



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL  
DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y  
AUTOMATISMO**

**TÍTULO:**

**Módulo didáctico de control de nivel para laboratorio de  
automatización de la Universidad Católica de Santiago de  
Guayaquil**

**AUTOR (A):**

**OJEDA ALMAGRO ANA BELEN**

**Trabajo de seminario de graduación previo a la obtención del Título  
de:  
INGENIERA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO**

**TUTOR:**

**Herrera Muentes, Efrén**

**Guayaquil, Ecuador  
2014**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL  
DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN  
CONTROL Y AUTOMATISMO**

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por **Ana Belén Ojeda Almagro**, como requerimiento parcial para la obtención del Título de **Ingeniería Electrónica en Control y Automatismo**

**TUTOR (A)**

---

**Herrera Muentes, Efrén**

**DIRECTOR DE LA CARRERA**

---

**Heras Sánchez, Armando**

**Guayaquil, a los 29 días del mes de agosto del año 2014**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y  
AUTOMATISMO**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Ana Belén Ojeda Almagro**

**DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación Módulo didáctico de control de nivel para laboratorio de automatización de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil previa a la obtención del Título **de Ingeniería Electrónica en Control y Automatismo**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

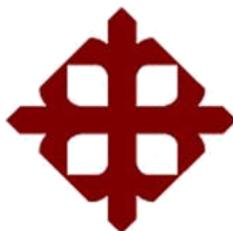
En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, a los 29 días del mes de agosto del año 2014**

**EL AUTOR (A)**

---

**Ana Belén Ojeda Almagro**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y  
AUTOMATISMO**

## **AUTORIZACIÓN**

Yo, **Ana Belén Ojeda Almagro**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: Módulo didáctico de control de nivel para laboratorio de automatización de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 29 días del mes de agosto del año 2014**

**EL (LA) AUTOR(A):**

---

**Ana Belén Ojeda Almagro**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar a Dios por haberme brindado la fuerza y valor para seguir cumpliendo mis objetivos y guiarme a lo largo de toda mi vida.

A todos mis amigos y familiares que a través de sus conocimientos e ideas ayudaron para que este proyecto pueda ser llevado a cabo con éxito.

A mi novio, quien supo apoyarme y compartir sus conocimientos técnicos conmigo.

A todos los docentes de la U.C.S.G que a lo largo de mi carrera me aportaron con sus conocimientos y experiencias.

**Ana Belén Ojeda Almagro**

## **DEDICATORIA**

A mis padres, quienes me han dado un ejemplo a seguir y me han motivado a seguir cumpliendo mis metas permitiéndome llegar hasta este punto.

Al equipo de Neumacontrol ya que con su experiencia pudieron contribuir al desarrollo del presente proyecto

**Ana Belén Ojeda Almagro**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y  
AUTOMATISMO

**CALIFICACIÓN**

## ÍNDICE

CAPÍTULO 1: Introducción .....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	3
1.3 Planteamiento del problema.....	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos .....	4
1.5 Tipo de investigación .....	5
1.6 Metodología .....	5
PARTE I MARCO TEÓRICO	
CAPITULO 2: Medición de nivel de líquidos .....	7
2.1 Medición de nivel de líquidos .....	7
2.1.1 Métodos de medición .....	7
2.1.1.1 Instrumentos de medida directa: tipo flotador .....	8
2.1.1.2 Medición de nivel de líquido tipo ultrasónico.....	10
CAPÍTULO 3: Control de nivel de líquidos .....	11
3.1 Sistemas de control automático.....	11
3.1.1 Sistemas de control en lazo abierto .....	11
3.1.2 Sistemas de control en lazo cerrado .....	12
3.2 Control PID .....	13
3.2.1 Controlador Proporcional P .....	14
3.2.2 Acción integral PI .....	14
3.2.3 Acción derivativa PD .....	15
3.2.4 Controlador PID .....	15
3.3 Controlador lógico programable .....	16
3.3.1 Clasificación de los PLC's .....	17
3.3.2 Arquitectura interna .....	17
3.3.3 Sistemas de PLC .....	19
3.3.4 Softwares de programación para PLC's.....	20
3.4 Sistemas SCADA .....	21
3.4.1 Prestaciones.....	22
3.4.2 Interfaz Hombre-Máquina.....	23
3.5 Variadores de frecuencia.....	24
3.5.1 Funcionamiento.....	25
3.5.2 Instalación .....	26
3.6 Actuadores para control de nivel.....	27
3.6.1 Bomba .....	27
3.6.2 Válvulas solenoides.....	29
PARTE II APORTACIONES	
CAPITULO 4: Diseño del panel didáctico para control de nivel .....	31
4.1 Fases de diseño.....	31

4.1.1	Diseño de tanques .....	31
4.1.1.1	Tanque de succión .....	31
4.1.1.2	Tanque de descarga .....	32
4.1.2	Sensores de nivel .....	35
4.1.2.1	Interruptor de nivel tipo flotador .....	35
4.1.2.2	Sensor de nivel ultrasónico.....	36
4.1.3	Dimensionamiento de actuadores .....	37
4.1.3.1	Válvulas .....	37
4.1.3.2	Bombas.....	39
4.1.4	Selección de equipos de control .....	40
4.1.4.1	Controlador lógico programable (PLC).....	40
4.1.4.2	Módulo analógico .....	41
4.1.4.3	Variador de frecuencia .....	41
CAPÍTULO 5: Construcción del panel didáctico para control de nivel .....		43
5.1	Construcción de tanques .....	43
5.2	Conexión de equipos de control .....	44
5.2.1	Conexiones del PLC.....	44
5.2.1.1	Conexiones de entrada del PLC .....	44
5.2.1.2	Conexiones de salida del PLC .....	45
5.2.2	Conexión de la pantalla HMI .....	45
CAPÍTULO 6: Desarrollo del programa para control de nivel.....		47
6.1	Programación del PLC .....	47
6.1.2	Software de programación KGL WIN .....	47
6.1.2.1	Set – Reset.....	47
6.1.2.2	Registros de datos analógicos .....	48
6.1.3	Programación del proceso .....	49
6.2	Programación de variador de frecuencia.....	50
6.3	Diseño y programación de pantallas HMI .....	51
CAPÍTULO 7: Operación de panel didáctico para control de nivel .....		55
7.1	Modo de operación.....	55
CAPÍTULO 8: Pruebas y resultados .....		60
8.1	Pruebas y resultados en el tanque de succión.....	60
8.2	Pruebas y resultados en el tanque de descarga.....	61
CAPÍTULO 9: Conclusiones y recomendaciones.....		63
9.1	Conclusiones .....	63
9.2	Recomendaciones.....	64
Bibliografía .....		66

Índice de figuras.....	69
Índice de tablas.....	72
Anexos .....	73

## **RESUMEN**

Este proyecto tuvo como finalidad ofrecer un módulo didáctico de control de nivel para el laboratorio de automatización, mediante el cual, los estudiantes puedan aprender y realizar prácticas del control y medición de nivel de líquido. Además, se incluyó el manual usuario para la comprensión del funcionamiento del sistema y modo de operación.

El control de nivel se realizó en un tanque principal a través de un transmisor de nivel tipo ultrasónico, cuya señal de salida continua, permitió variar la velocidad de la bomba mediante un variador de frecuencia de acuerdo al nivel medido y deseado. Constó también de un tanque (de mayor capacidad) que hizo el papel de fuente y proveía agua a nuestro tanque principal. Este tanque que funcionó como fuente, fue llenado automáticamente a través de una válvula solenoide.

Todo este funcionamiento, fue realizado a través de un controlador lógico programable en conjunto con una pantalla HMI mediante la cual los estudiantes pueden dar las órdenes de llenado automático o marcha/paro de la bomba así como también visualizar el nivel actual en el tanque y la velocidad de la bomba.

El manual de usuario proporcionó mejores instrucciones para la operación del módulo didáctico, así como también, brindó información técnica para su revisión y estudio.

## **ABSTRACT**

The aim of this Project was to give to the automation laboratory a didactic panel for controlling level for liquids, by this way, the students can learn and practice about measurement and control of the level for liquids. Also, this project included a user manual for understanding how this didactic panel works.

The control level was done in a main tank, its level was measured by an ultrasonic level transmitter, which has a continuous output signal, this signal allowed change the pump's speed through a frequency inverter that operated according to the level measured and expected. This panel also included another tank (with a higher capacity) that worked like a source of water which provided the water to the main tank. This tank that worked as a source of water was filled automatically by a solenoid valve.

All this performance was done by a programmable logic controller and a HMI screen in which students can give orders for the automatic filling or run/stop for the pump, also, they can visualize the current level of the tank and the pump's speed.

The user manual provided better instructions for the operation of this didactic panel, and technical information in order to check it and study it.

# CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Antecedentes

El presente proyecto trata sobre el desarrollo de un módulo didáctico de control de nivel con su manual de usuario, con el cual, los estudiantes pueden aprender y realizar prácticas de la medición y el control del nivel de líquidos, siendo el nivel, una de las variables importantes a controlar dentro del área de automatización en un proceso industrial. Para este módulo se implementan un sensor analógico e interruptores de nivel que son muy comunes y utilizados en la industria de hoy.

A nivel nacional, existen estudiantes universitarios que han elaborado proyectos sobre módulos didácticos de medición de control de nivel: “Diseño y construcción de un módulo didáctico para control de nivel de líquidos” (Escuela Politécnica Nacional), “Diseño y construcción de un módulo didáctico para el control de nivel, caudal de líquidos destinado a la implementación de un laboratorio de control para la UPS” (Universidad Politécnica Salesiana). Estos proyectos mencionados, han sido de gran ayuda para los estudiantes de cada institución. Al presente proyecto, se ha añadido una parte en el área de control, que los mencionados proyectos no poseen. Este sistema realiza el control sobre la bomba a través de un variador de frecuencia y así garantiza un control continuo de nivel de agua para el tanque, mientras que, los proyectos ya indicados, han sido realizados con un control on-off para la bomba.

Actualmente, el laboratorio de automatización de la Facultad Técnica, cuenta con equipos de control y programación de alta tecnología. Sin embargo, a pesar de que existen tales equipos con los cuales los estudiantes pueden contar para su

aprendizaje, estos no son utilizados ni aprovechados en su totalidad, cambiar esta situación da como resultado una mayor obtención de conocimientos por parte de los estudiantes, así se justifican las inversiones en herramientas y equipos adquiridos por la universidad para el laboratorio de automatización.

Para poder actuar sobre esta problemática, el objetivo general de este proyecto es: construir un módulo didáctico de control de nivel de líquidos para el laboratorio de automatización dirigido a los estudiantes de la carrera Ingeniería Electrónica en Control y Automatismo.

El diseño y elaboración de este módulo didáctico satisface a los estudiantes debido a su fácil manejo y operación. Los elementos que conforman este módulo permiten que se pueda entender y tener una idea general sobre el funcionamiento de un control de nivel de líquidos. La programación realizada en el PLC y pantalla HMI, ayudan a tener un correcto desenvolvimiento del módulo cumpliendo así el modo de operación deseado.

Este proyecto contiene información muy importante con respecto a la medición y control del nivel de líquidos, programación de PLC, programación de variador de frecuencia de acuerdo a entradas analógicas, por lo que se sugiere su lectura para aquellos interesados en sistemas de control automáticos con entradas analógicas y digitales a través de PLC y variador de frecuencia, así como también a quienes estén dispuestos a desarrollar una mejora para el aprendizaje de la educación superior ecuatoriana.

## **1.2 Justificación**

El estudio y realización de este proyecto es importante y necesario para los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Control y Automatismo, puesto que aprenderán sobre la medición y control de nivel de líquidos mediante un panel didáctico, mostrando así, un funcionamiento real (no simulaciones) con elementos e instrumentos de uso diario en el campo, lo cual es vital en carreras profesionales de esta naturaleza, ya que en un futuro laboral, los estudiantes de esta carrera en su mayoría, tendrán que manejar y controlar variables (humedad, temperatura, flujo, presión, nivel, etc.) en un determinado proceso.

Este proyecto de carácter práctico pretende realizar una articulación entre la teoría y la práctica, esto da lugar a una ventaja competitiva para los estudiantes ya que se habrán familiarizado con los instrumentos usualmente utilizados en el medio, es decir, tendrán una formación íntegra tanto en sus conocimientos teóricos, como en sus conocimientos prácticos aplicados a sistemas reales.

## **1.3 Planteamiento del Problema**

En la actualidad, la educación requiere pasar a un sistema de aprendizaje donde los estudiantes puedan generar y obtener conocimientos por iniciativa propia, pero para esto, es necesario utilizar ciertas herramientas que ayuden a lograr el tipo de educación que se desea aplicar.

Un problema que se presenta en el laboratorio de automatización es que a pesar de que existen equipos con los cuales los estudiantes pueden trabajar y utilizar, estos

no son utilizados ni aprovechados en su totalidad, si se lograra cambiar esta situación los estudiantes tendrían una mayor obtención de conocimientos y así justificar las inversiones en herramientas y equipos adquiridos por la universidad para el laboratorio de automatización.

Para poder contrarrestar y ayudar a esta problemática, se proporcionará al laboratorio de automatización un panel didáctico para el estudio de la medición y el control de nivel con su respectivo manual de usuario, de esta manera, los estudiantes podrán entender y estudiar, a través del manual de usuario, el funcionamiento de este panel didáctico a elaborar.

## **1.4 Objetivos**

Los objetivos que se persiguen alcanzar al terminar este proyecto de titulación se enumeran a continuación:

### **1.3.1 Objetivo General**

Construir un módulo didáctico de control de nivel de líquidos para el laboratorio de automatización dirigido a los estudiantes de la carrera Ingeniería Electrónica en Control y Automatismo.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Diseñar un módulo didáctico que caracterice y visualice un sistema real para la medición, control y monitoreo del nivel del líquido.
- Desarrollar la programación del panel didáctico mediante un controlador lógico programable para obtener un control del nivel de acuerdo a lo requerido.

- Desarrollar un manual de usuario que explique de manera didáctica el funcionamiento y características técnicas para el estudio del panel didáctico a elaborar.

#### **1.4 Tipo de investigación**

El presente proyecto de titulación se centra primordialmente dentro del tipo de investigación experimental ya que se manipularán variables de entrada y variables de salida (sensores y actuadores) durante el diseño del módulo didáctico para el control y registro de comportamiento de la variable dependiente del sistema (nivel del líquido en el tanque). Los métodos de muestreo que se emplearán a lo largo del proyecto serán:

- Observación indirecta: este se basa en el uso de herramientas para una toma precisa de información. Por ejemplo, para obtener una exacta información del nivel de líquido en el tanque, se utilizarán sensores de nivel que ayudarán a controlar y/o mantener el nivel de líquido en el tanque.
- Experimento: Se basa en la toma de datos mediante la realización de diferentes pruebas sobre un elemento del sistema o un diseño eléctrico o electrónico. En este proyecto, se realizarán pruebas y calibraciones sobre la programación del sensor de nivel continuo tipo ultrasónico que se instalará en el módulo didáctico con el fin de obtener un óptimo control del nivel de líquido en el tanque.

#### **1.5 Metodología**

- Estudiar tipos de sensores de nivel

- Cálculo de volumen de cuerpos
- Lenguajes de programación para PLC's.
- Programación de SCADA.
- Control de flujo de bomba mediante variador de frecuencia.

## **PARTE I MARCO TEÓRICO**

### **CAPITULO 2 MEDICIÓN Y CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDOS**

#### **2.1 Medición de nivel de líquidos**

En la mayoría de las industrias el nivel como variable de proceso es muy importante, mientras que en otro tipo de industrias puede resultar ser una variable primordial e indispensable.

La medición de nivel es muy necesaria para distintas funciones, como por ejemplo para la medición y el control de volumen de líquidos, para mantener presiones hidrostáticas, para evitar derrames de líquidos, etc.

Los instrumentos que se utilizan para la medición del nivel pueden variar de acuerdo a la aplicación o complejidad del proceso. Al momento de realizar una selección de los instrumentos medidores de nivel, existen factores que se deben tomar en cuenta para garantizar una correcta obtención de datos y funcionamiento del sistema: rango de medición, naturaleza del fluido que va a ser medido, condiciones de operación.

##### **2.1.1 Métodos de medición**

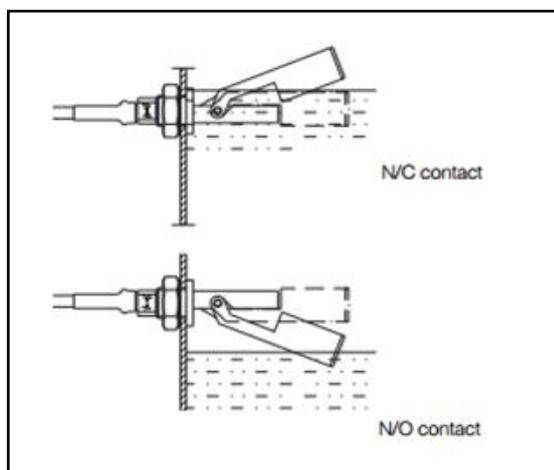
De acuerdo a Creus Sole, A. (2005, pág. 193), los métodos de medición para el control de nivel de líquidos actualmente se los pueden clasificar de la siguiente manera:

- Instrumentos de medida directa
- Instrumentos basados en la presión hidrostática
- Instrumentos basados en las características eléctricas del líquido.

A continuación se explicará brevemente el funcionamiento de los medidores de nivel que se utilizarán para el desarrollo de este proyecto.

### 2.1.1.1 Instrumentos de medida directa

Dentro de esta clasificación se encuentran los medidores de nivel tipo flotador. Este tipo de medidor de nivel es uno de los más simples, conocidos, y utilizados hasta la actualidad. Kobold, fabricante de sensores para variables de medición como el nivel, expone en uno de sus recursos técnicos que un interruptor de nivel tipo flotador consiste en un cuerpo flotante que a medida que el nivel sube y baja, la inclinación del flotador cambia causando que un imán permanente active o desactive un microinterruptor magnético. Se puede observar su funcionamiento en la figura 2.1.



**Figura 2.1:** Funcionamiento de interruptor de nivel tipo flotador

**Fuente:** [http://www.koboldmessring.com/koboldfiles/pdf/es/n1es\\_nkp.pdf](http://www.koboldmessring.com/koboldfiles/pdf/es/n1es_nkp.pdf)

Actualmente, en el mercado se pueden encontrar diferentes modelos de interruptores de nivel tipo flotador tal como se muestran en la figura 2.2, los cuales varían por tamaño, material, tipos de conexiones, etc.



**Figura 2.2:** Interruptor de nivel tipo flotador

**Fuente:** [http://www.koboldmessring.com/koboldfiles/pdf/es/n1es\\_nkp.pdf](http://www.koboldmessring.com/koboldfiles/pdf/es/n1es_nkp.pdf)

Existen otros tipos de flotadores, mostrados en la figura 2.3, cuyo funcionamiento de acuerdo al fabricante Kobold Messring GmbH (2014), en uno de sus documentos técnicos indica que constan de un microinterruptor en su interior el cual conmuta cada vez que el líquido pasa por arriba o por debajo de la posición horizontal del flotador. Generalmente son utilizados para montaje vertical.



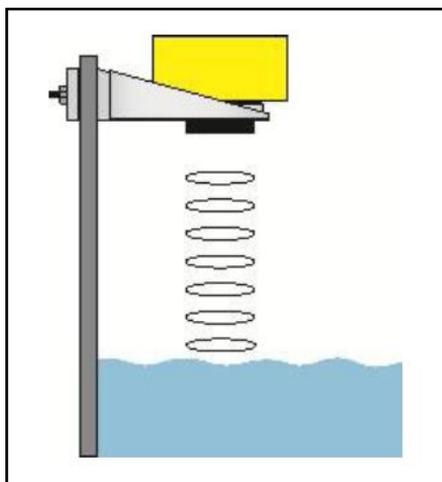
**Figura2.3:** Interruptor de nivel tipo flotador montaje vertical

**Fuente:** [www.koboldmessring.com/koboldfiles/pdf/n1es\\_nsm.pdf](http://www.koboldmessring.com/koboldfiles/pdf/n1es_nsm.pdf)

### 2.1.1.2 Medición de nivel del líquido de tipo ultrasónico

Los sensores de tipo ultrasónico como se muestra en la figura 2.4, de acuerdo a Creus Sole, A. (2005, pág. 211), se basan en el principio de ultrasonido el cual consiste en la emisión de pulsos de ultrasonido a la superficie del líquido. Los pulsos transmitidos son recibidos por el mismo sensor ya que recepta el eco de la onda. El sensor por ultrasonido mide la diferencia entre los tiempos de emisión y recepción de la señal. La señal de salida es analógica, es decir, continua, ya que el tiempo que demore dependerá de la distancia que ha recorrido desde la posición del sensor hasta la superficie del líquido.

Instrumentos bajo este tipo de medición suele estar en aplicaciones donde se requiere que el sensor no esté en contacto con el fluido que se desea medir.



**Figura 2.4:** Medidor de nivel por ultrasonido  
**Fuente:** [http://www.flowline.com/echopod\\_dl14.php](http://www.flowline.com/echopod_dl14.php)

## **CAPÍTULO 3**

### **CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDOS**

#### **3.1 Sistemas de control automático**

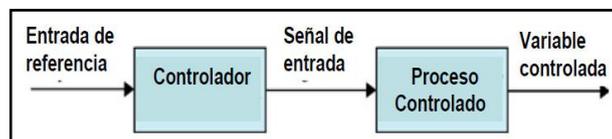
De acuerdo a Katsuhiko, O. (1998), los sistemas de control son un conjunto de dispositivos que, para lograr un objetivo de control actúan juntos. Los sistemas de control automático dentro de los procesos industriales son muy importantes ya que suelen ser utilizados para varias aplicaciones con el fin de mejorar algún aspecto dentro de nuestra línea de proceso, como por ejemplo: aumento de producción, mejoras en el rendimiento, mayor control de calidad, menor contaminación, mayor margen de seguridad, en algunos casos son empleados para reducción de gastos operativos en una planta.

Estos sistemas pretenden que se realicen operaciones en ausencia de personas (mano de obra). Los sistemas de control automático se dividen en sistemas de control en lazo cerrado y sistemas de control en lazo abierto.

##### **3.1.1 Sistemas de control en lazo abierto**

Carrillo A. (2008), indica que son denominados sistemas de control en lazo abierto a aquellos sistemas en los cuales la acción de control (variable de control) no es afectada por la señal de salida (variable controlada). Como se indica en la figura 3.1, este tipo de sistemas no existe una retroalimentación que ayude a la comparación entre la señal de salida y la de entrada. La aplicación de un sistema de control en lazo abierto es adecuada cuando se conoce el sistema, es decir la relación

entre la entrada y la salida, y no existen perturbaciones internas ni externas o ya las conocemos.



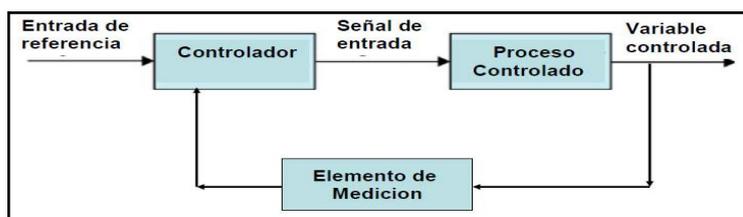
**Figura 3.1:** Sistema de control en lazo abierto

**Fuente:** Carrillo, Ali. (2008). *Sistemas Automáticos de Control*.

### 3.1.2 Sistemas de control en lazo cerrado

A diferencia de los sistemas de control en lazo abierto, Carrillo, A. (2008) señala que, los sistemas de control en lazo cerrado trabajan con una retroalimentación por parte de la señal de salida, esto significa que, la señal de salida del sistema afecta directamente sobre la acción de control que se realiza. Como se observa en la figura 3.2, en este tipo de sistema, al controlador le llega una segunda señal la cual es la señal de error de actuación, es decir, la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación, así, la salida del sistema podrá dar un valor más conveniente.

Una ventaja de un sistema de control en lazo cerrado es que la respuesta del sistema ya no es sensible a perturbaciones externas e internas del sistema. La desventaja es la estabilidad del sistema, esto puede ocurrir si el controlador no está bien ajustado o calibrado y esto puede provocar a realizar una sobrecorrección de errores dando fallas en el resultado final del sistema propuesto.



**Figura 3.2:** Sistema de control en lazo cerrado

**Fuente:** Carrillo, Ali. (2008). *Sistemas Automáticos de control*.

Katsuhiko, O. (1998) expone que, existen términos básicos que son empleados al momento de analizar un sistema de control:

- **Variable controlada y variable manipulada:** Es aquella cantidad o condición que deseamos medir y controlar para un proceso, esta es la señal de salida o respuesta del sistema. La variable manipulada es la cantidad o condición que se va a modificar a través del controlador y así variar a la variable controlada.
- **Planta:** El fin de una planta es ejecutar una operación en particular. Una planta puede ser la parte de un equipo o la unión de algunas partes de una máquina que pueden funcionar juntas.
- **Proceso:** Se denomina proceso a cualquier operación que se vaya a controlar y que conducirá a un resultado determinado.
- **Sistemas:** Un sistema es la unión de varios componentes que pueden trabajar juntos para realizar un objetivo en particular.
- **Perturbaciones:** Una perturbación es una señal que afecta al sistema y al valor de su salida de forma negativa ya que cambia valores de salida deseados. En un sistema existen perturbaciones externas e internas.
- **Control realimentado:** Tiene como objetivo reducir la diferencia entre la salida del sistema y la señal de entrada de referencia.

### 3.2 Control PID

Universidad de León (2008), expone en una de sus publicaciones, que, un control PID se caracteriza por combinar tres acciones para obtener una respuesta del sistema.

Viene dado por el siguiente algoritmo:

$$u(t) = K_p \left[ e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] = P + I + D \quad [1]$$

Dónde:

$K_p$ : Constante de la acción proporcional (adimensional)

$T_i$ : constante de tiempo integral: intervalo de tiempo en el cual la acción integral iguala o alcanza a la acción proporcional (adimensional)

$T_d$ : Constante de tiempo derivativa: intervalo de tiempo en el que la acción derivativa adelanta a la acción proporcional (adimensional)

P: Acción proporcional

I: Acción integral

D: Acción derivativa

### **3.2.1 Controlador proporcional P**

Según la Universidad de León (2008), el controlador proporcional significa que la salida del sistema es algún múltiplo o factor porcentual del cambio en la medición (señal de entrada). Este múltiplo o factor es denominado ganancia del controlador.

En un control PID, la acción proporcional va a producir una señal proporcional a la desviación dada entre la salida del sistema con respecto al punto referencial.

### **3.2.2 Acción integral PI**

La Universidad de León (2008), se refiere a acción integral cuando se produce una señal proporcional al tiempo en el cual la salida del sistema ha tenido un resultado diferente al punto referencial. La función de esta acción es hacer que el error en estado estacionario producido por la acción proporcional sea eliminado. Por el otro lado, se obtiene una respuesta más lenta y a diferencia de la acción proporcional, el periodo de oscilación es mayor.

### 3.2.3 Acción derivativa PD

La acción derivativa, de acuerdo a la Universidad de León (2008), produce una señal proporcional a la velocidad con la que la señal de salida se encuentra cambiando con respecto al punto referencial. Una característica de la acción derivativa es que se puede predecir lo que pasará con la señal ya que se puede dar una acción de predicción sobre la señal de error.

La estabilidad del proceso va a depender del tamaño de la acción derivativa. Si el tiempo de la acción derivativa es grande, el proceso va a experimentar inestabilidad, y cuando este tiempo es pequeño, la señal de la variable a medir va a sufrir muchas oscilaciones con respecto al punto referencial. Por lo que, se considera un tiempo efectivo en la acción derivativa aquel en el cual la señal de la variable de medición vuelve al punto referencial con una cantidad mínima de oscilaciones.

### 3.2.4 Controlador PID

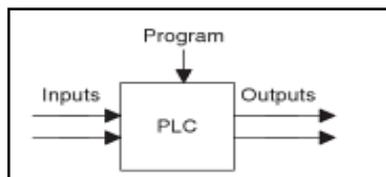
A pesar de que existen diferentes métodos para ajustar las acciones P, I, D, ninguno de ellos puede garantizar siempre un correcto control que logre la estabilidad en el sistema, lo cual, de acuerdo a la Universidad de León (2008), lleva a que el *método de prueba y error*, probar parámetros y variarlos de acuerdo a la señal de salida obtenida, siga siendo uno de los más usados en la actualidad. Para esto, se han creado “reglas” que han sido inferidas para la realización de un control PID.

- Primer paso: control proporcional:
- Tiempo integral  $T_i$  a su máximo valor.
- Tiempo derivativo  $T_d$  a su mínimo valor

- Se va aumentando la ganancia a medida que la respuesta del sistema muestre la señal deseada.
- Segundo paso: control integral:
  - Sin importar la gran oscilación que se provocará, reducir el  $T_i$  hasta eliminar el error en régimen estacionario.
  - Realizar una pequeña disminución a la ganancia
  - Repetir este proceso hasta obtener una respuesta con las características deseadas.
- Tercer paso: acción derivativa:
  - No variar la ganancia obtenida en la acción integral y el  $T_i$ .
  - Aumentar el  $T_d$  con el fin de obtener una respuesta más rápida
  - Si es necesario, aumentar la ganancia.

### 3.3 Controlador lógico programable

Según Domingo Peña, Joan (2003), un controlador lógico programable (PLC) consiste en un elemento de estado sólido capaz de controlar el estado de señales de salidas basadas en señales de entradas y un programa desarrollado por el usuario tal como se expone en la figura 3.3. Un PLC es considerado para aplicaciones específicas para el control de procesos industriales.



**Figura 3.3:** Controlador lógico programable (PLC)

**Fuente:** Bolton, W. (2009). *Programmable logic controllers*

### 3.3.1 Clasificación de los PLC's

Para la clasificación de los PLC's, de acuerdo a Bolton, W. (2009), se deben tomar en cuenta muchos factores dando como resultado una clasificación un poco rigurosa. Sin embargo, se suelen categorizar de la siguiente manera:

- Autómatas programables de gama baja: pueden tener hasta un máximo de 128 entradas/salidas y su memoria disponible hasta de 4000 instrucciones.
- Autómatas programables de gama media: constan con un número de entradas y salida entre 128 y 512. La memoria con la que se disponible es de 16000 instrucciones.
- Autómatas programables de gama alta: pueden tener más de 512 entradas/salidas. La memoria disponible es mayor a 16000 instrucciones y en algunos casos pueden llegar a las 100000 instrucciones.

### 3.3.2 Arquitectura interna

Bolton, W. (2009, pág. 5), indica que los bloques básicos que forman a la arquitectura interna de un PLC son los que se exponen a continuación.

- **Unidad central de proceso**

Esta parte es la encargada de enviar todas las órdenes al sistema. Se encuentra conformada por la *unidad de control*, la cual genera las líneas de control y direcciones para el acceso de la mayor parte de los dispositivos que se encuentran conectados a la CPU. También posee lo que se conoce como *unidad operativa*, esta unidad realiza las operaciones lógicas y aritméticas para llevar a cabo la ejecución del programa de acuerdo a lo establecido por el usuario programador.

- **Sistemas de memorias**

La memoria del PLC es donde se guarda toda la información que se necesita para la ejecución del programa y funcionamiento del sistema. Las memorias internas de este autómata pueden contener *datos del proceso* las cuales son: entradas y salidas del PLC, datos alfanuméricos o constantes, variables internas. También puede contar con *datos de control* los cuales hacen referencia a las instrucciones del programador y configuraciones del PLC.

- **Interfaces de entradas y salida**

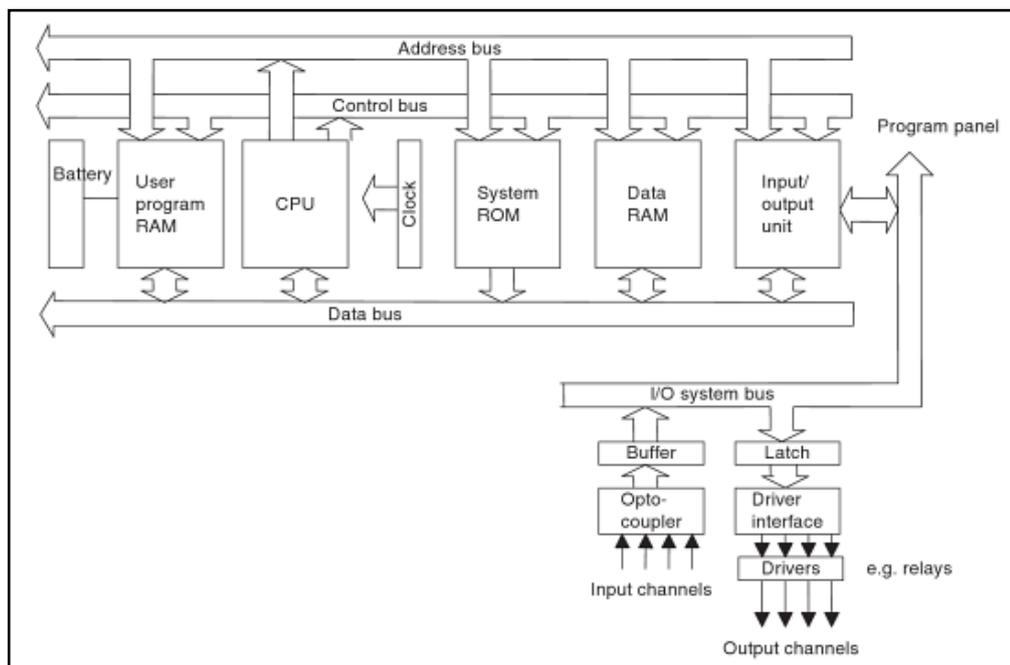
Mediante las interfaces de entrada y salida, se puede realizar la conexión entre el proceso y la CPU. Los *módulos de entrada* se encargan de amplificar, filtrar y codificar la señal proveniente de los sensores para que sea procesada adecuadamente por la CPU. Los *módulos de salida* tienen como función decodificar, amplificar y adaptar la señal de salida para que pueda ser atendida por los actuadores del sistema o proceso.

- **Fuente de alimentación**

La fuente de alimentación provee los voltajes necesarios para el funcionamiento de los circuitos que conforman el sistema de control. Existen tres sistemas de alimentación:

- Alimentación del PLC (CPU, memorias, interfaces, etc.)
- Alimentación para las entradas al autómata (sensores)
- Alimentación de salidas (cargas y actuadores)

En ciertos PLC's se proporciona un voltaje de alimentación de 24-48 voltios para los sensores y actuadores que conforman el proceso.



**Figura 3.4:** Controlador lógico programable (PLC)

**Fuente:** Bolton, W. (2009). *Programmable logic controllers*

### 3.3.3 Sistemas de PLC

Para el diseño mecánico de los sistemas de PLC, según Bolton, W. (2009), existen dos clases. El primero consiste de una sola caja denominada *PLC compacto* la cual es empleada usualmente para PLC's pequeños, comúnmente de 6 a 24 entradas y de 4 a 16 salidas con una memoria disponible para 1000 instrucciones, se muestra un ejemplo en la figura 3.5.1.



**Figura 3.5.1:** PLC compacto Siemens S7-1217C

**Fuente:** [w3.siemens.com/mcms/automation/en/pc-based-automation/Pages/Default.aspx](http://w3.siemens.com/mcms/automation/en/pc-based-automation/Pages/Default.aspx)

El otro tipo de diseño mecánico es el *PLC modular*, estos tienen más números de entradas y salidas. Consiste de módulos separados por fuente de alimentación, como se indica en la figura 3.5.2, unidad de proceso módulos de entradas o salidas, etc., las cuales son montadas en riel DIN en los gabinetes metálicos. Los módulos que se requieren para una aplicación en particular son decididos por el usuario. Todos los módulos que se puedan acoplar deben hacerlo en *racks*, lo cual traducido significa estante, el cual funciona como el portador de todos los módulos que irán conectados al CPU. A diferencia de los PLC compactos, en los modulares se puede realizar expansiones en el número de entradas y salidas (discretas y analógicas) o expansiones incluso en la memoria de la CPU.



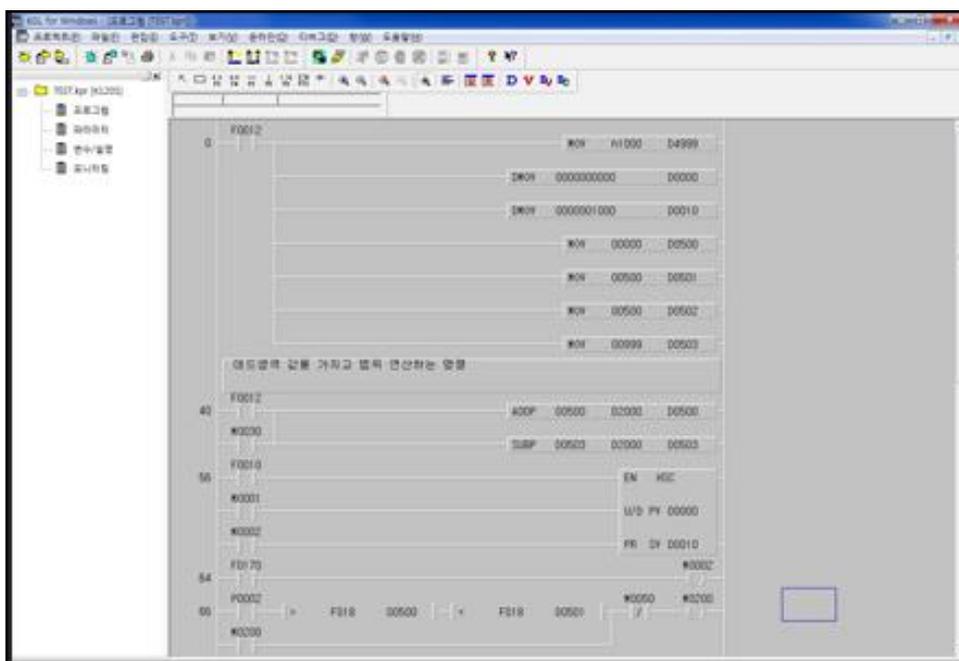
**Figura 3.5.2:** PLC modular Siemens S7-1200

**Fuente:** [w3.siemens.com/mcms/automation/en/pc-based-automation/Pages/Default.aspx](http://w3.siemens.com/mcms/automation/en/pc-based-automation/Pages/Default.aspx)

### 3.3.4 Softwares de programación para PLC's

Los fabricantes de PLC's, tienen desarrollado un software para sus propios autómatas programables. Según lo que indica Bolton, W, (2009), por ejemplo, Mitsubishi tiene a su software MELSOFT, Siemens ha desarrollado su software SIMATIC STEP 7, LG crea su propio software para programación de PLC's KGLWIN. Todos estos softwares deben cumplir con el estándar IEC, es decir, deben soportar los métodos de programación que se especifican, deben tener una guía para la instalación, programación y mantenimiento del PLC, etc.

Cada software tiene bloques de funciones, instrucciones algunos softwares incluyen la opción de simulación fuera de línea, es decir, sin conectar el PLC. Las características y funciones de cada software varían de acuerdo al fabricante o modelo de PLC. En la figura 3.6 se muestra un ejemplo de un software de programación de PLC's.



**Figura 3.6:** Software KGLWIN para programación de PLC marca LS

**Fuente:** <http://www.lsis.com/product/product.aspx?dl=A03&c=P00148>

### 3.4 Sistema SCADA

Según Rodríguez, A. (2009. Pág. 30), “damos el nombre de Scada (Control con Supervisión y adquisición de Datos) a cualquier software que permita el acceso a datos remotos de un proceso y permita, utilizando las herramientas de comunicación necesarias en cada caso, el control del mismo.” Rodríguez, A. (2009), destaca los objetivos del sistema scada:

- **Economía:** ver que ocurre en una instalación desde la oficina es más fácil que enviar a un operario que realice la tarea en sitio.

- **Accesibilidad:** se pueden modificar parámetros, dar órdenes, etc., a un clic de ratón encima de la mesa de trabajo.
- **Mantenimiento:** a través de la adquisición de datos se pueden obtener los datos de un proceso, almacenarlos y presentarlos de manera inteligible y así conocer fechas de revisión, fallas de máquinas, etc.
- **Ergonomía:** El sistema scada procura que la relación entre el usuario y el proceso sea lo más amigable posible. Las prestaciones gráficas que tienen los modernos ordenadores pretenden sustituir paneles con muchos cables y pilotos.
- **Gestión:** Todos los datos recopilados pueden ser información que puede ser analizada a través de herramientas estadísticas, gráficas, etc.
- **Flexibilidad:** si se desea hacer alguna modificación al sistema con respecto a sus características de visualización, esto no va a significar un gasto de tiempo ni medios, ya que las modificaciones no son físicas que requieren cableado.
- **Conectividad:** Actualmente, los protocolos de comunicación permiten la interconexión de sistemas de diferentes fabricantes y así evitar lagunas informativas las cuales pueden causar fallas en el funcionamiento o en la seguridad.

### 3.4.1 Prestaciones

Rodríguez, A. (2009), señala las funciones y utilidades para establecer una clara comunicación entre el proceso y el operador.

- **Monitorización:** se refiere a la representación de datos de una planta de proceso en tiempo real. Estos datos deben ser fáciles de interpretar.
- **La supervisión:** Esta función en conjunto con la función de monitoreo, permiten

realizar ajustes evitando la continua supervisión humana.

- **La adquisición de datos de los procesos en observación:** registrar y almacenar datos del proceso en archivos. Con esta herramienta, se puede lograr una mejor corrección del proceso y una evaluación a posterioridad.
- **La visualización de los estados de las señales del sistema (alarmas y eventos):** reconocer y reportar eventos excepcionales no previstos que pueden provocar perturbaciones. Las alarmas se basan en límites establecidos por el programador.
- **El mando:** Se escriben datos sobre los elementos de control, los operadores pueden cambiar instrucciones u datos claves del proceso.
- **Grabación de acciones o recetas:** Rodríguez. A. (2009, pág. 22), “Un sistema de recetas permite configurar toda una planta de producción ejecutando un solo comando”, las combinaciones de variables en algunos procesos suelen ser siempre las mismas.
- **Garantizar la seguridad de los datos:** debe existir la suficiente protección contra influencias no deseadas (falla de programación, intrusos, etc.) tanto en el envío como en la recepción de datos.
- **Garantizar la seguridad en los accesos:** esto significa realiza restricciones a zonas no autorizadas a usuarios que puedan comprometer al funcionamiento del sistema.
- **Posibilidad de programación numérica:** se pueden realizar cálculos aritméticos a través de lenguajes de alto nivel, C y Visual Basic.

### 3.4.2 Interfaz hombre – máquina (HMI)

Un sistema scada, ya sea de cualquier grado de complejidad, se muestra ante el

usuario bajo el nombre de HMI.

De acuerdo a Rodríguez, A. (2009), HMI, por sus siglas en inglés, Human machine interface (Interfaz hombre- máquina) son dispositivos cuya tarea es la de mantener informado al operador de los sucesos del proceso a través del uso de gráficos diseñados por el usuario. La interface HMI actúa como el punto de contacto entre la persona y la tecnología.

Para el diseño de estas representaciones gráficas, existen softwares que cada fabricante de dispositivos desarrolla para su diseño. Por ejemplo, LS Industrial Systems, tiene sus propias pantallas HMI de programación (XGT) con su respectivo Software (PANEL EDITOR). A continuación se muestran en la siguiente figura dispositivos de este fabricante.



**Figura 3.7:** Dispositivos HMI LS Industrial Systems

**Fuente:** <http://www.lsis.com/product/depth2.aspx?d1=A03&d2=004&d3=001>

### 3.5 Variadores de frecuencia

Aranda Usón, Zalbaza Bribián, Díaz de Garaio, & Llera Sastresa (2010, pág 148),  
*“Los variadores de velocidad son dispositivos que permiten variar la velocidad del eje según la carga del motor reduciendo el consumo de energía”*

Según indica uno de los fabricantes de variadores de frecuencia, Schneider-Electric, en uno de sus recursos técnicos, los variadores se utilizan cuando la aplicación necesite:

- Dominio de par y la velocidad
- Regulación sin golpes mecánicos
- Movimientos complejos
- Mecánica delicada

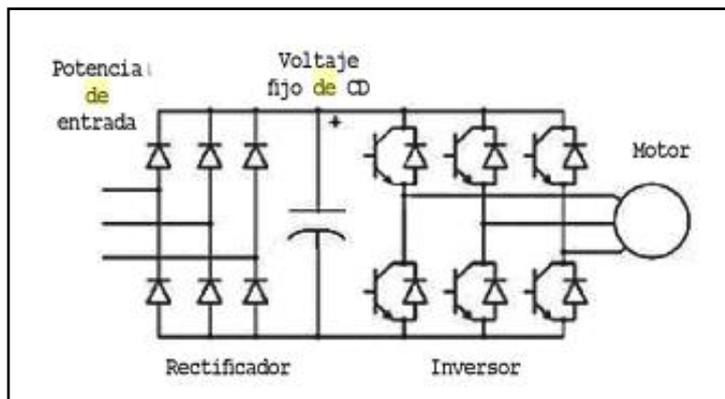
### **3.5.1 Funcionamiento**

Para el estudio del funcionamiento de los variadores de frecuencia, Tedesco, C. (2011) indica que se encuentra constituido por 4 etapas.

- Etapa rectificadora: convierte la tensión alterna a continua mediante el uso de rectificadores y tiristores.
- Etapa intermedia: la tensión rectificada se filtra y suaviza reduciendo la emisión de armónicos.
- Etapa inversora: a través de la *generación de pulsos PWM*, el cual se trata de modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica que varía la velocidad de un motor, convierte la tensión y frecuencia variable.
- Etapa de control: para la generación de los pulsos variables de tensión y frecuencia se controlan los IGBT.

Tedesco, C. (2011) señala que la mayoría de los variadores de frecuencia, utilizan modulación de ancho de pulsos (PWM), en la figura 3.8 se puede observar que en la etapa rectificadora emplean puentes de diodos rectificadores, y en la etapa intermedia se usan condensadores y bobinas para mejorar el factor de potencia y

disminuir las armónicas.



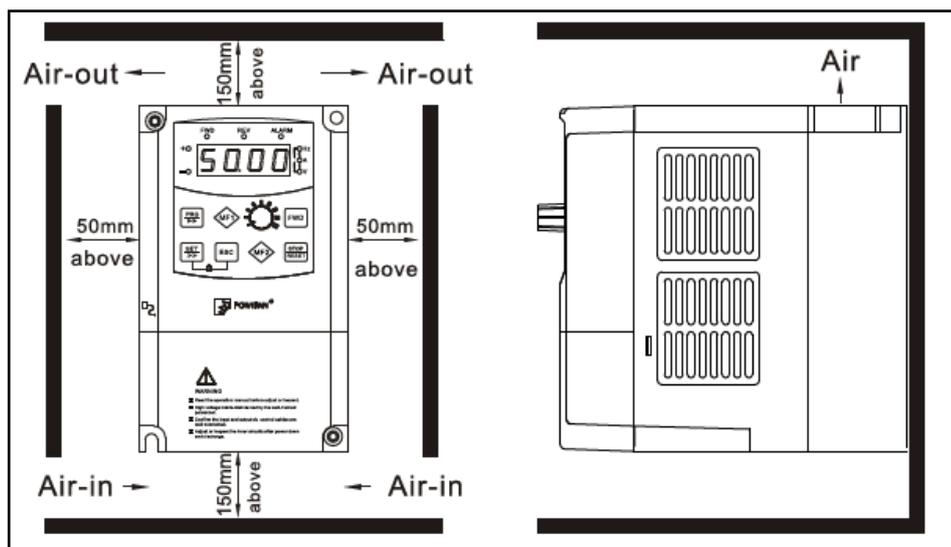
**Figura 3.8:** Diagrama electrónico de variador de frecuencia con PWM  
**Fuente:** Tedesco, C. (2011) Ascensores electrónicos y variadores de velocidad.

### 3.5.2 Instalación

Para el uso de variadores de frecuencia, cada fabricante indica condiciones de uso y modo de instalación. Para este proyecto se empleará el variador de frecuencia POWTRAN, este fabricante de variadores de frecuencia y otros productos, según lo expuesto en su manual de usuario (ver anexo VI), recomienda las siguientes condiciones de uso:

- Temperatura ambiente de  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $40^{\circ}\text{C}$ .
- Evitar interferencia electromagnética y mantener el equipo lejos de fuentes de interferencia.
- Prevenir que entre al equipo agua, vapor, polvo, o residuos de metal.
- Prevenir que entre al equipo gases corrosivos, sal, aceite.
- Evitar vibraciones.
- Evitar altas temperaturas y humedad.
- Se prohíbe el uso del equipo en ambientes peligrosos donde exista combustible, gases o líquidos explosivos.

Adicional, este fabricante indica en su manual de usuario que la instalación del variador de frecuencia debe ser verticalmente con una adecuada ventilación, dejando un espacio suficiente entre los objetos adyacentes o paredes que rodean al equipo tal como se señala en la figura 3.9.



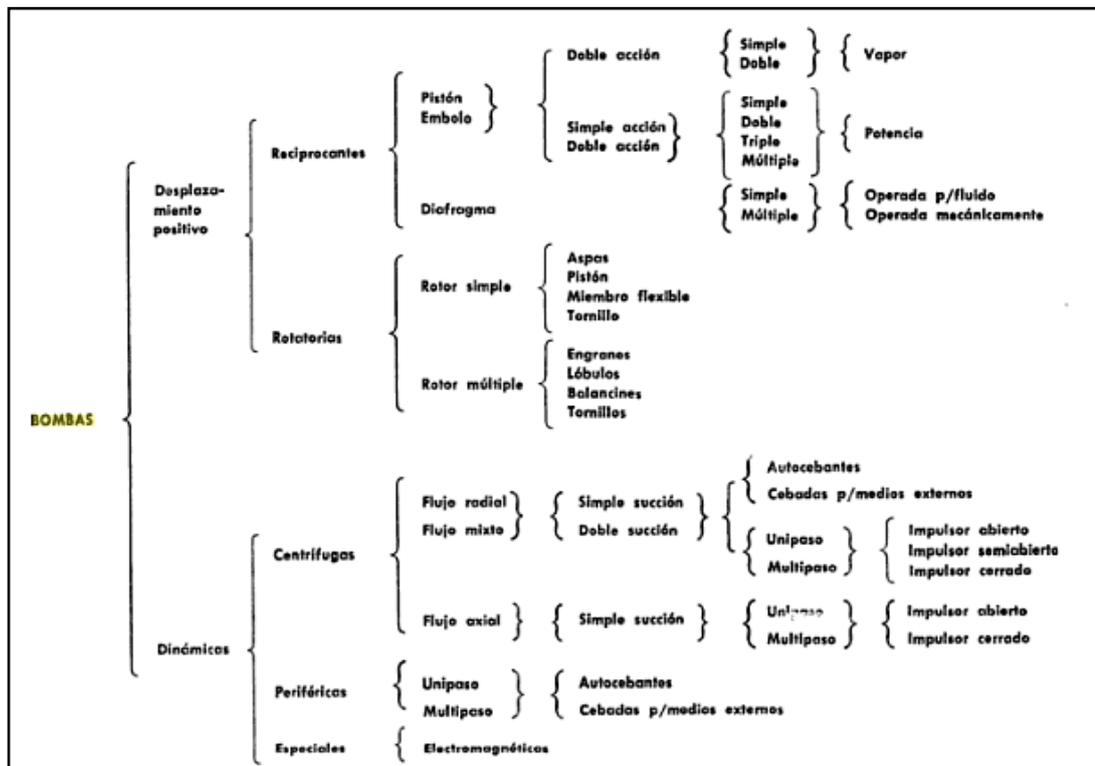
**Figura 3.9:** Espacio entre equipos o paredes con respecto al variador de frecuencia  
**Fuente:** Manual de usuario de variador de frecuencia POWTRAN PI8600

### 3.6 Actuadores para control de nivel

Para llevar a cabo este proyecto, se utilizarán los siguientes actuadores para el control de nivel de líquido que se desea obtener.

#### 3.6.1 Bomba

De acuerdo a Viejo Zubicaray & Álvarez Fernández (2004), una bomba es un elemento que se encarga de recibir energía mecánica y convertirla en energía que un fluido adquiere ya sea en forma de presión, de posición, o también de velocidad. Actualmente, existen muchos tipos de bombas, en la figura 3.10 se puede observar una adecuada clasificación realizada de acuerdo al libro “*Hydraulic Institute*”.



**Figura 3.10:** Clasificación de Bombas

**Fuente:** Zubicaray, Manuel. (2004) *Bombas-Teoría, Diseño y Aplicaciones*.

Dentro de esta clasificación se encuentra la bomba que se utilizará para el desarrollo de este proyecto: las bombas centrífugas.

De acuerdo a la Universidad de Sevilla (2007), las bombas centrífugas mueven entre dos niveles un volumen de líquido. Sus elementos más importantes son:

- **Impulsor:** formado por paletas que se encuentran unidas a un eje la cual recibe energía externa. Es un elemento móvil de la bomba.
- **Difusor:** Al contrario del impulsor, está formado por paletas fijas. Si la sección de la carcasa de la bomba aumenta, la velocidad del agua disminuye, así se transforma la energía cinética en presión contribuyendo al rendimiento de la bomba. Tanto difusor como impulsor se encuentran encerrados en la carcasa o cuerpo de la bomba.

- Eje: Consiste en una barra de sección circular que se encuentra fija sobre el impulsor y se encarga de transmitir la fuerza del elemento motor.

### 3.6.2 Válvulas solenoides

Hyde, Regué, & Cuspinera, (1997, pág. 86), “*La válvula solenoide es la unión entre el control electrónico/eléctrico y la parte neumática que realiza el trabajo.*”

Hyde, Regué, & Cuspinera (1997), añade que, las válvulas solenoides son empleadas para cortar o permitir el paso de un fluido, esta orden es dada ya sea cuando se energiza o des energiza su bobina. Existen varios tipos de válvulas solenoides las cuales difieren de sus vías y posiciones, es decir de su número de puertos de entrada y salida. Entre ellas, se encuentran las válvulas de 2 vías, tienen un puerto de entrada y un puerto de salida.

Las válvulas solenoides de 2 vías, cuando su bobina se encuentra des energizada, el asiento de la válvula está cerrado debido a que la fuerza del resorte del núcleo es mayor ya que no existe fuerza electromagnética. En cambio, cuando se energiza la bobina, el núcleo y asiento se abren ya que la fuerza electromagnética es mayor que la fuerza del resorte del núcleo.

Estas válvulas pueden ser de diferentes tamaños, el tamaño de su entrada y salida es el que difiere. De acuerdo Emerson Process (2009), fabricante de válvulas y reguladores Fisher® para líquido, expone en su recurso técnico *Valves Sizing Calculations*, como dimensionar una válvula, este dimensionamiento involucra variables como caudal, diferencial de presión y densidad del fluido que se va a operar

y se combinan mediante la siguiente fórmula:

$$Cv = Q \sqrt{\frac{G}{\Delta P}} \quad [2]$$

Donde:

- $Q$  es el caudal del fluido en galones por minuto
- $\Delta P$  es la diferencia de presión entre la presión de entrada y presión de salida de la válvula. (PSI)
- $G$  es la densidad del fluido que va a trabajar con la válvula ( $\text{g/cm}^3$ )
- $Cv$  factor de caudal: Es el número de galones U.S por minuto que pasan por una válvula con una presión de 1 psi. Se trata de una constante matemática. Si existe una presión diferente a 1 psi, se usa la expresión [2].

De esta manera se puede dimensionar una válvula, ya que cada válvula tiene su  $Cv$ .

## **PARTE II APORTACIONES**

### **CAPÍTULO 4 DISEÑO DE PANEL DIDÁCTICO PARA CONTROL DE NIVEL**

#### **6.1 Fases de diseño**

Para el estudio del control y medición de nivel de líquidos, el diseño del módulo didáctico se divide de la siguiente manera:

##### **6.1.1 Diseño de tanques**

El módulo consta de dos tanques de diferentes capacidades, uno de ellos actuará como fuente de agua (tanque de succión) y el otro tanque será el tanque principal en donde se realiza el control de nivel (tanque de descarga).

Para determinar las capacidades de los tanques y sus dimensiones, se deben tomar en cuenta los elementos que se instalarán en cada uno de ellos puesto que estos ocupan un cierto espacio y existen sugerencias de montaje por parte de los fabricantes de dichos instrumentos. Además, se proponen tiempos de llenado y vaciado para lo cual la selección de la bomba y válvula de llenado ayudará al dimensionamiento de los tanques.

##### **6.1.1.1 Tanque de succión**

Este tanque debe ser el de mayor capacidad puesto que debe siempre estar con agua para proveerla al tanque de descarga. El llenado de este tanque será automático a través de una válvula solenoide. Debido a que se trata de un control para un módulo de carácter didáctico se espera que el llenado no tome mucho tiempo, se ha

seleccionado un tiempo de llenado de 2-3 minutos. Para determinar la capacidad y dimensiones del tanque se debe conocer las dimensiones y montajes de los instrumentos que serán instalados y el caudal que maneja la válvula solenoide para el llenado. Los sensores de nivel a instalar y la válvula solenoide que se emplea se exponen en las secciones 3.1.2.1 y 3.1.3.1 respectivamente.

El tanque de succión se ubica en la parte inferior del módulo didáctico y consta de dos interruptores de nivel tipo flotador (nivel alto y nivel bajo) instalados de manera horizontal en posición normalmente abierta. El montaje de estos dos interruptores de nivel van a ocupar una altura en el tanque de 11cm, ya que cada interruptor ocupa una altura de 5.50 cm debido a la longitud del brazo móvil (ver figura 4.3). El interruptor de nivel bajo, será instalado desde el fondo del tanque a 10 cm., y el interruptor de nivel alto, será instalado a 10cm. desde la parte superior del tanque. La altura del tanque de succión será de 40 cm., 20 cm. son ocupados para el montaje de los interruptores y los 20 cm. restantes son para realizar el control y medición del nivel de líquido. El ancho y profundidad del tanque, son 45cm, estos valores fueron determinados en base a las dimensiones del tanque de descarga que se indican y explican a continuación.

#### **6.1.1.2 Tanque de descarga**

El tanque de descarga debe ser de menor capacidad al tanque de succión y se encuentra ubicado en la parte superior del módulo didáctico. Este tanque se va a llenar a través de una bomba. Al igual que en el tanque de succión, se espera que el tiempo de llenado sea corto, al llenar totalmente el tanque se espera un llenado de 1-2 minutos.

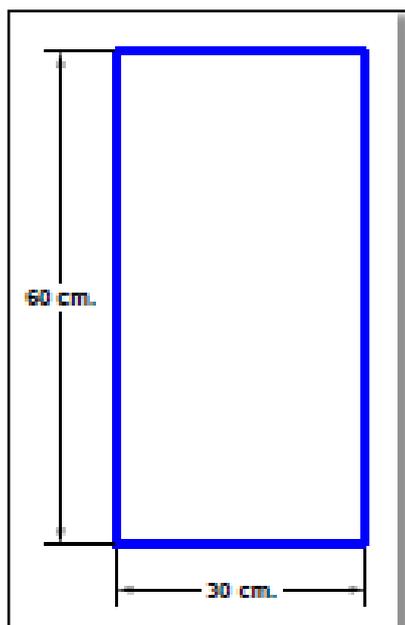
Para el tanque de descarga, se emplea sensores de nivel continuo y on-off y para su llenado una bomba trifásica. Las características y dimensionamientos de estos elementos se encuentran en las secciones 3.1.2 y 3.1.3.2 respectivamente.

Los sensores que se implementan en este tanque son un interruptor de nivel tipo flotador y el sensor de nivel ultrasónico. El montaje del interruptor de nivel ocupan una altura de 5.5 cm., y es instalado al igual que en el tanque de succión, es decir, este interruptor, será instalado a 10 cm. desde el fondo del tanque. Debido a que en este tanque se realiza el control de nivel continuo, se necesita una mayor altura para el estudio del comportamiento del nivel del líquido, de esta manera se tiene la oportunidad de visualizar claramente los cambios de nivel en el tanque. Se ha escogido una altura de 60 cm.

Se conoce que el sensor de nivel tipo ultrasónico, debe ser instalado mínimo a 2" de la pared lateral del tanque. El ancho del sensor ultrasónico es de 2" según la figura 6.4, dando una distancia horizontal de 4" desde la pared lateral del tanque incluyendo al sensor y su distancia de montaje mínima. A esta distancia horizontal, se añade la longitud horizontal del interruptor de nivel al ser instalado, mediante la figura 6.2 se obtiene que, esta longitud horizontal es de 7,8 cm, se considera la distancia desde la tuerca del sensor (sin incluirla) hasta el final del brazo móvil. Por lo que, el ancho para este tanque es de 30 cm. Por esta razón, para el tanque de succión se determina un mayor ancho (45 cm.) puesto que se desea que este tanque sea de mayor capacidad al tanque de descarga, por la misma causa, las profundidades en ambos tanques varían, siendo así la profundidad del tanque de descarga menor al del tanque de succión, el tanque de succión y de descarga tienen una profundidad de

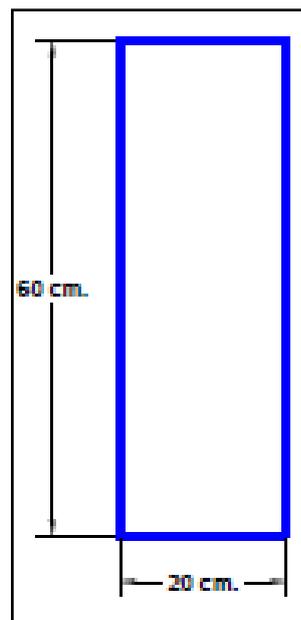
20cm. y 45cm. respectivamente.

Las dimensiones y capacidades de cada uno de los tanques se exponen a continuación.

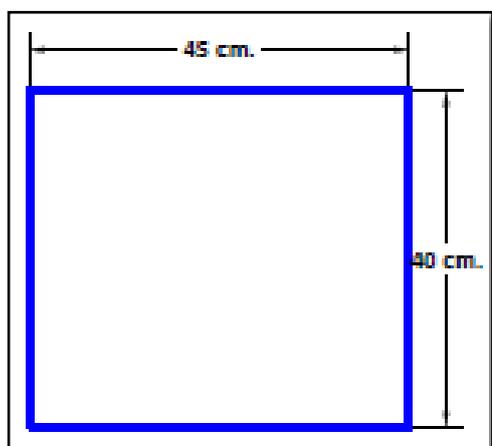


**Figura 4.1.1:** Vista frontal de tanque de descarga

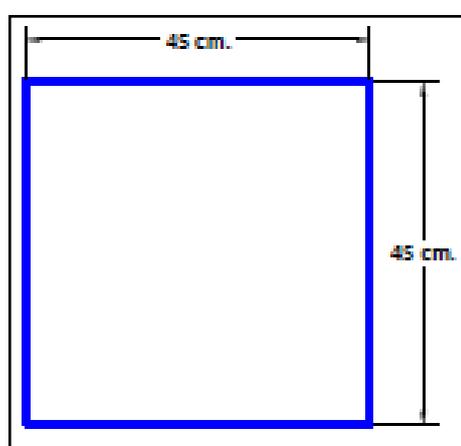
Elaborador por: Ana Belén Ojeda



**Figura 4.1.2:** Vista lateral de tanque de descarga.



**Figura 4.1.3:** Vista frontal de tanque de succión  
Elaborador por: Ana Belén Ojeda



**Figura 4.1.4:** Vista lateral de tanque de succión

**Tabla 4.1:** Capacidades y dimensiones de tanques para elaboración del panel didáctico

CAPACIDADES DE TANQUES				
Tanque	Dimensiones (cm)		Capacidad máxima	Capacidad nominal
TANQUE DE SUCCIÓN	Altura	40	81 litros	60 litros*
	Ancho	45		
	Profundidad	45		
TANQUE DE DESCARGA	Altura	60	36 litros	24 litros**
	Ancho	30		
	Profundidad	20		

\*La altura cambia a 30cm., debido a la altura de medición de nivel máxima en el tanque.

\*\*La altura cambia a 40cm., debido a la altura de medición de nivel máxima en el tanque. **Elaborado por:** Ana Belén Ojeda.

## 6.1.2 Sensores de nivel

### 6.1.2.1 Interruptor de nivel tipo flotador

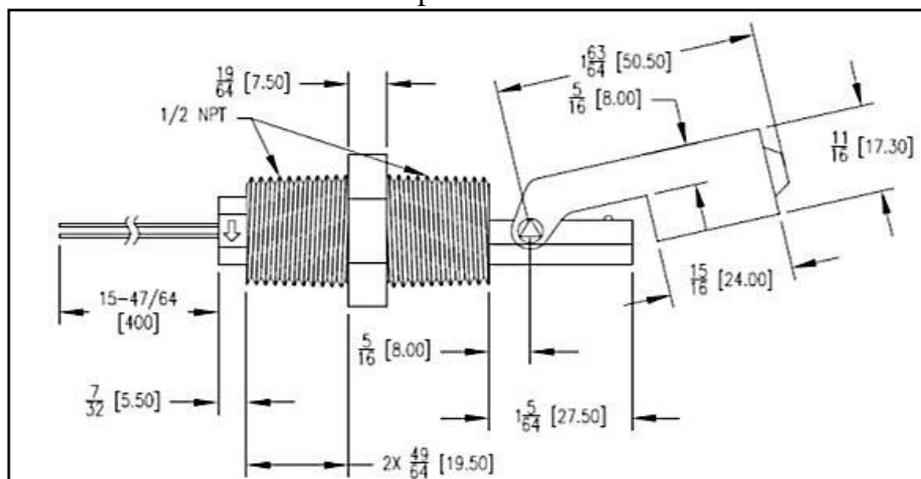
Para este panel didáctico se implementan en total tres interruptores de nivel tipo flotador, ver figura 4.2. Dos de ellos en el tanque de succión (nivel bajo y alto), y otro interruptor de nivel en el tanque de descarga (nivel alto). Ver ficha técnica en anexo I.



**Figura 4.2:** Interruptor de nivel tipo flotador para elaboración del panel didáctico

**Fuente:** [http://www.dwyer-inst.com/Products/Product.cfm?Group\\_ID=44](http://www.dwyer-inst.com/Products/Product.cfm?Group_ID=44)

Las dimensiones de estos interruptores son:



**Figura 4.3:** Dimensiones del interruptor de nivel flotador para elaboración del panel didáctico  
**Fuente:** [http://www.dwyer-inst.com/Products/Product.cfm?Group\\_ID=44](http://www.dwyer-inst.com/Products/Product.cfm?Group_ID=44)

Estos interruptores son instalados horizontalmente en posición normalmente abierta, es decir que, el brazo móvil queda perpendicular al cuerpo del interruptor.

### 6.1.2.2 Sensor de nivel ultrasónico

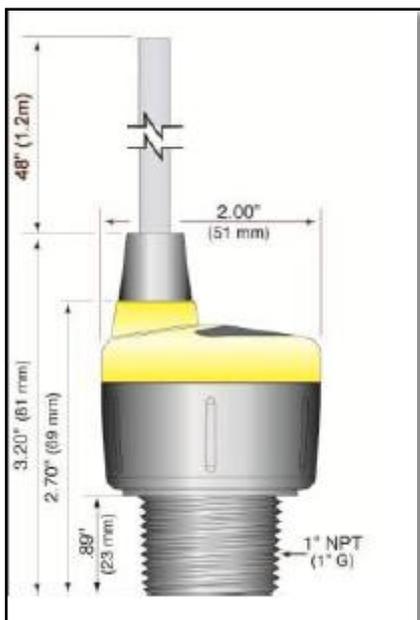
Para la medición continua del nivel de líquido en el tanque, se cuenta con un sensor de nivel tipo ultrasónico. Su señal de salida es de 4-20 mA. Se selecciona este sensor por su pequeño rango de altura de medición de apenas 1.25 metros, es uno de los rangos de medición más pequeños que se pueden encontrar en el mercado en la actualidad. El montaje del sensor ultrasónico se realiza en la parte superior del tanque y debe ser perpendicular a la superficie del líquido.

FlowLine, fabricante de sensores y transmisores de nivel, indica en el manual de usuario (ver anexo II), que este modelo de sensor (figura 4.4) de nivel tipo ultrasónico debe ser montado a 2" de la pared del tanque, además, no deben haber obstrucciones para el recorrido de la onda ultrasónica desde el sensor hasta la superficie del líquido a medir.



**Figura 4.4:** Sensor de nivel ultrasónico para elaboración de panel didáctico

**Fuente:** [http://www.flowline.com/echopod\\_dl14.php#sthash.6wRcAFQC.dpbs](http://www.flowline.com/echopod_dl14.php#sthash.6wRcAFQC.dpbs)



**Figura 4.5:** Dimensiones de sensor de nivel ultrasónico para elaboración de panel didáctico

**Fuente:** <http://www.flowline.com/pdf/ultrasonic-level-measurement/echopod-dl14-ds.pdf>

### 6.1.3 Dimensionamiento de actuadores

#### 4.1.3.1 Válvulas

Para llenar el tanque de succión, se utiliza una válvula solenoide. Para el dimensionamiento de esta válvula, se calcula el  $C_v$  necesario (flujo) y de esta manera se conoce su diámetro.

De acuerdo a la tabla 4.1, la capacidad que se desea cubrir para el tanque de succión es de 60 litros (16 galones), dando como resultado, un caudal deseado de 5-8GPM. Se asume una presión en la línea de agua de 10 psi, esto cambia dependiendo del lugar de montaje, pero generalmente, las presiones de una línea de agua convencional pueden oscilar entre 10-15psi. Se obtiene un Cv de:

$$Cv = 5 \sqrt{\frac{1}{10}}$$

$$Cv = 1,58$$

Debido a que la presión asumida para este cálculo puede ser menor en la línea de agua, se sobre dimensiona el CV calculado, pero si la presión llegase a ser mayor al valor asumido, la válvula va a trabajar con un caudal mayor sin afectar al funcionamiento de este sistema.

Se selecciona una válvula solenoide con un CV de 1.9. Con este CV, se asegura el tiempo de llenado deseado para 60 litros para el tanque de succión, 2-3 minutos, pero siempre dependiendo de la presión en la línea de agua. Más adelante se indican las pruebas y resultados obtenidos de funcionamiento del proceso. Para información técnica de la válvula solenoide ver Anexo III.



**Figura 4.6:** Válvula solenoide para elaboración de panel didáctico

**Fuente:** [http://www.emc-machinery.com/ZS\\_series\\_zero\\_differential\\_valves.htm](http://www.emc-machinery.com/ZS_series_zero_differential_valves.htm)

Para la descarga desde el tanque superior (tanque de descarga) al tanque inferior (tanque de succión), se emplea una válvula de bola manual, ya que es una acertada manera de simular el consumo de agua puesto que el usuario puede variar la apertura de la válvula en el grado que desee. Esta válvula será instalada horizontalmente, su entrada se encontrará a 5cm de la parte inferior del tanque de descarga, y la salida directamente al tanque de succión.

#### **4.1.3.2 Bomba**

El líquido que se encuentra en el tanque de succión pasa al tanque de descarga. La succión del líquido, se realiza a 5cm. desde el fondo del tanque de succión. Y la descarga del líquido se implementa a 10cm. de la parte superior del tanque de descarga.

El tiempo de llenado del tanque de descarga, (capacidad nominal: 24 litros), se estima alrededor de 1-2 minutos, esto da como resultado un caudal de 12-24 litros/minuto aproximadamente. El caudal al que la bomba debe operar puede ser igual o mayor al caudal indicado.

Se ha encontrado, entre las bombas más pequeñas trifásicas que existen en el mercado, una de 0.5 HP de 35 litros/minuto trifásica a 220VAC. El sistema puede trabajar con esta bomba, cabe recalcar, que dicho caudal varía mediante el variador de frecuencia de acuerdo a la cantidad de agua necesaria para llegar al control de nivel deseado. Más adelante se muestran las pruebas realizadas a la bomba. Ver características de la bomba en anexo IV.

## 6.1.4 Selección de equipos de control

### 6.1.4.1 Controlador Lógico Programable (PLC)

Se tienen las siguientes entradas y salidas del sistema para la operación deseada:

**Tabla 4.2:** Entradas y salidas del PLC

ENTRADAS			SALIDAS		
Terminal	Sensor/virtual	Descripción	Terminal	Actuador	Descripción
P00	Pantalla	Marcha de bomba	P40	XV-1	Válvula de llenado
P01	Pantalla	Paro de bomba	P41	XV-2	Válvula de descarga
P02	Pantalla	Marcha descarga	P42	P-001	Bomba
P03	Pantalla	Marcha llenado	P43	Variador	Velocidad 2 /falla
P04	LS-1	Nivel bajo TK-001	P44	Luz piloto	Nivel alto TK-001 activado
P05	LS-2	Nivel alto TK-001	P45	Alarma	Falla del sistema
P06	LS-3	Nivel bajo TK-002			
P07	LS-4	Nivel alto TK-002			
P08	Pantalla	Falla de sistema			
P09	Pantalla	Paro descarga			
POA	Pantalla	Paro llenado			

**Elaborado por:** Ana Belén Ojeda A.

En la tabla 4.2 se observa que para llevar a cabo este sistema es necesario un PLC de 10 entradas y 6 salidas, y una entrada analógica para el transmisor de nivel. Se emplea un PLC marca LG, el fabricante proporciona un PLC de 12 entradas y 8 salidas (figura 4.7). Las características de este PLC (Master-K 80S) se exponen en el anexo V.



**Figura 4.7:** PLC Master-K 80S  
**Fuente:** Ana Belén Ojeda

#### 6.1.4.2 Módulo analógico

El módulo analógico que se utilizará tiene entrada y salida analógica de voltaje (0-10V) y de corriente (4-20mA). En este caso se usará la entrada y salida analógica de corriente. Las especificaciones técnicas se indican en el anexo VII.



**Figura 4.8:** Módulo analógico G7F-ADHA  
Fuente: Ana Belén Ojeda

#### 6.1.4.3 Variador de frecuencia

La bomba que el variador debe operar es de 0.5 HP a 220VAC salida trifásica. El variador seleccionado es de 1HP con un voltaje de trabajo de 220 VAC. Aunque todavía se pueden encontrar variadores de 0.5HP, se selecciona un variador de 1HP ya que son los más usuales en el mercado. Este variador incluye controlador PID, por lo que, facilita la programación para la variación de velocidad de la bomba.



**Figura 4.9:** Variador de frecuencia 1HP 220VAC  
Fuente: Ana Belén Ojeda



**Figura 4.10:** Placa de variador de frecuencia  
Fuente: Ana Belén Ojeda

Para el variador de frecuencia (VFD) se usarán los siguientes terminales expuesto en la tabla 4.3:

**Tabla 4.3:** Terminales del variador de frecuencia a utilizar

Terminales	Función
R/L1	Alimentación
R/L2	Alimentación
 	Conexión a tierra
U, V, W	Salida a la bomba
DI1	Marcha al variador
DI2	Paro al variador
COM	Común
AI2, GND	Entrada analógica

Elaborado por: Ana Belén Ojeda A.

Se hará uso de la entrada analógica del variador de frecuencia para poder cambiar la velocidad de la bomba mediante el control PID del variador. A través del terminal DI1 se da marcha al variador, haciendo que la bomba comience a funcionar, el terminal DI2, es para parar el variador, esto sucederá cuando el usuario seleccione la opción de falla, ya que en ese caso, la bomba seguirá operando sin seguir instrucciones del variador de frecuencia puesto que su entrada analógica no estará en funcionamiento. Ver en anexo IX los planos de fuerza y de control del sistema.

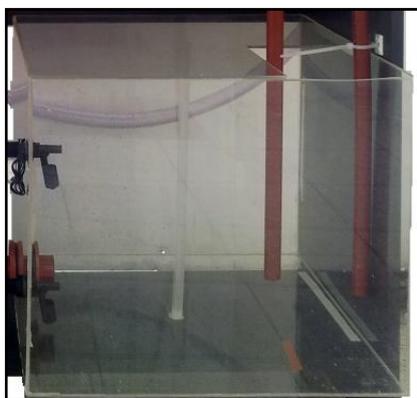
## CAPÍTULO 5 CONSTRUCCIÓN DE PANEL DIDÁCTICO PARA CONTROL DE NIVEL

### 5.1 Construcción de tanques

El material con el cual los tanques son construidos es acrílico ya que se desea observar la variación de nivel en ambos tanques. Luego de su construcción se realizaron pruebas de estanqueidad llenando los tanques y así comprobar que no existan fugas de agua y corroborar un correcto sellado de los tanques. Se muestran los tanques construido en las siguientes figuras.



**Figura 5.1:** *Tanque de descarga*  
**Fuente:** Ana Belén Ojeda



**Figura 5.2:** *Tanque de succión*  
**Fuente:** Ana Belén Ojeda

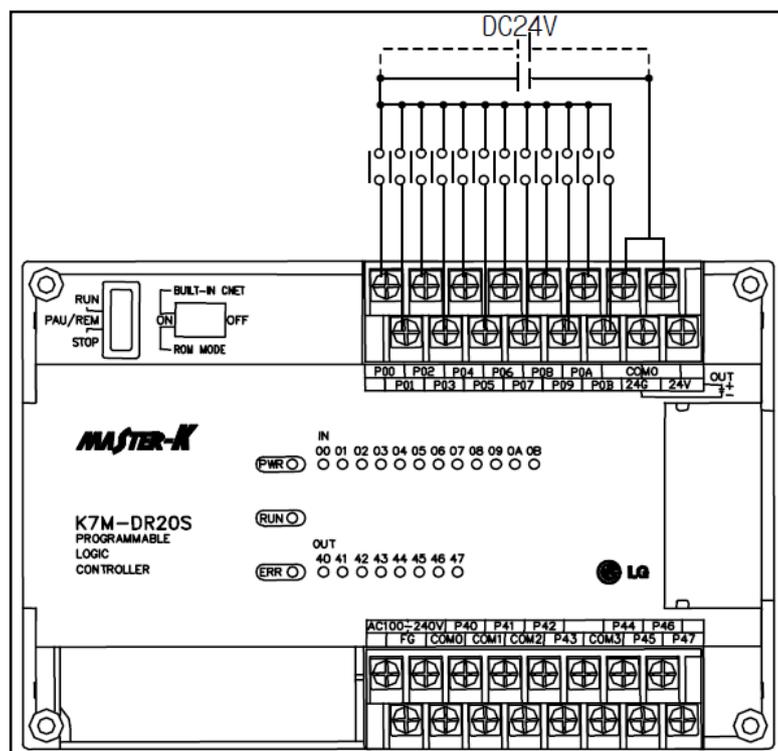
## 5.2 Conexión de equipos de control

### 5.2.1 Conexiones del PLC

El funcionamiento del sistema depende mucho de la conexión del PLC, es importante realizarla tomando en cuenta las recomendaciones del fabricante.

#### 5.2.1.1 Conexiones de entrada del PLC

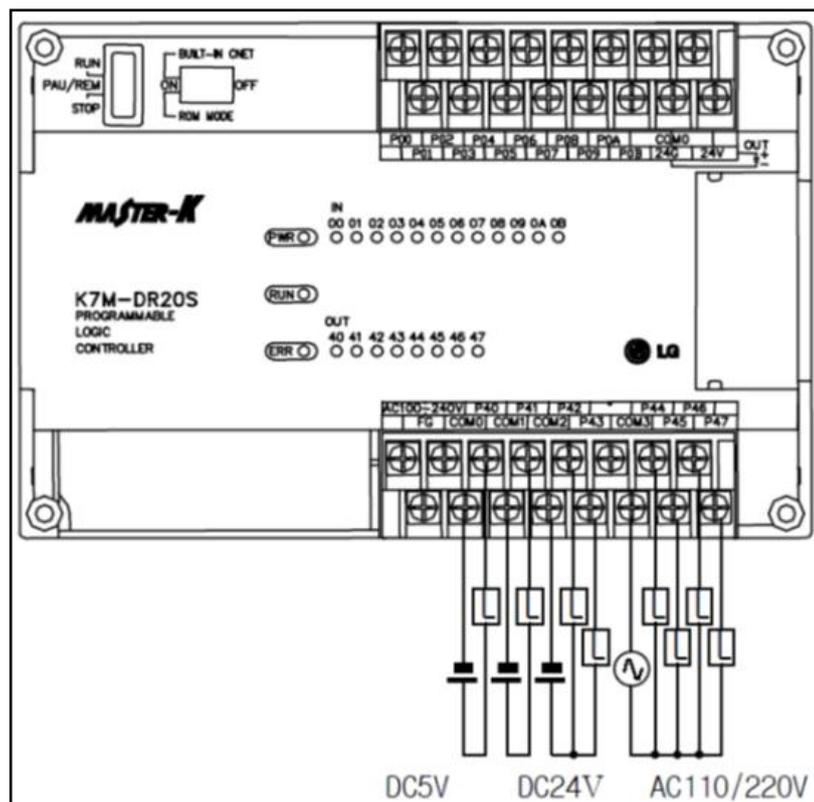
De acuerdo a la figura 5.3 tomada del manual de usuario del PLC, se tiene que las conexiones de entrada del PLC deben estar alimentadas de 24VDC, el positivo de la fuente va a las borneras de entrada y el negativo al terminal COM0 haciendo un puente entre los dos terminales de COM0. La fuente de 24VDC para las entradas va a ser tomadas desde el mismo PLC mediante los terminales 24G y 24V. En este caso, se realiza un puente más entre el terminal de 24G y COM0.



**Figura 5.3:** Conexión de entradas del PLC Master-K 80S  
Fuente: Manual de usuario PLC Master-K

### 5.2.1.2 Conexiones de salida del PLC

Este PLC provee a sus salidas con 4 comunes. Cada común trabaja con específicas salidas tal como se observa en la figura 5.4.



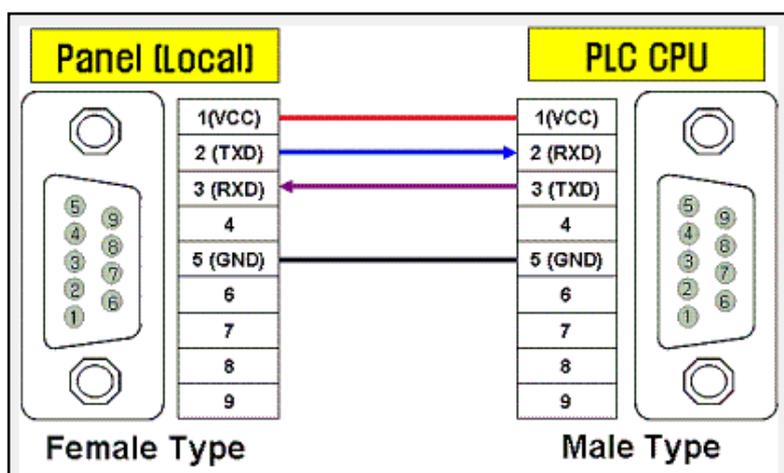
**Figura 5.4:** Conexión de salidas del PLC Master-K 80S  
**Fuente:** Manual de usuario PLC Master-K

Si se desea utilizar la salida P40, se la debe conectar al común COM0, para la salida P41 se utiliza el común COM1. El COM2 trabaja para las salidas P42 y P43, y para las salidas P44 a P47 se hace uso del COM3.

### 5.2.2 Conexión de la pantalla HMI

La pantalla HMI debe estar conectada con el PLC a través del cable

de comunicación. Este cable para este proyecto ha sido fabricado de acuerdo al diagrama de cableado que el fabricante indica tal como se observa en la figura 5.5.



**Figura 5.5:** Conexión entre PLC y HMI

**Fuente:** Software de programación HMI, Panel Editor.

## CAPÍTULO 6

### DESARROLLO DEL PROGRAMA PARA CONTROL DE NIVEL

#### 6.1 Programación del PLC

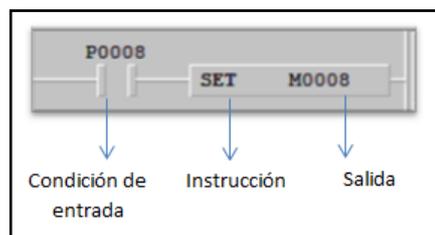
Para programar el PLC Master-K 80s, el fabricante consta de su propio software de programación, el software KGL WIN.

##### 6.1.2 Software de programación KGL WIN

Este software posee comandos de control que facilitan la programación tales como: temporizadores, contadores, set-reset, bobinas auxiliares, registros de datos, comparadores, etc. Para llevar a cabo este proceso, se usarán ciertos de ellos.

##### 6.1.2.1 Set - Reset

La salida de la instrucción SET se activa cuando su condición de entrada se activa también. Cuando la condición de entrada se desactiva, la salida de la instrucción SET permanece activada. Esta se desactivará solamente a través de la instrucción RST (RESET). Ver línea de programación en figura 6.1

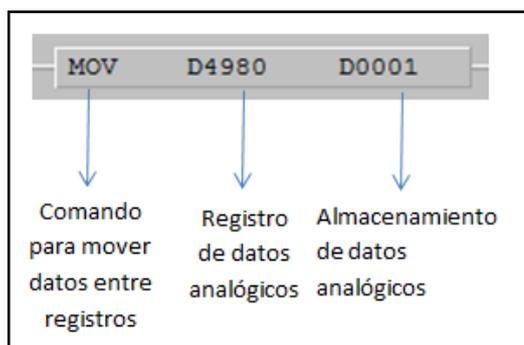


**Figura 6.1:** Instrucción set-reset en KGL WIN  
**Fuente:** Software de programación KGL WIN

La instrucción RST (reset), al contrario de la instrucción set, al activarse la condición de entrada la salida de la instrucción se desactiva. Cuando la condición de entrada se desactiva, la salida de la instrucción RST permanece desactivada. Esta se activará solamente a través de la instrucción SET.

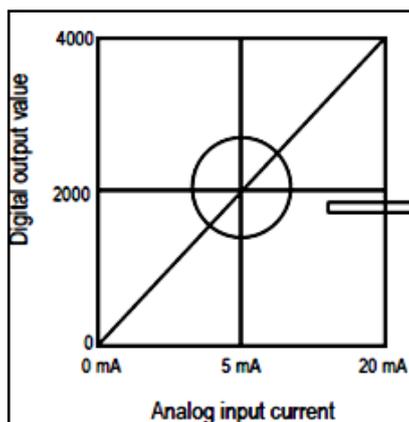
### 6.1.2.2 Registro de datos analógicos

Cuando el proceso consta de entradas analógicas, estos datos son almacenados para futuras operaciones. Para esta aplicación, los datos analógicos del transmisor de nivel se encuentran en D4980, los cuales se almacenarán en D0001 por lo que debemos mover estos datos de D4980 a D0001 a través del comando MOV.



**Figura 6.2:** Registros de datos analógicos  
**Fuente:** Software de programación KGL WIN

De acuerdo a la figura 6.3, el rango para las entradas analógicas varía de 0-4000 unidades, en el que la corriente cambia también de 0-20mA.



**Figura 6.3:** Características de conversión para entrada de corriente  
**Fuente:** Manual de usuario del software de programación KGL WIN

Adicional, se mostrará en la pantalla HMI la velocidad de la bomba en hercios (se explica programación más adelante), para lo cual se debe transformar del rango de 0-4000 unidades a rango de frecuencia (0-60 Hz.), por lo que, se debe buscar relación entre estas dos variables para realizar su conversión.

Para este caso, tenemos una función lineal al igual que la indicada en la figura 7.3, al aplicar la ecuación de la recta, se obtiene como resultado que:

$$\text{Frecuencia} = 0,015 \times \text{unidades} \quad [3]$$

Así por ejemplo, cuando el proceso indique 3000 unidades, la frecuencia es de 30Hz.

### **6.1.3 Programación del proceso**

Para el inicio y fin de sistema se utiliza la instrucción SET-RESET activando una marca (salida interna) la cual corresponde a M0008 y a su vez activando la salida P0041 que corresponde a la luz piloto que indica que el sistema está en marcha. El set para M0008 es la entrada P0008.

Para la marcha y paro del llenado para el tanque de succión, se toma en cuenta los sensores de nivel alto y bajo. La salida para la válvula solenoide, representada por P0040 con su marca M0001, se activa al dar marcha de llenado, esta entrada está dada por P0002. Y se desactiva, cuando el sensor de nivel alto se active (M0002) o se realice el paro de la válvula mediante P0003. Una vez desactivada la válvula solenoide debido al sensor de nivel alto se activa P0044, esta salida corresponde a una luz piloto que indica que la bomba está habilitada para su arranque.

La siguiente línea de programación es para el arranque a la bomba a través del variador de frecuencia. La salida que representa a la marcha del variador es P0042 con su marca M0004, la cual se activa al dar marcha al variador (P0000). Mientras el agua no alcance el nivel máximo del tanque de descarga (M0006), o mientras haya agua en el tanque de succión, es decir, el sensor de nivel bajo activo (M0003), se puede dar marcha al variador. Todas estas condiciones están programadas.

Si se desea activar la opción de falla, cuya salida desde el PLC es representada por P0043 con su marca M0005, se debe activar la entrada P0004 (inicio de falla). Adicional a esto, se activa la salida P0045 la cual corresponde a la señalización roja.

Las últimas líneas de programación tratan sobre el registro de los datos analógicos. Los datos analógicos, de acuerdo al manual de usuario, son almacenados en el registro D4980. Mediante la instrucción MOV (move), se mueven los datos de D4980 a un nuevo registro de datos (D0001), esto con el fin de utilizar el registro D0001 para la visualización del nivel en la pantalla.

Para finalizar el sistema se debe dar RESET a M0008 mediante la entrada P0009, finalmente, se indica la instrucción END para concluir esta programación. La programación del proceso se encuentra en el anexo VIII.

## **6.2 Programación de variador de frecuencia**

A continuación se indican en la tabla 6.1 los parámetros que fueron utilizados para la programación del variador de frecuencia para el funcionamiento del módulo didáctico de control de nivel para líquidos.

**Tabla 6.1:** *Parámetros de programación para variador de frecuencia*

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Opción de ajuste</b>	<b>Parámetro</b>
F03	Modo de frecuencia auxiliar	Modo de regulación PID	7
F04	Relación entre frecuencia principal y auxiliar	Solo F03	1
F05	Modo de control de marcha	Terminal de control	3
F09	Tiempo de aceleración	0-3200	5
F10	Tiempo de desaceleración	0-3200	1
P00	Configuración PID	Efecto negativo unidireccional	0
P02	Selección de señal de retroalimentación	Señal analógica AI2	2
P03	Selección de señal de ajuste	Teclado	4
P04	Señal de ajuste	0-100	50
P05	Tiempo integral	0,002 - 10	0,025
P06	Tiempo diferencial	0 - 10	0
P07	Ganancia proporcional	0 - 1000	302
P08	Periodo de prueba PID	0,002 - 10	0,01
P09	Límite de desviación	0-20	0
E00	Tipo de carga	Bomba	1
o36	Función de terminal de entrada DI1	FWD (marcha)	1
o37	Función de terminal	Modo JOG	14
F36	Frecuencia de JOG	Frecuencia de operación de JOG	60

**Fuente:** *Manual de usuario de variador de frecuencia POWTRAN PI8600*

### 6.3 Diseño y programación de pantallas HMI

Para el diseño y la programación de las pantallas HMI, se utilizó el programa Panel Editor, software para la pantalla que se utilizará, XP-10.

Para este proceso de control de nivel de líquidos, se procede a diseñar y programar seis pantallas diferentes para: pantalla inicial (figura 6.4.1) menú principal (figura 6.4.2), dar marcha al llenado del tanque de succión (figura 6.4.3), dar marcha y paro a la bomba (figura 6.4.4), seleccionar la opción de falla (figura 6.4.5), y visualizar nivel en el tanque de descarga y la velocidad de la bomba (figura 6.4.6).

El funcionamiento de los comandos para cada pantalla es explicado en el manual de usuario, ver anexo X.



Figura 6.4.1: Pantalla de inicio  
Elaborado por: Ana Belén Ojeda



Figura 6.4.2: Pantalla de menú  
Elaborado por: Ana Belén Ojeda



Figura 6.4.3: Pantalla para llenado  
Elaborado por: Ana Belén Ojeda

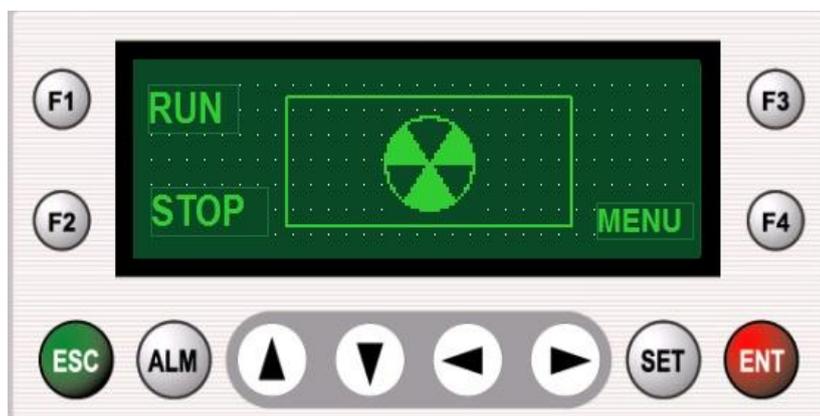


Figura 6.4.4: Pantalla para bomba  
Elaborado por: Ana Belén Ojeda

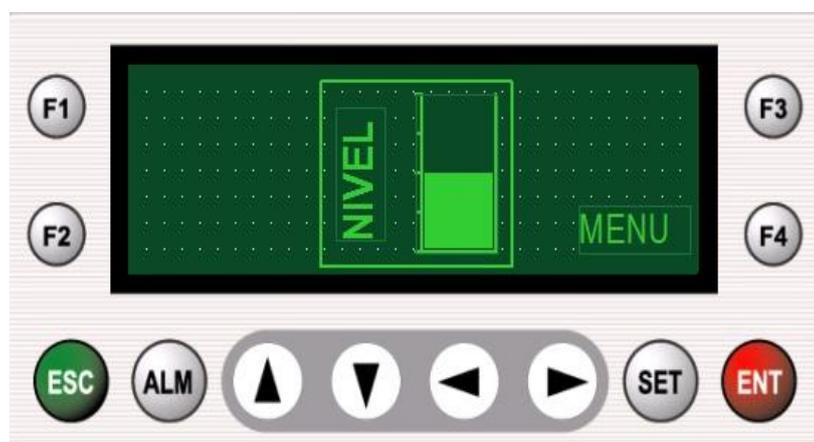


Figura 6.4.5: Pantalla para ver nivel  
Elaborado por: Ana Belén Ojeda



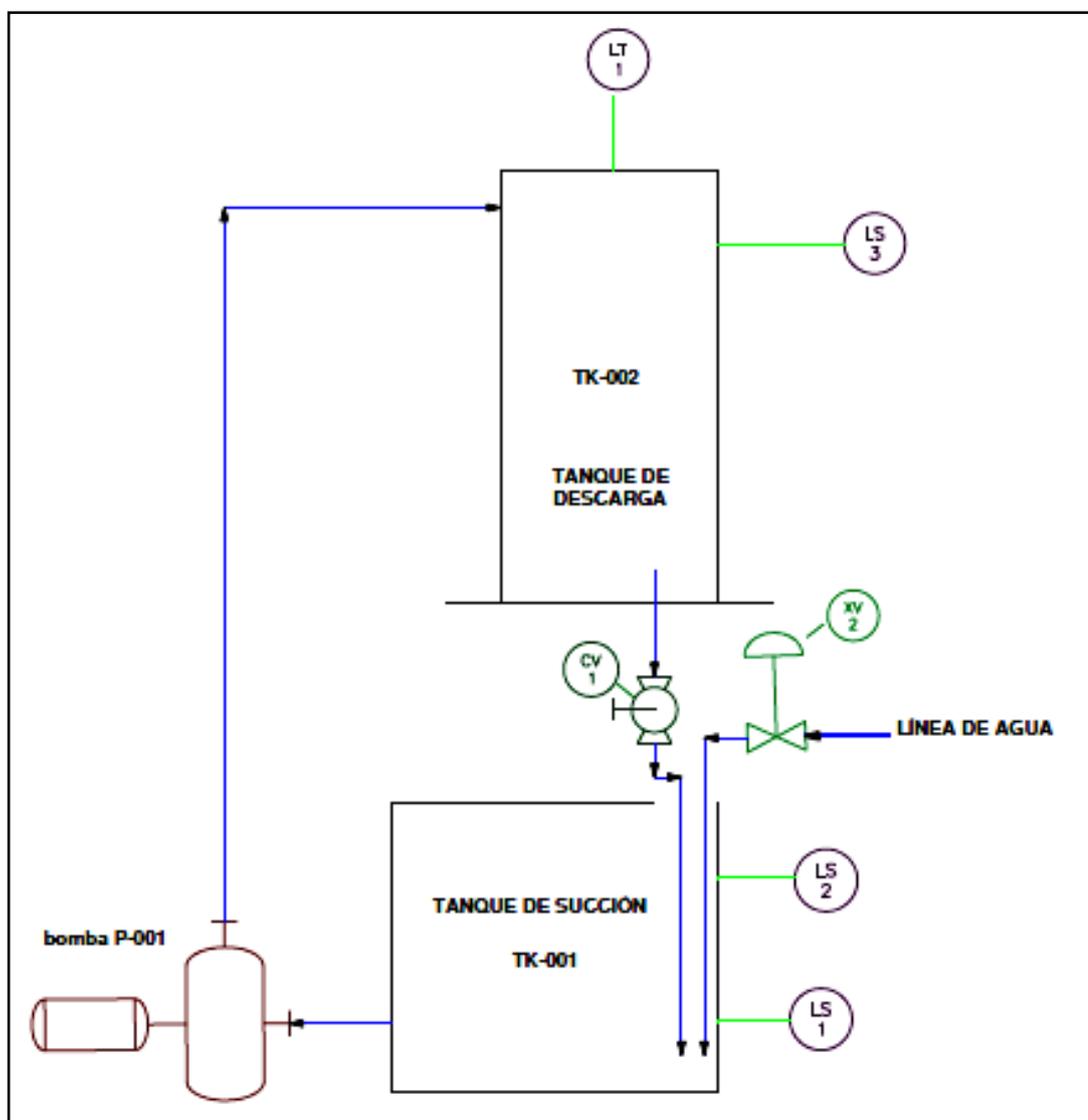
**Figura 6.4.6:** Pantalla para falla  
Elaborado por: Ana Belén Ojeda

## CAPÍTULO 7

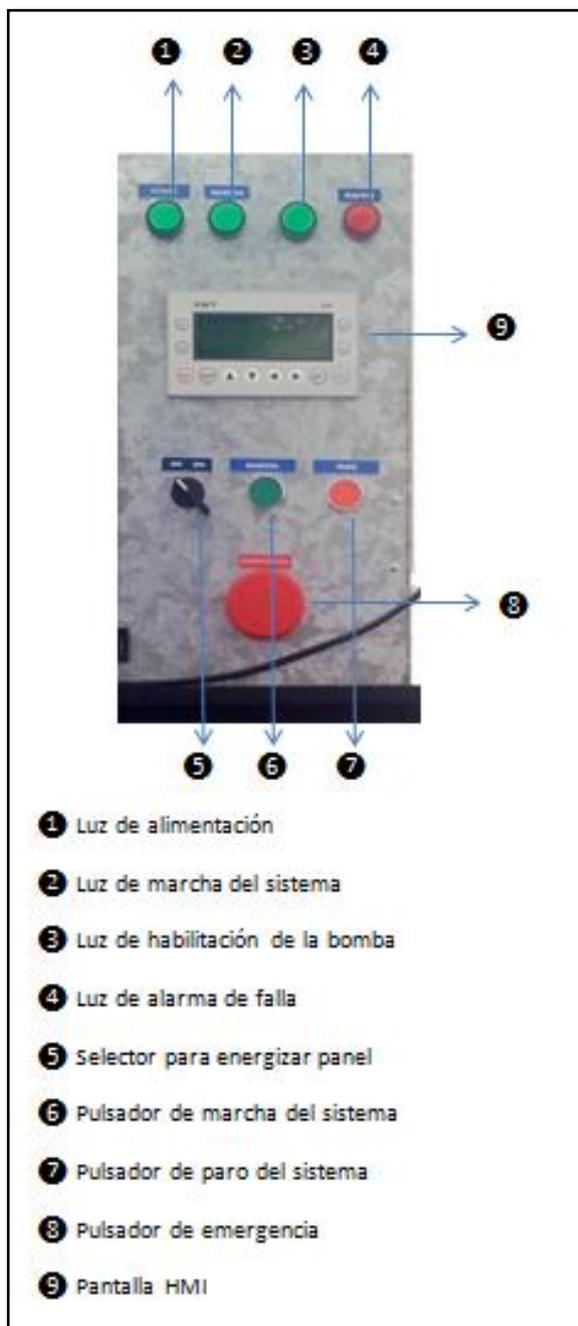
### OPERACIÓN DEL PANEL DIDÁCTICO PARA CONTROL DE NIVEL

#### 7.1 Modo de operación

Para la explicación de su operación, se tomarán en cuenta la nomenclatura indicada en el diagrama de instrumentos de la figura 7.1 y el panel de control mostrado en la figura 7.2.



**Figura 7.1:** Diagrama de instrumentos de módulo didáctico para control de nivel  
**Fuente:** Elaborado por Ana Belén Ojeda



**Figura 7.2:** Panel de control de módulo didáctico para control de nivel  
**Fuente:** Elaborado por Ana Belén Ojeda

Para dar inicio al sistema, primero se energiza el circuito, esto se realiza accionando el selector del panel ① a “ON”. Luego, el usuario debe pulsar el botón del panel “marcha” ⑥, para comenzar a usar el módulo didáctico. El siguiente paso, es el llenado de agua del tanque de succión TK-001 mediante la activación de la

válvula solenoide XV-1, esta orden es dada por el usuario desde la pantalla ⑨, el usuario también tiene la opción de parar el llenado de TK-001. El tanque TK-001 se llena hasta llegar a su nivel alto, el cual está determinado por el interruptor de nivel LS-2. Al llegar el agua a este nivel, la válvula solenoide XV-1 se desactiva, el interruptor de nivel LS-2 se activa y se enciende una señalización la cual indica que la bomba se encuentra habilitada para su arranque, “bomba habilitada” ③. Ahora el usuario puede dar marcha a la bomba.

Se da marcha a la bomba desde la pantalla, al dar marcha a la bomba, esta comienza a succionar agua del tanque TK-001 para descargarla al tanque TK-002. El tanque TK-002 se llenará hasta que el nivel de agua llegue a su *set point* (valor al que se desea mantener una variable de proceso en un sistema de control automático), el cual es seleccionado por el usuario desde el variador de frecuencia. La medición continua del nivel en el tanque TK-002 es determinada por el transmisor de nivel ultrasónico.

A manera de simular un consumo de agua y poder conocer cómo va a variar el nivel o cual será el comportamiento de la bomba, el usuario tiene la opción de realizar una descarga del tanque TK-002 al tanque TK-001, para esto, se utiliza una válvula manual tipo bola CV-1, la cual el usuario puede abrir o cerrar en el grado que desee. De acuerdo a la descarga que el usuario realice, se bombea agua al tanque TK-002, con el objetivo de siempre mantener el nivel en el set point seleccionado. Este bombeo de agua no siempre va a ser a un mismo caudal, es decir, la velocidad de la bomba cambia debido al variador de frecuencia que va a estar operando dicha bomba. El variador de frecuencia está programado de tal manera que, la velocidad de

la bomba es menor a medida que alcanza el set point, del mismo modo, la velocidad es mayor cuando el nivel del tanque TK-002 se encuentra lejano al set point elegido por el usuario a través del variador de frecuencia.

Para este proceso, se ha añadido una opción denominada “falla” la cual puede ser seleccionada a lo largo del proceso. El momento en el que el usuario selecciona esta opción desde la pantalla, el sistema aísla al sensor ultrasónico haciendo que deje de funcionar y se enciende una señalización roja ④, la bomba llena el tanque TK-002 hasta alcanzar su nivel alto de seguridad dado por el interruptor de nivel LS-3. Al activarse LS-3, la bomba se apaga y el tanque TK-002 queda lleno de agua hasta su nivel máximo. El usuario, para seguir trabajando con el módulo didáctico, debe de vaciar TK-002 abriendo la válvula manual tipo bola.

Luego de esto, el transmisor de nivel ultrasónico queda habilitado nuevamente. De esta manera, se puede realizar otro control de nivel volviendo a llenar gradualmente el tanque TK-002.

Durante el proceso, el sistema brinda la opción de visualizar el nivel actual en el tanque de descarga TK-002.

Si se desea cambiar el set-point, esto se realiza desde el variador de frecuencia por potenciómetro. Se ingresa al parámetro P04 y se elige el set point, viene dado en porcentaje.

Para apagar el sistema, se debe pulsar el botón del panel “fin del sistema” ⑦, con esto, la bomba queda inhabilitada al igual que la válvula solenoide de llenado.

Por último, des-energizamos el circuito accionando el selector del panel a “OFF”. Este módulo consta además de una válvula manual de desfogue para vaciar el tanque de succión TK-001.

En el manual de usuario se explican detalles sobre el funcionamiento y modo de operación de este módulo didáctico. Consultar anexo X.

## CAPÍTULO 8 PRUEBAS Y RESULTADOS

### 8.1 Pruebas y resultados en el tanque de succión

Las pruebas del funcionamiento de este sistema fueron realizadas para determinar el comportamiento de los actuadores que forman parte del proceso. Para estas pruebas, se ha seleccionado un solo set point de referencia y la presión del lugar de montaje.

El tanque de succión TK-001 que provee agua al tanque de descarga TK-002, se llena a través de la válvula solenoide de conexión 1/2". Al momento de realizar las pruebas, en el lugar de montaje la presión de la línea de agua fue alrededor de 10 psi. El tiempo que tomó la válvula solenoide en llenar los 60 litros que corresponden a la capacidad del tanque de succión fue de aproximadamente 3.3 minutos. Por lo que, se determina de manera práctica que el caudal de llenado para el tanque de succión bajo estas condiciones de diámetro de tubería y presión fue de 18 l/min (4,8GPM). Se calcula de manera teórica de acuerdo a la ecuación 2 el caudal de llenado para el tanque de succión TK-001:

$$Q = \frac{CV}{\sqrt{\frac{G}{P}}} = \frac{1,9}{\sqrt{\frac{1}{10}}}$$

$$Q = 6,01 \text{ GPM}$$

La diferencia de caudal entre el caudal práctico y el caudal teórico se debe a muchos factores, entre ellos la presión, ya que su rango de medición no tuvo mucha resolución debido al bajo rango de presión que maneja, y por tanto, esto crea un

margen de error al momento de realizar la lectura de presión.

También se realizaron pruebas en los interruptores de nivel para comprobar su correcto funcionamiento, la conmutación de los interruptores de nivel fue correcta y comprobada de acuerdo a la programación realizada.

## **8.2 Pruebas y resultados en el tanque de descarga**

La bomba también fue sometida a pruebas para este proyecto, para esto se seleccionó un set point de 30cm de nivel en el tanque de descarga, hasta este punto, se tiene un volumen de 18 litros. El tiempo que tomó a la bomba llenar este tanque fue de 25 segundos aproximadamente con una velocidad máxima de inicio de 60 hercios, velocidad la cual varía a medida que el nivel se acerca al nivel deseado a través de la elección del set point requerido.

En este tanque, también se realizaron las pruebas al sensor ultrasónico, debido a su alta sensibilidad, se incluye en su programación la filtración a su salida para obtener una señal más estable.

Al igual que en el tanque de succión, este tiempo puede variar por cambios en la presión ya que afecta al caudal, por esta razón, pueden haber variaciones dependiendo de la presión en la línea de agua que se encuentra en el lugar de montaje.

Otra prueba realizada para el tanque de descarga, se trató del vaciado a través de la válvula manual tipo bola. Esta se hizo con el tanque de descarga lleno hasta su

capacidad nominal la cual es de 24 litros (altura: 40cm). Al abrir la válvula manual por completo, el nivel del agua comienza a bajar, pero, esto solamente continúa a una misma velocidad hasta que el nivel llega al orificio de la conexión de descarga, este se encuentra a 5 cm. del fondo del tanque. Es decir, el volumen de agua máximo que se va vacía al tanque de descarga TK-002 es de 21 litros (altura 35 cm.). Descargar estos 21 litros a través de la válvula manual tipo bola, tomó un tiempo de 1 minutos y 30 segundos (1,5 minutos) aproximadamente.

A partir de esta prueba se corrobora la calibración del sensor ultrasónico, ya que una variable importante al momento de calibrar este sensor es la altura de medición, la cual es de 40 cm.

## **CAPÍTULO 9**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Al cabo de este proyecto, se llegaron a las siguientes conclusiones y recomendaciones.

#### **9.1 Conclusiones**

- Este proyecto cumple con los objetivos que se propusieron al inicio, el diseño y elaboración del módulo didáctico para el control de nivel muestra un sistema real para el estudio de la medición y control de nivel de líquidos. Su modo de operación es sencilla por lo que los estudiantes pueden realizar prácticas y estudiar sobre el control y medición de nivel de una manera más eficaz.
- El control de velocidad programado en el variador de frecuencia en serie con el PLC y el módulo analógico, permite cumplir con el control de nivel propuesto, ya que la bomba opera correctamente disminuyendo y aumentando su velocidad con el fin de siempre llegar al nivel deseado de acuerdo a la selección del set point.
- Durante las pruebas con la válvula solenoide, los cambios de presión en la línea de agua provocan que existan variaciones en el caudal y en consecuencia en el tiempo de llenado del tanque de succión TK-001. Por lo que, las pruebas del sistema se han realizado en base a la presión con la que se contaba en la línea de agua.
- El manual de usuario desarrollado, cumple con lo que se propone al inicio de este proyecto, este manual de usuario brinda la explicación del funcionamiento de este

módulo didáctico e indica los elementos que lo conforman, consiguiendo así, una guía para el estudiante al momento de operar con este módulo didáctico y realizar una correcta operación del mismo.

## **9.2 Recomendaciones**

- Tanto el diseño y la construcción del módulo como la programación del mismo, deben de ir de la mano. Es decir, es necesario realizar primero el diseño del sistema para posteriormente desarrollar una programación óptima y sin complicaciones.
- Tomar en cuenta las dimensiones y las indicaciones de montaje de los fabricantes de los elementos que formarán parte del módulo al momento del dimensionamiento de los tanques para no sufrir de falta de espacio para la instalación de los mismos.
- Se recomienda leer el manual de usuario antes de realizar cualquier operación de este módulo didáctico.
- Para el llenado a través de la válvula solenoide, se recomienda que la presión de la línea de agua sea mayor a 10 psi y de esta manera garantizar que el llenado del tanque de succión TK-001 no tome más tiempo al propuesto en este proyecto. Si la presión en la línea de agua llegase a ser menor a 10 psi, el tiempo de llenado se puede prolongar, sin embargo, esto no provocará cambios ni errores durante el funcionamiento del sistema.
- Se recomienda realizar lavado periódico de los tanques para evitar acumulación

de sólidos que puedan perturbar al funcionamiento de los sensores instalados.

- Para mejoras en este proyecto, se pueden realizar guías prácticas de laboratorio para seguir un patrón de estudio en base al funcionamiento de los sensores de nivel utilizados, programación de los elementos de control, y toda información pertinente que incluye este proyecto con el fin de estudiar y aprovechar este módulo didáctico desarrollado.

## Bibliografía

- Aranda Usón, A., Zalbaza Bribián, I., Díaz de Garaio, S., & Llera Sastresa, E. (2010). *Eficiencia energética en instalaciones y equipamiento de edificios*. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza.
- Bolton, W. (2009). *Programmable Logic Controllers*. Burlington: Elsevier.
- Creus Sole, A. (2005). *Instrumentación Industrial*. Barcelona: Marcombo S.A.
- Domingo Peña, J., Gámiz Caro, J., Grau i Saldes, A., & Martínez García, H. (2003). *Introducción a los autómatas programables*. Aragón: Editorial UOC.
- Emerson Process. (08 de Abril de 2009). *Valve Sizing Calculations*. Recuperado el 04 de Agosto de 2014, de [http://www.documentation.emersonprocess.com/groups/public/documents/reference/d351798x012\\_11.pdf](http://www.documentation.emersonprocess.com/groups/public/documents/reference/d351798x012_11.pdf)
- Flowline. (31 de Marzo de 2011). *Transmisor de nivel Echopod*. Obtenido de <http://www.flowline.com/pdf/ultrasonic-level-measurement/echopod-dl14-dl24-dl34-m.pdf>
- Hyde, J., Regué, J., & Cuspinera, A. (1997). *Control electroneumático y electrónico*. Barcelona: Marcombo S.A.
- Katsuhiko, O. (1998). *Ingeniería de control moderna*. Naucalpán de Juárez: Prentice-Hall.

- Kobold Messring GmbH. (26 de Junio de 2014). *Interruptores de nivel NKP*. Recuperado el 17 de Julio de 2014, de [http://www.koboldmessring.com/fileadmin/koboldfiles/pdf/es/n1es\\_nkp.pdf](http://www.koboldmessring.com/fileadmin/koboldfiles/pdf/es/n1es_nkp.pdf)
- Rodríguez, P. A. (2007). *Sistemas SCADA*. Barcelona: Marcombo S.A.
- Schneider Electric. (19 de Junio de 2008). *Variadores de velocidad, arrancadores electrónicos y motores*. Recuperado el 09 de Julio de 2014, de [http://www.schneider-electric.com.ar/documents/recursos/myce/capitulo04\\_1907.pdf](http://www.schneider-electric.com.ar/documents/recursos/myce/capitulo04_1907.pdf)
- Siemens. (s.f.). *Programmable logic controller*. Recuperado el 03 de Agosto de 2014, de <http://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/simatic-s7-controller/s7-1200/Pages/Default.aspx>
- Tedesco, Carlos Francisco, (2011). *Ascensores electrónicos y variadores de velocidad*. Buenos Aires: Alsina.
- Universidad de León. (2008). *Control PID*. Recuperado el 17 de Julio de 2014, de <http://lra.unileon.es/es/book/export/html/268>
- Universidad de Sevilla. (2007). *Grupos de bombeo*. Recuperado el 30 de Julio de 2014, de [http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%207.%20Bombas/tutorial\\_05.htm](http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%207.%20Bombas/tutorial_05.htm)

- Universidad Nacional de Quilmes. (08 de Noviembre de 2005). *Introducción a HMI*. Recuperado el 12 de Julio de 2014, de <http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/HMI%5CIntroduccion%20HMI.pdf>
- Viejo Zubicaray, M., & Álvarez Fernández, J. (2004). *BOMBAS: Teoría, diseño y aplicaciones*. México D.F: LIMUSA S.A.

## Índice de figuras

<b>Figura 2.1:</b> Funcionamiento de interruptor de nivel tipo flotador .....	8
<b>Figura 2.2:</b> Interruptor de nivel tipo flotador .....	9
<b>Figura 2.3:</b> Interruptor de nivel tipo flotador montaje vertical .....	9
<b>Figura 2.4:</b> Medidor de nivel por ultrasonido .....	10
<b>Figura 3.1:</b> Sistema de control en lazo abierto .....	12
<b>Figura 3.2:</b> Sistema de control en lazo cerrado .....	12
<b>Figura 3.3:</b> Controlador lógico programable (PLC) .....	16
<b>Figura 3.4:</b> Controlador lógico programable (PLC) .....	19
<b>Figura 3.5.1:</b> PLC compacto Siemens S7-1217C .....	19
<b>Figura 3.5.2:</b> PLC modular Siemens S7-1200 .....	20
<b>Figura 3.6:</b> Software KGLWIN para programación de PLC marca LS.....	21
<b>Figura 3.7:</b> Dispositivos HMI LS Industrial Systems.....	24
<b>Figura 3.8:</b> Diagrama electrónico de variador de frecuencia con PWM .....	26
<b>Figura 3.9:</b> Espacio entre equipos o paredes con respecto al VFD.....	27
<b>Figura 3.10:</b> Clasificación de Bombas .....	28
<b>Figura 4.1.1:</b> Vista frontal de tanque de descarga.....	34
<b>Figura 4.1.2:</b> Vista lateral de tanque de descarga .....	34
<b>Figura 4.1.3:</b> Vista frontal de tanque de succión .....	34
<b>Figura 4.1.4:</b> Vista lateral de tanque de succión .....	34
<b>Figura 4.2:</b> Interruptor de nivel tipo flotador para elaboración del panel didáctico.....	35

<b>Figura 4.3:</b> Dimensiones del interruptor de nivel flotador para elaboración del panel didáctico.....	36
<b>Figura 4.4:</b> Sensor de nivel ultrasónico para elaboración de panel didáctico.....	37
<b>Figura 4.5:</b> Dimensiones de sensor de nivel ultrasónico para elaboración de panel didáctico.....	37
<b>Figura 4.6:</b> Válvula solenoide para elaboración de panel didáctico .....	38
<b>Figura 4.7:</b> PLC Master-K 80S .....	40
<b>Figura 4.8:</b> Módulo analógico G7F-ADHA.....	41
<b>Figura 4.9:</b> Variador de frecuencia 1HP 220VAC.....	41
<b>Figura 4.10:</b> Placa de variador de frecuencia.....	42
<b>Figura 5.1:</b> Tanque de descarga .....	43
<b>Figura 5.2:</b> Tanque de succión .....	43
<b>Figura 5.3:</b> Conexión de entradas del PLC Master-K 80S .....	44
<b>Figura 5.4:</b> Conexión de salidas del PLC Master-K 80S .....	45
<b>Figura 5.5:</b> Conexión entre PLC y HMI .....	46
<b>Figura 6.1:</b> Instrucción set-reset en KGL WIN.....	47
<b>Figura 6.2:</b> Registros de datos analógicos .....	48
<b>Figura 6.3:</b> Características de conversión para entrada de corriente .....	48
<b>Figura 6.4.1:</b> Pantalla de inicio .....	52
<b>Figura 6.4.2:</b> Pantalla de menú .....	52
<b>Figura 6.4.3:</b> Pantalla para llenado .....	53

<b>Figura 6.4.4:</b> Pantalla para bomba .....	53
<b>Figura 6.4.5:</b> Pantalla para ver nivel .....	53
<b>Figura 6.4.6:</b> Pantalla para falla .....	54
<b>Figura 7.1:</b> Diagrama de instrumentos de módulo didáctico para control de nivel .....	55
<b>Figura 7.2:</b> Panel de control de módulo didáctico para control de nivel .....	56

## Índice de tablas

Tabla 4.1: Capacidades y dimensiones de tanques para elaboración del panel didáctico .....	35
Tabla 4.2: Entradas y salidas del PLC .....	40
Tabla 4.3: Terminales del variador de frecuencia a utilizar.....	42
Tabla 6.1: Parámetros de programación para variador de frecuencia.....	51

# ANEXOS

# ANEXO I

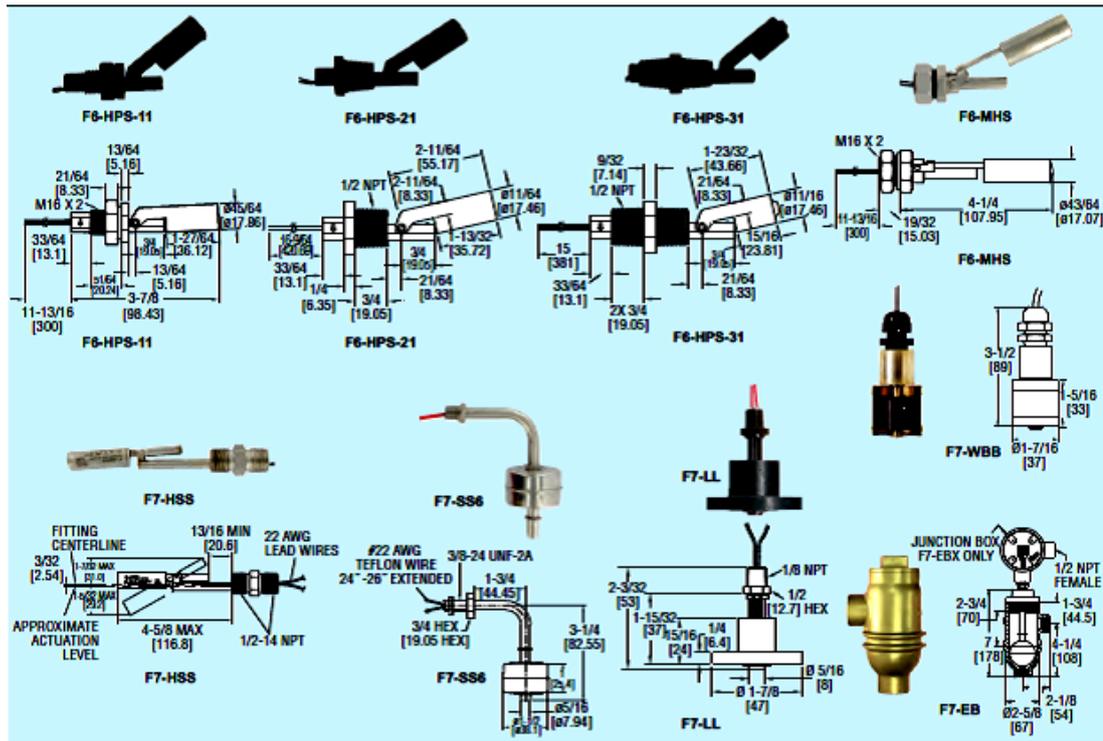
## Especificaciones técnicas de interruptor de nivel tipo flotador modelo (F6-HPS-31).



Series F6 & F7

### Level Switches - Horizontal/Specialty

Low Cost, Hermetically Sealed Contacts



**Series F6 & F7 Horizontal Mount Level Switches** are designed to mount through the walls of tanks and other vessels. Internally mounted models F6-HPS-11, F6-MHS and F7-SS6 are secured to the wall of the tank or vessel from the inside while model F6-HPS-21 is mounted from the outside (externally). Model F7-HSS can be installed internally or externally.

**Series F6 & F7 Specialty Level Switches** are designed for unique applications. Model F7-SS6 can be used with viscous liquids or liquids with suspended metal particles. Use model F7-LL for low level detection (25/8"). The non-intrusive bottle style F7-EB mounts completely outside the tank at the actuation level. Suspend model F7-WBB in stand pipes or sumps for leak detection or drop into wells for ground-water monitoring.

#### Horizontal Float

Model	Applications	Material Float/Stem	Temperature Limits	Pressure Limits	Min. S.G.	Electrical Rating	Wire Leads	Mtg	Weight oz (g)
F6-HPS-11	Water, Oils, Chemicals	Polypropylene/Polypropylene	176°F (80°C)	116 psig (8 bar)	0.60	20 VAC: 0.08A @ 240 VAC	20 AWG, 11.8" (30 cm)	M16 x 2	1.23 (38)
F6-HPS-21	Water, Oils, Chemicals	Polypropylene/Polypropylene	176°F (80°C)	116 psig (8 bar)	0.60	20 VAC: 0.08A @ 240 VAC	20 AWG, 11.8" (30 cm)	1/2" NPT	1.23 (38)
F6-HPS-31	Water, Oils, Chemicals	Polypropylene/Polypropylene	176°F (80°C)	116 psig (8 bar)	0.60	20 VAC: 0.08A @ 240 VAC	20 AWG, 11.8" (30 cm)	1/2" NPT	1.41 (40)
F6-MHS	Corrosives	304 SS/304 SS	257°F (125°C)	218 psig (15 bar)	0.65	20 VAC: 0.08A @ 240 VAC	22 AWG, 11.8" (30 cm)	M16 x 2	3.35 (95)
F7-HSS†	High temperature, corrosive, Expl.	316 SS/316 SS	392°F (200°C)	300 psig (20.7 bar)	0.60	30 VAC: 0.14A @ 220 VAC	22 AWG, 24" (61 cm)	1/2" NPT (inlet)	3 (94)

## ANEXO II

### Especificaciones técnicas de sensor de nivel ultrasónico

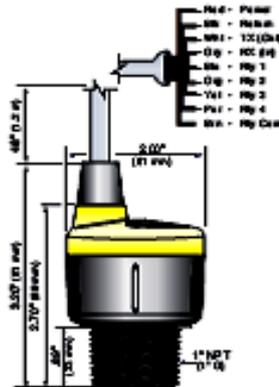
EchoPod® DL14 Multi-Function Ultrasonic Transmitter

**FLOWLINE®**

#### Specifications

Range:	49.2" (1.25m)
Accuracy:	0.125" (3mm)
Resolution:	0.019" (0.5mm)
Dead band:	2" (5cm)
Beam width:	2" (5cm)
Configuration:	WebCal® PC Windows® USB 2.0
Memory:	Non-volatile
Supply voltage:	24 VDC (loop)
Consumption:	0.5W
Loop resist:	460Ω max
Signal output:	4-20 mA, two-wire
Signal invert:	4-20 mA or 20-4 mA
Signal fail-safe:	4 mA, 20 mA, 21 mA, 22 mA or hold last
Contact type:	(4) SPST relays, 1A
Contact fail-safe:	Power loss: Hold last Power on: Open, close or hold last
Hysteresis:	Selectable
Process temp.:	F: 20° to 140° C: -7° to 60°
Temp. comp.:	Automatic
Ambient temp.:	F: -31° to 140° C: -35° to 60°
Pressure:	MNWP = 30 PSI (2 bar)
Enclosure rating:	Type 6P, encapsulated, corrosion resistant & submersible
Encl. material:	Polycarbonate
Strain relief mat.:	Santoprene
Trans. material:	PVDF
Cable jacket mat.:	Polyurethane
Cable type:	5-conductor, shielded
Cable length:	48" (1.2m)
Process mount:	1" NPT (1" G)
Mount gasket:	Viton®
Classification:	General purpose
Compliance:	CE, RoHS
Approvals:	cFMS

#### Dimensions



#### Configuration



The level sensor is configurable via our free WebCal PC software and Fob USB adapter. The sensors are offered with and without Fobs. Fobs are universal and can be used to configure any WebCal compatible product.

Download your free copy of WebCal in English or Chinese at [www.flowline.com/webcal.php](http://www.flowline.com/webcal.php).

#### Fittings

For optimum performance, install the level sensor using the below recommended or direct equivalent fittings.

	P/N	Description
	LM52-1400	2" NPT x 1" NPT (Sch. 40)
	LM52-1800	2" NPT x 1" NPT (Sch. 80)
	LM52-1410	2" Socket x 1" NPT (Sch. 40)
	LM52-1810	2" Socket x 1" NPT (Sch. 80)
	LM52-1850	1" NPT Flange - 150# (Sch. 80)
	LM50-1001-1	1" NPT Bracket, Polypropylene

#### Ordering

**DL14-**

**Process mount (1)**

0 NPT (US)

1 G (Metric)

**Fob USB interface (2)**

0 Without Fob

1 With Fob

#### Notes

- 1) Install the level sensor using Flowline installation fittings or equivalents.
- 2) The level sensor is configured via our WebCal software and one L99-1001 Fob USB adapter. The level sensor is offered with and without a Fob. Fobs are universal and can be used to configure any WebCal compatible product. WebCal is a free download from our website at [www.flowline.com/webcal.php](http://www.flowline.com/webcal.php).

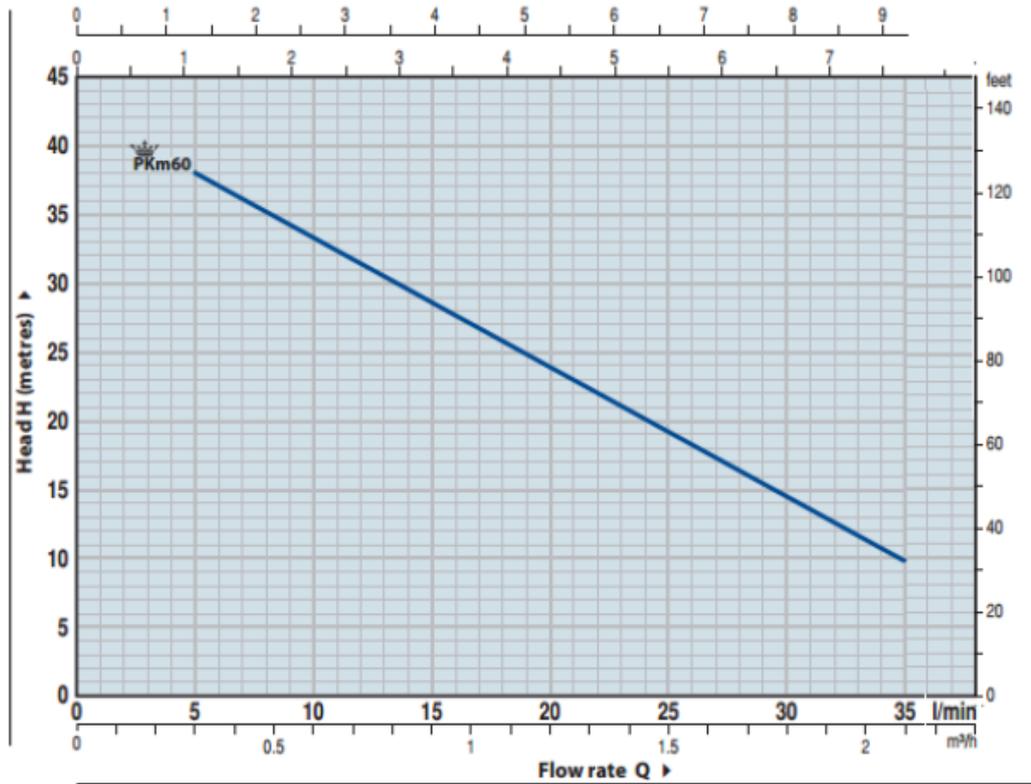
# ANEXO III

## Especificaciones técnicas de válvulas solenoides

接管口径 (G) Port size	流量 通径 Orifice (mm)	CV值 CV value	压力差 Pressure difference ( Bar )								最大流 体温度 Max. temperature (°C)	功率 Power		订货型号 Model 220VAC		
			最小压力 Min. pressure	最大工作压力 Max. working pressure								AC 220	DC 24V			
				空气、 瓦斯 Air, Gas		水、热水、液体 Water、 Hot water、 Liquid		轻油 Light oil ≤20CST								
				AC	DC	AC	DC	AC	DC							
1/8"	2.5	0.23	0	7	5	7	5	7	5	80	13	8.5	ZS06E2-2.5L	ZS06E2-2.5LS2		
	2.5	0.23	0	7	5	7	5	-	-	120	13	8.5	ZS06EE2-2.5L	ZS06EE2-2.5LS2		
	2.5	0.23	0	7	5	7	5	7	5	120	13	8.5	ZS06VE2-2.5L	ZS06VE2-2.5LS2		
1/4"	2.5	0.23	0	7	5	7	5	7	5	80	13	8.5	ZS08E2-2.5L	ZS08E2-2.5LS2		
	2.5	0.23	0	7	5	7	5	-	-	120	13	8.5	ZS08EE2-2.5L	ZS08EE2-2.5LS2		
	2.5	0.23	0	7	5	7	5	7	5	120	13	8.5	ZS08VE2-2.5L	ZS08VE2-2.5LS2		
	10	1.0	0	20	16	20	16	20	16	80	22	13	ZS08E2-10L	--		
	10	1.0	0	20	16	20	16	-	-	120	22	13	ZS08E2-10L	--		
3/8"	4	0.6	0	8	5	8	5	5	5	80	33	20	ZS10E2-4L	ZS10E2-4LS2		
	4	0.6	0	8	5	8	5	-	-	120	33	20	ZS10EE2-4L	ZS10EE2-4LS2		
	4	0.6	0	8	5	8	5	5	5	120	33	20	ZS10VE2-4L	ZS10VE2-4LS2		
	10	1.8	0	20	16	20	16	20	16	80	22	13	ZS10E2-10L	--		
	10	1.8	0	20	16	20	16	-	-	120	22	13	ZS10EE2-10L	--		
	10	1.8	0	20	16	20	16	20	16	120	22	13	ZS10VE2-10L	--		
	16	4.8	0	10	6	10	6	7	4	80	33	20	ZS10E2-16L	ZS10E2-16LS2		
	16	4.8	0	10	6	10	6	-	-	120	33	20	ZS10EE2-16L	ZS10EE2-16LS2		
1/2"	10	1.9	0	20	16	20	16	20	16	80	22	13	ZS15E2-10L	--		
	10	1.9	0	20	16	20	16	-	-	120	22	13	ZS15EE2-10L	--		
	10	1.9	0	20	16	20	16	20	16	120	22	13	ZS15VE2-10L	--		
	16	4.8	0	10	6	10	6	7	4	80	33	20	ZS15E2-16L	ZS15E2-16LS2		
	16	4.8	0	10	6	10	6	-	-	120	33	20	ZS15EE2-16L	ZS15EE2-16LS2		
	16	4.8	0	10	6	10	6	7	4	120	33	20	ZS15VE2-16L	ZS15VE2-16LS2		

## ANEXO IV

### CURVA CARACTERÍSTICA DE LA BOMBA



## ANEXO V

### MANUAL DE PLC MASTER-K 80S

#### Características generales de PLC Master K

No.	Item	Specifications	References			
1	Operating ambient Temperature	0 ~ 55 °C				
2	Storage ambient Temperature	-25 ~ +70 °C				
3	Operating ambient Humidity	5 ~ 95%RH, non-condensing				
4	Storage ambient Humidity	5 ~ 95%RH, non-condensing				
5	Vibrations	Occasional vibration			-	10 times for each X, Y, Z axis IEC 61131-2
		Frequency	Acceleration	Amplitude	Sweep count	
		$10 \leq f < 57\text{Hz}$	-	0.075mm		
		$57 \leq f \leq 150\text{Hz}$	$9.8\text{m/s}^2 (1\text{G})$	-		
		Continuous vibration				
		Frequency	Acceleration	Amplitude		
		$10 \leq f < 57\text{Hz}$	-	0.035mm		
		$57 \leq f \leq 150\text{Hz}$	$4.9\text{m/s}^2 (0.5\text{G})$	-		
6	Shocks	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maximum shock acceleration: <math>147\text{ m/s}^2 (15\text{G})</math></li> <li>• Duration time: 11ms</li> <li>• Pulse wave: half sine pulse ( 3 shocks per axis, on X, Y, Z axis )</li> </ul>	IEC 61131-2			
7	Noise Immunity	Square wave Impulse noise	$\pm 1,500\text{ V}$		LGIS' Internal Standard	
		Electronic discharge	Voltage: 4 kV ( Discharge by contact )		IEC 61131-2, IEC 801-2	
		Radiated electromagnetic field noise	27 ~ 500 MHz, 10 V/m		IEC 61131-2, IEC 801-3	
		Fast transient & burst noise	Item	Power supply	Digital I/O (>24V)	Digital I/O (<24V) Analog I/O Interface
Voltage	2kV		1kV	0.25kV		
8	Atmosphere	Free of corrosive gases and excessive dust	IEC61131-2			
9	Altitude	Up to 2,000m				
10	Pollution degree	2				
11	Cooling method	Air-cooling				

### Características técnicas de PLC Master K80S

Item	Specifications					Remarks
	K7M-DR10S	K7M-DR20S	K7M-DR30S	K7M-DR40S	K7M-DR60S	
	(7M-DR10S/DC	(7M-DR20S/DC	(7M-DR30S/DC	(7M-DR40S/DC	(7M-DR60S/DC	
	K7M-DT10S	K7M-DT20S	K7M-DT30S	K7M-DT40S	K7M-DT60S	
Program control method	Cycle execution of stored program, Time-driven interrupt, Process-driven interrupt					
I/O control method	Indirect mode (Refresh method), Direct by program command					
Program language	Mnemonic, Ladder diagram					
Numbers of instructions	Basic : 30, Application : 218					
Processing speed	0.5μsec/step					
Program capacity	7ksteps					
I/O points	10	20	30	40	60	
Memory device	P	P000 ~ P13F				I/O relay
	M	M000 ~ M191F (3,072points)				Auxiliary relay
	K	K000 ~ K31F (512 points)				Keep relay
	L	L000 ~ L63F (1,024 points)				Link relay
	F	F000 ~ F63F (1,024 points)				Special relay
	T	100msec : T000 ~ T191 (192 points)				Timer
		10msec : T192 ~ T255 (64 points)				
	C	C000 ~ C255 (256 points)				Counter
	S	S00.00 ~ S99.99 (100×100 steps)				Step controller
D	D0000 ~ D4999 (5,000 words)				Data register	
Operation modes	RUN, STOP, PAUSE, DEBUG					
Self-diagnosis functions	Detect errors of scan time, memory, I/O, battery, and power supply					
Data back-up method	Battery-back-up					
Max. expansion level	Up to 3 level					

## Características técnicas de PLC Master K80S

Item		Specifications	Remarks
Internal Function	PID control function	Function block control, auto tuning, forced output, adjustable operation scan time, forward/reverse operation control	
	Cnet I/F Function	Master-K exclusive protocol support MODBUS protocol support User's protocol support	Common use with KGLWIN port
	High-speed counter	Capacity	
		Counter function	It has 3 different counter function as following; 1 phase, up/down by program 1 phase, up/down by B phase input 2 phase, up/down by phase difference
		Multiplication function	Multiplication : 1, 2, or 4 (adjustable)
		Data comparison function	Execute a task program when the elapsed counter value reaches to the preset value
	Pulse catch	Minimum pulse width : 0.2msec, 8 points	
	Pulse output	2khz, 1point	Transistor output only
	External interrupt	8points, 0.4ms	
	Input filter	0~15ms	
Weight (g)	K7M-DR10S	360	
	K7M-DR20S	480	
	K7M-DR30S	550	
	K7M-DR40S	670	
	K7M-DR60S	850	
	G7E-DR10A	228	

## Características de entradas del Master K80S

Specification	Model	Base unit				
		K7M-DR10S	K7M-DR20S	K7M-DR30S	K7M-DR40S	K7M-DR60S
		K7M-DR10S/DC	K7M-DR20S/DC	K7M-DR30S/DC	K7M-DR40S/DC	K7M-DR60S/DC
Number of input points		6 points	12 points	18 points	24 points	36 points
Insulation method		Photo coupler				
Rated input voltage		DC12 / 24V				
Rated input current		4.5 / 9 mA (P000 ~ P002 : 8 / 16mA)				
Operating voltage range		DC10.2 ~ 28.8V (ripple: less than 5%)				
Max. simultaneous input points		100% simultaneously On				
On voltage / On current		DC9.5V or higher/ 3.5 mA or higher (P000 ~ P002 : 6.3mA or higher)				
Off voltage / Off current		DC5V or lower / 1.8 mA or lower (P000 ~ P002 : 3.3mA or lower)				
Input impedance		Approx. 2.7 kΩ (I00~I02: approx. 1.5 kΩ)				
Response time	Off → On	15ms or less **				
	On → Off	15ms or less **				
Common terminal		6 points / COM	12 points / COM	18 points / COM	12 points / COM	18 points / COM
Operating indicator		LED turns on at ON state of input				

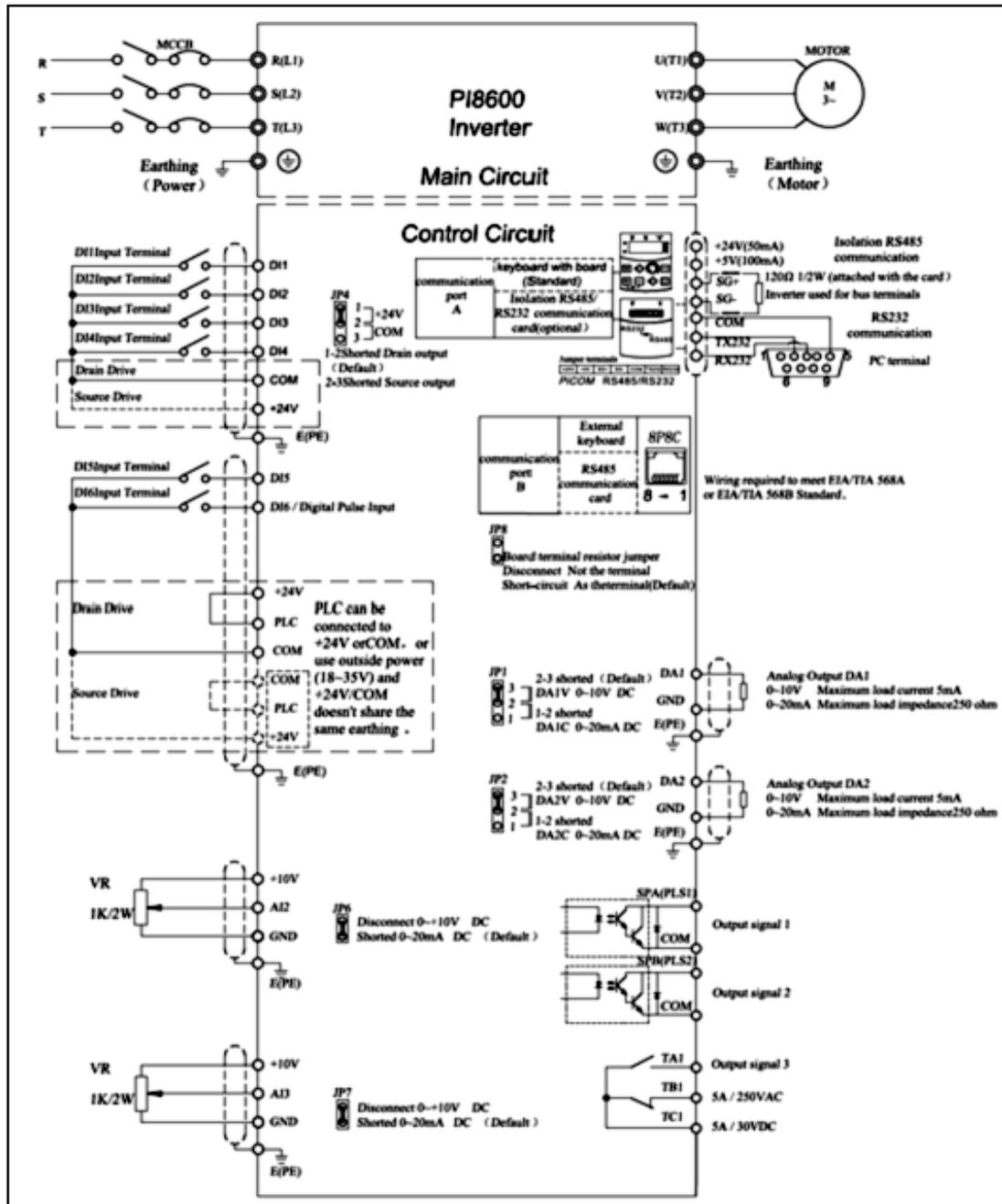
### Características de salidas del Master K80S

Model		Base Unit				
		K7M-DR10S	K7M-DR20S	K7M-DR30S	K7M-DR40S	K7M-DR60S
Specifications		K7M-DR10S/DC	K7M-DR20S/DC	K7M-DR30S/DC	K7M-DR40S/DC	K7M-DR60S/DC
Output point		4 points	8 points	12 points	16 points	24 points
Insulation method		Relay insulation				
Rated load voltage/current		DC24V / 2A (r/load), AC220V / 2A (COS Ψ = 1) / 1 point 5A / 1COM				
Min. load Voltage/current		DC5V / 1mA				
Max. load voltage/current		AC250V, DC110V				
Current leakage when off		0.1mA (AC220V, 60Hz)				
Max. On/off frequency		1,200/hr				
Surge Absorber		None				
Life	Mechanical	More than 20,000,000				
	Electrical	Rated on/off voltage/current load 100,000 or more				
		AC200V / 1.5A, AC240V / 1A (COSΨ = 0.7) 100,000 or more				
		AC200V / 1A, AC240V / 0.5A (COSΨ = 0.35) 100,000 or more				
		DC24V / 1A, DC100V / 0.1A (L / R = 7ms) 100,000 or more				
Response time	Off → On	10 ms or less				
	On → Off	12 ms or less				
Common method		1 point/ 1COM, 2 points/ 1COM, 4 points/1COM				
Operation indication		LED is on at on status of output				

# ANEXO VI

## MANUAL DEL VARIADOR DE FRECUENCIA POWTRAN PI8600

### Diagrama de conexiones



## Lista de parámetros funcionales

### Grupo de menú

Code	Description / LCD	Function Discription	Group ID	Reference page
S	Monitor function group	Monitor frequency, current and other 16 monitor objects	0B	53
F	Basic function group	Frequency setting, control mode, acceleration time and deceleration time	00	54
A	User function group	Monitor, protection, communication setting	01	71
o	IO function group	Analog, digital input, output function	02	83
H	Multi-speed PLC group	Multi-speed running, PLC running	03	103
U	V/F parameter group	User defined V/F curve	04	111
P	PID function group	Internal PID parameter setting	05	112
E	Extend function group	Constant pressure water supply and other functions setting	06	115
C	Speed ring function group	Current ring, speed running, PG parameter	07	121
b	Motor parameter group	Motor parameter setting	08	127
y	System function group	Parameter reset, fault query, product information, parameter protection	09	129

### Grupo de funciones básicas

Code	Description / LCD	Setting Range		Factory Setting	Change Limited	Reference page
F00	Control mode	V/F control	0	0	N	55
		Sensorless vector control	1			
		Sensor feedback close loop vector control	2			
F01	Keyboard setting frequency	Lower frequency~upper frequency		50.00	Y	55
F02	Frequency main set mode	Keyboard setting frequency or RS485	0	0	Y	55
		<i>All the external analog setting<sup>8000</sup></i>	1			
		A12 the external analog setting	2			
		A13 the external analog setting	3			
		Keyboard potentiometer setting	4			

			Multi-segment digital voltage setting	5			
			Digital Pulse Setting	6			
F03	Auxiliary setting mode of frequency		Keyboard setting frequency or RS485	0	0	Y	56
			All the external analog setting <sup>0000</sup>	1			
			A12 the external analog setting	2			
			A13 the external analog setting	3			
			Keyboard potentiometer setting	4			
			Multi-segment digital voltage setting	5			
			Digital Pulse Set	6			
			PID regulation mode	7			
F04	The relationship between main and auxiliary setting frequency		The main setting individual control	0	0	Y	57
			The auxiliary setting individual control	1			
			Main + auxiliary	2			
			Main -auxiliary	3			
			(main*auxiliary)/maximum frequency	4			
			Maximum (main,auxiliary)	5			
			Minimum (main,auxiliary)	6			
F05	Running control mode		Keyboard+RS485/CAN	0	0	Y	58
			Keyboard+terminal+RS485/CAN	1			
			RS485/CAN	2			
			Terminal control	3			
			The proportion linkage control	4			
F06	V/F boost mode	1 bit	Beeline V/F curve	0	0000	N	59
			Power of 1.2 V/F curve	1			
			Power of 1.7	2			

			powerV/Fcurve				
			Power of 2 power V/F curve	3			
			Define mode V/Fcurve	4			
		10 bit	Close automatic torque boost	0			
			Automatic torqueboost	1			
		100 bit	VF mode 0 speed no Output	0			
			VF mode keep 0 speed	1			
F07	Torque boost value	0.0~30.0%		0.0	Y	60	
F08	Torque boost cut-off frequency	0.00~maximum frequency		15.00	Y	60	
F09	Accelerate time	0.0~3200.0		10.0	Y	60	
F10	Decelerate time	0.0~3200.0		10.0	Y	60	
F11	Percentage of output voltage	50~110		100	Y	60	
F12	Maximum frequency	10.00~320.00		50.00	N	60	
F13	Lower frequency	0.00~Upper frequency		0.00	N	61	
F14	Upper frequency	Lower frequency~Upper frequency		50.00	N	61	
F15	Basic frequency	5.00~Maximum frequency		50.00	N	61	
F16	Carrier frequency	1.0~16.0		★	Y	61	
F17	Carrier frequency adjustment range	0.0~4.0		0.0	Y	62	
F18	Carrier frequency adjustment mode	1 bit	No automatic adjustment	0	00	Y	62
			Automatic adjustment Mode	1			
		10 bit	Automatic adjustment, Fixed mode	0			
			Automatic adjustment, random mode	1			
F19	Waveform generation mode		Asynchronous space-vector PWM	0	0	N	62
			Stepless & subsection synchronous space vector PWM	1			
			Two-phase optimization space vector PWM	2			

F20	Scurve start time at the acceleration step		0.0~50.0	0.0	Y	63		
F21	Scurve stop time at the acceleration step		0.0~50.0	0.0	Y	63		
F22	Scurve start time at the deceleration step		0.0~50.0	0.0	Y	63		
F23	Scurve stop time at the deceleration step		0.0~50.0	0.0	Y	63		
F24	V/F control slip compensation		Slip compensation invalid	0	0	N	63	
			Slip compensation valid	1				
F25	Minimum running frequency		0.00~Maximum frequency	0.00	N	64		
F26	DC braking current when starting		0~135	100	Y	64		
F27	Braking time when starting		0.0~60.0	0.0	Y	64		
F28	Stop when the DC braking current		0~135	100	Y	64		
F29	Stop and braking wait time		0.0~60.0	0.0	Y	64		
F30	Brake time stop		0.0~60.0	0.0	Y	64		
F31	Stop and brake starting frequency		0.00~ Max frequency	0.00	Y	64		
F32	Stop setting mode		Deceleration stop	0	0	N	65	
			Free stop	1				
F33	Jog acceleration time		0.0~3200.0	1.0	N	66		
F34	Jog deceleration time		0.0~3200.0	1.0	N	66		
F35	Jog mode setting		1 bit	Jog direction:forward	0	000	N	66
				Jog direction:reverse	1			
				Jog direction: direction determined by the main terminal	2			
			10 bit	Jog end mode: stop running	0			
				Jog end mode:reset to the former state before jog	1			
				100 bit	Jog end and acceleration deceleration time: reset to the set acceleration and deceleration time before jog			
Jog end and acceleration deceleration time: save the set acceleration and	1							

			deceleration time before jog				
F36	Jog frequency setting		Lower frequency~upper frequency	6.00	Y	66	
F37	Skip frequency1 limit		Skip frequency 1 limit	0.00	Y	66	
F38	Skip frequency 1 upper		Skip frequency 1 upper	0.00	Y	66	
F39	Skip frequency2 limit		Skip frequency 2 limit	0.00	Y	66	
F40	Skip frequency 2 upper		Skip frequency 2 upper	0.00	Y	66	
F41	Skip frequency3 limit		Skip frequency 3 limit	0.00	Y	66	
F42	Skip frequency 3 upper		Skip frequency 3 upper	0.00	Y	66	
F43	Preset frequency		0.00~Max frequency	0.00	Y	67	
F44	Preset frequency working time		0.0~60.0	0.0	Y	67	
F45	Motor running direction	1 bit	Direction command: forward command FWD let motor forward running	0	0000	N	67
			Direction command: forward command FWD let motor reverse running	1			
		10 bit	Command prior: terminal / keyboard	0			
			Prior command: Analog given positive and negative values	1			
		100 bit	Reverse allow: reverse forbidden	0			
			Reverse allow:reverse allow	1			
F46	Pass 0 stopping time		0.0~60.0s	0	N	68	
F47	Frequency multiple setting		*1	0	0	N	68
			*10	1			
F48	Acceleration and deceleration configuration word	1 bit	No adjustment of acceleration time	0	0000	N	68
			All adjustment of the external analog giving <sup>0000</sup>	1			
			A12 adjustment of the external analog giving	2			
			A13 adjustment of the external analog giving	3			
			Adjustment of keyboard potentiometer giving	4			

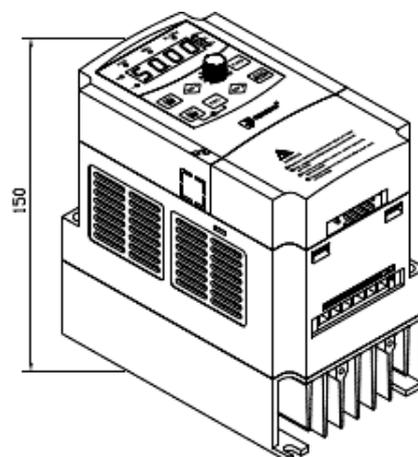
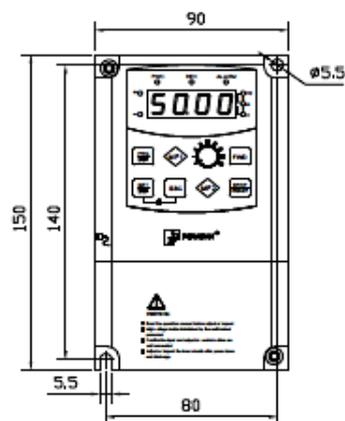
			Adjustment of Multi steps digital voltage giving	5			
		10 bit	No adjustment of deceleration time	0			
			All adjustment of the external analog giving <sup>0000</sup>	1			
			A12 adjustment of the external analog giving	2			
			A13 adjustment of the external analog giving	3			
			Adjustment of keyboard potentiometer giving	4			
			Adjustment of Multi steps digital voltage giving	5			
			100 bit	Acceleration time: *s	0		
		Acceleration time: *min		1			
		Acceleration time: *h		2			
		Acceleration time: *day		3			
		1000bit	Deceleration time: *s	0			
			Deceleration time: *min	1			
			Deceleration time: *h	2			
			Deceleration time: *day	3			
F49	Running configuration word	1 bit	Running direction: forward	0	0000	N	70
			Running direction: reverse	1			
		10 bit	Running time: *s	0			
			Running time: *min	1			
			Running time: *h	2			
Running time: *day	3						
F50	Energy saving running percentage		30~100	100	N	70	

## Parámetros PID

Code	Description / LCD	Setting Range		Factory Setting	Change Limited	Reference page	
P00	PID configuration	1 bit	Unidirectional regulation	0	0000	N	112
			Bidirectional regulation	1			
		10 bit	Negative effect	0			
			Positive effect	1			
		100 bit	PID fault, No action	0			
			Warning & continuous running	1			
			Warning & decelerating stop	2			
			Warning & free stop	3			
		1000bit	-	-			
-	-						
P01	PID Output Limit	0~100		100	Y	113	
P02	Feedback signal	Set frequency by	0	2	Y	113	

	selection	keyboard or RS485				
		All external analogy giving <sup>0000</sup>	1			
		AI2 external analogy giving	2			
		AI3 external analogy giving	3			
		Keyboard potentiometer giving	4			
		multi-step digital voltage giving	5			
		Digital pulse set	6			
P03	Setting signal selection	Set frequency by keyboard or RS485	0	2	Y	113
		All external analogy giving <sup>0000</sup>	1			
		AI2 external analogy giving	2			
		AI3 external analogy giving	3			
		Keyboard potentiometer giving	4			
		Multi-step digital voltage giving	5			
		Digital pulse set	6			
P04	Keyboard set signal	0.0~100.0	50.0	Y	114	
P05	PID integral time	0.002~10.000	0.250	Y	114	
P06	PID differential time	0.000~10.000	0.000	Y	114	
P07	PID proportion gain	0~1000.0	100.0	Y	114	
P08	PID sampling period	0.002~10.000	0.010	Y	115	
P09	Deviation limit	0.0~20.0	5.0	Y	115	
P10	PID fault detect time	0.0~3200.0	0.0	N	115	
P11	PID fault detected value	0.0~100.0	10.0	N	115	
P12	PID display range	0.00~100.00	1.00	Y	115	

## Dimensiones



## ANEXO VII

### Manual de módulo analógico G7F-ADHA

#### Características generales de módulo analógico

No	Item	Specifications	Standard				
1	Operating temperature	0 ~ 55 °C					
2	Storage temperature	-25 ~ 75 °C					
3	Operating Humidity	5 ~ 95%RH, non-condensing					
4	Storage humidity	5 ~ 95%RH, non-condensing					
5	Vibration	Occasional vibration				10 times in each direction for X, Y, Z	IEC 61131-2
		Frequency	Acceleration	Amplitude	Sweep count		
		10 ≤ f < 57 Hz	-	0.075 mm			
		57 ≤ f ≤ 150 Hz	9.8 <sub>m/s²</sub> (1G)	-			
		Continuous vibration					
		Frequency	Acceleration	Amplitude			
		10 ≤ f < 57 Hz	-	0.035 mm			
		57 ≤ f ≤ 150 Hz	4.9 <sub>m/s²</sub> (0.5G)	-			
6	Shocks	*Maximum shock acceleration: 147 <sub>m/s²</sub> (15G) *Duration time :11 ms *Pulse wave: half sine wave pulse( 3 times in each of X, Y and Z)				IEC 61131-2	
7	Noise immunity	Square wave impulse noise	± 1,500 V				
		Electrostatic discharge	Voltage :4kV(contact discharge)			IEC 61131-2 IEC 1000-4-2	
		Radiated electromagnetic field	27 ~ 500 MHz, 10 V/m			IEC 61131-2 IEC 1000-4-3	
		Fast transient burst noise	Severity Level	All power modules	Digital I/Os ( Ue < 24 V ) ( Ue ≥ 24 V )	Digital I/Os ( Ue < 24 V ) Analog I/Os communication I/Os	IEC 61131-2 IEC 1000-4-4
Voltage	2 kV		1 kV	0.25 kV			
8	Atmosphere	Free from corrosive gases and excessive dust					
9	Altitude for use	Up to 2,000m					
10	Pollution degree	2 or lower					
11	Cooling method	Self-cooling					

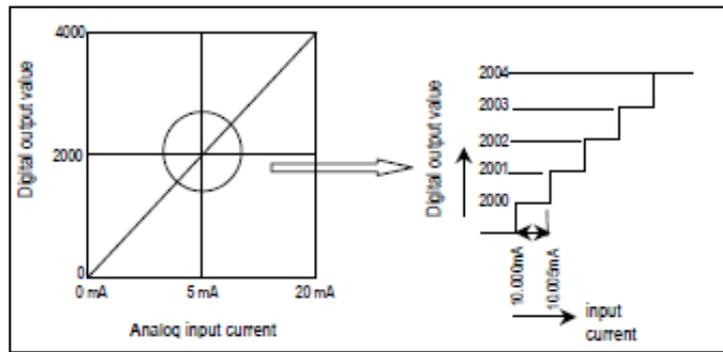
### Características técnicas de módulo analógico

Item		Specifications		
Analog Input	Input Range	Voltage	DC 0 ~ 10V (input resistance more than 1M $\Omega$ )	
		Current	DC 0 ~ 20mA (input resistance 250 $\Omega$ )	Classified by parameter
			DC 4 ~ 20mA (input resistance 250 $\Omega$ )	
	Digital Output	12Bit(-48~4047)		
	Voltage/Current Selection	1.Setting by jumper pin for V/I selection on upper part of product (Up: voltage, Down: Current) 2. Voltage/current selected by the program 3. When current input is used, short the V and I terminal		
	No. of Channel	2Channels		
Absolute max. input	Voltage	DC +12V		
	Current	DC +24mA		
Analog Output	Output Range	Voltage	DC 0 ~ 10V (External load resistance 2k $\Omega$ ~ 1M $\Omega$ )	
		Current	DC 0 ~ 20mA (External load resistance 510 $\Omega$ )	Classified by parameter
			DC 4 ~ 20mA (External load resistance 510 $\Omega$ )	
	Digital Input	12Bit(-48~4047)		
	Voltage/Current Selection	Separated from terminal		
	No. of Channel	1Channel		
Absolute max. Output	Voltage	DC +12V		
	Current	DC +24mA		
Common	Max. resolution	Voltage	DC0 ~ 10V	2.5mV (1/4000)
		Current	DC0 ~ 20mA	5 $\mu$ A (1/4000)
			DC4 ~ 20mA	6.25 $\mu$ A (1/3200)
	Accuracy	$\pm 0.5\%$ [Full scale]		
	Max. conversion speed	2ms/CH + scan time		
	Isolation	Photo coupler insulation between I/O terminals and PLC power supply (No isolation between channels)		
	Connect terminals	9 Points 2 terminals		
	Internal current Consumption	20mA		
	External power supply	DC 21.6 ~ 26.4V, 80mA		
Weight(g)	240g			

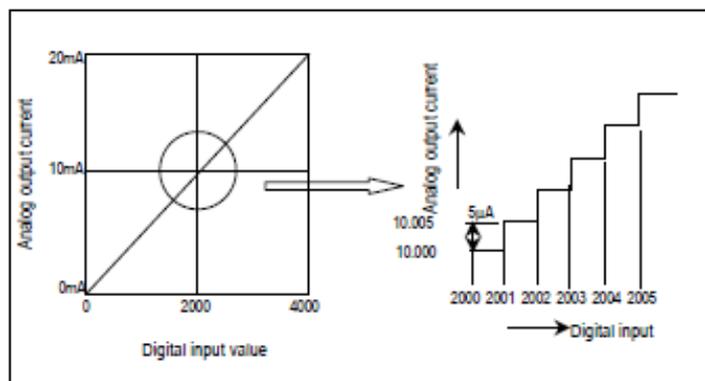
### Registro de datos para PLC Master-K 80S

Special data register	Explanation	remark
D4980	A/D conversion value of channel 1 stores	Expansion A/D module #1
D4981	A/D conversion value of channel 2 stores	
D4982	D/A conversion value set	
D4983	A/D conversion value of channel 1 stores	Expansion A/D module #2
D4984	A/D conversion value of channel 2 stores	
D4985	D/A conversion value set	

### Conversión para corriente de entrada

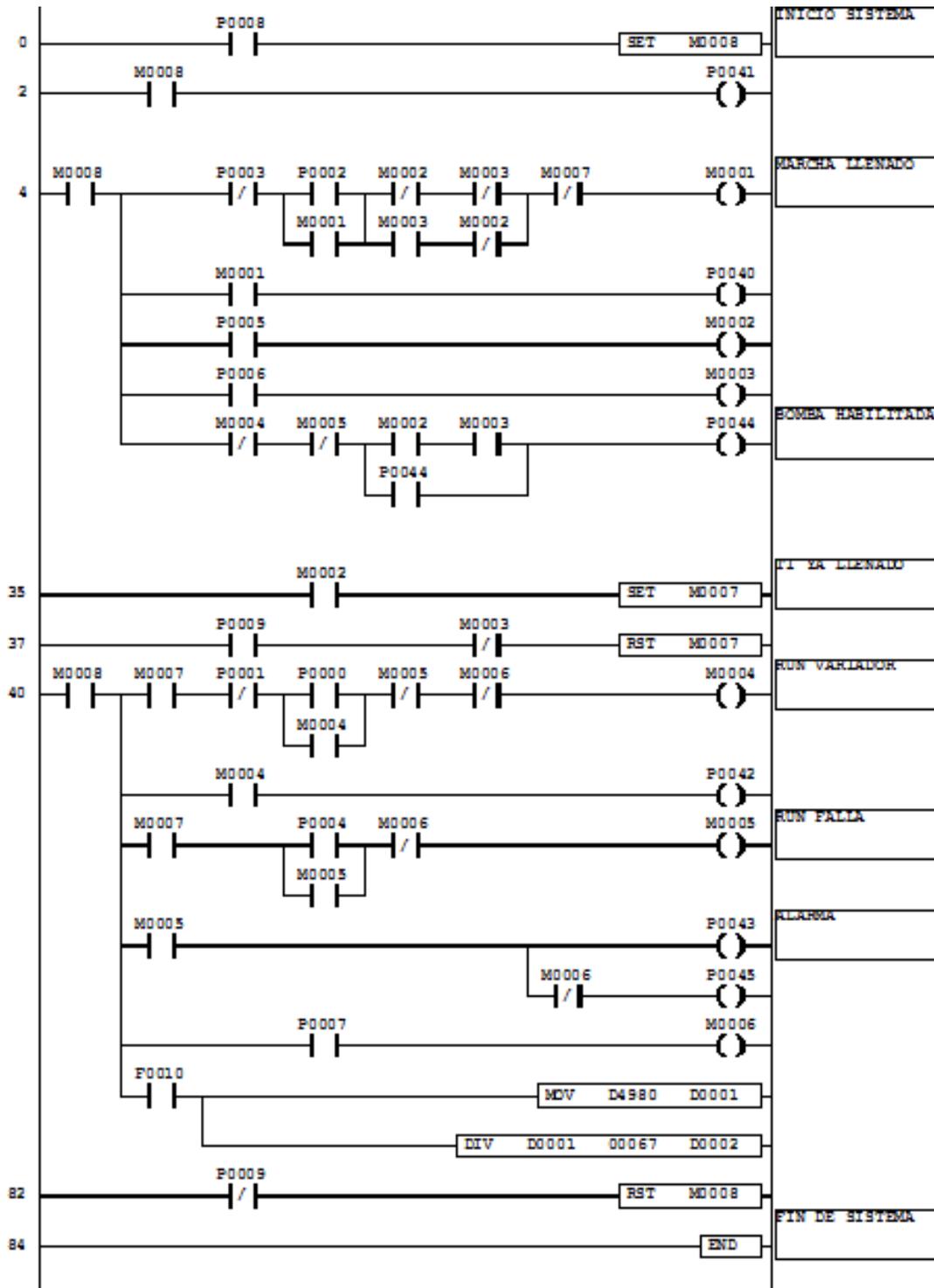


### Conversión para corriente de salida



## ANEXO VIII

### PROGRAMACION DEL PROCESO



**ANEXO IX**  
**PLANOS DE FUERZA Y DE CONTROL**

# **ANEXO X**

## **MANUAL DE USUARIO**

### **Módulo didáctico para control de nivel de agua**

#### **1.1 Introducción**

Este módulo didáctico realiza el control de nivel en un tanque a través de un sensor ultrasónico el cual provee una salida continua de 4-20mA. La programación de la operación de todo el sistema se ha realizado mediante un PLC y ciertas órdenes son dadas por el usuario desde la pantalla HMI. Consta de una opción de falla en donde se destaca el funcionamiento de los interruptores de nivel.

El módulo consta básicamente de los siguientes elementos:

- 1 tanque de succión con capacidad máxima y nominal de 81 litros y 60 litros respectivamente, ubicado en la parte inferior de la estructura de soporte.
- 1 tanque de descarga con capacidad máxima y nominal de 36 litros y 24 litros respectivamente, ubicado en la parte superior de la estructura de soporte.
- 1 bomba trifásica tipo centrífuga de 0.5 HP 220VAC
- 1 variador de frecuencia entrada monofásica, salida trifásica de 1HP POWTRAN
- 1 PLC de 12 entradas/8 salidas LG Master-K 80S
- 1 módulo analógico G7F-ADHA LG
- 1 pantalla HMI LG XP-10
- 3 interruptores de nivel tipo flotador DWYER F6-HPS-31
- 1 transmisor de nivel tipo ultrasónico DL14 Echopod.
- 1 válvula solenoide serie ZS E.MC
- Elementos de tablero de control: 2 pulsadores, 4 luces piloto, disyuntor de protección para variador y panel, 1 pulsador de emergencia)
- 1 Estructura de soporte para elementos del módulo didáctico.

## 1.2 Dimensiones



## 1.3 Procedimiento para puesta en marcha

### 1.3.1 Alimentación eléctrica

Para encender el módulo y poder utilizarlo, se necesita una alimentación de 220VAC.

### 1.3.2 Línea de agua requerida

Para tener la alimentación de agua al tanque de succión, el lugar de montaje debe constar de una línea de agua con una presión no menor a 10 psi y tubería de 1/2", para así garantizar el llenado del tanque de succión alrededor de 1 minuto. Presiones más bajas o reducciones en la tubería pueden afectar a este tiempo de llenado.

## **1.4 Operación del sistema**

1. Energizar el circuito accionando el selector a 'ON'.
2. Pulsar el botón 'Marcha' ubicado en el panel para dar inicio al sistema.
3. Llenar el tanque de succión. La orden es dada a través de la pantalla. Elegir la opción 'llenado' en la pantalla menú y la válvula solenoide comenzará a operar.
4. Cuando se indique habilitación de la bomba, se da marcha a la bomba mediante la pantalla. Elegir la opción 'Bomba' en la pantalla menú. El variador comienza a operar a la bomba.
5. Para simular el consumo de agua, abra la válvula manual instalada en el tanque de descarga.
6. Si se desea seleccionar la opción de falla, realizarlo a través de la pantalla, elegir 'Falla' en el menú principal y escoger 'iniciar falla' con la tecla F1.
7. Para dar fin al sistema, vaciar toda el agua que se encuentre en el tanque de descarga al tanque de succión, luego, pulsar el botón 'Paro' ubicado en el panel.
8. Para volver a trabajar con el módulo, se da inicio al sistema nuevamente a través del pulsador 'Marcha' (el llenado ya no es necesario, tanque de succión ya se encuentra lleno)
  - Para vaciar el tanque de succión, abrir válvula manual ubicada en la parte inferior de este tanque.

## **1.5 Selección de set point**

La selección de set point se realiza desde el variador de frecuencia. Para esto seguir los siguientes pasos:

1. Pulsar el botón PRG para seleccionar el parámetro de ajuste
2. Elegir mediante el potenciómetro del variador el parámetro P04 y pulsar nuevamente PRG
3. Cambiar el valor del set point mediante el potenciómetro (0-100%)
4. Pulsar la tecla SET para guardar los cambios

5. Seleccionar la tecla ESC para salir del modo de programación y volver al display principal.

Si se desea visualizar el set point actual del sistema revisar el parámetro S09 con la tecla SET, y para conocer la variación del set point a lo largo del proceso, realizarlo a través del parámetro S10 con la tecla SET

## **1.6 Uso de pantalla HMI**

En el menú principal se encuentran tres opciones: 'Llenado', 'Bomba', 'Falla', 'Ver nivel'.**1.6.1 Llenado:**

Marcha: activa válvula solenoide para llenar tanque de succión.

Paro: desactiva válvula solenoide para llenar tanque de succión.

Bomba habilitada: la bomba se encuentra lista para su arranque (ir a 'Bomba').

Menú: Regreso al menú principal.

### **1.6.2 Bomba**

Run: se da marcha al a bomba

Stop: Se da la orden de parar a la bomba

Menú: Regreso al menú principal.

### **1.6.3 Falla**

Iniciar falla: Da inicio a la opción de falla

Para regresar al menú seleccionar F4

- Se puede visualizar nivel del tanque de descarga.

### **1.6.4 Ver nivel**

Se visualiza nivel actual del tanque de descarga y señalización cuando se activa el nivel alto de este tanque.

Menú: Regreso al menú principal

## **1.7 Opción de falla**

La opción de falla puede ser seleccionada en cualquier momento a lo largo de todo el proceso. Esta opción de falla va a provocar que el sensor ultrasónico deje de funcionar y la bomba llenará todo el tanque de succión hasta su nivel alto dado por el interruptor de nivel alto.

## **1.8 Solución de problemas**

### **1.8.1 Módulo no enciende**

Verificar conexiones de alimentación eléctrica del sistema

Verificar paro de emergencia y protección termo magnética del panel.

### **1.8.2 Pantalla HMI no funciona**

Verificar alimentación (24VDC)

Verificar cable de comunicación PLC-Pantalla.

## **1.9 Recomendaciones**

- No conectar potencia de alimentación AC en los terminales de salida U, V, W del variador de frecuencia
- Siempre comprobar que la bomba se encuentre cebada.
- Si se desea verificar conexiones de cableado, realizarlo con el sistema desenergizado.
- Para el cuidado de los elementos de control del panel, se recomienda una temperatura ambiente menor a 40°C
- Realizar un lavado periódico de los tanques para evitar fallas de funcionamiento de los interruptores de nivel.