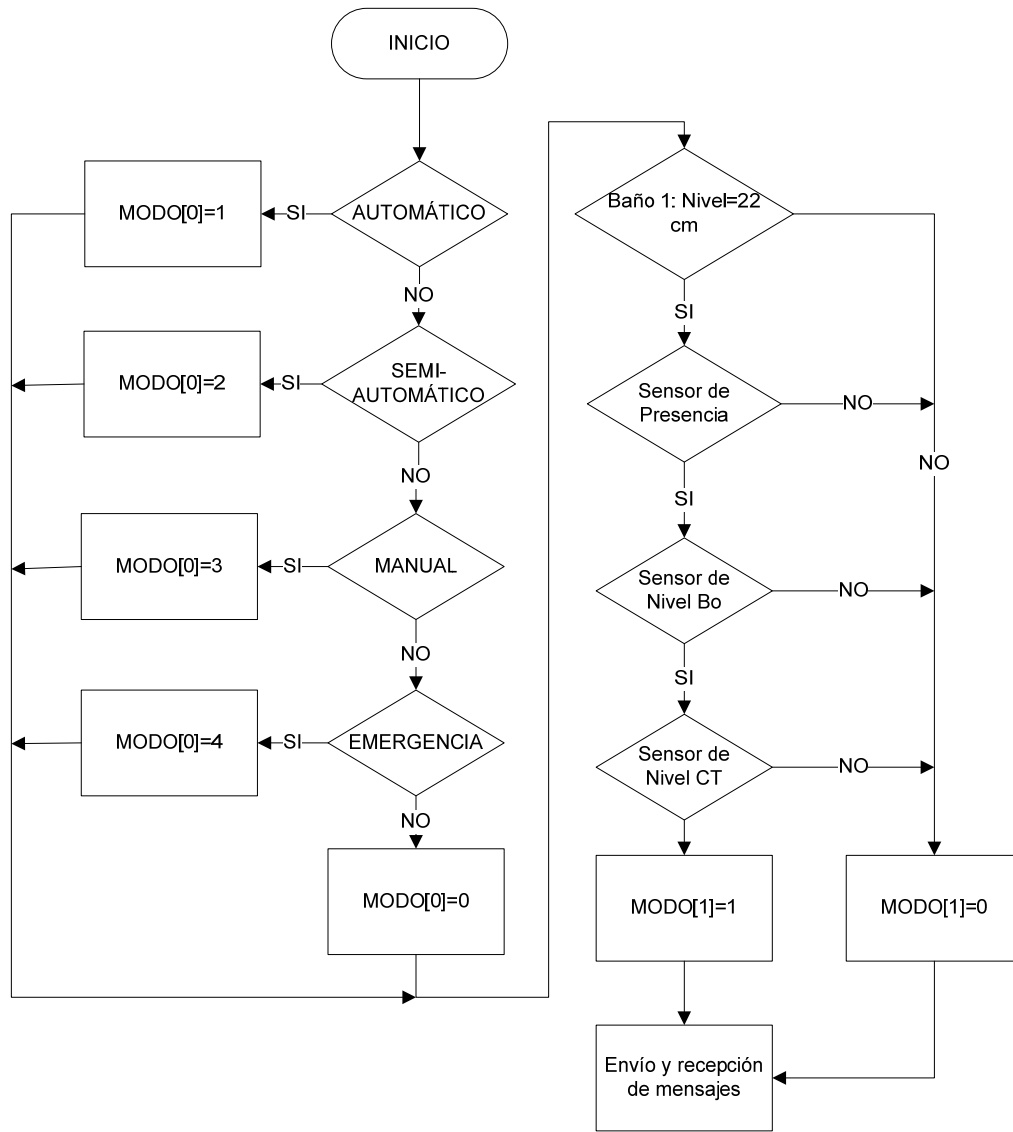


Figura. 4.2 Diagrama de flujo: Subrutina de MENSAJERÍA

4.3.1.2 Subrutina STOP

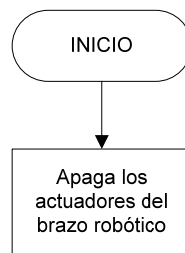


Figura. 4.3 Diagrama de flujo: Subrutina STOP

### 4.3.1.3 Subrutinas CONTROL ROBÓTICO

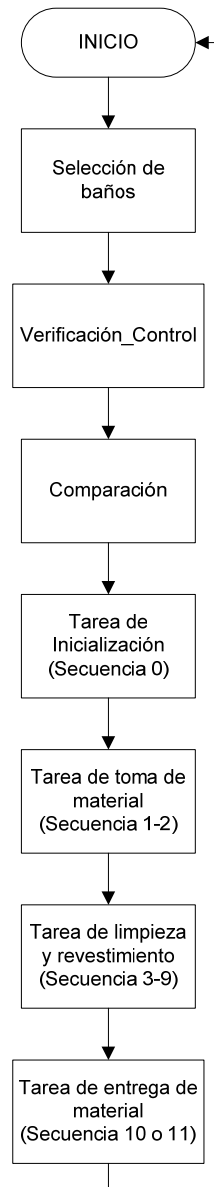


Figura. 4.4 Diagrama de flujo: Subrutina CONTROL ROBÓTICO

La rutina SELECCIÓN DE BAÑOS permite elegir los baños por los que pasará la pieza cilíndrica cuando se elige el modo de operación Semiautomático.

La rutina COMPARACIÓN permite cumplir un proceso completo de limpieza y revestimiento del cilindro en forma secuencia y ordenada, incrementando un contador cada vez que se cumple una subrutina y permitiendo continuar a la siguiente subrutina.

#### 4.3.1.3.1 Rutina de verificación de los Lazos de Control

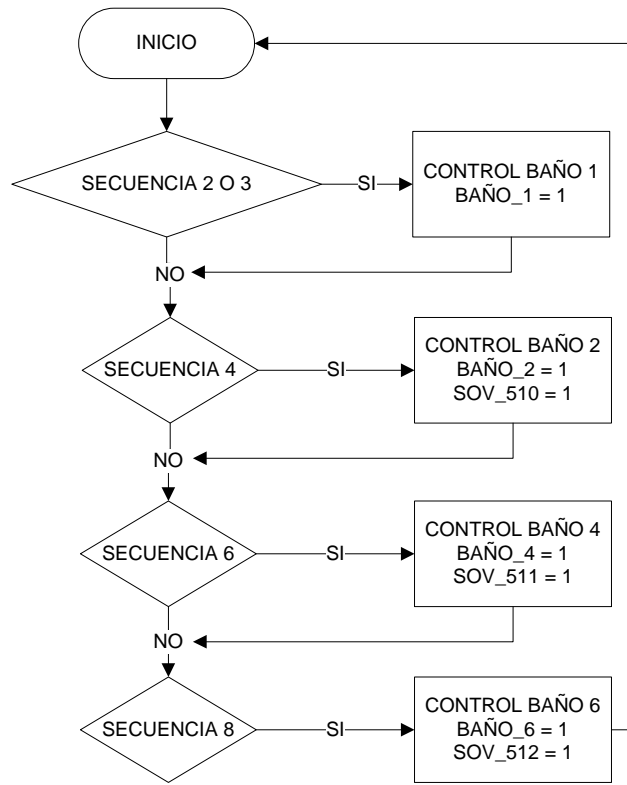


Figura. 4.5. Diagrama de flujo: Subrutina VERIFICACIÓN\_CONTROL

Los Tags BAÑO\_N son variables de tipo Controller Tags, utilizados en los programas periódicos para los lazos de control.

#### 4.3.1.3.2 Tarea de inicialización

Esta tarea verifica cuando se detiene un vagón en el puerto de la estación, y la misma ha generado una señal de que puede tomar la materia prima. Se realiza la identificación de materia prima, es decir determina si va ingresar un cilindro de tipo A o cilindro de tipo B, para lo cual realiza una comparación con los códigos 3 o 4 respectivamente.

### Secuencia # 0

Esta secuencia se encarga de colocar al brazo robótico en una posición inicial, ubicado en el centro del Baño 1. Además, resetea todos los temporizadores de los baños, contador de secuencia y de posicionamiento utilizados en el programa.

#### **4.3.1.3.3 Tarea de toma de material**

### Secuencia # 1

Esta secuencia ubica el brazo robótico sobre el pallet, abre el gripper, baja el brazo hasta el sensor transportador (conveyor) y cierra el gripper tomando la pieza.

### Secuencia # 2

Esta secuencia posiciona al brazo robótico en el centro del baño 1.

#### **4.3.1.3.4 Tarea de limpieza y revestimiento**

### Secuencia # 3

Esta secuencia corresponde al Baño 1, el brazo robótico coloca la pieza cilíndrica sobre el pallet ubicado en el centro de la bandeja; espera que se cumpla el tiempo de limpieza de suciedad y pintura, luego toma el cilindro colocándolo sobre el Baño 2.

### Secuencia # 4

Esta secuencia corresponde al Baño 2, el brazo robótico coloca la pieza cilíndrica sobre el pallet ubicado en el centro de la bandeja; espera que se cumpla el tiempo de lavado de residuos de suciedad, luego toma el cilindro colocándolo sobre el Baño 3.

### Secuencia # 5

Esta secuencia corresponde al Baño 3, el brazo robótico coloca la pieza cilíndrica sobre el pallet ubicado en el centro de la bandeja; espera que se cumpla el tiempo de inmersión en ácido fosfórico, luego toma el cilindro colocándolo sobre el Baño 4.

### Secuencia # 6

Esta secuencia corresponde al Baño 4, el brazo robótico coloca la pieza cilíndrica sobre el pallet ubicado en el centro de la bandeja; espera que se cumpla el tiempo de enjuague bajo agua corriente, luego toma el cilindro colocándolo sobre el Baño 5.

### Secuencia # 7

Esta secuencia corresponde al Baño 5, el brazo robótico coloca la pieza cilíndrica sobre el pallet ubicado en el centro de la bandeja; espera que se cumpla el tiempo de revestimiento del aluminio con Allodyne, luego toma el cilindro colocándolo sobre el Baño 6.

### Secuencia # 8

Esta secuencia corresponde al Baño 6, el brazo robótico coloca la pieza cilíndrica sobre el pallet ubicado en el centro de la bandeja; espera que se cumpla el tiempo de enjuague bajo agua corriente, luego toma el cilindro colocándolo sobre el Baño 7.

### Secuencia # 9

Esta secuencia corresponde al Baño 7, el brazo robótico coloca la pieza cilíndrica sobre el pallet ubicado en el centro de la bandeja; espera que se cumpla el

tiempo de secado del aluminio revestido, luego toma el cilindro colocándolo sobre el pallet ubicado en el conveyor.

#### **4.3.1.3.5 Tarea de entrega de material**

##### Secuencia # 10

Esta secuencia baja el brazo hasta el sensor transportador (conveyor), abre el gripper dejando la pieza sobre el pallet. Además, envía un mensaje a la estación Central indicando el tipo de cilindro y los baños que fueron realizados.

##### Secuencia # 11

Esta secuencia se realiza cuando se presiona el botón de RESET, esta acción consiste en ubicar el brazo sobre el pallet ubicado en el conveyor, de tal manera, que baja el brazo hasta el sensor transportador (conveyor), abre el gripper dejando la pieza sobre el pallet y envía un mensaje a la estación Central indicando una falla en el proceso.

#### **4.3.1.4 Subrutina SIMULACIÓN**

Esta subrutina contiene contadores que representen a los ejes coordenados, de manera que el valor del acumulador incrementa o decrementa dependiendo del movimiento del brazo cartesiano. Asignando los valores de los contadores al brazo simulado en la interfaz gráfica.

#### **4.3.1.5 Subrutina VELOCIDAD**

Esta subrutina permite seleccionar una velocidad máxima o mínima del brazo robótico en los ejes cartesianos x e y.



#### 4.4 ALGORITMO Y RUTINA DE PROGRAMACIÓN DE LOS LAZOS DE CONTROL DE NIVEL, FLUJO Y TEMPERATURA

La estación de Control de Procesos realiza en el Baño 1 un control por sobreposición para mantener las variables de flujo y nivel dentro de ciertos límites. Simultáneamente se realiza un control ON – OFF utilizando la variable temperatura. Además, en los Baños 2, 4 y 6 realiza un control PID.

A continuación se muestra las rutinas periódicas de los lazos de control de las variables flujo, nivel y temperatura utilizadas en cada etapa del proceso de limpieza y revestimiento:

##### 4.4.1 Rutina periódica del lazo de control de nivel, flujo, temperatura (Baño 1)

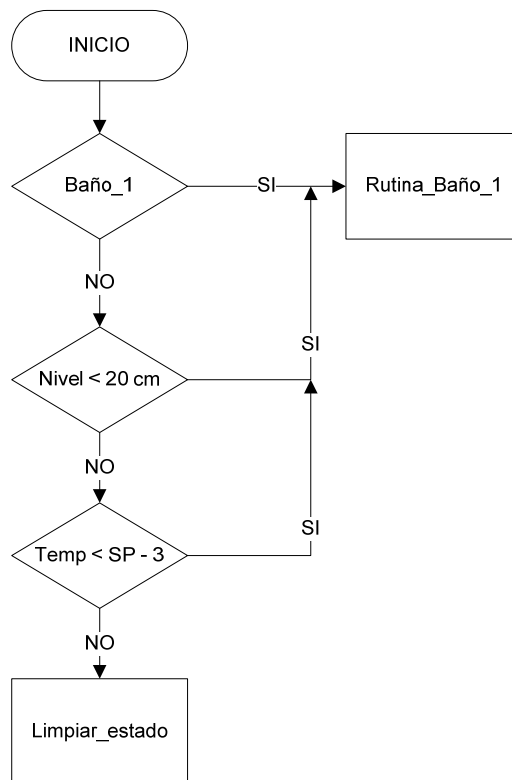


Figura. 4.6 Diagrama de flujo: Rutina periódica lazo de control de flujo, nivel y temperatura

4.4.1.1 Subrutina Rutina\_Baño\_1

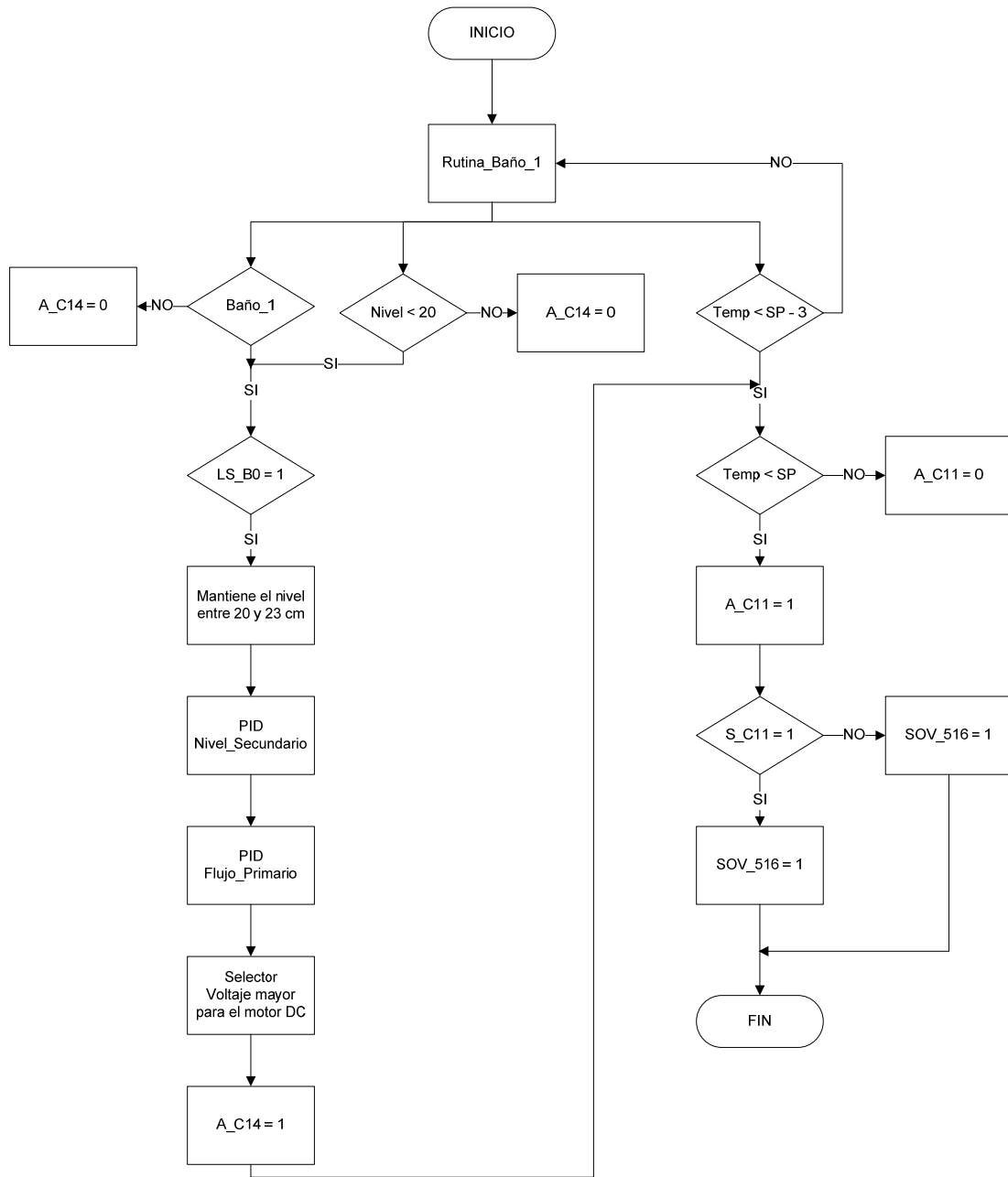


Figura. 4.7 Diagrama de flujo: Subrutina Rutina\_Baño\_1

#### 4.4.1.2 Subrutina Limpiar\_Estado

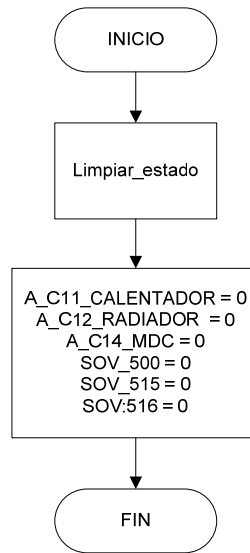


Figura. 4.8 Diagrama de flujo: Subrutina Limpiar\_Estado

#### 4.4.2 Rutina periódica del lazo de control de flujo (Baños 2, 4 y 6)

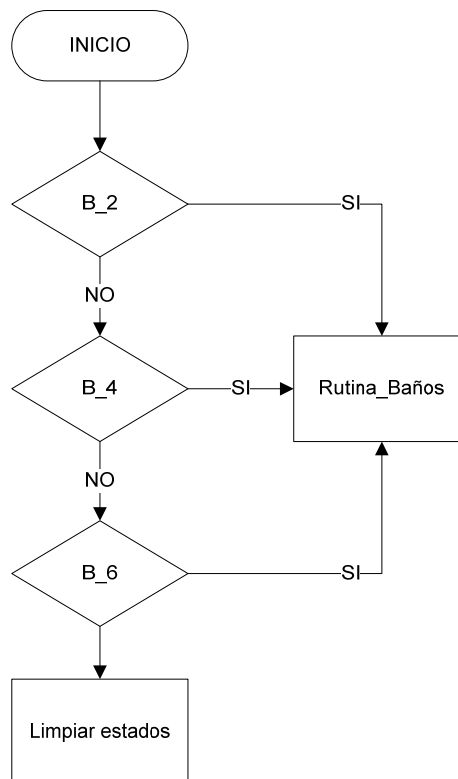


Figura. 4.9 Diagrama de flujo: Rutina periódica del lazo de control de flujo

#### 4.4.2.1 Subrutina Rutina\_Baños

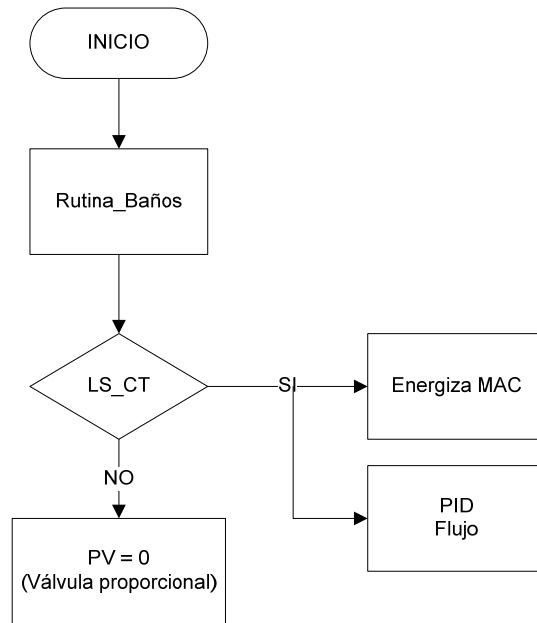


Figura. 4.10 Diagrama de flujo: Subrutina Rutina\_Baños

#### 4.4.2.2 Subrutina Limpiar\_Estado

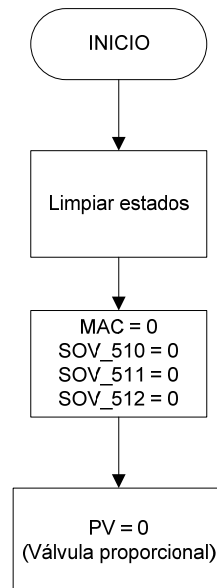


Figura. 4.11 Diagrama de flujo: Subrutina Limpiar\_Estado

## 4.5 DISEÑO DE LA INTERFAZ GRÁFICA HMI

El programa Factory Talk View Studio permite realizar una interfaz gráfica capaz de mostrar de manera sencilla el funcionamiento del proceso realizado en la estación. El Anexo 5 muestra la ruta de acceso del mencionado software.

Factory Talk View es parte del conjunto escalable y unificado de vigilancia y soluciones de control diseñado para soportar el período de máquina autónoma aplicaciones de nivel a través de las aplicaciones a nivel de supervisión HMI en una red. Ofreciendo un entorno de desarrollo común, la reutilización de aplicaciones y la arquitectura para que pueda aumentar la productividad, reducir los costos de operación y mejorar la calidad.

Usando FactoryTalk View Studio puede configurar una estación de operador o configurar una aplicación distribuida todo desde una ubicación y también configurar remotamente RSLinx y FactoryTalk View Site Edition servidores. Además, crea pantallas usando un editor de diseño gráfico completo. [15]

Para el desarrollo de la aplicación es necesario realizar la siguiente planificación:

### 4.5.1 Descripción del proceso

El trabajo que realiza la estación de Proceso PS-2800 es resultado de la interacción entre el brazo robótico y un proceso industrial, por lo que es necesario, mostrar al usuario una interfaz gráfica que permita interactuar de forma directa con el proceso que está supervisando y controlando. En el Anexo 6 se procede a indicar la creación de un nuevo proyecto utilizando el software Factory Talk View.

El brazo robótico se encarga de transportar el cilindro a los diferentes baños, que han sido previamente configurados mientras se ejecutan los lazos de control necesarios para realizar el proceso.

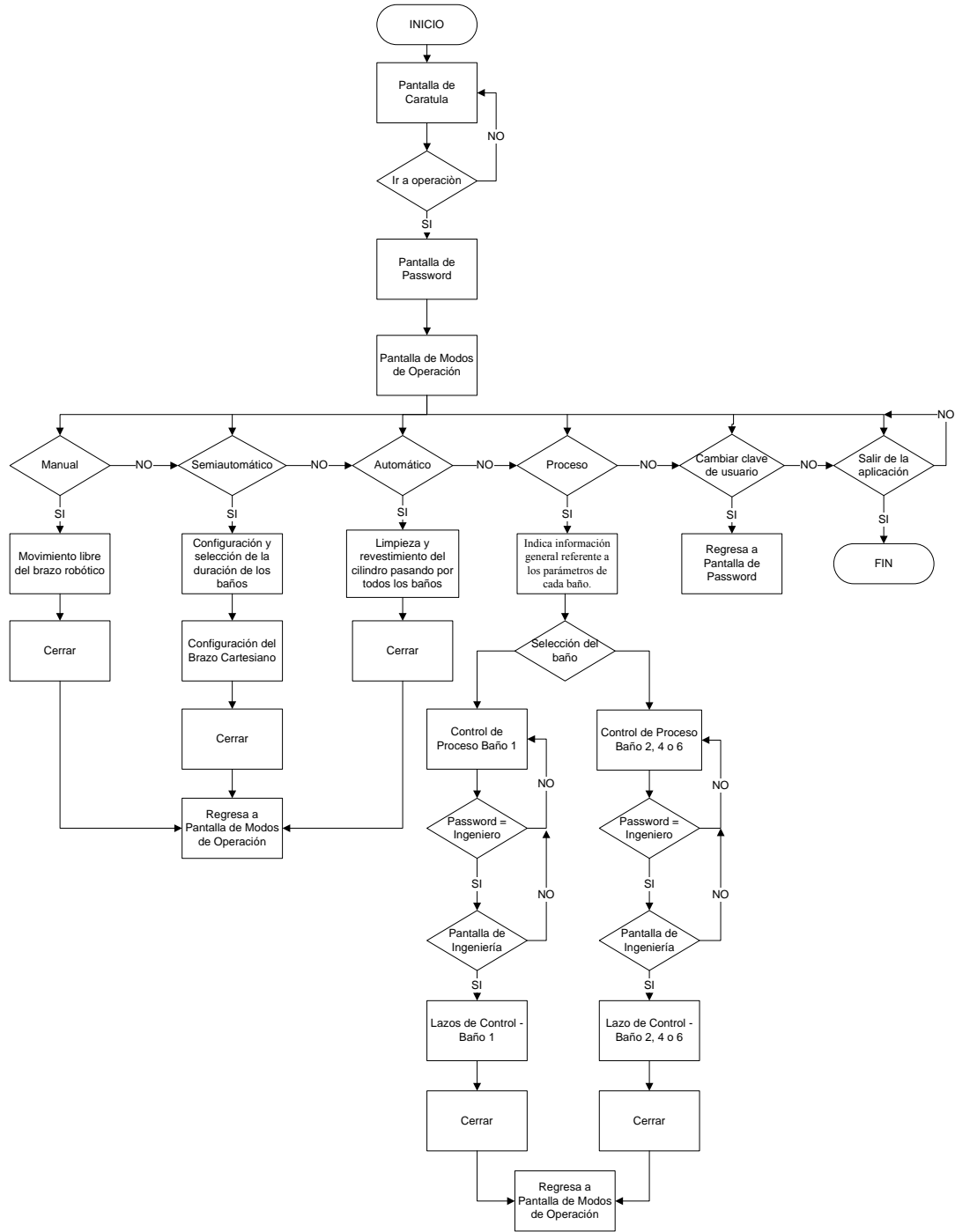


Figura. 4.12 Diagrama de flujo: Interfaz Gráfica HMI.

#### 4.5.2 Asignación de tags

Para la creación de la aplicación se necesitan tags pertenecientes al controlador y memorias locales que permiten la interacción entre la interfaz gráfica y el dispositivo de

control. A continuación se muestra los tags utilizados en el desarrollo de la interfaz gráfica de la estación de Control de Procesos.

#### 4.5.2.1 Configuración general

El valor de los Tags de memoria es cargado al controlador mediante la ejecución de un macro dentro del programa, permitiendo confirmar la configuración.

**Tabla 4.1** Lista de tags de memoria utilizados para la configuración general

Tags de Memoria			
CARPETA	TAG	TIPO	DESCRIPCIÓN
SELECCIÓN	B1	Digital	Permite la selección del baño B1 y B2
	B3	Digital	Permite la selección del baño B3 y B4
	B5	Digital	Permite la selección del baño B5 y B6
	VEL X	Digital	Permite seleccionar la velocidad max/min en el eje X
	VEL Y	Digital	Permite seleccionar la velocidad max/min en el eje Y
TEMPORIZADORES	TEMP_B1	Analógico	Modifica el tiempo de duración del B1
	TEMP_B2	Analógico	Modifica el tiempo de duración del B2
	TEMP_B3	Analógico	Modifica el tiempo de duración del B3
	TEMP_B4	Analógico	Modifica el tiempo de duración del B4
	TEMP_B5	Analógico	Modifica el tiempo de duración del B5
	TEMP_B6	Analógico	Modifica el tiempo de duración del B6
	TEMP_B7	Analógico	Modifica el tiempo de duración del B7

Sólo este grupo de Tags del controlador depende del macro utilizado en la aplicación.

**Tabla 4.2** Lista de tags del controlador utilizados para la configuración general

Tags del controlador			
CARPETA	TAG	TIPO	DESCRIPCIÓN
Program Tags	B1	BOOL	Permite la selección del baño B1 y B2
	B3	BOOL	Permite la selección del baño B3 y B4
	B5	BOOL	Permite la selección del baño B5 y B6
	CVEL_X	BOOL	Permite seleccionar la velocidad max/min en el eje X
	CVEL_Y	BOOL	Permite seleccionar la velocidad max/min en el eje Y
	TIMER_B_1	TIMER	Modifica el tiempo de duración del B1
	TIMER_B_2	TIMER	Modifica el tiempo de duración del B2

	TIMER B 3	TIMER	Modifica el tiempo de duración del B3
	TIMER B 4	TIMER	Modifica el tiempo de duración del B4
	TIMER B 5	TIMER	Modifica el tiempo de duración del B5
	TIMER B 6	TIMER	Modifica el tiempo de duración del B6
	TIMER B 7	TIMER	Modifica el tiempo de duración del B7

Los Tags de modo de operación pertenecen al controlador y están asociados a los botones de control utilizados en la interfaz gráfica.

**Tabla 4.3** Lista de tags de modo de operación utilizados para la configuración general

<b>Tags de modo de operación</b>			
CARPETA	TAG	TIPO	DESCRIPCIÓN
Program Tags	SWITCH_MASTER	BOOL	Encendido del proceso de la estación
	EMERGENCY	BOOL	Parada de emergencia de la estación
	RESET	BOOL	Activa la rutina de reset
	START	BOOL	Encendido del modo automático
	STOP	BOOL	Apagado del modo automático
	START SEMI	BOOL	Encendido del modo semiautomático
	STOP SEMI	BOOL	Apagado del modo semiautomático
	MANUAL	BOOL	Encendido o apagado del modo manual

#### 4.5.2.2 Brazo robótico

**Tabla 4.4** Lista de tags utilizados en el brazo robótico

<b>Tags de simulación</b>			
CARPETA	TAG	TIPO	DESCRIPCIÓN
Program Tags	i	DINT	Desplazamiento del brazo en el eje X
	j	DINT	Desplazamiento del brazo en el eje Y
	k		
	l	DINT	Desplazamiento del brazo en el eje Z
	GRIPPER	BOOL	Apertura/cierre del gripper



### 4.5.2.3 Lazos de control

Tabla 4.5 Lista de tags utilizados en los lazos de control

Tags de lazos de control			
CARPETA	TAG	TIPO	DESCRIPCIÓN
Controller Tags - FLUJO	FLUJO.SP	REAL	Set Point variable de Flujo - Baños
	FLUJO.KP	REAL	Ganancia Proporcional variable de Flujo - Baños
	FLUJO.KI	REAL	Ganancia Integral variable de Flujo - Baños
	FLUJO.KD	REAL	Tiempo Derivativo variable de Flujo - Baños
Controller Tags - FLUJO PRIMARIO	FLUJO PRIMARIO.SP	REAL	Set Point variable de Flujo Primario - B1
	FLUJO PRIMARIO.KP	REAL	Ganancia Proporcional variable de Flujo Primario - B1
	FLUJO PRIMARIO.KI	REAL	Ganancia Integral variable de Flujo Primario - B1
	FLUJO PRIMARIO.KD	REAL	Tiempo Derivativo variable de Flujo Primario - B1
Controller Tags - NIVEL SECUNDARIO	NIVEL SECUNDARIO.SP	REAL	Set Point variable de Nivel Secundario - B1
	NIVEL SECUNDARIO.KP	REAL	Ganancia Proporcional variable de Nivel Secundario- B1
	NIVEL SECUNDARIO.KI	REAL	Ganancia Integral variable de Nivel Secundario - B1
	NIVEL SECUNDARIO.KD	REAL	Tiempo Derivativo variable de Nivel Secundario - B1
BANO_1 Program Tags	SP	DINT	Set Point variable de Temperatura - B1

### 4.5.3 Diseño de pantallas

Por las características del proceso realizado en la estación, es necesario realizar un conjunto de pantallas que nos permitan navegar y controlar el proceso de la misma, además de contar con características de seguridad para el uso de la interfaz.

La programación realizada utilizando el software Factory Talk View Studio está basado en el estándar IEC 61508 (Anexo 7).

En cada una de las pantallas se utilizó una amplia variedad de botones, imágenes y animaciones. El manual de programación del software “Factory Talk View” (Anexo 8) presenta una explicación detallada de la función y acción que cumple cada uno de los mismos. Las pantallas que se crearon son las siguientes:

#### 4.5.3.1 Pantalla de Caratula

La pantalla Caratula contiene el título del proyecto de tesis y el nombre de los respectivos autores.



Figura. 4.13. Pantalla de Caratula

Para insertar un texto y crear un botón que realice un salto hacia otra ventana, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Elementos de edición.

#### 4.5.3.2 Pantalla de Password

Seguridad es un concepto asociado a la certeza, falta de riesgo o contingencia. Conviene aclarar que no siendo posible la certeza absoluta, el elemento de riesgo está siempre presente, independiente de las medidas que tomemos, por lo que debemos contar con **niveles de seguridad** dentro del funcionamiento de la estación de Control de Procesos. La seguridad se dedica principalmente a proteger la confidencialidad, la integridad y disponibilidad de la información.

**Confidencialidad.**- Se refiere a que la información solo puede ser conocida por individuos autorizados.

**Integridad.**- Se refiere a la seguridad de que la información no ha sido alterada, borrada, reordenada durante el proceso de funcionamiento.

**Disponibilidad.**- Se refiere a que la información pueda ser recuperada en el momento que se necesite, esto es, evitar su pérdida o bloqueo sea por mala operación accidental o situaciones fortuitas.

La forma más eficaz de introducir la seguridad es mediante el uso de sistemas de automatización con funciones de seguridad, normalmente, controladores lógicos programables (PLC), bloques de E/S de seguridad, variadores y componentes que tienen incorporada la funcionalidad de seguridad.

Otro tipo de solución es utilizan redes comunes, como EtherNet/IP, ControlNet™ y DeviceNet™, que permiten la coexistencia del control de la automatización y del control de la seguridad en una sola red. Puesto que los componentes que normalmente se controlarían con comandos de seguridad ya están en la misma red, también es posible el flujo libre de la información y de la optimización de diagnóstico.

En nuestro caso, los niveles de seguridad vendrán dados por el acceso a la pantalla Password que contiene el ingreso del tipo de usuario e ingreso de la contraseña.



Figura. 4.14 Pantalla de Password

Los dos tipos de usuarios que pueden acceder al funcionamiento de la estación de Control de Procesos son: el usuario Operador o el usuario Ingeniero, digitando su respectiva contraseña.

**Tabla 4.6 Tipo de usuario y contraseña**

Tipo de usuario	Contraseña
Operador	123
Ingeniero	ABC

Para establecer la creación y configuración de los usuarios usando en la estación de Control de Procesos PS-2800, ver el Anexo 9.

#### 4.5.3.3 Pantalla de Modo de Operación

La pantalla Modos de Operación indica en los tres primeros botones el Modo de operación Manual, Semiautomático y Automático. El cuarto botón muestra una simulación del control de proceso realizado en la estación. El botón Ingeniería permite el acceso a los lazos de control del Baño 1 y enjuague de agua corriente. El sexto botón permite la opción de cambio de usuario.



**Figura. 4.15 Pantalla de Modo de Operación**

Para crear un botón que realice un salto hacia otra ventana, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Elementos de edición.

Repitiendo el mismo procedimiento con cada uno de los botones explicados anteriormente, considerando que en el campo Display se realiza la respectiva selección de la pantalla a la que se desea saltar.

#### 4.5.3.4 Pantalla de Modo Manual

La pantalla de modo de operación Manual posee tres secciones delimitadas a simple vista: una ventana que contiene los botones de control, una ventana que contiene avisos indicadores de los límites de los sensores del manipulador, una ventana que indica el estado del proceso de limpieza y revestimiento, además de una animación. A continuación se presentarán los detalles de los objetos utilizados en la interface HMI:

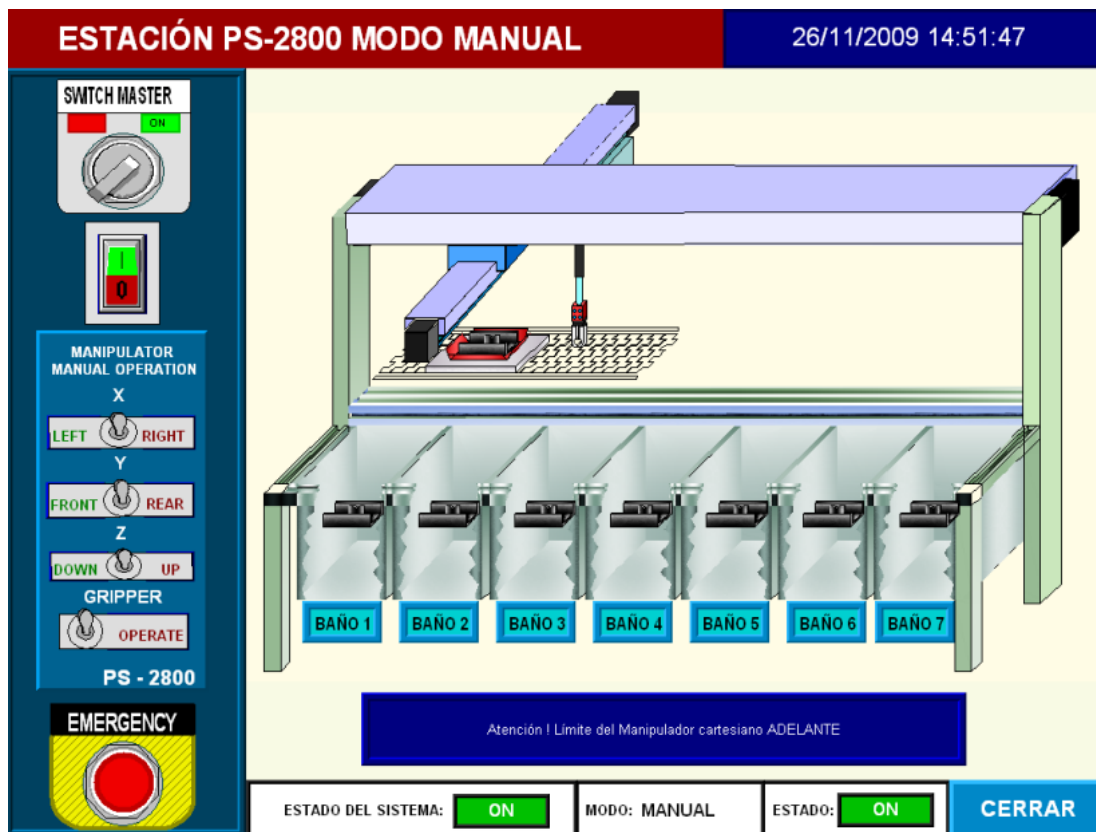


Figura. 4.16 Pantalla de Modo Manual

#### 4.5.3.4.1 Botones de Control

##### 4.5.3.4.1.1 Encendido del sistema

El switch master permite encender todo el sistema de limpieza y revestimiento para su funcionamiento, si este no se encuentra activo, no se puede realizar ninguna acción de control con ninguno de los elementos de la interface.



Figura. 4.17 Selector Switch Master Modo manual

Para crear un botón switch master que realice el encendido del sistema, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Botones de control. Considerando que en la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “SWITCH\_MASTER” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

##### 4.5.3.4.1.2 Encendido del modo de operación manual

Para el modo manual el usuario posee dos botones para el control del sistema.



Figura. 4.18 Botón de encendido del Modo Manual

El switch tiene la siguiente funcionalidad:

- 1: activa el modo de operación manual.
- 0: desactiva el modo de operación manual.

Para crear un botón switch que realice el encendido del modo manual, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Botones de control. Considerando que en la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “MANUAL” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

#### 4.5.3.4.1.3 Manipulador de operación manual

El manipulador externo permite el movimiento libre del brazo robótico. Al presionar el selector “X” el robot cartesiano se desplazará en el eje X, al presionar el selector “Y” el robot cartesiano se desplazará en el eje Y, al presionar el selector “Z” el robot cartesiano en el eje Z y al presionar el selector “GRIPPER” permite la apertura del gripper.



Figura. 4.19 Manipulador de Operación Manual

Para crear un botón momentáneo que realice el movimiento del brazo robótico, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Botones de control.

Considerando que en la pestaña Connections se selecciona el Tag determinado para cada movimiento, el Tag denominado “XD” permite el movimiento del brazo robótico hacia la derecha, el Tag denominado “XI” permite el movimiento del brazo robótico hacia la izquierda, el Tag denominado “YD” permite el movimiento del brazo robótico hacia adelante, el Tag denominado “YA” permite el movimiento del brazo robótico hacia atrás, el Tag denominado “ZU” permite el movimiento del brazo robótico hacia la arriba, el Tag denominado “ZD” permite el movimiento del brazo robótico hacia abajo, el Tag denominado “GP” permite la apertura del gripper, todos estos tags están asociados al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

#### 4.5.3.4.1.4 Botón de emergencia

El botón de emergencia permite desactivar todo el sistema por causas anormales en el funcionamiento del proceso de limpieza y revestimiento.



Figura. 4.20 Botón de emergencia

Para crear un botón de emergencia, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Botones de control. Considerando que en la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “EMERGENCY” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

#### 4.5.3.4.2 Pantalla indicadora del límite de movimiento del manipulador cartesiano

El indicador multiestado permite mostrar el límite de los sensores del manipulador cartesiano.



Figura. 4.21 Ventana indicadora límite de movimiento manipulador cartesiano

Para crear un indicador multiestados para avisos que muestre varios mensajes, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Pantallas Indicadoras. Considerando que en el campo General se coloca el valor con el que se activará el aviso mientras que en la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “ALARMA\_POSICION” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.



#### 4.5.3.4.3 Barra indicadora del proceso

La barra mostrada en la figura inferior indica el estado del proceso de limpieza y revestimiento, a continuación detallaremos su funcionalidad:

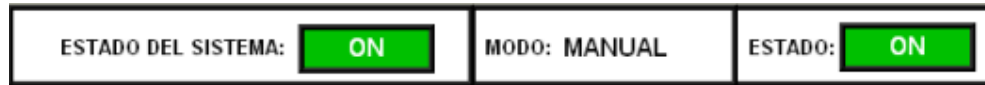


Figura. 4.22 Barra indicadora del proceso modo manual

##### 4.5.3.4.3.1 Estado del sistema

Indica el estado de activación (ENCENDIDO) o desactivación (APAGADO). Además, muestra el estado anormal (EMERGENCIA) del proceso de control de limpieza y revestimiento.

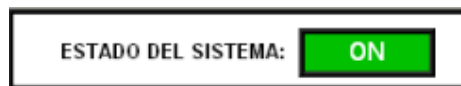


Figura. 4.23 Indicador estado del sistema modo manual

Para crear un indicador multiestados de activación y desactivación que muestre el estado actual del sistema, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Pantallas Indicadoras. Considerando que el estado 0 indica un estado de desactivación y el estado 1 indica un estado de activación del proceso de limpieza y revestimiento. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “SWITCH-MASTER” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

##### 4.5.3.4.3.2 Modo

Indica el modo de operación elegido por el operador.



Figura. 4.24 Indicador modo de operación: manual

Para insertar un texto, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Elementos de edición.

#### 4.5.3.4.3.3 Estado

Indica el estado del modo de operación seleccionado por el usuario

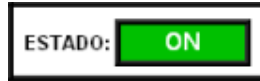


Figura. 4.25 Indicador estado modo de operación: manual

Para crear un indicador multiestados de activación y desactivación que muestre el estado del modo de operación, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Pantallas Indicadoras.

Considerando que el estado 0 indica un estado de desactivación y el estado 1 indica un estado de activación del modo de operación.

En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado "MANUAL" realizando una operación de multiplicación con el Tag denominado "SWITCH\_MASTER" asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

#### 4.5.3.5 Pantalla de Modo Semiautomático

La pantalla de modo de operación Semiautomático posee tres secciones delimitadas a simple vista: una ventana que contiene los botones de control, una ventana que contiene información acerca del tipo de cilindro y los baños a realizarse, una ventana que indica el estado del proceso de limpieza y revestimiento, además de una animación, A continuación se presentarán los detalles de los objetos utilizados en la interface HMI:

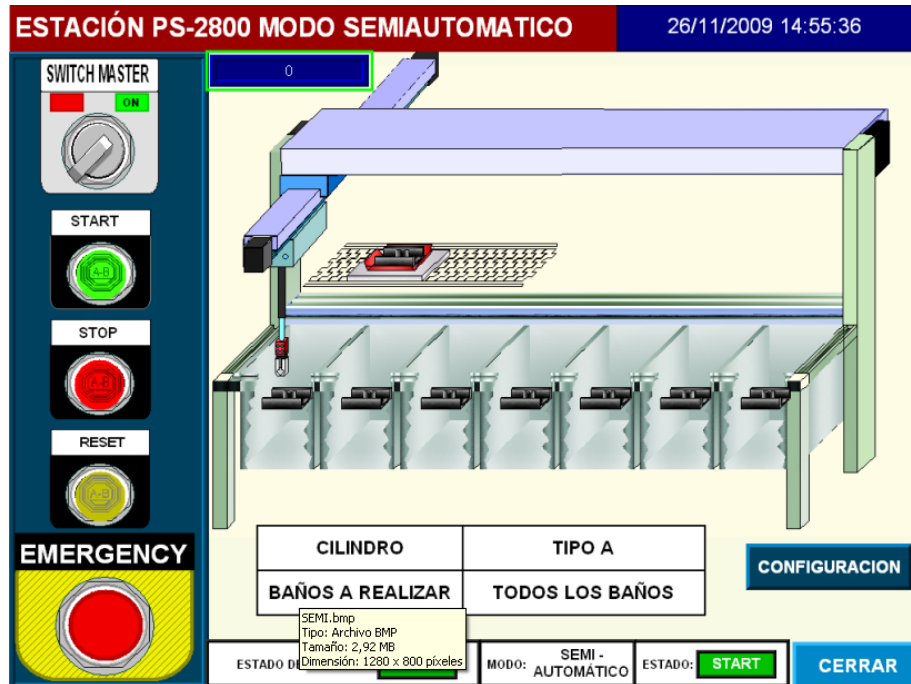


Figura. 4.26 Pantalla de Modo Semiautomático

#### 4.5.3.5.1 Botones de Control

##### 4.5.3.5.1.1 Encendido del sistema

El switch master permite encender todo el sistema de limpieza y revestimiento para su funcionamiento, si este no se encuentra activo, no se puede realizar ninguna acción de control con ninguno de los elementos de la interface.



Figura. 4.27 Selector Switch Master Modo semiautomático

Para crear un botón switch master que realice el encendido del sistema, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Botones de control. Considerando que en la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “SWITCH\_MASTER” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

#### 4.5.3.5.1.2 Encendido del modo de operación semiautomático

Para el modo semiautomático el operador posee un switch para el control del sistema.



Figura. 4.28 Switch de encendido del Modo semiautomático

El switch tiene la siguiente funcionalidad:

START: activa el modo de operación semiautomático.

STOP: desactiva el modo de operación semiautomático.

Para crear un botón momentario que realiza el encendido y apagado del modo de operación semiautomático, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Botones de control.

Considerando que para el botón “START” en la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “START\_SEMI” y para el botón “STOP” en la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “STOP\_SEMI”, tags asociados al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

#### 4.5.3.5.1.3 Botón de reset

El botón de reset permite resetear todo el sistema, devuelve la pieza al pallet y envía un mensaje indicando que la pieza se encuentra defectuosa debido a una falla en el proceso e indica la secuencia de los baños realizados.



Figura. 4.29 Botón de reset

Para crear un botón switch reset que realiza el reseteo del sistema, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Botones de control. Considerando en la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “RESET” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

#### 4.5.3.5.1.4 Botón de emergencia

El botón de emergencia permite desactivar todo el sistema por causas anormales en el funcionamiento del proceso de limpieza y revestimiento.



Figura. 4.30 Botón de emergencia

Para crear un botón de emergencia, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Botones de control. Considerando que en la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “EMERGENCY” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

#### 4.5.3.5.2 Tabla indicadora del tipo de cilindro y baños a realizarse

Permite visualizar el tipo de cilindro y los baños seleccionados para realizar el proceso de limpieza y revestimiento de la pieza metálica.

CILINDRO	TIPO A
BAÑOS A REALIZAR	TODOS LOS BAÑOS

Figura. 4.31 Tabla indicadora tipo de cilindro y baño a realizarse

Para crear un indicador multiestados que muestre el tipo de cilindro, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Tablas Informativas. Considerando que el valor 0 indica que no ha sido enviado ningún cilindro,

el valor 3 indica que han enviado un cilindro tipo A y el valor 4 indica que han enviado un cilindro tipo B a la estación PS-2800. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “MEMORIA\_CIL” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

Para crear un indicador multiestados que muestre la selección de baños a realizarse, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Tablas Informativas. Considerando que en la pestaña States se asignarán los valores correspondientes para la respectiva selección de los baños deseados, de la siguiente manera:

- El valor 106 indica que se realizarán todos los baños.
- El valor 105 indica que se realizarán los baños: 3 - 4 - 5 - 6 - 7.
- El valor 102 indica que se realizarán los baños: 1 - 2 - 5 - 6 - 7.
- El valor 90 indica que se realizarán los baños: 1 - 2 - 3 - 4 - 7.
- El valor 101 indica que se realizarán los baños: 5 - 6 - 7.
- El valor 89 indica que se realizarán los baños: 3 - 4 - 7.
- El valor 86 indica que se realizarán los baños: 1 - 2 - 7.
- El valor 85 indica que se realizarán el baño 7.

En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “SELECCION” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

#### 4.5.3.5.3 Barra indicadora del proceso

La barra mostrada en la figura inferior indica el estado del proceso de limpieza y revestimiento, a continuación detallaremos su funcionalidad:

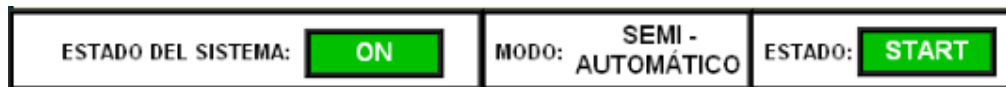


Figura. 4.32 Barra indicadora del proceso modo semiautomático

#### 4.5.3.5.3.1 Estado del sistema

Indica el estado de activación (ENCENDIDO) o desactivación (APAGADO). Además, muestra el estado anormal (EMERGENCIA) del proceso de control de limpieza y revestimiento.

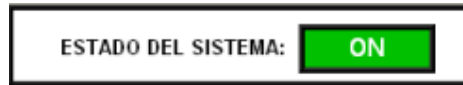


Figura. 4.33 Indicador estado del sistema modo semiautomático

Para crear un indicador multiestados de activación y desactivación que muestre el estado actual del sistema, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Pantallas Indicadoras. Considerando que el estado 0 indica un estado de desactivación y el estado 1 indica un estado de activación del proceso de limpieza y revestimiento. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado "SWITCH-MASTER" asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000

#### 4.5.3.5.3.2 Modo

Indica el modo de operación elegido por el operador.



Figura. 4.34 Indicador modo de operación: semiautomático

Para insertar un texto, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Elementos de edición.

#### 4.5.3.5.3.3 Estado

Indica el estado del modo de operación seleccionado por el usuario

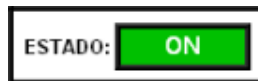


Figura. 4.35 Indicador estado modo de operación: semiautomático

Para crear un indicador multiestados de activación y desactivación que muestre el estado del modo de operación, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Pantallas Indicadoras.

Considerando que el estado 0 indica un estado de desactivación y el estado 1 indica un estado de activación del modo de operación. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “SEMI\_AUTOMATICO” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

#### 4.5.3.5.4 Pantalla de Configuración de la estación

La pantalla de configuración del brazo cartesiano contiene la habilitación de baños, tiempo de duración por baño y velocidad del brazo cartesiano.

	HABILITACIÓN DE BAÑOS	TIEMPO POR BAÑO <small>INGRESE EL TIEMPO EN MINUTOS</small>	VELOCIDAD DEL ROBOT
BAÑO 1	ACTIVO	1,5 (3 - 5 min)	EJE X: MÍNIMA
BAÑO 2	ACTIVO	1,0 (1 - 2 min)	EJE Y: MÍNIMA
BAÑO 3	ACTIVO	4,0 (4 - 5 min)	DEFAULT
BAÑO 4	ACTIVO	0,5 (0,5 - 1 min)	CONFIRMACIÓN DE LA CONFIGURACIÓN ENTER
BAÑO 5	ACTIVO	0,3 (0,25-1,5 min)	
BAÑO 6	ACTIVO	0,5 (0,5 - 1 min)	
BAÑO 7	ACTIVO	2,0 (2 - 3 min)	
	DEFAULT	DEFAULT	

Todo cambio en la configuración debe ser confirmado

Figura. 4.36 Configuración del brazo cartesiano

##### 4.5.3.5.4.1 Habilidad de los baños

La habilitación de los baños permite seleccionar los baños por los que el usuario desea que pase la pieza cilíndrica.

BAÑO 1 **ACTIVO**

Figura. 4.37 Habilidad de los baños



Para crear un botón que habilite los baños, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Configuración de parámetros. Considerando que el valor 0 indica que el baño se encuentra Activo y el valor 1 indica que el baño se encuentra Desactivo. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “SELECCIÓN\B1” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

#### 4.5.3.5.4.2 Tiempo por baños

El tiempo por baño permite al usuario tener la posibilidad de ingresar el tiempo de duración de cada baño.



Figura. 4.38 Indicador duración del baño

Para crear un campo que permita ingresar el tiempo de duración de los baños, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Configuración de parámetros. En la pestaña Connections se selecciona el Macro denominado “TEMPORIZADOR\TEMP\_B1”.

#### 4.5.3.5.4.3 Velocidad del brazo cartesiano

La velocidad del brazo cartesiano permite seleccionar al usuario la velocidad del movimiento del manipulador cartesiano

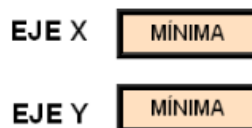


Figura. 4.39 Indicador de velocidad del brazo cartesiano

Para crear un botón que permita seleccionar la velocidad del movimiento del manipulador cartesiano, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Botones de control. Considerando que en la pestaña

Connections se selecciona el Tag denominado “SWITCH\_MASTER” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000 y el Macro denominado “SELECCIONVEL\_X”.

#### 4.5.3.6 Pantalla de Modo Automático

La pantalla de modo de operación Automático posee tres secciones delimitadas a simple vista: una ventana que contiene los botones de control, una ventana que contiene información acerca del tipo de cilindro y los baños a realizarse, una ventana que indica el estado del proceso de limpieza y revestimiento, además de una animación. A continuación se presentarán los detalles de los objetos utilizados en la interface HMI:

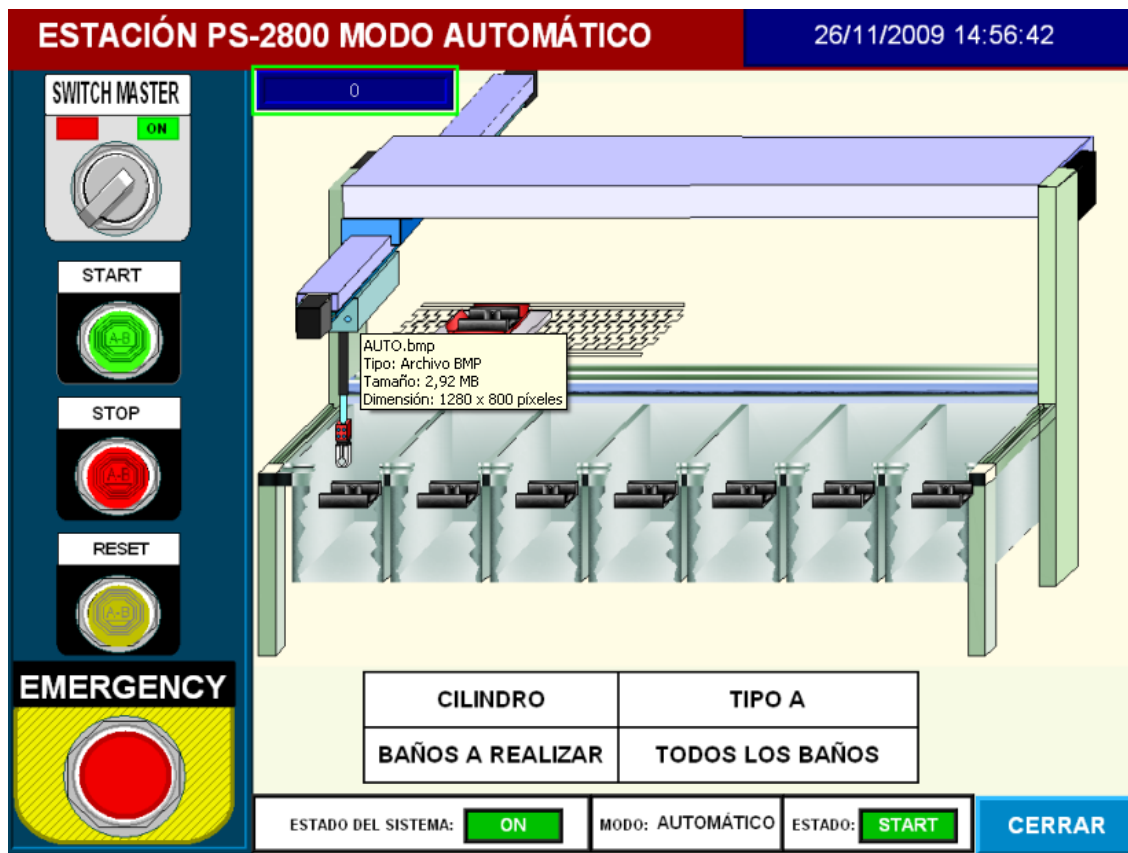


Figura. 4.40 Pantalla de Modo Automático

### 4.5.3.6.1 Botones de Control

#### 4.5.3.6.1.1 Encendido del sistema

El switch master permite encender todo el sistema de limpieza y revestimiento para su funcionamiento, si este no se encuentra activo, no se puede realizar ninguna acción de control con ninguno de los elementos de la interface.



**Figura. 4.41 Selector Switch Master Modo automático**

Para crear un botón switch master que realice el encendido del sistema, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Botones de control. Considerando que en la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “SWITCH\_MASTER” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

#### 4.5.3.6.1.2 Encendido del modo de operación automático

Para el modo automático el operador posee un switch para el control del sistema.



**Figura. 4.42 Switch de encendido del Modo automático**

El switch tiene la siguiente funcionalidad:

START: activa el modo de operación automático.

STOP: desactiva el modo de operación automático.

Para crear un botón momentario que realiza el encendido y apagado del modo de operación automático, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Botones de control.

Considerando que para el botón “START” en la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “START” y para el botón “STOP” en la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “STOP”, tags asociados al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

#### 4.5.3.6.1.3 Botón de reset

El botón de reset permite resetear todo el sistema, devuelve la pieza al pallet y envía un mensaje indicando que la pieza se encuentra defectuosa debido a una falla en el proceso e indica la secuencia de los baños realizados.



Figura. 4.43 Botón de reset

Para crear un botón switch reset que realiza el reseteo del sistema, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Botones de control. Considerando en la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “RESET” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

#### 4.5.3.6.1.4 Botón de emergencia

El botón de emergencia permite desactivar todo el sistema por causas anormales en el funcionamiento del proceso de limpieza y revestimiento.



Figura. 4.44 Botón de emergencia

Para crear un botón de emergencia, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Botones de control. Considerando que en la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “EMERGENCY” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

#### 4.5.3.6.2 Tabla indicadora del tipo de cilindro y baños a realizarse

Permite visualizar el tipo de cilindro y los baños seleccionados para realizar el proceso de limpieza y revestimiento de la pieza metálica.

<b>CILINDRO</b>	<b>TIPO A</b>
<b>BAÑOS A REALIZAR</b>	<b>TODOS LOS BAÑOS</b>

Figura. 4.45 Tabla indicadora tipo de cilindro y baño a realizarse

Para crear un indicador multiestados que muestre el tipo de cilindro, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Tablas Informativas. Considerando que el valor 0 indica que no ha sido enviado ningún cilindro, el valor 3 indica que han enviado un cilindro tipo A y el valor 4 indica que han enviado un cilindro tipo B a la estación PS-2800. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “MEMORIA\_CIL” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

Para crear un indicador multiestados que muestre los baños a realizarse, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Tablas Informativas. Considerando que en la pestaña States se asignará el valor 106, indica que se realizarán todos los baños. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “SELECCION” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

#### 4.5.3.6.3 Barra indicadora del proceso

La barra mostrada en la figura inferior indica el estado del proceso de limpieza y revestimiento, a continuación detallaremos su funcionalidad:

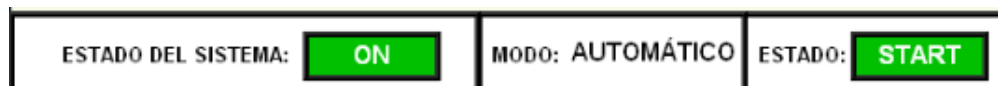


Figura. 4.46 Barra indicadora del proceso modo automático

#### 4.5.3.6.3.1 Estado del sistema

Indica el estado de activación (ENCENDIDO) o desactivación (APAGADO). Además, muestra el estado anormal (EMERGENCIA) del proceso de control de limpieza y revestimiento.

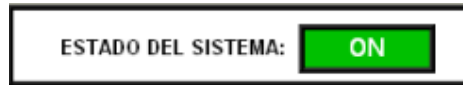


Figura. 4.47 Indicador estado del sistema modo automático

Para crear un indicador multiestados de activación y desactivación que muestre el estado actual del sistema, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Pantallas Indicadoras. Considerando que el estado 0 indica un estado de desactivación y el estado 1 indica un estado de activación del proceso de limpieza y revestimiento. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado "SWITCH-MASTER" asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

#### 4.5.3.6.3.2 Modo

Indica el modo de operación elegido por el operador.



Figura. 4.48 Indicador modo de operación: automático

Para insertar un texto, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Elementos de edición.

#### 4.5.3.6.3.3 Estado

Indica el estado del modo de operación seleccionado por el usuario



Figura. 4.49 Indicador estado modo de operación: automático

Para crear un indicador multiestados de activación y desactivación que muestre el estado del modo de operación, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de

programación (Anexo 8), en la sección Pantallas Indicadoras. Considerando que el estado 0 indica un estado de desactivación y el estado 1 indica un estado de activación del modo de operación. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “AUTOMÁTICO” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

#### 4.5.3.7 Pantalla de Proceso

La pantalla de Procesos indica información general referente a los parámetros de cada baño. Además muestra una simulación en tiempo real del proceso de limpieza y revestimiento que realiza la estación de Control de Procesos PS-2800.

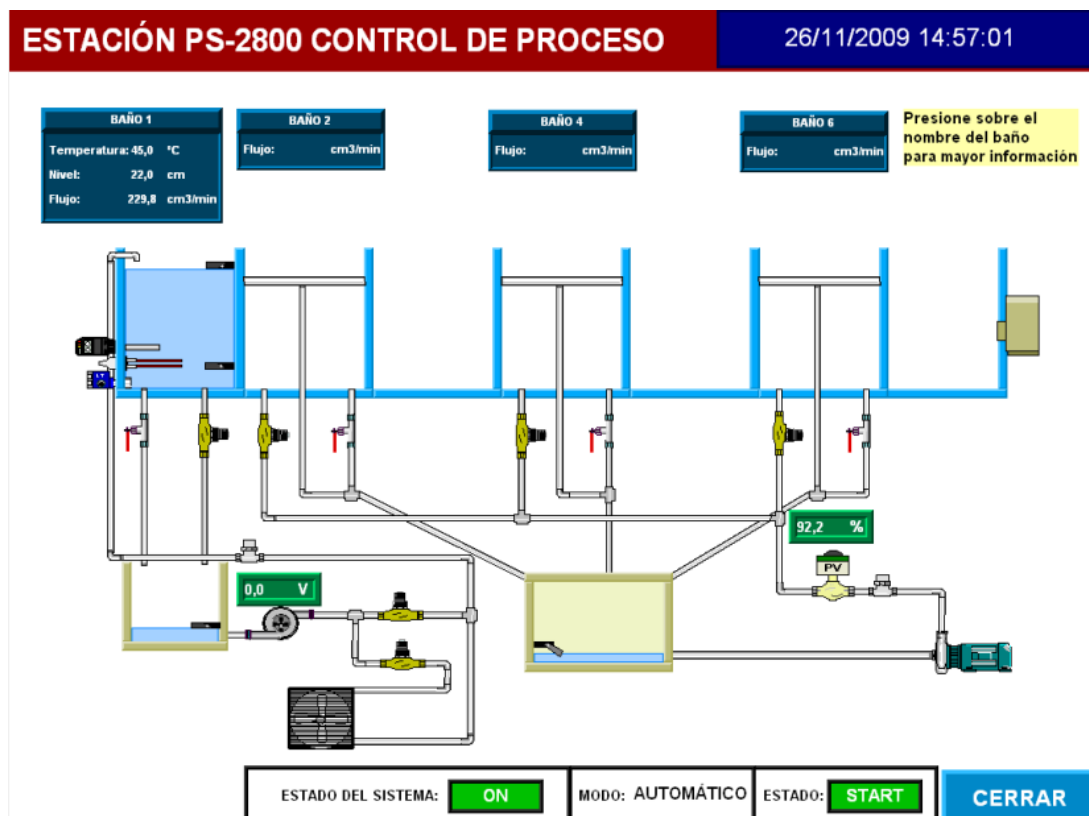


Figura. 4.50 Pantalla de Control de Procesos

Para obtener mayor información, de clic sobre el nombre del baño y se desplegará una ventana que contiene el control del proceso de cada uno de los baños.

#### 4.5.3.7.1 Control de Proceso – Baño 1

La pantalla de Control de Procesos – Baño 1 muestra el Control por Superposición que controla varios parámetros: flujo, nivel y temperatura. Además, permite el ingreso del valor deseado del Set Point a través del teclado de la computadora, visualiza el valor de la variable de proceso de forma numérica, como también con barras indicadoras que muestran la medida real del sensor y el set point al cual se desea que se encuentre el proceso.

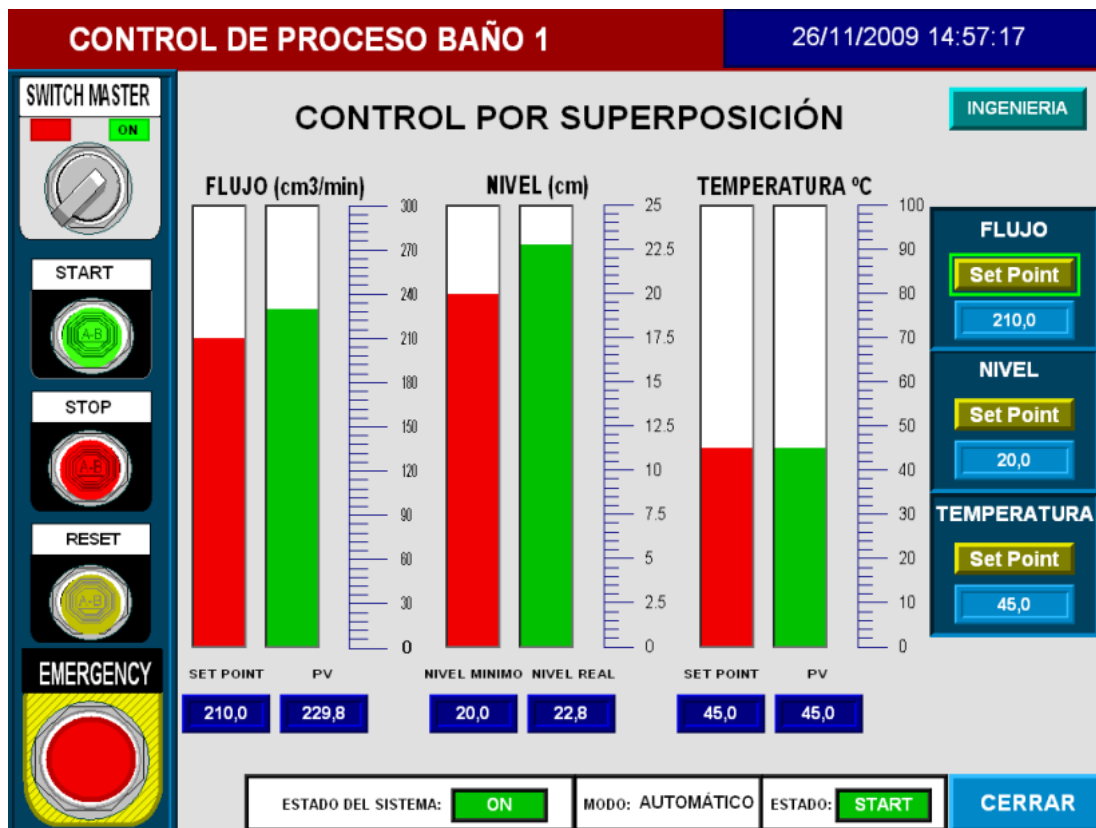


Figura. 4.51 Pantalla de Control de Procesos - Baño 1

Para crear un campo que permita ingresar el valor del Set Point (SP) de la variable flujo usando el teclado de la computadora, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “FLUJO\_PRIMARIO.SP”.



Para crear un campo que permita visualizar el valor del Set Point (SP) de la variable flujo, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “FLUJO\_PRIMARIO.SP” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

Para crear un campo que permita visualizar el valor de la Variable de Proceso (PV) de la variable flujo, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “FLUJO\_PRIMARIO.PV” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

Para crear un campo que permita ingresar el valor del Set Point (SP) de la variable nivel usando el teclado de la computadora, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “NIVEL\_SECUNDARIO.SP”.

Para crear un campo que permita visualizar el valor del Set Point (SP) de la variable nivel, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “NIVEL\_SECUNDARIO.SP” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

Para crear un campo que permita visualizar el valor de la Variable de Proceso (PV) de la variable nivel, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “NIVEL\_SECUNDARIO.PV” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

Para crear un campo que permita ingresar el valor del Set Point (SP) de la variable temperatura usando el teclado de la computadora, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “BAÑO\_1.SP”.

Para crear un campo que permita visualizar el valor del Set Point (SP) de la variable temperatura, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “BAÑO\_1.SP” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

Para crear un campo que permita visualizar el valor de la Variable de Proceso (PV) de la variable temperatura, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “TEMPEARATURA\_ACTUAL” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

#### 4.5.3.7.2 Control de Proceso – Enjuague de agua corriente

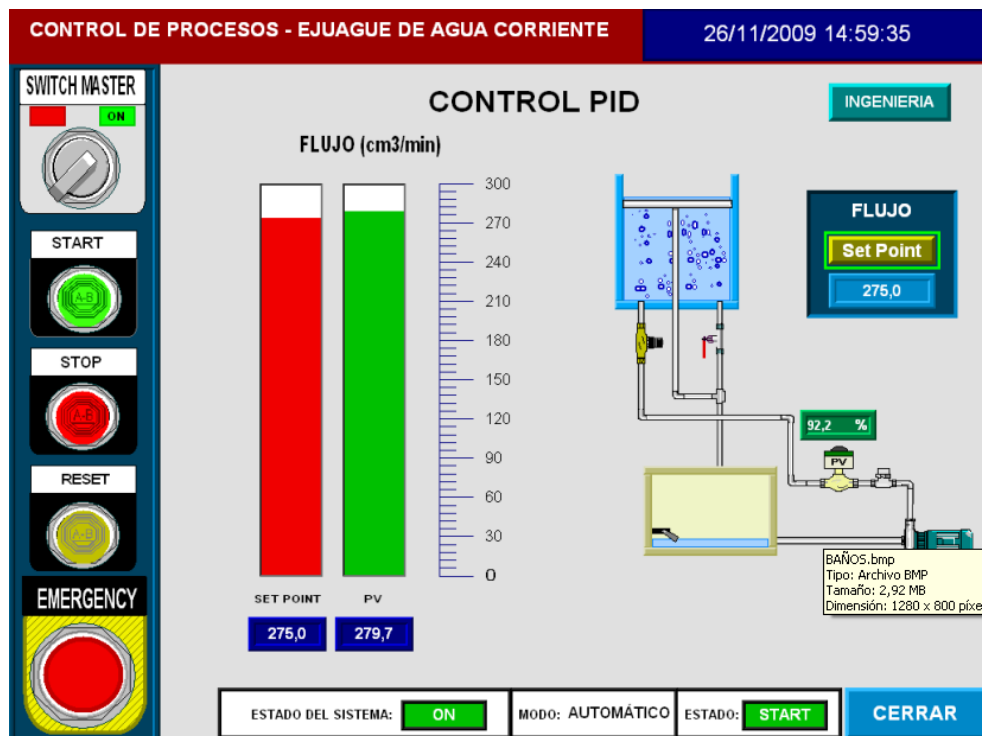


Figura. 4.52 Pantalla Control de Procesos – Enjuague de agua corriente

Para crear un campo que permita ingresar el valor del Set Point (SP) de la variable flujo usando el teclado de la computadora, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “FLUJO.SP”.

Para crear un campo que permita visualizar el valor del Set Point (SP) de la variable flujo, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “FLUJO.SP” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

Para crear un campo que permita visualizar el valor de la Variable de Proceso (PV) de la variable flujo, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “FLUJO.PV” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

#### **4.5.3.8 Pantalla de Ingeniería**

##### **4.5.3.8.1 Lazos de Control – Baño 1**

La pantalla de Lazos de Control – Baño 1 contiene dos tablas de ingreso para los valores de los parámetros del control de flujo y control de nivel. Además, permite visualizar el comportamiento de las curvas de las variables Set Point, variable de proceso (PV) y variable manipulada (MV).



Figura. 4.53 Pantalla de Lazos de Control (Variable Flujo y Nivel) – Baño 1

Para crear un Trend que permita visualizar el comportamiento del Set Point (SP) y Variable de Proceso (PV) de la variable nivel, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Visualización de Variables. En la pestaña Connections se selecciona los Tags denominado “NIVEL\_SECUNDARIO.SP” y “NIVEL\_SECUNDARIO.PV” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

Para crear un campo que permita visualizar el valor del Set Point (SP) de la variable nivel, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “NIVEL\_SECUNDARIO.SP”.

Para crear un campo que permita visualizar el valor de la Variable de Proceso (PV) de la variable nivel, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “NIVEL\_SECUNDARIO.PV”.

#### 4.5.3.8.1.1 PARÁMETROS DEL CONTROL DE NIVEL

Para crear un campo que permita ingresar el valor del Set Point (SP) de la variable nivel usando el teclado de la computadora, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “NIVEL\_SECUNDARIO.SP”.

Para crear un campo que permita visualizar el valor del Set Point (SP) de la variable nivel, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “NIVEL\_SECUNDARIO.SP” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

Para crear un campo que permita ingresar el valor de la constante proporcional (KP) de la variable nivel usando el teclado de la computadora, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “NIVEL\_SECUNDARIO.KP”.

Para crear un campo que permita visualizar el valor de la constante proporcional (KP) de la variable nivel, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “NIVEL\_SECUNDARIO.KP”.

Para crear un Trend que permita visualizar el comportamiento del Set Point (SP) y Variable de Proceso (PV) de la variable flujo, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Visualización de Variables. En la pestaña Connections se selecciona los Tags denominado “FLUJO\_PRIMARIO.SP” y “FLUJO\_PRIMARIO.PV” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

Para crear un campo que permita visualizar el valor del Set Point (SP) de la variable flujo, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “FLUJO\_PRIMARIO.SP” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

Para crear un campo que permita visualizar el valor de la Variable de Proceso (PV) de la variable flujo, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “FLUJO\_PRIMARIO.PV” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

#### **4.5.3.8.1.2 PARÁMETROS DEL CONTROL DE FLUJO**

Para crear un campo que permita ingresar el valor del Set Point (SP) de la variable flujo usando el teclado de la computadora, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “FLUJO\_PRIMARIO.SP”.

Para crear un campo que permita visualizar el valor del Set Point (SP) de la variable flujo, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “FLUJO\_PRIMARIO.SP” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

Para crear un campo que permita ingresar el valor de la constante proporcional (KP) de la variable flujo usando el teclado de la computadora, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “FLUJO\_PRIMARIO.KP”.

Para crear un campo que permita visualizar el valor de la constante proporcional (KP) de la variable flujo, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de

programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “FLUJO\_PRIMARIO.KP”.

Para crear un campo que permita ingresar el valor de la constante proporcional (KI) de la variable flujo usando el teclado de la computadora, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “FLUJO\_PRIMARIO.KI”.

Para crear un campo que permita visualizar el valor de la constante proporcional (KI) de la variable flujo, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “FLUJO\_PRIMARIO.KI”.

Para crear un Trend que permita visualizar el comportamiento de la Variable Manipulada (MV) de las variables flujo y nivel, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Visualización de Variables. En la pestaña Connections se selecciona los Tags denominado “FLUJO\_PRIMARIO.OUT” y “NIVEL\_SECUNDARIO.OUT” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

Para crear un campo que permita visualizar el valor de la Variable Manipulada (MV) de la variable flujo, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “FLUJO\_PRIMARIO.OUT”.

Para crear un campo que permita visualizar el valor de la Variable Manipulada (MV) de la variable nivel, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “NIVEL\_SECUNDARIO.OUT”.

La pantalla de Lazos de Control – Baño 1 contiene una tabla de ingreso para los valores de los parámetros del control de temperatura. Además, permite visualizar el comportamiento de las curvas de las variables Set Point, variable de proceso (PV) y variable manipulada (MV).

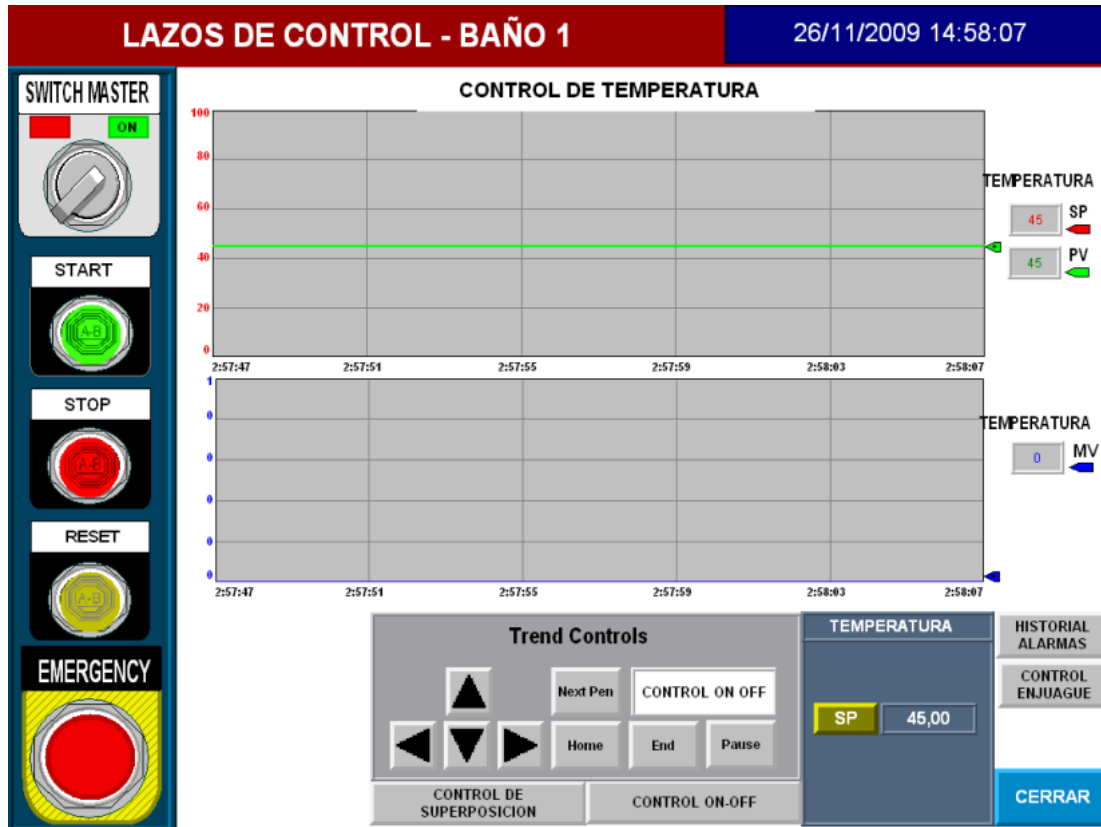


Figura. 4.54 Pantalla de Lazos de Control (Variable Temperatura) - Baño 1

Para crear un Trend que permita visualizar el comportamiento del Set Point (SP) y Variable de Proceso (PV) de la variable temperatura, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Visualización de Variables. En la pestaña Connections se selecciona los Tags denominado “Program:BANO\_1.SP” y “TEMPERATURA\_ACTUAL” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.



Para crear un campo que permita visualizar el valor del Set Point (SP) de la variable temperatura, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “BAÑO\_1.SP” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

Para crear un campo que permita visualizar el valor de la Variable de Proceso (PV) de la variable temperatura, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “TEMPEARATURA\_ACTUAL” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

Para crear un Trend que permita visualizar el comportamiento de la Variable Manipulada (MV) de la variable temperatura, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Visualización de Variables. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “BANO\_1.A\_C11\_CALENTADOR” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

Para crear un campo que permita visualizar el valor de la Variable Manipulada (MV) de la variable temperatura, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “BANO\_1.A\_C11\_CALNTADOR” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

#### **4.5.3.8.1.3 PARÁMETROS DEL CONTROL DE TEMPERATURA**

Para crear un campo que permita ingresar el valor del Set Point (SP) de la variable temperatura usando el teclado de la computadora, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “BAÑO\_1.SP”.

Para crear un campo que permita visualizar el valor del Set Point (SP) de la variable temperatura, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “BAÑO\_1.SP” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

Para crear un campo que permita visualizar el valor de la Variable de Proceso (PV) de la variable temperatura, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “TEMPEARATURA\_ACTUAL” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

#### 4.5.3.8.2 Lazos de Control – Enjuagues de agua corriente

La pantalla de Lazos de Control – Enjuagues de agua corriente contiene una tabla de ingreso para los valores de los parámetros del control de flujo. Además, permite visualizar el comportamiento de las curvas de las variables Set Point, variable de proceso (PV) y variable manipulada (MV).



Figura. 4.55 Pantalla de Lazo de Control – Enjuague de agua corriente

Para crear un Trend que permita visualizar el comportamiento del Set Point (SP) y Variable de Proceso (PV) de la variable flujo, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Visualización de Variables. En la pestaña Connections se selecciona los Tags denominado “FLUJO.SP” y “FLUJO.PV” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

Para crear un campo que permita visualizar el valor del Set Point (SP) de la variable flujo, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “FLUJO.SP” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

Para crear un campo que permita visualizar el valor de la Variable de Proceso (PV) de la variable flujo, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “FLUJO.PV” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

Para crear un Trend que permita visualizar el comportamiento de la Variable Manipulada (MV) de la variable flujo, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Visualización de Variables. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “FLUJO.OUT” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

Para crear un campo que permita visualizar el valor de la Variable Manipulada (MV) de la variable flujo, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “FLUJO.OUT”.

#### **4.5.3.8.2.1 PARÁMETROS DEL CONTROL DE FLUJO**

Para crear un campo que permita ingresar el valor del Set Point (SP) de la variable flujo usando el teclado de la computadora, se debe seguir el procedimiento indicado en el

manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “FLUJO.SP”.

Para crear un campo que permita ingresar el valor de la constante proporcional (KP) de la variable flujo usando el teclado de la computadora, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “FLUJO.KP”.

Para crear un campo que permita visualizar el valor de la constante proporcional (KP) de la variable flujo, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “FLUJO.KP”.

Para crear un campo que permita ingresar el valor de la constante proporcional (KI) de la variable flujo usando el teclado de la computadora, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “FLUJO\_PRIMARIO.KI”.

Para crear un campo que permita visualizar el valor de la constante proporcional (KI) de la variable flujo, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Variables del Proceso. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “FLUJO\_PRIMARIO.KI”.

#### **4.5.3.9 Pantalla de Presentación de Alarmas**

La pantalla de presentación de alarmas se despliega en el momento que ocurre una falla en el proceso. El aviso de alarma informa sobre la presencia real o inminente de una amenaza. Para crear una alarma, se debe seguir el procedimiento indicado en el manual de programación (Anexo 8), en la sección Alarmas.

El funcionamiento de cada una de las pantallas está descrito a detalle en el Manual de Usuario (Anexo 10).

## 4.6 CONFIGURACIÓN DE LA RED DE INTEGRACIÓN DE LA PS-2800 AL C.I.M 2000

La red de comunicación del CIM-2000 es una red EtherNet/IP, permitiendo que todas las estaciones se encuentren conectadas mediante un switch, formando una red privada, simplificando la comunicación con todas las estaciones. El esquema de Red de CIM-2000 es el mostrado en la siguiente figura.

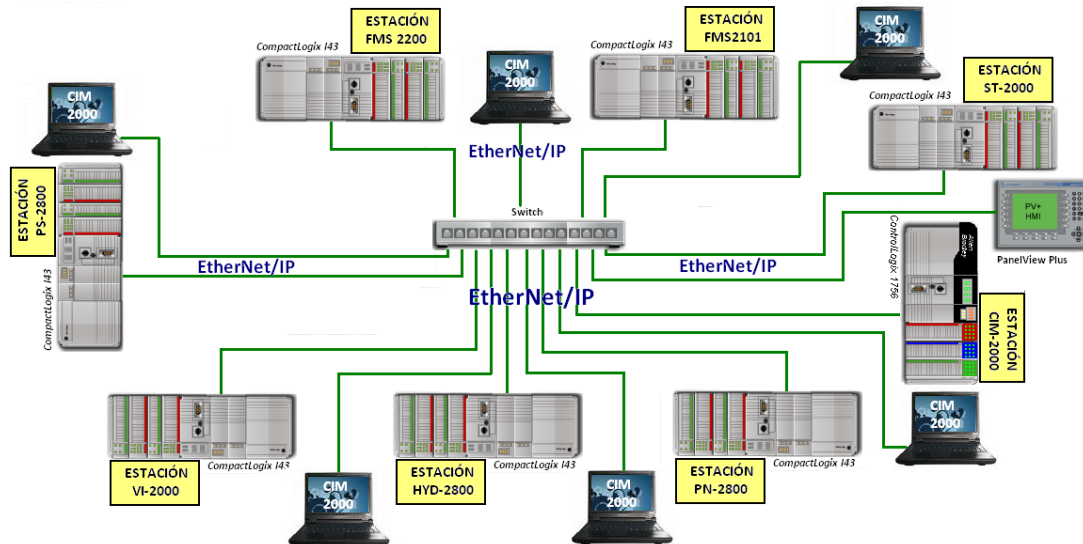


Figura. 4.56 Configuración de la red Ethernet/IP en el laboratorio C.I.M. 2000

### 4.6.1 Mensajes de manufactura

Para la integración con la estación Central es necesario la creación de tres mensajes de manufactura para indicar los siguientes aspectos: modo y estado de operación, recepción y confirmación de orden de manufactura. El Anexo 11 cita un ejemplo de la configuración del mensaje de lectura y escritura.

#### 4.6.1.1 Mensaje de modo y estado de operación

Es un mensaje de escritura compuesto por un arreglo de dos números de 32 bits, el primer número del arreglo indica el modo de operación de la estación, como son Manual, Semiautomático y Automático o estado de Emergencia, mientras que el segundo número del arreglo indica si la estación esta lista para operar.

Tabla 4.7 Selección del modo de operación

Modo de operación	MODO[0]
Automático	1
Semiautomático	2
Manual	3
Emergencia	4

Tabla 4.8 Estado de operación de la estación

Estado de la estación	MODO [1]
Activada	1
Desactivada	0

El controller tag MODO es un arreglo de tipo doble entero DINT[2] que se encuentra en el controlador.

#### 4.6.1.2 Mensaje recepción de orden de manufactura

Es un mensaje de lectura que almacena la orden de manufactura enviada por la estación Central en el controller tag DATOS\_IN, indicando el tipo de cilindro recibido.

Tabla 4.9 Datos de entrada del tipo de cilindro solicitado

Tipo de cilindro	DATOS_IN
Ningún cilindro	0
A	3
B	4

#### 4.6.1.3 Mensaje confirmación de orden de manufactura

Es un mensaje de escritura enviado al final de proceso completo o después de un reset, está compuesto por el Controller tag DATOS\_OUT es un arreglo de tipo doble

entero; el cual contendrá el tipo de cilindro que fue procesado y los baños realizados durante el proceso.

**Tabla 4.10 Datos de salida del tipo de cilindro elaborado**

<b>Tipo de cilindro</b>	<b>DATOS_OUT[0]</b>
Ningún cilindro	0
A	3
B	4

**Tabla 4.11 Datos de salida de la selección de los baños a realizarse**

<b>Baños realizados</b>	<b>DATOS_OUT[1]</b>
Baño : 7	85
Baños : 1-2-7	86
Baños : 3-4-7	89
Baños : 1-2-3-4-7	90
Baños : 5-6-7	101
Baños : 1-2-5-6-7	102
Baños : 3-4-5-6-7	105
Todos los baños	106

## **CAPÍTULO 5**

### **DISEÑO DE PRÁCTICAS**

#### **5.1 Control ON-OFF**

##### **PRÁCTICA # 1**

#### **CONTROL DE TEMPERATURA DEL BAÑO 1 EN LA ESTACIÓN DE CONTROL DE PROCESOS (PS-2800)**

##### **1. OBJETIVOS**

Después de llevar a cabo este experimento, usted estará capacitado para:

- 1.1. Identificar las características de los controladores ON-OFF o de dos posiciones en los sistemas de control automático.

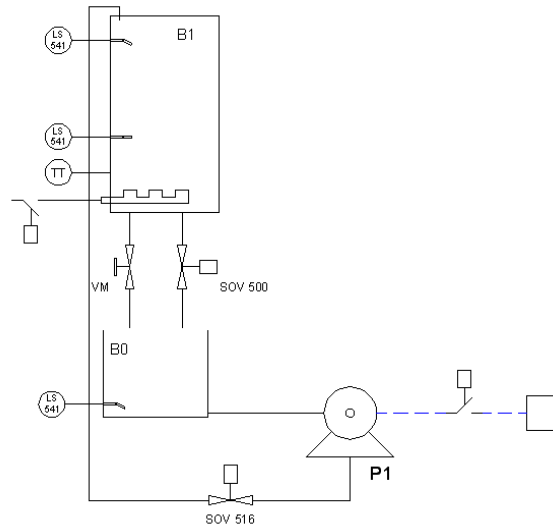
##### **2. EQUIPO**

- 2.1. Calentador eléctrico 120 VAC
- 2.2. Transmisor de temperatura de 4 a 20 mA (20 - 100 °C)
- 2.3. Tres sensores de nivel
- 2.4. Dos electroválvula de 2/2 vías
- 2.5. Bomba de succión eléctrica 24 VDC
- 2.6. Controlador Compactlogix L43



### 3. DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA

El agua corriente del baño 1 de la estación de Control de Procesos necesita mantenerse a una temperatura de 50 °C, se cuenta con el diagrama mostrado en la figura 5.1.



**Figura. 5.1 Diagrama del sistema de control de temperatura**

Para desarrollar el control de temperatura, el nivel del agua debe encontrarse entre los sensores LS 542 y LS 543. Además, la electroválvula SOV 500 se usa para drenar el agua corriente mientras que la electroválvula SOV 516 permite el paso del agua al baño 1, es necesario que se encuentre energizada durante la práctica.

La bomba de succión puede encenderse si el nivel de agua supera el nivel mínimo del reservorio Bo (LS 541).

Las entradas y salidas digitales y analógicas de los sensores y actuadores necesarias para realizar la práctica se muestran en las siguientes tablas.

ENTRADAS DISCRETAS	
Dirección	Descripción
Local:2:I.Data.7	LS 541 B0- Transmisor de nivel, mínimo nivel en el reservorio Bo.
Local:2:I.Data.8	LS 542 B1- Transmisor de nivel, mínimo nivel en el reservorio B1.
Local:2:I.Data.9	LS 543 B1- Transmisor de nivel, máximo nivel en el reservorio B1.
Local:2:I.Data.12	C11/FB- Calentador, realimentación
Local:2:I.Data.15	C14/FB-Bomba de succión, realimentación

<b>SALIDAS DISCRETAS</b>	
<b>Dirección</b>	<b>Descripción</b>
Local:3:O.Data.10	C11- Calentador
Local:4:O.Data.8	SOV 500: Reservorio 1, válvula solenoide de descarga
Local:4:O.Data.13	SOV 516: Tanque colector, válvula solenoide de control de llenado
Local:4:O.Data.15	C14: Bomba de succión P1

<b>ENTRADAS ANALÓGICAS</b>	
<b>Dirección</b>	<b>Descripción</b>
Local:5:I.Ch2Data	Sensor de temperatura- Baño 1

#### 4. PROCEDIMIENTO

- 4.1. Verificar que el reservorio Bo cuente con un nivel alto de agua.
- 4.2. Cerrar la válvula manual VM1
- 4.3. Encender la estación de Control de Procesos
- 4.4. En la salida analógica Local:6:O.Ch1Data cargar el valor 16383 (Equivalente a 5 V)
- 4.5. Energizar la bomba de succión
- 4.6. Realizar un control ON-OFF que cumpla las siguientes características:
  - Set Point (SP): 50 °C
  - Error:  $\pm 2$  °C
  - Alarma alta: 55 °C
  - Alarma baja: 45 °C

#### 5. CUESTIONARIO

- 5.1. Describa las características del control ON-OFF
- 5.2. Basado en la experiencia obtenida en la práctica, elabore un gráfico del comportamiento del actuador con respecto al tiempo.



5.3. Observando el gráfico anterior, indique cuales son los posibles efectos ocasionados al actuador.

## 5.2 Control PI

### PRÁCTICA # 2

#### CONTROL DE FLUJO DEL BAÑO 4 PARA ENJUAGUE EN LA ESTACIÓN DE CONTROL DE PROCESOS (PS-2800)

#### 1. OBJETIVOS

Después de llevar a cabo este experimento, usted estará capacitado para:

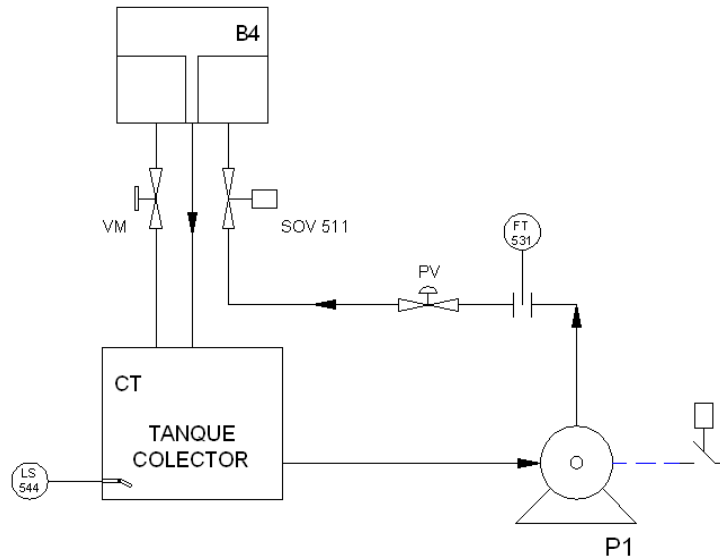
- 1.1. Conocer y comprender la técnica de control PI.
- 1.2. Aprender técnicas de ajuste de los parámetros de este tipo de control.

#### 2. EQUIPO

- 2.1. Transmisor de flujo de 0 a 20 mA (0 a 1000 cm<sup>3</sup>/min)
- 2.2. Sensor de nivel del tanque colector
- 2.3. Electroválvula de 2/2 vías
- 2.4. Válvula proporcional de 0 a 10 V
- 2.5. Bomba de drenaje eléctrica 120 VAC
- 2.6. Controlador Compactlogix L43

#### 3. DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA

Después de realizar la limpieza o revestimiento de un cilindro es necesario efectuar un enjuague con agua corriente, por tal razón, se aplicará una técnica de control que permita mantener el flujo de agua en un valor constante. La siguiente figura representa el proceso a ser controlado.



**Figura. 5.2 Diagrama del sistema de control de flujo**

Para el funcionamiento de la bomba de drenaje se necesita un nivel mínimo de agua en el tanque colector indicado por el sensor LS 544. Además, la electroválvula SOV 511 permite el paso del agua al baño 4, es necesario que se encuentre energizada durante la práctica.

Las entradas y salidas digitales y analógicas de los sensores y actuadores necesarias para realizar la práctica se muestran en las siguientes tablas.

ENTRADAS DISCRETAS	
Dirección	Descripción
Local:2:I.Data.10	LS 544 CT- Nivel mínimo en el tanque colector
Local:2:I.Data.14	C13/FB- Bomba de drenaje, realimentación

SALIDAS DISCRETAS	
Dirección	Descripción
Local:4:O.Data.10	SOV 511: Reservorio 4, válvula solenoide de llenado

ENTRADAS ANALÓGICAS	
Dirección	Descripción
Local:5:I.Ch0Data	Sensor de flujo para enjuague bajo agua corriente - Baños 2, 4, 6.

SALIDAS ANALÓGICAS	
Dirección	Descripción
Local:6:O.Ch0Data	Válvula proporcional

#### 4. PROCEDIMIENTO

- 4.1. Verificar que el nivel de agua del tanque colector supere el mínimo.
- 4.2. Energizar la electroválvula SOV 511
- 4.3. Energizar la bomba de drenaje
- 4.4. Realizar un control PI que cumpla las siguientes características:
  - Rango de operación: 800 a 1000 cm<sup>3</sup>/min
  - Error:  $\pm 2\%$  respecto el valor de Set Point
  - Alarma alta: SP + 100 cm<sup>3</sup>/min
  - Alarma baja: SP - 100 cm<sup>3</sup>/min

#### 5. CUESTIONARIO

- 5.1. Describa las características del control PI
- 5.2. Grafique el esquema final de control realizado en la práctica
- 5.3. ¿Qué es la velocidad de reajuste en un controlador PI?
- 5.4. ¿Por qué no se recomienda el uso de un control PID, para procesos de control de flujo?

### 5.3 Control por sobreposición

#### PRÁCTICA # 3

#### CONTROL DE FLUJO DEL BAÑO 1 PARA LIMPIEZA EN LA ESTACIÓN DE CONTROL DE PROCESOS (PS-2800)

##### 1. OBJETIVOS

Después de llevar a cabo este experimento, usted estará capacitado para:

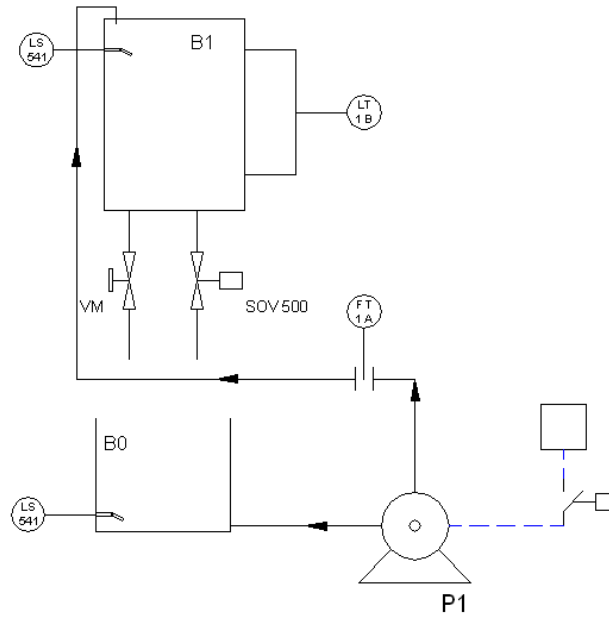
- 1.1. Conocer y comprender la técnica de control por sobreposición.
- 1.2. Aprender técnicas de ajuste de los parámetros de este tipo de control.

##### 2. EQUIPO

- 2.1. Transmisor de flujo de 0 a 20 mA (0 a 1000 cm<sup>3</sup>/min)
- 2.2. Transmisor de nivel de 4 a 20 mA (0 a 40 cm)
- 2.3. Sensor de nivel del reservorio Bo
- 2.4. Sensor de nivel máximo del baño B1
- 2.5. Dos electroválvulas de 2/2 vías
- 2.6. Bomba de succión eléctrica 24 VDC
- 2.7. Controlador Compactlogix L43

##### 3. DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA

Para realizar la limpieza del cilindro en el baño 1, es necesario mantener un flujo constante de agua considerando mantener un nivel mínimo de agua que cubra la pieza. A continuación se muestra el diagrama de la práctica.



**Figura. 5.3 Diagrama del sistema de control de flujo y nivel**

Para el desarrollo del control de sobreposición, es necesario energizar la electroválvula SOV 516 que permite el paso del agua al baño 1 y mantener abierta la válvula manual durante la práctica.

El nivel del agua tiene que encontrarse entre un rango de 20 a 23 cm, y se usa el sensor de nivel máximo del baño B1 (LS 543) como protección del sistema, el agua debe ser drenada utilizando la electroválvula SOV 500

La bomba de succión puede encenderse si el nivel de agua supera el nivel mínimo del reservorio Bo (LS 541).

Las entradas y salidas digitales y analógicas de los sensores y actuadores necesarias para realizar la práctica se muestran en las siguientes tablas.

<b>ENTRADAS DISCRETAS</b>	
<b>Dirección</b>	<b>Descripción</b>
Local:2:I.Data.7	LS 541 B0- Transmisor de nivel, mínimo nivel en el reservorio Bo.
Local:2:I.Data.9	LS 543 B1- Transmisor de nivel, máximo nivel en el reservorio B1.
Local:2:I.Data.15	C14/FB-Bomba de succión, realimentación



SALIDAS DISCRETAS	
Dirección	Descripción
Local:4:O.Data.8	SOV 500: Reservorio 1, válvula solenoide de descarga
Local:4:O.Data.13	SOV 516: Tanque colector, válvula solenoide de control de llenado
Local:4:O.Data.15	C14: Bomba de succión P1

ENTRADAS ANALÓGICAS	
Dirección	Descripción
Local:5:I.Ch1Data	Sensor de flujo- Baño 1
Local:5:I.Ch2Data	Sensor de temperatura- Baño 1
Local:5:I.Ch3Data	Sensor de nivel-Baño 1

SALIDAS ANALÓGICAS	
Dirección	Descripción
Local:6:O.Ch1Data	Motor DC

#### 4. PROCEDIMIENTO

- 4.1. Verificar que el reservorio Bo cuente con un nivel alto de agua.
- 4.2. Cerrar la válvula manual VM1
- 4.3. Energizar el relé de la bomba de succión
- 4.4. Realizar un control de SOBREPONCIÓN que cumpla las siguientes características:

##### CONTROL PRIMARIO

- Rango de operación: 800 a 1000 cm<sup>3</sup>/min
- Error: ± 2% del SP
- Alarma alta: SP + 100 cm<sup>3</sup>/min
- Alarma baja: SP - 100 cm<sup>3</sup>/min

##### CONTROL SECUNDARIO

- Set Point (SP): 20 cm
- Alarma alta: >24 cm
- Alarma baja: <18 cm

## 5. CUESTIONARIO

- 5.1. Describa las características del control por sobreposición
- 5.2. Grafique el esquema final de control realizado en la práctica
- 5.3. ¿Para qué se utiliza el control por sobreposición?
- 5.4. ¿En un modo integral de control debe existir protección contra reajuste excesivo?

## **CAPÍTULO 6**

### **DISEÑO, PRUEBAS Y RESULTADOS EXPERIMENTALES**

#### **6.1 DISEÑO DE LOS LAZOS DE CONTROL**

Uno de los requerimientos esenciales de la industria es el control automático de los procesos porque reduce los costos de manufactura, aumentando la eficiencia y eliminando los errores.

El principio del control automático de un proceso resulta sencillo de entender ya que es el mantenimiento de un valor deseado dentro de una cantidad o condición, midiendo el valor existente , comparándolo con el valor deseado y utilizando la diferencia para proceder a reducirla. En consecuencia el control automático exige un lazo cerrado de acción y reacción que funcione sin la intervención humana.

Es así que uno de los requerimientos de la estación PS 2800, es el control automático de los tres lazos de control con los que cuenta, descritos en este capítulo.

En la figura.4.6., se ilustra el diagrama de los lazos de control de la estación.

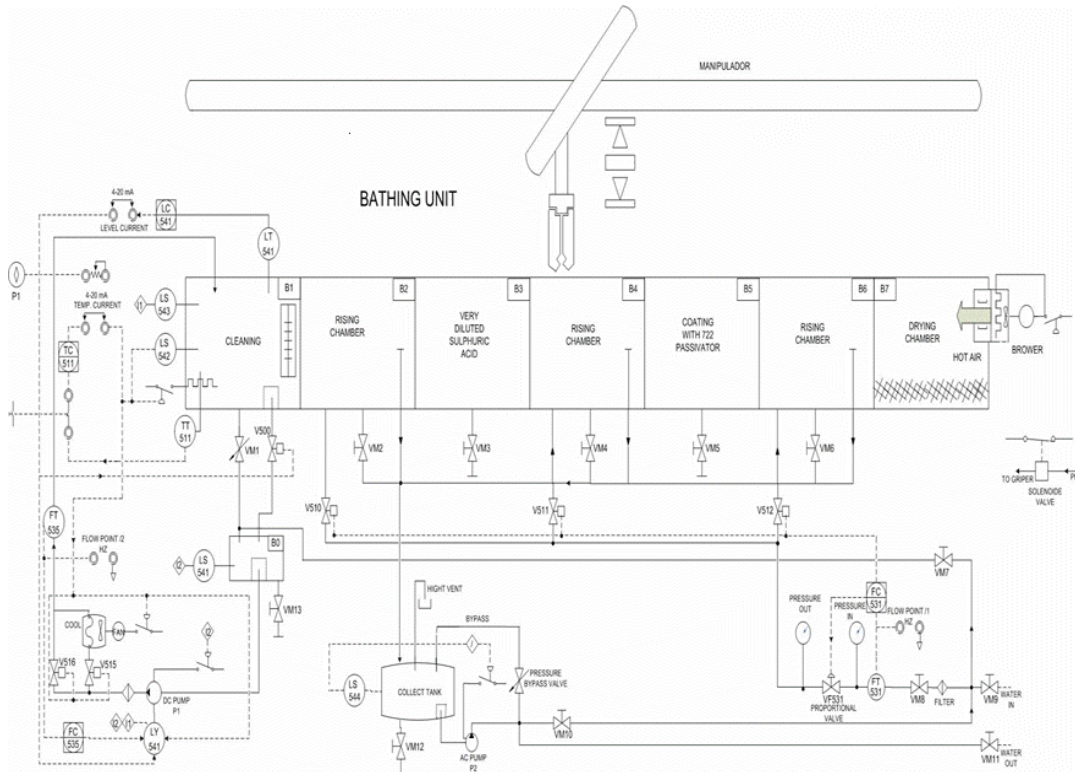


Figura. 6.1 Diagrama de los lazos de control

En esta sección se analizó las acciones básicas de control utilizadas en la estación de Control de Procesos PS-2800.

La programación realizada utilizando el software RSLogix 5000 está basado en la norma ANSI/ISA-S5.1 (Anexo 12).

### 6.1.1 Lazo de control Baño B1

En la primera etapa se realiza la limpieza de suciedad y pintura, mediante agua jabonosa alcalina a 50 ° C. Por lo tanto, en el control de este proceso intervienen las variables de Flujo, Nivel y Temperatura efectuando un análisis del comportamiento independiente de cada variable.

#### 6.1.1.1 Lazos de control de las variables Flujo y Nivel

La primera etapa se realiza la limpieza de suciedad y pintura debe cumplir con las siguientes especificaciones técnicas del sistema:

- Rango de flujo del proceso: 0 a 1000  $cm^3/min$ .
- Rango de flujo de control (Set Point, SP): 500 a 600  $cm^3/min$ , según lo requerido.
- Precisión máxima:  $\pm 2\%$  del SP.
- Alarma alta, en control: 100  $cm^3/min$  sobre el valor actual de SP.
- Alarma baja, en control: 100  $cm^3/min$  bajo el valor actual de SP.

Para el desarrollo de estos lazos de control se aplican de los siguientes pasos:

#### 6.1.1.1.1 Respuesta del sensor

Lo primero a realizarse fue la determinación de la respuesta de los transmisores:

- De Flujo (en  $cm^3/min$ ), en relación a la variable real del proceso; es decir, el flujo indicado por el medidor electromagnético visualizado localmente en el instrumento (en %). Se procedió a variar la válvula proporcional hasta que el medidor electromagnético marque 100% equivalente a 300 ( $cm^3/min$ ). Con el valor mostrado en las entradas analógicas del controlador (unidades crudas) por el flujometro de rueda de paletas, se grafico la respuesta del sensor, como el comportamiento del mismo es lineal se extendió la recta hasta un valor de 1000 ( $cm^3/min$ ); se obtuvo la siguiente respuesta:

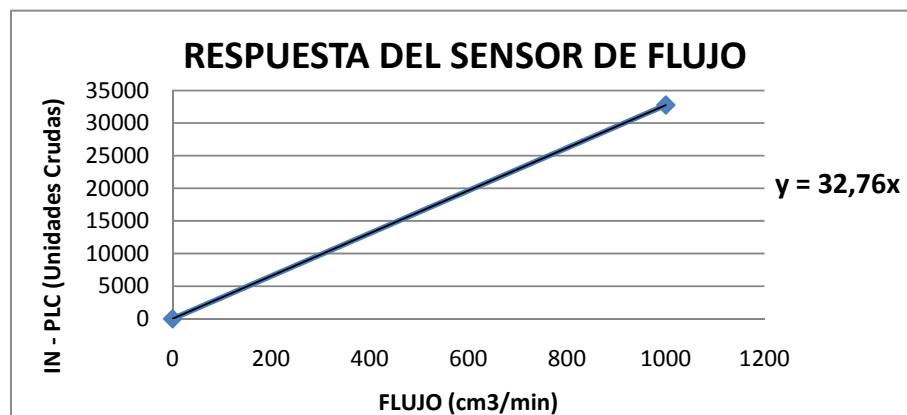


Figura. 6.2 Respuesta del sensor de flujo

- De Nivel (en cm), en relación a la variable real del proceso; es decir, el nivel señalado por el indicador de nivel (con escala graduada) ubicado localmente en el proceso (en cm). Observando en cada instante el paso del agua en el indicador por

cada una de sus divisiones, con el valor mostrado en las entradas analógicas del controlador (unidades crudas) por el sensor resistivo; se obtuvo la siguiente respuesta:

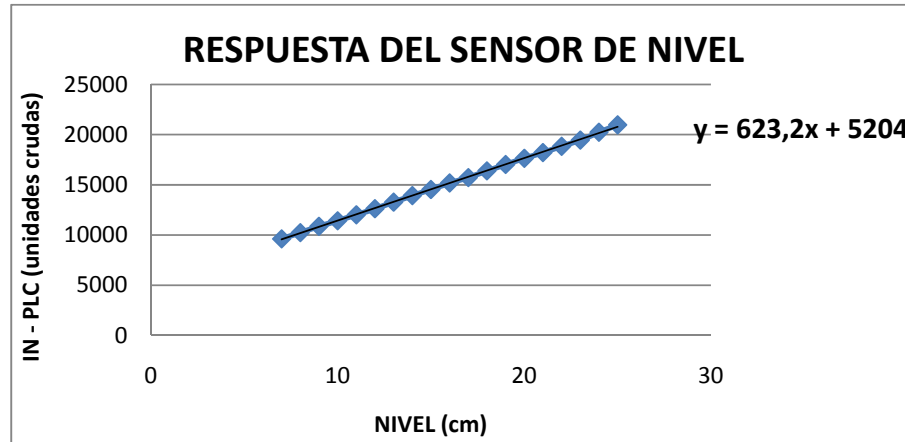


Figura. 6.3 Respuesta del sensor de nivel

#### 6.1.1.1.2 Estrategia de Control

Se eligieron las siguientes estrategias de control, para cada controlador, de acuerdo a los siguientes criterios:

##### *Flujo*

El control a implementarse es PI. Se justifica por las siguientes razones:

- El control de flujo es el que se realizará la mayor parte del tiempo, ya que el de nivel afectará al proceso solamente cuando se entre en una condición crítica de nivel. Por tanto, es en este controlador en donde se quiere tener una parte de control proporcional, para la acción y un error de estado estable cercano a 0, logrado por la parte integral.
- El tiempo de ciclo de este controlador deberá ser mayor al de nivel porque, este último será el que deba reaccionar más rápido en caso de un estado de emergencia; además de las condiciones iniciales de control, en las cuales deberá levantarse inicialmente su MV\_Nivel\_secundario, más rápido que la del controlador de flujo, MV\_Flujo\_primario, para la selección inicial de MV\_Flujo\_primario, por el selector de alta.

### *Nivel*

El control a implementarse es Proporcional. Se justifica por las siguientes razones:

- En este controlador no interesa llegar a un Set Point, solo interesa la respuesta rápida ante la emergencia que atiende: el nivel insuficiente para la bomba, y lograr llevar a su variable manipulada a un valor por encima de la MV del controlador de nivel, para que éste retome el control normal.
- En virtud de esto, la ganancia deberá ser más o menos alta, para una rápida reacción pero sin reaccionar a cada momento que se baje el nivel.
- El Set Point a ubicarse en este controlador estará en relación con el nivel mínimo que el tanque debe tener para no averiar la bomba, pero NO es este valor exactamente. Se elegirá de un buen criterio de observación de la respuesta.
- El tiempo de ciclo de este controlador deberá ser menor al de flujo, por las razones antes expuestas. [16]

#### 6.1.1.1.3 Modelamiento de la planta de flujo

Una vez determinados los requerimientos para el control deseado, es necesaria para la correcta aplicación del método de control un modelamiento adecuado del proceso que se requiere controlar; en este caso, la primera etapa de limpieza de suciedad.

Para este modelamiento se escogerá un método de estimación realizado con la función ident del programa MATLAB 7, para lo cual se siguieron los pasos aquí detallados:

##### 1. Adquisición de datos

Con la planta a lazo abierto, se la llevó a un punto de operación estable con un voltaje en el actuador de 5V, después se ejecutó un escalón de 6V, con lo cual se procedió a obtener la respuesta de la planta.

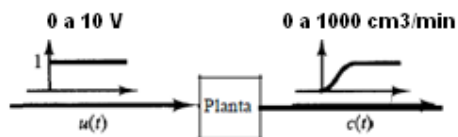


Figura. 6.4 Respuesta escalón unitario de la planta de flujo

Los datos de la respuesta de flujo en la planta se tomaron mediante un sistema de adquisición de datos implementado en el programa RS Logix5000, explicado a detalle en el Anexo 13.

2. Los datos de la variable de proceso, la variable de control y el tiempo de muestreo son importados a la función ident, y mediante la estimación del orden de la planta. Devolviéndonos la función de transferencia de la planta.

El proceso de estimación de la función de transferencia se encuentra descrito en el Anexo 14.

La bomba de dc, actuador del control de flujo en el baño 1, tiene un modelo de primer orden, por lo que se mantiene la planta en el mismo orden.

En base al procedimiento indicado se estimo que la función de transferencia de la planta de flujo para el baño 1, es la siguiente:

$$G_p(s) = \frac{2.327}{s+1.394} \quad (6.1)$$

#### 6.1.1.1.4 Diseño del controlador PI de Flujo

Una vez obtenida la planta del proceso, se procedió a la realización del método de sintonización, indicado a continuación:

#### Diseño en el dominio de la frecuencia de un controlador PI

La función de transferencia del controlador PI esta dado por

$$G_c = K_p + \frac{K_i}{s} = \frac{K_p s + K_i}{s} \quad (6.2)$$

El controlador tiene un polo en el origen y un cero en el eje real negativo, de donde la función de transferencia puede ser escrita como



$$G_c = \frac{K_i(1+\frac{s}{\omega_0})}{s} \quad (6.3)$$

Como se observa el cero está localizado en  $s = -\omega_0 = -\frac{K_i}{K_p}$ . El diagrama de bode del controlador PI esta dado por la figura 6.5 como se observa el controlador tiene las propiedades de un controlador de atraso, donde la ganancia del controlador PI es  $20\log_{10}(K_p)$  en decibeles. [17]

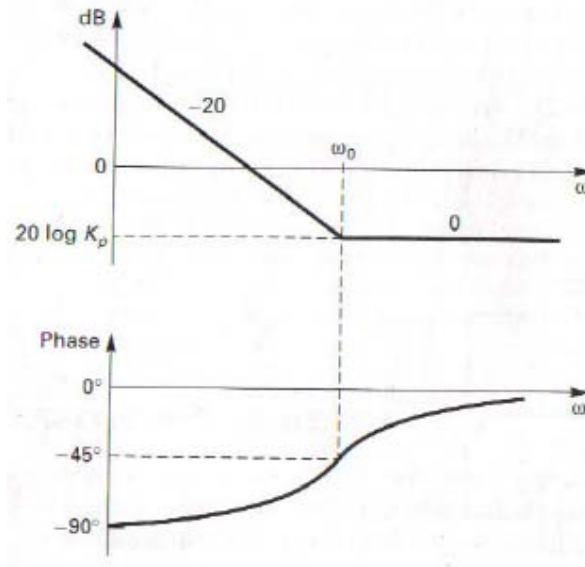


Figura. 6.5 Diagrama de Bode del controlador PD

El procedimiento de diseño en el dominio de la frecuencia para el controlador PI para obtener un margen de fase deseado se describe como sigue:

1. Los márgenes de fase y ganancia del sistema no compensado se determinan de la traza de Bode. Para un cierto requisito de margen de fase deseado, la nueva frecuencia de cruce de ganancia  $\omega_1$  correspondiente a este margen de fase se localiza sobre las trazas de Bode. La traza de magnitud de la función de transferencia del sistema compensado debe pasar a través del eje de 0 dB. En esta nueva frecuencia de cruce de ganancia para obtener el margen de fase deseado. En conclusión se encuentra una frecuencia  $\omega_1$  donde el ángulo  $G_p(j\omega_1)H(j\omega_1)$  es igual a  $-180^\circ + \phi_m + 5^\circ$ .

2. Para llevar a la curva de magnitud de la función de transferencia del sistema no compensado a 0 dB. En la nueva frecuencia de cruce de ganancia  $\omega_1$ , el controlador PI debe proveer la cantidad de atenuación igual a la ganancia de la curva de magnitud en la nueva frecuencia de cruce de ganancia. En otras palabras, al hacer que:

$$|G_p(j\omega_1)|_{dB} = -20 \log_{10} K_p \text{ dB} \quad K_p < 1 \quad (6.4)$$

De donde se tiene:

$$K_p = 10^{-|G_p(j\omega_1)|_{dB}/20} \quad K_p < 1 \quad (6.5)$$

3. Si la frecuencia de corte  $\omega_0 = \frac{K_i}{K_p}$  esta colocada lejos por debajo de  $\omega_1$ , el atraso de fase del controlador PI tendrá un efecto despreciable sobre la fase del sistema compensado cerca de  $\omega_1$ . Por otro lado, el valor de la  $\frac{K_i}{K_p}$  no debe ser muy pequeña o el ancho de banda del sistema será muy bajo, provocando que el tiempo de levantamiento y el tiempo de asentamiento sean muy largos. Como una guía general, esa relación debe corresponder a una frecuencia que es al menos una década, algunas veces hasta dos décadas, debajo de  $\omega_1$ , esto es:

$$\omega_0 = \frac{K_i}{K_p} = 0.1\omega_1 \quad (6.6)$$

$$K_i = 0.1\omega_1 K_p \quad (6.7)$$

En consecuencia, el diagrama de Bode de la planta de flujo del Baño 1 es mostrada en la figura 6.6.

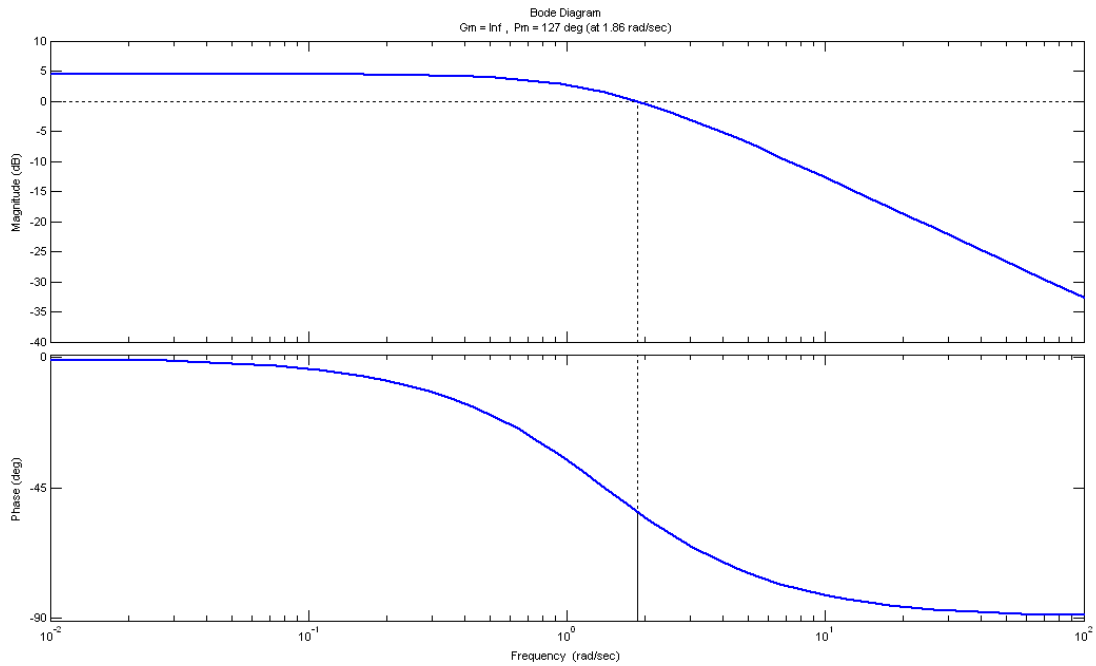


Figura. 6.6 Diagrama de Bode planta de flujo Baño 1

Observando que el  $\phi_m = 127^\circ$ , por lo que se procura llevar al sistema a un margen de fase deseado  $\phi_{md} = 150^\circ$ , de donde:

$$\angle G_p(j\omega_1)H(j\omega_1) = -180^\circ + 150^\circ + 5^\circ$$

$$\angle G_p(j\omega_1)H(j\omega_1) = -25^\circ$$

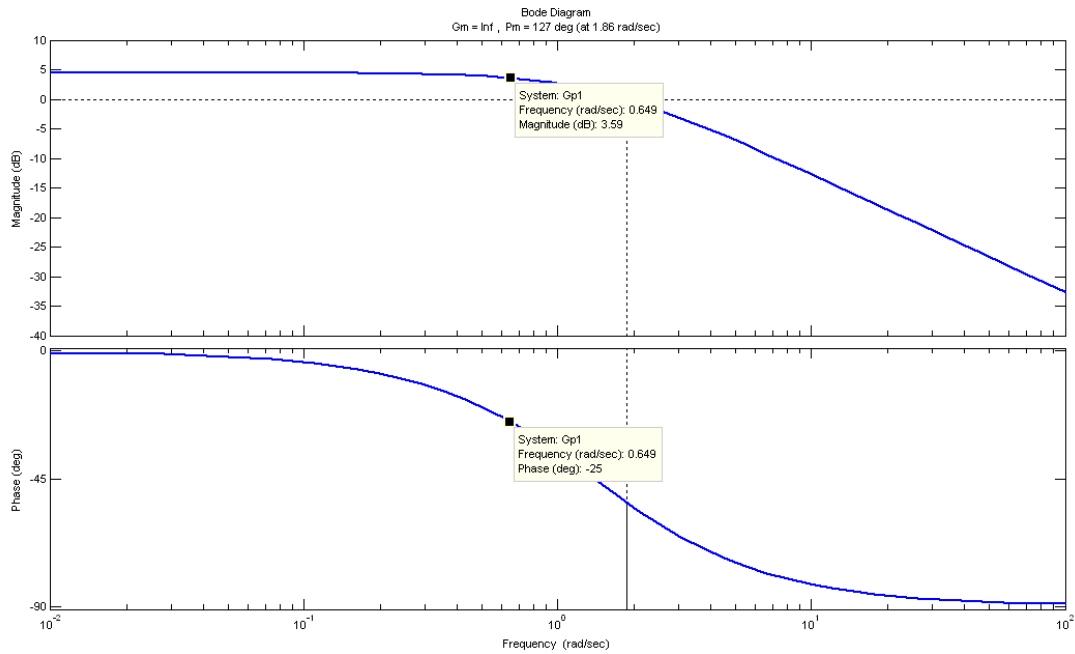


Figura. 6.7 Parámetros: margen de fase y ángulo de fase

Y mediante el diagrama de Bode se estableció:

$$|G_p(j\omega_1)|_{dB} = 3.59dB$$

$$\omega_1 = 0.649 \text{ rad/seg}$$

Remplazando estos valores en las ecuaciones (6.5) y (6.7), las constantes del controlador PI son:

$$Kp = 10^{-|3.59|dB/20}$$

$$Kp = 0.6615$$

$$Ki = 0.1 * 0.649 * 0.6615$$

$$Ki = 0.0429 \text{ (seg)}$$

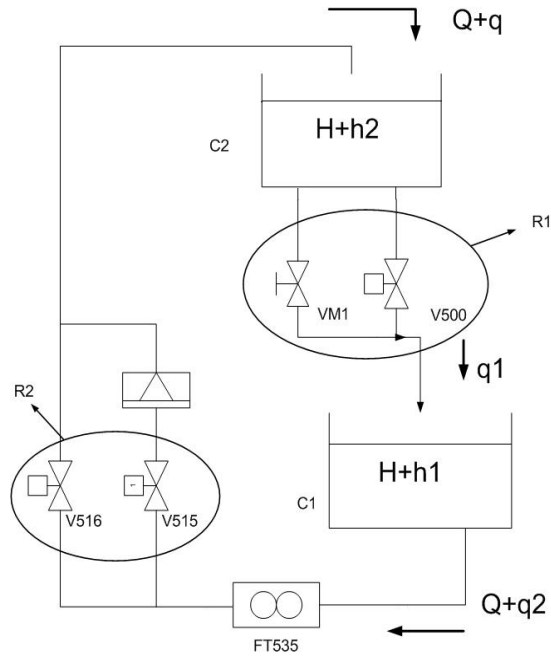
Estos valores se cargan a los registros de la instrucción PID\_Flujo\_primario mediante la pantalla de ingeniería detallada en la siguiente sección, desde la HMI.

Para establecer la configuración de los parámetros de la instrucción PID utilizando el software RS Logix 5000 se indica detalladamente en el Anexo 15.

#### 6.1.1.1.5 Modelamiento de la planta de nivel

El modelamiento de la planta de nivel fue tomado de la tesis “ANÁLISIS DE TÉCNICAS DE CONTROL EN EL ESPACIO DE ESTADO E IMPLEMENTACION DE SENSORES VIRTUALES PARA LA ESTACIÓN DE CONTROL DE PROCESOS DEL CIM 2000 ESPE”[4], donde usando una herramienta del programa LabVIEW 8.2, de idéntica forma que la herramienta ident de MATLAB, se estima la función de transferencia de la planta siendo necesario identificar el orden de la planta, por lo cual con la ayuda del gráfico de la planta física y el uso de la teoría de espacio de estados se determina el orden de este sistema.

Es así que la figura a continuación mostrada se usa para determinar el orden del sistema



**Figura. 6.8 Representación física del baño B1**

Donde:

- $C_1$  y  $C_2$       Capacitancias
- $R_1$               Suma de pérdidas en válvulas (VM1+V500)
- $R_2$               Suma de pérdidas en válvulas (FT535+V515+V516)
- $q_1, q_2$  y  $q$     Caudales de entrada a los reservorios
- $h_1$  y  $h_2$       Altura de líquido en reservorios

Las ecuaciones para este sistema de nivel se representan por:

$$C_1 dh_1 = (q_1 - q_2) dt \quad (6-8)$$

$$C_2 dh_2 = (q - q_1) dt$$

$$q_1 = \frac{h_2 - h_1}{R_1} \quad q_2 = \frac{h_1}{R_2}$$

Resolviendo los sistemas de ecuaciones se llega a la siguiente resolución

$$\dot{x}_1 = \left( \frac{1}{C_1 R_1} + \frac{1}{C_1 R_2} \right) x_1 + \frac{1}{C_1 R_1} x_2$$

$$\dot{x}_2 = \frac{1}{C_2 R_1} x_1 - \frac{1}{C_2 R_1} x_2 + \frac{1}{C_2} u$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\left( \frac{1}{C_1 R_1} + \frac{1}{C_1 R_2} \right) & \frac{1}{C_1 R_1} \\ \frac{1}{C_2 R_1} & -\frac{1}{C_2 R_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{C_2} \end{bmatrix} [u] \quad (6-9)$$

$$[y] = [1 \quad 0] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

Para obtener las ecuaciones en el espacio de estados de este sistema se procederá a encontrar las funciones de transferencia que rigen al sistema:

$$C_1 R_1 R_2 \frac{dh_1}{dt} + (R_1 + R_2) h_1 = R_2 h_2$$

$$C_2 R_1 \frac{dh_2}{dt} + h_2 = R_1 q + h_1$$

$$\frac{H_2(s)}{Q(s)} = \frac{(C_1 R_1^2 R_2) s + (R_1^2 + R_1 R_2)}{(C_1 C_2 R_1^2 R_2) s^2 + (C_2 R_1^2 + C_2 R_1 R_2 + C_1 R_1 R_2) s + R_1} \quad (6-10)$$

$$\frac{H_1(s)}{Q(s)} = \frac{R_1}{(C_1 C_2 R_1^2) s^2 + \left( \frac{C_2 R_1^2}{R_2} + C_2 R_1 + C_1 R_1 \right) s + \frac{R_1}{R_2}} \quad (6-11)$$

Generalizando (6-10) y (6-11) se tiene:

$$\frac{H_2(s)}{Q(s)} = \frac{s+1}{s^2+s+1} \quad (6-12)$$

$$\frac{H_1(s)}{Q(s)} = \frac{1}{s^2 + s + 1} \quad (6-13)$$

Determinando que el modelo de planta es de segundo orden y con los valores de la variable manipulada y la variable de proceso se obtuvo que la función de transferencia es la siguiente:

$$Gp(s) = \frac{14.5669s + 26.3069}{s^2 + 13.4642s + 12.4621} \quad (6-14)$$

### 6.1.1.1.6 Diseño del controlador P de Nivel

El diagrama de Bode de la planta de Nivel del Baño 1 es el siguiente:

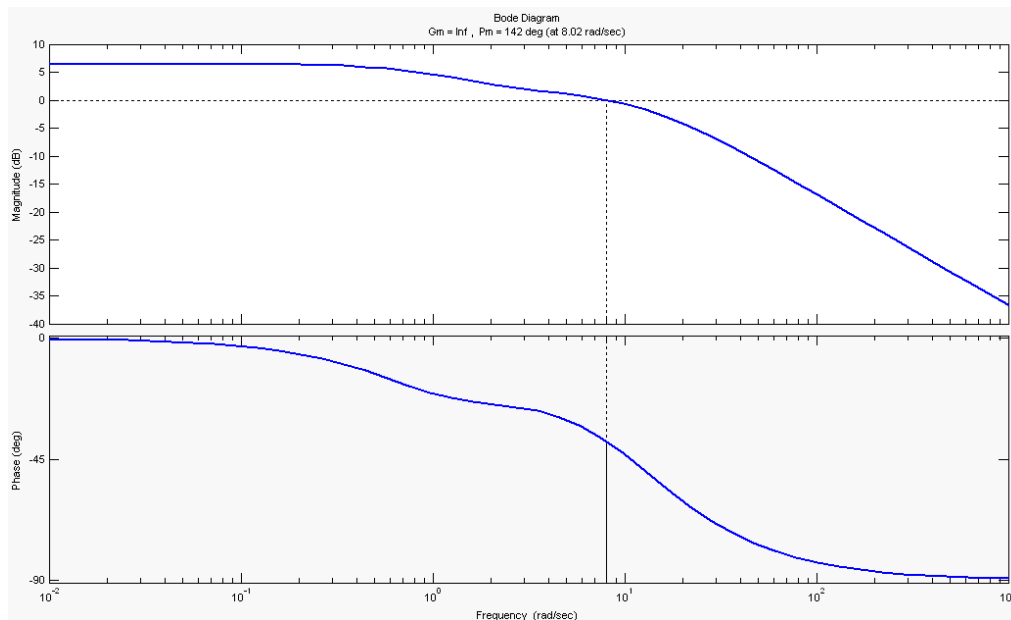
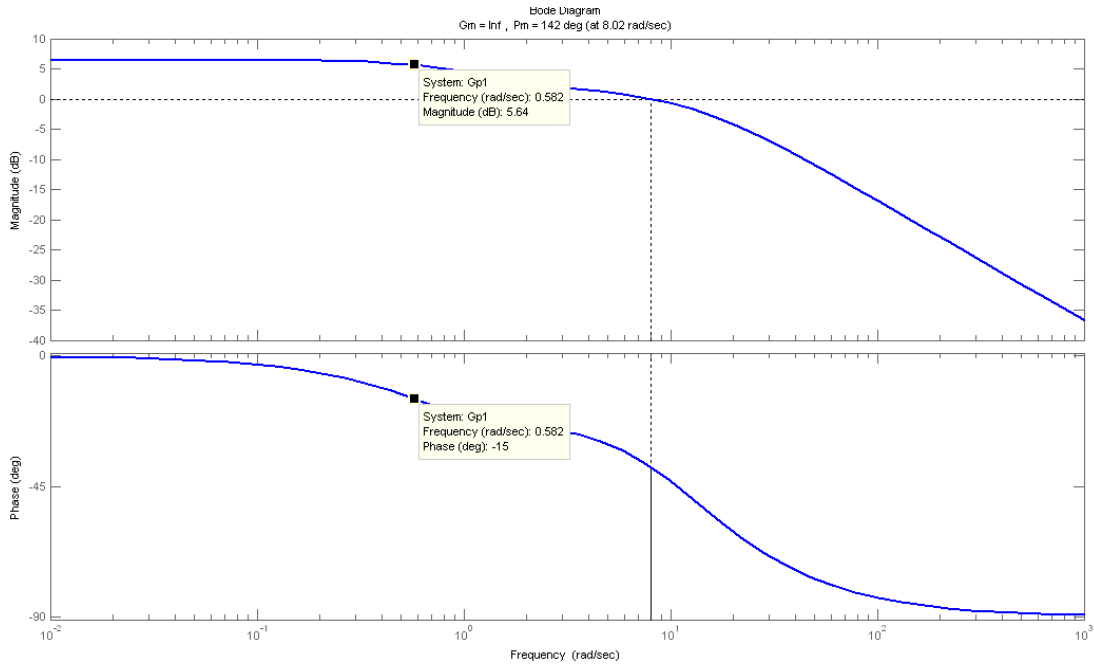


Figura. 6.9 Diagrama de Bode planta de nivel

Observando que el  $\phi_m = 142^\circ$ , por lo que se procura llevar al sistema a un margen de fase deseado  $\phi_{md} = 160^\circ$ , de donde:

$$\angle G_p(j\omega_1)H(j\omega_1) = -180^\circ + 160^\circ + 5^\circ$$

$$\angle G_p(j\omega_1)H(j\omega_1) = -15^\circ$$



**Figura. 6.10** Parámetros: margen de fase y ángulo de fase

Y mediante el diagrama de Bode se estableció:

$$|G_p(j\omega_1)|_{dB} = 5.64dB$$

$$\omega_1 = 0.582 \text{ rad/seg}$$

Remplazando estos valores en las ecuaciones (6.5) y (6.7), las constantes del controlador PI son:

$$Kp = 10^{-|5.64|dB/20}$$

$$Kp = 0.5224$$

Con el valor anteriormente diseñado, se procedió a experimentar el control en la planta, se recurrió al ajuste de este valor de control porque es necesario que el tiempo de levantamiento disminuya logrando una respuesta inicial rápida considerando que el sistema no se torne oscilatorio. De este procedimiento se llegó al siguiente valor final para el controlador de este proceso:

$$Kp = 3.25$$

Este valor se carga al registro de la instrucción PID\_Nivel\_secundario mediante la pantalla de ingeniería detallada en la siguiente sección, desde la HMI.



### 6.1.1.2 Lazos de control de la variable Temperatura

Consistió en la aplicación de los siguientes pasos:

#### 6.1.1.2.1 Respuesta del sensor

Lo primero a realizarse fue la determinación de la respuesta del transmisor de Temperatura (en °C), en relación a la variable real del proceso, usando un termómetro se procedió a observar el instante en el cual la columna de mercurio pasa en el rango de 0°C y 100°C. Con el valor mostrado en la entrada analógica del controlador (unidades crudas) por el resistor sensible a los cambios de temperatura RTD; se obtuvo la siguiente respuesta del sensor:

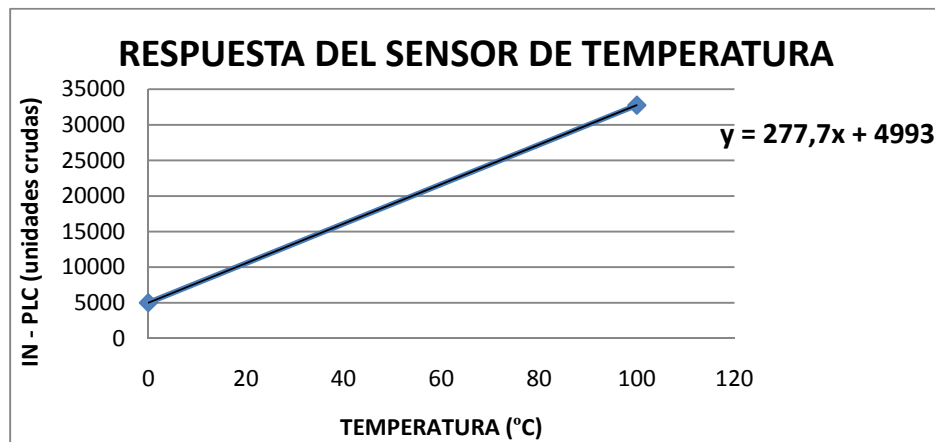


Figura. 6.11 Respuesta del sensor de temperatura

#### 6.1.1.2.2 Estrategia de Control

Una vez determinada la respuesta de lo que se puede medir en el proceso, se establece la estrategia del control del mismo. En esta etapa del proceso se utilizó la estrategia de control: ON/OFF ó TODO/NADA, de la siguiente forma:

Mediante el algoritmo de control del PLC, se comandará el estado de cierre o apertura de una salida digital del PLC C11/FB- Calentador (Local:2:I.Data.12), para permitir o cortar el paso de energía a partir de una comparación entre el rango de operación.

### 6.1.1.2.3 Diseño del controlador ON - OFF

Una vez establecida la estrategia de control del proceso, se procedió a determinar las especificaciones técnicas del sistema:

- Rango de temperatura del proceso: 0 a 100 ° C.
- Rango de temperatura de control (Set Point, SP): 40 a 60 ° C, según lo requerido.
- Precisión máxima:  $\pm 2$  °C (sobre la lectura actual).
- Alarma alta, en control: 5 ° C sobre el valor actual de SP.
- Alarma baja, en control: 5 ° C bajo el valor actual de SP.

Para el desarrollo de esta práctica no se necesita conocer la ecuación de transferencia de la planta de temperatura, debido a que solo se tiene un actuador tipo ON-OFF , por lo que es necesario conocer únicamente la respuesta del sensor, la cual es indicada a continuación:

$$T(^{\circ}C) = \frac{TT - 4993}{277.7}$$

En base a esta ecuación, el control ON-OFF se reduce a comparar los alores del Set Point de tempera y la Variable de Proceso.

### 6.1.2 Lazo de control Baño B2, B4 o B6

En la segunda, cuarta y sexta etapa se realiza el lavado de residuos de suciedad mediante el enjuague bajo agua corriente. Por lo tanto, en el control de este proceso interviene únicamente la variable de Flujo.

Cumpliendo con las siguientes especificaciones técnicas del sistema:

- Rango de flujo del proceso: 0 a 1000  $cm^3/min$ .
- Rango de flujo de control (Set Point, SP): 500 a 600  $cm^3/min$ , según lo requerido.
- Precisión máxima:  $\pm 2\%$  del SP.
- Alarma alta, en control: 100  $cm^3/min$  sobre el valor actual de SP.
- Alarma baja, en control: 100  $cm^3/min$  bajo el valor actual de SP.

### 6.1.2.1.1 Respuesta del sensor

Lo primero a realizarse fue la determinación de la respuesta del transmisor de flujo (en  $cm^3/min$ ), en relación a la variable real del proceso; es decir, el flujo indicado por el medidor electromagnético visualizado localmente en el instrumento (en %). Se procedió a variar la válvula proporcional hasta que el medidor electromagnético marque 100% equivalente a 300 ( $cm^3/min$ ). Con el valor mostrado en las entradas analógicas del controlador (unidades crudas) por el flujómetro de rueda de paletas, se graficó la respuesta del sensor, como el comportamiento del mismo es lineal se extendió la recta hasta un valor de 1000 ( $cm^3/min$ ); se obtuvo la siguiente respuesta:

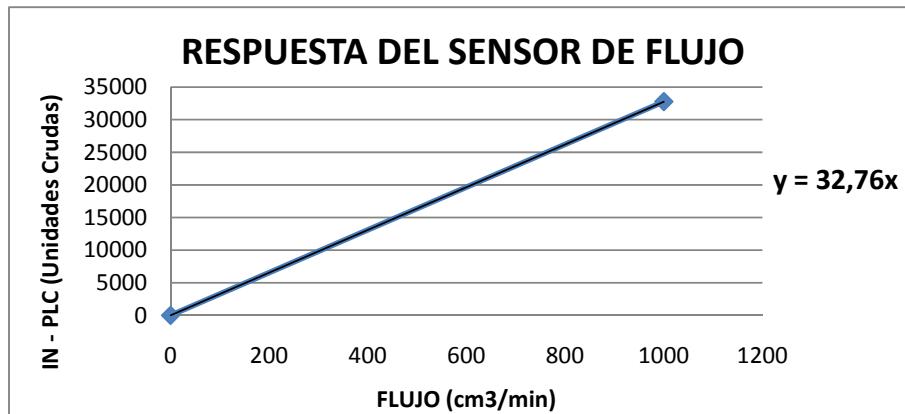


Figura. 6.12 Respuesta del sensor de flujo

### 6.1.2.1.2 Estrategia de Control

Una vez determinada la respuesta de lo que se puede medir en el proceso, se establece a la estrategia del control del mismo. En esta parte del proceso se utilizó la estrategia de control:

*Control proporcional, integral (PI)*

En vista de que el requerimiento principal del mismo es un error de  $\pm 100$   $cm^3/min$  (sobre la lectura actual), se debe tener en cuenta un control que tenga la ventaja de tener un error en estado estable que sea lo más aproximado a cero. Este requerimiento no se puede cumplir con un control TODO/NADA, ni tampoco con un control netamente proporcional, pues ambos tienen la desventaja de que el error en estado estable no llega a ser nunca cero. En tal virtud, se implementará un control PI que satisfaga los requerimientos determinados.

### 6.1.2.1.3 Modelamiento de la planta

Una vez determinados los requerimientos para el control deseado, es necesaria para la correcta aplicación del método de control un modelamiento adecuado del proceso que se requiere controlar; en este caso, la primera etapa de limpieza de suciedad.

Para este modelamiento se escogerá un método de estimación realizado con la función `ident` del programa MATLAB 7, explicado a detalle en la sección 6.1.1.1.3.

La válvula proporcional, actuador de la planta de control de flujo es un servomotor. Un servomotor es un motor de diseñado especialmente para sistemas de control en lazo cerrado, mostrado en la Figura 6.10.

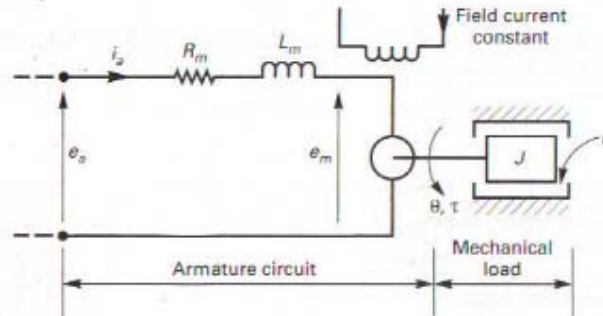


Figura. 6.13 Servomotor

De donde, la función de transferencia es de segundo orden y está dada por:

$$G(s) = \frac{K_\tau}{JR_m s^2 + (BR_m + K_\tau K_m)s} \quad (6-15)$$

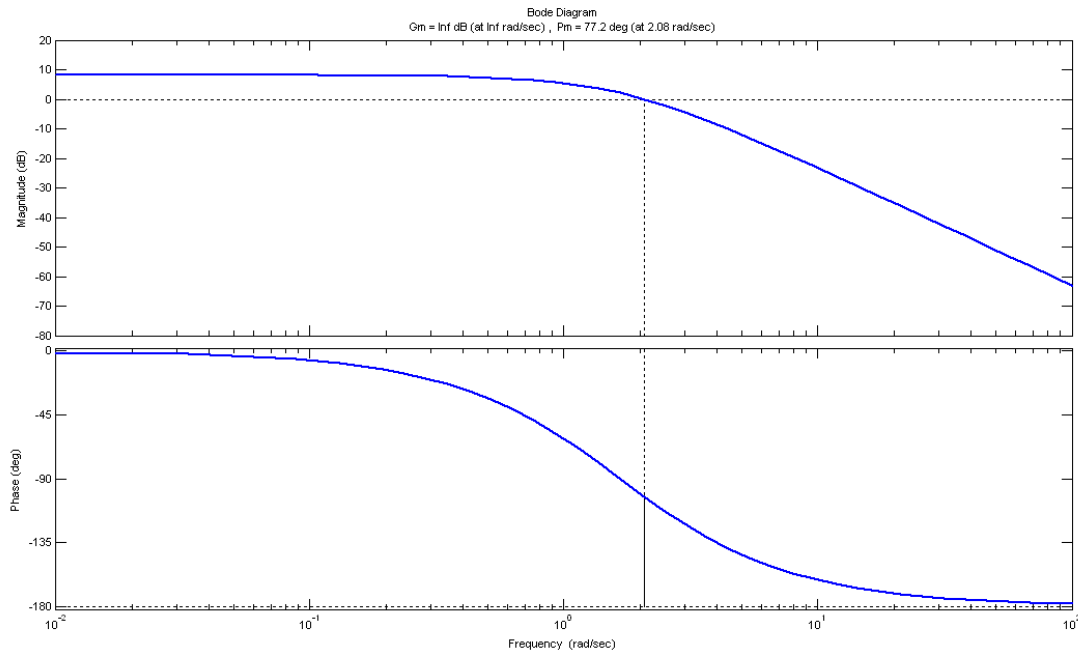
Debido a la función de este actuador se considera que la planta tendrá el mismo orden. De donde se estima que la función de transferencia de la planta de flujo para los baños de enjuague 2, 4, 6, es la siguiente:

$$G_p(s) = \frac{7.028}{s^2 + 3.296s + 2.761} \quad (6-16)$$

### 6.1.2.1.4 Diseño del controlador PI

Una vez obtenida la planta del proceso, se procedió a diseñar el controlador PI utilizando el método de respuesta en frecuencia.

En consecuencia, el diagrama de Bode de la planta de flujo de los Baños 2, 4, 6, es el siguiente:



**Figura. 6.14 Diagrama de Bode planta de flujo Baño 2, 4 o 6**

Observando que el  $\phi_m = 77.2^\circ$ , por lo que se procura llevar al sistema a un margen de fase deseado  $\phi_{md} = 90^\circ$ , de donde:

$$\angle G_p(j\omega_1)H(j\omega_1) = -180^\circ + 90^\circ + 5^\circ$$

$$\angle G_p(j\omega_1)H(j\omega_1) = -85^\circ$$

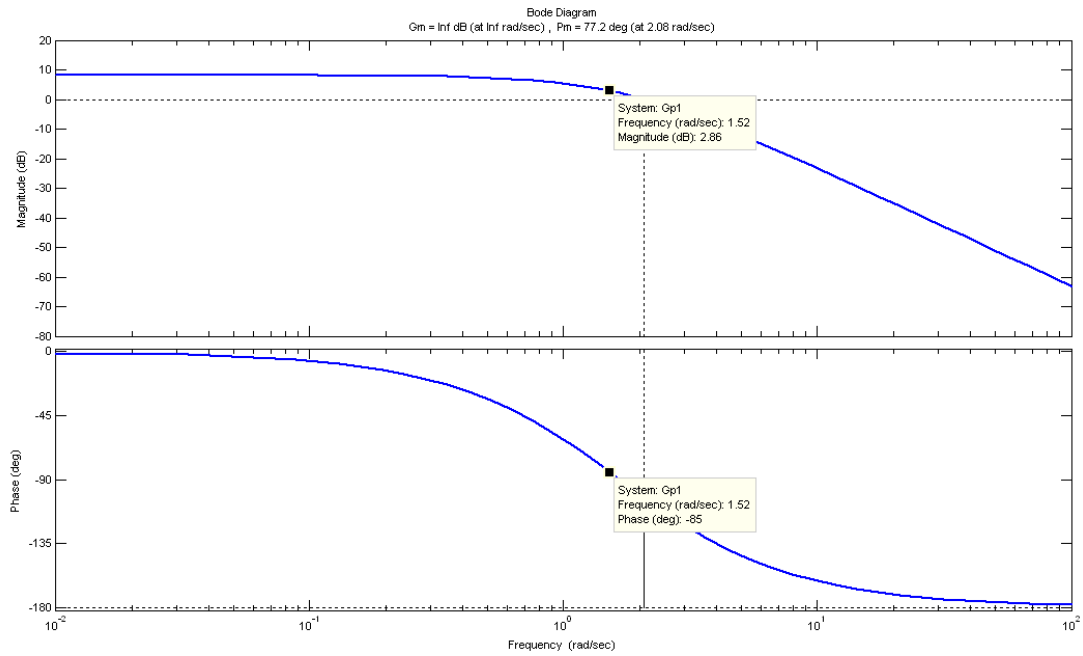


Figura. 6.15 Diagrama de Bode

Y mediante el diagrama de Bode se estableció:

$$|G_p(j\omega_1)|_{dB} = 2.86dB$$

$$\omega_1 = 1.52 \text{ rad/seg}$$

Remplazando estos valores en las ecuaciones (6.5) y (6.7), las constantes del controlador PI son:

$$K_p = 10^{-|2.86|dB/20}$$

$$K_p = 0.7203$$

$$K_i = 0.1 * 1.52 * 0.7203$$

$$K_i = 0.1095 \text{ (seg)}$$

Estos valores se cargan a los registros de la instrucción PID \_Flujo mediante la pantalla de ingeniería detallada en la siguiente sección, desde la HMI.

## **6.2 PRUEBAS EXPERIMENTALES DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PS-2800**

### **6.2.1 Pruebas experimentales de los componentes de la estación**

#### **6.2.1.1 Reconocimiento de los sensores**

Al implementar una nueva tecnología en la estación de procesos que funcionaba con un controlador Modicon es indispensable reconocer los sensores con los que cuenta la estación, con el fin de verificar el estado actual de los mismos.

Para desarrollar esta actividad se realizó el cableado en forma paralela al módulo de entradas del controlador CompactLogix con la finalidad de identificar los sensores y determinar su utilidad dentro de la estación.

#### **6.2.1.2 Reconocimiento de los actuadores**

De igual manera, es necesario identificar las salidas que activan a los actuadores y verificar su funcionamiento.

Para el reconocimiento de los actuadores fue necesario conectarlos únicamente al módulo de salidas del controlador CompactLogix, comprobando su buen estado.

### **6.2.2 Pruebas experimentales de la Red EtherNet/IP**

#### **6.2.2.1 Mensajes de lectura o escritura**

Para recibir un mensaje de lectura o escritura se debe mantener los mismos nombres de los Controller Tags en los campos de Origen y Destino entre los controladores que efectúan la comunicación.

La instrucción MSG realiza un proceso de lectura o escritura cuando se encuentra energizada, por tanto, si la aplicación requiere un escán periódico es necesario utilizar un temporizador.

## **6.3 RESULTADO EXPERIMENTAL**

### **6.3.1 Brazo robótico**

- Después del reconocimiento de los sensores logramos el correcto funcionamiento del brazo robótico, evitando trabar los motores cuando se opera en modo Semiautomático o Automático.
- Cuando se trabaja en modo Manual usando el control manual externo (Manipulator Manual Operation) se sugiere prestar atención porque es posible forzar los motores.
- Es necesario tener una rutina de inicialización (Home) que dirige al brazo robótico a una posición inicial que permite ejecutar las secuencias sin cometer ningún error.

### **6.3.2 Red EtherNet/IP**

- Después de asignar la dirección IP al PLC y con la ayuda del programa RS Linx, verificamos que el equipo es parte de la red del C.I.M. 2000.
- Para programar al controlador es necesario integrar la PC a la red del CIM 2000.

### **6.3.3 Lazos de control**

#### **6.3.3.1 Control ON-OFF**

Al igual que la mayoría de controles que se implementan en la industria para control de temperatura la estación de procesos tiene implementado un control de temperatura ON-OFF, el cual permite que se mantenga dentro de un rango de temperatura de 40 a 60 °C.

Para realizar este control no es necesario conocer la planta, basta conocer la respuesta del sensor RTD.



Como características presentes en este sistema se determino que es un sistema lento, el tiempo de estabilización depende de la temperatura a la que se encuentra el agua corriente antes de comenzar el control, es así que si se trata del primer control del día y el agua se encuentra a temperatura ambiente, el tiempo en alcanzar el Set Point puede variar de 10 a 15 minutos dependiendo del Set Point.

Otra característica importante en esta planta es la presencia de un radiador que ayuda a enfriar el agua cuando la temperatura de esta ha sobrepasado el Set Point, acelerando el proceso de enfriamiento.

A continuación se describe ocurre en cada uno de los estados indicados a cotinuación:

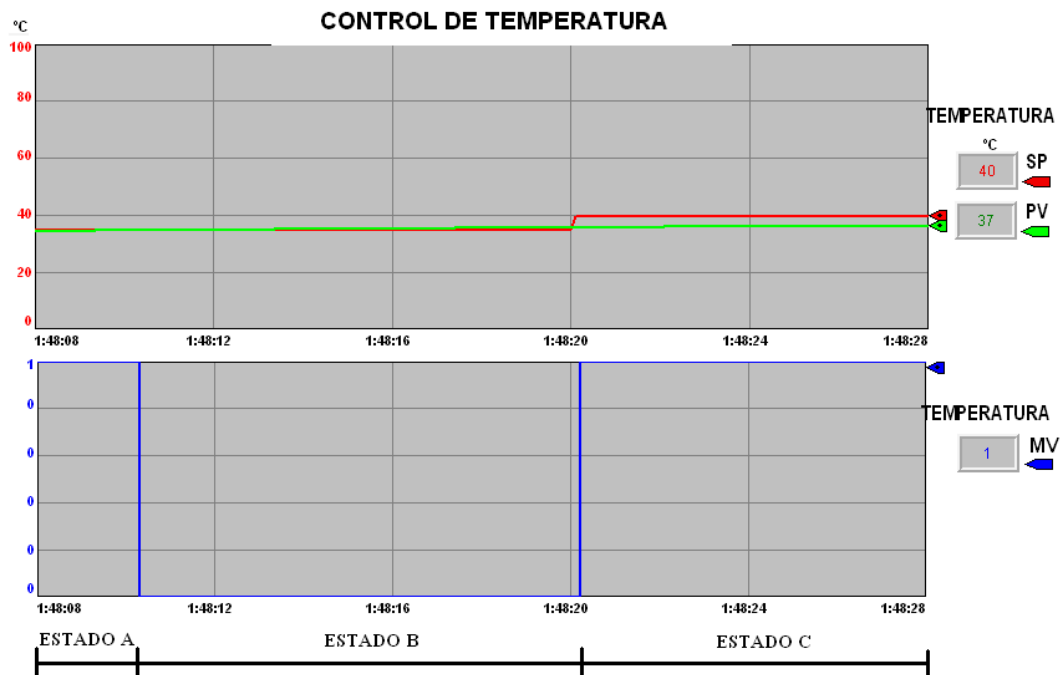


Figura. 6.16 Control ON-OFF

Estado A: La variable de proceso no alcanza el valor del Set Point, en consecuencia el actuador se mantiene encendido hasta que se igualen estos valores.

Estado B: La variable de proceso alcanza el valor del Set Point, por lo tanto, el actuador se apaga. Sin embargo, como el control de temperatura es un proceso lento se observa que la temperatura esta sobrepasando el valor del Set Point.

Estado C: Se produce cambio de un Set Point por tal razón se vuelve encender el actuador hasta que la variable de proceso alcance este valor.

### 6.3.3.2 Control PI DE FLUJO

Al aplicar los valores de las constantes calculadas anteriormente utilizando el control PI para controlar el flujo de agua corriente de los baños de enjuague, se observó que el sistema se encuentra estable, la variable de proceso alcanza el valor del Set Point con un error de estado estable inferior al 2% del S.P. Además, la acción de la variable manipulada sobre el actuador no presenta cambios bruscos que puedan afectar a su funcionamiento.

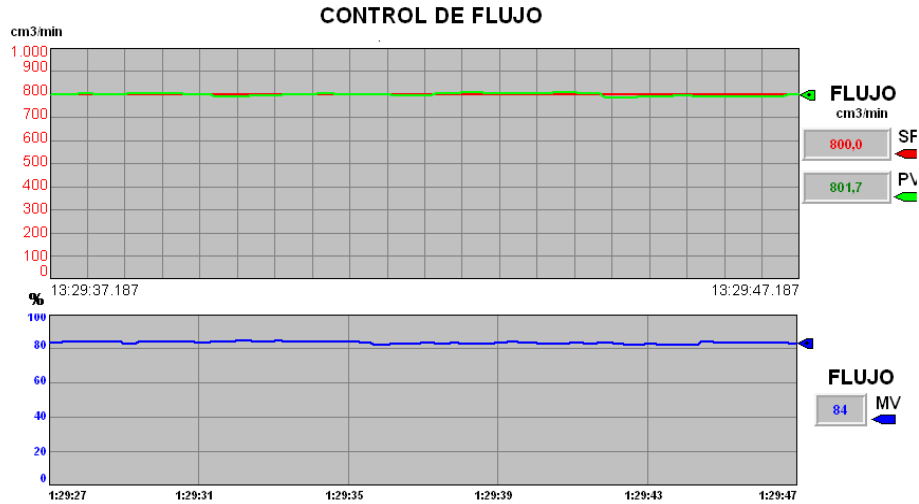


Figura. 6.17 Respuesta del sistema en lazo cerrado y estado estable

El tiempo de establecimiento depende de la variación aplicada al valor del Set Point debido a que la acción integral es poco energética y su efecto es paulatino, con los que se obtuvieron tiempos de establecimiento entre un rango de 10 a 40 segundos.

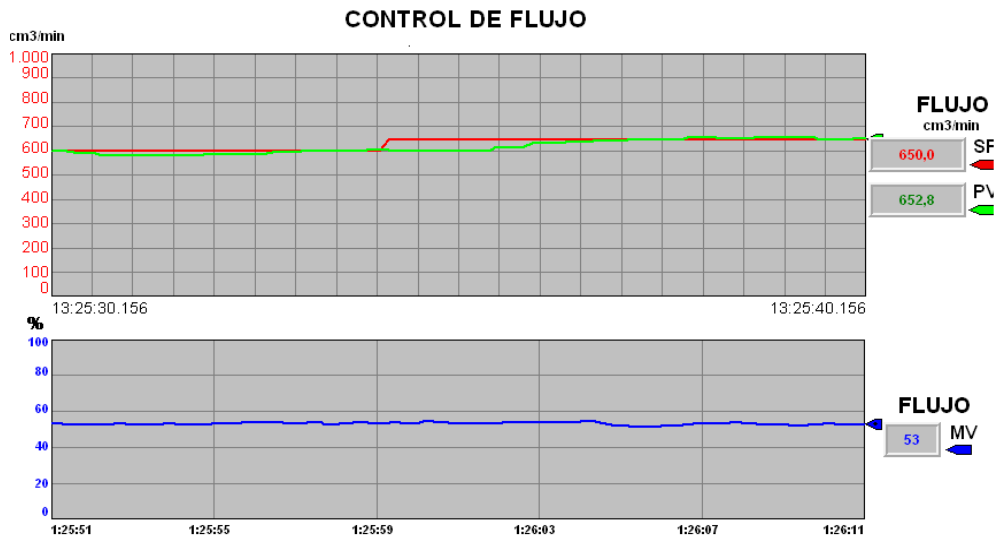


Figura. 6.18 Respuesta del sistema en lazo cerrado ante una variación del Set Point

### 6.3.3.3 Control SOBREPOSICIÓN BAÑO 1

Debido a los requerimientos de control determinados para la primera etapa de limpieza y revestimiento de la estación de procesos, fue necesario realizar un control de superposición, seleccionando la mayor de las variables manipulada.

Se seleccionó esta técnica debido a la presencia de dos variables manipuladas independientes (flujo y nivel) que dependen directamente de la misma variable manipulada del motor de D.C, ya que como requerimiento básico para el control de flujo es necesario que el nivel de liquido del Baño 1 se encuentre sobre los 20 cm, a fin de recubrir el cilindro a ser tratado.

#### COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA

Como se observa en la figura 6.18, el control aplicado en el Baño 1 no genera sobrepicos ante el cambio de valor de Set Point, además se cuenta con un tiempo de establecimiento inferior a 9 segundos que puede variar hasta 30 segundos dependiendo del cambio que se pueda dar en el Set Point. y con un error de estado estable inferior al 2% del valor de Set Point, parámetros considerados adecuados para el proceso.

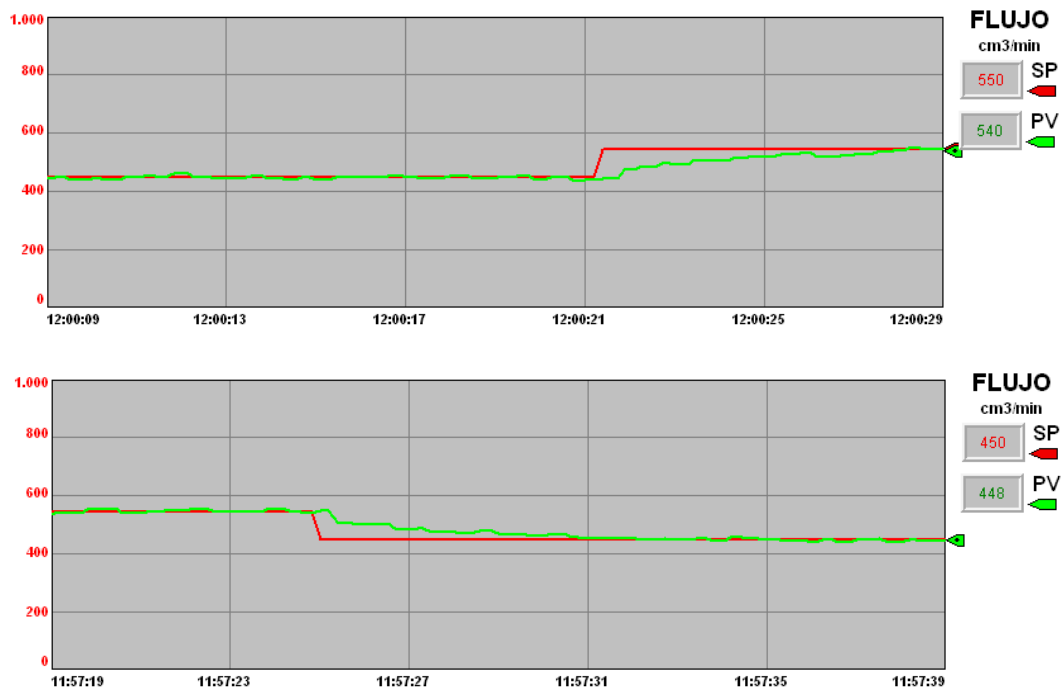


Figura. 6.19 Control por Superposición aplicado en la primera etapa de limpieza y revestimiento

La respuesta del sistema controlado por superposición es ideal, debido a la buena selección de los parámetros de control tanto para el compensador de nivel como de flujo, logrando así, que la variable manipulada de estos dos sistemas se corten casi con la misma pendiente lo que permite una mejor acción del actuador, a continuación se muestra la intersección de estas variables.

Además se observa que en condiciones de seguridad es decir cuando el nivel es inferior a los 20 cm, se efectúa el control de nivel, y cuando el sistema está en condiciones normales de trabajo se realiza el control de flujo.

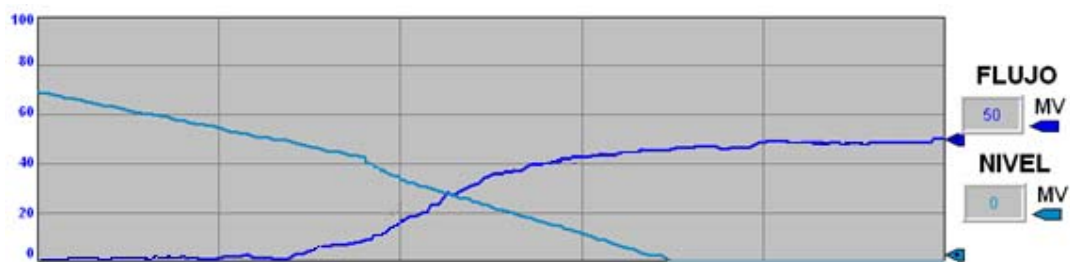


Figura. 6.20 Intersección de la variable manipulada de flujo y nivel

## 6.4 RESOLUCIÓN DE LAS PRÁCTICAS

### 6.4.1 Control ON-OFF

#### PRÁCTICA # 1

#### CONTROL DE TEMPERATURA DEL BAÑO 1 EN LA ESTACIÓN DE CONTROL DE PROCESOS (PS-2800)

### 1. DESARROLLO

Para la resolución de esta práctica no se necesita conocer la ecuación de transferencia de la planta de temperatura, debido a que solo se tiene un actuador tipo ON-OFF, por lo que es necesario conocer únicamente la respuesta del sensor, la cual es indicada a continuación:

$$T(^{\circ}C) = \frac{TT - 4993}{277.7}$$

En base a esta ecuación, el control ON-OFF se reduce a comparar los valores del Set Point de tempera y la Variable de Proceso.

#### 1.1. Lógica de control

Basándonos en los requerimientos determinados se considera la siguiente lógica de control para esta práctica.

#### MainRoutine

Contiene la rutina de encendido y modo de operación de todo el sistema.

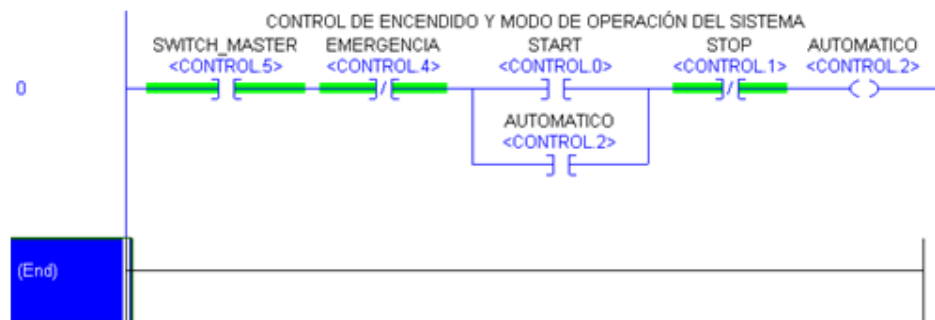
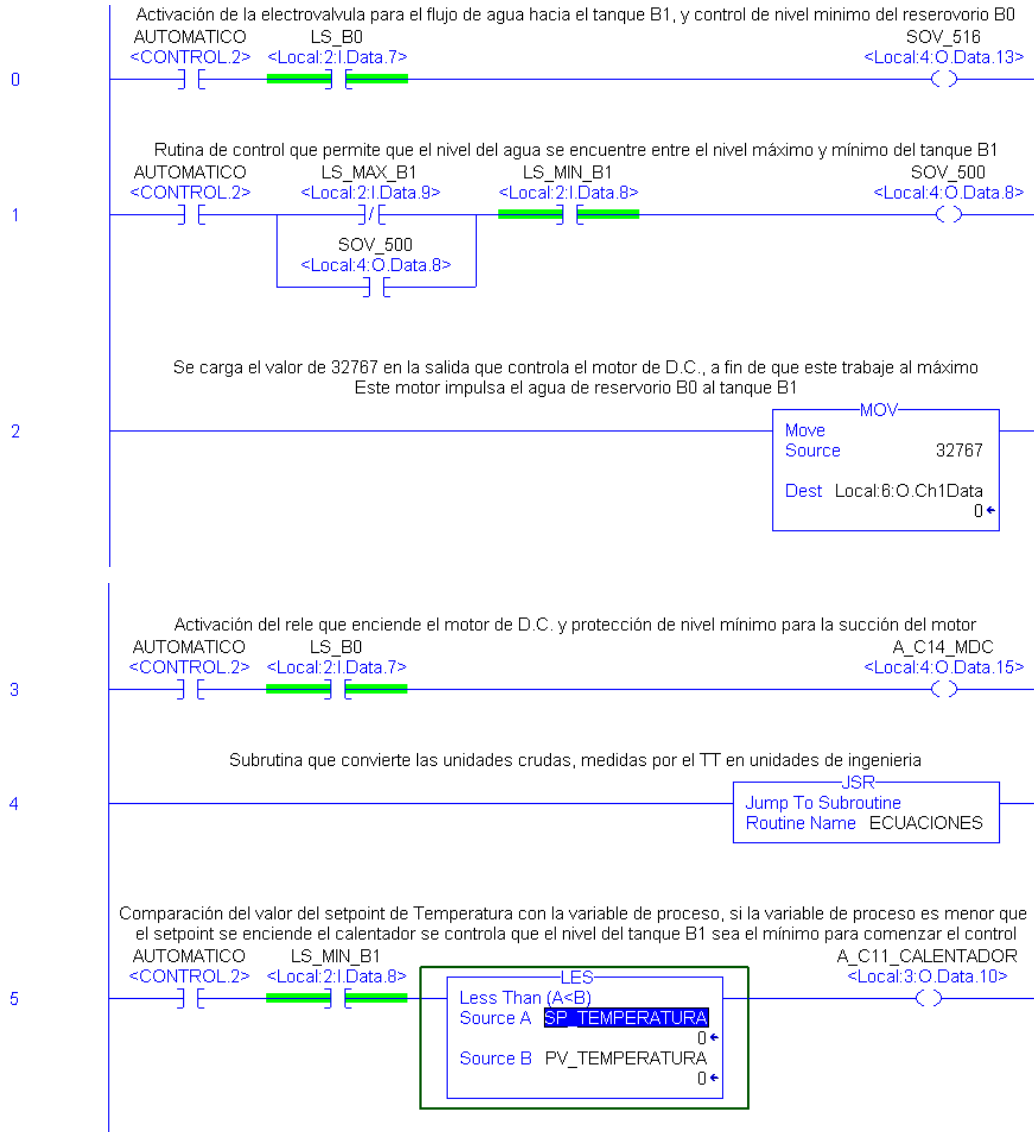


Figura. 6.21 Rutina de encendido y modo de operación

**BANO\_1\_T**

Este es un programa periódico que contiene el control On-Off de Temperatura, y todos los requerimientos de la práctica.



**Figura. 6.22 Programa periódico del control ON-OFF de temperatura**

La subrutina ECUACION\_ALARMAS contiene la ecuación del sensor que transforma las unidades crudas leídas por el transmisor de temperatura en unidades de ingeniería y determina cuando se activan las alarmas del sistema.

//CONVERSIÓN

PV\_TEMPERATURA := (TT-4993)/277.77;

```

// ALARMA_BAJA
ALARMA_BAJA := SP_TEMPERATURA - 5;
IF PV_TEMPERATURA <= ALARMA_BAJA THEN
    A_BAJA := 1;
ELSE
    A_BAJA := 0;
END_IF;
// ALARMA_ALTA
ALARMA_ALTA := SP_TEMPERATURA + 5;
IF PV_TEMPERATURA <= ALARMA_ALTA THEN
    A_ALTA := 1;
ELSE
    A_ALTA := 0;
END_IF;

```

### Lazo de control

Para finalizar el control de temperatura el sistema físico implementado sería el siguiente:

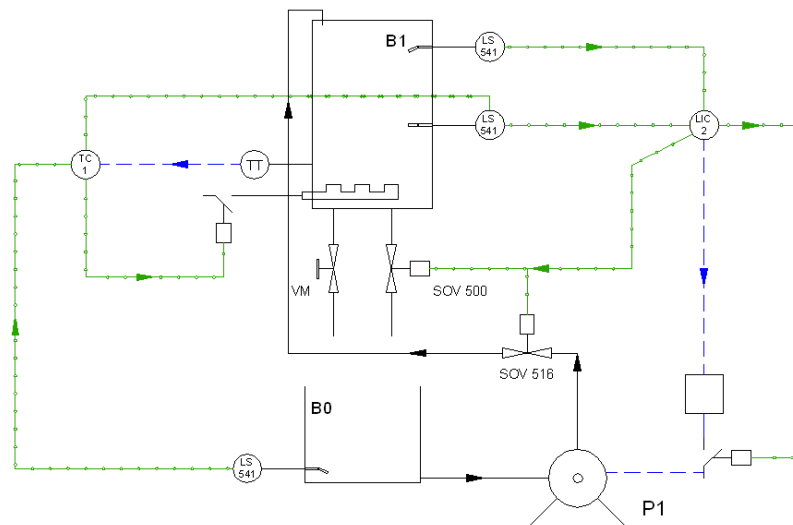


Figura. 6.23 Lazo de control ON-OFF de temperatura

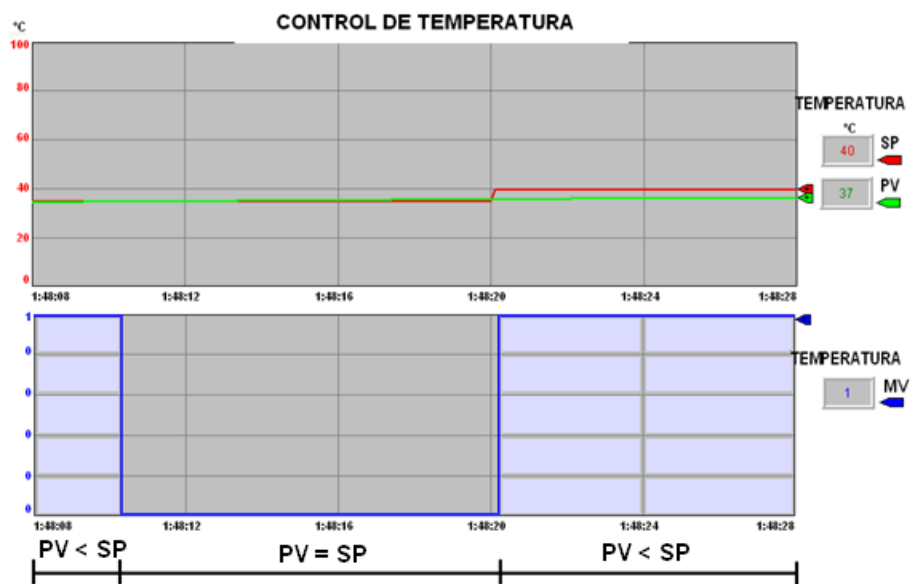
## 2. CUESTIONARIO

### 2.1. Describa las características del control ON-OFF

- El control On-Off es la forma más simple de controlar.

- El elemento controlador está conmutado para acción de dos pasos o "encendido-apagado".
- La señal de control sólo puede tomar dos valores.
- La conmutación de la señal de control se realiza fundamentalmente al cambiar el error de signo.

**2.2. Basado en la experiencia obtenida en la práctica, elabore un gráfico del comportamiento del actuador con respecto al tiempo.**



**2.3. Observando el gráfico anterior, indique cuales son los posibles efectos ocasionados al actuador.**

- Desgaste mecánico
- Corta vida útil del actuador
- Aumento del costo de producción



## 6.4.2 Control PI

### PRÁCTICA # 2

#### CONTROL DE FLUJO DEL BAÑO 4 PARA ENJUAGUE EN LA ESTACIÓN DE CONTROL DE PROCESOS (PS-2800)

#### 1. DESARROLLO

Como se pide en esta práctica la técnica de control que se aplicara es un control PI, debido a que esta planta si cuenta con actuadores y sensores analógicos que permiten este tipo de control.

A fin de determinar las constantes del controlador PI que compensaran esta planta, es necesario utilizar un método de sintonización, en este caso se selecciona el método de respuesta a la frecuencia, debido a que este sistema tiene una planta de segundo orden.

En la sección 6.1.2.1.3 se obtuvo el modelo matemático de la función de transferencia de la planta de flujo para los baños de enjuague 2, 4, 6, mostrada a continuación:

$$G_p(s) = \frac{7.028}{s^2 + 3.296s + 2.761}$$

En consecuencia, el diagrama de Bode de la planta de flujo de los Baño 4, es el siguiente:

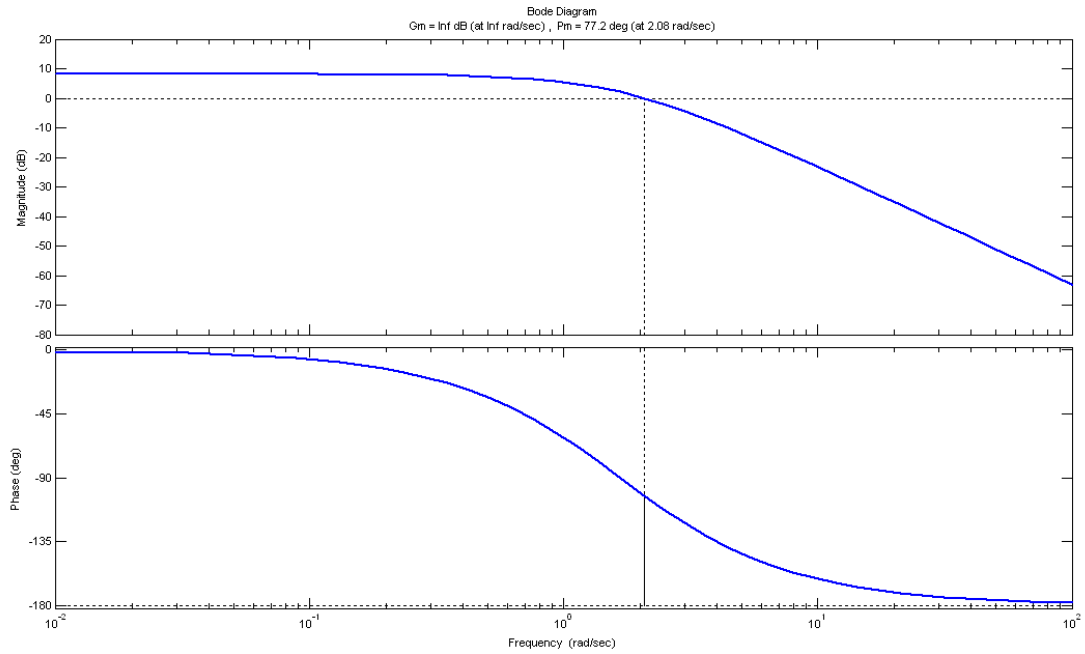


Figura. 6.24 Diagrama de Bode planta de flujo Baño 2, 4 o 6

Observando que el  $\phi_m = 77.2^\circ$ , por lo que se procura llevar al sistema a un margen de fase deseado  $\phi_{md} = 90^\circ$ , de donde:

$$\angle G_p(j\omega_1)H(j\omega_1) = -180^\circ + 90^\circ + 5^\circ$$

$$\angle G_p(j\omega_1)H(j\omega_1) = -85^\circ$$

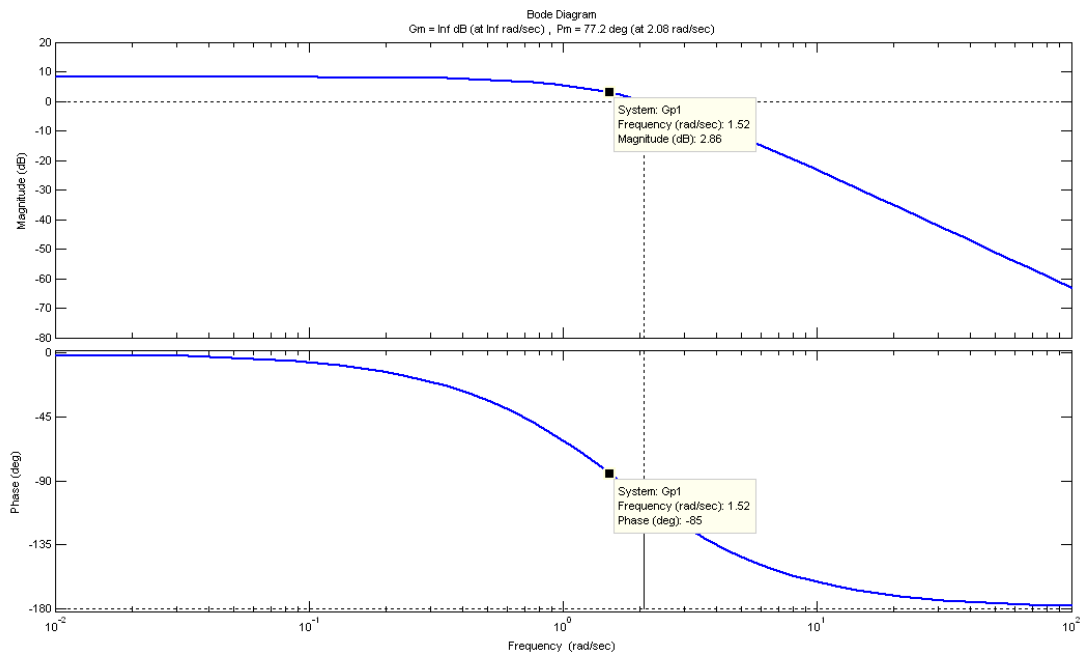


Figura. 6.25 Diagrama de Bode

Y mediante el diagrama de Bode se estableció:

$$|G_p(j\omega_1)|_{dB} = 2.86dB$$

$$\omega_1 = 1.52 \text{ rad/seg}$$

Remplazando estos valores en las ecuaciones (6.5) y (6.7), las constantes del controlador PI son:

$$Kp = 10^{-|2.86|dB/20}$$

$$Kp = 0.7203$$

$$Ki = 0.1 * 1.52 * 0.7203$$

$$Ki = 0.1095 \text{ (seg)}$$

### 1.1. Lógica de control

Basado en los requerimientos y precauciones que se deben considerar para esta práctica, se realiza la siguiente lógica de control.

#### MainRoutine

Contiene la rutina de encendido y modo de operación de todo el sistema.

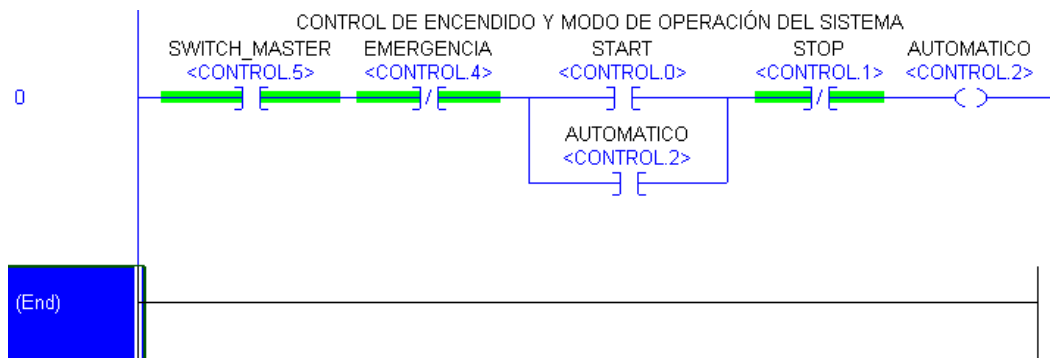


Figura. 6.26 Rutina de encendido y modo operación

## BANOS

Programa periódico que contiene la lógica de control necesaria para el funcionamiento del sistema y el bloque de control PID.

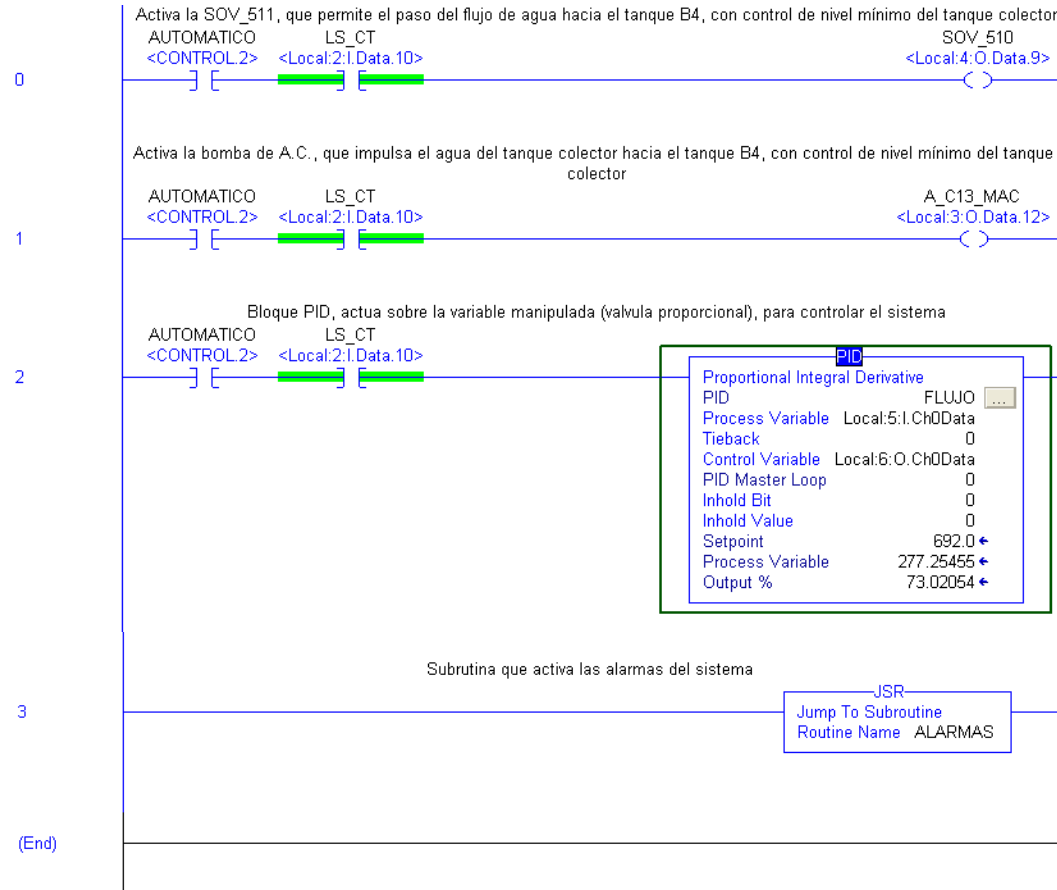


Figura. 6.27 Rutina periódica del lazo de control PI de flujo

La programación para la determinación de las alarmas fue la siguiente.

```
// ALARMA_BAJA
ALARMA_BAJA := FLUJO.SP - 100;
IF FLUJO.PV <= ALARMA_BAJA THEN
    A_BAJA := 1;
ELSE
    A_BAJA := 0;
END_IF;
// ALARMA_ALTA
ALARMA_ALTA := FLUJO.SP + 100;
```

```

IF FLUJO.PV <= ALARMA_ALTA THEN
    A_ALTA := 1;
ELSE
    A_ALTA := 0;
END_IF;

```

Las constantes aplicadas al bloque PID son las mostradas en la figura 6.16, que se determinaron mediante la combinación del método de respuesta al escalón y su reajuste.

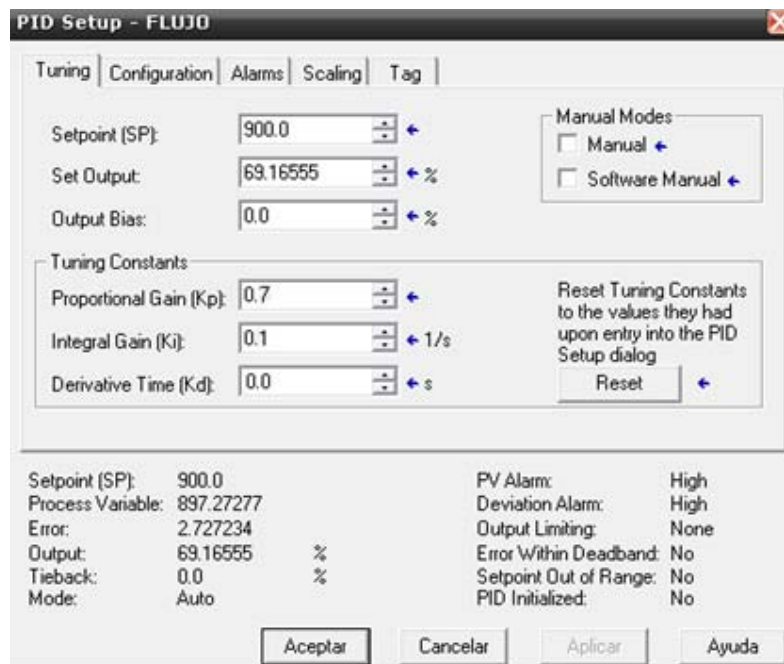


Figura. 6.28 Valores de los parámetros guardados en la instrucción PID\_FLUJO

### Lazo de control

Para finalizar esta práctica el sistema físico de control implementado es el siguiente:

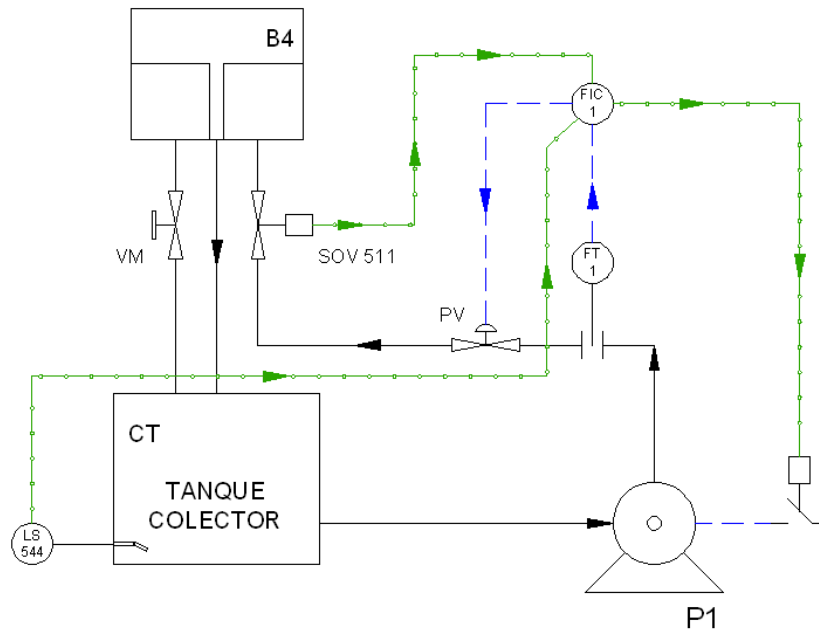


Figura. 6.29 Lazo de control PID de flujo

## 2. CUESTIONARIO

### 2.1. Describa las características del control PI

Un controlador tipo PI se caracteriza por la siguiente función de transferencia:

$$G_C(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

Por lo tanto este es un controlador de atraso, lo que mejora las características del control en estado estacionario ya que permite que la salida del controlador tenga un valor diferente de cero cuando la señal de error es cero, pero al incrementar en uno el tipo de sistema compensado provoca que este sistema sea menos estable e incluso puede llegar a la inestabilidad.

Además la respuesta del controlador PI es más lenta, ya que este es un filtro pasa bajos, que atenúa las componentes de frecuencia alta de la señal, pero esto puede ser una gran ventaja con señales con mucho ruido.

En conclusión:

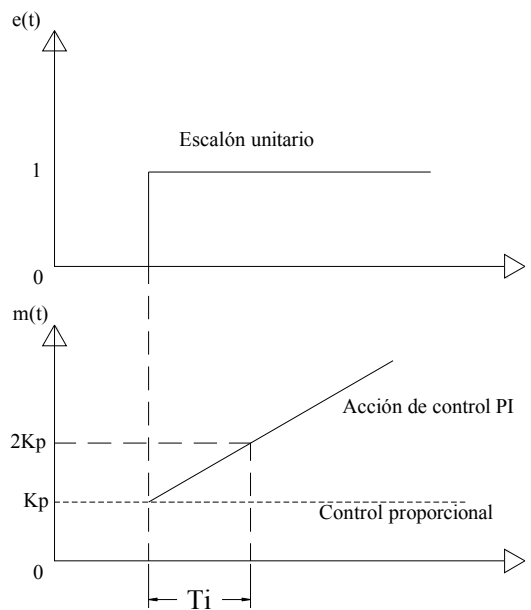
- Permite anular el error en régimen permanente.
- Implica un retraso: tiende a la inestabilidad.

- A menor  $T_i$  más rápido se anula el error, pero el sistema tiende a ser más inestable.

## 2.2. ¿Qué es la velocidad de reajuste en un controlador PI?

La velocidad de reajuste se define como el inverso del tiempo de integración. Siendo la cantidad de veces por minuto que se duplica la parte proporcional de la acción de control, así la velocidad de reajuste se mide en términos de las repeticiones por minuto.

A continuación se muestra la salida de un controlador PI ante una entrada de un escalón unitario.



## 2.3. ¿Por qué no se recomienda el uso de un control PID, para procesos de control de flujo?

El control de flujo es un proceso con constantes rápidas e inmune al ruido, por lo que la parte derivativa del control PID, puede producir que estas variaciones pequeñas produzcan cambios muy grandes a la salida del controlador, afectando a los actuadores, la solución a este problema es añadir un filtro pasa bajos que atenúe las componentes de altas frecuencia del ruido, lo que conlleva a aumentar el control integral, con lo que prácticamente se anularía la acción derivativa.

### 6.4.3 Control por sobreposición

#### PRÁCTICA # 3

#### CONTROL DE FLUJO DEL BAÑO 1 PARA LIMPIEZA EN LA ESTACIÓN DE CONTROL DE PROCESOS (PS-2800)

##### 1. DESARROLLO

Los requerimientos de control determinados para el Baño 1 de la estación de procesos, indica que es necesario realizar un control por superposición seleccionando la mayor de las variables manipulada, se seleccionó esta técnica al existir dos variables manipuladas independientes (flujo y nivel) que dependen directamente de la variable manipulada del motor de D.C.

En esta práctica existirán dos controladores, un controlador de flujo que será denominado primario y un controlador de nivel denominado secundario, la mayor señal de salida entre estos controladores será aplicada al actuador. Lo que hace necesario el análisis independiente de cada uno de los controladores.

##### 1.1. CONTROL DE FLUJO

En base al procedimiento indicado en la sección 6.1.1.1.3, se estimo que la función de transferencia de la planta de flujo para el baño 1, es la siguiente:

$$G_p(s) = \frac{2.327}{s + 1.394}$$

En consecuencia, el diagrama de Bode de la planta de flujo del Baño 1 es el siguiente:



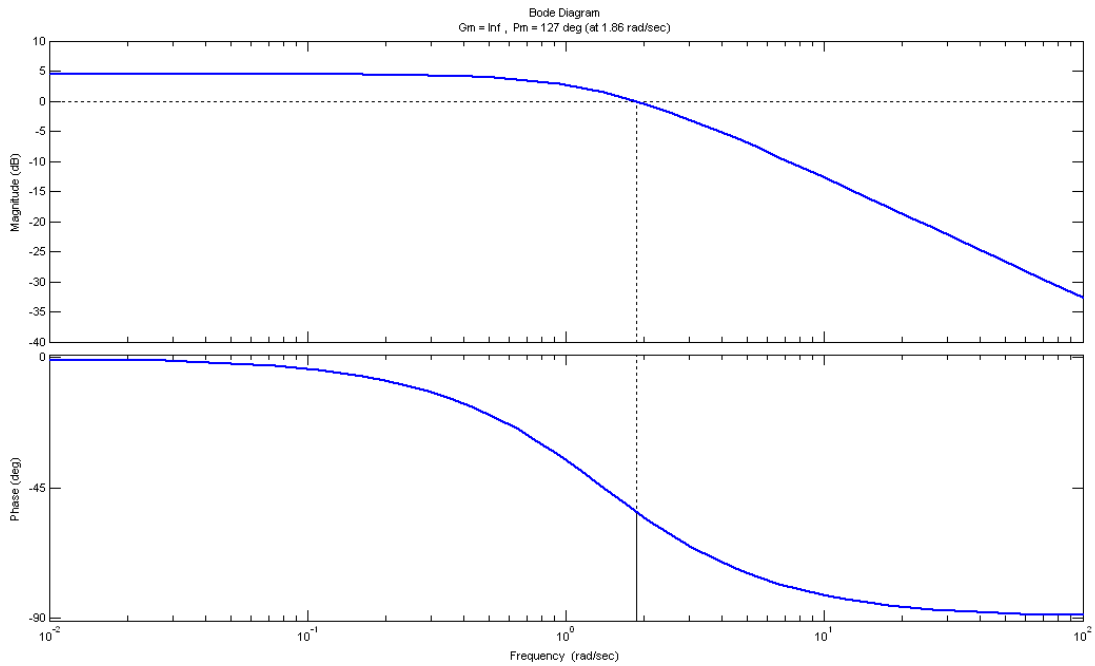


Figura. 6.30 Diagrama de Bode planta de flujo Baño 1

Observando que el  $\phi_m = 127^\circ$ , por lo que se procura llevar al sistema a un margen de fase deseado  $\phi_{md} = 150^\circ$ , de donde:

$$\angle G_p(j\omega_1)H(j\omega_1) = -180^\circ + 150^\circ + 5^\circ$$

$$\angle G_p(j\omega_1)H(j\omega_1) = -25^\circ$$

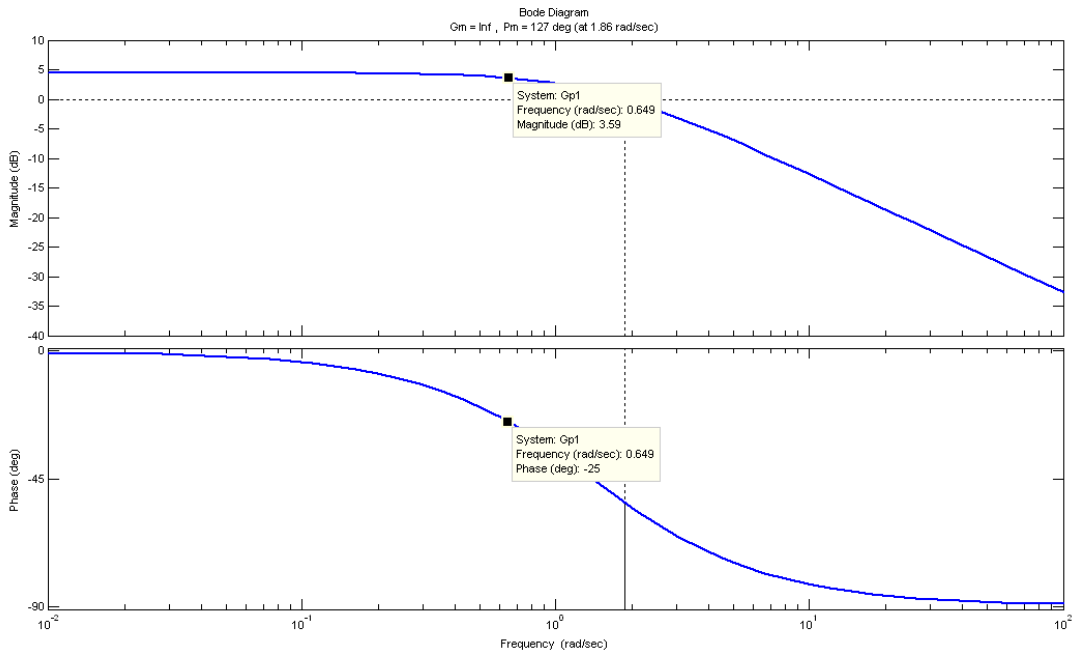


Figura. 6.31 Parámetros: margen de fase y ángulo de fase

Y mediante el diagrama de Bode se estableció:

$$|G_p(j\omega_1)|_{dB} = 3.59dB$$

$$\omega_1 = 0.649 \text{ rad/seg}$$

Remplazando estos valores en las ecuaciones (6.5) y (6.7), las constantes del controlador PI son:

$$Kp = 10^{-|3.59|dB/20}$$

$$Kp = 0.6615$$

$$Ki = 0.1 * 0.649 * 0.6615$$

$$Ki = 0.0429 \text{ (seg)}$$

## 1.1. CONTROL DE NIVEL

Anteriormente en la sección 6.1.1.1.5, se determinó que el modelo de planta es de segundo orden y con los valores de la variable manipulada y la variable de proceso se obtuvo que la función de transferencia es la siguiente:

$$Gp(s) = \frac{14.5669s + 26.3069}{s^2 + 13.4642s + 12.4621}$$

El diagrama de Bode de la planta de Nivel del Baño 1 es el siguiente:

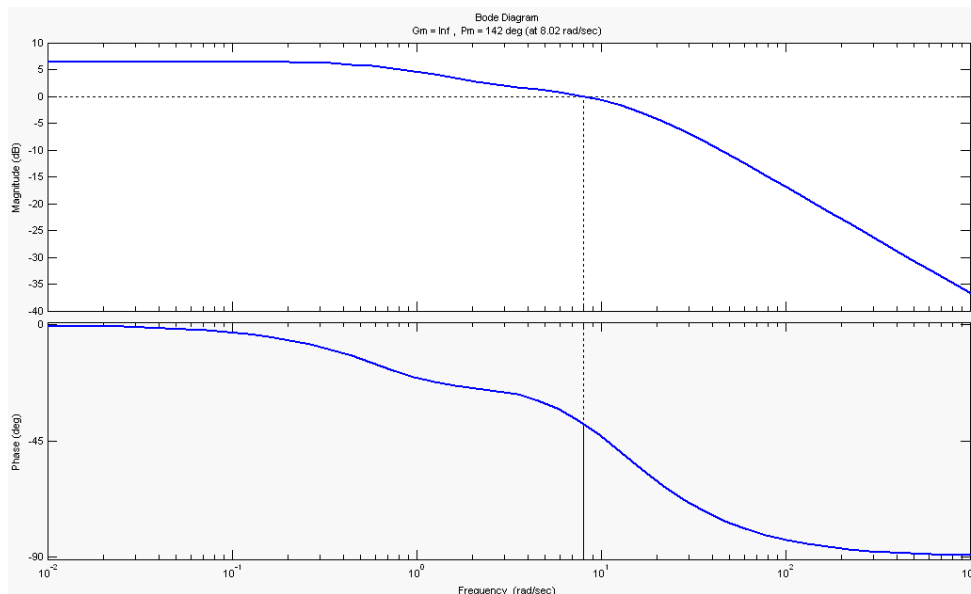


Figura. 6.32 Diagrama de Bode planta de nivel

Observando que el  $\phi_m = 142^\circ$ , por lo que se procura llevar al sistema a un margen de fase deseado  $\phi_{md} = 160^\circ$ , de donde:

$$\angle G_p(j\omega_1)H(j\omega_1) = -180^\circ + 160^\circ + 5^\circ$$

$$\angle G_p(j\omega_1)H(j\omega_1) = -15^\circ$$

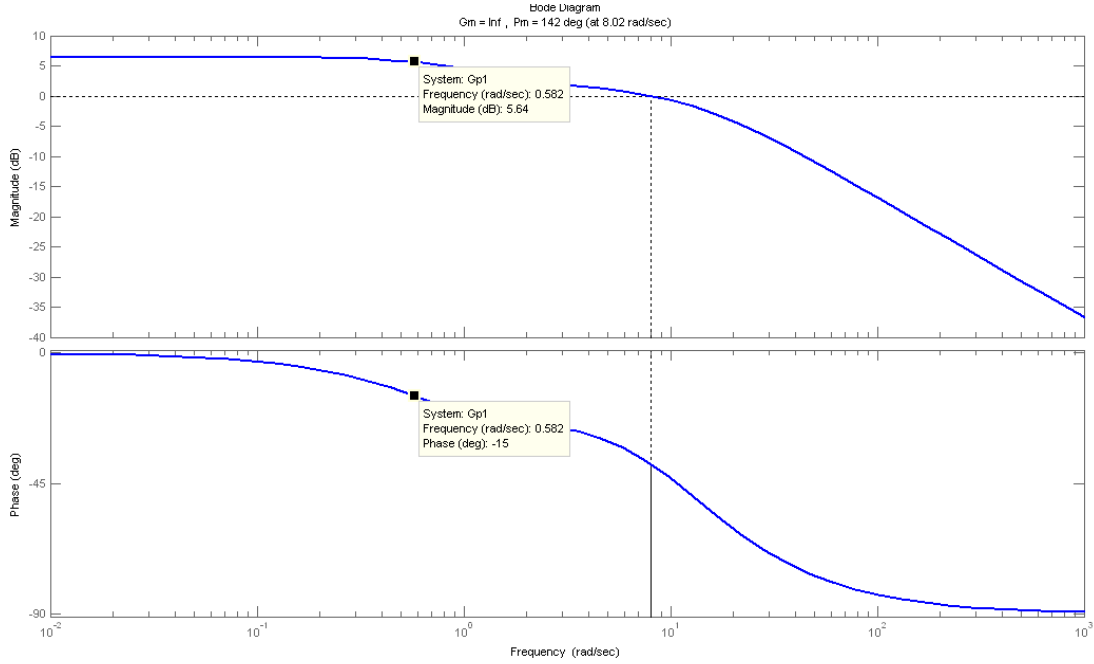


Figura. 6.33 Parámetros: margen de fase y ángulo de fase

Y mediante el diagrama de Bode se estableció:

$$|G_p(j\omega_1)|_{dB} = 5.64dB$$

$$\omega_1 = 0.582 \text{ rad/seg}$$

Remplazando estos valores en las ecuaciones (6.5) y (6.7), las constantes del controlador PI son:

$$Kp = 10^{-|5.64|dB/20}$$

$$Kp = 0.5224$$

Con el valor anteriormente diseñado, se procedió a experimentar el control en la planta, se recurrió al ajuste de este valor de control porque es necesario que el tiempo de levantamiento disminuya logrando una respuesta inicial rápida considerando que el sistema no se torne oscilatorio. De este procedimiento se llegó al siguiente valor final para el controlador de este proceso:

$$Kp = 3.25$$

### 1.2. Lógica de control

Con la obtención de las constantes de los controladores de flujo y nivel, solo resta aplicar la siguiente lógica de control en el controlador.

#### MainRoutine

Contiene la rutina de encendido y modo de operación de todo el sistema.

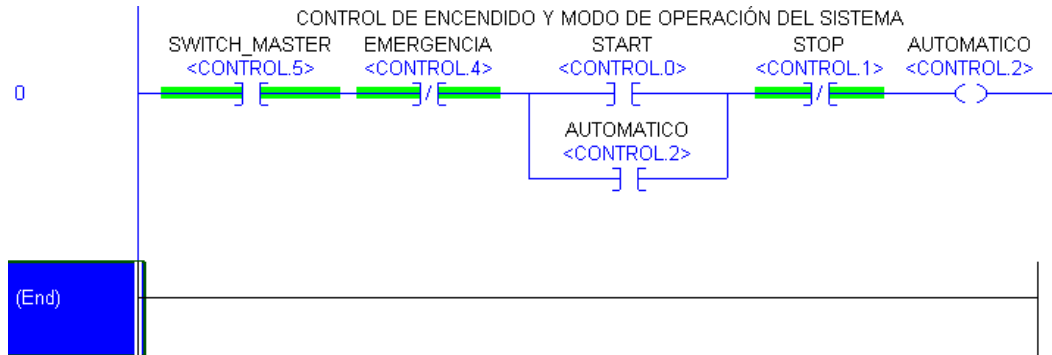
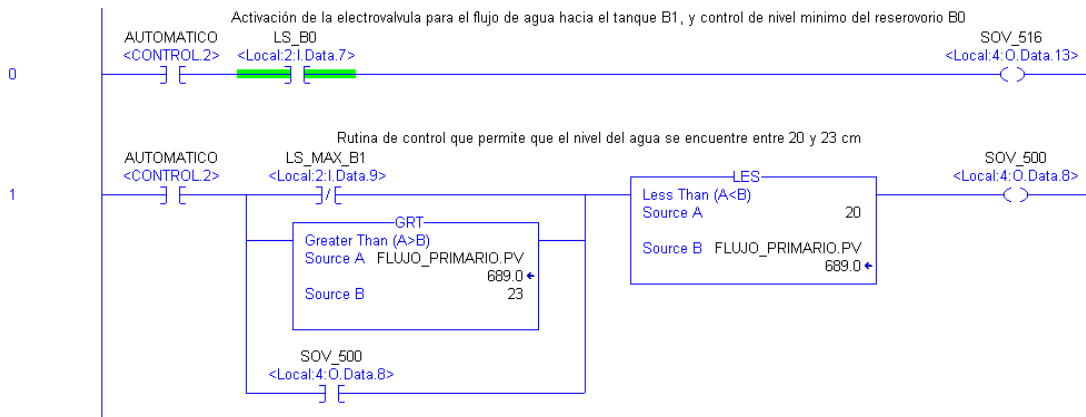


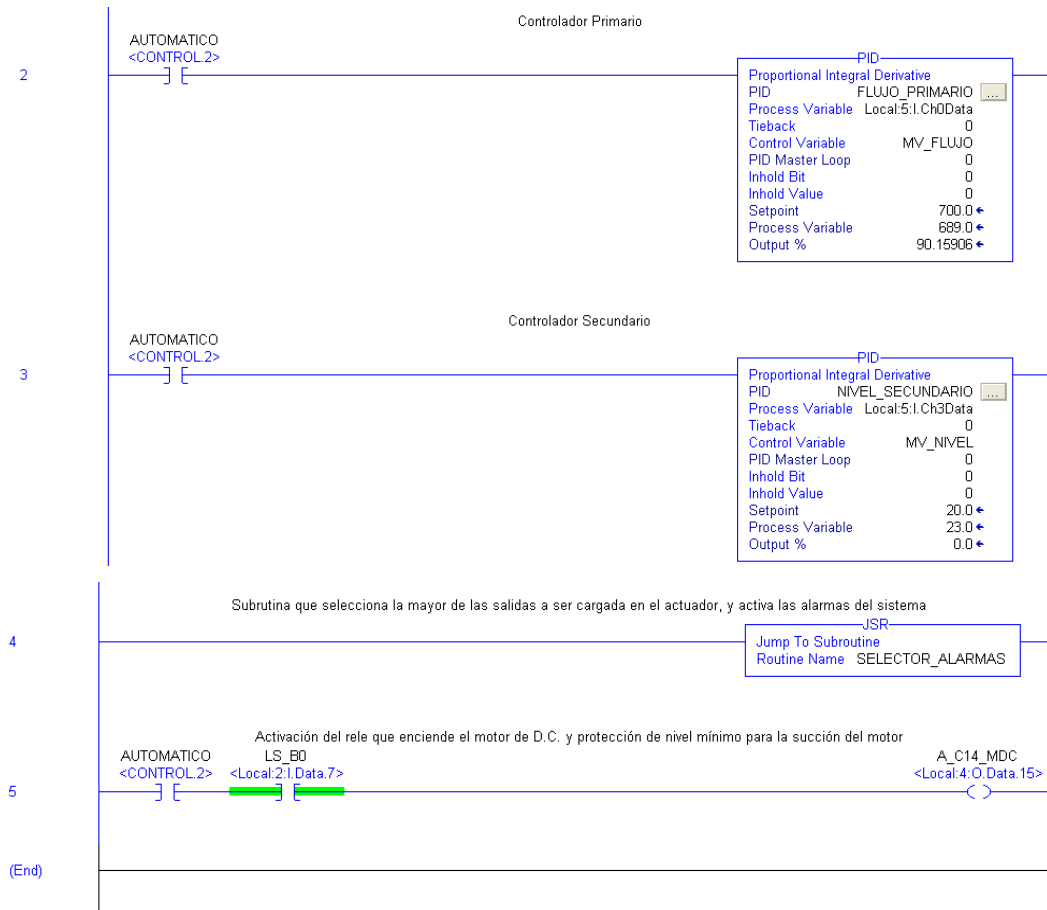
Figura. 6.34 Rutina de encendido y modo de operación

#### Lazo de control

#### BANO\_1\_F\_N

Este programa periódico posee la lógica de control requerida por la práctica, así como los dos bloques PID.





**Figura. 6.35** Rutina periódica del lazo de control por sobreposición de la primera etapa de limpieza y revestimiento.

La programación contenida por la subrutina SELECTOR\_ALARMAS es la siguiente.

```
//SELECCION
```

```
IF FLUJO_PRIMARIO.OUT < NIVEL_SECUNDARIO.OUT THEN
```

```
    Local:6:O.Ch1Data := MV_NIVEL;
```

```
    OUT_MOTOR := NIVEL_SECUNDARIO.OUT;
```

```
END_IF;
```

```
IF FLUJO_PRIMARIO.OUT > NIVEL_SECUNDARIO.OUT THEN
```

```
    Local:6:O.Ch1Data := MV_FLUJO;
```

```
    OUT_MOTOR := FLUJO_PRIMARIO.OUT;
```

```
END_IF;
```

```
//FLUJO
```

```
// ALARMA_BAJA
```

```
ALARMA_BAJA_F := FLUJO_PRIMARIO.SP - 100;
IF FLUJO_PRIMARIO.PV <= ALARMA_BAJA_F THEN
    A_BAJA_F := 1;
ELSE
    A_BAJA_F := 0;
END_IF;
// ALARMA_ALTA
ALARMA_ALTA_F := FLUJO_PRIMARIO.SP + 100;
IF FLUJO_PRIMARIO.PV <= ALARMA_ALTA_F THEN
    A_ALTA_F := 1;
ELSE
    A_ALTA_F := 0;
END_IF;

//NIVEL

// ALARMA_BAJA
ALARMA_BAJA_N := NIVEL_SECUNDARIO.SP - 100;
IF NIVEL_SECUNDARIO.PV <= ALARMA_BAJA_N THEN
    A_BAJA_N := 1;
ELSE
    A_BAJA_N := 0;
END_IF;
// ALARMA_ALTA
ALARMA_ALTA_N := NIVEL_SECUNDARIO.SP + 100;
IF NIVEL_SECUNDARIO.PV <= ALARMA_ALTA_N THEN
    A_ALTA_N := 1;
ELSE
    A_ALTA_N := 0;
END_IF;
```

Las constantes aplicadas al bloque PID fueron las mostradas en esta figura, que se determinaron mediante la combinación del método de la tangente y su reajuste.

## Controlador primario

**PID Setup - FLUJO\_PRIMARIO**

Tuning | Configuration | Alarms | Scaling | Tag

Setpoint (SP): 600.0

Set Output: 100.0 %

Output Bias: 0.0 %

Manual Modes:

- Manual
- Software Manual

Tuning Constants:

Proportional Gain (Kp): 0.7

Integral Gain (Ki): 0.04 1/s

Derivative Time (Kd): 0.0 s

Reset Tuning Constants to the values they had upon entry into the PID Setup dialog

Reset

Setpoint (SP):	600.0	PV Alarm:	High
Process Variable:	1.8181819	Deviation Alarm:	High
Error:	598.1818	Output Limiting:	High
Output:	100.0 %	Error Within Deadband:	No
Tieback:	0.0 %	Setpoint Out of Range:	No
Mode:	Auto	PID Initialized:	Yes

Aceptar Cancelar Aplicar Ayuda

Figura. 6.36 Valores determinados para la instrucción PID – FLUJO\_PRIMARIO

## Controlador secundario

**PID Setup - NIVEL\_SECUNDARIO**

Tuning | Configuration | Alarms | Scaling | Tag

Setpoint (SP): 20.0

Set Output: 100.0 %

Output Bias: 50.0 %

Manual Modes:

- Manual
- Software Manual

Tuning Constants:

Proportional Gain (Kp): 0.50

Integral Gain (Ki): 0.0 1/s

Derivative Time (Kd): 0.0 s

Reset Tuning Constants to the values they had upon entry into the PID Setup dialog

Reset

Setpoint (SP):	20.0	PV Alarm:	High
Process Variable:	10.364996	Deviation Alarm:	High
Error:	9.635004	Output Limiting:	High
Output:	0.0 %	Error Within Deadband:	No
Tieback:	0.0 %	Setpoint Out of Range:	No
Mode:	Auto	PID Initialized:	No

Aceptar Cancelar Aplicar Ayuda

Figura. 6.37 Valores determinados para la instrucción PID – NIVEL\_SECUNDARIO

Para finalizar esta práctica el sistema físico de control implementado es el siguiente.

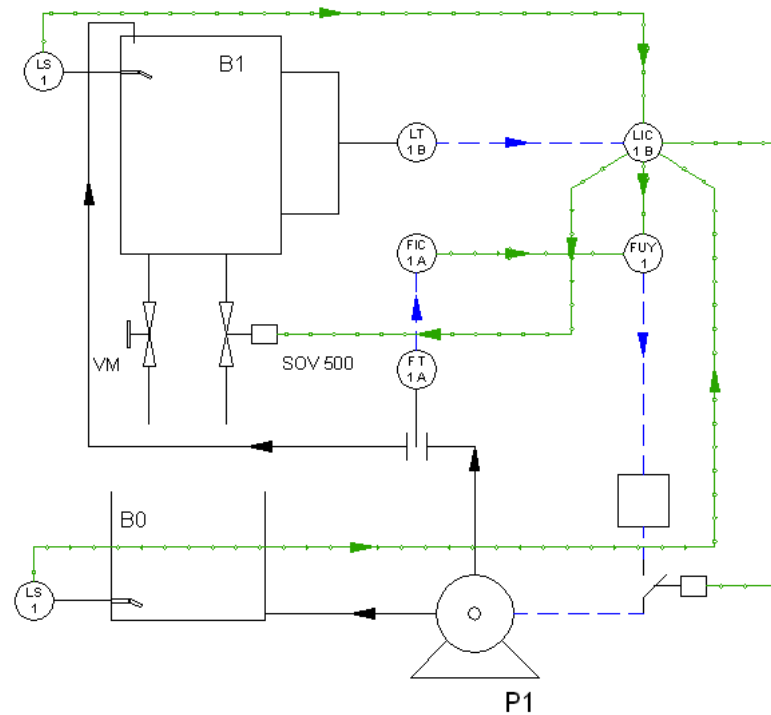


Figura. 6.38 Lazo de control por sobreposición – variables flujo y nivel

## 2. CUESTIONARIO

### 2.1. Describa las características del control por sobreposición

- El control por sobreposición se utiliza generalmente como un control de protección para mantener las variables de proceso dentro de ciertos límites.
- Se emplea cuando dos o más variables controladas independientes, dependen de una misma variable manipulada.
- La acción de este control no es tan drástica: el proceso se mantiene en operación pero bajo condiciones más seguras. Para el caso de la estación PS-2800, la variable que se controla es el flujo y la condición de seguridad es que el nivel del tanque se mantenga sobre los 20 cm.



## 2.2. ¿Para qué se utiliza el control por sobreposición?

El control por sobreposición se utiliza generalmente como un control de protección para mantener las variables del proceso dentro de ciertos límites, tan pronto como el proceso regresa a sus condiciones normales de operación.

## 2.3. ¿En un modo integral de control debe existir protección contra reajuste excesivo?

Si fuese un controlador PI, entonces se requeriría también protección contra reajuste excesivo, ya que de otra manera nunca se superpone al controlador de nivel antes que se inicie la cavitación.

## 6.5 LIMITACIONES

- Una gran limitante para realizar el control de flujo en los lazos de enjuague de material (baños 2, 4, y 6), es la falta de un indicador de nivel que garantice que el nivel de líquido de estos es suficiente para cubrir las piezas cilíndricas y comenzar el control de flujo de estos baños.
- Los tanque de baño en ácido para el recubrimiento de los cilindros son de acción manual (se necesita un operario que llene o vacíe estos tanques), debido a la falta de instrumentación que permita la automatización de estos.
- El gripper que toma los cilindros no posee ningún tipo de sensor que garantice que este se encuentra abierto o cerrado, por lo que si ocurriera un desperfecto en este actuador puede ser forzado al intentar tomar un cilindro, adicional a esto es necesario el uso de temporizadores para dar un tiempo de espera para que cierre el gripper.
- Para realizar el secado de los cilindros la estación cuenta con un secador el cual debería estar encendido de 2 a 4 minutos, pero este tiene una protección térmica la cual solo permite que este encendido 40 segundos, después de enfriarse se vuelve a encender.

- La estación de procesos carece de una toma de agua corriente que se encuentre conectada directamente a esta por lo que para el llenado de los tanques se lo hace en forma manual.
- La planificación llevada en el CIM 2000, así como la programación de las secuencia de control para el brazo robótico hacen que sea imposible que la estación pueda procesar más de una pieza cilíndrica a la vez.
- La mayor limitación presente en la interfaz grafica es que el software FactoryTalkView no posee la herramienta para crear históricos de las variables de control por lo cual no se puede tener una base de datos para efectuar un análisis del comportamiento de los parámetros de control de la estación.
- La interfaz gráfica HMI no costa con identificación mediante un sonido diferente entre las alarmas de alta y de baja medida de la variable manipulada.

## **CAPÍTULO 7**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **7.1 CONCLUSIONES**

- La tecnología CompactLogix de Allen Bradley permitió incorporar a la estación de Control de Procesos PS-2800 al sistema CIM 2000. Por tanto esta estación de trabajo realiza un proceso de limpieza y revestimiento ejecutando simultáneamente un control de flujo, nivel y temperatura.
- La estación de control de procesos PS-2800 es una buena fuente de pruebas debido a que maneja varios lazos de control muy útiles para realizar estudios y pruebas como son los lazos de control de nivel, flujo y temperatura que por sus bondades permite ser desarrollados mediante varias técnicas de control.
- En efecto, se consiguió la reconfiguración del sistema de control implementado en la estación PS-2800 utilizando el controlador CompactLogix 1768-L43 obteniendo resultados satisfactorios.
- Se efectuó la integración de la estación de Control de Procesos y la estación Central CIM 2000 utilizando una red EtherNet/IP obteniendo una red satisfactoria.
- A través del software Factory Talk View se logró una interfaz gráfica HMI eficaz, versátil y eficiente.
- Se diseñó un set de prácticas el cual apunta al uso del Manual de usuario y el Manual de programación del software Factory Talk View como medios de solución disponible para el estudiante.

- El grupo de prácticas dirigidas al control de nivel, flujo y temperatura proporcionan al estudiante alternativas de solución a los problemas en su desempeño profesional, respondiendo a las actuales exigencias de la sociedad.
- Se realizó un control de nivel, flujo y temperatura aplicando el conocimiento de la técnica de control impartido durante el proceso de aprendizaje.
- El control Proporcional fue la mejor solución para la variable de nivel porque requiere una respuesta rápida ante una emergencia.
- El control PI para la variable de flujo fue una técnica de control adecuada, obteniendo los mejores resultados posibles.
- Se comprobó el correcto funcionamiento de la estación de Control de Procesos realizando pruebas experimentales de los componentes de la estación utilizando el software RSLogix 5000.
- La identificación de un modelo de las plantas de la estación de Control de Procesos mediante la estimación del orden la planta y el uso de herramientas matemáticas proporcionadas por el software MATLAB permitió una adecuada identificación las funciones de transferencia de cada uno de los procesos.
- Al implementar los lazos de control mediante el cálculo de los parámetros de control utilizando el método de respuesta a la frecuencia, obtuvimos resultados favorables.

## 7.2 RECOMENDACIONES

- La estación de Control de Procesos requiere una mejora en el sistema de circulación y desfogue de agua. De manera que llene las bandejas cuando estas se encuentren vacías y libere el agua contenida en el reservorio B0 y el tanque colector directamente a la cañería.
- La tercera y quinta etapa de limpieza y revestimiento de la estación PS-2800 necesita el acoplamiento un sistema de reservorio que permita el ingreso del ácido fosfórico (Matrox 4) y el material Allodyne que realice esta labor de forma automática.
- Se recomienda que al utilizar la interfaz gráfica HMI se establezcan con anterioridad los parámetros de control del sistema en el programa RSLogix 5000 debido a que este programa requiere que se hayan establecidos todos los parámetros.
- Se recomienda realizar mantenimiento preventivo de las partes mecánicas y eléctricas cada seis meses evitando fallas sobre los equipos, detenciones inútiles o para de máquinas y accidentes, lo cual permite un mejor desenvolvimiento y seguridad disminuyendo en gran parte riesgos en el área laboral.
- Se recomienda evacuar el agua de la estación PS-2800 cuando se encuentre fuera de uso para evitar la corrosión en las bandejas metálicas y acumulación de agua en los reservorios de agua. Además, la combinación del agua y las partículas de polvo forman una mezcla fangosa que obstruye el flujo normal del agua corriente.
- La mayor parte de procesos en una industria utilizan como controlador un PLC, razón por la cual, se recomienda que se analice la técnica de escalamiento, debido a que de esta manera se podrán implementar más rutinas de control que satisfagan las necesidades de un mayor número de plantas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ingeniería de Manufactura, Manufactura Integrada por Computadora, Ing. Ricardo Jiménez.
- [2] <http://www.rockwellautomation.com/es/solutions/integratedarchitecture/>
- [3] Documento para la instalación, mantenimiento y operación del sistema de manufactura integrada por computadora. Tesis de grado perteneciente a Rodolfo Gordillo, Mario Recalde y Jorge Rubio. 1996
- [4] Sistemas de control automático – Benjamin C. Kuo – Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computación, Universidad de Illinois - Pág. 695-697.
- [5] [http://biblioteca.schneiderelectric.es/nbd-update/cont2.../31002965\\_K01\\_000\\_00\\_pags/31002965\\_K01\\_000\\_00\\_89.pdf](http://biblioteca.schneiderelectric.es/nbd-update/cont2.../31002965_K01_000_00_pags/31002965_K01_000_00_89.pdf)
- [6] [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/rm/1756-Rm094\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/rm/1756-Rm094_-en-p.pdf)
- [7] [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1769-in048\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1769-in048_-en-p.pdf)
- [8] [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1769-in049\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1769-in049_-en-p.pdf)
- [9] [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1769-in064\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1769-in064_-en-p.pdf)
- [10] [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1769-in004\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1769-in004_-en-p.pdf)

- [11] EtherNet/IP Descripción general del sistema, Publicación ENET-SO001A-ES-P  
Noviembre de 2000
- [12] [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1769-rn001\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1769-rn001_-en-p.pdf)
- [13] <http://www.rockwellautomation.com/rockwellsoftware/design/rslogix5000/>
- [14] <http://www.rockwellautomation.com/rockwellsoftware/design/rslinx/>
- [15] [http://translate.google.com.ec/translate?hl=es&sl=en&u=http://www.rockwellautomation.com/rockwellsoftware/performance/view/&ei=I\\_96S\\_jSIY2XtgecwunECg&sa=X&oi=translate&ct=result&resnum=1&ved=0CAwQ7gEwAA&prev=/search%3Fq%3Dprograma%2BFactory%2BTalk%2BView%2BStudio%26hl%3Des%26rlz%3D1W1GGLL\\_en](http://translate.google.com.ec/translate?hl=es&sl=en&u=http://www.rockwellautomation.com/rockwellsoftware/performance/view/&ei=I_96S_jSIY2XtgecwunECg&sa=X&oi=translate&ct=result&resnum=1&ved=0CAwQ7gEwAA&prev=/search%3Fq%3Dprograma%2BFactory%2BTalk%2BView%2BStudio%26hl%3Des%26rlz%3D1W1GGLL_en)
- [16] Instrumentación y Sistemas de Control. Ing. Hugo. R. Ortiz. T. Primera Edición  
1998, pág. 91-125
- [17] PHILLIPS, Charles L., *Feedback Control Systems*, Tomo 1, Tercera Edición,  
Editorial Prentice Hall, New Jersey 1996, pág. 418-459

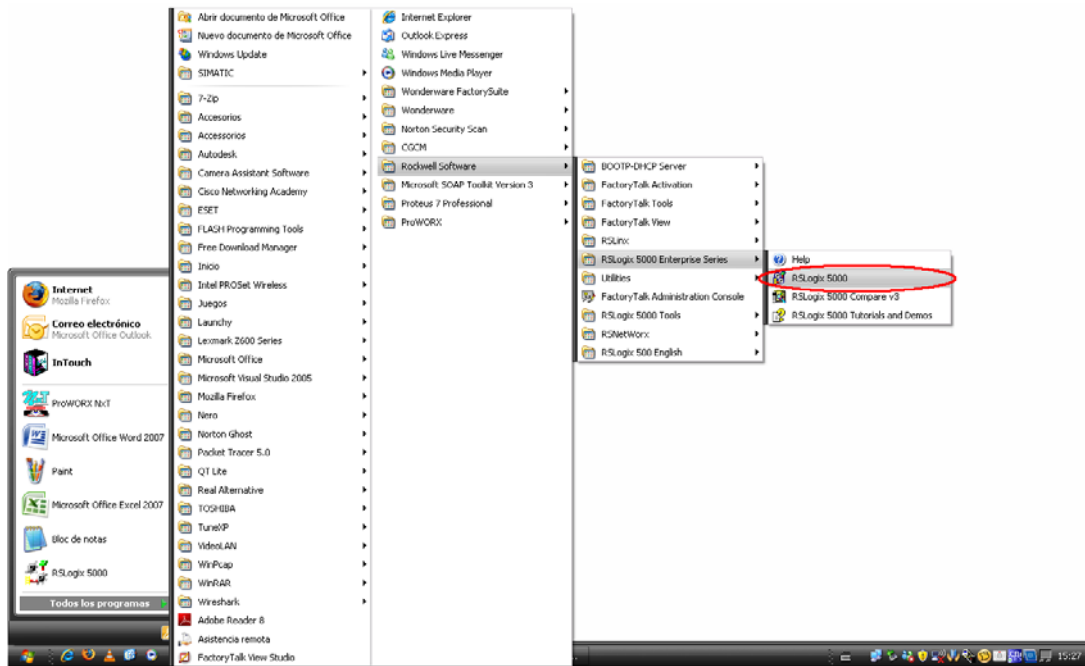
# ANEXOS



# ANEXO 1

## Especificación de la ruta de acceso al programa RSLogix 5000


Ir a: INICIO → Todos los Programas → Rockwell Software → RSLogix 5000 Enterprise Series → RSLogix 5000.

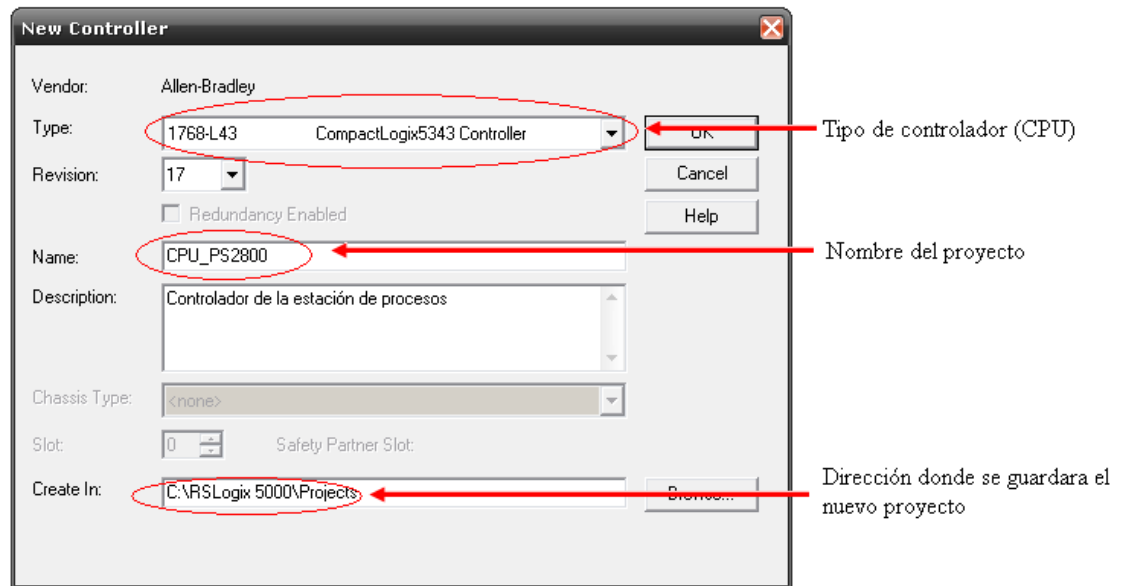


## ANEXO 2

### Creación de un proyecto con RSLogix 5000

Abrir el programa RSLogix 5000

- Haga clic en 
- Se desplegará la siguiente ventana



- En esta ventana se elije el tipo de controlador
- Asigne un nombre al proyecto, esté mismo nombre se asignará al CPU del controlador
- Seleccione la dirección donde se guardará el proyecto
- Confirme la creación del proyecto con un clic en OK

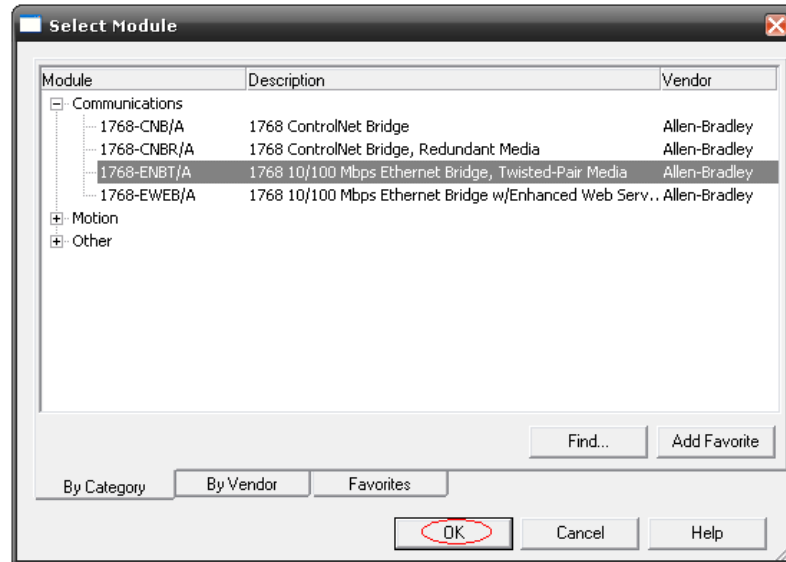
### Módulo de comunicación

Para agregar el módulo de comunicación se realizará el siguiente procedimiento:

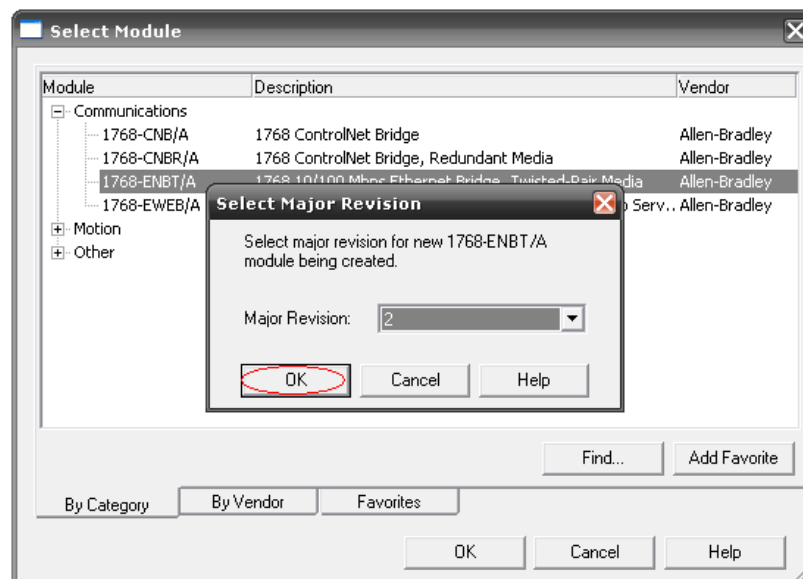
- En la carpeta “I/O Configuration”, de clic derecho sobre “1768 BUS” y elija “New Module”



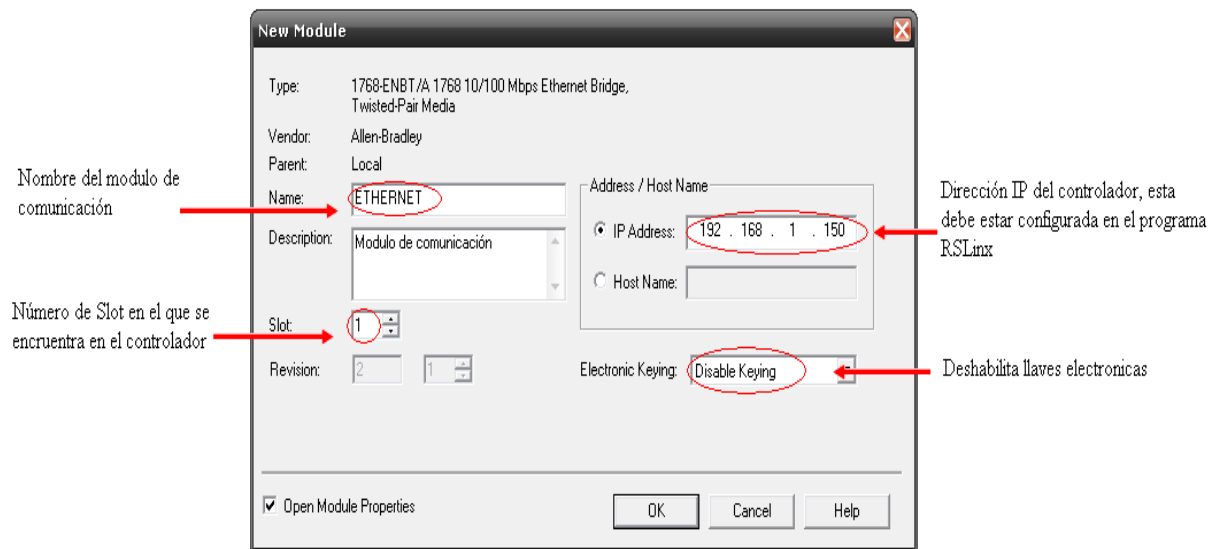
- Despliegue el módulo “Communications”, seleccione el módulo de comunicación.



- A continuación, se despliega una ventana de revisión, haga clic sobre ok



- Configure el módulo de comunicación con la información indicada en la siguiente figura

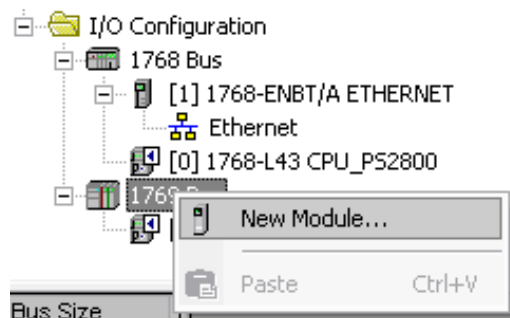


- Finalmente presione OK (No necesita configurar los parámetros restantes).

## Módulos de entrada y salida digital

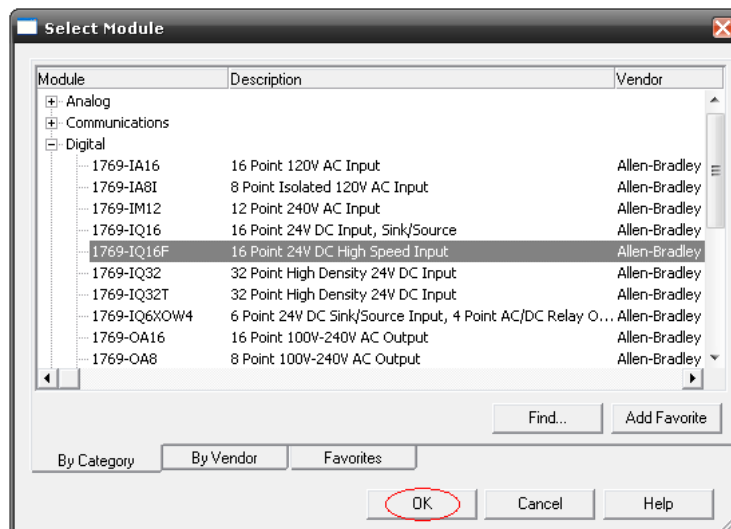
Para agregar los módulos de entradas y salidas digitales, se recomienda seguir los siguientes pasos:

- En la carpeta “I/O Configuration”, de clic derecho sobre “1769 BUS” y elija “New Module”

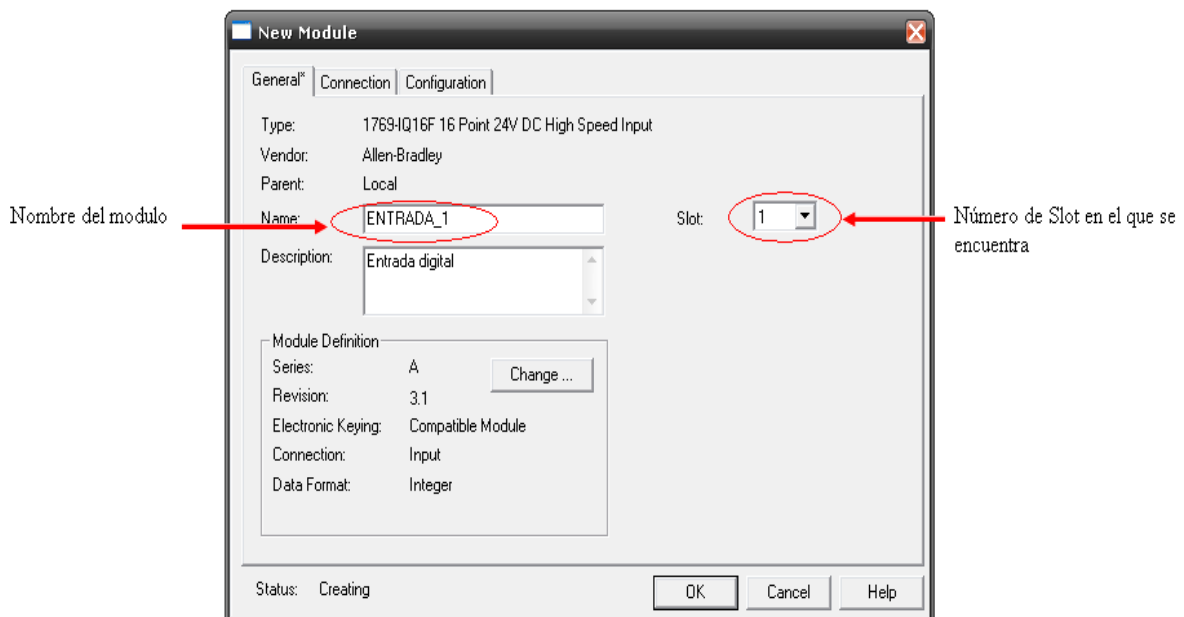


- Despliegue el módulo “Digital”

- Seleccione el módulo de entradas digitales con el que trabajará su controlador y presione OK.



- Configure el módulo de entradas digitales con la información indicada en la siguiente figura



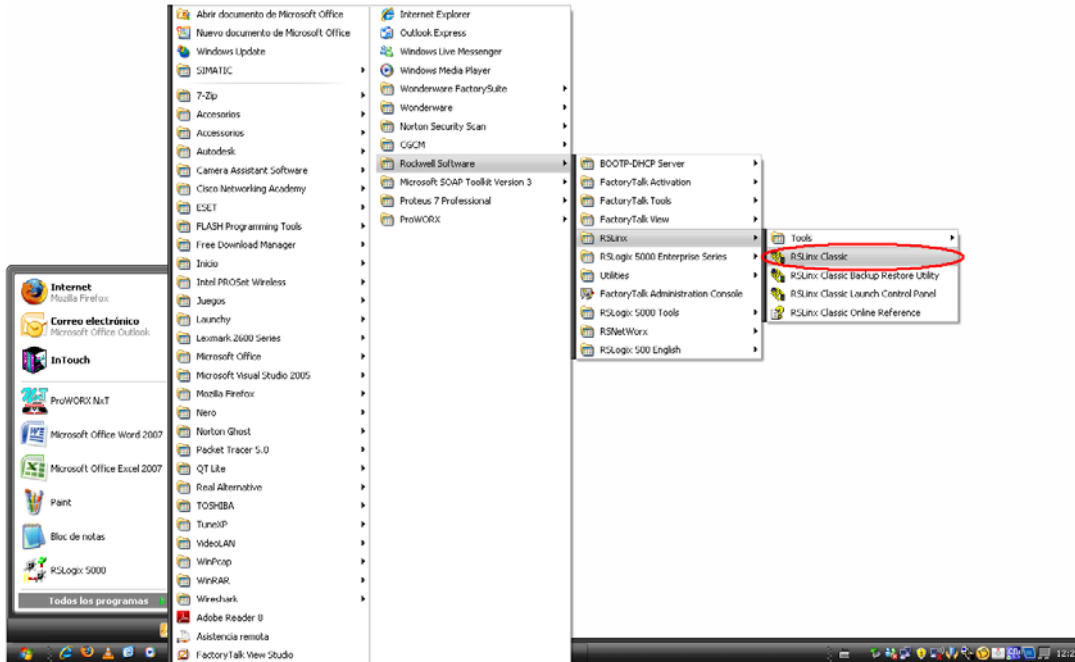
- Finalmente presione OK (No necesita configurar los parámetros restantes).

Al concluir con la configuración de los módulos puede empezar a programar su proyecto. Para agregar un nuevo módulo repita los pasos indicados anteriormente.

## ANEXO 3

### Especificación de la ruta de acceso al programa RSLink Classic

Ir a: INICIO → Todos los Programas → Rockwell Software → RSLinx → RSLinx Classic.

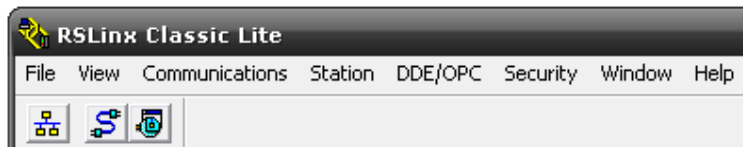




## ANEXO 4

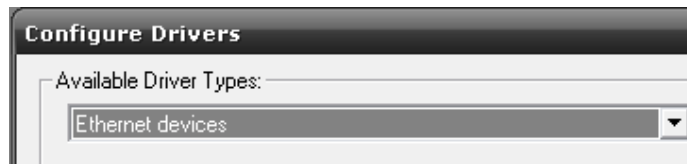
### Establecimiento de una conexión Ethernet con el controlador.

A continuación presentaremos como se establece una conexión Ethernet con el controlador:

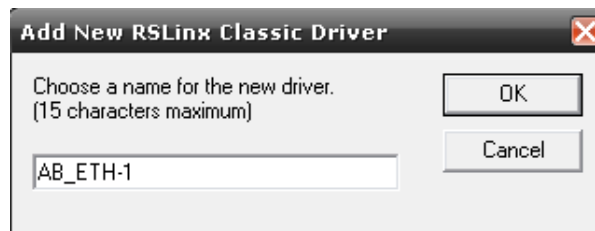
- Al iniciar el software RSLinx, aparecerá la siguiente pantalla:



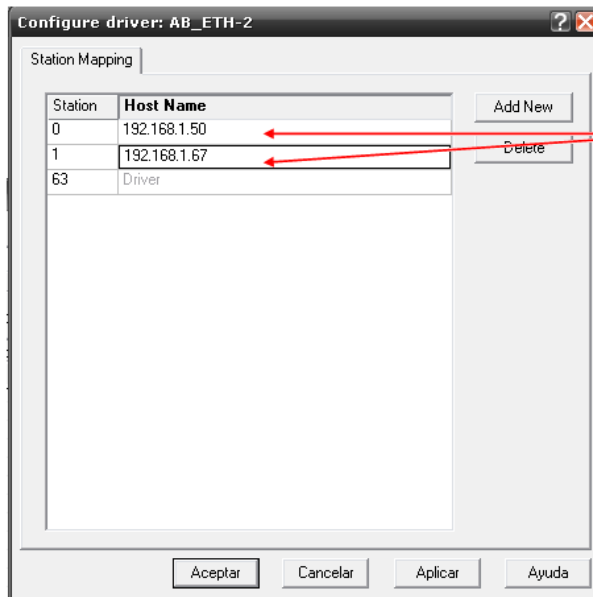
- Haga clic en 
- En la opción “Available Driver Types”, elegir de la lista “Ethernet devices” y elija 



- Acepte el nombre predeterminado para el nuevo driver

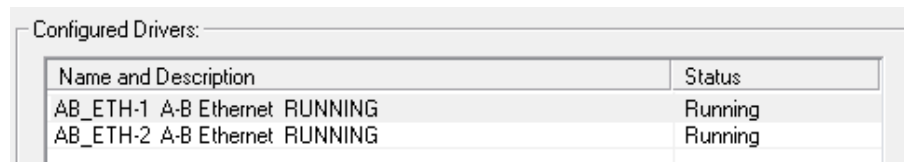



- Colocar las direcciones IP tanto del controlador como del computador personal.

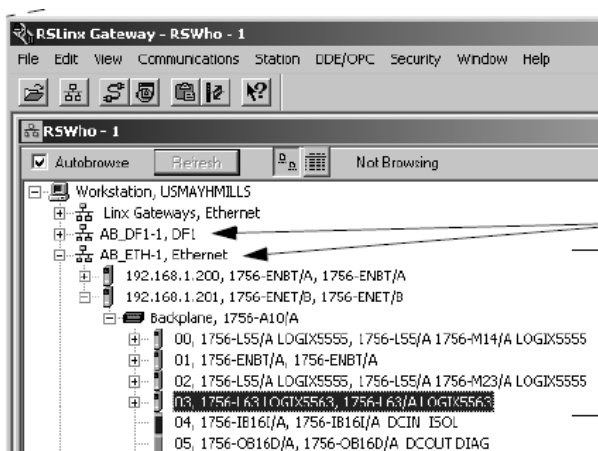


Dirección IP: correspondiente al controlador y el PC

- Seleccione “Aceptar” y cierre la aplicación.
- El driver se ha configurado correctamente y se está ejecutando.



- Haga clic en 



driver – establece comunicación a través de una red específica.

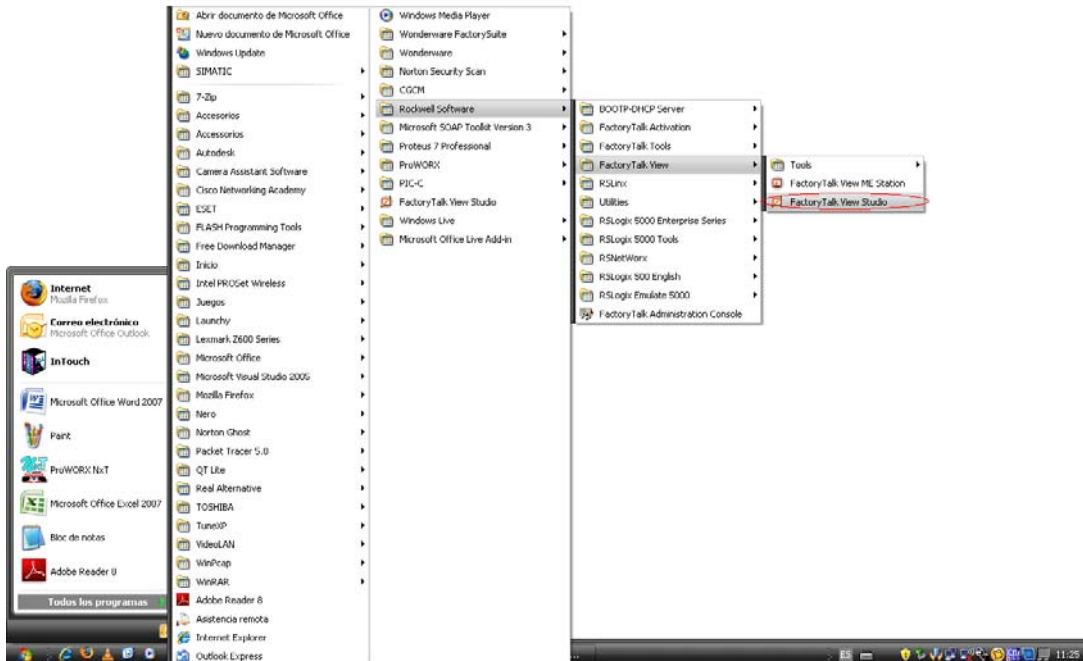
ruta de acceso – ruta de comunicación a un dispositivo. Para definir una ruta, debe expandir un driver y seleccionar el dispositivo.



## ANEXO 5

### Especificación de la ruta de acceso al programa Factory Talk View

Ir a: INICIO → Todos los Programas → Rockwell Software → Factory Talk View → Factory Talk View Studio.

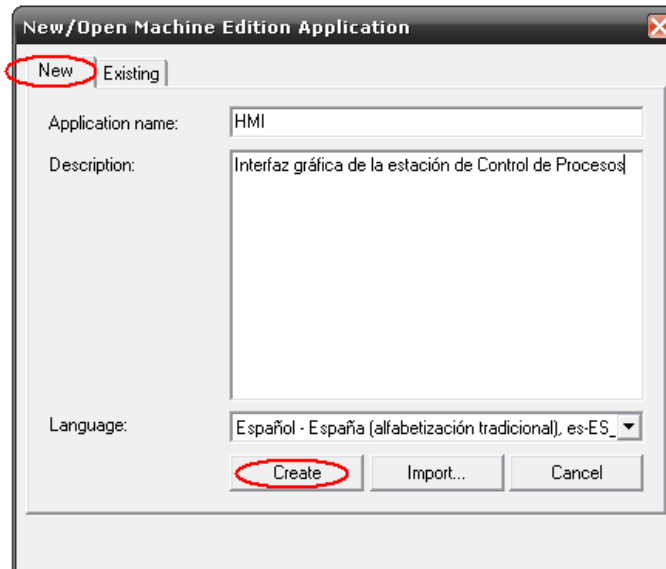


## ANEXO 6

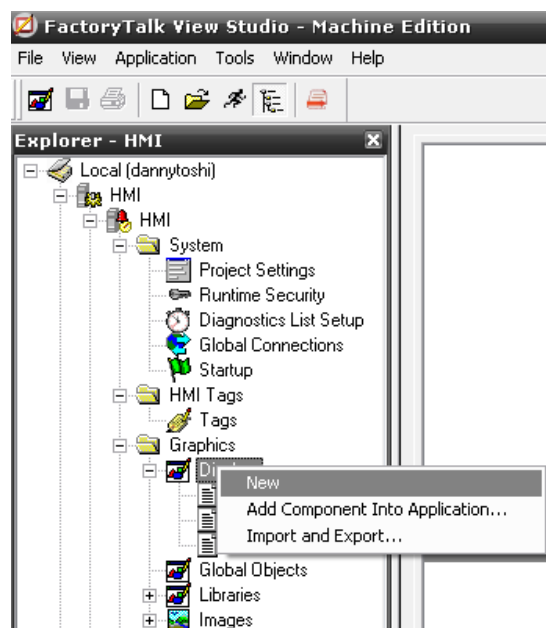
### Creación de un proyecto con Factory Talk View

Abrir el programa Factory Talk View

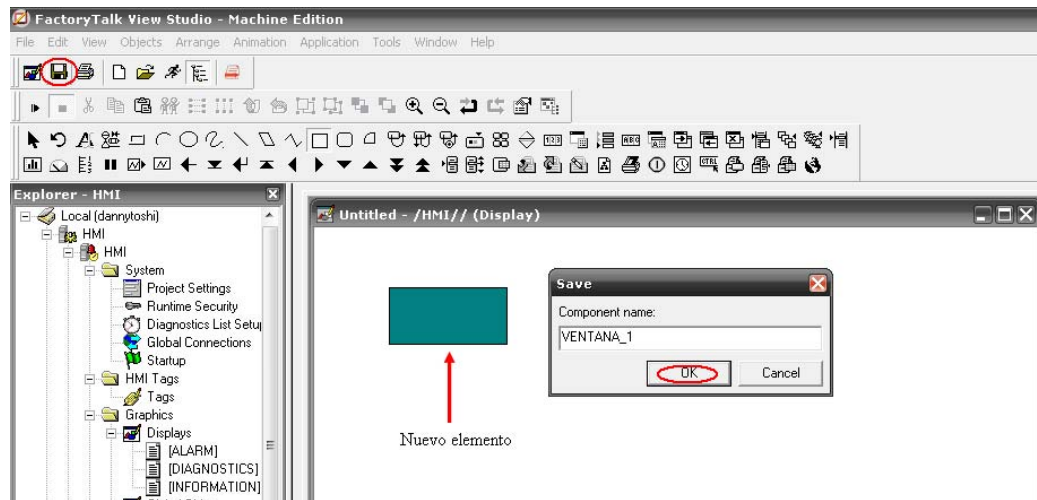
- Se desplegará la siguiente ventana, en la cual debe asignar un nombre al proyecto, dar clic sobre crear.



- Despliegue la carpeta “Graphics”, de clic derecho sobre el “Display” y elija “New”.

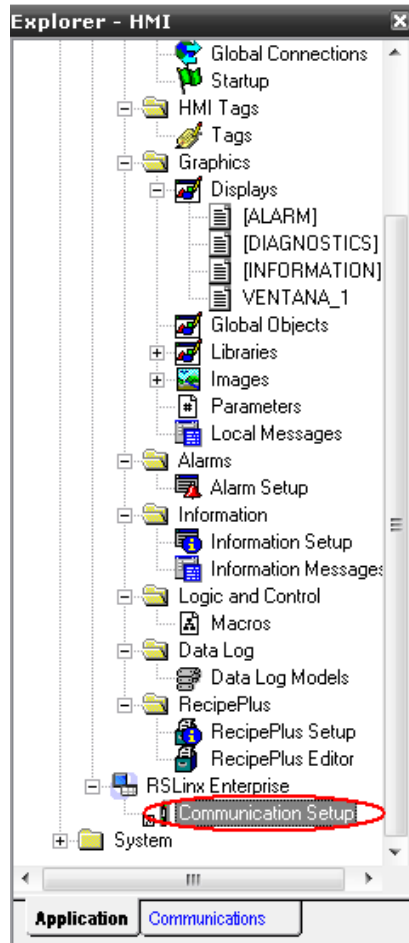


- Inmediatamente se genera una nueva ventana, y es necesario realizar alguna acción sobre esta, para asignarle un nombre.

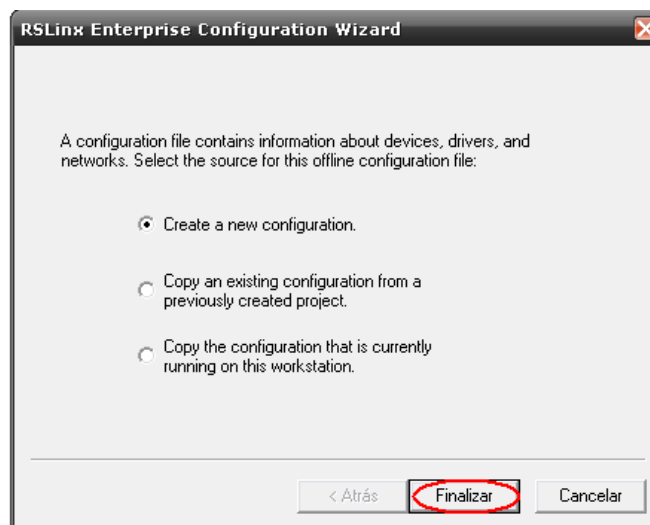


### Uso de Tags del controlador en la interfaz gráfica

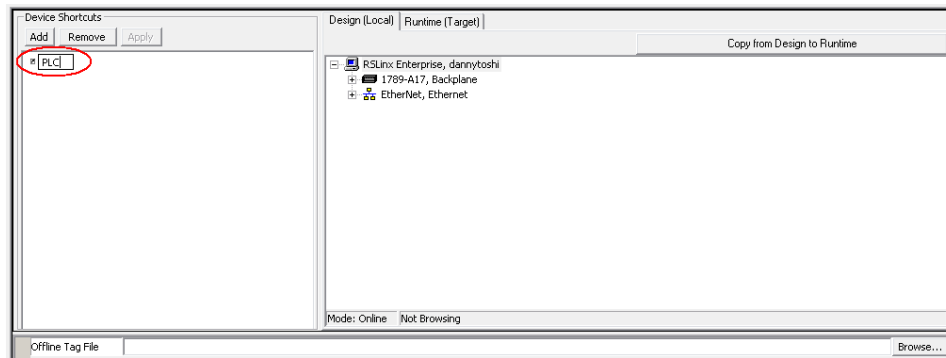
- Para la asignación de los Tags del controlador, es necesario configurar la comunicación con el controlador, por lo que se da doble clic sobre “Communication Setup”.



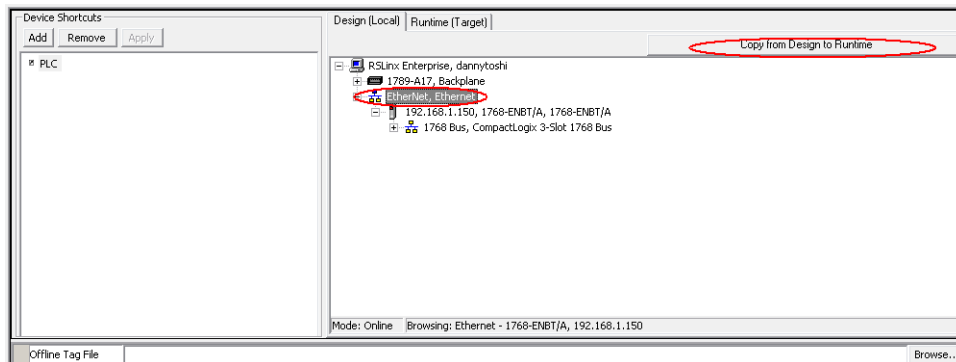
- Seleccione “Create a new configuracion”, y de clic sobre finalizar.



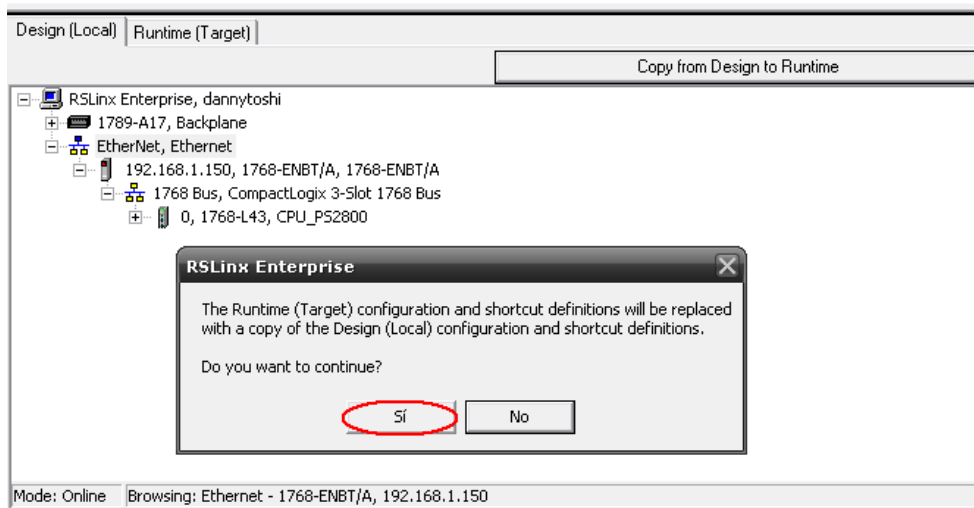
- Luego se despliega la siguiente ventana en la cual se crea un “Device Shortcuts”, que es una carpeta en la cual se guardaran los Tags del controlador



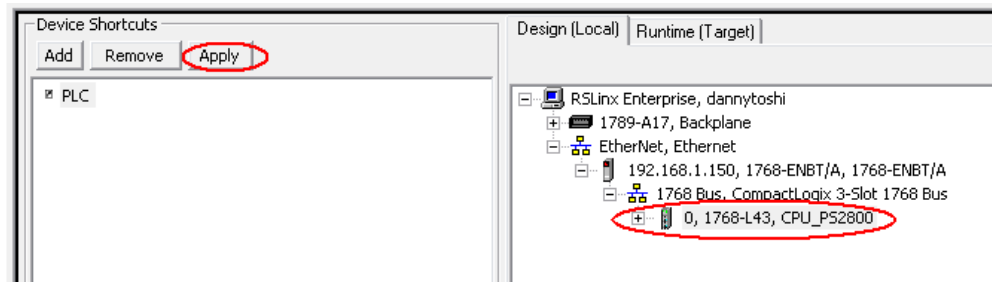
- Seleccione el icono de red de Ethernet, y luego de clic sobre “Copy from Design to Runtime”



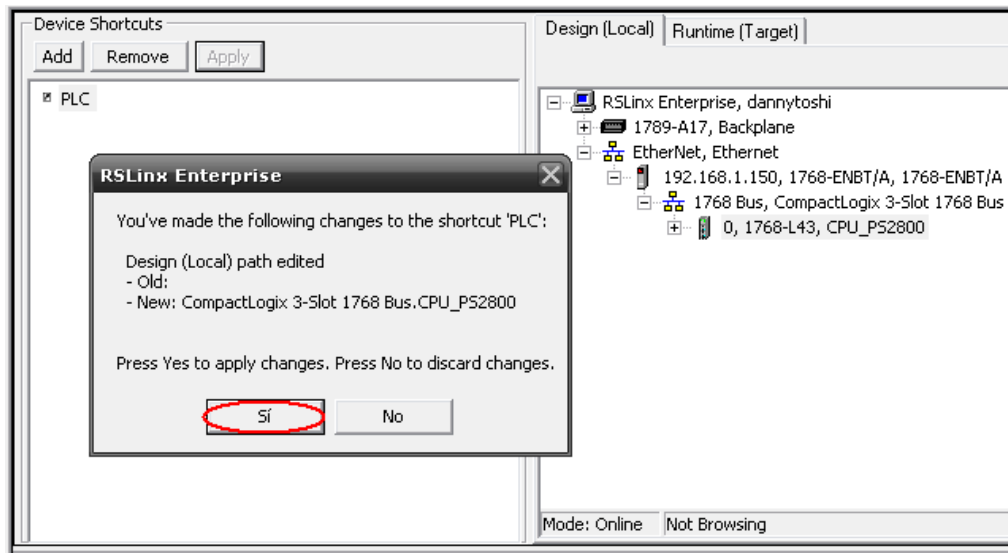
- De clic sobre la pestaña “Sí”.



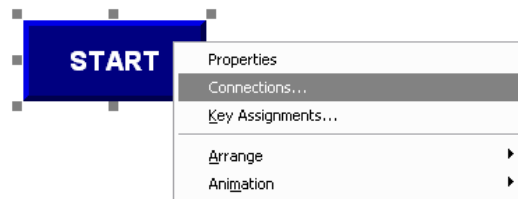
- Ahora seleccione su controlador y de clic sobre la pestaña aplicar



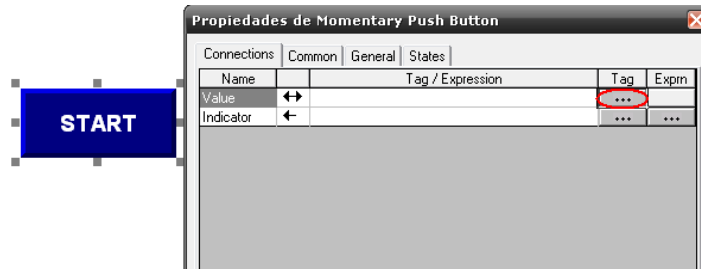
- A continuación de clic sobre la pestaña “Sí”



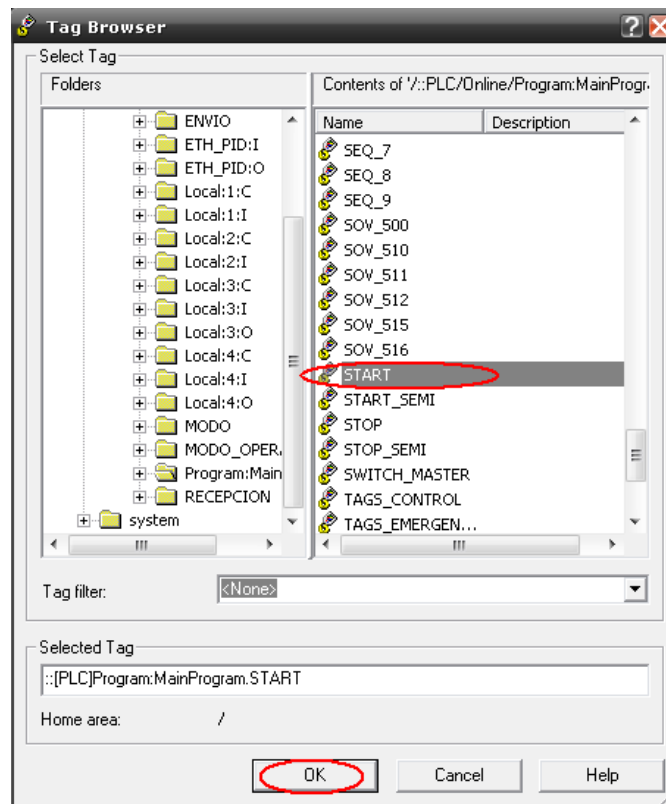
- Par finalizar de clic sobre OK.
- Luego se crean los botones necesario en la aplicación y podemos asignar los Tags del controlador siguiendo estos pasos:
  - De clic derecho sobre el botón creado, y seleccione connections.



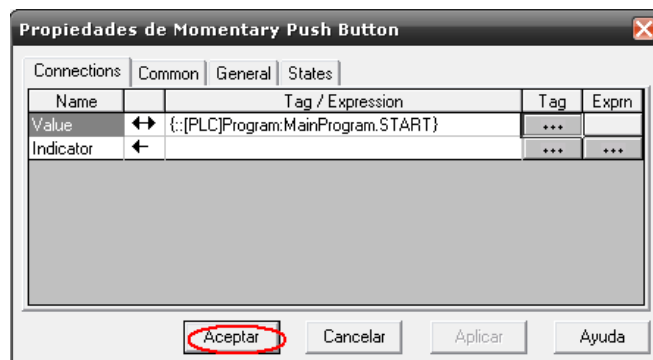
- A continuación se despliega la siguiente ventana, en la cual se debe dar clic sobre el acceso a Tags.



- Se recomienda dar clic derecho y seleccionar “Refresh all”, y luego se selecciona el tag al cual se quiere asignar el botón, y se presiona OK.



- Y finalmente aceptar.



## ANEXO 7

### **Estándar IEC 61508**

El estándar utilizado para la realización de la HMI, con respecto a los niveles de seguridad que deben estar presente es el estándar IEC 61508, el cual presenta un conjunto de conceptos que deben ser tomados en cuenta para realizar una HMI, siendo estos los mostrados a continuación.

### **TÉRMINOS CLAVES**

**Confiability.**- probabilidad de que un sistema realice su misión en forma adecuada por un periodo de tiempo específico bajo condiciones de operación esperadas.

**Disponibilidad.**- el diseño y capacidades de un sistema o componente de un sistema de proveer funcionalidad continúan en presencia de fallas esperadas.

**Falla Segura.**- característica de diseño de un sistema que asegura que el mismo permanecerá seguro o se revertirá a un estado seguro.

### **SEGURIDAD FUNCIONAL**

Este apartado presenta las siguientes definiciones que deben ser comprendidas y aplicadas en la interfaz.

**Función de seguridad.**- es toda aquella acción cuyo fin es reducir el riesgo con el objetivo de alcanzar un estado seguro. Toda función de seguridad debe garantizarse tanto en condiciones normales como en presencia de fallas.

**Seguridad funcional.**- es toda función de seguridad que se ejecutará de acuerdo a un riesgo estimado bajo condiciones esperadas.



## **TIPOS DE FALLAS**

**Falla activas.**- son aquellas que se revelan dentro del sistema de seguridad y que activan la función de seguridad.

**Fallas pasivas.**- son aquellas que se revelan bajo la demanda del sistema de seguridad. En estos casos la función de seguridad no se ejecutara.

**Fallas sistemáticas.**- son aquellas cuyo origen es un error en la especificación o diseño. Estas fallas deben ser evitadas.

**Fallas aleatorias.**- son aquellas cuyo origen es el deterioro de componentes que son parte del sistema de seguridad. Estas fallas deben ser controladas.

## ANEXO 8

### Manual de programación (Factory Talk View Studio)


#### Tabla de contenido

<b>1</b>	<b><u>ELEMENTOS DE EDICIÓN</u></b> .....	196
1.1	<u>Inserte un texto</u> .....	196
1.2	<u>Insertar una imagen</u> .....	196
1.3	<u>Insertar un botón de salto</u> .....	197
<b>2</b>	<b><u>MENSAJES</u></b> .....	197
2.1	<u>Insertar un mensaje</u> .....	197
2.2	<u>Selección del tipo de usuario</u> .....	199
2.3	<u>Cambio de Contraseña</u> .....	199
<b>3</b>	<b><u>BOTONES DE CONTROL</u></b> .....	200
3.1	<u>Botón Switch Master</u> .....	200
3.2	<u>Botón Switch</u> .....	201
3.3	<u>Botón momentario</u> .....	201
3.4	<u>Botón de emergencia</u> .....	202
3.5	<u>Switch reset</u> .....	202
<b>4</b>	<b><u>PANTALLAS INDICADORAS</u></b> .....	203
4.1	<u>Indicador multiestados para avisos</u> .....	203
4.2	<u>Indicador multiestados activación y desactivación</u> .....	204
<b>5</b>	<b><u>TABLA INFORMATICA</u></b> .....	206
5.1	<u>Tipo de cilindro</u> .....	206
5.2	<u>Baños a realizarse</u> .....	207
<b>6</b>	<b><u>CONFIGURACION DE PARÁMETROS</u></b> .....	208
6.1	<u>Habilitación de baños</u> .....	208
6.2	<u>Tiempo por baño</u> .....	209
<b>7</b>	<b><u>VARIABLES DEL PROCESO</u></b> .....	210
7.1	<u>Ingreso de variables</u> .....	210
7.1.1	<u>Set Point (SP)</u> .....	210
7.1.2	<u>Constantes (KP, KI)</u> .....	210
7.2	<u>Visualización</u> .....	211
7.2.1	<u>Set Point (SP)</u> .....	211

7.2.2	<a href="#">Variable de Proceso (PV)</a> .....	212
7.2.3	<a href="#">Visualización constantes (KP, KI)</a> .....	212
7.2.4	<a href="#">Variable Manipulada (MV)</a> .....	213
8	<a href="#">VISUALIZACIÓN DE VARIABLES</a> .....	214
8.1.1	<a href="#">Trend que indica Set Point (SP) y Variable de Proceso (PV)</a> .....	214
8.1.2	<a href="#">Trend que indica la Variable Manipulada (MV)</a> .....	216
9	<a href="#">ALARMAS</a> .....	218

# 1. ELEMENTOS DE EDICIÓN

## 1.1. Inserte un texto


Seleccione el ícono “text”  y arrástrelo hasta el área de trabajo.

Se desplegará una ventana que muestra las propiedades del texto

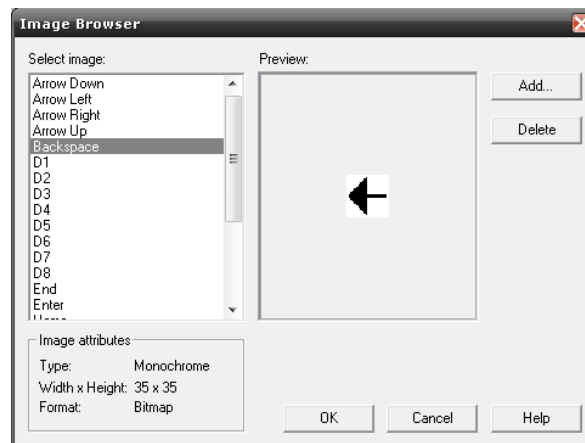
En el campo Text escriba el contenido deseado



## 1.2. Insertar una imagen

Seleccione el ícono “image”  y arrástrelo hasta el área de trabajo.

Se desplegará una ventana que permite seleccionar o importar la imagen deseada.



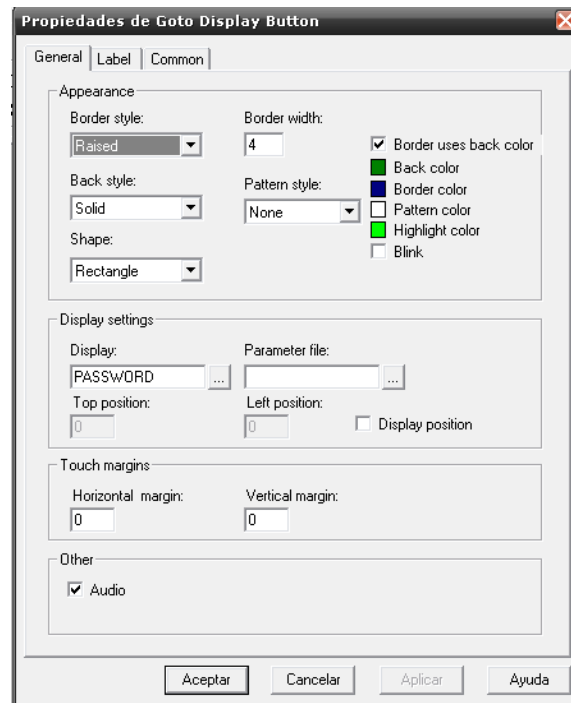
### 1.3. Insertar un botón de salto

## IR A OPERACIÓN

Seleccione el ícono “Goto Display Button”  y arrástrelo hasta el área de trabajo.

Se desplegará una ventana que muestra las propiedades del botón de salto.

En el campo Display se selecciona la pantalla a la que se desea realizar el saltar.



Se debe repetir el mismo procedimiento, considerando que en el campo Display se realiza la respectiva selección de la pantalla a la que se desea saltar.

## 2. MENSAJES

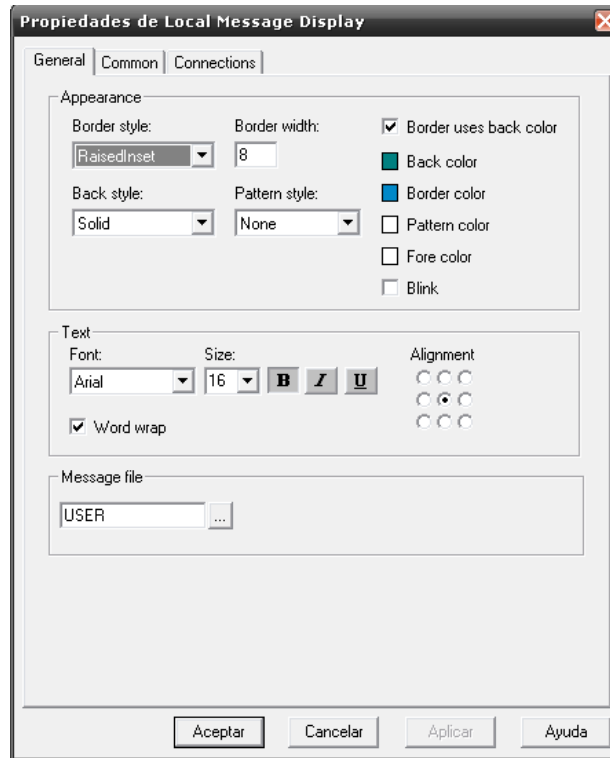
### 2.1. Insertar un mensaje

## INGENIERO

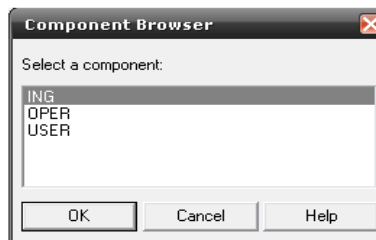
Seleccione el ícono “Local Message Display”  y arrástrelo hasta el área de trabajo.

Se desplegará una ventana que muestra las propiedades del display de mensajes.

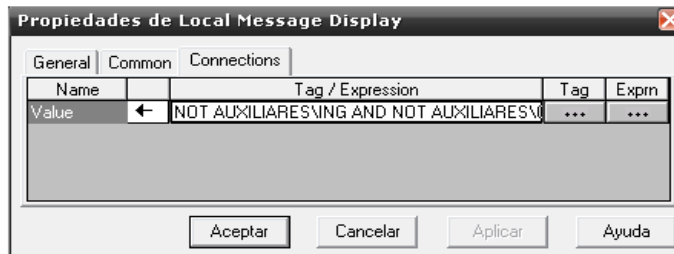
En la pestaña General se selecciona en el campo “Message file”



Se selecciona el tipo de usuario




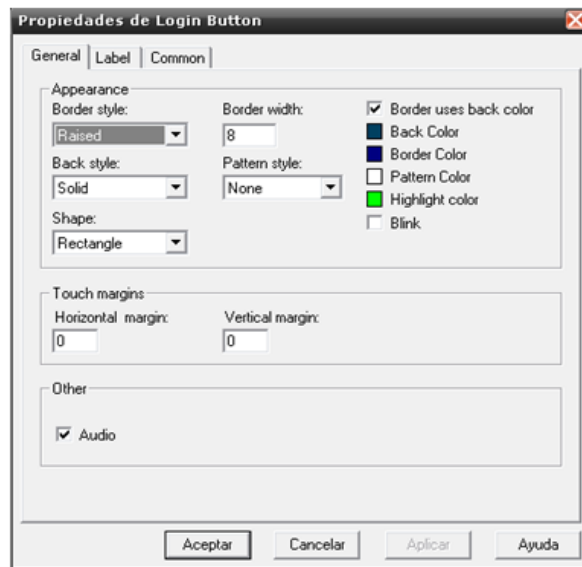
En la pestaña Connections se escribe la expresión “NOT AUXILIARES\ING AND NOT AUXILIARES\OPER”, macros pertenecientes al software FactoryTalk View Studio.



## 2.2. Selección del tipo de usuario


**USUARIO**

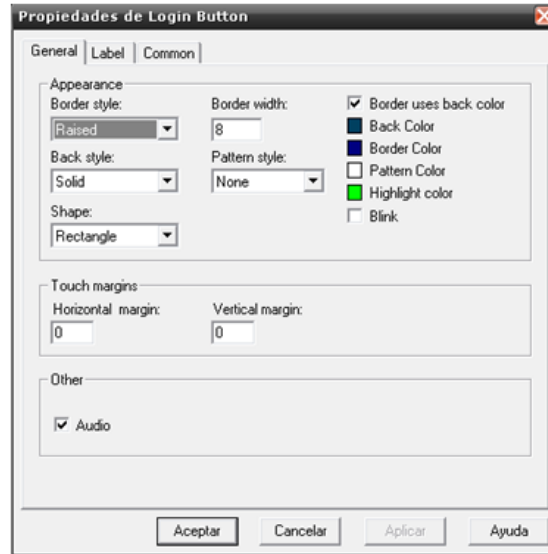
Seleccione el ícono “Login Button”  y arrástrelo hasta el área de trabajo. Se desplegará una ventana que muestra las propiedades del botón Login. En la pestaña General se selecciona los parámetros indicados a continuación:



## 2.3. Cambio de Contraseña

**CAMBIAR PASSWORD**


Seleccione el ícono “Password Button”  y arrástrelo hasta el área de trabajo. Se desplegará una ventana que muestra las propiedades del botón Password. En la pestaña General se selecciona los parámetros indicados a continuación:



### 3. BOTONES DE CONTROL

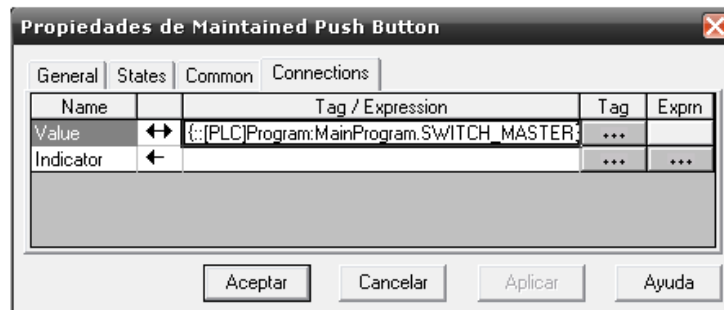
#### 3.1. Botón Switch Master



Seleccione el ícono “Maintained Push Button”  y arrástrelo hasta el área de trabajo.

Se desplegará una ventana que muestra las propiedades del botón gestor.

En la pestaña Connections seleccione el Tag correspondiente. Por ejemplo, el Tag denominado “SWITCH\_MASTER” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.





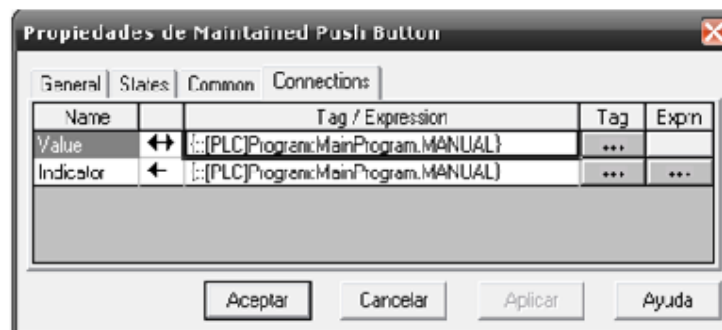
### 3.2. Botón Switch



Seleccione el ícono “Maintained Push Button”  y arrástrelo hasta el área de trabajo.

Se desplegará una ventana que muestra las propiedades del botón gestor.

En la pestaña Connections seleccione el Tag correspondiente. Por ejemplo, el Tag denominado “MANUAL” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.



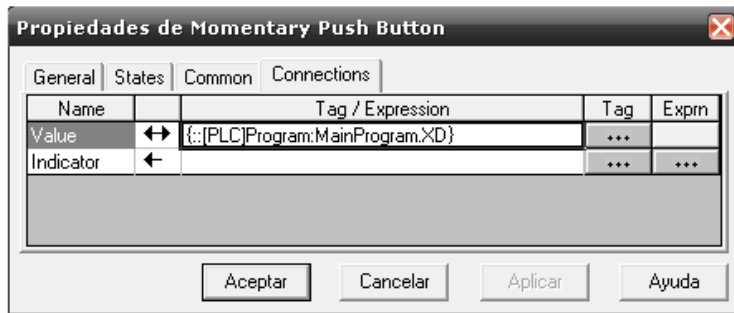
### 3.3. Botón momentario



Seleccione el ícono “Momentary Push Button”  y arrástrelo hasta el área de trabajo.


Se desplegará una ventana que muestra las propiedades del botón momentario.

En la pestaña Connections seleccione el Tag correspondiente. Por ejemplo, el Tag denominado “XD” que permite el movimiento del brazo robótico hacia la derecha, el tag está asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.



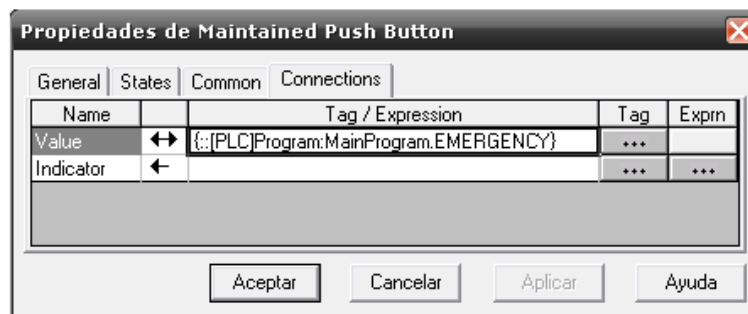
### 3.4. Botón de emergencia



Seleccione el ícono “Maintained Push Button”  y arrástrelo hasta el área de trabajo.


Se desplegará una ventana que muestra las propiedades del botón gestor.

En la pestaña Connections seleccione el Tag correspondiente. Por ejemplo, el Tag denominado “EMERGENCY” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.



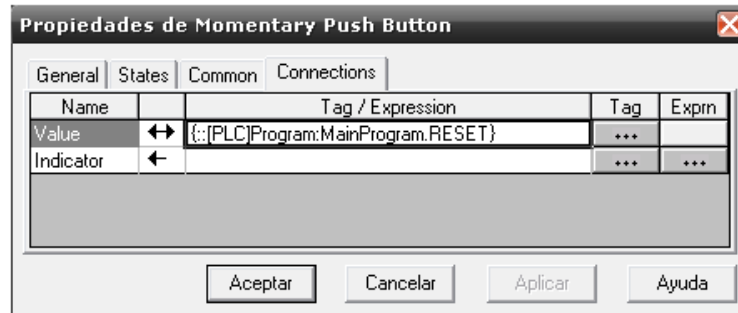
### 3.5. Switch reset



Seleccione el ícono “Momentary Push Button”  y arrástrelo hasta el área de trabajo.

Se desplegará una ventana que muestra las propiedades del botón momentario.


En la pestaña Connections se selecciona el Tag correspondiente. Por ejemplo, el Tag denominado “RESET” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

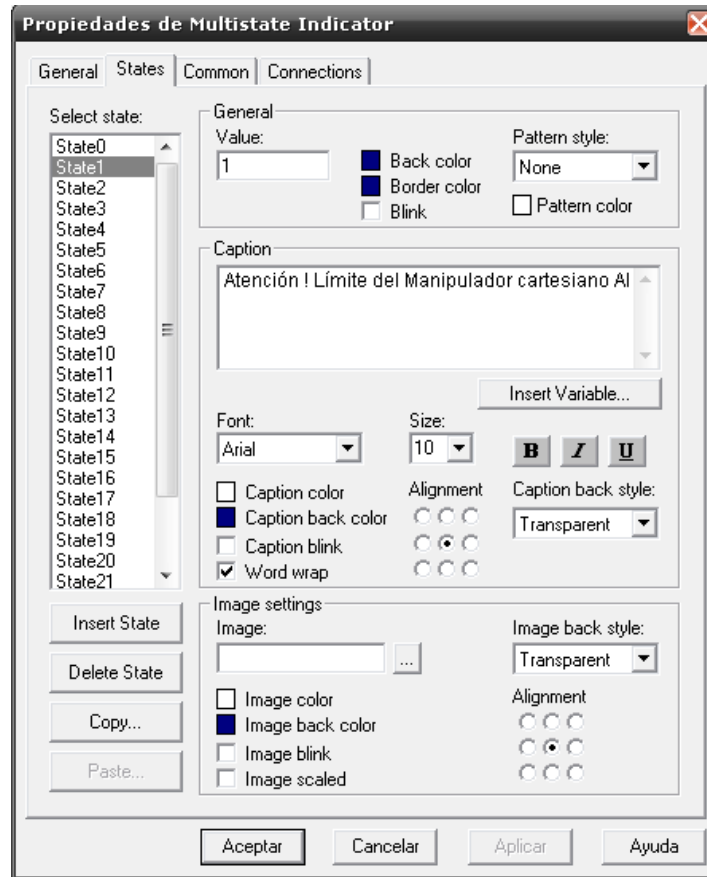


## 4. PANTALLAS INDICADORAS

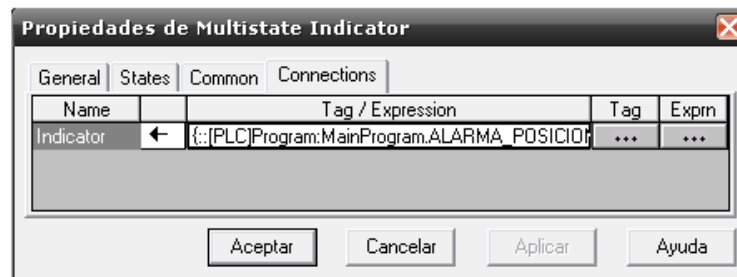
### 4.1. Indicador multiestados para avisos

**Atención ! Límite del Manipulador cartesiano DERECHA y ADELANTE**

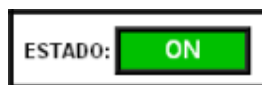
Seleccione el ícono “Multistate Indicator”  y arrástrelo hasta el área de trabajo. Se desplegará una ventana que muestra las propiedades del indicador multiestado. En la pestaña State se selecciona un estado. En el campo General se coloca el valor con el que se activará el aviso.




En la pestaña Connections seleccione el Tag correspondiente. Por ejemplo, el Tag denominado “ALARMA\_POSICION” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

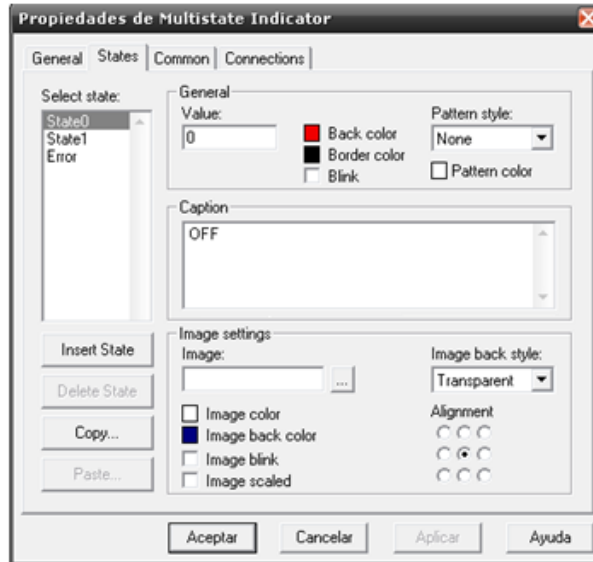


#### 4.2. Indicador multiestados activación y desactivación



Seleccione el ícono “Multistate Indicator”  y arrástrelo hasta el área de trabajo. Se desplegará una ventana que muestra las propiedades del indicador multiestado.

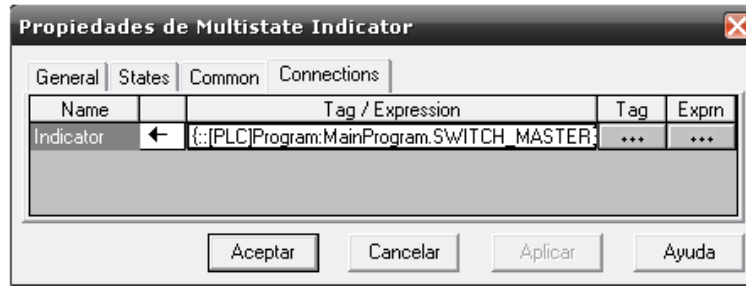
Con el estado 0 se indica el estado de desactivación del proceso de limpieza y revestimiento.



Con el estado 1 se indica el estado de activación del proceso de limpieza y revestimiento.




En la pestaña Connections seleccione el Tag correspondiente. Por ejemplo, el Tag denominado "SWITCH\_MASTER" asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.



## 5. TABLA INFORMATICA

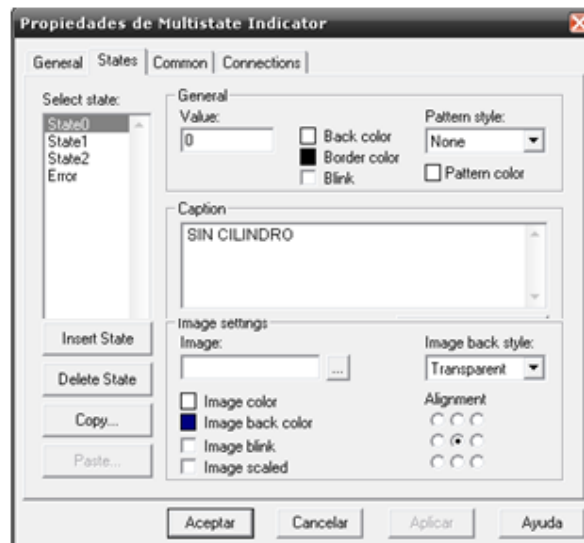
CILINDRO	TIPO A
BAÑOS A REALIZAR	TODOS LOS BAÑOS

### 5.1. Tipo de cilindro

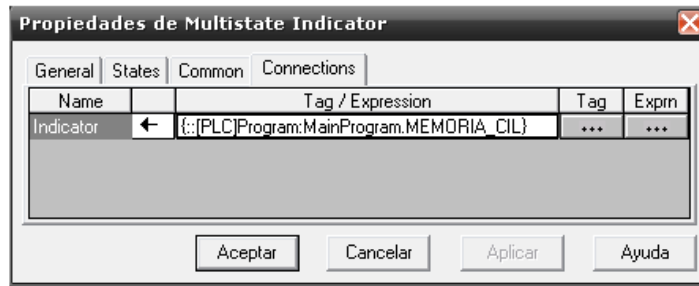
Seleccione el ícono “Multistate Indicator”  y arrástrelo hasta el área de trabajo.

Se desplegará una ventana que muestra las propiedades del indicador multiestado.


En la pestaña States, se escribe un valor determinado que permitirá mostrar el tipo de cilindro recibido en la estación PS-2800. Por ejemplo, el valor 0 indica que no ha sido enviado ningún cilindro.



En la pestaña Connections se selecciona el Tag correspondiente. Por ejemplo, el Tag denominado “MEMORIA\_CIL” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

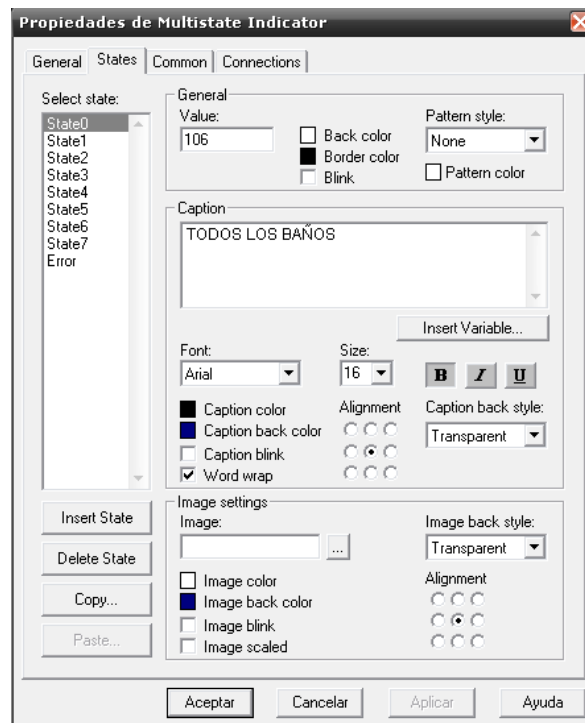


## 5.2. Baños a realizarse

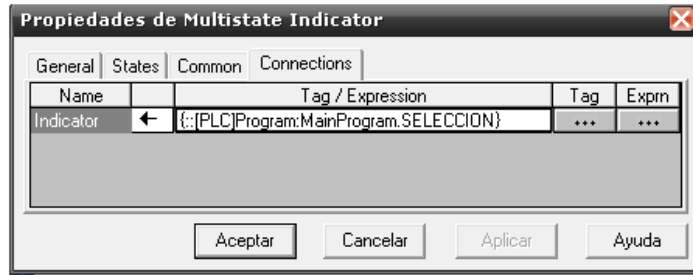
Seleccione el ícono “Multistate Indicator”  y arrástrelo hasta el área de trabajo.

Se desplegará una ventana que muestra las propiedades del indicador multiestado.

En la pestaña States, se escribe un valor determinado que permitirá mostrar la selección de baños a realizarse. Por ejemplo, el valor 106 indica que se realizarán todos los baños.




En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “SELECCION” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.



## 6. CONFIGURACION DE PARÁMETROS

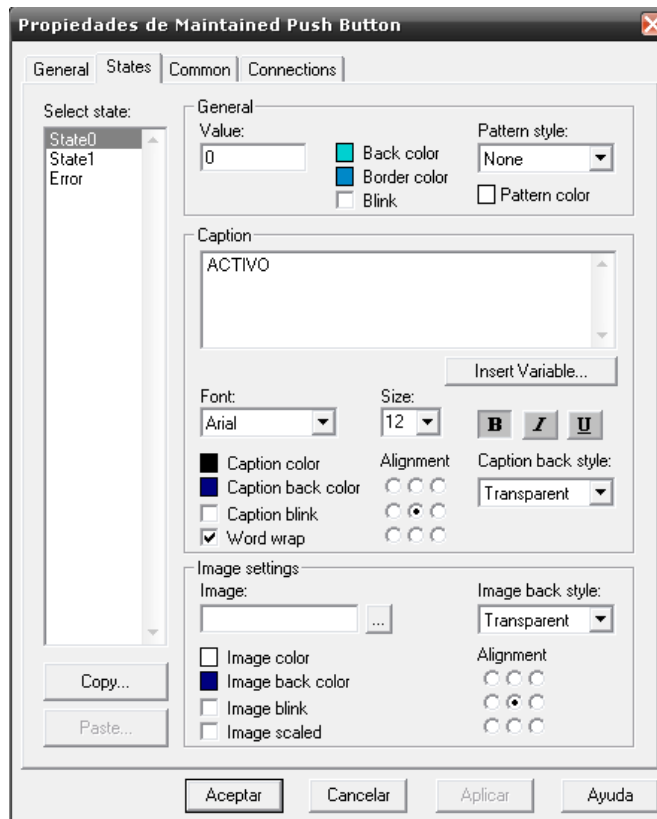
### 6.1. Habilitación de baños

**BAÑO 1** ACTIVO

Seleccione el ícono “Maintained Push Button”  y arrástrelo hasta el área de trabajo.

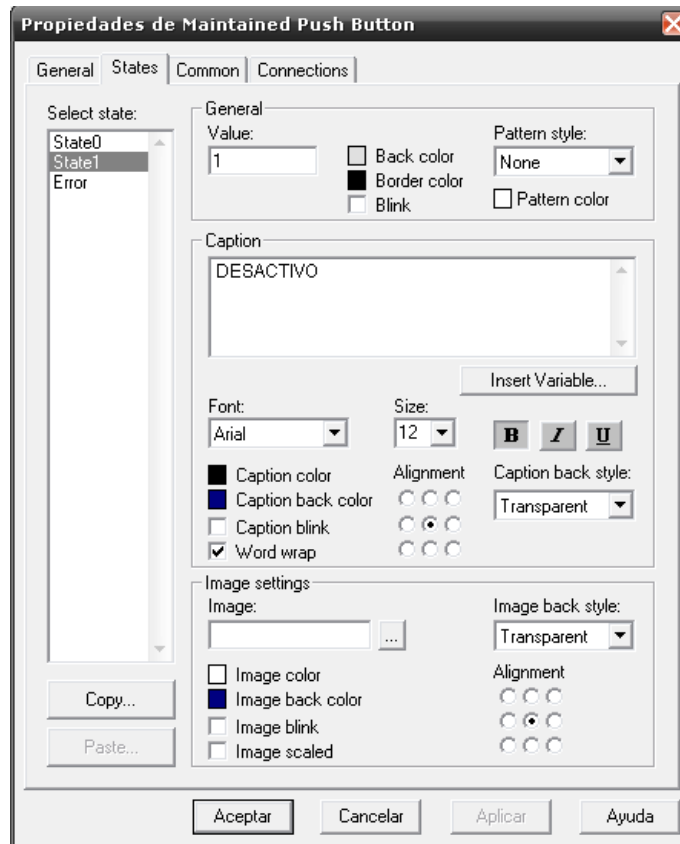
Se desplegará una ventana que muestra las propiedades del botón gestor.

En la pestaña State el valor 0 indica que el baño se encuentra ACTIVO

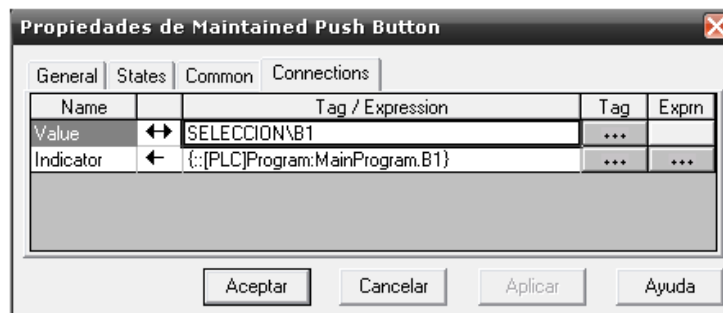


En la pestaña State el valor 1 indica que el baño se encuentra DESACTIVO






En la pestaña Connections se selecciona el Macro denominado “SELECCION\B1”.



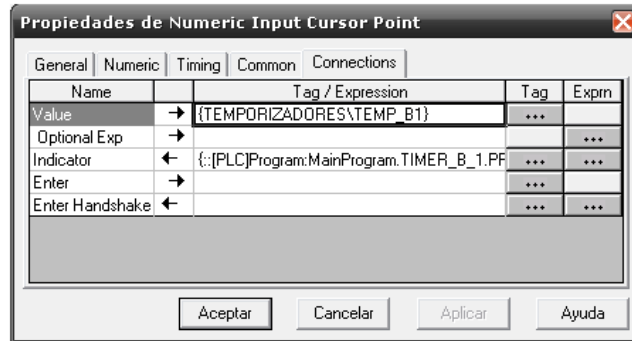
## 6.2. Tiempo por baño



Seleccione el ícono “Numeric Input Cursor Point”  y arrástrelo hasta el área de trabajo.

Se desplegará una ventana que muestra las propiedades del botón que permite el ingreso de un valor.

En la pestaña Connections se selecciona el Macro denominado “TEMPORIZADOR\TEMP\_B1”.




## 7. VARIABLES DEL PROCESO

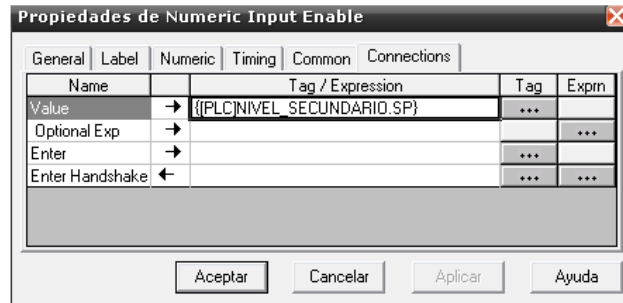
### 7.1. Ingreso de variables

#### 7.1.1. Set Point (SP)



Seleccione el ícono “Numeric Input Enable”  y arrástrelo hasta el área de trabajo.


En la pestaña Connections seleccione el Tag correspondiente. Por ejemplo, el Tag denominado “NIVEL\_SECUNDARIO.SP” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.



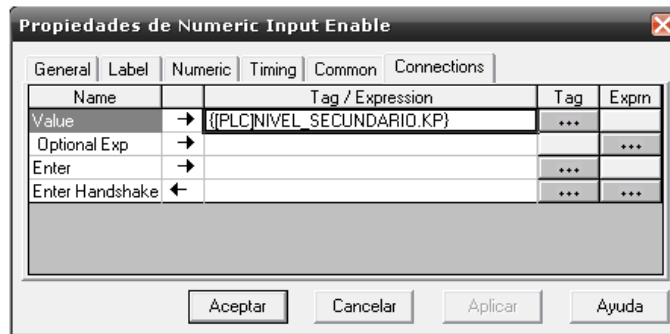
#### 7.1.2. Constantes (KP, KI)

### Ingreso de la constante proporcional (KP) de la variable NIVEL




Seleccione el ícono “Numeric Input Enable”  y arrástrelo hasta el área de trabajo.

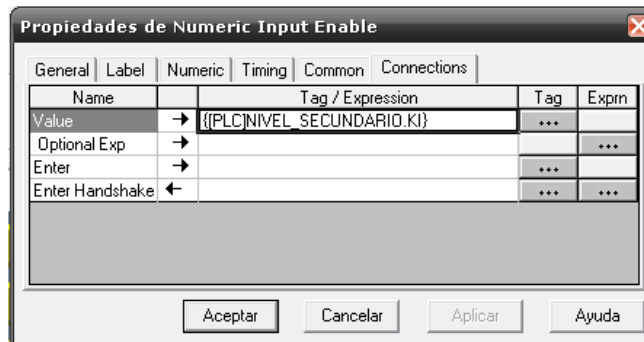
Se desplegará una ventana que muestra las propiedades del botón de entrada numérica. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “NIVEL\_SECUNDARIO.KP” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.



### Ingreso de la constante de integración (KI) de la variable NIVEL




Seleccione el ícono “Numeric Input Enable”  y arrástrelo hasta el área de trabajo. Se desplegará una ventana que muestra las propiedades del botón de entrada numérica. En la pestaña Connections se selecciona el Tag denominado “NIVEL\_SECUNDARIO.KI” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

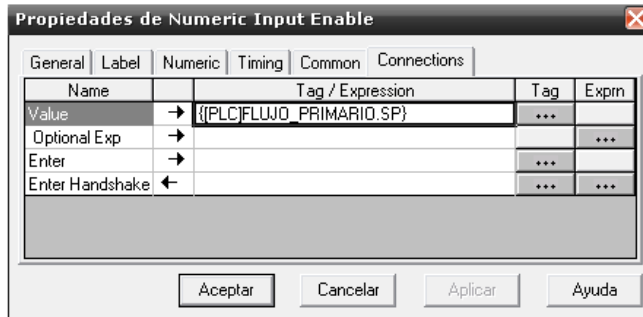


## 7.2. Visualización

### 7.2.1. Set Point (SP)



Seleccione el ícono “Numeric Input Enable”  y arrástrelo hasta el área de trabajo. Se desplegará una ventana que muestra las propiedades del botón de entrada numérica. En la pestaña Connections seleccione el Tag correspondiente. Por ejemplo, el Tag denominado “FLUJO\_PRIMARIO.SP” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.



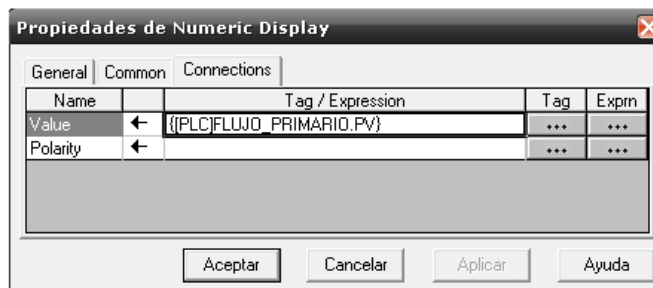
### 7.2.2.Variable de Proceso (PV)



Seleccione el ícono “Numeric Display”  y arrástrelo hasta el área de trabajo.

Se desplegará una ventana que muestra las propiedades del botón de entrada numérica.

En la pestaña Connections seleccione el Tag correspondiente. Por ejemplo, el Tag denominado “FLUJO\_PRIMARIO.PV” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

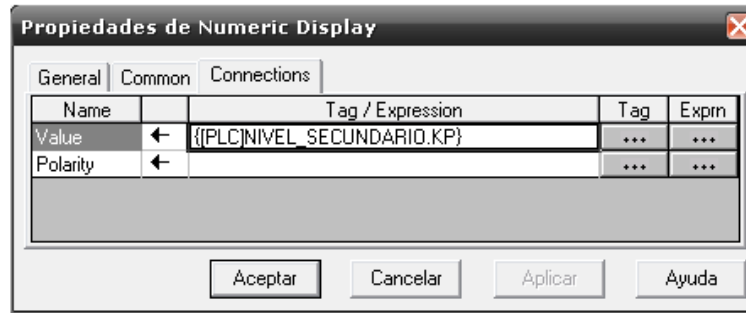


### 7.2.3.Visualización constantes (KP, KI)

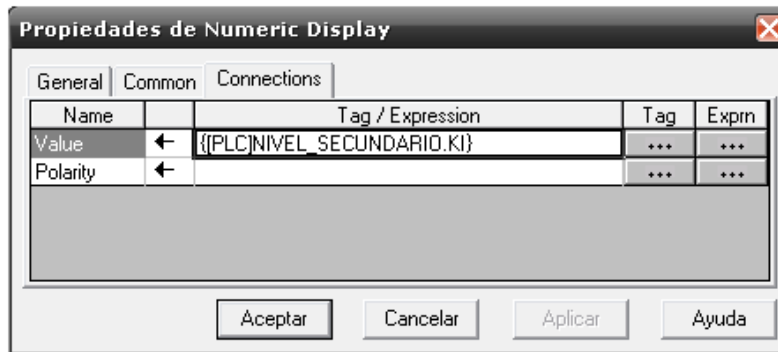
Seleccione el ícono “Numeric Display”  y arrástrelo hasta el área de trabajo.

Se desplegará una ventana que muestra las propiedades del botón de entrada numérica.

En la pestaña Connections seleccione el Tag correspondiente. Por ejemplo, para la constante proporcional (KP) el Tag denominado “NIVEL\_SECUNDARIO.KP” es asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.



Otro ejemplo, para la constante de integración (KI) el Tag denominado “NIVEL\_SECUNDARIO.KI” es asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.



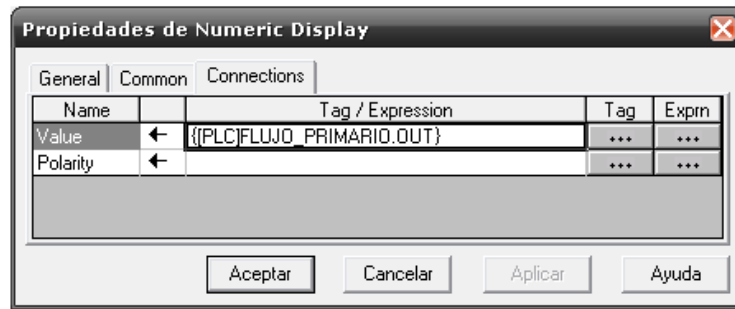
#### 7.2.4. Variable Manipulada (MV)



Seleccione el icono “Numeric Display”  y arrástrelo hasta el área de trabajo.

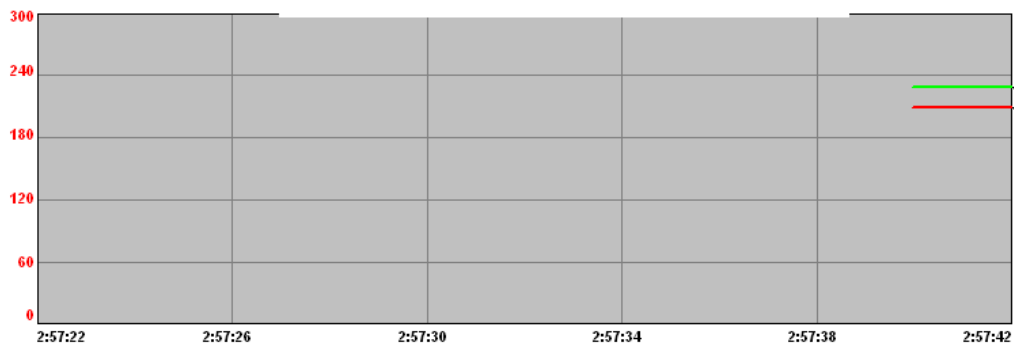
Se desplegará una ventana que muestra las propiedades del botón de entrada numérica.


En la pestaña Connections seleccione el Tag correspondiente. Por ejemplo, el Tag denominado “FLUJO\_PRIMARIO.OUT” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.



## 8. VISUALIZACIÓN DE VARIABLES

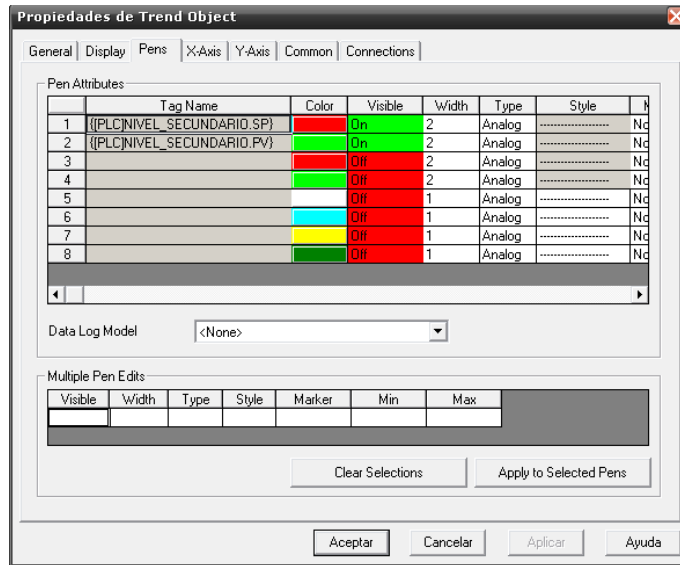
### 8.1.1. Trend que indica Set Point (SP) y Variable de Proceso (PV)



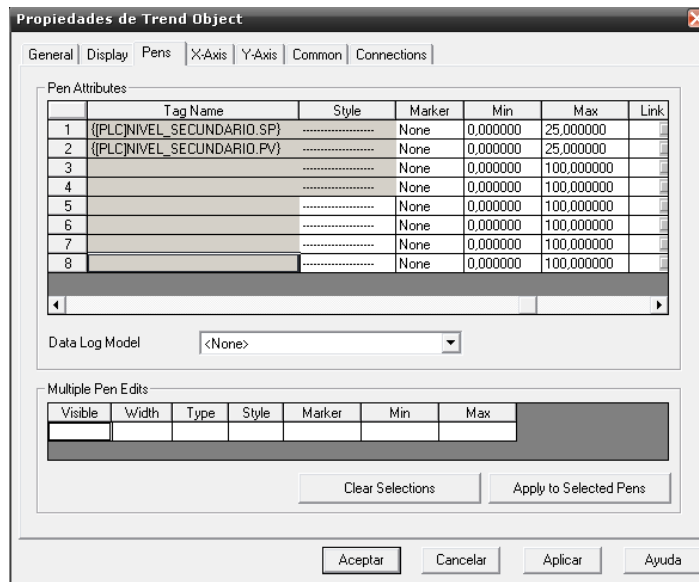
Seleccione el ícono “Trend”  y arrástrelo hasta el área de trabajo.

Se desplegará una ventana que muestra las propiedades del objeto trend.

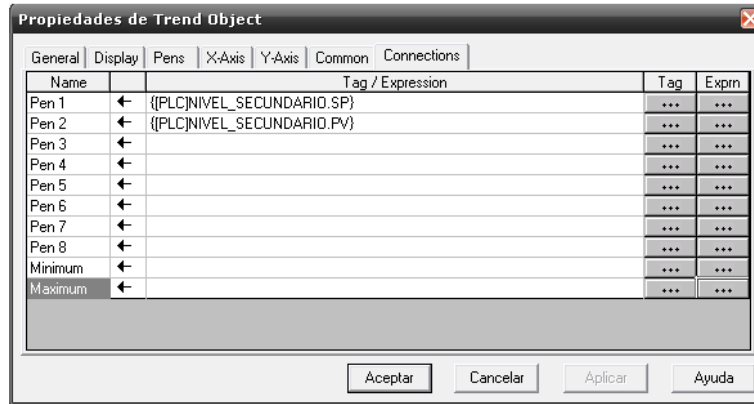
En la pestaña Pens se selecciona el color de la variable, tipo de variable.



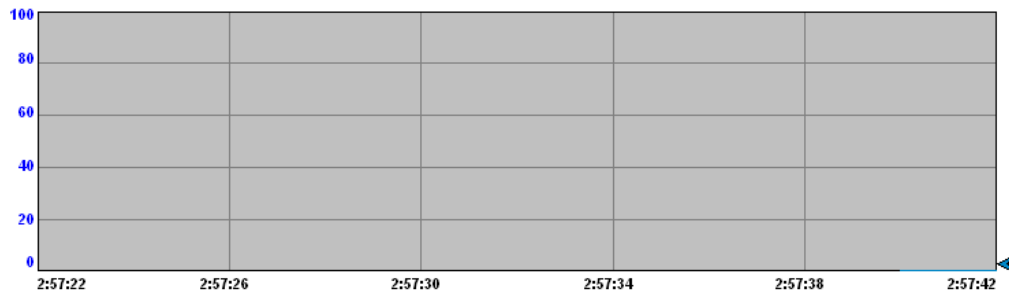
En la pestaña Pens se determina el rango de operación de la correspondiente variable.




En la pestaña Connections seleccione los Tags correspondientes; es decir, el Set Point de la variable y la Variable de Proceso. Por ejemplo, los Tags denominado “NIVEL\_SECUNDARIO.SP” y “NIVEL\_SECUNDARIO.PV” asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.

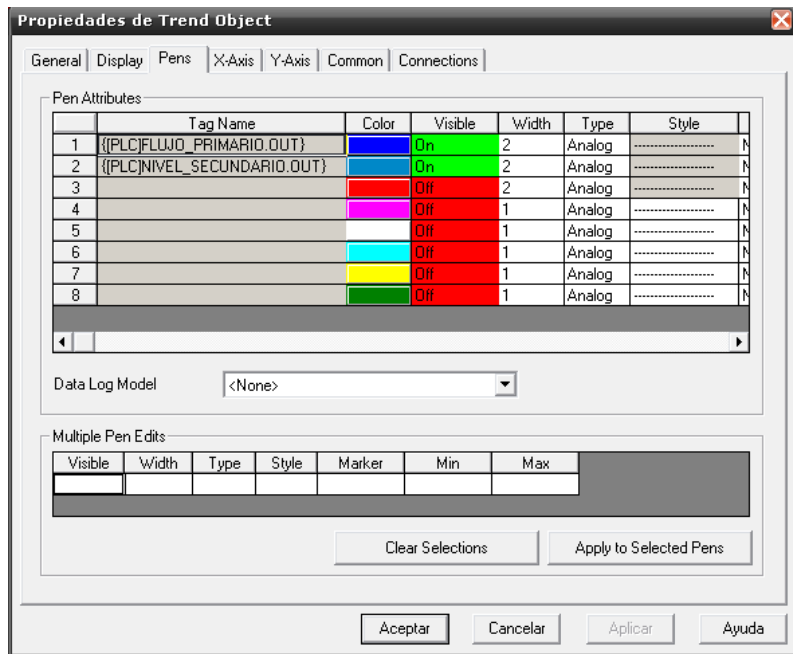


### 8.1.2. Trend que indica la Variable Manipulada (MV)

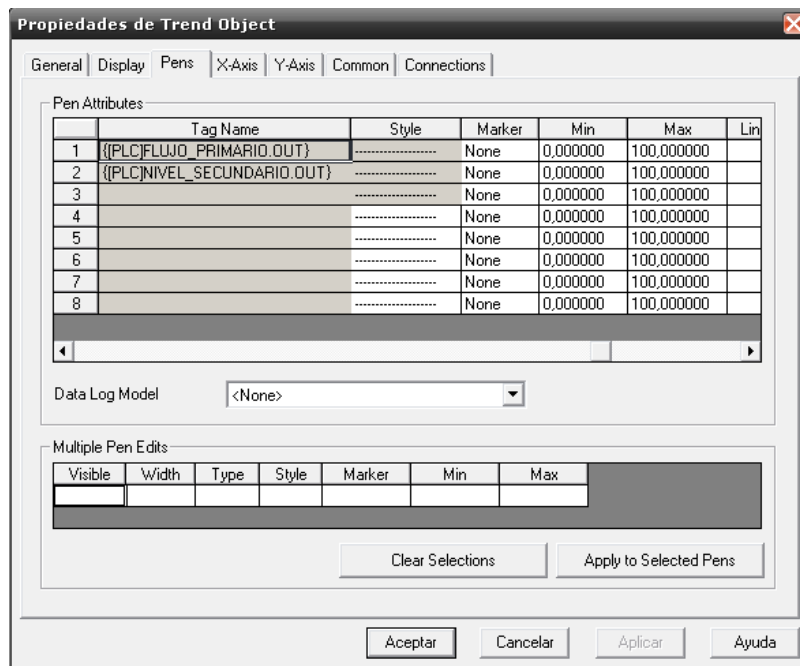


Seleccione el ícono “Trend”  y arrástrelo hasta el área de trabajo.  
 Se desplegará una ventana que muestra las propiedades del objeto trend.  
 En la pestaña Pens se selecciona el color de la variable, tipo de variable.

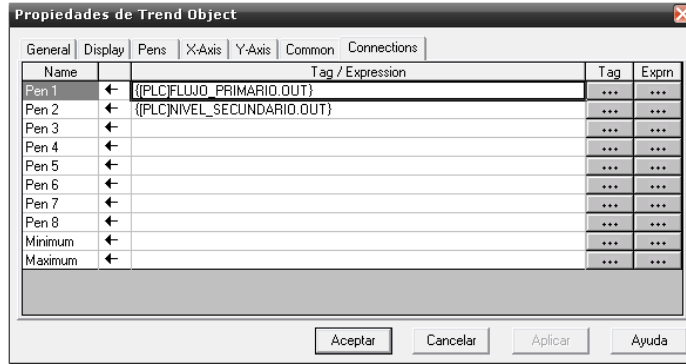




En la pestaña Pens se determina el rango de operación de las variables deseadas



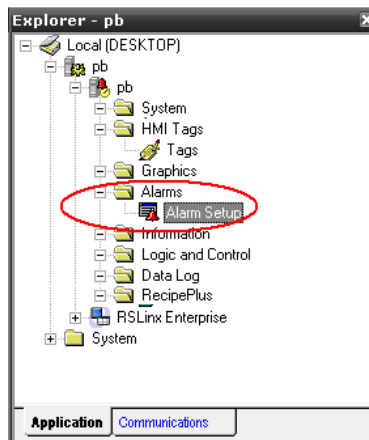
En la pestaña Connections seleccione los Tags correspondientes. Por ejemplo, el Tag denominado "FLUJO\_PRIMARIO.OUT" y "NIVEL\_SECUNDARIO.OUT" asociado al programa del PLC utilizando el software RSLogix 5000.



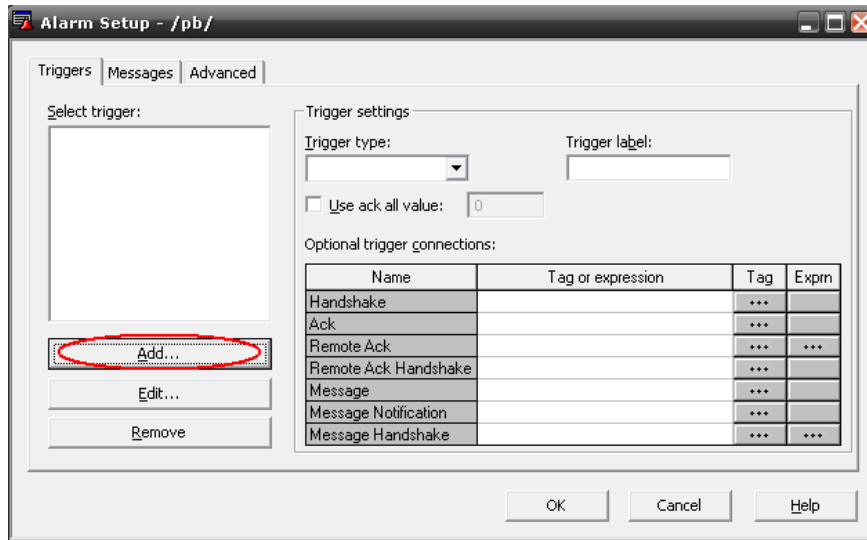
## 9. ALARMAS

La configuración de alarmas para la Interfaz gráfica se realiza siguiendo los siguientes pasos:

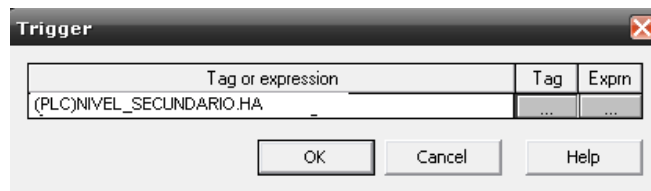
- Dentro de la carpeta Alarms, escoja el icono Alarm Steup y de doble clic.



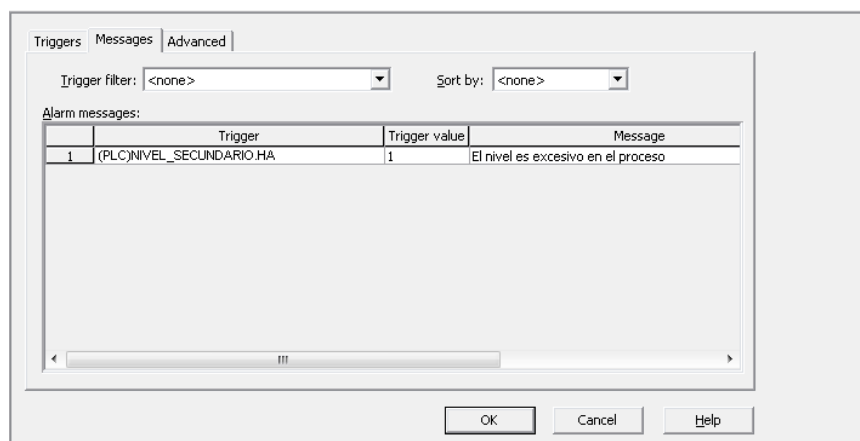
- A continuación se abre la ventana de configuración de alarmas.

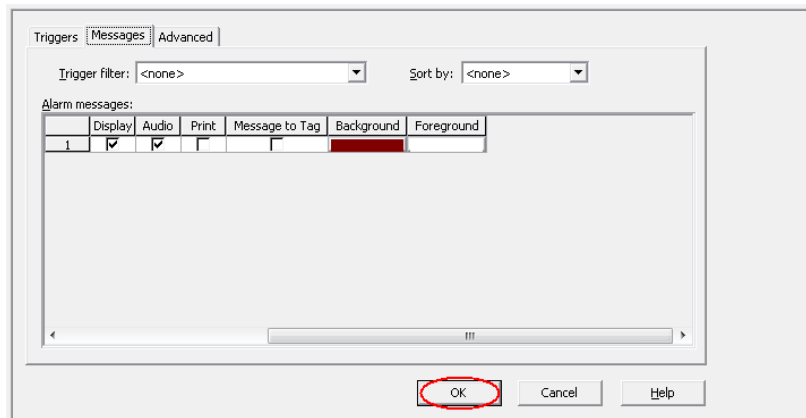


- De clic sobre el botón Add para agregar el tag correspondiente a la alarma.

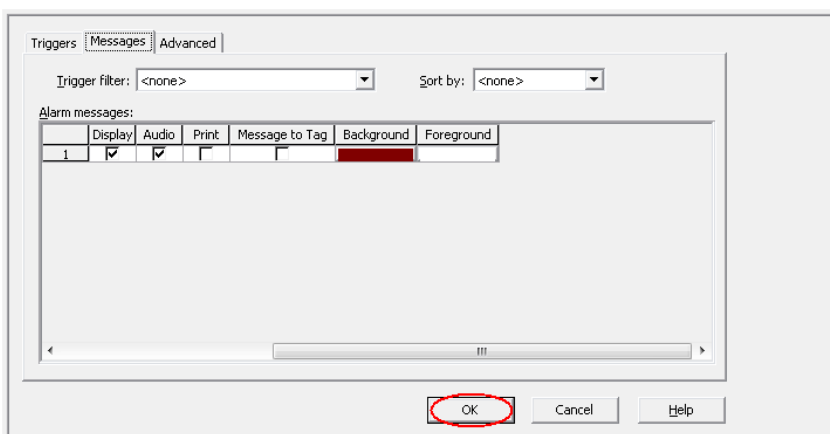
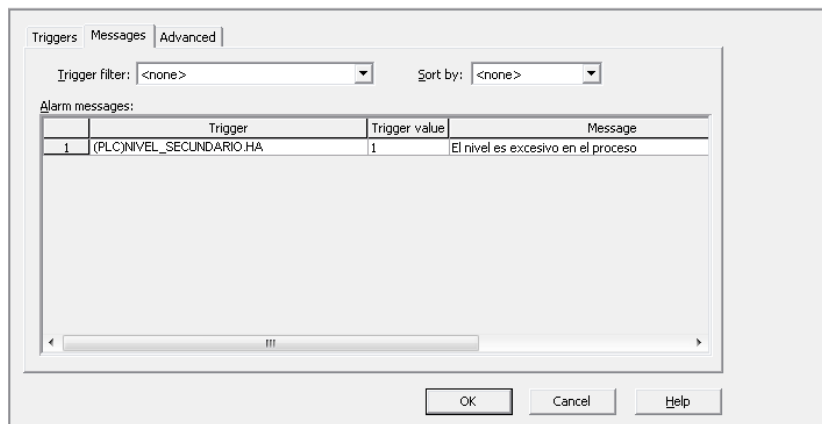


- Luego escoja si el tag es un valor o un bit y se le puede asignar una etiqueta que lo identifique





- Finalmente se configura el valor con que se dispara la alarma, el mensaje que se muestra, si se mostrara en una ventana, si la alarma tendrá sonido y el fondo de la misma.

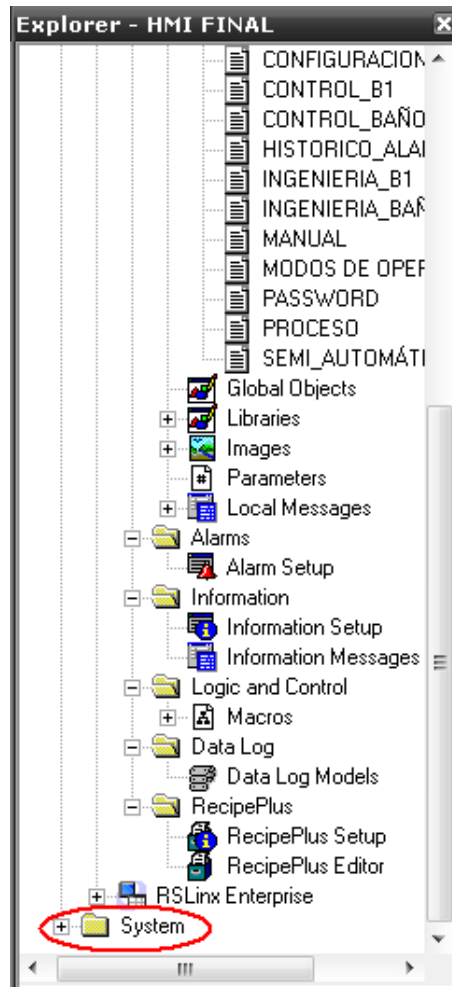


- Al dar clic sobre “OK” para que la alarma queda configurada

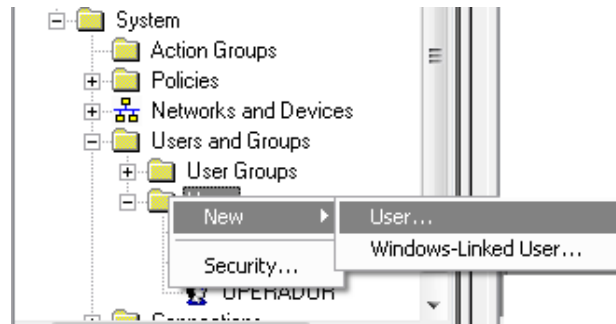
## ANEXO 9

### Creación de un nuevo usuario

Despliegue la carpeta “System”



Despliegue la carpeta “Users and Groups”, de clic derecho sobre la carpeta “User” y elija la opción “New” --> “User”.



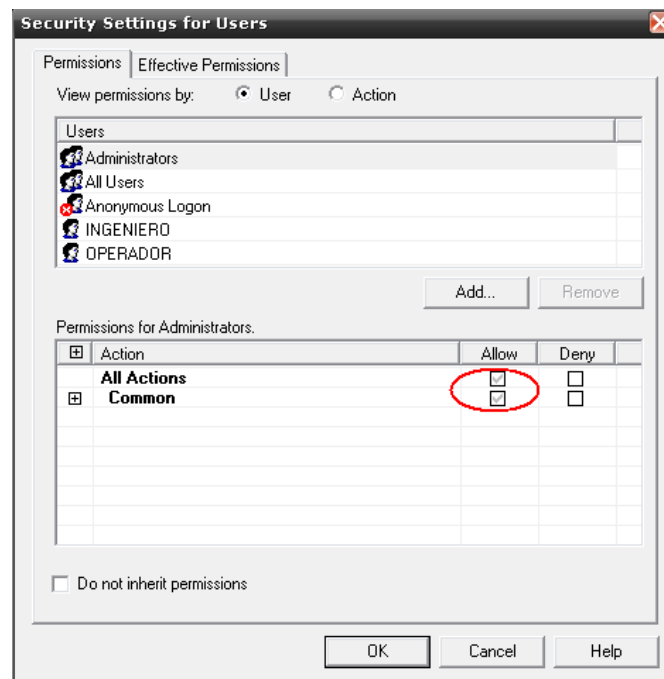
- Inmediatamente se genera una nueva ventana donde se asigna el nombre del usuario y su respectiva contraseña, como se muestra a continuación.

A screenshot of the 'New User' dialog box. The 'General' tab is selected. The 'User name' field contains 'INGENIERO', the 'Full name' field contains 'INGENIERO', and the 'Description' field contains 'El usuario tiene acceso a toda la HMI'. There are four unchecked checkboxes: 'User must change password at next logon', 'User cannot change password', 'Password never expires', and 'Account is disabled'. The 'Password' and 'Confirm Password' fields both contain '\*\*\*\*'. At the bottom, there are three buttons: 'Create', 'Cancelar', and 'Ayuda'.

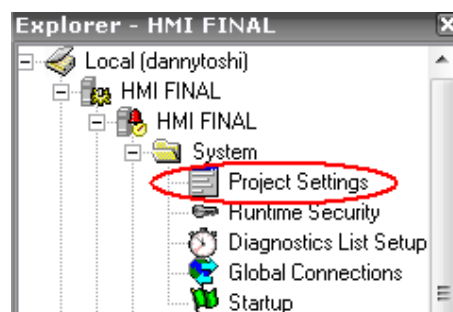
Despliegue la carpeta “Users and Groups”, de clic derecho sobre la carpeta “User” y elija la opción “New” --> “Security”.



- Inmediatamente se genera una nueva ventana donde se selecciona los campos indicados.



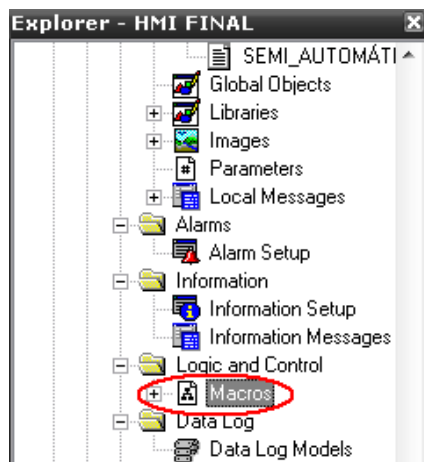
Despliegue la carpeta “System”, de doble clic sobre “Project Settings”.



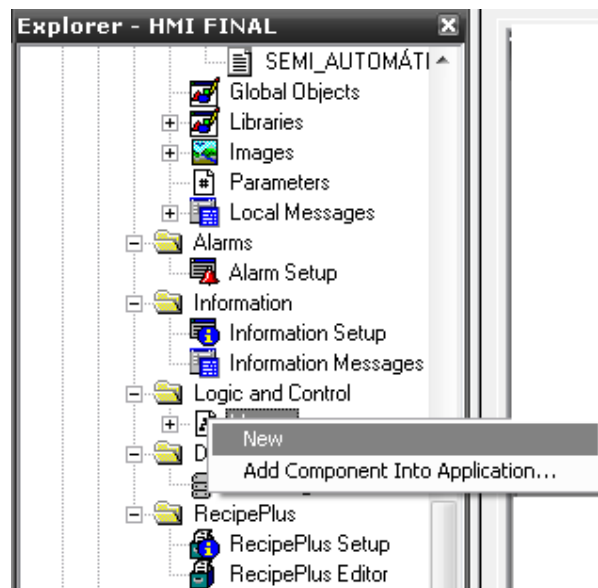




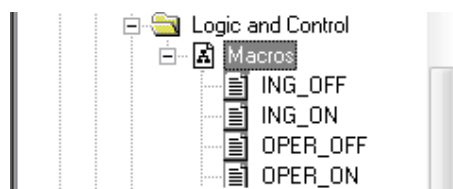
Para la creación y configuración de un macro se debe realizar el siguiente procedimiento:



Despliegue la carpeta “Macro”, se da click sobre la carpeta y elija la opción “New”.



Se crean cuatro macros que a continuación serán explicados:



- El macro ING\_ON carga el valor de 1 al Tag Auxiliares\Ing y el valor de 0 al Tag Auxiliares\Oper.

	Tag	Tag	Expression	Exprn
1	AUXILIARES\ING	***	1	***
2	AUXILIARES\OPER	***	0	***
3		***		***

- El macro ING\_OFF carga el valor de 0 al Tag Auxiliares\Oper.

	Tag	Tag	Expression	Exprn
1	AUXILIARES\ING	***	0	***
2		***		***

- El macro OPER\_ON carga el valor de 0 al Tag Auxiliares\Ing y el valor de 1 al Tag Auxiliares\Oper.

	Tag	Tag	Expression	Exprn
1	AUXILIARES\OPER	***	1	***
2	AUXILIARES\ING	***	0	***
3		***		***

- El macro OPER\_OFF carga el valor de 0 al Tag Auxiliares\Oper.

	Tag	Tag	Expression	Exprn
1	AUXILIARES\OPER	***	0	***
2		***		***

## ANEXO 10

Manual de Usuario

# ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

## ESTACIÓN DE CONTROL DE PROCESOS PS-2800



## MANUAL DE USUARIO

Realizado por: Wendy Y. Eras H.  
Danny R. Arguero Z.

Allen Bradley · Rockwell Software **Rockwell  
Automation**

## 1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

La estación de Control de Procesos realiza un control de flujo, nivel y temperatura, dicho proceso comienza cuando un pallet que transporta un cilindro llega a la estación PS-2800. El manipulador cartesiano toma la pieza del pallet y la transporta hacia la línea de procesamiento. El proceso de revestimiento comprende 7 etapas de limpieza y revestimiento.

Las etapas por las cuales tiene que pasar la pieza metálica se describen brevemente a continuación:

1. Primera etapa: Limpieza de suciedad y pintura, mediante agua jabonosa alcalina a 50 ° C.
2. Segunda etapa: Lavado de residuos de suciedad.
3. Tercera etapa: Inmersión en ácido fosfórico (Matrox 4) para corrosión de la pieza (corrosión es el proceso de quitar una capa delgada de la superficie).
4. Cuarta etapa: Enjuague bajo agua corriente.
5. Quinta etapa: Revestimiento del aluminio con Allodyne.
6. Sexta etapa: Enjuague bajo agua corriente
7. Séptima etapa: Secado del aluminio revestido.

La estación de Control de Procesos cuenta con el equipo de instrumentación necesario para llevar a cabo este proceso. Simultáneamente ejecuta un control de flujo, nivel y temperatura de la siguiente manera:

- Baño B1 (Primera etapa): Control de flujo, nivel y temperatura.
- Baños B2, B4 o B6 (Segunda, cuarta y sexta etapa): Control de flujo

**NOTA:** Es importante que lea este manual antes de poner en marcha el sistema.

## **2. ESPECIFICACIONES**

Los requerimientos para cada proceso son indicados a continuación:

### **2.1. Baño B1 (Primera etapa)**

#### **2.1.1. Lazos de control de las variables Flujo y Nivel**

La primera etapa se realiza la limpieza de suciedad y pintura debe cumplir con las siguientes especificaciones técnicas del sistema:

- Rango de flujo del proceso: 0 a 1000 cm<sup>3</sup>/min.
- Rango de flujo de control (Set Point, SP): 500 a 600 cm<sup>3</sup>/min, según lo requerido.
- Precisión máxima:  $\pm 2\%$  del SP.
- Alarma alta, en control: 100 cm<sup>3</sup>/min sobre el valor actual de SP.
- Alarma baja, en control: 100 cm<sup>3</sup>/min bajo el valor actual de SP.

#### **2.1.2. Lazo de control de la variable Temperatura**

Una vez establecida la estrategia de control del proceso, se procedió a determinar las especificaciones técnicas del sistema:

- Rango de temperatura del proceso: 0 a 100 ° C.
- Rango de temperatura de control (Set Point, SP): 40 a 60 ° C, según lo requerido.
- Precisión máxima:  $\pm 2$  °C (sobre la lectura actual).
- Alarma alta, en control: 5 ° C sobre el valor actual de SP.
- Alarma baja, en control: 5 ° C bajo el valor actual de SP.

### **2.2. Baños B2, B4 o B6 (Segunda, cuarta y sexta etapa)**

En la segunda, cuarta y sexta etapa se realiza el lavado de residuos de suciedad mediante el enjuague bajo agua corriente. Por lo tanto, en el control de este proceso interviene únicamente la variable de Flujo.

Cumpliendo con las siguientes especificaciones técnicas del sistema:

- Rango de flujo del proceso: 0 a 1000 cm<sup>3</sup>/min.
- Rango de flujo de control (Set Point, SP): 500 a 600 cm<sup>3</sup>/min, según lo requerido.
- Precisión máxima: ±2% del SP.
- Alarma alta, en control: 100 cm<sup>3</sup>/min sobre el valor actual de SP.
- Alarma baja, en control: 100 cm<sup>3</sup>/min bajo el valor actual de SP.

### 3. COMIENZE A TRABAJAR CON EL SISTEMA

Siga los pasos de esta sección para iniciar el sistema.

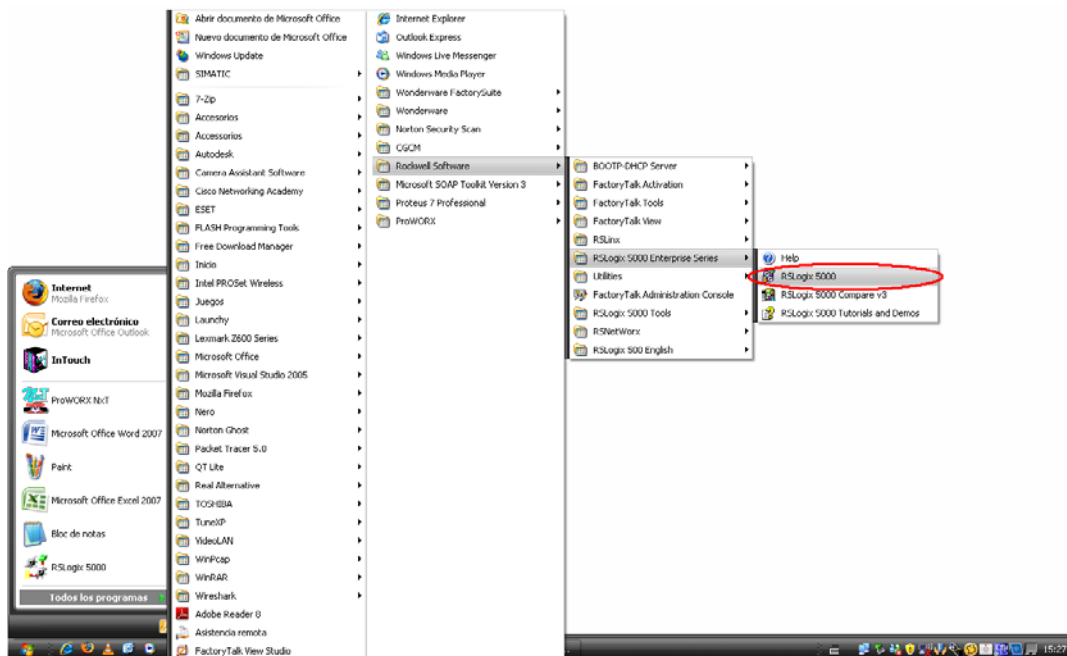
#### 3.1. Energice el sistema

Diríjase al tablero de control y gire el switch master a la posición 1 (encendido de la estación).

Presione el botón de encendido del controlador PLC ON (ACTIVO).

#### 3.2. Iniciar el PLC, mediante RSLogix 5000

Ir a: INICIO → Todos los Programas → Rockwell Software → RSLogix 5000 Enterprise Series → RSLogix 5000.



## **APLICACIÓN: ESTACIÓN DE CONTROL DE PROCESOS PS-2800**

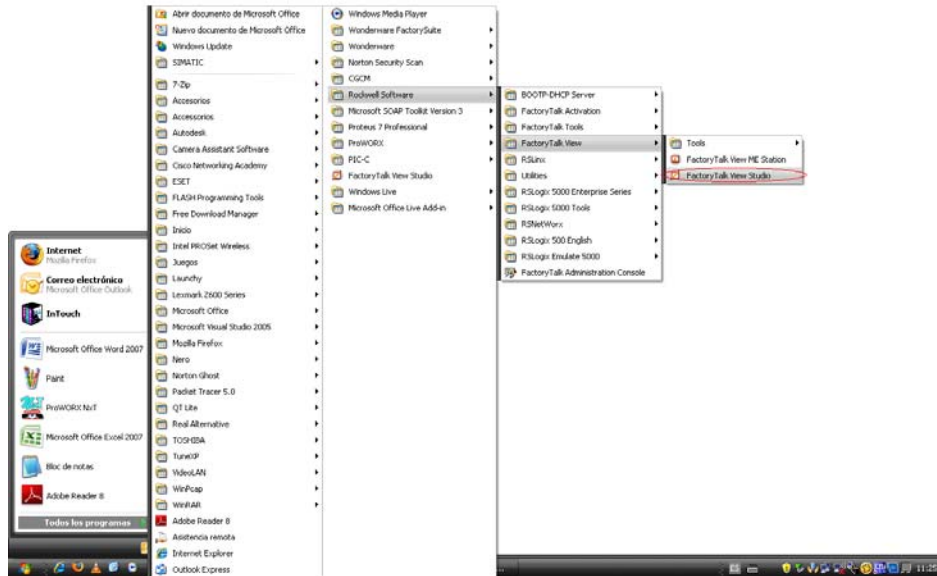
- En la Barra de Herramientas seleccionar la opción “File”
  - Seleccionar “Open”
  - Seleccionar el ícono “Escritorio”
  - Seleccionar la carpeta “Tesis PS-2800”
  - Seleccione la opción “CPU\_PS2800.ACD”
  
- En la pestaña Offline ubicada en el extremo superior izquierdo.
  - Seleccione la opción “Download”
  - De click sobre el botón “Download”
  - Diríjase otra vez a la pestaña Offline y seleccione la opción “Run Mode”

## **APLICACIÓN: SET DE PRÁCTICAS PS-2800**

- En la Barra de Herramientas seleccionar la opción “File”
  - Seleccionar “Open”
  - Seleccionar el ícono “Escritorio”
  - Seleccionar la carpeta “Practicas PS-2800”
  - Seleccione la opción “CPU\_PS2800.ACD”
  
- En la pestaña Offline ubicada en el extremo superior izquierdo.
  - Seleccione la opción “Download”
  - De click sobre el botón “Download”
  - Diríjase otra vez a la pestaña Offline y seleccione la opción “Run Mode”

### **3.3. Inicie la interfaz gráfica, mediante Factory Talk View**

Ir a: INICIO → Todos los Programas → Rockwell Software → Factory Talk View → Factory Talk View Studio.



- En la ventana “New/Open Machine Edition Application”
  - Seleccione el programa “estación PS2800”
- En la Barra de Herramientas seleccione la opción “Application”
  - Seleccione la opción “Test Application”

#### 4. MANEJO DE LA INTERFAZ HMI

La primera pantalla que presenta el sistema es la siguiente: En esta se muestra el tema de proyecto de tesis y el nombre de sus respectivos autores.





Para dar inicio al funcionamiento de la estación de Control de Procesos PS-2800 presione el botón “Ir a operación”.

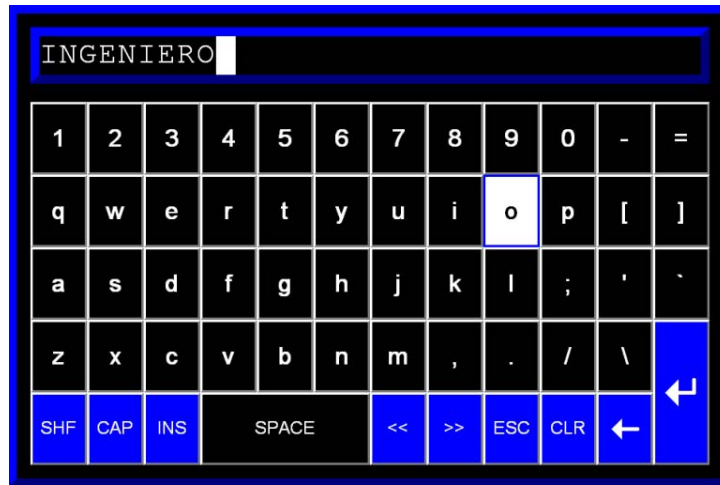
La segunda pantalla presenta la selección del usuario e ingreso de la contraseña. Estos datos serán los validadores para acceder al proceso.



Al presionar el botón “Usuario” se desplegará una ventana en donde se ingresa el tipo de usuario en el recuadro ubicado en la parte superior con su correspondiente password en el recuadro ubicado en la parte inferior.



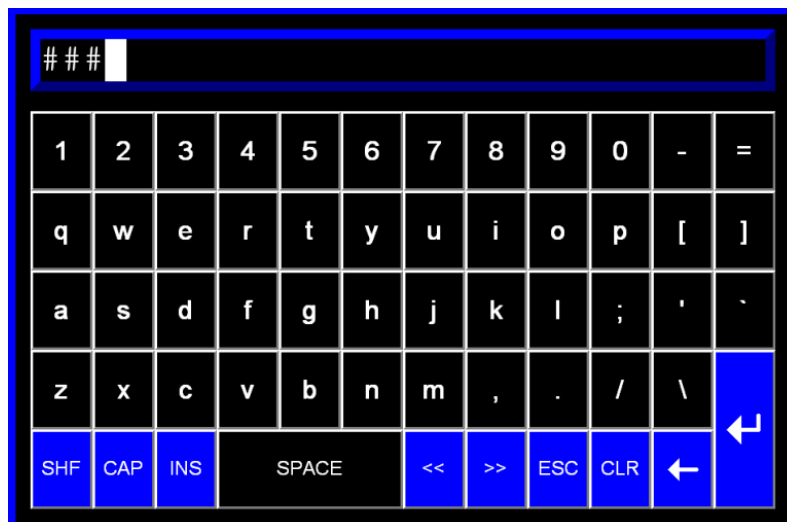
Al seleccionar el botón “User” se desplegará una ventana que contiene un teclado alfanumérico que permite el ingreso del tipo de usuario. Se proporciona dos opciones de usuario: Operador e Ingeniero.



Después de escribir el tipo de usuario, presione el botón ubicado en la esquina inferior derecha.

Al seleccionar el botón “Password” se desplegará una ventana que contiene un teclado alfanumérico donde se digitará la clave correspondiente al tipo de usuario. Si el tipo de usuario seleccionado es Operador, la clave de acceso es 123 o si el tipo de usuario seleccionado es Ingeniero, la clave de acceso es ABC.

La clave de acceso tiene que ser escrita utilizando letras mayúsculas.



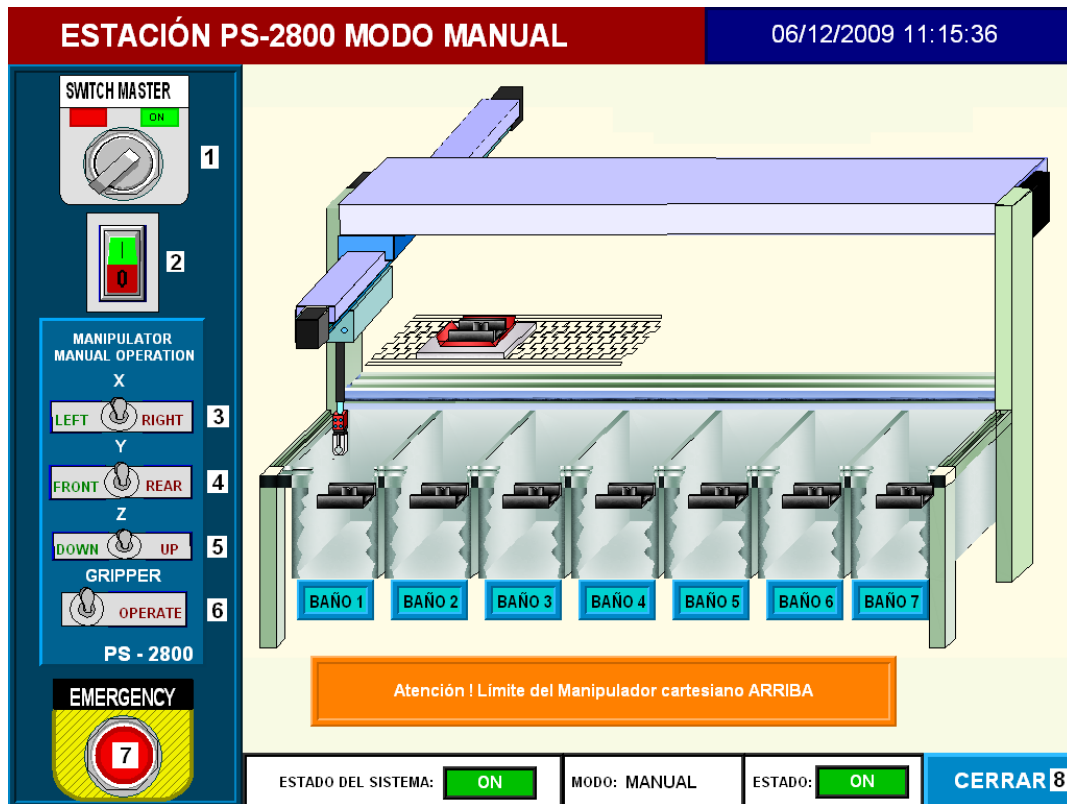
La tercera pantalla presenta los modos de operación de la estación PS-2800.



A continuación se indica la función de cada botón presente en esta ventana:

1. **Botón “MANUAL”**: permite al operador mover libremente el brazo robótico en los ejes X, Y e Z utilizando el manipulador externo.
2. **Botón “SEMIAUTOMÁTICO”**: permite al operador seleccionar las etapas de baños a realizarse, como también la duración del tiempo correspondiente al baño. Además, podrá elegir la velocidad a la que se moverá el brazo robótico durante el proceso de limpieza y revestimiento de la pieza metálica.
3. **Botón “AUTOMÁTICO”**: realiza una secuencia periódica donde el brazo cartesiano toma el cilindro metálico del conveyor y lo transporta hacia la primera etapa de limpieza (Baño B1). Realizando los siete baños necesarios para el proceso de revestimiento
4. **Botón “PROCESO”**: muestra una simulación del control de proceso realizado en la estación
5. **Botón “CAMBIAR DE USUARIO”**: permite la opción de cambio de usuario.
6. **Botón “SALIR DE LA APLICACIÓN”**: cierra la interfaz gráfica.

Al seleccionar el modo de operación **MANUAL** Se presentará la pantalla de operación “MANUAL” que posee tres secciones delimitadas a simple vista: una ventana que contiene los botones de control, una ventana que contiene avisos indicadores de los límites de los sensores del manipulador, una ventana que indica el estado del proceso de limpieza y revestimiento, además de una animación.



- a) Gire el botón Switch Master (1) a la posición “ON” para encender el sistema de limpieza y revestimiento
- b) Presione el botón de accionamiento (2) que tiene la siguientes funcionalidades  
1: para activa el modo de operación manual y 0: para desactiva el modo de operación manual.
- c) Presione el selector “X” (3) para mover el robot cartesiano en el eje X.
- d) Presione el selector “Y” (4) para mover el robot cartesiano en el eje Y.
- e) Presione el selector “Z” (5) para mover el robot cartesiano en el eje Z.
- f) Presione el selector “Gripper”(6) para abrir el gripper.
- g) Presione el botón “EMERGENCY” (7) para desactivar el sistema por causas anormales en el funcionamiento del proceso de limpieza y revestimiento
- h) Presione el botón “CERRAR”(8) cuando desee salir del modo Manual

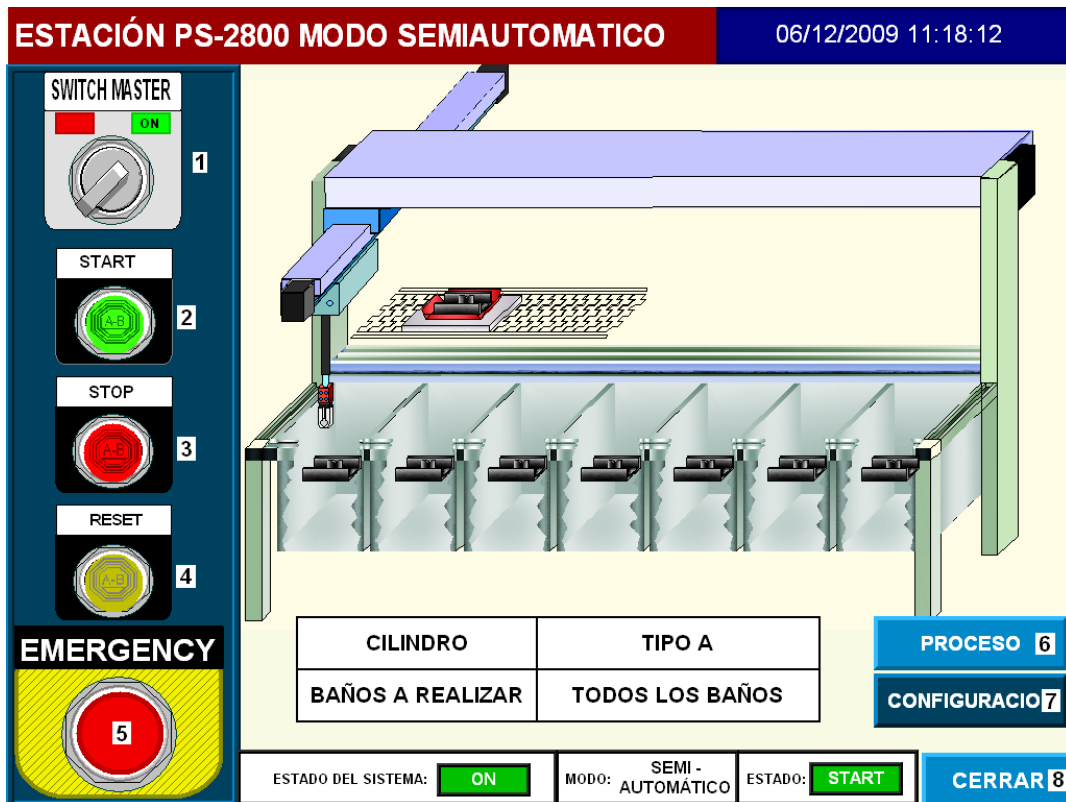
**ANIMACIÓN:** Presenta una simulación del movimiento del robot cartesiano en tiempo real.

**PANTALLA INDICADORA DEL LÍMITE DE MOVIMIENTO DEL MANIPULADOR CARTESIANO.-** muestra el límite de los sensores del manipulador cartesiano.

**BARRA INDICADORA DEL PROCESO:** La barra indica el estado del proceso de limpieza y revestimiento.-

- **Estado del sistema:** Indica el estado de activación (ENCENDIDO) o desactivación (APAGADO). Además, muestra el estado anormal (EMERGENCIA) del proceso de control de limpieza y revestimiento.
- **Modo:** Indica el modo de operación elegido por el operador.
- **Estado:** Indica el estado del modo de operación seleccionado por el usuario

Al seleccionar el modo de operación **SEMIAUTOMATICO** Se presentará la pantalla de modo de operación “SEMIAUTOMÁTICO” que posee tres secciones delimitadas a simple vista: una ventana que contiene los botones de control, una ventana que contiene información acerca del tipo de cilindro y los baños a realizarse, una ventana que indica el estado del proceso de limpieza y revestimiento, además de una animación



- a) Gire el botón Switch Master (1) a la posición “ON” para encender el sistema de limpieza y revestimiento
- b) Presione el botón “STAR”(2) para activar el modo Semiautomático
- c) Presione el botón “STOP”(3) para desactiva el modo Semiautomático
- d) Presione el botón “RESET”(4) para resetear todo el sistema
- e) Presione el botón “EMERGENCY”(5) para desactivar el sistema por causas anormales en el funcionamiento del proceso de limpieza y revestimiento
- f) Presione el botón “PROCESO”(6) para acceder a la pantalla de Proceso
- g) Presione el botón “CONFIGURACIÓN” (7) para acceder a la pantalla de Configuración
- h) Presione el botón “CERRAR”(8) cuando desee salir modo Semiautomático

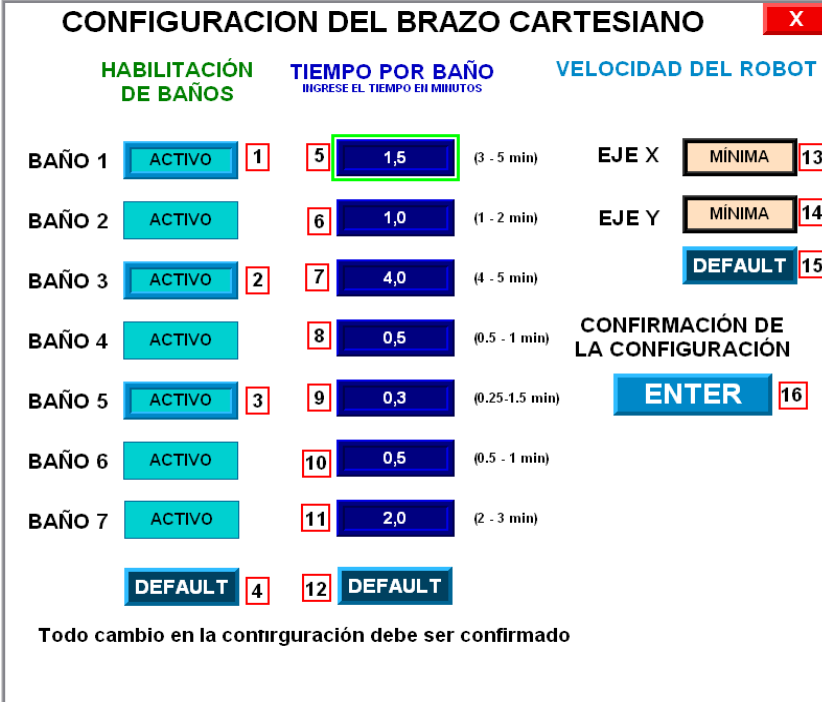
**ANIMACIÓN:** Presenta una simulación del movimiento del robot cartesiano en tiempo real.

**TABLA INDICADORA TIPO DE CILINDRO Y BAÑOS A REALIZARSE:** indica el tipo de cilindro A o B que llegó a la estación y los baños que se le realizarán.

**BARRA INDICADORA DEL PROCESO:** La barra indica el estado del proceso de limpieza y revestimiento.-

- **Estado del sistema:** Indica el estado de activación (ENCENDIDO) o desactivación (APAGADO). Además, muestra el estado anormal (EMERGENCIA) del proceso de control de limpieza y revestimiento.
- **Modo:** Indica el modo de operación elegido por el operador.
- **Estado:** Indica el estado del modo de operación seleccionado por el usuario

Al seleccionar  Se presentará la pantalla de “CONFIGURACIÓN” que contiene la habilitación de baños, tiempo de duración por baño y velocidad del brazo cartesiano.



**CONFIGURACION DEL BRAZO CARTESIANO** [X]

	HABILITACIÓN DE BAÑOS	TIEMPO POR BAÑO <small>INGRESE EL TIEMPO EN MINUTOS</small>	VELOCIDAD DEL ROBOT
BAÑO 1	ACTIVO [1]	5 [5] 1,5 (3 - 5 min)	EJE X [13] MÍNIMA
BAÑO 2	ACTIVO [2]	6 [6] 1,0 (1 - 2 min)	EJE Y [14] MÍNIMA
BAÑO 3	ACTIVO [3]	7 [7] 4,0 (4 - 5 min)	[15] DEFAULT
BAÑO 4	ACTIVO [4]	8 [8] 0,5 (0,5 - 1 min)	CONFIRMACIÓN DE LA CONFIGURACIÓN
BAÑO 5	ACTIVO [5]	9 [9] 0,3 (0,25-1,5 min)	
BAÑO 6	ACTIVO [6]	10 [10] 0,5 (0,5 - 1 min)	
BAÑO 7	ACTIVO [7]	11 [11] 2,0 (2 - 3 min)	
	[4] DEFAULT	[12] DEFAULT	

Todo cambio en la configuración debe ser confirmado

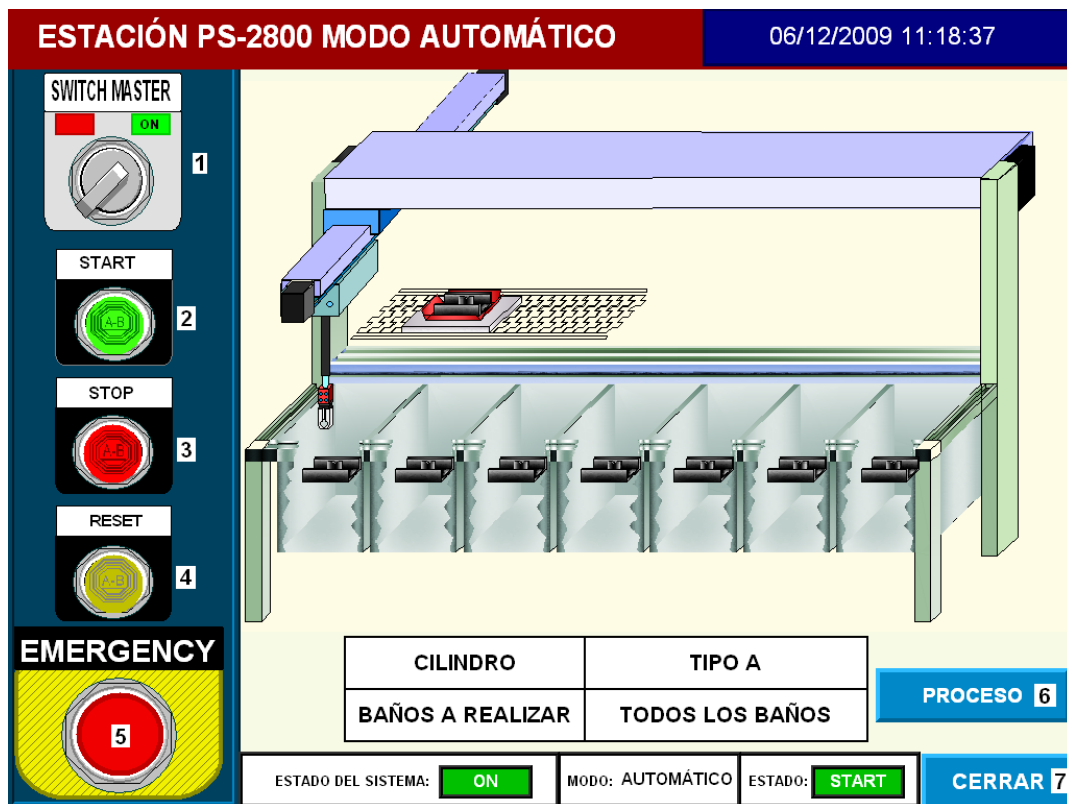
- a) Presione el botón “BAÑO 1” (1) para activar el Baño 1 y 2.

- b)** Presione el botón “BAÑO 3” (2) para activar el Baño 3 y 4
- c)** Presione el botón “BAÑO 5” (3) para activar el Baño 5 y 6
- d)** Presione el botón “DEFAULT” (4) para confirmar la habilitación de los baños
- e)** Presione el botón “BAÑO 1”(5) para ingresar el tiempo de duración Baño 1
- f)** Presione el botón “BAÑO 2”(6) para ingresar el tiempo de duración Baño 2
- g)** Presione el botón “BAÑO 3”(7) para ingresar el tiempo de duración Baño 3
- h)** Presione el botón “BAÑO 4” (8) para ingresar el tiempo de duración Baño 4
- i)** Presione el botón “BAÑO 5”(9) para ingresar el tiempo de duración Baño 5
- j)** Presione el botón “BAÑO 6”(10) para ingresar el tiempo de duración Baño 6
- k)** Presione el botón “BAÑO 7”(11) para ingresar el tiempo de duración Baño 7
- l)** Presione el botón “DEFAULT” (12) para confirmar duración del tiempo por baño
- m)** Presione el botón “EJE X”(13) para seleccionar la velocidad (máxima/mínima) del brazo robótico en el eje X
- n)** Presione el botón “EJE Y”(14) para seleccionar la velocidad (máxima/mínima) del brazo robótico en el eje Y
- o)** Presione el botón “DEFAULT” (15) para confirmar la velocidad del brazo robótico
- p)** Presione el botón “ENTER” (16) para confirmar la ventana de configuración



**AUTOMÁTICO**

Al seleccionar el modo de operación **AUTOMÁTICO** Se presentará la pantalla de modo de operación “AUTOMÁTICO” que posee tres secciones delimitadas a simple vista: una ventana que contiene los botones de control, una ventana que contiene información acerca del tipo de cilindro y los baños a realizarse, una ventana que indica el estado del proceso de limpieza y revestimiento, además de una animación.



- a) Gire el botón Switch Master (1) a la posición “ON” para encender el sistema de limpieza y revestimiento
- b) Presione el botón “STAR”(2) para activar el modo Automático
- c) Presione el botón “STOP”(3) para desactiva el modo Automático
- d) Presione el botón “RESET”(4) para resetear todo el sistema
- e) Presione el botón “EMERGENCY”(5) para desactivar el sistema por causas anormales en el funcionamiento del proceso de limpieza y revestimiento
- f) Presione el botón “PROCESO”(6) para acceder a la pantalla de Proceso
- g) Presione el botón “CERRAR”(7) cuando desee salir modo Automático

**ANIMACIÓN:** Presenta una simulación del movimiento del robot cartesiano en tiempo real.

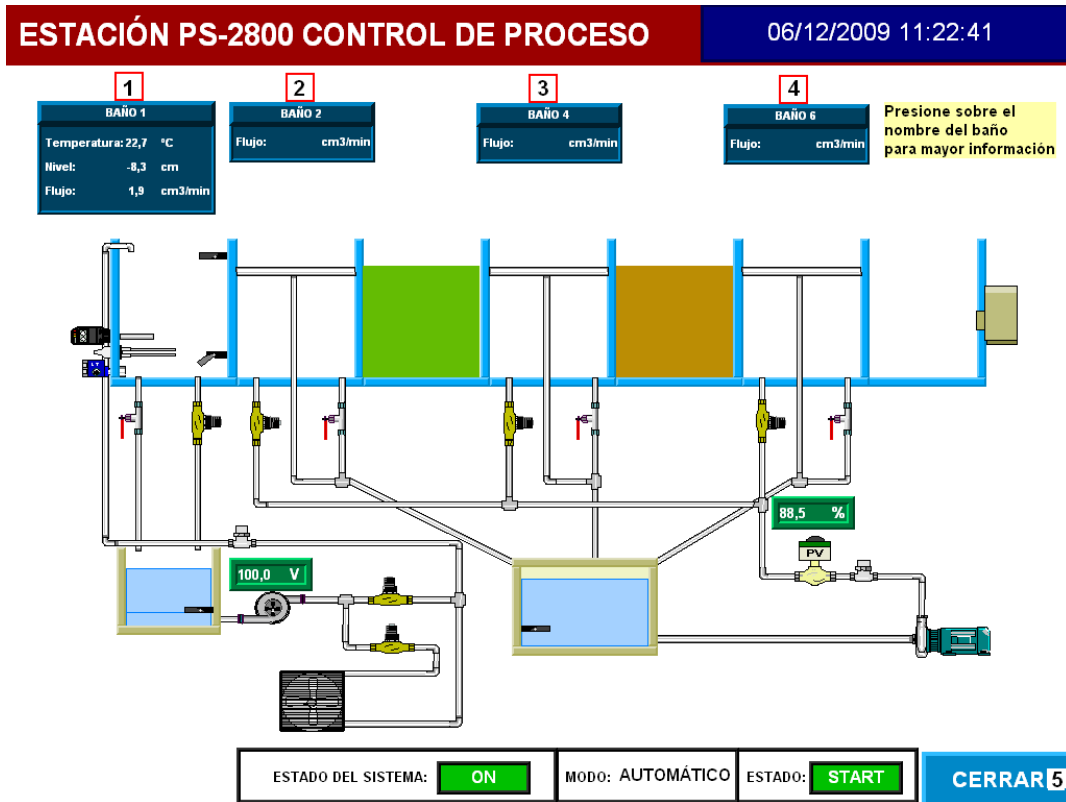
**TABLA INDICADORA TIPO DE CILINDRO Y BAÑOS A REALIZARSE:** indica el tipo de cilindro A o B que llega a la estación y los baños que se realizarán.

**BARRA INDICADORA DEL PROCESO:** La barra indica el estado del proceso de limpieza y revestimiento.-

- **Estado del sistema:** Indica el estado de activación (ENCENDIDO) o desactivación (APAGADO). Además, muestra el estado anormal (EMERGENCIA) del proceso de control de limpieza y revestimiento.
- **Modo:** Indica el modo de operación elegido por el operador.
- **Estado:** Indica el estado del modo de operación seleccionado por el usuario

## PROCESO

Al seleccionar **PROCESO** Se presentará la pantalla de “PROCESO” que indica información general referente a los parámetros de cada baño. Además muestra una simulación en tiempo real del proceso de limpieza y revestimiento que realiza la estación de Control de Procesos PS-2800.



- Presione el botón “BAÑO 1”(1) para acceder a la pantalla Control de Proceso BAÑO 1
- Presione el botón “BAÑO 2”(2) para acceder a la pantalla Control de Proceso – Enjuague de agua corriente.
- Presione el botón “BAÑO 4”(3) para acceder a la pantalla Control de Proceso – Enjuague de agua corriente.
- Presione el botón “BAÑO 6”(4) para acceder a la pantalla Control de Proceso – Enjuague de agua corriente.
- Presione el botón “CERRAR”(5) cuando desee salir de Control de Proceso

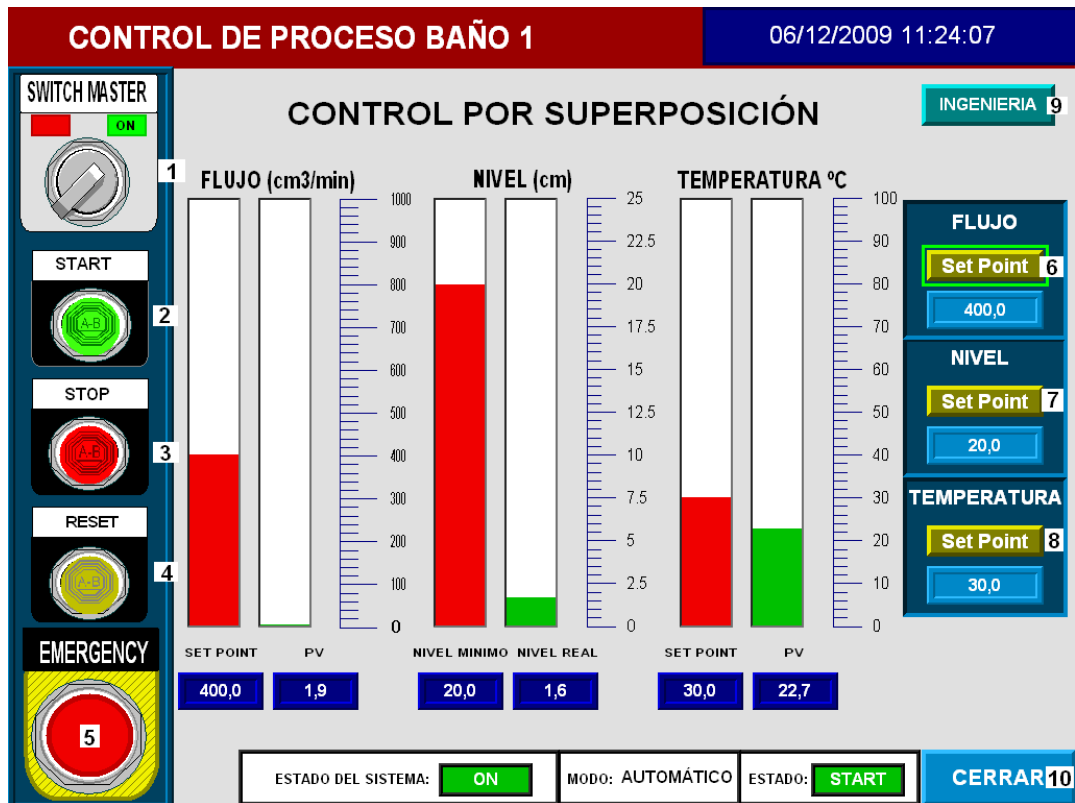
**ANIMACIÓN:** Presenta una simulación del comportamiento del proceso en tiempo real.

**TABLA INDICADORA TIPO DE CILINDRO Y BAÑOS A REALIZARSE:** indica el tipo de cilindro A o B que llegó a la estación y los baños que se realizarán.

**BARRA INDICADORA DEL PROCESO:** La barra indica el estado del proceso de limpieza y revestimiento.-

- **Estado del sistema:** Indica el estado de activación (ENCENDIDO) o desactivación (APAGADO). Además, muestra el estado anormal (EMERGENCIA) del proceso de control de limpieza y revestimiento.
- **Modo:** Indica el modo de operación elegido por el operador.
- **Estado:** Indica el estado del modo de operación seleccionado por el usuario

Al seleccionar **BAÑO 1** Se presentará la pantalla de Control de Procesos – Baño 1 muestra el Control por Superposición que controla varios parámetros: flujo, nivel y temperatura. Además, permite el ingreso del valor deseado del Set Point a través del teclado de la computadora, visualiza el valor de la variable de proceso de forma numérica, como también con barras indicadoras que muestran la medida real del sensor y el set point al cual se desea que se encuentre el proceso.



- Gire el botón Switch Master (1) a la posición “ON” para encender el sistema de limpieza y revestimiento
- Presione el botón “STAR”(2) para activar el modo Semiautomático/ Automático
- Presione el botón “STOP”(3) para desactiva el modo Semiautomático/ Automático
- Presione el botón “RESET”(4) para resetear todo el sistema
- Presione el botón “EMERGENCY”(5) para desactivar el sistema por causas anormales en el funcionamiento del proceso de limpieza y revestimiento

- f) Presione el botón Set Point “FLUJO”(6) para ingresar el valor del Set Point de la variable flujo
- g) Presione el botón Set Point “NIVEL”(7) para ingresar el valor del Set Point de la variable nivel
- h) Presione el botón Set Point “TEMPERATURA”(8) para ingresar el valor del Set Point de la variable temperatura
- i) Presione el botón “INGENIERÍA”(9) para acceder a la pantalla de ingeniería del lazo de control del Baño 1
- j) Presione el botón “CERRAR”(10) cuando desee salir de Control de Proceso – Baño 1

Al seleccionar **INGENIERIA** Se presentará la pantalla de Lazos de Control – Baño 1 que contiene dos tablas de ingreso para los valores de los parámetros del control de flujo y control de nivel. Además, permite visualizar el comportamiento de las curvas de las variables Set Point (SP), variable de proceso (PV) y variable manipulada (MV).



- a) Gire el botón Switch Master (1) a la posición “ON” para encender el sistema de limpieza y revestimiento
- b) Presione el botón “STAR”(2) para activar el modo Semiautomático/ Automático
- c) Presione el botón “STOP”(3) para desactiva el modo Semiautomático/ Automático
- d) Presione el botón “RESET”(4) para resetear todo el sistema
- e) Presione el botón “EMERGENCY”(5) para desactivar el sistema por causas anormales en el funcionamiento del proceso de limpieza y revestimiento
- f) Presione el botón SP “FLUJO”(6) para ingresar el valor del Set Point de la variable flujo
- g) Presione el botón KP “FLUJO”(7) para ingresar el valor de la Constante Proporcional de la variable flujo
- h) Presione el botón TI “FLUJO” (8) para ingresar el valor de la Constante Integral de la variable flujo.
- i) Presione el botón SP “NIVEL”(9) para ingresar el valor del Set Point de la variable nivel
- j) Presione el botón KP “NIVEL”(10) para ingresar el valor de la Constante Proporcional de la variable nivel
- k) Presione el botón BIAS “NIVEL”(11) para ingresar el valor del BIAS de la variable nivel
- l) Presione el botón “CONTROL DE SUPERPOSICIÓN”(12) para presentar los trends de flujo y nivel
- m) Presione el botón “CONTROL ON-OFF”(13) para presentar el trends de temperatura
- n) Presione el botón “HISTORIAL ALARMAS”(14) para mostrar la ventana que contiene el historial de alarmas
- o) Presione el botón “CONTROL ENJUAGUE”(15) permite acceder a la pantalla de ingeniería del lazo de control de enjuague de agua corriente
- p) Presione el botón “CERRAR”(16) cuando desee salir de Lazos de Control – Baño 1

El bloque TEND CONTROLS permiten interactuar entre los trends de las variables flujo, nivel y temperatura.


- **Los cursosres.-** permiten desplazar los ejes X y Y.
- **Next Pen.-** cambia la escala para mostrar los valores de nivel y flujo.
- **Other Tred.-** presenta los trends de nivel y flujo de forma independiente.
- **Home.-** presenta el inicio del trend
- **End.-** presenta el fin del trend
- **Pause.-** pausa el trend

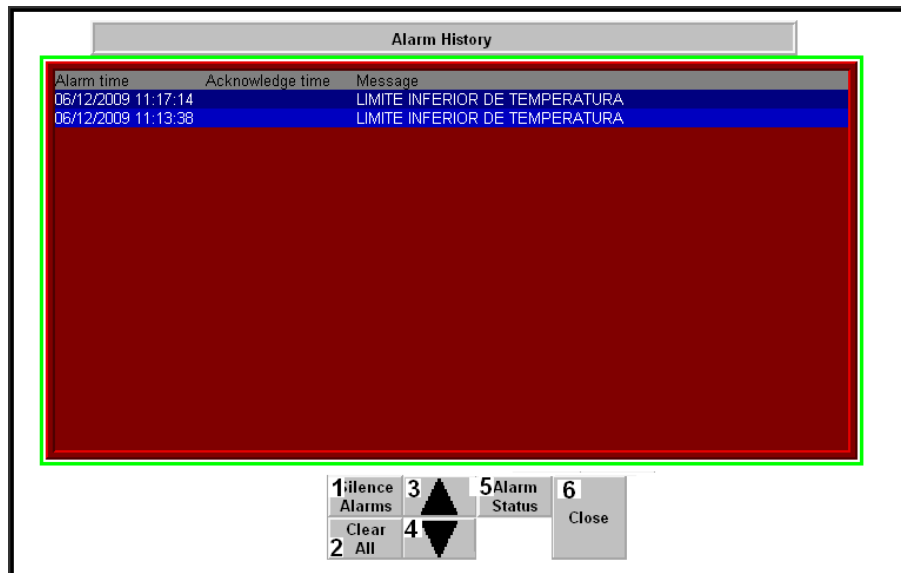
Al seleccionar **CONTROL ON-OFF** Se presentará la pantalla de Lazos de Control – Baño 1 que contiene una tabla de ingreso para los valores de los parámetros del control de temperatura. Además, permite visualizar el comportamiento de las curvas de las variables Set Point, variable de proceso (PV) y variable manipulada (MV).





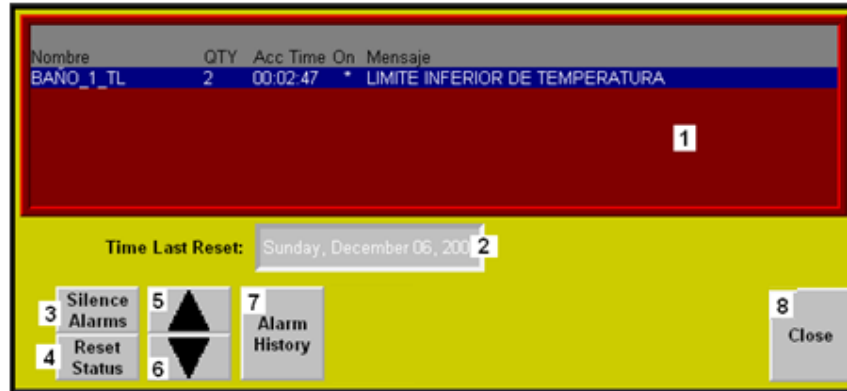
- a) Presione el botón SP “TEMPERATURA”(1) para ingresar valor del Set Point de la variable temperatura.

Al seleccionar  Se presentará la pantalla “HISTORIA ALARMAS” que indica la fecha, hora y descripción de las alarmas ocurridas en el transcurso del tiempo del proceso o desde la última limpieza de alarmas.



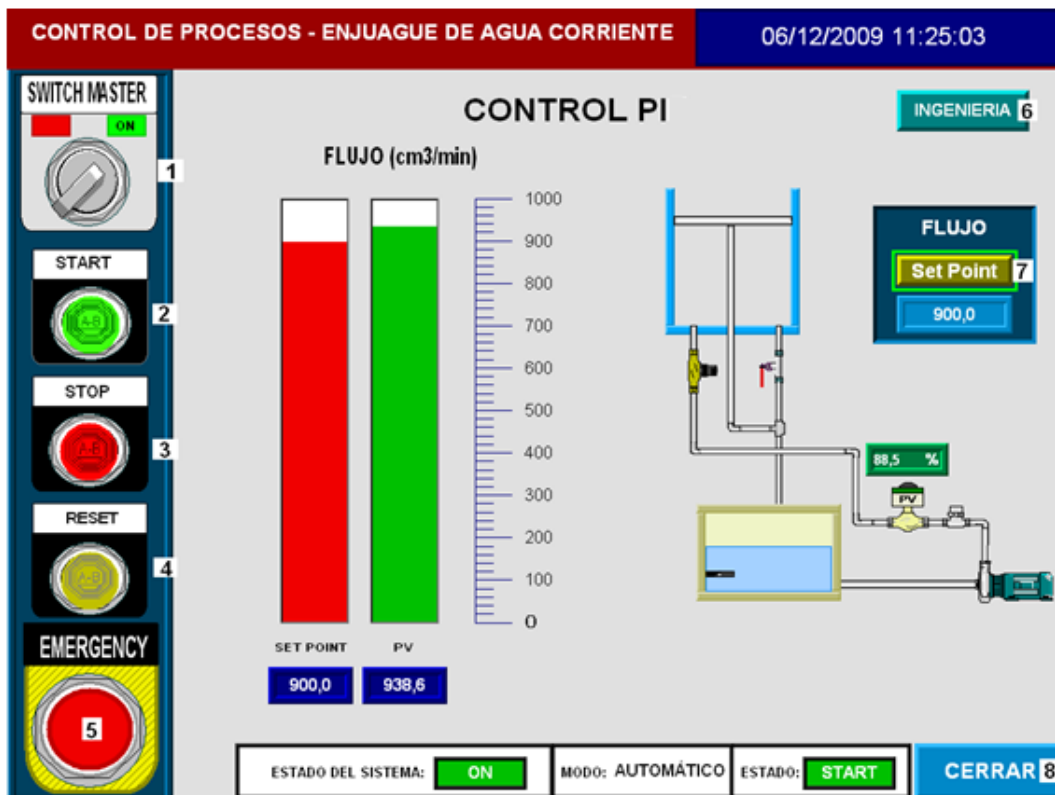
- a) Presione el botón “Silence Alarms” (1) para detener el sonido producido por las alarmas activas.
- b) Presione el botón “Clear All” (2) para borra el historial de alarmas
- c) Presione el cursor con dirección hacia arriba (3) para desplazar hacia arriba la lista de alarmas
- d) Presione el cursor con dirección hacia abajo (4) para desplazar hacia abajo la lista de alarmas
- e) Presione el botón “Alarm Status” (5) para mostrar la pantalla de alarmas
- f) Presione el botón “Close”(6) para cerrar la ventana del historial de alarmas

La pantalla alarmas indica la alarma que ocurre en ese momento, el número de ocurrencia, tiempo de duración de la alarma, estado actual de la alarma (\*) y un mensaje de descripción.



- a) Campo de visualización (1) indica las alarmas activas.
- b) Campo de visualización (2) indica la última fecha que se reseteo la pantalla de alarmas.
- c) Presione el botón “Silence Alarms” (3) para detener el sonido producido por las alarmas activas.
- d) Presione el botón “Reset Status” (4) para borra la pantalla de alarmas
- e) Presione el cursor con dirección hacia arriba (5) para desplazar hacia arriba la lista de alarmas
- f) Presione el cursor con dirección hacia abajo (6) para desplazar hacia abajo la lista de alarmas
- g) Presione el botón “Alarm History” (7) para mostrar la pantalla de historial de alarmas.
- h) Presione el botón “Close”(8) para cerrar la pantalla de alarmas

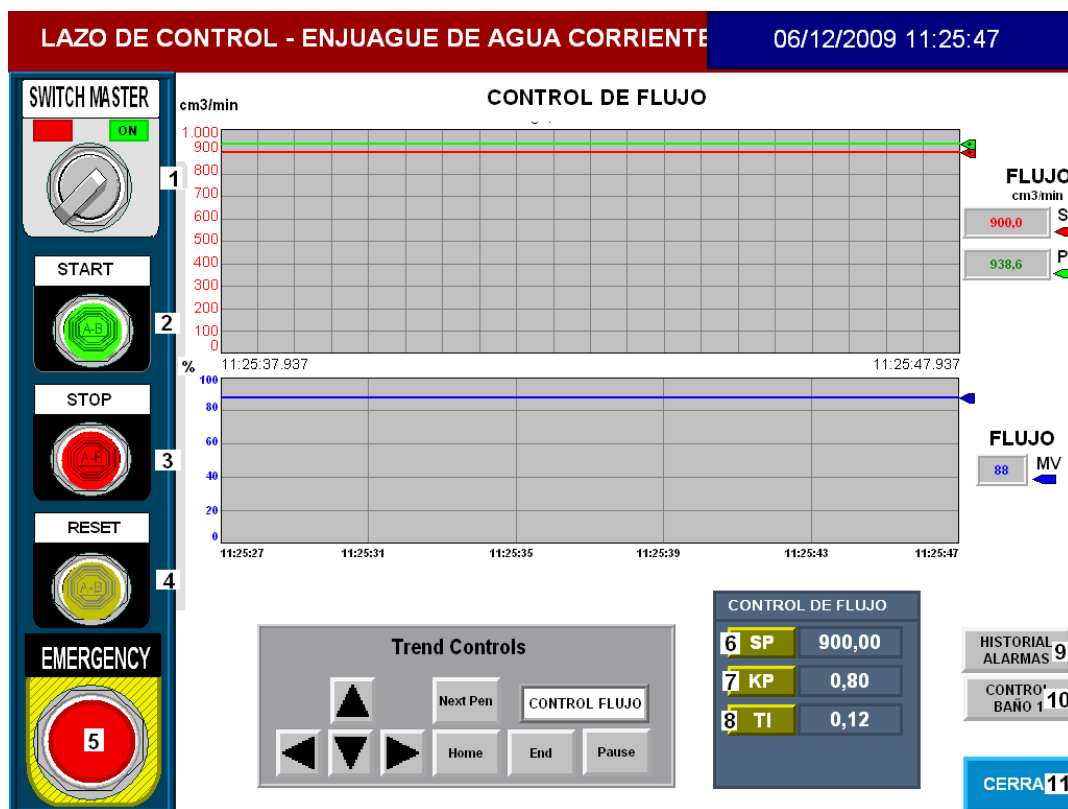
Al seleccionar **BAÑO 2** Se presentará la pantalla de Control de Procesos – Enjuague de agua corriente muestra el Control PI que controla el parámetro flujo. Además, permite el ingreso del valor deseado del Set Point a través del teclado de la computadora, visualiza el valor de la variable de proceso de forma numérica, como también con barras indicadoras que muestran la medida real del sensor y el set point al cual se desea que se encuentre el proceso



- Gire el botón Switch Master (1) a la posición “ON” para encender el sistema de limpieza y revestimiento
- Presione el botón “STAR”(2) para activar el modo Semiautomático/ Automático
- Presione el botón “STOP”(3) para desactiva el modo Semiautomático/ Automático
- Presione el botón “RESET”(4) para resetear todo el sistema
- Presione el botón “EMERGENCY”(5) para desactivar el sistema por causas anormales en el funcionamiento del proceso de limpieza y revestimiento

- f) Presione el botón “INGENIERÍA”(6) para acceder a la pantalla de ingeniería del lazo de control – Enjuague de agua corriente
- g) Presione el botón Set Point “FLUJO”(7) para ingresar el valor del Set Point de la variable flujo
- h) Presione el botón “CERRAR”(10) cuando desee salir de Control de Proceso - Enjuague de agua corriente

Al seleccionar **INGENIERIA** Se presentará la pantalla de Lazos de Control – Enjuague de agua corriente que contiene una tabla de ingreso para los valores de los parámetros del control de flujo. Además, permite visualizar el comportamiento de las curvas de las variables Set Point (SP), variable de proceso (PV) y variable manipulada (MV).



- a) Gire el botón Switch Master (1) a la posición “ON” para encender el sistema de limpieza y revestimiento
- b) Presione el botón “STAR”(2) para activar el modo Semiautomático/ Automático

- c)** Presione el botón “STOP”(3) para desactiva el modo Semiautomático/ Automático
- d)** Presione el botón “RESET”(4) para resetear todo el sistema
- e)** Presione el botón “EMERGENCY”(5) para desactivar el sistema por causas anormales en el funcionamiento del proceso de limpieza y revestimiento
- f)** Presione el botón SP “FLUJO”(6) para ingresar el valor del Set Point de la variable flujo
- g)** Presione el botón KP “FLUJO”(7) para ingresar el valor de la Constante Proporcional de la variable flujo
- h)** Presione el botón TI “FLUJO” (8) para ingresar el valor de la Constante Integral de la variable flujo.
- i)** Presione el botón “HISTORIAL ALARMAS”(9) para mostrar la ventana que contiene el historial de alarmas
- j)** Presione el botón “CONTROL ENJUAGUE”(10) permite acceder a la pantalla de ingeniería del lazo de control de enjuague de agua corriente
- k)** Presione el botón “CERRAR”(11) cuando desee salir de Lazos de Control – Enjuague en agua corriente

## ANEXO 11

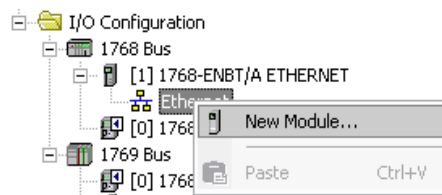
### Configuración de mensajes

La configuración de mensajes se realizará de igual manera en todos los controladores con los cuales se realice la comunicación.

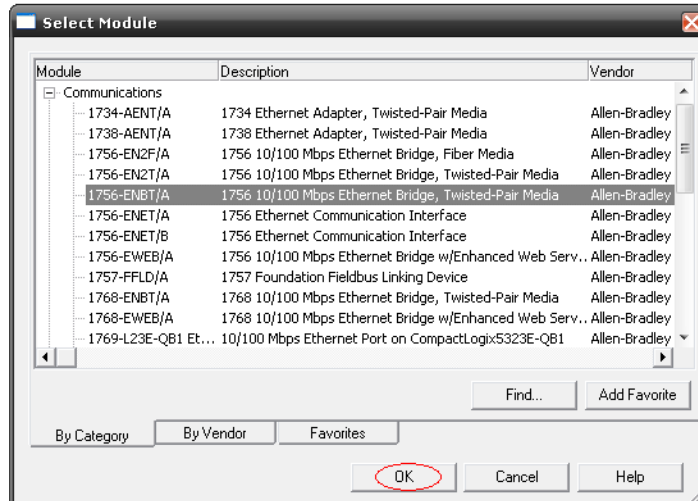
Es necesario coordinar con las demás estaciones del CIM 2000, mantener los mismos nombres de los Controller Tags en los campo de Origen y Destino en la configuración de los mensajes de escritura o lectura; a continuación se muestra un ejemplo:

Para agregar el módulo de comunicación Ethernet utilizando el controlador ControlLogix perteneciente a la estación Central con el que se realizará la comunicación, siga los siguientes pasos.

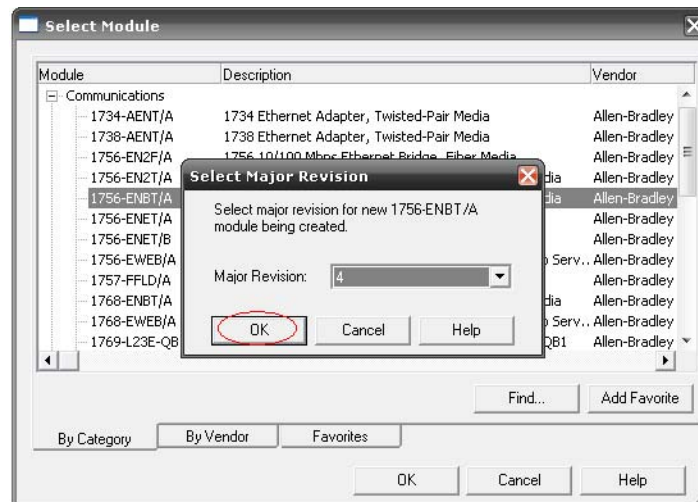
- En la carpeta “I/O Configuration”, de clic derecho sobre el icono de red del módulo de ETHERNET y elija “New Module”



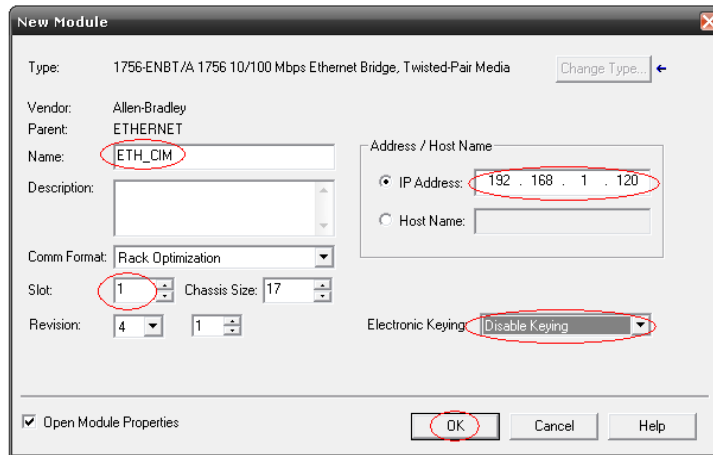
- Elija el módulo de comunicación del controlador de la estación Central, y presione OK



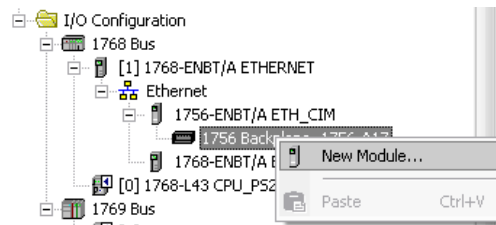
- Se despliega una ventana de revisión, haga clic sobre ok



- Configure el módulo de Ethernet.

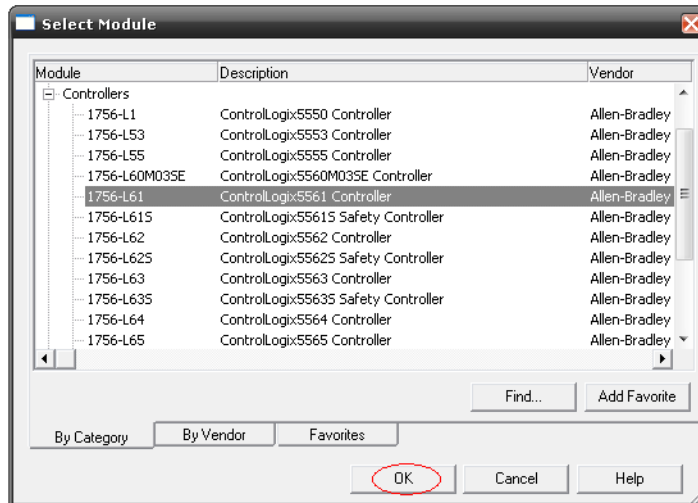


- Finalmente presione OK (No necesita configurar los parámetros restantes).
- En la carpeta “I/O Configuration”, de clic derecho sobre el “Backplane” del nuevo módulo de ETHERNET (módulo del controlador de la estación Central) y elija “New Module”

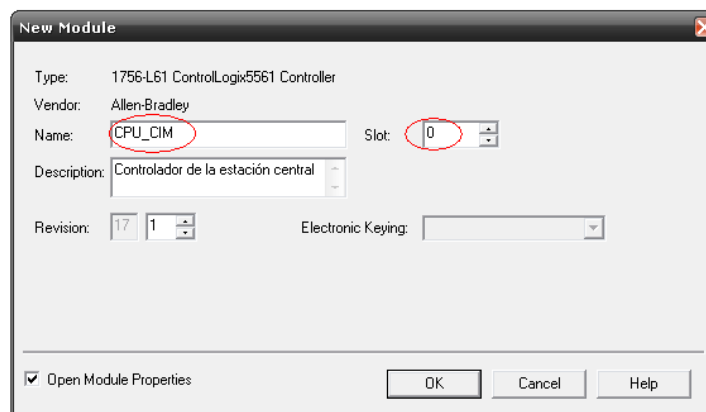


- Dentro del módulo “Controllers” Seleccione el CPU del controlador de la estación Central.





- Configure el CPU



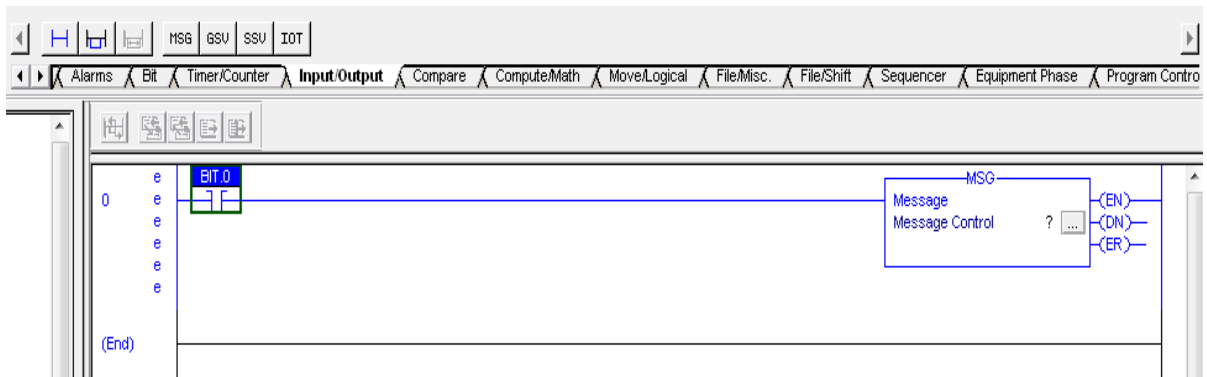
## Mensajes de escritura o lectura

Configure un mensaje de escritura o lectura, de la siguiente manera:

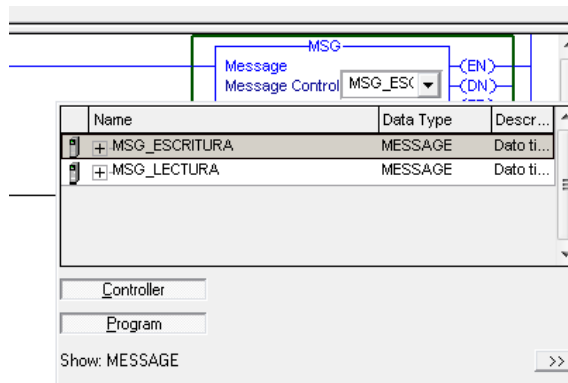
- Cree los siguientes Controller Tags

Name	Data Type	Description
+ DATO_ESCRITURA	DINT	Dato que será enviado al controlador central
+ DATO_LECTURA	DINT	Dato que será leído del controlador central
+ MSG_ESCRITURA	MESSAGE	Dato tipo mensaje para realizar la escritura de mensajes
+ MSG_LECTURA	MESSAGE	Dato tipo mensaje para realizar la lectura de mensajes

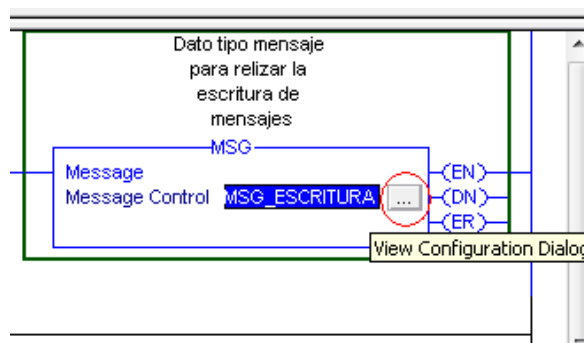
- Agregue la instrucción tipo “MSG” que se encuentra ubicada en el grupo de elementos “Input/Output”.



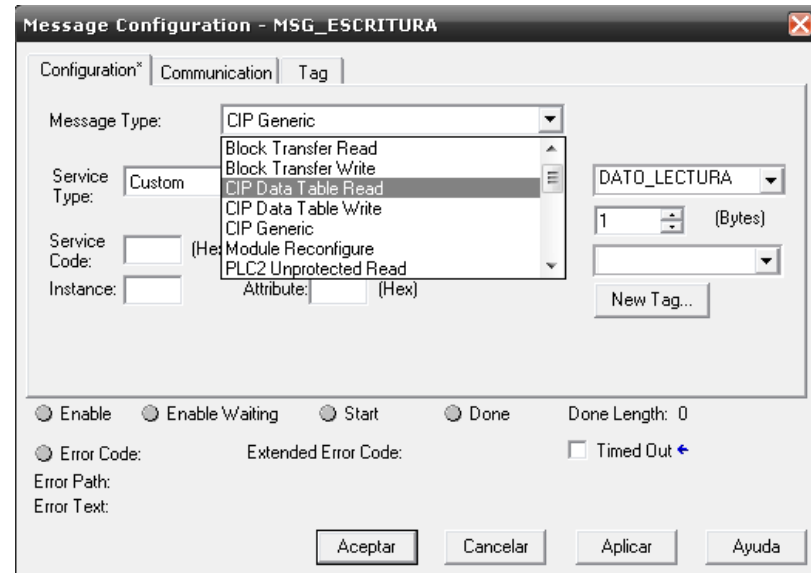
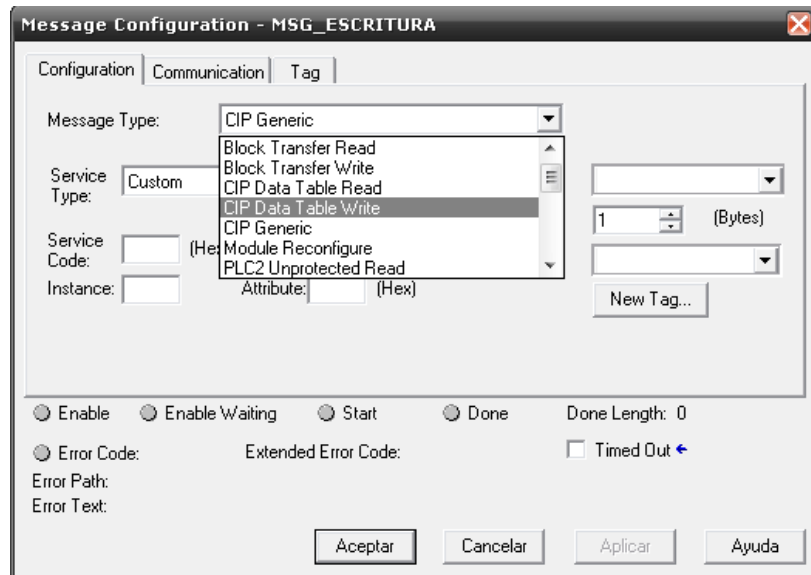
- Elija uno de los tipos de datos de mensajes creados como Controller Tagss



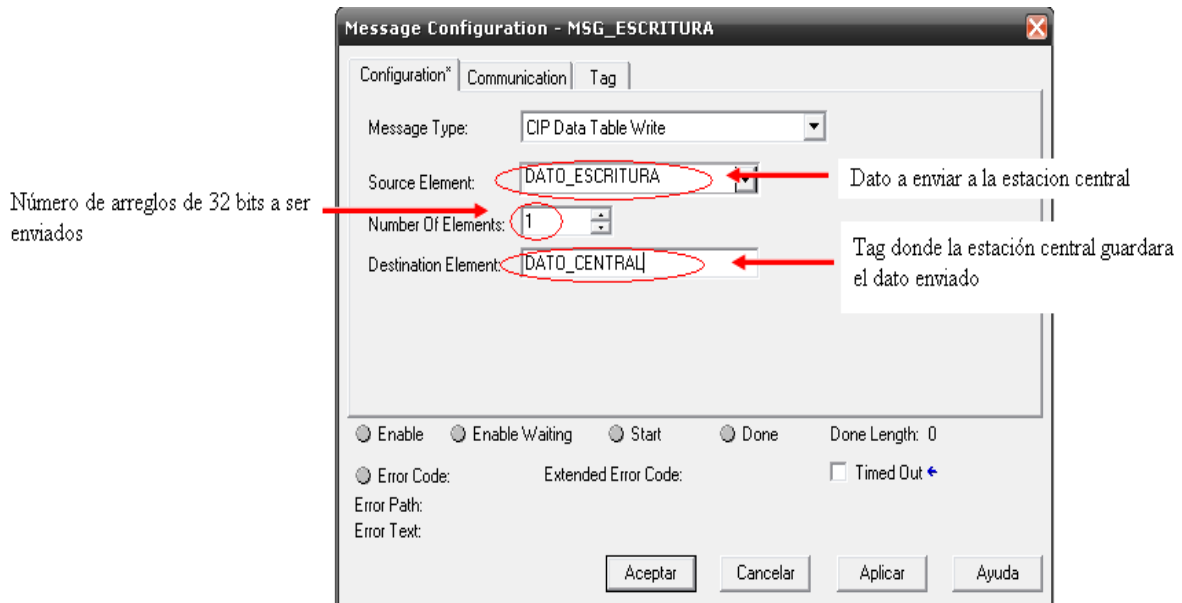
- Haga clic sobre el icono de “View Configuration Dialog”



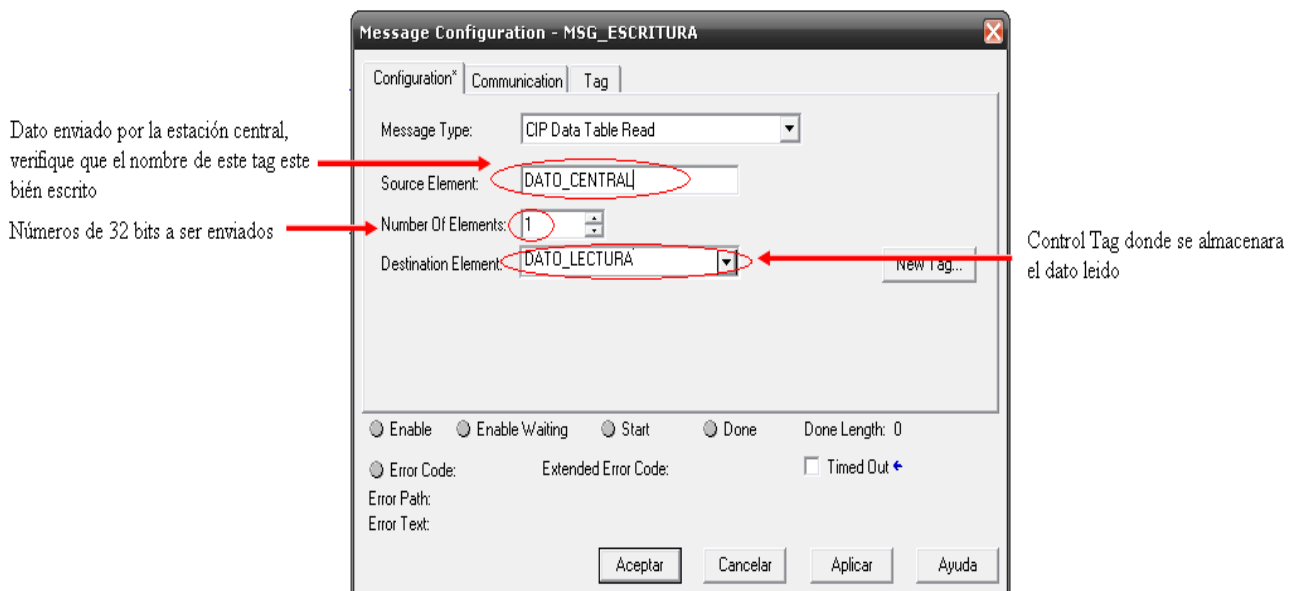
- Elija la opción “CIP Data Table Read”, para configurar un mensaje de lectura, y “CIP Data Table Write”, para un mensaje de escritura.



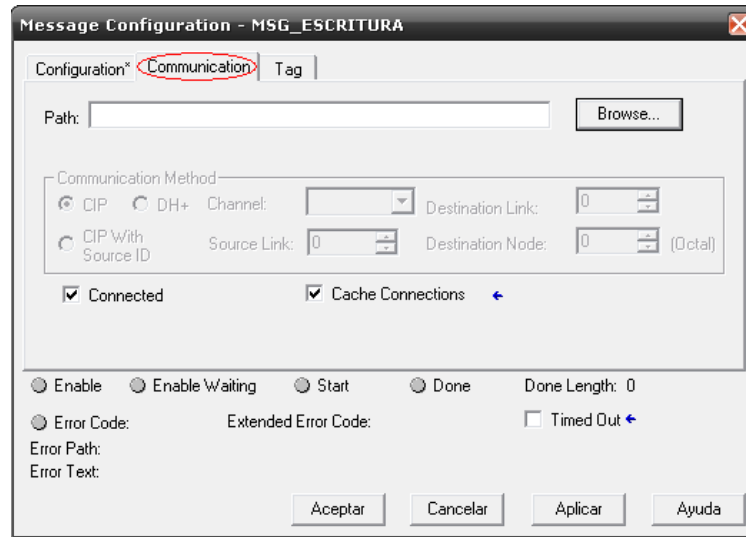
- Complete los campos indicados por la figura, para un mensaje de escritura enviado para la estación Central.



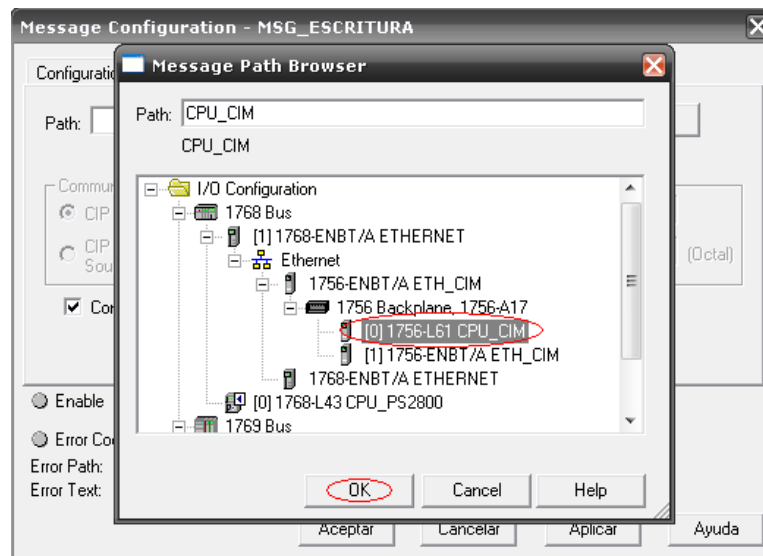
- Complete los campos indicados por la figura, para un mensaje de lectura enviado por la estación Central.



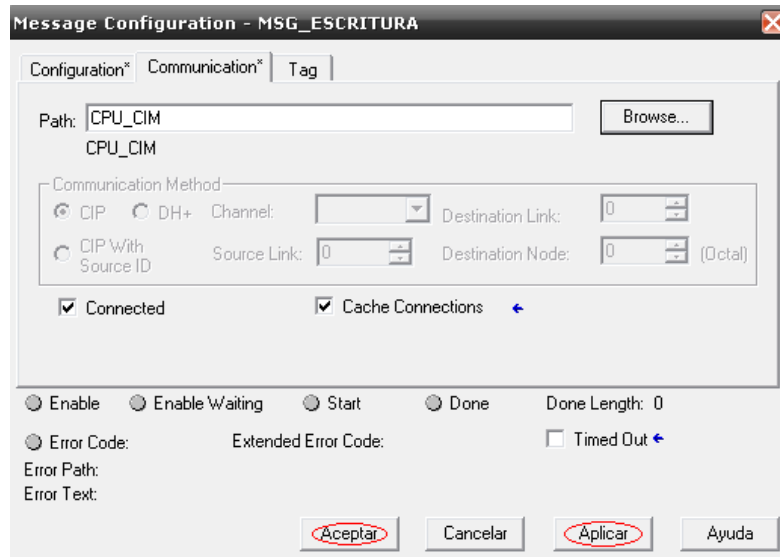
- Presione clic sobre la pestaña “Communication”



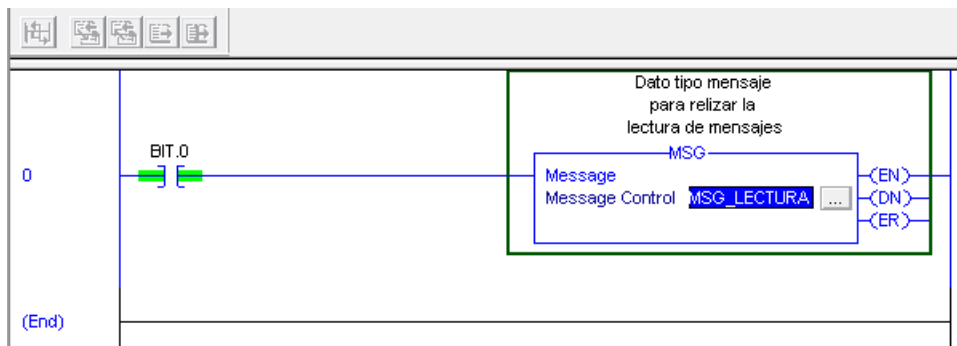
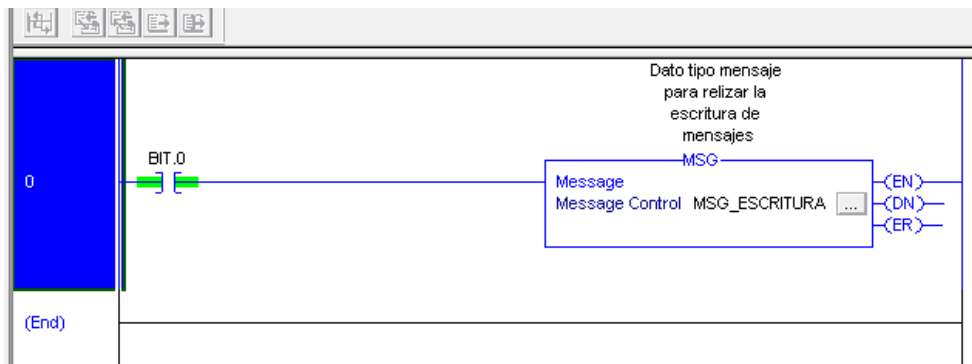
- Busque dentro de “Path” el controlador al cual nos comunicaremos, y elija su CPU.



- Haga clic sobre Aplicar y Aceptar para finalizar la configuración de un mensaje de escritura o lectura.



Recuerde que la instrucción MSG se ejecutara cada vez que se energice, para que este proceso se realice periodicamente usted puede usar un temporizador.








## ANEXO 12

### Normas ANSI / ISA-S5.1


Trata sobre los símbolos para instrumentación y control.

	PRIMERA LETRA	LETRAS SUCEATIVAS
A	Análisis	Alarma
B	Quemar o combustión	Libre
C	Conductividad eléctrica	control
D	Densidad o peso específico	Diferencial
E	Tensión	Elemento primario
F	Caudal	Relación
G	Calibre	Vidrio
H	Manual	Alto
I	Corriente eléctrica	Indicación o indicador
J	Potencia	Exploración
K	Tiempo	Estación de control
L	Nivel	Luz piloto
M	Humedad	Libre
O	Libre	Orificio
P	Presión o vacío	Punto de prueba
Q	Cantidad	Integrador o totalizador
R	Radiactividad	Registro
S	Velocidad o frecuencia	Interruptor o seguridad
T	Temperatura	Transmisor
V	Viscosidad	Válvula
W	Peso o Fuerza	Deposito
Y	Libre	Relé o computador
Z	Posición	Motor o elemento final de control





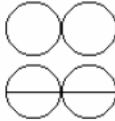
Letras de identificación de diagramas P&ID

	Conexión a proceso, o enlace mecánico o alimentación de instrumentos.
	Señal neumática
	Señal eléctrica
	Señal eléctrica (alternativo)
	Tubo capilar
	Señal sonora o electromagnética guiada (incluye calor, radio, nuclear, luz)
	Señal sonora o electromagnética no guiada
	Conexión de software o datos
	Conexión mecánica
	Señal hidráulica

Líneas de instrumentación

	TIC 103	Identificación del instrumento.
	T 103	Identificación de lazo.
	103	Número de lazo.
	TIC	Identificación funcional.
	T	Primera letra.
	IC	Letras sucesivas.

Identificación de instrumentos en un P&ID

	Montado localmente
	Detrás de la consola (no accesible)
	En tablero
	En tablero auxiliar
	Instrumentos para dos variables medidas o instrumentos de una variable con más de una función

Designación de instrumentos por círculos

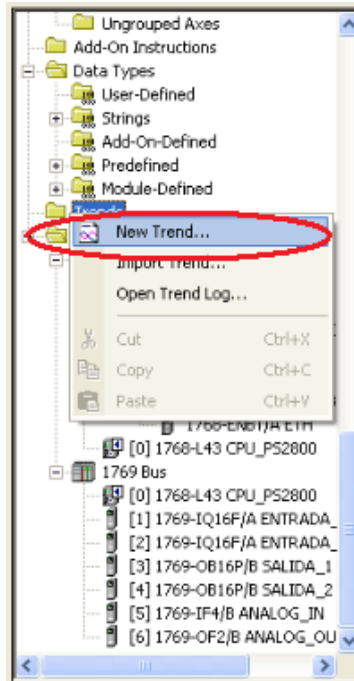


## ANEXO 13

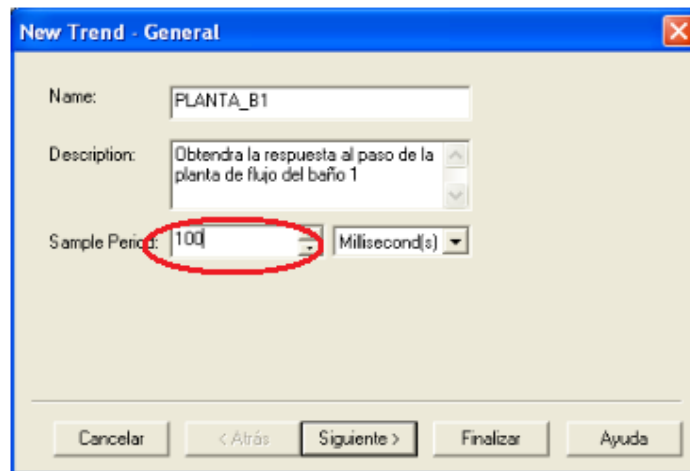
### Creación de un Trend con RS Logix5000

Abrir el programa RS Logix5000

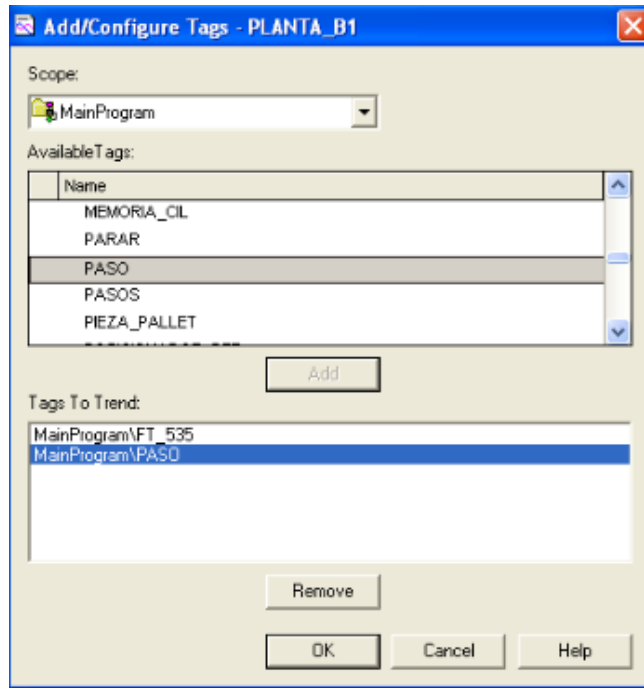
- En la carpeta “Trend”, de clic derecho y elija “New Trend”



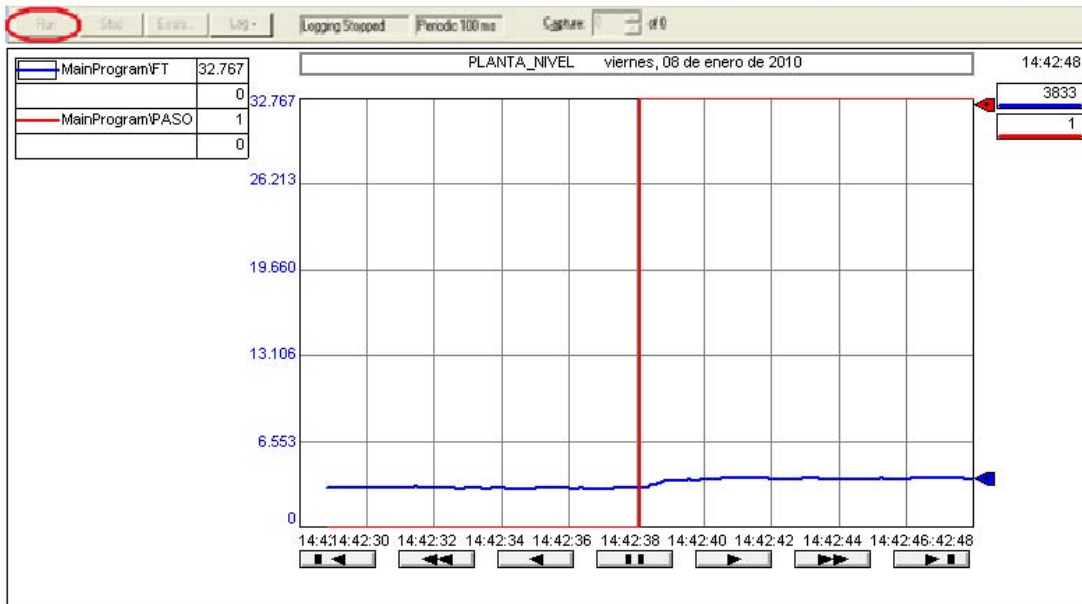
- Inmediatamente se genera una nueva ventana donde se asigna el nombre del trend y el periodo de muestreo, como se muestra a continuación.



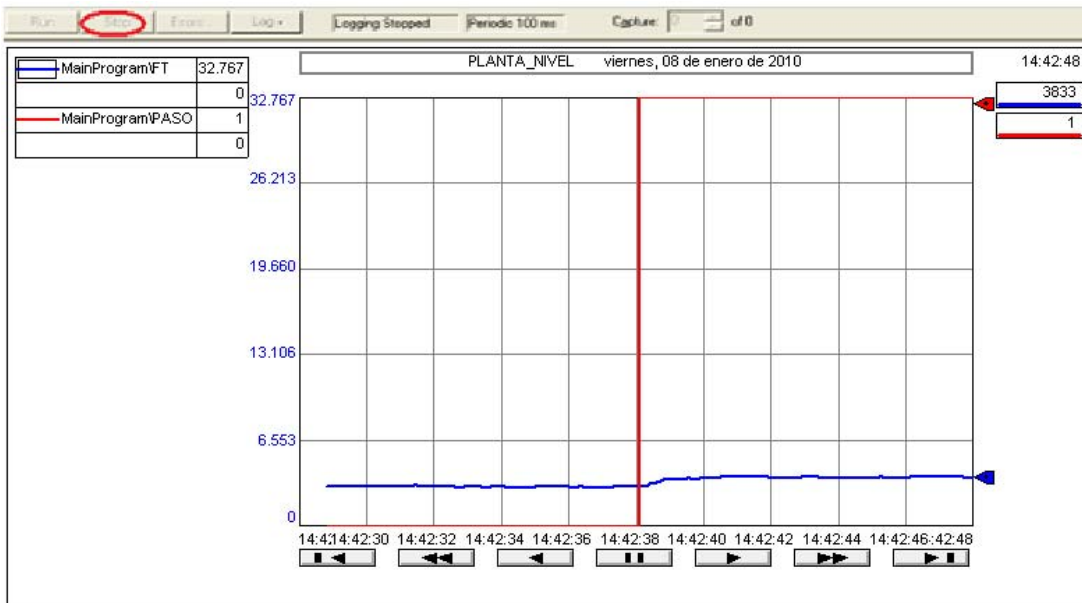
- Se selecciona el Tag denominado “PASO”



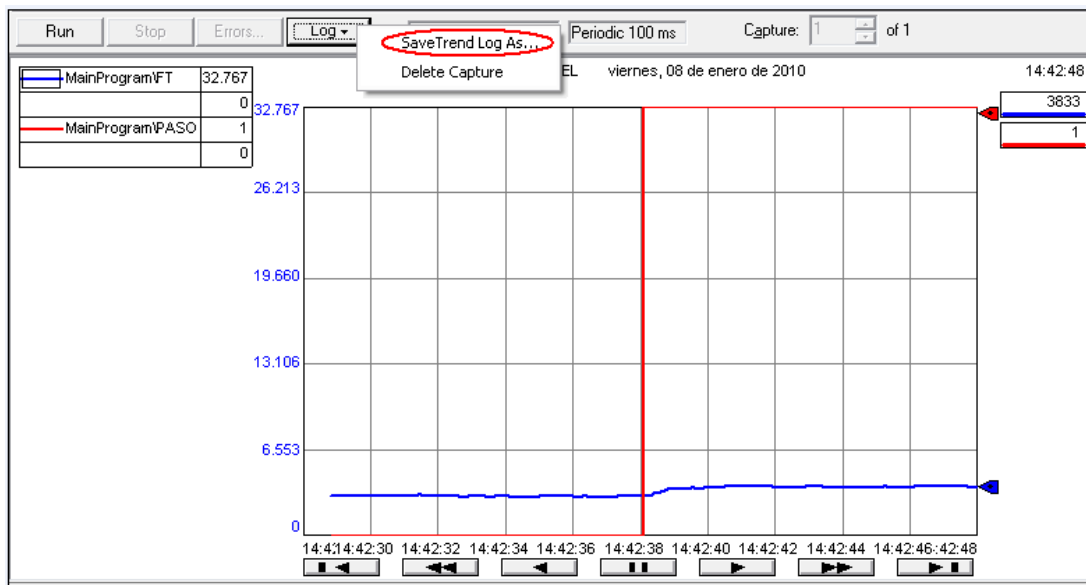
- La adquisición de datos comienza cuando se da clic sobre el botón RUN



- La adquisición de datos finaliza cuando se da clic sobre el botón STOP



- Para grabar los valores de los datos se da clic sobre el botón LOGIN, seleccione la opción Save Trend Log.



## ANEXO 14

### System Identification Toolbox (MATLAB)

Con los datos de la respuesta al step y además el conocimiento de que la entrada de paso fue de  $u(t)=5$  V, se pueden realizar diversos métodos de sintonización. Algunos implican la disposición de un modelo matemático de la planta, el cual se realizó en este proyecto mediante la herramienta de **MATLAB** llamada *System Identification Toolbox*, manejada como se indica:

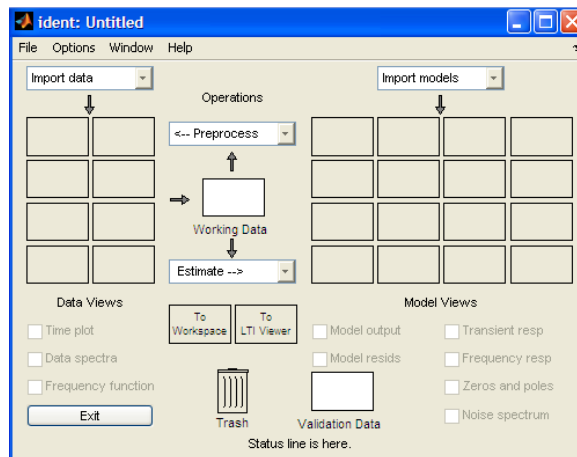
Tecleando en la ventana de comandos lo siguiente se tiene acceso a la herramienta:

```
>> ident
```

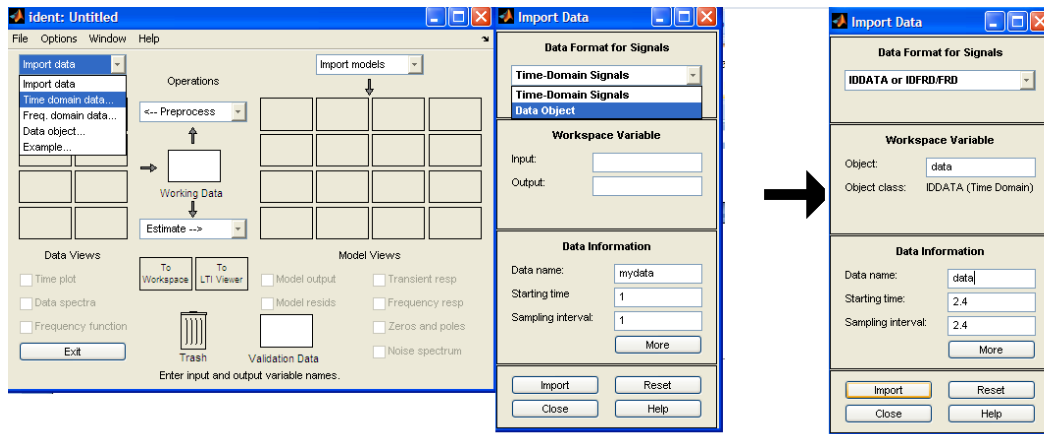
Opening ident ..... done.

```
>>
```

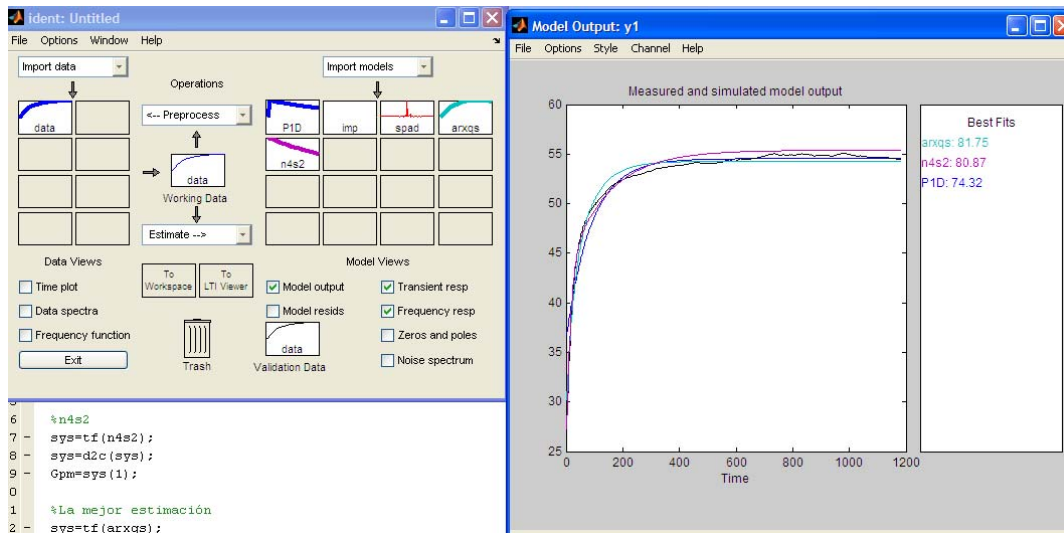
Se abre la ventana siguiente:



Antes de utilizar la herramienta es necesaria la importación de datos desde un documento de Excel (donde se hallen los datos de respuesta de MATLAB) a MATLAB, mediante la función *xlsread* e *iddata*. Para todo este proceso se utiliza el programa *planta2.m*. En este programa de MATLAB, se da una pausa después de la toma de datos para la importación de los datos desde el Workspace a *ident*, mediante la siguiente opción:



Se obtiene la descripción de la planta en Data Views y se procede a la estimación matemática del modelo seleccionando el método mediante la opción Estimate - ->. En este caso, se ha utilizado la opción Estimate→Process models... y Estimate→Quick starts, para una elección de la mejor estimación. Con esto, se obtuvieron las siguientes estimaciones:

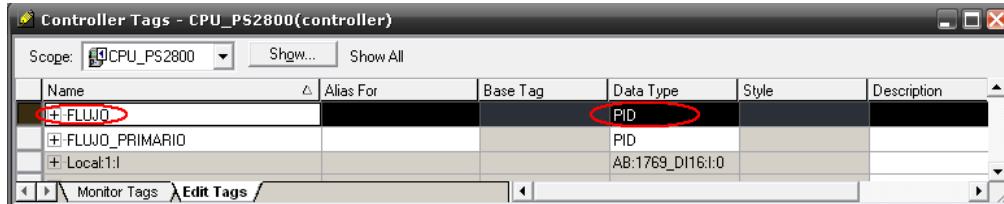


De las cuales, la herramienta considera a la mejor como la dada por el método arxqs. Se exportan estas estimaciones arrastrándolas hasta el recuadro *To Workspace*, y se da ENTER en el Workspace de MATLAB para que planta2.m siga corriendo y obtenga las funciones de transferencia (indicadas en el Capítulo 6, sección Diseño de los lazos de Control).

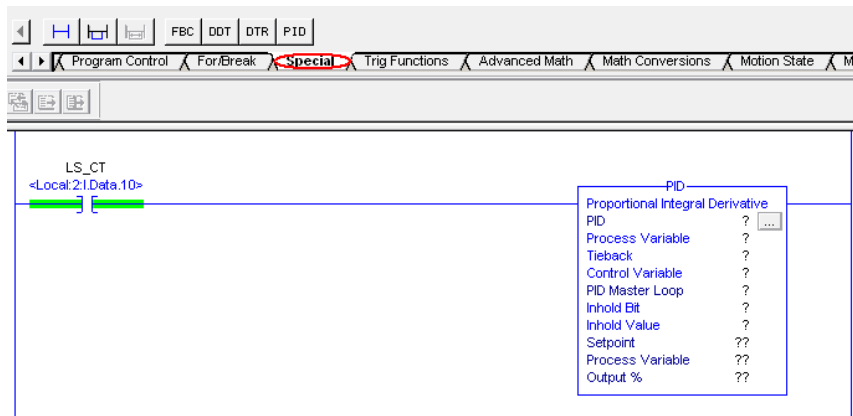
## ANEXO 15

### Configuración de los parámetros de la instrucción PID

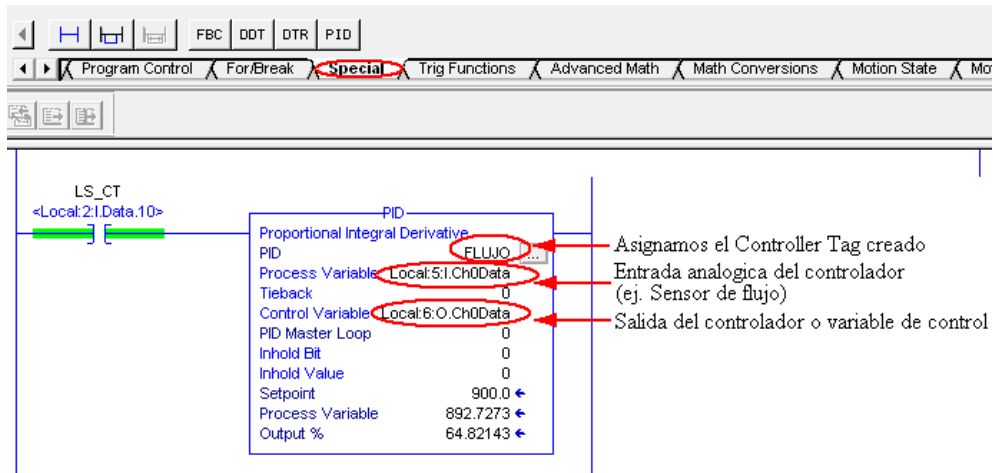
- Para la creación de un bloque PID es necesario la creación de un Controller Tag tipo PID, como se muestra a continuación.



- El bloque PID se agrega desde el menú SPECIAL del RSLogix 5000.



- Se configura los parámetros esenciales de este bloque, como son el Controller Tag creado, la variable de proceso, y la variable de control.



- Al dar clic derecho se pueden configurar las siguientes propiedades.
  - Tuning, donde se cargan y modifican las constantes de control para el bloque PID, en los campos indicados.

**PID Setup - FLUJO**

Tuning Configuration Alarms Scaling Tag

Setpoint (SP): 900.0

Set Output: 64.82143 %

Output Bias: 0.0 %

Manual Modes

Manual

Software Manual

Tuning Constants

Proportional Gain (Kp): 1.8

Integral Gain (Ki): 0.84 1/s

Derivative Time (Kd): 0.23 s

Reset Tuning Constants to the values they had upon entry into the PID Setup dialog

Reset

Setpoint (SP): 900.0

Process Variable: 892.7273

Error: 7.272705

Output: 64.82143 %

Tieback: 0.0 %

Mode: Auto

PV Alarm: None

Deviation Alarm: High

Output Limiting: None

Error Within Deadband: No

Setpoint Out of Range: No

PID Initialized: No

Aceptar Cancelar Aplicar Ayuda

- Configuration, en esta ventana se puede configurar la accion de control como inversa SP – PV o directa PV – SP, el tiempo que toma en realizar un lazo de control y los limites alto y bajo de la variable de control.

**PID Setup - FLUJO**

Tuning Configuration Alarms Scaling Tag

PID Equation: Independent

Control Action: SP - PV

Derivative Of: PV

Loop Update Time: 0.095 secs.

CV High Limit: 100.0 %

CV Low Limit: 0.0 %

Deadband Value: 0.0

No Derivative Smoothing

No Bias Calculation

No Zero Crossing for Deadband

PV Tracking

Cascade Loop

Cascade Type: Slave

Setpoint (SP): 900.0

Process Variable: 892.7273

Error: 7.272705

Output: 64.82143 %

Tieback: 0.0 %

Mode: Auto

PV Alarm: None

Deviation Alarm: High

Output Limiting: None

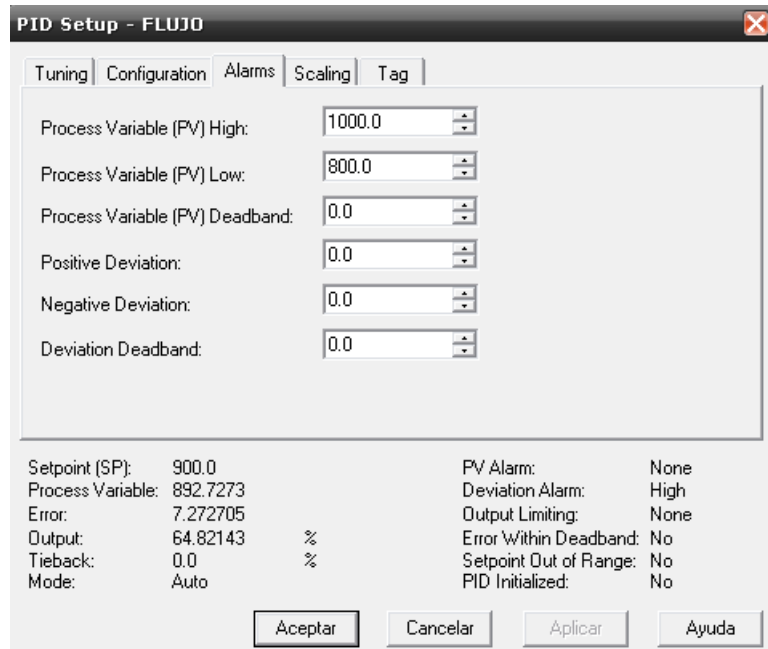
Error Within Deadband: No

Setpoint Out of Range: No

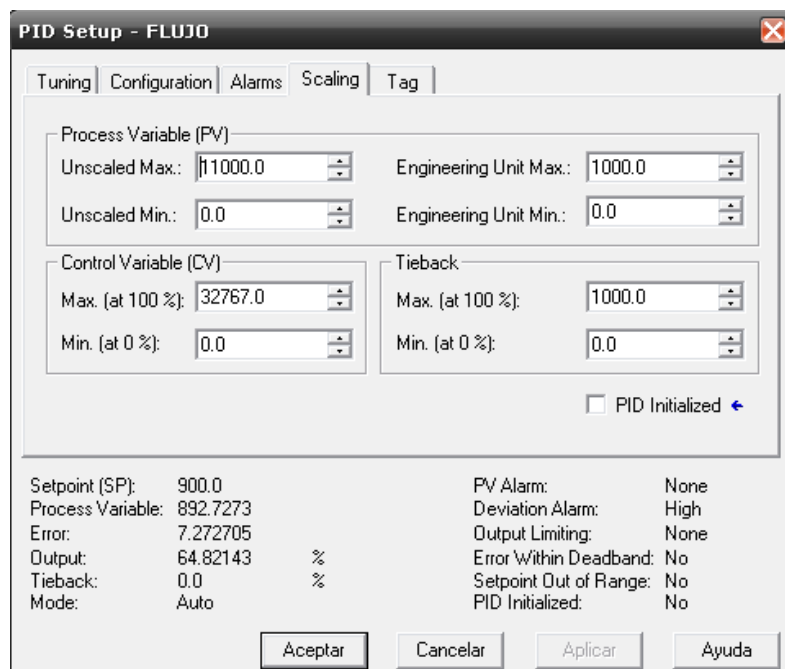
PID Initialized: No

Aceptar Cancelar Aplicar Ayuda

- Alarms, se puede configurar una alarma de alta y baja para la variable que se controla.



- Scaling, permite escalar y mostrar las variables de proceso en unidades de ingeniería, y asignar un valor a la variable de control cuando la salida esta al 100% y al 0%, es decir puede limitar un rango alto y bajo distintos de 0 y 10 V para la variable de control.





## ANEXO 15

### Lista de elementos y precios



Av Amazonas 6050 y Av. El Inca

Tel: (593) 2 2468 564

Fax: (593) 2 2468 563

web: [www.la-llave.com](http://www.la-llave.com)

**COTIZACION: JF-081-DAC-AB-10**

ITEM	CANT.	DESCRIPCION	CODIGO	P. UNIT. USD\$	P.TOTAL USD\$
1	1	CompactLogix L43 Processor, 2.0Mbyte Memory	1768-L43	2,788.00	2,788.00
2	1	4 Channel Analog Current/Voltage Input Module	1769-IF4	377.40	377.40
3	1	2 Channel Analog Current/Voltage Output Module	1769-OF2	452.20	452.20
4	2	16 Point High Speed 24VDC Input Module	1769-IQ16F	221.85	443.70
5	2	16 Point 24 VDC Sourcing Output Module	1769-OB16	243.95	487.90
6	1	CompactLogix L4X Ethernet/IP Bridge Module	1768-ENBT	785.40	785.40

**COSTO TOTAL SIN**

**IVA**

**\$**

**5,334.60**

## INDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

Figura. 1.1 Estación de Control de Procesos PS-2800 .....	14
---	----

### CAPÍTULO 2

Figura. 2.1 Diagram de flujo del proceso .....	20
Figura. 2.2 Elementos principales en la PS-2000 .....	21
Figura. 2.3 Elementos del interruptor de nivel .....	25
Figura. 2.4 Estructura del elemento medidor .....	27
Figura. 2.5 Estructura del transmisor de presión hidrostática .....	28
Figura. 2.6 Estructura del flujómetro de rueda de paletas .....	29
Figura. 2.7 Circuito electrónico simplificado del flujómetro .....	30
Figura. 2.8 Adquisición de datos del transmisor de flujo .....	30
Figura. 2.9 Movimiento a lo largo del eje X .....	32
Figura. 2.10 Movimiento a lo largo del eje Y .....	32
Figura. 2.11 Movimiento a lo largo del eje Z .....	33
Figura. 2.12 Estación de Control de Procesos PS-2800 .....	33
Figura. 3.1 Tablero de Control del PS-2800 .....	38

### CAPÍTULO 3

Figura. 3.2 Módulos de Entrada/Salida del PS-2800 .....	39
Figura. 3.3 Cableado de Entradas de Corriente o de Voltaje del módulo 1769-IF4 .....	41
Figura. 3.4 Cableado de Entradas de Corriente o de Voltaje del módulo 1769-OF2 .....	44
Figura. 3.5 Estructura del módulo de entradas 1769-IQ16F .....	45
Figura. 3.6 Estructura del módulo de salidas 1769-OB16P .....	47
Figura. 3.7 Estructura del módulo de comunicación 1768-ENBT/A .....	53

### CAPÍTULO 4

Figura. 4.1 Diagrama de flujo: Rutina Principal .....	56
Figura. 4.2 Diagrama de flujo: Subrutina de MENSAJERÍA .....	59
Figura. 4.3 Diagrama de flujo: Subrutina STOP .....	59
Figura. 4.4 Diagrama de flujo: Subrutina CONTROL ROBÓTICO .....	60
Figura. 4.5 Diagrama de flujo: Subrutina VERIFICACIÓN_CONTROL .....	61
Figura. 4.6 Diagrama de flujo: Rutina periódica lazo de control de flujo, nivel y temperatura .....	65
Figura. 4.7 Diagrama de flujo: Subrutina Rutina_Baño_1 .....	66
Figura. 4.8 Diagrama de flujo: Subrutina Limpiar_Estado .....	67
Figura. 4.9 Diagrama de flujo: Rutina periódica del lazo de control de flujo .....	67
Figura. 4.10 Diagrama de flujo: Subrutina Rutina_Baños .....	68
Figura. 4.11 Diagrama de flujo: Subrutina Limpiar_Estado .....	68
Figura. 4.12 Diagrama de flujo: Interfaz Gráfica HMI .....	70
Figura. 4.13 Pantalla de Caratula .....	74
Figura. 4.14 Pantalla de Password .....	75
Figura. 4.15 Pantalla de Modo de Operación .....	76
Figura. 4.16 Pantalla de Modo Manual .....	77
Figura. 4.17 Selector Switch Master Modo manual .....	78
Figura. 4.18 Botón de encendido del Modo Manual .....	78
Figura. 4.19 Manipulador de Operación Manual .....	79
Figura. 4.20 Botón de emergencia .....	80

Figura. 4.21	Ventana indicadora límite de movimiento manipulador cartesiano.....	80
Figura. 4.22	Barra indicadora del proceso modo manual.....	81
Figura. 4.23	Indicador estado del sistema modo manual.....	81
Figura. 4.24	Indicador modo de operación: manual.....	81
Figura. 4.25	Indicador estado modo de operación: manual.....	82
Figura. 4.26	Pantalla de Modo Semiautomático.....	83
Figura. 4.27	Selector Switch Master Modo semiautomático.....	83
Figura. 4.28	Switch de encendido del Modo semiautomático.....	84
Figura. 4.29	Botón de reset.....	84
Figura. 4.30	Botón de emergencia.....	85
Figura. 4.31	Tabla indicadora tipo de cilindro y baño a realizarse.....	85
Figura. 4.32	Barra indicadora del proceso modo semiautomático.....	86
Figura. 4.33	Indicador estado del sistema modo semiautomático.....	87
Figura. 4.34	Indicador modo de operación: semiautomático.....	87
Figura. 4.35	Indicador estado modo de operación: semiautomático.....	87
Figura. 4.36	Configuración del brazo cartesiano.....	88
Figura. 4.37	Habilitación de los baños.....	88
Figura. 4.38	Indicador duración del baño.....	89
Figura. 4.39	Indicador de velocidad del brazo cartesiano.....	89
Figura. 4.40	Pantalla de Modo Automático.....	90
Figura. 4.41	Selector Switch Master Modo automático.....	91
Figura. 4.42	Switch de encendido del Modo automático.....	91
Figura. 4.43	Botón de reset.....	92
Figura. 4.44	Botón de emergencia.....	92
Figura. 4.45	Tabla indicadora tipo de cilindro y baño a realizarse.....	93
Figura. 4.46	Barra indicadora del proceso modo automático.....	93
Figura. 4.47	Indicador estado del sistema modo automático.....	94
Figura. 4.48	Indicador modo de operación: automático.....	94
Figura. 4.49	Indicador estado modo de operación: automático.....	94
Figura. 4.50	Pantalla de Control de Procesos.....	95
Figura. 4.51	Pantalla de Control de Procesos - Baño 1.....	96
Figura. 4.52	Pantalla Control de Procesos – Enjuague de agua corriente.....	98
Figura. 4.53	Pantalla de Lazos de Control (Variable Flujo y Nivel) – Baño 1.....	100
Figura. 4.54	Pantalla de Lazos de Control (Variable Temperatura) - Baño 1.....	104
Figura. 4.55	Pantalla de Lazo de Control – Enjuague de agua corriente.....	106
Figura. 4.56	Configuración de la red Ethernet/IP en el laboratorio C.I.M. 2000.....	109

## CAPÍTULO 5

Figura. 5.1	Diagrama del sistema de control de temperatura.....	113
Figura. 5.2	Diagrama del sistema de control de flujo.....	117
Figura. 5.3	Diagrama del sistema de control de flujo y nivel.....	120

## CAPÍTULO 6

Figura. 6.1	Diagrama de los lazos de control.....	124
Figura. 6.2	Respuesta del sensor de flujo.....	125
Figura. 6.3	Respuesta del sensor de nivel.....	126
Figura. 6.4	Respuesta escalón unitario de la planta de flujo.....	127
Figura. 6.5	Diagrama de Bode del controlador PD.....	129
Figura. 6.6	Diagrama de Bode planta de flujo Baño 1.....	131
Figura. 6.7	Parámetros: margen de fase y ángulo de fase.....	131
Figura. 6.8	Representación física del baño B1.....	133
Figura. 6.9	Diagrama de Bode planta de nivel.....	135
Figura. 6.10	Parámetros: margen de fase y ángulo de fase.....	136

Figura. 6.11	Respuesta del sensor de temperatura .....	137
Figura. 6.12	Respuesta del sensor de flujo.....	139
Figura. 6.13	Servomotor.....	140
Figura. 6.14	Diagrama de Bode planta de flujo Baño 2, 4 o 6.....	141
Figura. 6.15	Diagrama de Bode .....	142
Figura. 6.16	Control ON-OFF .....	145
Figura. 6.17	Respuesta del sistema en lazo cerrado y estado estable.....	146
Figura. 6.18	Respuesta del sistema en lazo cerrado ante una variación del Set Point .....	146
Figura. 6.19	Control por Superposición aplicado en la primera etapa de limpieza.....	147
Figura. 6.20	Intersección de la variable manipulada de flujo y nivel.....	148
Figura. 6.21	Rutina de encendido y modo de operación.....	149
Figura. 6.22	Programa periódico del control ON-OFF de temperatura .....	150
Figura. 6.23	Lazo de control ON-OFF de temperatura .....	151
Figura. 6.24	Diagrama de Bode planta de flujo Baño 2, 4 o 6.....	154
Figura. 6.25	Diagrama de Bode .....	154
Figura. 6.26	Rutina de encendido y modo operación.....	155
Figura. 6.27	Rutina periódica del lazo de control PI de flujo.....	156
Figura. 6.28	Valores de los parámetros guardados en la instrucción PID_FLUJO.....	157
Figura. 6.29	Lazo de control PID de flujo.....	158
Figura. 6.30	Diagrama de Bode planta de flujo Baño 1 .....	161
Figura. 6.31	Parámetros: margen de fase y ángulo de fase .....	161
Figura. 6.32	Diagrama de Bode planta de nivel .....	162
Figura. 6.33	Parámetros: margen de fase y ángulo de fase .....	163
Figura. 6.34	Rutina de encendido y modo de operación .....	164
Figura. 6.35	Rutina periódica del lazo de control por sobreposición de la primera etapa de limpieza .....	165
Figura. 6.36	Valores determinados para la instrucción PID – FLUJO_PRIMARIO .....	167
Figura. 6.37	Valores determinados para la instrucción PID – NIVEL_SECUNDARIO .....	167
Figura. 6.38	Lazo de control por sobreposición – variables flujo y nivel .....	168

## INDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO 3

Tabla 3.1	Lista de Entradas/Salidas de la PS-2800 .....	39
Tabla 3.2	Especificaciones de E/S del módulo 1769-IF4 .....	40
Tabla 3.3	Especificaciones de E/S del módulo 1769-OF2 .....	43
Tabla 3.4	Lista de Entradas del módulo 1769-IF4 .....	45
Tabla 3.5	Lista de Salidas del módulo 1769-OF2 .....	45
Tabla 3.6	Lista de Entradas del módulo 1769-IQ16F .....	48
Tabla 3.7	Lista de Salidas del módulo 1769-OB16P .....	49

### CAPÍTULO 4

Tabla 4.1	Lista de tags de memoria utilizados para la configuración general .....	71
Tabla 4.2	Lista de tags del controlador utilizados para la configuración general .....	71
Tabla 4.3	Lista de tags de modo de operación utilizados para la configuración general .....	72
Tabla 4.4	Lista de tags utilizados en el brazo robótico .....	72
Tabla 4.5	Lista de tags utilizados en los lazos de control .....	73
Tabla 4.6	Tipo de usuario y contraseña .....	76
Tabla 4.7	Selección del modo de operación .....	110
Tabla 4.8	Estado de operación de la estación .....	110
Tabla 4.9	Datos de entrada del tipo de cilindro solicitado .....	110
Tabla 4.10	Datos de salida del tipo de cilindro elaborado .....	111
Tabla 4.11	Datos de salida de la selección de los baños a realizarse .....	111

## GLOSARIO

### A

#### **Actuador**

Transductor que transforma señales eléctricas en movimientos mecánicos.

#### **Algoritmo**

Procedimiento o conjunto de procedimientos que describen una asociación de datos lógicos destinados a la resolución de un problema. Los algoritmos permiten automatizar tareas, siendo una secuencia codificada de instrucciones.

### C

#### **Control**

Selección de las entradas de un sistema de manera que los estados o salidas cambien de acuerdo a una manera deseada.

#### **Controlador Lógico Programable (PLC)**

Equipo electrónico programable que almacena varias secuencias de órdenes llamadas programa en su interior y se encarga de ejecutarlas de forma cíclica con el fin de realizar una tarea.

## **CPU**

Acronimo de Central Processing Unit (Unidad central de procesamiento). Es el procesador central del ordenador encargado de controlar rutinas, realizar funciones aritméticas y otras tareas propias.

## ***D***

### **Diagrama de Bloques**

Método gráfico de representación de un sistema dinámico, el cual utiliza bloques para representar un subsistema y flechas para indicar la dirección del flujo de señales.

### **Diseño**

Concepción original de un concepto u obra destinados a su implantación o producción.

## ***E***

### **Entrada**

Cualquier evento externo que se provee a un sistema para modificar al sistema de cualquier manera.

### **Error en Estado Estacionario (ess)**

Se define como la diferencia entre la entrada y la respuesta del sistema cuando se ha alcanzado estabilidad.

## **Estimación**

Proceso por el que se trata de averiguar un parámetro no conocido, a partir de un valor estadístico.

## ***F***

## **Función de Transferencia**

Se define como el cociente entre la transformada de Laplace de la salida (función de respuesta) y la transformada de Laplace de la entrada (función de excitación) bajo la superposición de que todas las condiciones iniciales son cero.

## ***I***

## **Identificación**

Correspondencia entre un modelo y la porción de realidad que pretende representar. El valor de un parámetro puede ser asumido (como hipótesis) o puede ser estimado a partir de ciertos datos y entonces se dice que los parámetros son identificados.

## **Identificación de Sistemas**

Conjunto de métodos para la obtención de modelos matemáticos a partir de datos experimentales de las entradas y salidas de un sistema.

## **Interfaz Hombre Maquina (HMI)**

Método para mostrar el estado de una máquina, alarmas, mensajes y diagnósticos, usualmente en forma gráfica en un computador personal, permitiendo una realimentación al operador.



## *M*

### **Modelo**

Representación de una manera más sencilla de ciertos aspectos de un proceso o elemento, y el cual es utilizado con objetivos de análisis, control y predicción. Todo modelo se basa en una teoría, pero dicha teoría puede no estar indicada en una forma concisa. Tipos de modelos: a escala, descriptivos, gráficos, analógicos y matemáticos.

## *O*

### **Observabilidad**

Un sistema es observable si se puede determinar el estado inicial de un sistema a partir de la medición de entradas y salidas, en un tiempo finito. Si una variable de estado no influye en la salida, entonces no se puede observar dicha variable y el sistema no es observable.

### **Orden**

Matemáticamente, el orden de un proceso continuo es igual al número de integradores que se requieren para construir su ecuación dinámica.

## *P*

### **Periodo de Muestreo**

En el muestreo periódico, es el tiempo entre cada una de las muestras.

## **Perturbaciones**

Una perturbación es una señal que tiende a afectar negativamente el valor de la salida de un sistema.

## **PI**

Control Proporcional-Integral. El valor Proporcional determina la reacción del error actual. El valor Integral genera una corrección proporcional a la integral del error, esto nos asegura que aplicando un esfuerzo de control suficiente, el error de seguimiento se reduce a cero.

## **Planta**

Parte de un equipo o un conjunto de las partes de una máquina que funcionan juntas.

## **Proceso**

Conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman entradas en salidas.

## **Producto**

Resultado de un proceso.

## **Programa**

Secuencia de instrucciones que obliga al ordenador a realizar una tarea determinada. Serie de instrucciones que sigue el ordenador para llevar a cabo una tarea determinada.

## **R**

### **Realimentación**

Proceso mediante el cual un sistema alcanza de forma automática los valores establecidos para sus variables de estado de forma precisa a pesar de las variaciones que se produzcan en la entrada.

### **Regulación**

Proceso de control que hace que una variable dinámica permanezca fija o cercana a un valor deseado, por medio de una acción correctiva constante.

### **Regulador**

Sistema que determina (selecciona) y hace cumplir (mantiene) los parámetros operativos de otro sistema.

## **S**

### **Salida**

Cualquier cambio producido en el entorno por un sistema. Productos, resultados o partes observables del comportamiento de un sistema.

### **Sensor**

Dispositivo que detecta los valores de fenómenos físicos.

### **Set Point (SP)**

Valor deseado al cual se desea llevar la variable controlada.

## **Simulación**

Operación de un modelo dinámico para obtener una secuencia de resultados que podrían ocurrir en un sistema del mundo real.

## **Sistema de Control**

Se define como la unión de componentes que se agrupan entre si para cumplir el objetivo de controlar, está regido por normas y reglas.

### **Sistema de control en lazo abierto**

Son aquellos sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control.

### **Sistema de control en lazo cerrado**

En estos sistemas se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado.

*T*

## **Transductor**

Dispositivo que convierte una señal de entrada en una señal de salida de naturaleza diferente a la de entrada, tales como los dispositivos que convierten una señal de presión en un voltaje. Tipos: analógicos, de datos muestreados, digitales.

## **V**

### **Valor Presente (PV)**

Variable dinámica que es regulada. Esta variable se la obtiene de las mediciones realizadas por los sensores.

### **Válvulas**

Elementos que mandan o regulan la puesta en marcha, el paro y la dirección, así como la presión o el caudal del fluido.

### **Variable Manipulada (MV)**

Variable dinámica que cambia como función de la variable de control y que modifica directamente la variable controlada.

### **Verificación:**

Confirmación mediante la aportación de evidencia objetiva de que se han cumplido los requisitos especificados.

