

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electrónica



**Sistema de control para un banco de pruebas hidráulicas
Utilizable en calibración de medidores de flujo Burkert**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en
Electrónica con el grado académico de Licenciatura**

Esteban David Mena Arias

Cartago, Junio del 2013


INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN
TRIBUNAL EVALUADOR

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

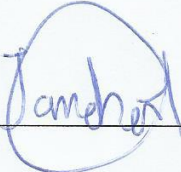
Miembros del tribunal



Ing. Juan José Montero Rodríguez
Profesor lector



Ing. William Quirós Solano
Profesor lector



Ing. Juan Andrés Alfaro Barrantes
Profesor asesor

Los miembros de este tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica.

Cartago, 25 de Junio de 2013

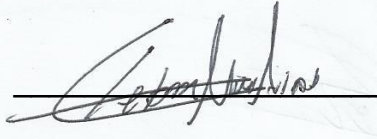
Declaratoria de Autenticidad

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, 25 de julio de 2013



Esteban David Mena Arias

Céd: 1-1251 0307

Dedicatoria

Dedico el presente proyecto a dos personas que me han demostrado con sus vidas el valor del esfuerzo y la perseverancia. A ellos, quienes me brindan siempre su apoyo incondicional, los hago partícipes del éxito que con dedicación y empeño hoy cosecho...

... A mis padres.

Agradecimientos

Agradezco primeramente a Dios, quien me ha guiado y brindado las fuerzas necesarias para luchar por este gran sueño.

A mi familia por comprenderme y apoyarme en este trayecto tan importante.

Agradezco a mi novia Raquel por compartir sus fuerzas y alentarme en momentos en los que pensaba que nunca iba a lograrlo.

Finalmente, le agradezco a todos los profesores quienes se preocuparon por brindar una formación profesional de calidad y que me enseñaron las herramientas con las que afrontaré el mundo laboral.

Resumen

Proyectos y Automatización S.A (PYASA) es una empresa dedicada a la planeación, ejecución y control en materia de producción industrial. La compañía busca brindarle al cliente una solución en los procesos productivos que requieran el trasiego y manejo de fluidos como agua, gases, aceites, combustibles, entre otros. El objetivo principal de la compañía es el de *“ofrecer un servicio integrado de distribución, asesoramiento y soluciones a la medida para todas las empresas que lo requieran, con respaldo técnico y profesional en el área, esto con el fin de disminuir sus costos operativos, maximizar su productividad y competitividad, garantizándoles un manejo más eficiente en sus procesos productivos [1]”*. El presente proyecto llega a satisfacer la necesidad de un sistema que le facilite a la empresa la capacitación de empleados y clientes en el funcionamiento, instalación y puesta en operación de los equipos por medio de las pruebas hidráulicas.

El sistema diseñado permite el control y monitorización de dispositivos como medidores de flujo, electroválvulas, válvulas proporcionales y válvulas neumáticas por medio de un controlador lógico programable (PLC) de la marca FESTO, en conjunto con una Interfaz Humano-Máquina (HMI).

Palabras clave: PLC, HMI, Capacitación, Electroválvulas, Válvulas proporcionales, Automatización, medidores de flujo.

Abstract

Proyectos y Automatización S.A (PYASA) is a company dedicated to planning, execution and control in industrial production topics. The company looks to offer the client a solution for productive processes that require transferring and management of fluids like water, gasses, oils, and gasoline among others. The main objective of this company is *"to offer an integrated service of distribution, technical advice and solutions according to what other companies require, with technical and professional support in the area to help them to reduce operating costs, maximize their productivity and competitiveness, ensuring a more efficient management of their productive process [1]"*. This present project comes to satisfy the need for a system that makes easier for the company the training of employees and customers in the functioning, installation and operation of the devices through hydraulic tests.

The system as it is designed, allows for the control and monitoring of devices like digital flow transmitters, electrical valves, proportional valves and pneumatic valves through a programmable logic controller (PLC) FESTO branded, in conjunction with a Human-Machine Interface.

Keywords: PLC, HMI, training, digital flow transmitters, electrical valves, proportional valves and pneumatic valves, automation.

Índice general

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Problema existente e importancia de la solución	1
1.2	Síntesis del problema	2
1.3	Solución seleccionada.....	2
2	META Y OBJETIVOS	4
2.1	Meta	4
2.2	Objetivo general	4
2.3	Objetivos específicos	4
3	MARCO TEORICO	5
3.1	Descripción del sistema	5
3.2	Antecedentes bibliográficos	6
3.2.1	Medidor de Caudal Burkert 8035.....	6
3.2.2	Válvula de control de asiento inclinado 2/2 vías, Burkert 2702.....	12
3.2.3	Electroválvula servoasistida de control Burkert 6223	15
3.2.4	Controlador universal de caudal, presión y temperatura 8611	16
3.2.5	Válvulas Burkert 2000 y 2100 de asiento inclinado de 2/2 vías	21
3.2.6	Electroválvula servoasistida Burkert 5281.	22
3.2.7	Electroválvula Burkert 6213.....	24
3.2.8	Detector de nivel vibratorio Burkert 8110	25
3.3	Descripción de los principios electrónicos.....	29
3.3.1	Controlador Lógico Programable CEC-CPX de Festo	29
3.3.2	Dispositivo de interfaz-humana FED-50.....	30
3.3.3	Tipos de señales	32
3.3.4	Sistema normalizado IEC 1131-3 de programación de autómatas programables	34
3.3.5	Clasificación de los sistemas de control de procesos según su algoritmo de control.....	36
4	PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	37
4.1	Reconocimiento y definición del problema	37
4.2	Obtención y análisis de la información	37
4.3	Evaluación de las alternativas y síntesis de la solución	38
4.4	Reevaluación y rediseño	39

5	DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN	39
5.1	Criterios de selección para las válvulas del sistema	39
5.2	Descripción de software	40
5.2.1	Programación PLC Festo CEC-CPX	40
5.2.2	Configuración de la pantalla FED-50	44
6	Análisis de los resultados.....	47
6.1	Resultados	47
6.1.1	Programación del PLC.....	47
6.1.2	Programación de la pantalla FED-50 de FESTO	52
6.1.3	Tiempos de respuesta de las electroválvulas.....	56
6.2	Análisis de los resultados.....	56
7	Conclusiones y recomendaciones.....	60
7.1	Conclusiones.....	60
7.2	Recomendaciones	61
8	Referencias	62
9	Apéndices y anexos	64
9.1.1	Apéndices	64
A.1	Glosario, abreviaturas y simbología	64
A.2	Información de la empresa	65
A.2.1	Descripción de la empresa	65
A.2.2	Descripción del departamento en la que se realizó el proyecto.....	65
A.2.3	Antecedentes prácticos.....	65
A.3	Carta de entendimiento	66

Índice de figuras

Figura 3.1 Diagrama del sistema a controlar	5
Figura 3.2 Fitting compacto S30	7
Figura 3.3 Módulo electrónico SE35 de Burkert	8
Figura 3.4 Diagrama de conexión del 8035 con el PLC	9
Figura 3.5 Opciones del modo configuración del dispositivo Burkert 8035	10
Figura 3.6 Válvula de control de asiento inclinado Burkert 2702	12
Figura 3.7 Funcionamiento del sensor de posición del 8798	13
Figura 3.8 Posicionador electroneumático 8792	13
Figura 3.9 Lazo de control de la válvula 2702	14
Figura 3.10 Electroválvula Burkert 6223	15
Figura 3.11 Partes internas de la electroválvula servoasistida	16
Figura 3.12 Funcionamiento del dispositivo Burkert 8611	18
Figura 3.13 Tiempo de respuesta de la señal PWM y la corriente en la bobina	18
Figura 3.14 Corriente por encima de la señal estándar	19
Figura 3.15 Ajuste del rango de control	20
Figura 3.16 Ajuste de la banda muerta del controlador Burkert 8611	20
Figura 3.17 Válvulas Burkert 2000 y 2100 de asiento inclinado	21
Figura 3.18 Indicador de posición 1062	21
Figura 3.19 Electroválvula Burkert 5281	22
Figura 3.20 Estructura interna de la electroválvula servoasistida Burkert 5281	23
Figura 3.21 Electroválvula Burkert 6213	24
Figura 3.22 Estructura interna de la electroválvula Burkert 6213	24
Figura 3.23 Detector de nivel vibratorio 8110	25

Índice de tablas

Tabla 1.1. Características básicas del medidor de Flujo Burkert 8035	1
Tabla 3.1. Valores de los factores K en pulsos/litro bajo condiciones estándar.....	8
Tabla 3.2. Señales de salida para el controlador 8611 de Burkert.....	17
Tabla 3.3. Modos de operación y estado de conmutación de los dispositivos detectores de nivel Burkert 8110	28
Tabla 3.4 Magnitudes de las señales digitales y analógicas utilizadas en el PLC CPX-CEC	30
Tabla 3.5. Señales analógicas y digitales del sistema.....	33
Tabla 3.6. Principales tipos de datos de la norma IEC 1131-3.....	35
Tabla 5.1 Asignación de las direcciones de memoria para las señales	41
Tabla 6.1 Tiempo de respuesta ante cambios en el estado de las electroválvulas.	57

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Problema existente e importancia de la solución

La compañía PYASA es especialista en la marca Burkert, la cual es reconocida a nivel mundial por el asesoramiento, desarrollo y fabricación de sistemas innovadores y de alta calidad para el control de fluidos. PYASA busca brindarle al cliente un excelente diseño y puesta en marcha de proyectos de automatización, además de la asesoría en el diseño de sistemas de procesos automáticos. Todo esto con el fin de que el cliente pueda obtener un manejo eficiente en el consumo de combustibles, reducción de los costos operativos e incremento en la productividad, además de reducir los tiempos de paro en la producción debido a reparaciones.

Para la empresa era importante contar con una herramienta para la capacitación de empleados y de clientes, la cual permita instalar y poner en operación medidores de flujo, sistemas de control batch, calibración de instrumentos además de poder controlar el accionamiento de los diferentes tipos de válvulas. Uno de los instrumentos que se desea utilizar en el sistema es el medidor de caudal de flujo Burkert 8035, el cual trabaja con un sensor que proporciona el valor medido a través de una señal digital.


Tabla 1.1. Características básicas del medidor de Flujo Burkert 8035. [2]

	Indicación en modo operativo / modo normal	Modo calibración	Modo de pruebas
Transmisor de caudal	<ul style="list-style-type: none"> caudal corriente de salida totalizador principal totalizador diario con función de reajuste 	<ul style="list-style-type: none"> idioma unidades Factor K / función TEACH-IN Intervalo de medición 4-20 mA salida de pulsos programación de los relés (opcional) filtro reajuste del totalizador principal 	<ul style="list-style-type: none"> modificación de la configuración básica (compensación del cero y la sensibilidad) prueba de frecuencia del sensor simulación de caudal (para realizar prueba "en seco")
Totalizador / indicador con batería	<ul style="list-style-type: none"> caudal totalizador principal totalizador diario con función de reajuste 	<ul style="list-style-type: none"> idioma unidades factor K / función TEACH-IN filtro reajuste del totalizador principal 	

Depende de la versión: prensaestopas, conector, o tapón roscado

Modificación del valor de los dígitos. Desde 0 a 9. Selección de menú

Recorrido por menú Selección de dígitos



Confirmación de los valores y opciones del menú

LED relé 2*

LED relé 1*

* No disponible en las versiones con batería

La marca Burkert es una organización que se encuentra en forma continua Investigación y desarrollo con el fin de ofrecer a los clientes la mejor Tecnología y

el mejor servicio. PYASA forma parte de las filiales a nivel mundial de la marca Burkert, y en estos momentos se encuentra ampliando actividades en países como Nicaragua, Panamá y Guatemala. Como se mencionó anteriormente es de suma importancia para la empresa poder probar y calibrar los medidores de flujo. La idea del proyecto es diseñar e implementar un sistema de control mediante la utilización de un PLC CPX-CEC de la marca FESTO para un banco de pruebas hidráulicas compuesto por un medidor de flujo 8035, electroválvulas proporcionales y de dos posiciones, además de controladores digitales.

1.2 Síntesis del problema

Se requería un banco de pruebas que permitiera a PYASA calibrar y verificar el funcionamiento de los dispositivos medidores de caudal por medio de un sistema de control.

1.3 Solución seleccionada

Se obtuvo un sistema tal que se pueda monitorear un caudal por medio de los artículos Burkert construidos para tal fin, pero que a la vez incorpora un sistema de control mediante la utilización de un PLC FESTO para integración y control de las etapas de medición.

Inicialmente se diseñó una planta que permite la incorporación de los medidores de caudal que brindan la señal al PLC para la posterior calibración. Es necesario tomar en cuenta que el sistema debe incluir componentes como válvulas de control y cálculo de tuberías. Esto puesto que se trata de un sistema de control para un entorno hidráulico.

La elección del PLC es de suma importancia ya que es el encargado del control automático del sistema. Se desea contar con una serie de etapas de medición las cuales estarán compuestas por mecanismos Burkert, estos dispositivos pueden ser reemplazables por otros del mismo tipo por lo que no

deben ir fijos al banco de pruebas. Cada etapa debe ser diseñada de manera que se tenga un funcionamiento adecuado bajo el cual los medidores no sufran daño alguno en la puesta en marcha del sistema, ya que esto representaría un gasto extra para la empresa. En otras palabras se busca que el sistema sea seguro, con un excelente rendimiento y de fácil utilización para el cliente.

Se puede además dividir la investigación en diferentes etapas que constituirán el nuevo aporte del presente proyecto. Cada una de ellas posee un fin específico, pero al relacionarlas conformarán el sistema de control. Dichas etapas son:

- Estudio y programación del PLC FESTO.
- Investigación de las características de los dispositivos hidráulicos que se desean incorporar en el banco de pruebas.
- Programación de las señales de control para las válvulas electro-hidráulicas
- Análisis de las señales eléctricas que proveen los medidores de caudal Burkert 8035.
- Diseño e implementación del control del sistema.

Como se mencionó anteriormente es importante el estudio de las señales que proveen los medidores Burkert para su posterior manipulación. Ya que de esas señales depende la programación del sistema de control que se desea implementar mediante el PLC. Con la elaboración de este proyecto se busca:

- Contar con una herramienta para capacitación y entrenamiento de los clientes y del personal.
- Comprobar funcionamiento de medidores de flujo.
- Desarrollo de laboratorios para uso de válvulas de proceso 2/2.
- Desarrollo de laboratorios para uso con válvulas proporcionales con señal PWM.

2 META Y OBJETIVOS

2.1 Meta

Desarrollo de un sistema de control automático para un banco de pruebas hidráulicas que permita la calibración de los dispositivos medidores de caudal la activación y desactivación automática de una bomba de suministro.

2.2 Objetivo general

Diseñar un sistema de control que permita la calibración de dispositivos medidores de caudal de la marca Burkert, mediante la utilización de un PLC Festo.

2.3 Objetivos específicos

1. Diseñar una rutina que permita el control sobre los actuadores electro-neumáticos del banco de pruebas.
2. Implementar una rutina que permita la activación y desactivación de la de la bomba de suministro del sistema.
3. Desarrollar una rutina capaz de controlar el nivel de líquido contenido en los tanques de abastecimiento del sistema.

3 MARCO TEORICO

3.1 Descripción del sistema

La estructura del sistema a controlar se muestra a continuación:

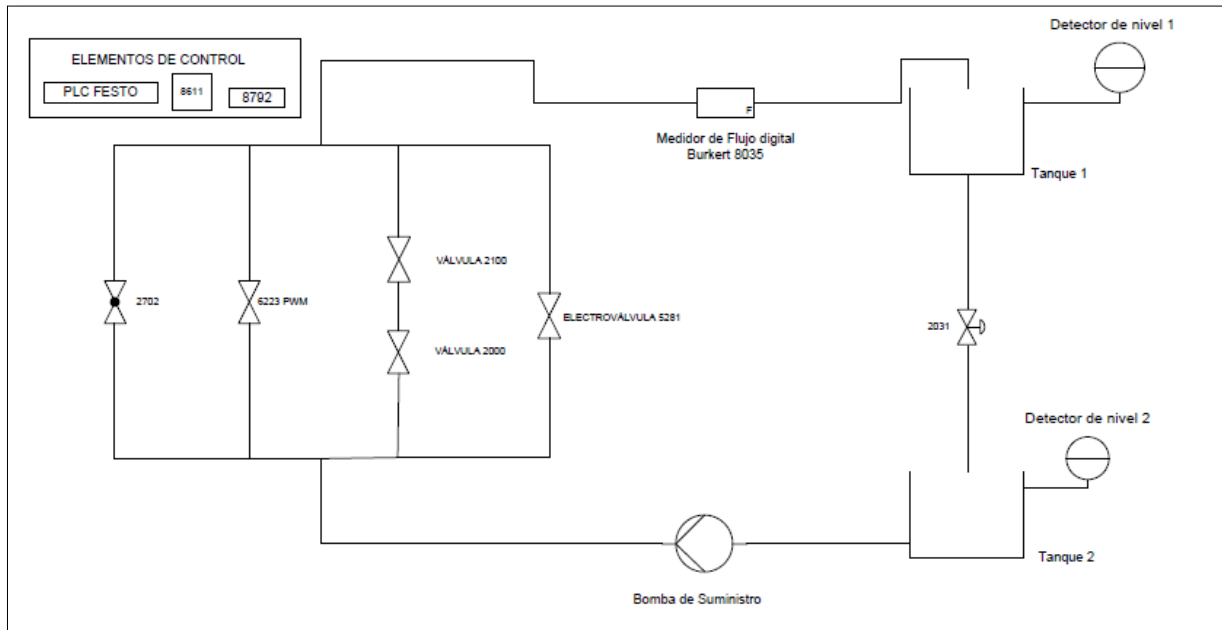


Figura 3.1 Diagrama del sistema a controlar

La bomba de suministro toma el líquido (agua) que se encuentra en el tanque 2 y lo distribuye por las tuberías a tres secciones en paralelo. El sistema de control deberá elegir entre cada uno de ellas o bien entre una combinación de las mismas. El medidor digital indicará la cantidad de flujo que está pasando por la tubería superior y enviará una señal al PLC, el cual se encargará de manipular el proceso.

El sistema cuenta con un total de seis válvulas electro-hidráulicas las cuales poseen diferentes características. La 2702 y la 6223 son válvulas proporcionales, esto quiere decir que reciben una señal de entrada la cual se traduce en desplazamiento del actuador, estas señales pueden ser de 0 a 20mA, 4 a 20ma, 0 A 10V, o PWM. En este caso la 2702 será controlado con una señal de 0 a 20mA y la 6223 con un PWM, dichas señales serán provistas por las salidas analógicas y

digitales del PLC respectivamente. Por su lado las válvulas 2000, 2100 y 5281, tienen solamente 2 estados (abierto o cerrado) y serán controladas con salidas digitales del PLC. Al llenarse el tanque 1 se activara una señal proveniente de un detector de nivel, lo que deberá provocar la apertura de la electroválvula 2031, que se encuentra ubicada en medio de la comunicación de los dos tanques. Y se cerrada al activarse el detector de nivel del tanque 2.

3.2 Antecedentes bibliográficos

Para comprender de una mejor manera el sistema que se desea controlar es necesario conocer los conceptos bajo los cuales trabajan los diversos dispositivos utilizados en la solución del problema. Por lo que se hará alusión bibliográfica a cada uno de los componentes del banco de pruebas, utilizados para conformar el sistema de control.

3.2.1 Medidor de Caudal Burkert 8035

El módulo Burkert 8035 actúa como transmisor de caudal, utilizando un sistema de rodetes para generar los pulsos digitales que son enviados hacia el controlador o mecanismo periférico con el cuál se desee trabajar. El sistema completo de medición se puede dividir en dos partes importantes:

- Fitting compacto (S030)
- Módulo electrónico (SE35)

El fitting S030 lleva integrado un rodete para la medición de caudal. El líquido que circula por la tubería hace girar el rodete, lo que produce pulsos de frecuencia proporcional a la velocidad de caudal. El movimiento del rodete se detecta sin contacto a través de la pared del fitting [3].

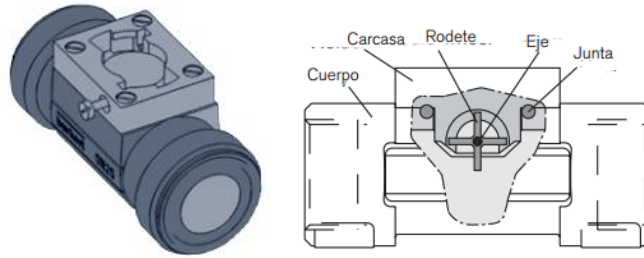


Figura 3.2 Fitting compacto S30 [3].

La creación de pulsos se da gracias al *efecto Hall*, en donde se da la presencia de una leve diferencia de potencial a través del conductor en una dirección perpendicular, tanto al campo magnético como a la velocidad de las cargas [4].

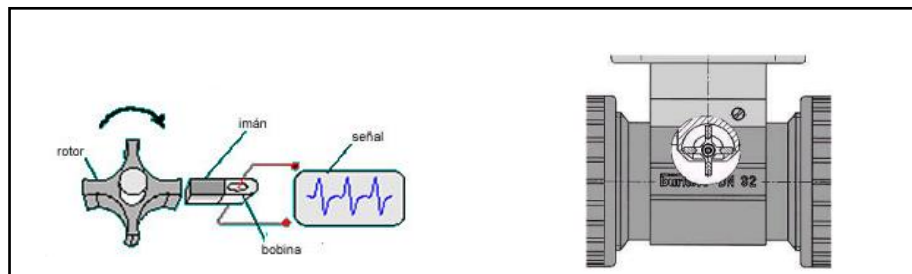


Figura 3.3 Funcionamiento del sensor de efecto hall [3].

Cuando el líquido circula por la tubería se genera movimiento en el rodete, el cual está compuesto por 4 imanes, produciendo la señal en el transductor (sensor efecto Hall), como se puede apreciar en la figura 3.3. El sensor emite una señal de salida que se deriva del producto de la fuerza del campo magnético por la corriente. La tensión inducida, con modulación de frecuencia, es proporcional a la velocidad de caudal y se puede transformar en un valor de velocidad de caudal mediante un coeficiente de conversión K (Pulsos/Litro). Este factor K depende del diámetro de la tubería por la cual circula el fluido, la temperatura y las características del líquido.

Para mediciones estándar todos los factores K se calculan bajo las siguientes condiciones de referencia [3]:

- Medio: agua
- Temperatura ambiente: 20°C
- Temperatura del agua: 20°C

La siguiente tabla resume los valores de K bajo las condiciones antes descritas

Tabla 3.1. Valores de los factores K en pulsos/litro bajo condiciones estándar [3].

Material	Tipo de conexión y normas	Factores K								
		DN6	DN8	DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN65
Latón	Todos	440	278	105,7	66,48	49,03	31,82	19,84	11,36	-
PVC	Todos	440	278	115,8	75,25	52,91	28,47	17,29	10,20	-
PP	Todos	-	-	110,2	74,18	52,86	28,44	17,41	10,06	-
PVDF	Todos	440	278	118,4	78,01	57,03	31,65	18,97	10,86	-

El módulo Burkert 8035 se completa al unir el dispositivo S030 con el SE35. Este último es el módulo electrónico encargado de interpretar, visualizar y transmitir la información que se proporciona por medio de los pulsos que emite el sensor de Hall colocado en el fitting.

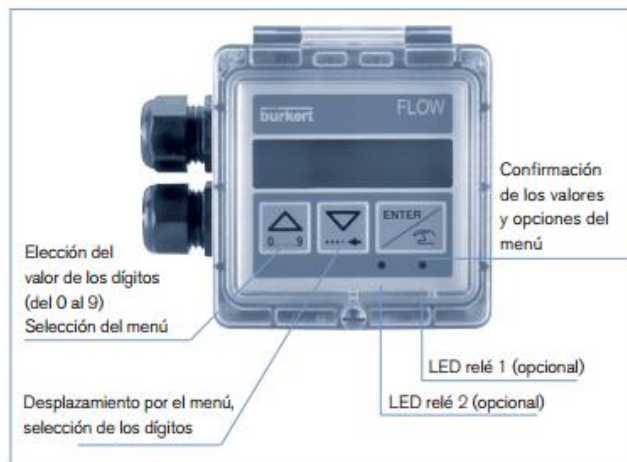


Figura 3.3 Módulo electrónico SE35 de Burkert [2].

El módulo cuenta con 4 entradas binarias y funciones para la elección de la cantidad de dosificación e inicio y parada de la misma. Por su lado la salida del sistema se puede manejar por medio de una señal analógica de 4 a 20 mA o bien por una señal digital de pulsos. Dicha salida puede ser enviada a un controlador plc o periférico para su posterior manipulación [2].

La señal de salida es una señal estándar de 4 a 20 mA, proporcional a la velocidad de caudal. El instrumento puede también generar una salida de pulsos con un transistor de colector abierto NPN/PNP. El plc se encargará de recibir la señal de pulsos emitida por el transmisor.

En la siguiente imagen se muestra el diagrama de conexión del módulo con el controlador lógico programable.

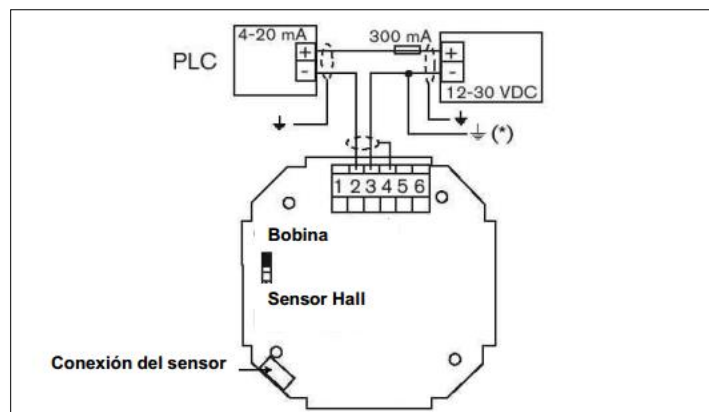


Figura 3.4 Diagrama de conexión del 8035 con el PLC [2].

El medidor de caudal posee un modo de calibración, en donde el usuario puede escoger entre múltiples opciones y modificarlas a conveniencia. A continuación se muestran las diferentes acciones que se pueden realizar en el modo de configuración.

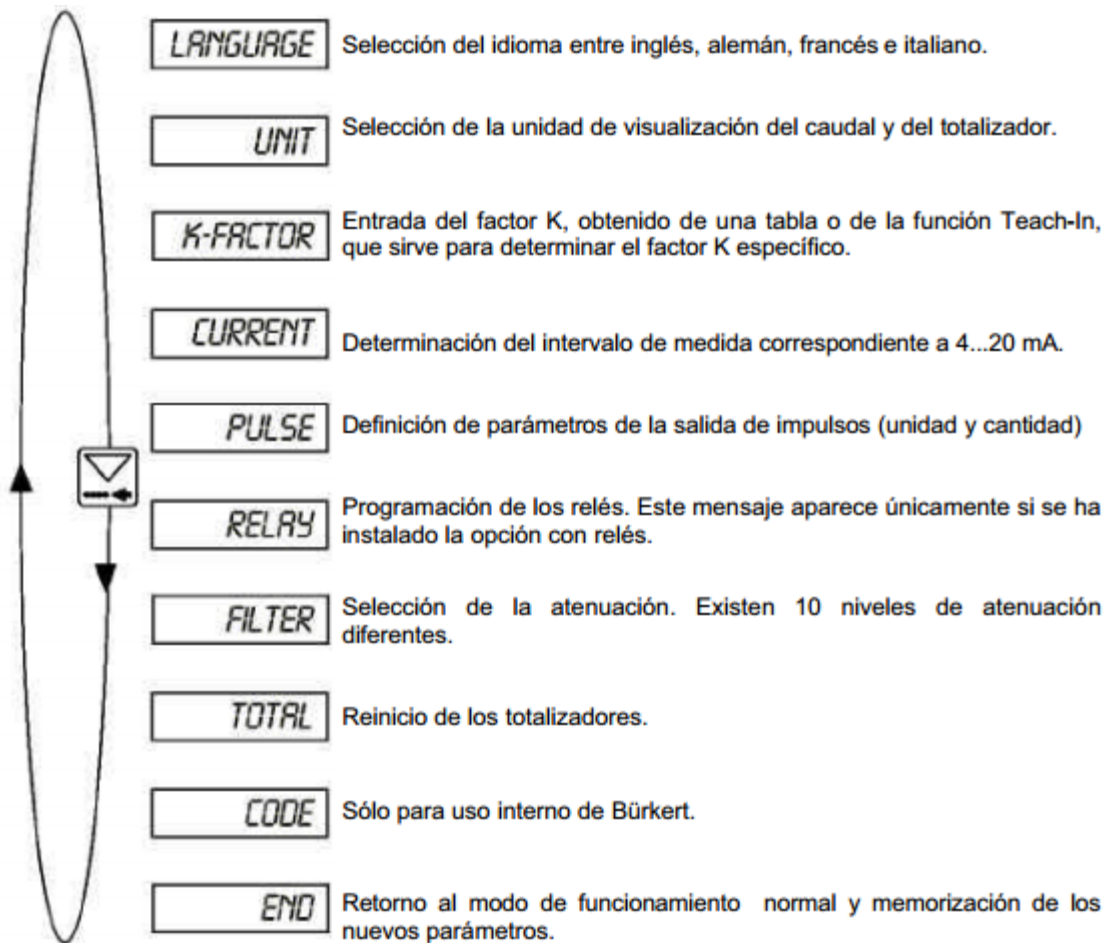


Figura 3.5 Opciones del modo configuración del dispositivo Burkert 8035 [2].

Las funciones más importantes en la calibración del dispositivo son:

- Factor K
- Intensidad del intervalo de corriente
- Configuración de la salida de pulsos
- Filtrado

La función Teach-In que se menciona en la figura permite calcular de forma práctica el factor K específico de la aplicación. Para ello, el usuario sólo tiene que dejar fluir una cantidad conocida de fluido a través del sistema y activar la función de autoajuste.

Otra de las opciones es la intensidad de la corriente del sensor. El procedimiento permite introducir un intervalo de medición del caudal correspondiente a la salida de intensidad de 4...20 mA. Un ejemplo sería asociar un intervalo de 0 a 180 L/min a la salida de a 4...20 mA. Donde 0 L corresponde al valor de 4 mA y 180L/min a 20mA.

La salida de pulsos lo que permite es asignar a una cantidad de pulsos un valor determinado. Por ejemplo se puede asignar que si la cantidad de pulsos es 14 entonces la medición de caudal sea 50 m³. [2]

De igual manera se pueden aplicar diferentes niveles de filtrado que permiten disminuir las fluctuaciones en las lecturas de pantalla y en la intensidad de salida.

3.2.2 Válvula de control de asiento inclinado 2/2 vías, Burkert 2702.

Esta válvula es del tipo proporcional, por lo que actúa en conjunto con diferentes componentes que indican el valor de apertura de la misma, formando una unidad mecánica y funcional con el actuador neumático, estableciendo un sistema de control completo para aplicaciones donde disponer de una velocidad de caudal elevada es una ventaja [5].



Figura 3.6 Válvula de control de asiento inclinado Burkert 2702 [5].

Los dos dispositivos importantes utilizados en el control proporcional de la válvula son:

- Sensor lineal de posición 8798
- Posicionador electroneumático digital 8792

El sensor es capaz de registrar la posición del actuador y enviar la información al posicionador electroneumático digital para que haga un procesamiento de la misma.

El actuador varía la posición del sensor a través del riel que se muestra en la figura 3.6, emulando el funcionamiento de un potenciómetro, modificando así el valor de la señal que se le envía al posicionador electroneumático según se desplace el sensor a través del riel.

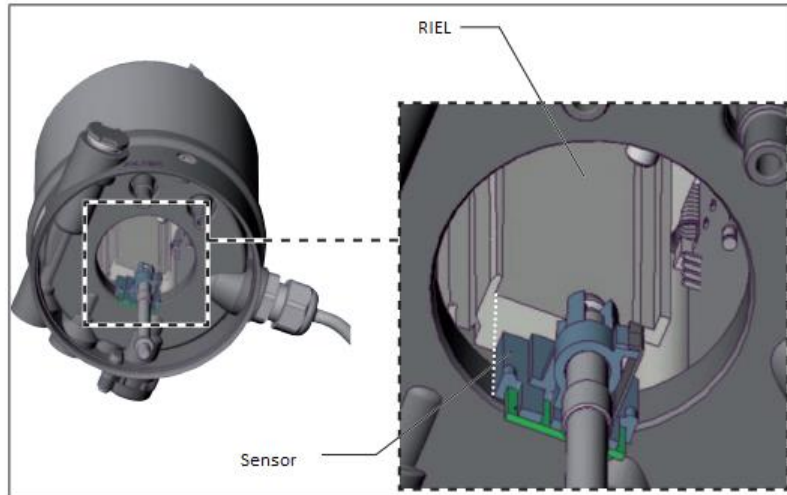


Figura 3.7 Funcionamiento del sensor de posición del 8798 [5].

Como ya se mencionó el posicionador electroneumático interpreta la señal recibida desde el sensor. También puede trabajar con señales de corriente y tensión estándar (0 a 20 mA ó de 0 a 10V). Este dispositivo posee un display gráfico en donde se puede visualizar la magnitud de las señales antes mencionadas.



Figura 3.8 Posicionador electroneumático 8792 [6].

Al ser un controlador de posición a este módulo se le puede establecer un valor de consigna de posición (setpoint) mediante una señal de entrada que se compara con el valor medido directamente desde el sensor y de esta manera se regula el aire que llega a la válvula para manejar su apertura o cierre. El lazo de control de posición de la válvula proporcional 2702 se muestra a continuación:

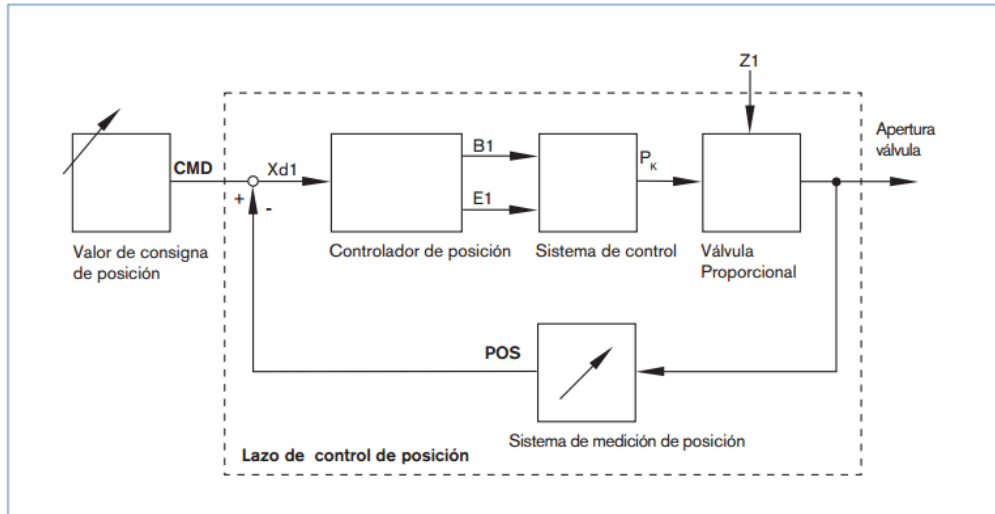


Figura 3.9 Lazo de control de la válvula 2702 [5].

El valor del punto de consigna es comparado constantemente con el valor de posición medido por el sensor. Esa medición le permite indicarle al controlador si debe aumentar o disminuir el porcentaje de apertura de la válvula. En este caso se puede observar que el error será igual a la diferencia entre el valor de consigna y el valor del “*sistema de medición de posición*” (*POS*), y la señal $Z1$ representa las perturbaciones dadas por las vibraciones que puede producir el choque del líquido con el actuador de la válvula. El controlador de posición y el sistema de control forman un solo bloque que genera la señal P_x para la posición de la válvula proporcional.

3.2.3 Electroválvula servoasistida de control Burkert 6223

Este tipo de válvula se utiliza también en el control de sistemas con flujo continuo. Su apertura es manejada mediante una señal PWM que envía el controlador digital de Burkert 8611 [7].



Figura 3.10 Electroválvula Burkert 6223 [7].

En la figura 3.10, se muestra el principio de funcionamiento de este tipo de válvulas. Cuando está cerrada, el medio tiene en la entrada una presión p_1 , el núcleo del émbolo ha descendido y presiona contra el asiento de pilotaje. Como resultado de esto y de la fuerza del muelle del pistón, la posición del asiento principal será cerrada. Un puerto limitador permite que el medio entre en la cámara de control y presione desde arriba la membrana o junta plana con una presión P_x . Si el puerto limitador, el asiento de pilotaje y las proporciones entre superficies están correctamente dimensionados, las fuerzas de compresión sobre el pistón alcanzan un equilibrio cuando el asiento se abre en una cierta proporción.

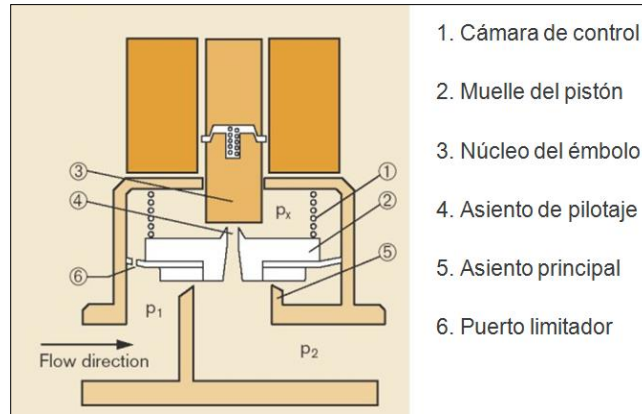


Figura 3.11 Partes internas de la electroválvula servoasistida [8].

3.2.4 Controlador universal de caudal, presión y temperatura 8611

Para el accionamiento y control de la electroválvula proporcional 6223 es necesario, al igual que para la electroválvula 2702 el uso de un controlador de posición [9].

Para este controlador podemos citar las siguientes características:

- Control PI (proporcional e integral del proceso)
- Control por microprocesador
- Control de válvulas proporcionales y de proceso
- Entradas de sensor (4-20 mA, frecuencia, Pt100)
- Programación externa o interna del punto de consigna
- Frecuencia de control PWM variable

El valor del proceso real puede ser suministrado por medio de las señales de sensor señaladas anteriormente. Y utilizándolas para generar “puntos de consigna” que serán proporcionados por las salidas del dispositivo tal y cómo se muestra en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Señales de salida para el controlador 8611 de Burkert.

Salida	Característica
Señal continua	Señal estándar 4-20mA
Señal discontinua	2 salidas de transistor PNP para señal PWM. Frecuencia de control de 1kHz....20Hz Resolución máx. 16bits (en función de la frecuencia) Tensión de conmutación: 24 VCC
Salida binaria	Salida de transistor PNP Tensión de conmutación 24V

El módulo puede transformar una señal externa estándar de 0 a 20 mA en una señal de tensión modulada con anchura de pulsos (PWM), que será suministrada a la bobina solenoide de la válvula proporcional. Por lo que a cada valor de entrada al módulo se le asigna un valor determinado de corriente media de la bobina, con lo que la apertura proporcional de la válvula puede ajustarse por medio de la misma.

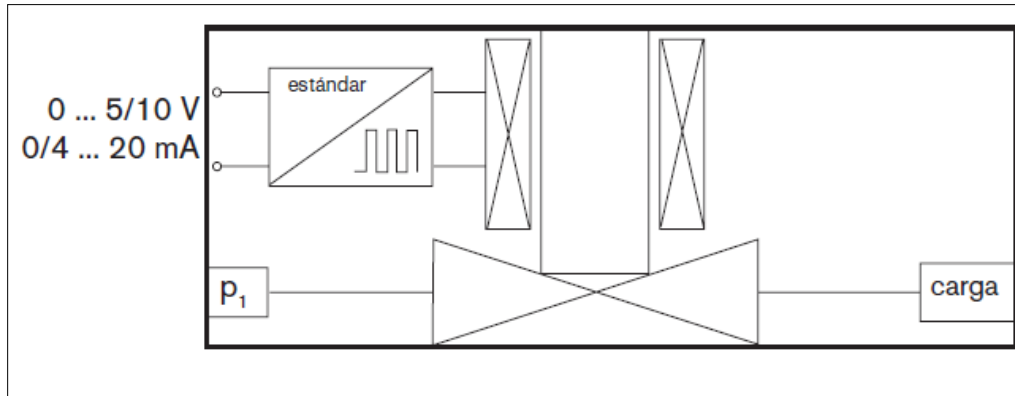


Figura 3.12 Funcionamiento del dispositivo Burkert 8611 [9].

Debido a las características del inductor, la gráfica rectangular de tiempo para las señales de tensión PWM no se transforma en la curva correspondiente de corriente, sino que su forma de onda en la bobina posee una forma redondeada, como se muestra en la figura 3.12.

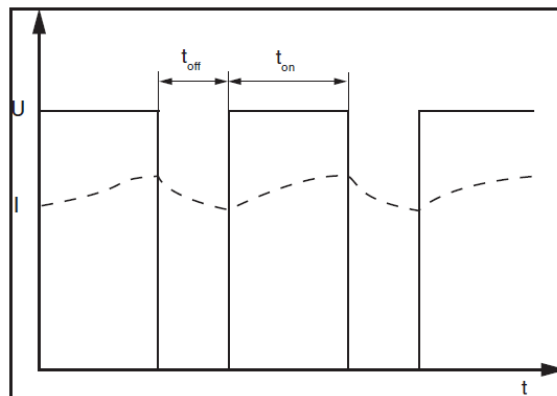


Figura 3.13 Tiempo de respuesta de la señal PWM y la corriente en la bobina [9].

La media en el tiempo de la corriente de la bobina depende del factor τ de la señal de tensión U , entonces se tiene que:

$$\tau = \frac{T_{ON}}{T_{ON} + T_{OFF}} \quad (1)$$

La forma curva de la corriente ejerce directamente en la fuerza magnética que actúa sobre el actuador que cierra y abre la válvula. Al mismo tiempo puede surgir un calentamiento debido a esta interacción, por lo que existirán variaciones de resistencia en el devanado y en consecuencia la válvula no tendrá en factor de apertura constante. El dispositivo Burkert 8611, provee el bloque de control necesario para compensar los efectos térmicos que se dan en el proceso.

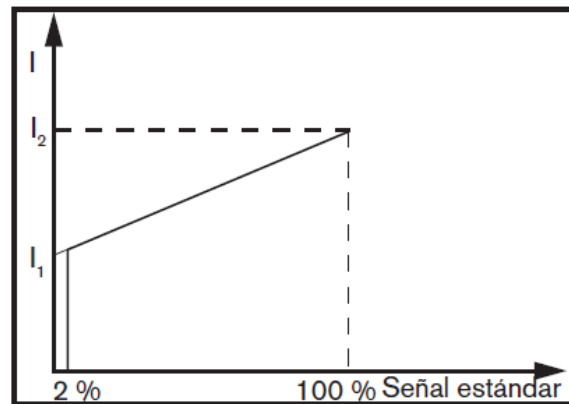


Figura 3.14 Corriente por encima de la señal estándar [9].

Para lo anterior es necesario definir el intervalo de la señal de control para que el posicionamiento o apertura de la válvula funcione de manera óptima. Con esto se deben configurar los valores de corriente efectiva de la bobina a través de la unidad de control de manera que se inicie la apertura de la válvula con un valor de corriente ligeramente por encima del valor clave inferior (I_1) y que el valor de caudal máximo se logre con un valor de corriente ligeramente por debajo del valor clave superior (I_2). [10].

Se puede definir el valor clave inferior como aquel que controla la corriente con el valor más bajo de la señal estándar y el valor clave superior es el que se obtiene con el valor más alto de la señal estándar. Estos dos valores guardan una relación lineal entre ambos, como se muestra en la figura 3.14.

Eventualmente se podrían manipular el valor máximo y mínimo de las corrientes claves de manera tal que solo un intervalo de la apertura de la válvula quede cubierto por los mismos. Limitando así el caudal volumétrico en condiciones de presión determinadas. El corte en el punto cero permite el cierre total de la válvula con señales de entrada por debajo de un límite determinado, como por ejemplo el 2% del valor límite

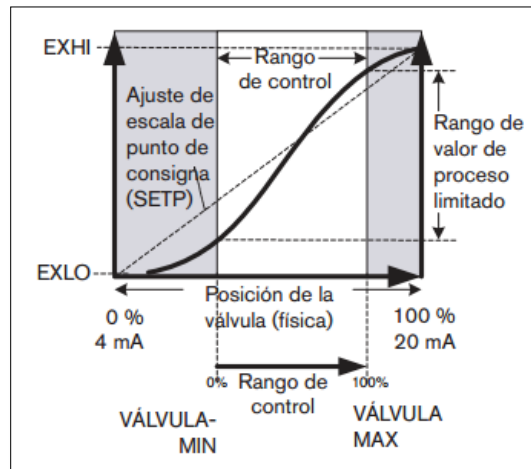


Figura 3.15 Ajuste del rango de control [10].

Esto permite limitar los valores del rango de control a una región dada del proceso, y de esta manera tomar en cuenta los valores de apertura o cierre que realmente interesan en el sistema. Otra función importante que ofrece este controlador es el ajuste de la banda muerta, lo que garantiza el controlador del proceso solo reaccione cuando se supere una diferencia de control determinada, lo que ayuda a disminuir el desgaste de las válvulas de control y del accionamiento neumático. [9]

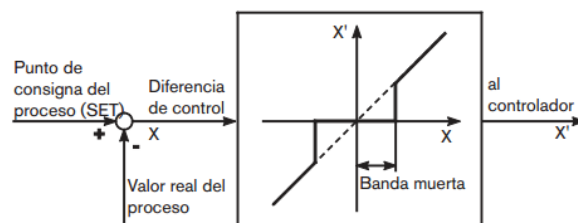


Figura 3.16 Ajuste de la banda muerta del controlador Burkert 8611[9].

3.2.5 Válvulas Burkert 2000 y 2100 de asiento inclinado de 2/2 vías



Figura 3.17 Válvulas Burkert 2000 y 2100 de asiento inclinado [11].

Las válvulas de asiento inclinado 2000 (ver figura 3.17 a) están diseñadas para altos caudales volumétricos y con la característica de que solo poseen dos posiciones (abierta o cerrada). Posee pilotaje externo que se acciona por medio de actuador de pistón de simple o doble efecto. Se puede combinar con el indicador de posición 1062 [9].



Figura 3.18 Indicador de posición 1062 [13].

La función principal del indicador de posición es mostrar el estado de la válvula mediante un diodo emisor de luz (LED). Dentro de la carcasa se encuentran dos interruptores que generan la señal de salida normalmente abierta (PNP), la cual indica la posición del actuador. Al igual que la válvula 2000, la 2100 (figura 3.17 b) es del tipo todo/nada, es decir, solo se puede utilizar en posición abierta o cerrada. El material del dispositivo es acero inoxidable y se utiliza para medios con temperaturas de hasta 180 °C. Su diseño permite la integración con diversos módulos de automatización, además de sensores de posición eléctricos y ópticos [12].

3.2.6 Electroválvula servoasistida Burkert 5281.



Figura 3.19 Electroválvula Burkert 5281 [14].

Este tipo de válvulas utilizan un solenoide de émbolo como válvula de pilotaje. La válvula principal se abre y se cierra por la acción de una membrana, por esta razón el cierre se realiza tanto mediante la fuerza del muelle de compresión como por la presión del medio. En decir, la presión del medio se acumula por encima de la membrana pasando a través de un puerto limitador o a través de un conducto de derivación y con esto se produce el cierre de la membrana [14].

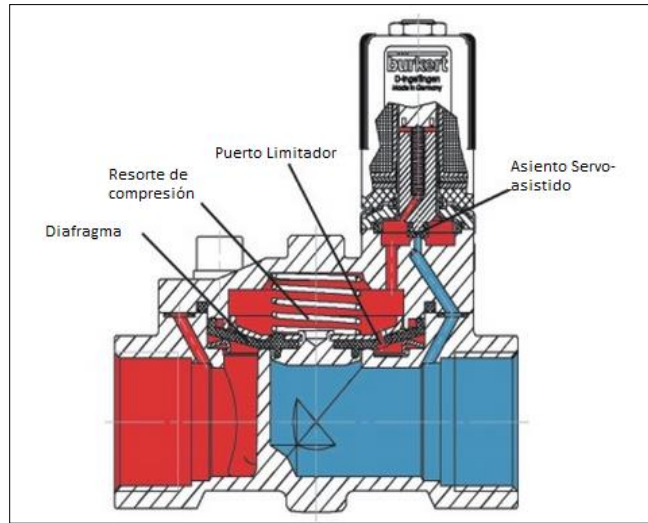


Figura 3.20 Estructura interna de la electroválvula servoasistida Burkert 5281[15].

Entre las ventajas que se obtienen con este tipo de electroválvulas se encuentran las siguientes [15]:

- Construcción mecánica económica.
- Menor consumo de energía eléctrica.
- Buena amortiguación del ariete de cierre.
- Requiere un bajo diferencial de presión.
- Utilizable en el control de medios líquidos y gaseosos.

3.2.7 Electroválvula Burkert 6213



Figura 3.21 Electroválvula Burkert 6213 [16].

La electroválvula de este tipo es 2/2 vías y normalmente cerrada, con un sistema de membrana con acoplamiento forzado como el que se ha descrito anteriormente. Posee la característica de que la apertura puede darse a partir de 0 bar, por lo que no necesita presión previa para cambiar de estado cerrado a abierto.

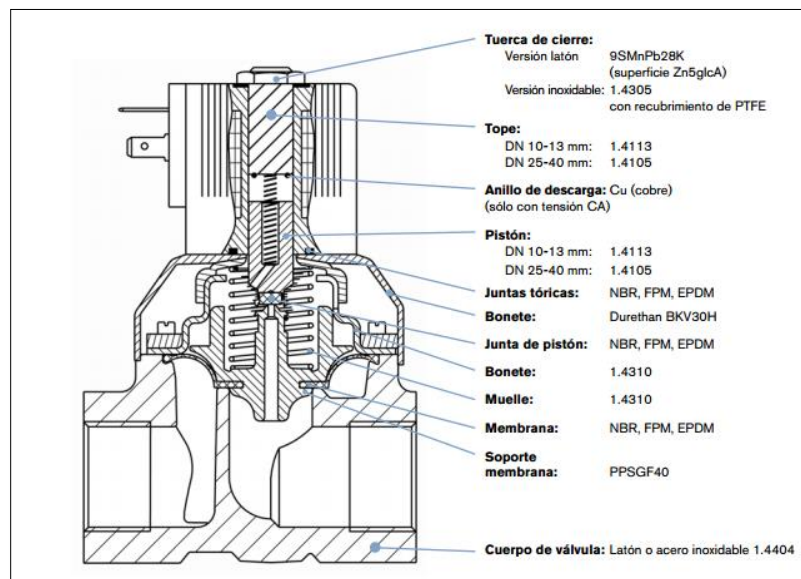


Figura 3.22 Estructura interna de la electroválvula Burkert 6213 [16].

Los sistemas de accionamiento y la construcción mecánica de los dispositivos pueden variar entre uno y otro, pero el principio de accionamiento se conserva, ya que los elementos fundamentales de un actuador son los mismos. Se cuenta con un electroimán, "solenoides" o "bobina electromagnética". Una vez que se hace circular una corriente eléctrica a través de un conductor eléctrico, se produce un campo magnético que atrae el pistón, con lo que la membrana se libera y se produce la apertura de la válvula.

3.2.8 Detector de nivel vibratorio Burkert 8110



Figura 3.23 Detector de nivel vibratorio 8110 [17].

Este dispositivo es un sensor con horquilla vibratoria utilizado en la detección de nivel alto o bajo. Su diseño es especial para procesos industriales en diferentes ramas de la ingeniería, donde se necesita protección contra el rebose de material en un contenedores o bien para procesos en donde el suministro de un fluido o materia prima debe de ser constante [17].

El detector de nivel puede trabajar bajo condiciones difíciles de medición [17]:

- Turbulencias.
- Burbujas de aire.
- Formación de espuma.
- Incrustaciones.
- Fuertes vibraciones ajenas.
- Productos variables.

Este módulo electrónico realiza un control continuo mediante la evaluación de frecuencia, en donde se toman en cuenta los siguientes factores:

- Corrosión o deterioro fuerte de la horquilla vibratoria.
- Falta de vibraciones.
- Rotura de la línea de accionamiento.

En el caso que se presente alguna de las situaciones anteriormente citadas o bien una interrupción de funcionamiento o falla de suministro de tensión, entonces el sistema procede a emitir una señal equivalente a la apertura del interruptor (Estado Seguro). Una vez que el detector de nivel entra en funcionamiento la horquilla oscila a una frecuencia mecánica de resonancia de aproximadamente 1200 Hz. Si la horquilla se cubre de producto, ocurre un cambio en la frecuencia el cual es captado por el módulo electrónico integrado y convertido en una instrucción o señal para el control. Un detalle importante que se debe tomar en cuenta es la conexión eléctrica del dispositivo tal y como se muestra en la siguiente imagen [17].

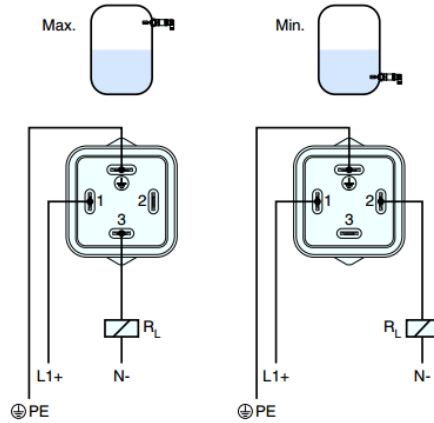




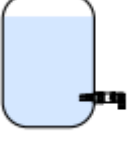
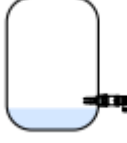
Figura 3.24 Conexión eléctrica del detector de nivel vibratorio [17].

En donde “PE” es la puesta a tierra del sistema y “ R_L ” es la resistencia de carga o protección. El sensor no se puede poner en funcionamiento sin la resistencia de carga, ya que el módulo electrónico se daña en caso de conexión directa a la red. Los siguientes son ejemplos de carga para aplicaciones típicas [17].

- Resistencia de carga para 24 V DC: desde 88 Ω hasta 1800 Ω .
- Potencia nominal, Relé 253 V AC: > 2,5 VA.
- Potencia nominal, Relé 24 V AC: > 0,5 VA.

En la siguiente tabla se resumen los estados de conmutación en función del modo de operación ajustados y el nivel.

Tabla 3.3. Modos de operación y estado de conmutación de los dispositivos detectores de nivel Burkert 8110.

	Nivel	Estado de conmutación	LED de control
Modo de operación máx.		Interruptor cerrado	Verde
Modo de operación máx.		Interruptor abierto	Rojo
Modo de operación min.		Interruptor cerrado	Verde
Modo de operación min		Interruptor abierto	Rojo
Fallo	a voluntad	Interruptor abierto	Rojo intermitente

La tabla muestra el color de LED que se enciende según la configuración deseada y la ubicación del sensor en el contenedor del material.

3.3 Descripción de los principios electrónicos

3.3.1 Controlador Lógico Programable CEC-CPX de Festo

Un PLC o controlador lógico programable es un dispositivo electrónico dedicado a “gobernar” procesos lógicos secuenciales. Se compone de las siguientes partes [19]:

- CPU o Unidad de Proceso Lógico (Microprocesador o Microcontrolador)
- Memoria
- Procesador de comunicaciones
- Entradas y salidas (analógicas y digitales)
- Módulos inteligentes

Por lo general la unidad de control está constituida por un generador de pulsos, un contador síncrono, una memoria de acceso aleatorio no volátil y un circuito combinatorial que genera las señales de control.

El controlador lógico programable CEC-CPX, funciona como bloque de mando para sistemas de control moderno compuesto por terminales CPX. Utilizando programación CoDeSys según la norma IEC 61131-3 [20].

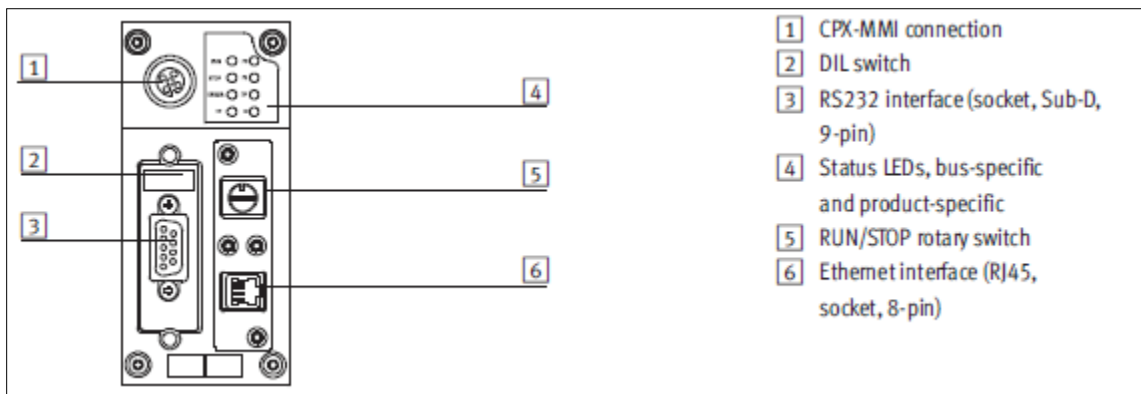


Figura 3.25 Módulo de mando CPX-CEC [20].

El bloque de mando cuenta con una conexión CPX-MMI específica para los dispositivos MMI, los cuales se utilizan para realizar pruebas y diagnósticos en los diferentes bloques que se pueden agregar al sistema.

El interruptor DIL permite conectar y desconectar la terminación del bus CAN (Controller Area Network). Se cuenta con una interface serie (RS232) para la comunicación con periféricos como los dispositivos de interfaz humana (HMI). También posee un conmutador giratorio Run/Stop con el que se controla el modo de operación del dispositivo. Por último se cuenta con una interfaz Ethernet para su programación y transmisión de datos. El bloque de mando se integra con los módulos de entrada y salida tanto analógicos como digitales. Las señales con las que trabajan estos dispositivos se pueden observar en la siguiente tabla.

Tabla 3.4 Magnitudes de las señales digitales y analógicas utilizadas en el PLC CPX-CEC.

Tipo de señal	Magnitud
Analógica	Señales estándar : 0 V a 10 V 0 mA a 4 mA 4mA a 20mA
Digital	24V DC

3.3.2 Dispositivo de interfaz-humana FED-50



Figura 3.26 Unidad de control FED-50

Los dispositivos de interfaz humana o HMI por sus siglas en ingles son utilizados en los sistemas de control automático como medio de interacción entre el usuario y el proceso. La unidad FED-50 de FESTO cumple con este mismo propósito, puede comunicarse mediante el puerto serie con la unidad de mando y posee cuatro teclas programables para funciones y siete dedicadas al sistema. La visualización de los datos se puede programar en el display LCD monocromático de 4x20 caracteres.

La programación del dispositivo se realiza por medio del software FED-Designer 6, el cual permite asignar variables del PLC a bloques de texto o numéricos en la pantalla. En la figura 3.27 se puede observar un sistema general de control industrial en donde se trabaja con los tipos de señales antes citadas.

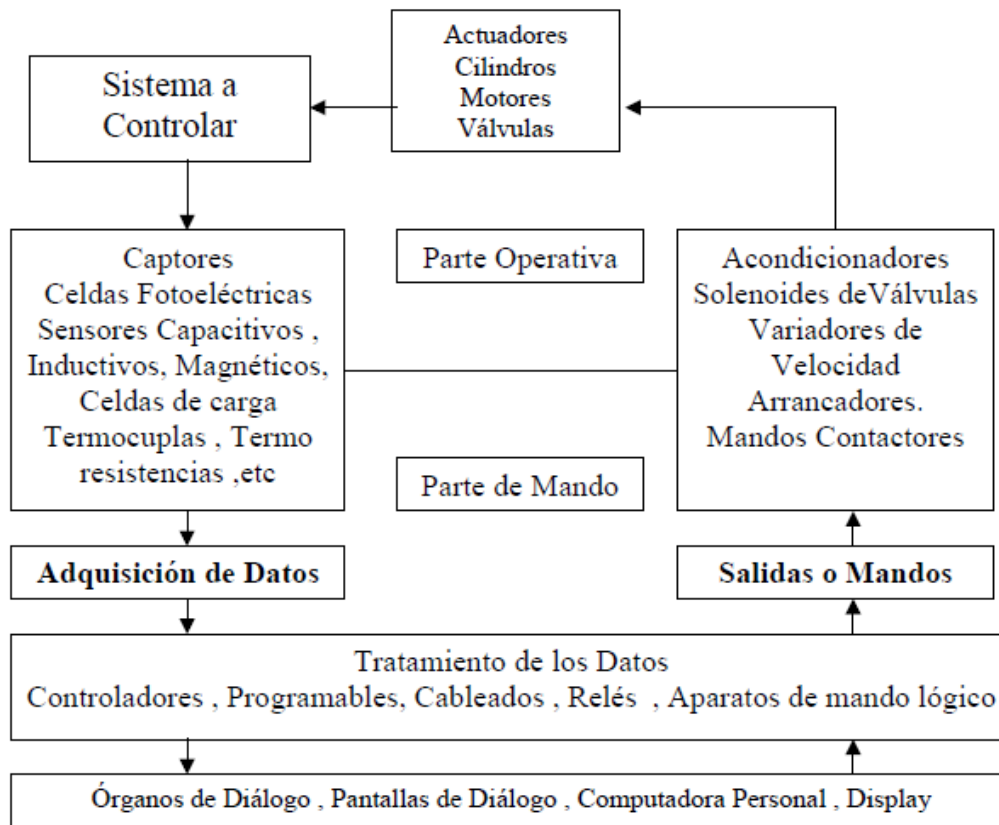


Figura 3.27 Esquema general de un sistema de control industrial [21].

3.3.3 Tipos de señales

Con la información vista en los apartados anteriores se puede realizar la integración de cada uno de los dispositivos al sistema para así determinar las entradas y salidas a manipular en el PLC.

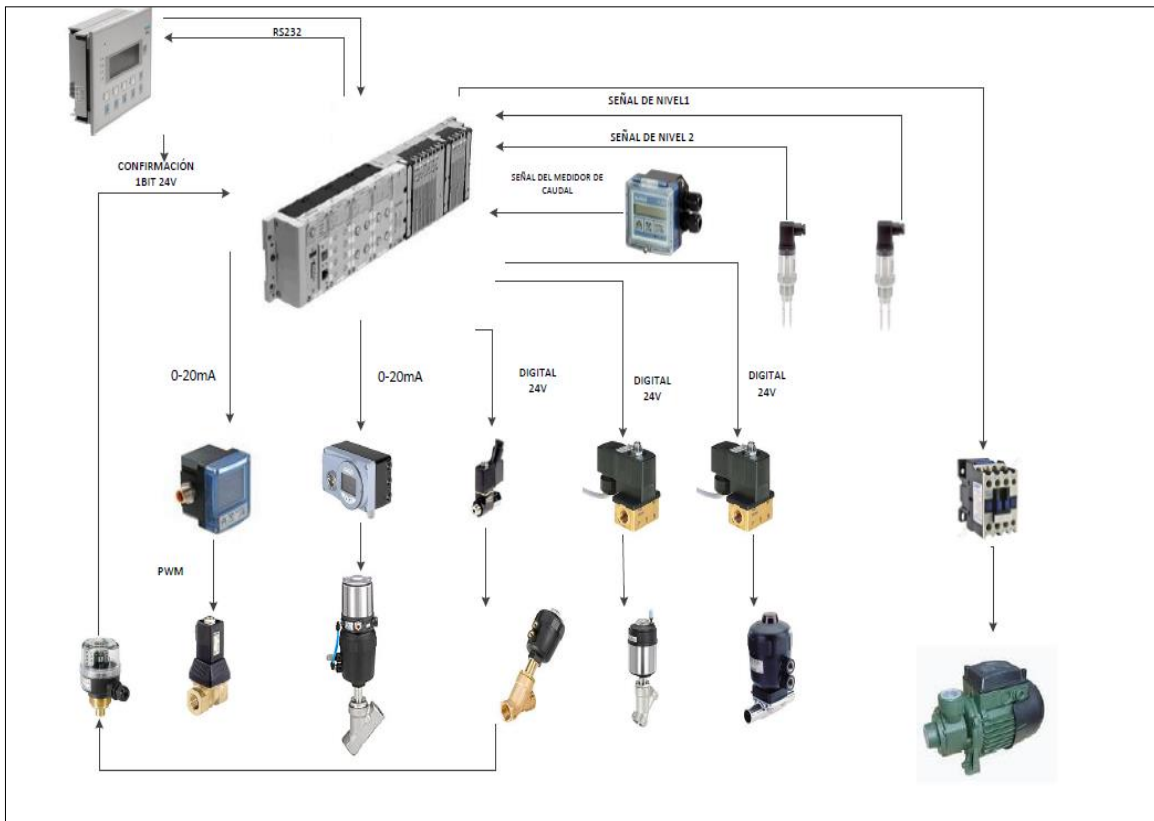


Figura 3.28 Sistema de control utilizando los dispositivos Burkert.

Como se mencionó anteriormente las señales analógicas que se deben manipular actúan bajo un estándar de automatización industrial en el cual se les asigna un valor mínimo de 0 mA ó 4mA y se extiende hasta 20 mA, o bien manipulando la misma señal con valores de 0 V a 10V. Por su lado las señales digitales poseen una magnitud de 24V DC. En la siguiente tabla se puede observar la asignación de señales para el manejo de cada dispositivo.

Tabla 3.5. Señales analógicas y digitales del sistema.

Dispositivo Burkert	Tipo de señal
Detector de nivel 8110	Digital 24 V
Electroválvula proporcional 2702	Analógica 0 a 20 mA
Controlador 8611	Analógica 0 a 20 mA
Electroválvula 6213	Digital 24 V
Retroalimentación de posición 1062	Digital 24V

En el diseño a lazo cerrado se debe tener en cuenta que en el sistema a lazo cerrado la salida tiene un efecto directo en la retroalimentación del sistema dando paso a la señal de error.

Se presenta además una estructura básica para el manejo de las señales, ya que al ser un dispositivo digital de control debe existir la presencia de convertidores analógicos/digitales. Los valores analógicos, tales como, temperatura, presión, nivel, caudal, velocidad y posición presentan un conjunto continuo de valores en el tiempo los cuales se discretizan convirtiendo la entrada analógica en datos binarios de “ n bits” para facilitar el estudio, almacenaje y visualización [20].

3.3.4 Sistema normalizado IEC 1131-3 de programación de autómatas programables

El estándar de programación IEC 1131-3 es propuesto por la comisión electrotécnica internacional (International Electrotechnical Commission), en respuesta a incremento en la complejidad de los sistemas de control industriales y la gran diversidad de autómatas programables incompatibles entre sí. Se proponen dos tipos de lenguajes [22]

- Literales
- Gráficos

Las instrucciones del tipo literal están formadas por letras, números y símbolos especiales. Dentro de este tipo de lenguajes se encuentran

- Lista de instrucciones (IL)
- Texto estructurado (ST).

Por su parte el lenguaje gráfico se representa por medio de figuras geométricas como lo son:

- Esquema de contactos o escalera (LD).
- Diagrama de funciones (FBD).
- Diagrama funcional de secuencias (SFC).

Cada uno de estos lenguajes está compuesto por diferentes tipos de datos que se mencionan en la siguiente tabla [21].

Tabla 3.6. Principales tipos de datos de la norma IEC 1131-3.

NOMBRE	BITS	EJEMPLO	DESCRIPCIÓN
BOOL	1	FALSE o TRUE	Variable binaria o lógica (Boolean)
INT	16	-32768...32767	Número entero con signo (Integer)
UINT	16	0...65535	Número entero sin signo
REAL	32	0.4560	Número real
BYTE	8	0...255	Conjunto de 8 bits (Byte)
WORD	16	0...65535	Conjunto de 16 bits (Word)
DWORD	32	0...2 ³² - 1	Conjunto de 32 bits (Double Word)
TIME		T#5d4h2m38s3.5ms	Duración
DATE		D#2002-01-01	Fecha
TIME_OF_DELAY		TOD#15:35:08.36	Hora del día
DATE_AND_TIME		DT#2002-01-01- 15:35:08.36	Fecha y hora
STRING		"AUTOMATA"	Cadena de caracteres

Un punto a tomar en cuenta en la programación de los PLC es la agrupación de instrucciones de un proceso específico en subprogramas, esto con el fin de organizar las instrucciones que deben ejecutarse varias veces a lo largo del programa y subdividir el programa en partes para facilidad de manejo.

La utilización de los bloques funcionales hace más fácil la organización en subprogramas. Un bloque funcional (FB), contiene un algoritmo que puede ser utilizado en diversos sistemas de control y constituye una unidad de organización

del programa. Realizan una función definida y normalizada, como un biestable o una función definida por el usuario.

Algunos de estos bloques poseen instrucciones de selección ya definidas, estas seleccionan una determinada variable para utilizarla como operando, como por ejemplo LD y ST. La función Load (LD) se utiliza para seleccionar la primera variable que forma parte de una secuencia de instrucciones y la almacena en memoria. Luego la función store (ST) transfiere el contenido del acumulador a la variable de salida (externa o interna) especificada en la instrucción. Los bloques utilizados en el programa pueden contener funciones lógicas básicas como AND, OR o NOR. De esta manera se pueden aplicar los conceptos generales de diseño digital para el desarrollo del sistema de control [22].

3.3.5 Clasificación de los sistemas de control de procesos según su algoritmo de control

El algoritmo de control es el encargado de obtener las señales que se aplican al proceso controlado a partir de las señales externas de entrada y de las señales de salida que se generen. Se pueden clasificar los algoritmos en lineales y no lineales. Los sistemas de control lineal, denominados también controladores o reguladores lineales, se caracterizan por la utilización de operaciones lineales (resta, multiplicación por una constante, suma). Por su lado los sistemas no lineales se aplican para ocasiones en donde no es necesario controlar el valor de una variable con gran precisión [22].

4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

En el siguiente capítulo se describen los pasos necesarios para determinar la solución del problema, desde la identificación del mismo hasta el planteamiento y diseño del sistema de control.

4.1 Reconocimiento y definición del problema

La implementación de los sistemas de control y automatización en la industria es cada día más común. Con esto se diseñan dispositivos capaces de manejar procesos en los cuales los sistemas de automatización y control son necesarios.

Muchos de estos sistemas poseen dispositivos reguladores y medidores de caudal, electroválvulas y detectores de nivel. PYASA es una empresa que tiene como objetivo el desarrollo de proyectos a nivel industrial para los cuales es necesaria la utilización de los dispositivos antes mencionados. En síntesis se desea contar con un banco de pruebas que permita a la empresa calibrar y verificar el funcionamiento de los dispositivos medidores de caudal por medio de un sistema de control.

4.2 Obtención y análisis de la información

La información utilizada en la investigación fue obtenida de manuales de usuario disponibles en Internet, referencias bibliográficas, y hojas de datos de los dispositivos utilizados. El sitio Web de Burkert (www.burkert.es) brinda información detallada de cada uno de los dispositivos, por lo que la información es brindada por el fabricante. Por otro lado se hizo uso de la opción “ayuda” que provee el software codesys y FED-desing, en donde se detallan aspectos de programación y configuración importantes que no se respaldan en literatura.

En cuanto a las conexiones eléctricas del PLC, fue necesario consultar el manual de usuario del controlador y las hojas de datos del mismo. Por otro lado en la literatura utilizada se hizo esencial la investigación de bibliografías que documentaran información de sistemas de control y automatización.

4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de la solución

Como punto de partida se procede a investigar el funcionamiento tanto lógico como mecánico de los dispositivos utilizados en el banco de pruebas, con el fin de conocer la manera más adecuada de utilizarlos y no incurrir en gastos innecesarios para la empresa. Para ello se hizo uso de las hojas de datos que se encuentran fácilmente en la web que son proporcionados por los fabricantes.

Se realizó el estudio de las señales y protocolos. Además de la manera en que el PLC debe llegar a interpretar dichas señales. Se diseñó el control del sistema de manera que se pueda incorporar mediante el PLC. En el proceso de diseño se estudiaron las diferentes alternativas que ayudarían en la resolución de proyecto y en el cumplimiento de los objetivos definidos para el proyecto. La ayuda de la investigación bibliográfica ayudó a aclarar los aspectos más importantes para el manejo de cada uno de los dispositivos que componen el banco de pruebas, manejo del PLC, lenguajes de programación y manipulación de las herramientas Codesys 2.3 y FED designer 6.

Al implementar y verificar la funcionalidad de las diferentes rutinas para el manejo de los dispositivos del banco de pruebas se comprobó la efectividad del sistema de control. La programación siempre estuvo orientada de manera modular dado que se desea que al sistema se le puedan incorporar futuras rutinas o modificar el programa del controlador.

4.4 Reevaluación y rediseño

En caso de querer modificar o agregar más dispositivos al banco de pruebas se sugiere un rediseño del programa en el dispositivo lógico programable y en la pantalla HMI. Se le agregaría mayor valor al proyecto con una mayor cantidad de dispositivos y variando la velocidad del sistema en forma automática. De igual manera se puede integrar un dispositivo HMI más acorde con las tecnologías actuales, con características touch y manejable por medio de dirección IP.

5 DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

En el siguiente capítulo se procederá a explicar ampliamente cada uno de los aspectos importantes involucrados en el desarrollo de la solución del problema planteado.

5.1 Criterios de selección para las válvulas del sistema

En el diseño del sistema se seleccionaron diferentes tipos de válvulas para lo cual se aplicaron los siguientes criterios de selección:

- Necesidad de la empresa
- Características del líquido contenido en los tanques (agua)
- Capacidad de corriente y voltaje de las diferentes salidas del PLC

A solicitud de la empresa se decidió con válvulas proporcionales como la 2702 y con electroválvulas de dos posiciones como la 2000, con el fin de modificar la cantidad de flujo que llegar al medidor. Además se requería que el sistema contara con dispositivos de la marca Burkert, la cual es comercializada por la compañía.

Otro aspecto a tomar en cuenta son las características del líquido que se desea trasegar en el sistema (agua). Se decidió usar válvulas construidas con cobre para que el sistema tenga una vida útil larga.

Entre los tres criterios el de más peso es la capacidad de voltaje y corriente de salida del PLC.

Esto puesto que las bobinas de las electroválvulas y los dispositivos controladores de las válvulas proporcionales reciben la alimentación de las salidas del PLC. Las bobinas de cada una de las válvulas consumen una corriente 300mA y 24V. Según las hojas de datos del PLC las salidas tanto analógicas como digitales tienen una capacidad de corriente de 1 A, por lo que se pueden conectar sin ningún problema.

Cada uno de los dispositivos utilizados en el sistema tiene la función principal de ser utilizado en la capacitación de clientes y empleados. Con lo anterior se escogieron los componentes a los cuales se les pudiera sacar el máximo provecho para el estudio del equipo.

5.2 Descripción de software

5.2.1 Programación PLC Festo CEC-CPX

Para implementar la programación del PLC se eligieron dos tipos de lenguaje de los citados en la sección 3.3.4.

- Texto estructurado (ST)
- Esquema de contactos o escalera (LD)

Todos los lenguajes citados en el marco teórico facilitan la labor de programación al usuario y ninguno presenta una ventaja significativa sobre otro. La elección del lenguaje de programación se hizo en base a la experiencia y conocimientos previos. Con lo anterior la razón de fondo para la elección del lenguaje en texto estructurado es que posee similitudes con la programación en C++, y ofrece instrucciones que se pueden ejecutar de manera condicionada (if, while, case).

Por otro lado se seleccionó el lenguaje de esquema de contactos o escalera por dos razones básicas

- Facilidad en la interconexión de bloques
- Permite la constante evaluación de los cambios de entradas y salidas del PLC.

Una vez seleccionado el lenguaje es necesario la correcta identificación de las salidas y entradas del sistema, es decir, la función de cada uno de los dispositivos del banco de pruebas y de las características que poseen. Con lo anterior se desea tener claro la manera en la que el PLC puede controlar por medio de rutinas cada uno de los dispositivos.

Tabla 5.1 Asignación de las direcciones de memoria para las señales.

<i>Dirección de memoria</i>	<i>TIPO</i>	<i>SIMBOLO</i>	<i>SEÑAL</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>
AT%IX6.0	BIT	SN1	DIGITAL	SENSOR DE NIVEL 1
AT%IX6.1	BIT	SN2	DIGITAL	SENSOR DE NIVEL 2
AT%IX6.1	BIT	AP	DIGITAL	RETROALIMENTACIÓN DE POSICIÓN DEL DISPOSITIVO 1062
AT%QWO	UINT	VALV1	ANÁLOGICA	ELECTROVÁLVULA 2702
AT%QW1	UINT	VALV2	ANÁLOGICA	ELECTROVÁLVULA 6223
AT%QX2.0	BOOL	MOTOR	DIGITAL	SEÑAL DE ACCIONAMIENTO PARA EL MOTOR
AT%QX2.1	BOOL	VALV3	DIGITAL	SEÑAL DE ACCIONAMIENTO ELECTROVÁLVULA
AT%QX2.2	BOOL	VALV4	DIGITAL	VÁLVULA 2000 Y 2100
AT%QX2.3	BOOL	VALV5	DIGITAL	VÁLVULA DIAFRAGMA

Para cada señal se debe asignar una posición de memoria en el controlador, La letra “I” en la dirección de memoria representa la asignación para las entradas y la letra “Q” la asignación para las salidas, de esta manera se logra la comunicación entre los dispositivos periféricos y el PLC. De igual manera en la tercera columna se indica el nombre asignado para cada señal. Con base en las señales asignadas anteriormente se procede a diseñar la secuencia de control para el PLC como se muestra en la siguiente figura.

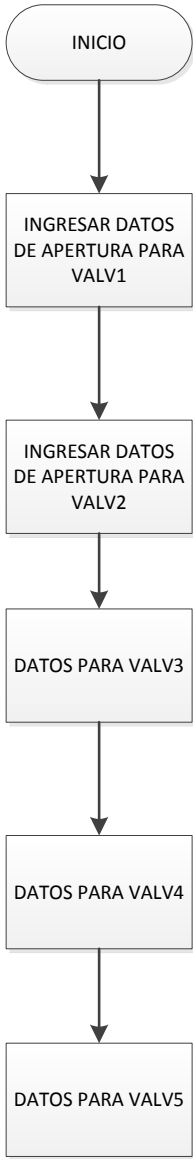


Figura 5.1 Secuencia para el ingreso de datos en pantalla.

Lo primero es definir la secuencia en la cual se ingresan los datos de apertura de cada una de las electroválvulas en la pantalla LCD. Una vez que todos los datos están listos e ingresados se le debe dar una señal de “INICIO” al sistema de manera que se comience con el proceso requerido.

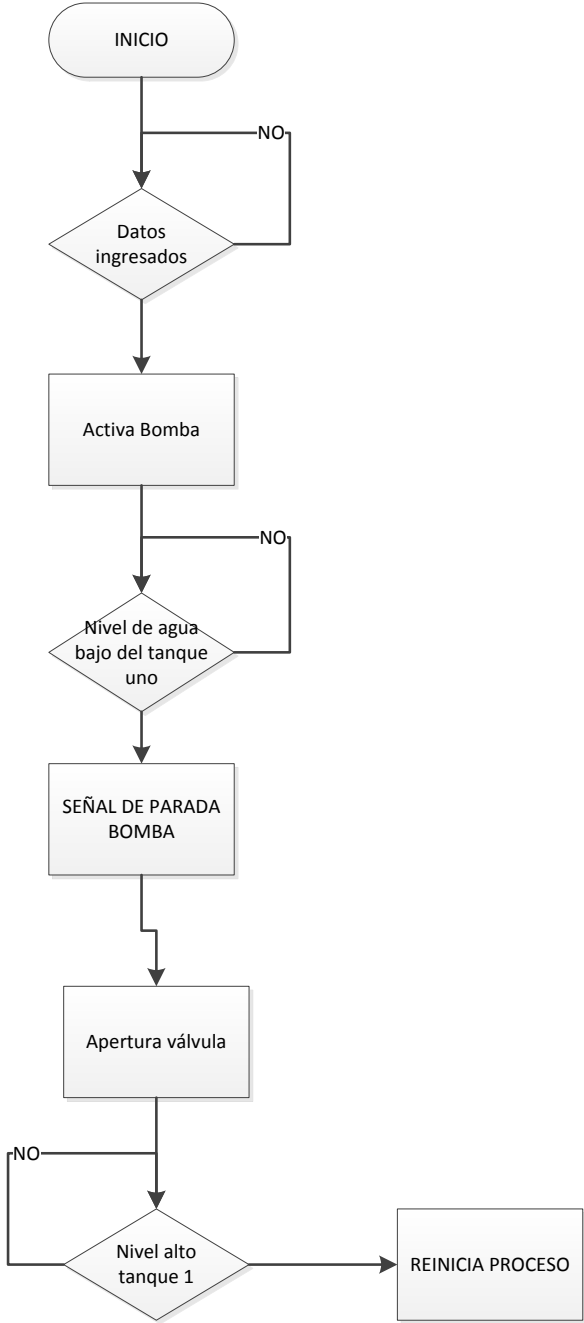


Figura 5.2 Secuencia del proceso.

Una vez que se tienen los datos listos entonces se activa el proceso. De tal forma que la bomba entra en funcionamiento y se evalúa constantemente que el nivel del tanque 1 no sea bajo. Una vez que se detecta que el nivel del tanque uno es bajo entonces es necesario desactivar el proceso hasta que la señal de nivel indique que ya se recuperó el nivel de líquido en el tanque1.

5.2.2 Configuración de la pantalla FED-50

Para la programación del dispositivo HMI (FED-50) se utiliza la herramienta de software FED-designer. Dentro del programa se debe configurar el controlador con el protocolo de comunicación adecuado para el intercambio de datos entre el controlador y el HMI.

Para este proyecto se selecciona el protocolo CoDesys, que es el que permite la comunicación por medio del puerto serie

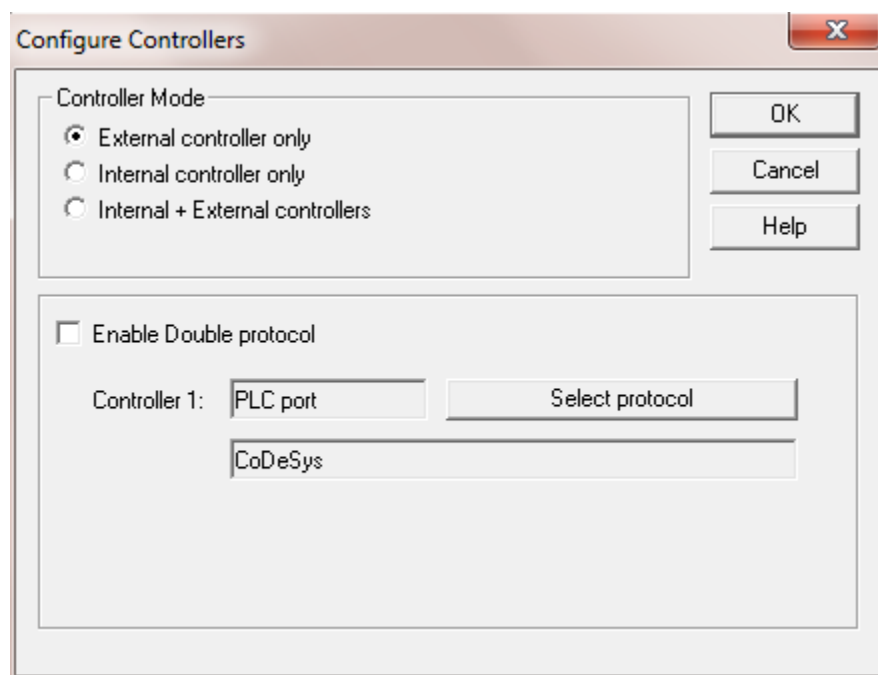


Figura 5.3 Configuración del controlador

La opción *external controller only* permite configurar la pantalla de manera que el PLC sea la unidad central del proceso. Una vez seleccionada esta opción se puede configurar el protocolo seleccionando la opción “Select protocol”.

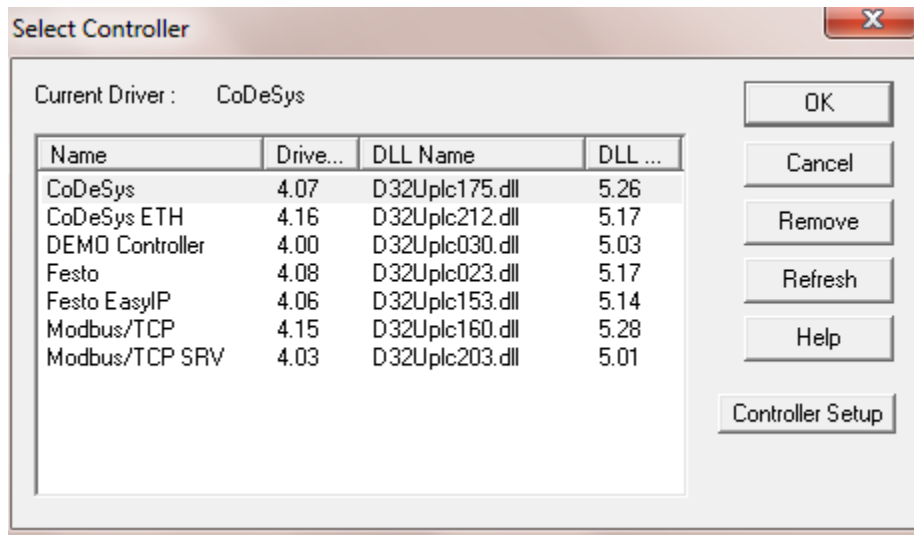


Figura 5.4 Selección del protocolo de comunicación PLC-HMI.

Así mismo se deben configurar las características de transmisión de datos del protocolo de manera tal que no se generen errores de comunicación entre el PLC y el dispositivo de control.

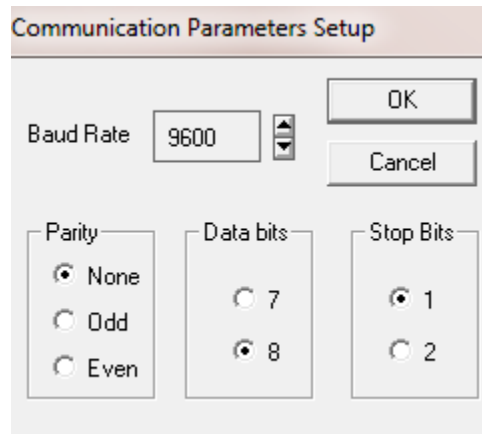


Figura 5.5 Parámetros de comunicación para la comunicación RS232.

Para configurar los parámetros de comunicación se selecciona un Baud Rate de 9600 baudios, 8 bits para la transmisión de datos, sin paridad y un bit de parada. Esa misma configuración se debe realizar en el controlador, de tal manera que no se generen errores por diferencia de velocidades de transmisión.

En el programa del PLC se crea una base de datos “tag” que permite asignar las variables utilizadas a botones u opciones que se asignen a una función de la pantalla. El software posee la opción de configurar esas bases de datos.

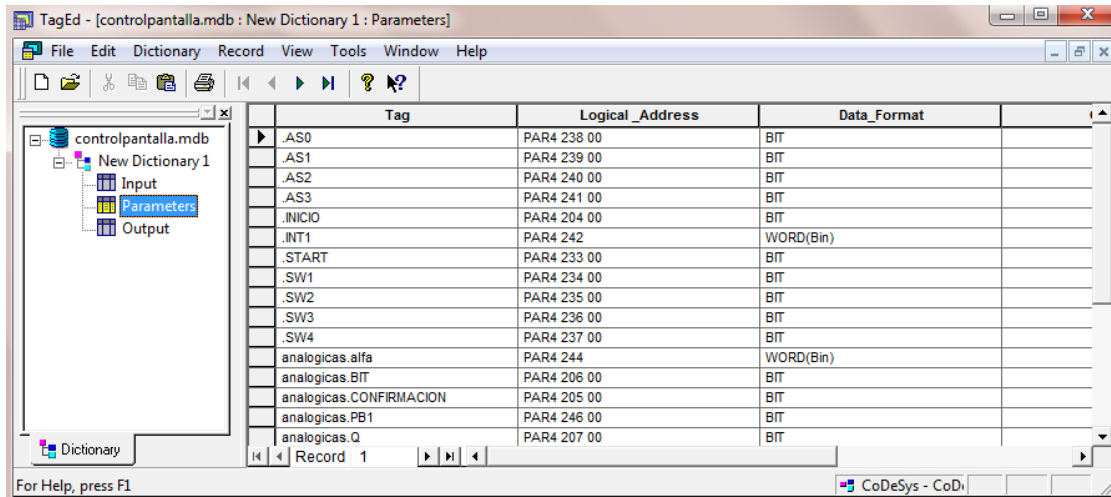


Figura 5.6 Editor para las bases de datos de la pantalla.

El editor de código clasifica las variables del programa en entradas, que son las señales que brindan información externa al PLC, las salidas son las señales que se envían al sistema, y por último los parámetros son las señales que se utilizan internamente en la programación del dispositivo.

6 Análisis de los resultados

6.1 Resultados

En este capítulo se mostrarán los resultados obtenidos de la investigación e implementación de los diferentes dispositivos citados en el marco teórico, tanto en aspectos de programación, como de respuesta de los mismos a las señales enviadas desde el PLC.

6.1.1 Programación del PLC

Para la programación del PLC se asignaron las variables de entrada y de salida del sistema, y se procedió al diseño de las rutinas que permitieran el manejo y control del sistema. Se requería que cada componente del sistema se pudiera controlar desde la pantalla, y fuera capaz de generar señales de control provenientes de los detectores de nivel.

Antes de la creación de las subrutinas fue necesario declarar adecuadamente las variables del sistema entre globales y locales. Las variables locales son las que se usan para una subrutina o subprograma en específico, en cambio las variables globales se pueden utilizar para más de un subprograma.

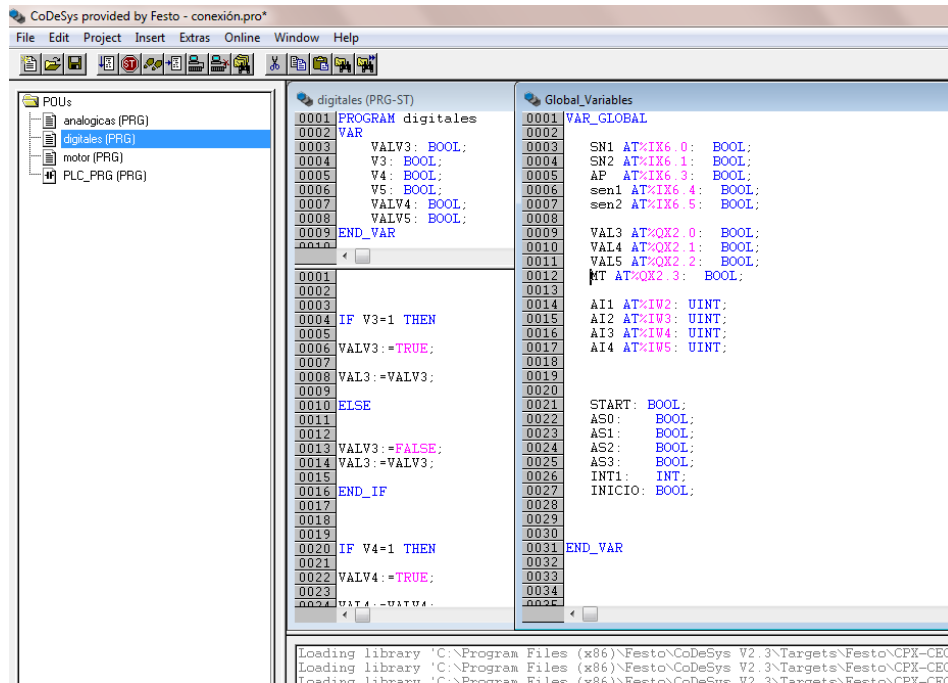


Figura 6.1 Declaración de las variables locales y globales.

Se utilizaron dos bloques o subprogramas, uno encargado del manejo de las señales digitales y el otro encargado del manejo de las señales analógicas. Mismas que se exportan por medio del editor de bases de datos a la pantalla para poder manipularlas.

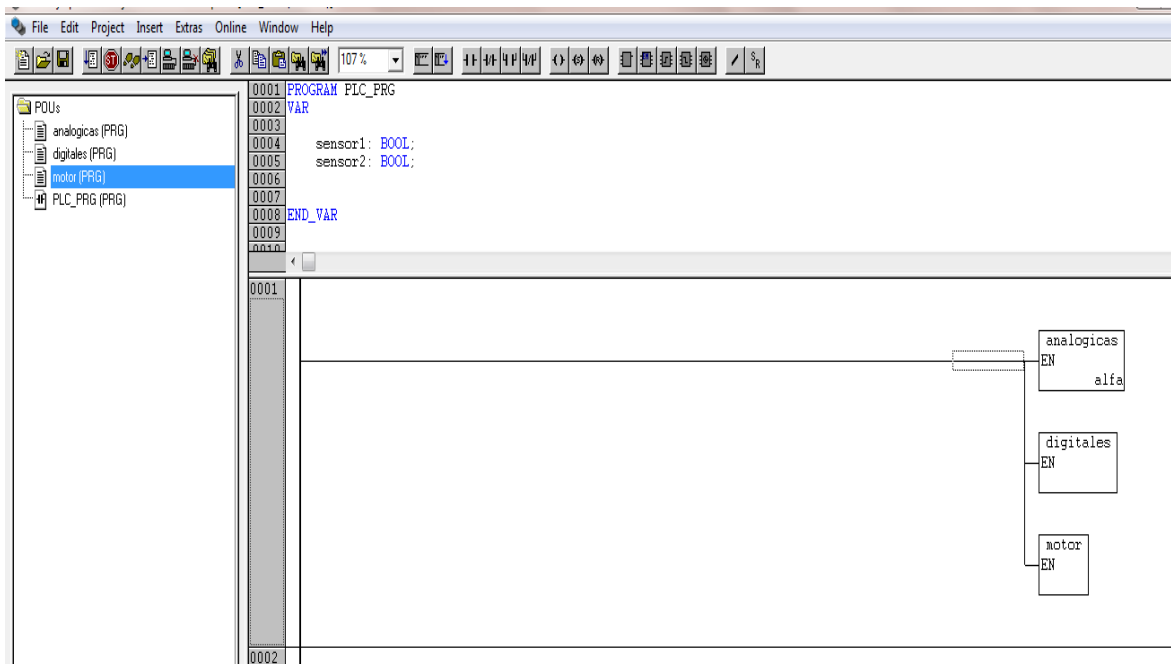


Figura 6.2 Creación de subprogramas.

Cada subprograma se diseñó con variables internas que ayudaron a la programación de las rutinas y se ajustaron los valores de escala para las señales de salida.

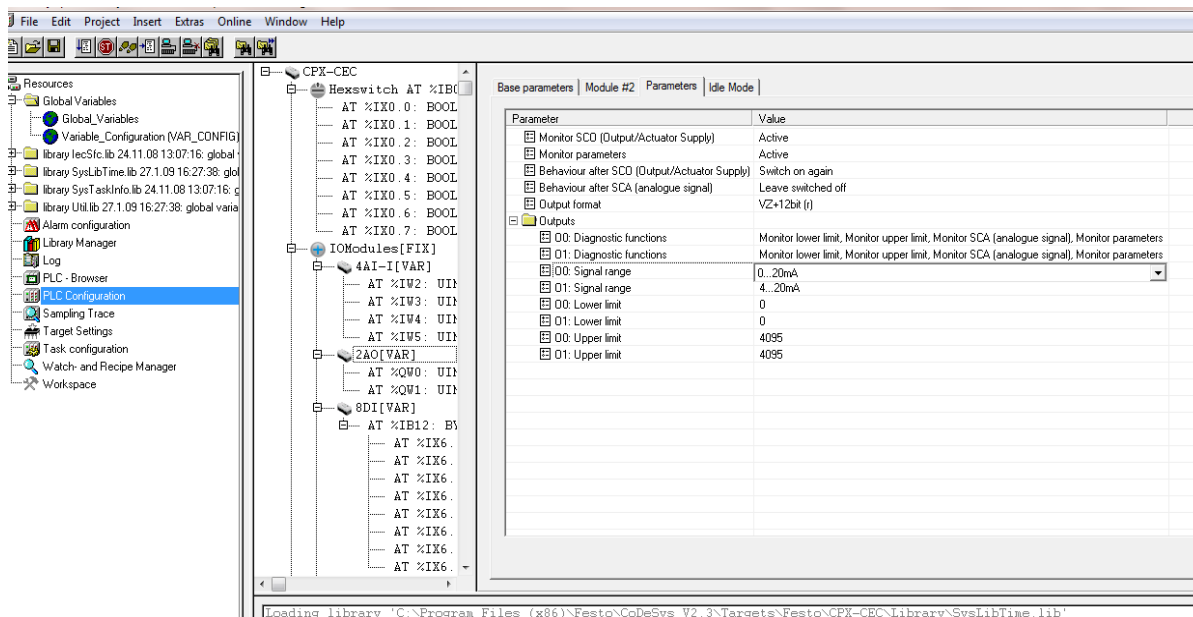


Figura 6.3 Ajuste de escala de las señales analógicas.

Por su lado el control del sistema para las válvulas proporcionales se genera utilizando señales estándar de 0 a 20 mA y de 4 a 20mA para la válvulas 2702 y 6223 respectivamente.

```

0006 VALV2 AT:OH1: UINT;
0007 VALVU1:WORD;
0008 VALVU2:WORD;
0009 VALVULA: BOOL;
0010 VALVULA2: BOOL;
0011 PROPORCIONAL2: UINT;
0012 PROPORCIONAL1: UINT;
0013 END_VAR
0001
0002 IF VALVULA=1 THEN
0003
0004 PROPORCIONAL1:=1;
0005
0006 ELSE
0007
0008 PROPORCIONAL1:=2;
0009
0010 END_IF
0011
0012 IF VALVULA2=1 THEN
0013
0014 PROPORCIONAL2:=1;
0015
0016 ELSE
0017
0018 PROPORCIONAL2:=2;
0019
0020 END_IF
0021
0022 CASE PROPORCIONAL1 OF
0023
0024 1: VALV1 := (VALVU1*4095)/100;
0025 2: VALV1 := VALV1;
0026
0027 END_CASE
0028
0029
0030
0031

```

Figura 6.4 Programación de las señales analógicas.

El subprograma para la activación o desactivación de las señales digitales toma un valor de 1 o 0 recibido desde la pantalla y envía la señal de 0 o 24V a la válvula ON/OFF deseada.

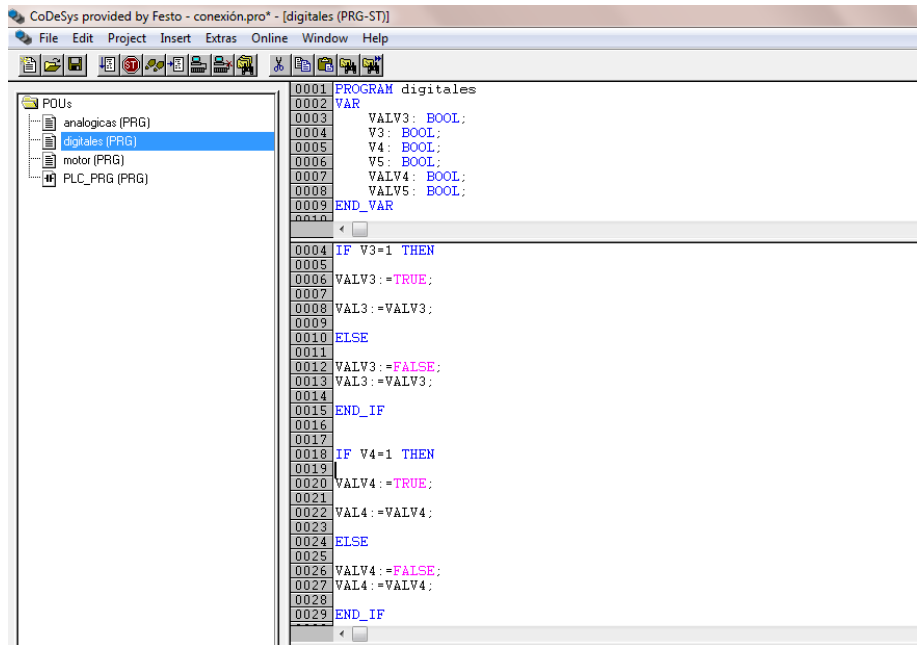


Figura 6.5 Activación de las señales digitales.

Para poder enviar los datos a la pantalla se debe configurar el protocolo y la velocidad de transmisión de datos como se muestra a continuación.

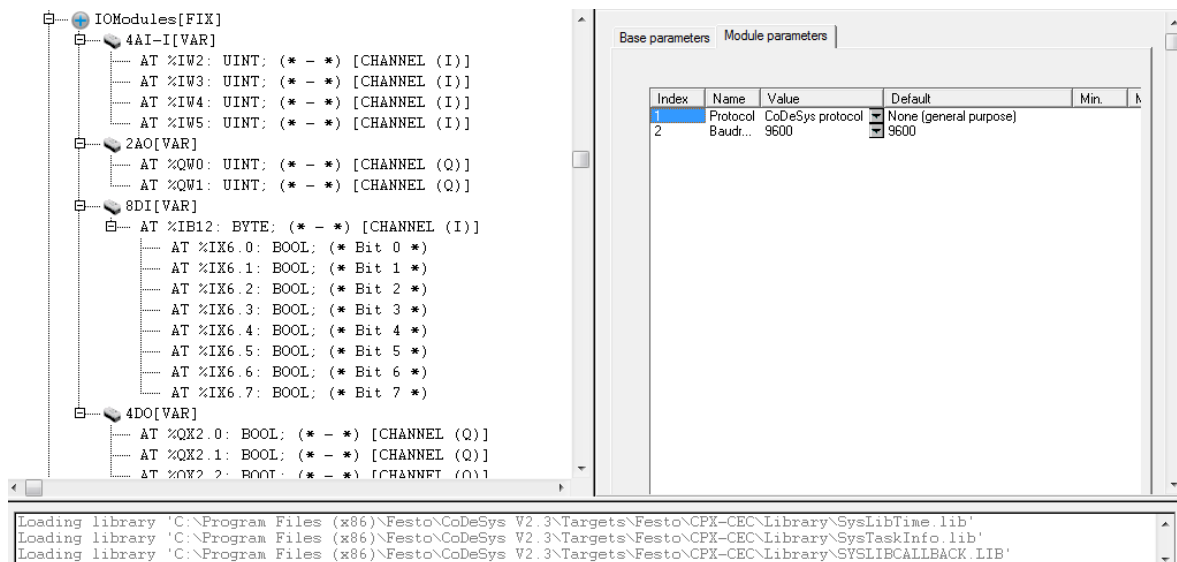


Figura 6.6 Configuración del puerto serie del PLC.

Se generó una subrutina capaz de controlar la activación y desactivación de la bomba de suministro. Esto integrando una señal de 24V que activa un relay y este a su vez un contactor.

El bloque de programación que permite manipular la activación de la electroválvula dependiendo del estado de los sensores de nivel se muestra en la figura 6.6.

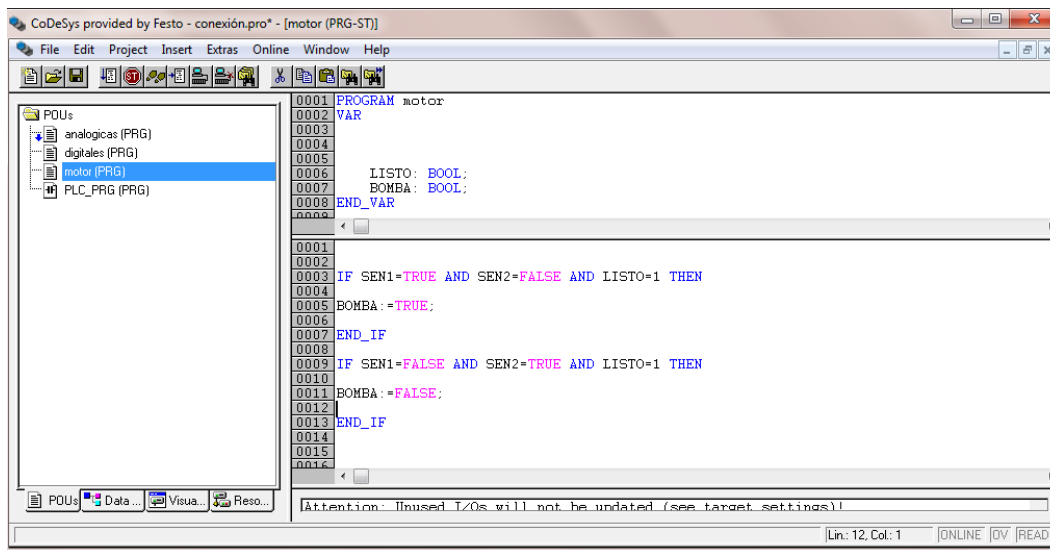


Figura 6.7 Subrutina de control para el motor.

Por otro lado la comunicación de la pantalla con el PLC se pudo realizar con éxito por medio del software FED-designer, el cual es una herramienta muy útil para la programación de las pantallas de la marca Festo.

6.1.2 Programación de la pantalla FED-50 de FESTO

Como se mencionó anteriormente la pantalla FED-50 es un dispositivo HMI, lo que quiere decir que se utiliza como medio de comunicación entre el usuario y el sistema de control. Para la programación de este dispositivo se utiliza el software FED-Designer, el cual permite enlazar las variables asignadas en las subrutinas de la programación del PLC a variables en el programa para la pantalla. En el diseño de la interfaz de usuario se siguió la siguiente secuencia de ingreso de datos.

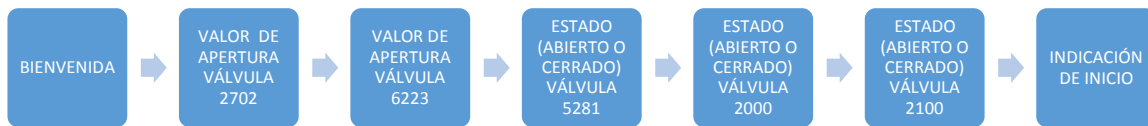


Figura 6.8 Secuencia de ingreso de datos en la pantalla.

El software permite asignar las variables del sistema a objetos en pantalla como se muestra a continuación

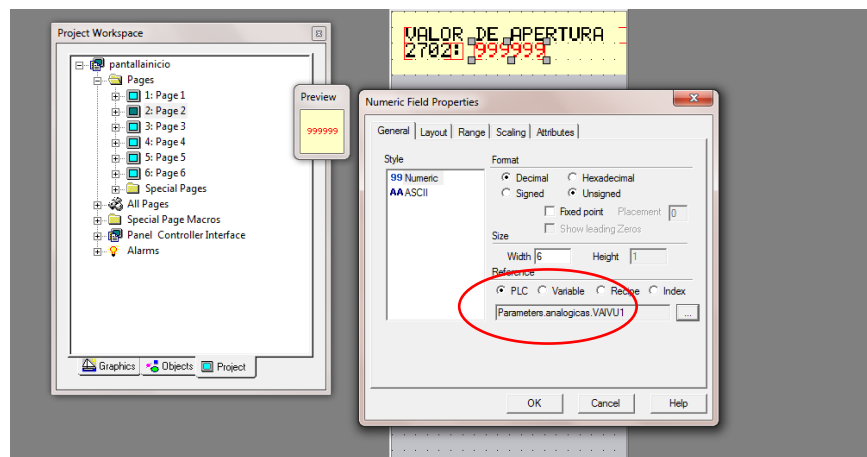


Figura 6.9 Asignación de variables a objetos en la pantalla.

De igual manera se pueden se asignaron funciones a los botones del dispositivo para que el usuario tenga la posibilidad de escoger entre las opciones que se le presentan en el display.

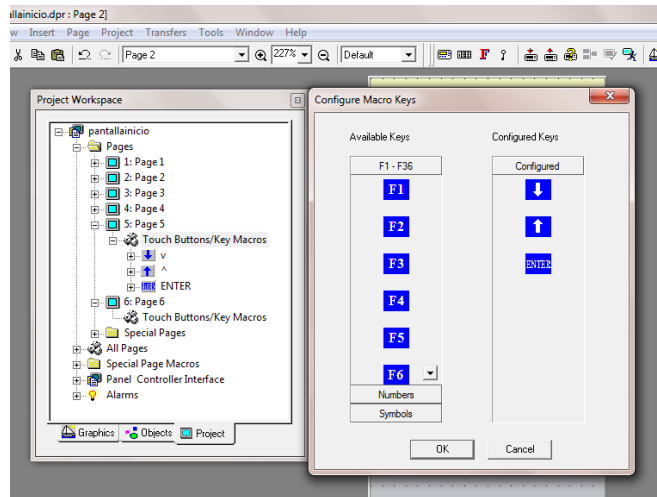


Figura 6.10 Asignación de funciones para los botones.

Las opciones del software de programación permiten que cuando el botón sea presionado se genere una función o tarea en el programa.

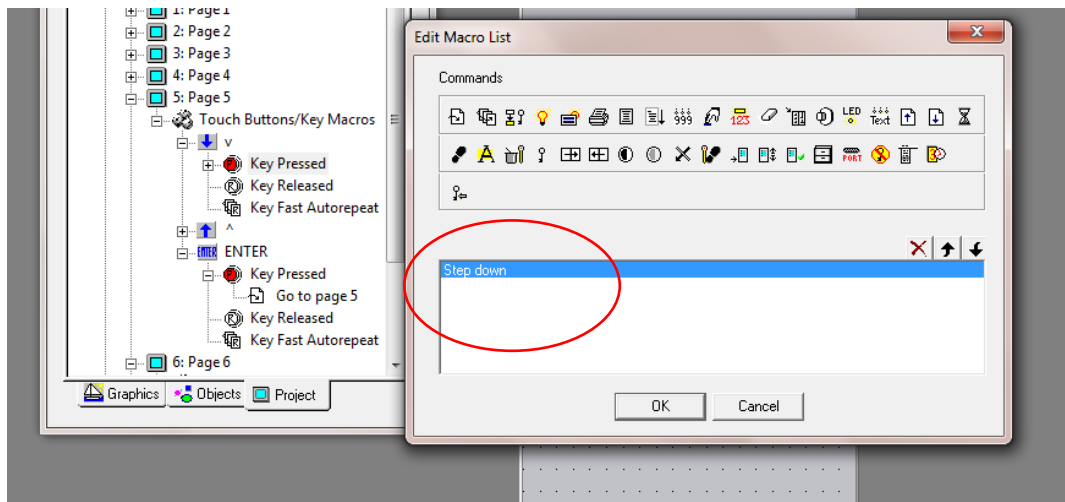


Figura 6.11 Funciones disponibles para los botones.

En la figura 6.12 se muestra un ejemplo de los resultados de la programación de la pantalla.



Figura 6.12 Pantalla para el valor de apertura de la válvula 2702

La siguiente figura muestra la interfaz de usuario para asignar el estado de la electroválvula 5281, y el estado actual de la misma. Para poder escoger el valor se le asignó a las teclas con las flechas verticales la función step up y step down.



Figura 6.13 Pantalla para el valor de apertura de la válvula 5281

6.1.3 Tiempos de respuesta de las electroválvulas

Se realizaron mediadas para el tiempo de activación de las electroválvulas ante cambios realizados en el estado de las mismas

Tabla 6.1 Tiempo de respuesta ante cambios en el estado de las electroválvulas.

ELECTROVÁLVULA	TIEMPO DE RESPUESTA (s)
2702	1
6223	1
5281	0.5 aprox
2000	0.5 aprox
2100	0.5 aprox

6.2 Análisis de los resultados

Los resultados vistos en la sección anterior permitieron la formación de un sistema que permite manipular los valores de apertura de las válvulas proporcionales y de las válvulas de dos posiciones.

En la sección 6.1.1 se muestran las subrutinas de programación para el PLC. Una de las ventajas de utilizar la plataforma de programación Codesys es que se trabaja bajo un estándar de programación (IEC 1131-3), por lo que se cuenta con bastante información para la elaboración del código.

La utilización de un sistema de control mediante PLC permite una flexibilidad a la hora de manipular las variables del sistema y la facilidad de programación incrementa las posibilidades de utilización en diferentes tipos de proyectos a nivel industrial. Como se pudo observar la asignación y configuración de los puertos de salida se realiza de una forma muy sencilla, pero se debe tener un conocimiento previo de las señales estándar que pueden manejar los mismos. La calibración de las escalas de salida depende del tipo de electroválvula que recibe la señal, por este motivo se divide la programación en tres bloques importantes.

- Analógicas
- Digitales
- Motor

El bloque denominado “analógicas” se encarga del control de este tipo de señales, por su parte el bloque “digitales” maneja las señales de salida de 24V. El último subprograma tiene como función el control de la bomba de suministro dependiendo de la señal emitida por los sensores de nivel.

Los dispositivos encargados de interpretar las señales analógicas y manipular la posición de la electroválvula hacen que la apertura de las mismas se de en proporción a la señal que se envía desde el PLC, en donde las salidas analógicas tienen un valor máximo de 4095 y mínimo de cero.

Este valor se escala de manera lineal para que cuando se requiera la señal de 20mA, el PLC trabaje con el valor de 4095 (valor de escala sin unidades).

El control de las válvulas proporcionales 2702 y 6223 se realizó con los controladores Burkert 8792 y 8611 respectivamente. La señal enviada desde el PLC permite que estos dispositivos posicionen el actuador en la posición deseada, retroalimentándose constantemente con la señal del sensor de posición de cada una de ellas. La activación de las válvulas ON/OFF se hizo efectiva utilizando señales de 24V CD. Cuando la señal de salida se acciona se energizan las bobinas de las electroválvulas seleccionadas y con esto se prepara el sistema para iniciar el proceso.

La rutina que maneja la activación de la bomba toma en cuenta 3 factores

- Sensor de nivel alto
- Sensor de nivel bajo
- Señal de listo

La señal de listo es asignada a la tecla F1 de la pantalla en el último ingreso de datos. Con esto se le asigna una posición inicial al sistema y seguidamente se da la activación del ciclo. Esto no quiere decir que no se puedan cambiar los valores de apertura durante el proceso, sino que por el contrario una vez que la bomba de suministro se activa se pueden cambiar los valores de posición de los dispositivos.

Se puede observar en la figura 6.6 la subrutina de control para el motor y las variables que se usan en la misma.

La figura 6.5 muestra la asignación de la velocidad de transmisión para el puerto serie del PLC. Se utilizan 9600 baudios para la configuración del puerto serie para tener una misma velocidad entre la pantalla y el controlador. De esta manera se aseguró la comunicación exitosa entre ambos dispositivos

La sección 6.1.2 enfatiza en la programación de la interfaz hombre-máquina. Se plantea un orden para el ingreso de los datos que sea amigable con el usuario y que le permita a cualquier persona entender las indicaciones que se dan en el display. Se utiliza el mismo protocolo de comunicación y programación del PLC (Codesys). La plataforma de programación permite escoger otros protocolos pero se escoge el Codesys basándose en que es el único dentro de la lista permite la comunicación directa por medio del puerto serie entre el PLC y la pantalla. Los otros protocolos necesitan de un direccionamiento IP dentro de una red y utilizan el puerto Ethernet para el intercambio de datos. La utilización de un sistema de control mediante PLC permite flexibilidad a la hora de manipular las variables del sistema y la facilidad de programación incrementa las aplicaciones para diferentes tipos de proyectos a nivel industrial.

En la última sección de resultados se puede observar que el tiempo de respuesta de las electroválvulas a las señales emitidas por el PLC está dentro del rango deseado, el sistema requería que la activación de los dispositivos después de emitir la señal no fuera mayor a 1 segundo. En la tabla 6.1 se pueden observar que para las válvulas de dos posiciones la respuesta es más rápida, esto puesto que no necesitan de un controlador adicional para su posicionamiento, por ende la activación se podría decir que ocurre con un retardo extremadamente bajo. En cuanto a las válvulas proporcionales si se puede notar un atraso de aproximadamente 1 segundo, esto puesto que la señal analógica pasa por más dispositivos de control.

En cuanto al dispositivo medidor de caudal 8035 se puede decir que se obtuvo un sistema idóneo para la calibración de este tipo de dispositivos. La operación correcta del medidor depende de muchos factores, como por ejemplo la posición, la constancia del fluido y la ausencia de burbujas en la tubería. Esto hace que el sistema de control planteado sea adecuado para la calibración de este tipo de dispositivos. Además del valor agregado que se da al tener un sistema de control que permite interactuar con múltiples situaciones dependiendo de los dispositivos que el usuario desee activar.

7 Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

1. El sistema de control propuesto permite manipular cada uno de los componentes electroneumáticos del sistema por medio de las señales de control.
2. Se comprobó el correcto funcionamiento de los subprogramas y rutinas que componen el control del sistema.
3. La utilización de la pantalla FED-50, brinda una mayor facilidad para que el usuario seleccione las características de activación de cada uno de los dispositivos de la planta.
4. Se observó la correcta activación y desactivación de la bomba del sistema dependiendo de las señales emitidas por sensores de nivel.
5. Se logró implementar un herramienta para la simulación de procesos en donde se utilizan los dispositivos de la marca Burkert distribuidos por PYASA, satisfaciendo las necesidades de la empresa para el entrenamiento del personal y clientes.

7.2 Recomendaciones

1. La utilización de una pantalla con características más modernas como direccionamiento IP y touch screen daría más opciones de control durante el desarrollo del proceso.
2. Incrementar las salidas y entradas del sistema tanto analógicas como digitales para poder incorporar más dispositivos al sistema de control.
3. Generar un proceso extra en donde se puedan ingresar errores al sistema para observar el comportamiento de los dispositivos.

8 Referencias

- [1] Proyectos y Automatización S.A. “¿Quiénes Somos?” [En línea]
<http://www.pyasa.net/index.php?option=com_content&view=article&id=50&Itemid=55>
[Consulta: 22 Feb. 2013].

- [2] Transmisor digital para medición de caudal en continuo, Burkert. [En Línea]
<http://www.burkert.es/products_data/datasheets/DS8035-Transmitter-ES-ES.pdf>
[Consulta: 22 Febrero. 2013].

- [3] Fitting para sensor Inline S030, Burkert. [En Línea]
<http://www.burkert.es/products_data/manuals/MAS030-Standard-ES-ES.pdf>
[Consulta: 22 Febrero. 2013].

- [4] Willian H.Hayt, J. (2006). Teoría electromagnética (séptima ed.). México: McGraw- Hill Ediciones.

- [5] Válvula de control se asiento inclinado 2702, Burkert. [En Línea]
<http://www.burkert.es/products_data/manuals/MA2702-Standard-ES-ES.pdf> [Consulta: 15 Marzo. 2013].

- [6] Posicionador electroneumático digital, Burkert. [En Línea]
<http://www.burkert.es/products_data/datasheets/DS8792-PositSideCo-ES-ES.pdf> [Consulta: 20 Marzo. 2013].

- [7] Electroválvula proporcional servoasistida. [En Línea]
<http://www.burkert.es/products_data/datasheets/DS6223-Standard-EU-EN.pdf> [Consulta: 23 Marzo. 2013].

- [8] Glosario, Válvulas proporcionales. [En Línea] <<http://www.burkert.es/ESN/363.html>>
[Consulta: 23 Marzo. 2013].

- [9] Control de procesos compacto para temperatura, presión y caudal. [En Línea] <
http://www.burkert.es/products_data/manuals/MA8611-Standard-ES-ES.pdf> [Consulta: 30 Marzo. 2013].

- [10] Módulo electrónico digital para válvulas proporcionales. [En línea]
<http://www.burkert.com/products_data/manuals/MA8605-Standard-ES-ES.pdf> [Consulta: 5 de abril 2013].

- [11] Manual de usuario, válvula de asiento inclinado 2/2 vías. [En línea]
<http://www.burkert.es/products_data/manuals/MA2000-Standard-ES-ES.pdf>
[Consulta: 5 de abril 2013].

- [12] Type 2100, operating instructions. [En línea]
<http://www.burkert.es/products_data/manuals/MA2100-Standard-EU-ML.pdf>
[Consulta: 5 de abril 2013].

- [13] Electrical position feedback, 1062. [En línea]
<http://www.burkert.es/products_data/datasheets/DS1062-Standard-EU-EN.pdf> [Consulta: 5 de abril 2013].
- [14] 2/2-way Solenoid Valve with servo-diaphragm. [En línea]
<http://www.burkert.es/products_data/datasheets/DS5281-Standard-EU-EN.pdf> [Consulta: 5 de abril 2013].
- [15] Electroválvula servoasistida 2/2 vías, Glosario. [En línea]
<<http://www.burkert.es/ESN/387.html>> [Consulta: 1 de mayo 2013].
- [16] 2/2 way servo assisted Solenoid Valve for liquids. [En línea]
<http://www.burkert.es/products_data/datasheets/DS6213-Standard-EU-EN.pdf> [Consulta: 1 de mayo 2013].
- [17] Vibrating level switch. [En línea] <http://www.burkert.es/products_data/datasheets/DS8110-Standard-EU-EN.pdf> [Consulta 6 de mayo 2013].
- [18] Bloque de mando CPX-CEC. [En línea]<http://www.festo.com/cat/es-ar_ar/data/doc_es/PDF/ES/CPX-CEC_ES.PDF> [Consulta: 22 de mayo 2013]
- [19] Automatización, FIUBA. [En línea] <<http://materias.fi.uba.ar/7566/Automatizacion.pdf>> [Consulta:22 de mayo 2013]
- [20] Circuitos con retroalimentación resistiva, Navarro, F. [En línea] < http://www.tec-digital.itcr.ac.cr/file/2471096/TEMA_III_-_AI_-_CAS_-_Estudiantes.pdf> [Consulta: 22 de mayo 2013]
- [21] Thompson, Electronic Controllers, ISA, USA, 1989, WillardMerritt, Dean, Métodos instrumentales de análisis, Cecsca, México, 1984.
- [22] Mandado, Enrique. Automatas programables y sistemas de automatización. Segunda edición, Alfaomega, México, 2010.
- [23] Wikipedia, la enciclopedia libre [en línea] <<http://es.wikipedia.org>> [Consulta: 19 de julio 2013]

9 Apéndices y anexos

9.1.1 Apéndices

A.1 Glosario, abreviaturas y simbología

- **Actuador:** Dispositivo capaz de fuerza a partir de su interacción con líquidos, gases o fuentes de energía. Recibe la orden de un regulador o controlador [23].
- **Analógico:** Se refiere a las señales que varían de forma continua en el tiempo, pudiendo tomar infinitos valores (teóricamente).
- **Caudal:** cantidad de fluido que pasa en un área por una unidad de tiempo [23].
- **Digital:** Señal que toma valores discretos, teniendo siempre un estado perfectamente definido [23].
- **Electroválvula:** Dispositivo que utiliza un solenoide para cambiar la posición del su pistón interno.
- **Festo:** Marca mundialmente conocida por la fabricación de dispositivos de control
- **HMI:** Human machine interface
- **PLC:** Dispositivo electrónico programable en lenguaje no informático, diseñado para interactuar en tiempo real sistemas de control industrial. [23]
- **Protocolo:** Conjunto de reglas que controlan la secuencia de mensajes entre dos dispositivos electrónicos [23].

- **RS232:** Interfaz que designa una norma para el intercambio de una serie de datos binarios entre un DTE (Equipo terminal de datos) y un DCE (Data Communication Equipment, Equipo de Comunicación de datos) [23].
- **Sensor:** Dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas.[22]

A.2 Información de la empresa

A.2.1 Descripción de la empresa

Proyectos y Automatización S.A es una empresa dedicada al diseño y puesta en marcha de sistemas de automatización para diferentes compañías a nivel nacional y centroamericano. Representan marcas como Burkert, inopa y sick las cuales son muy reconocidas a nivel industrial.

A.2.2 Descripción del departamento en la que se realizó el proyecto

Pyasa posee un departamento específico para el diseño e implementación de proyectos. Su misión es la de suplir las necesidades a nivel de procesos de producción de diferentes compañías a nivel nacional y centroamericano, además de ofrecer nuevas tecnologías que le den la oportunidad al cliente de mejorar su producción.

A.2.3 Antecedentes prácticos

Anteriormente PYASA no contaba con un sistema que le permitiera observar el comportamiento de sus productos ante diferentes situaciones. Es por eso que surge la idea de crear un banco de pruebas hidráulicas que fuera manejado por un sistema de control automático.

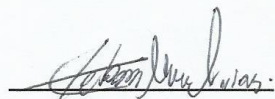
A.3 Carta de entendimiento

Señores

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Biblioteca José Figueres Ferrer

Yo Esteban David Mena Arias carné 200304952, autorizo a la Biblioteca José Figueres del Instituto Tecnológico de Costa Rica disponer del Trabajo Final realizado por mi persona, con el título Sistema de control para un banco de pruebas hidráulicas utilizable en calibración de medidores de flujo Burkert, para ser ubicado en el Repositorio Institucional y el Catálogo SIBITEC para ser accesada através de la red Internet.



Firma del estudiante

Cédula 1-1251-0307