



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

**AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBAS DE AGUA FRÍA,  
DE FÁBRICA DE TEJIDOS IMPERIAL, S.A.**

**Rony Augusto Castillo López**

**Asesorado por el Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo**

**Guatemala, agosto de 2009**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBAS DE AGUA FRÍA, DE  
FÁBRICA DE TEJIDOS IMPERIAL, S.A.**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR**

**RONY AUGUSTO CASTILLO LÓPEZ  
ASESORADO POR EL ING. ARMANDO ALONSO RIVERA CARRILLO**

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
INGENIERO ELECTRICISTA**

**GUATEMALA, AGOSTO DE 2009**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

<b>DECANO</b>	<b>Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos</b>
<b>VOCAL I</b>	<b>Inga. Glenda Patricia García Soria</b>
<b>VOCAL II</b>	<b>Inga. Alba Maritza Guerrero de López</b>
<b>VOCAL III</b>	<b>Ing. Miguel Angel Dávila Calderón</b>
<b>VOCAL IV</b>	<b>Br. José Milton De León Bran</b>
<b>VOCAL V</b>	<b>Br. Isaac Sultan Mejía</b>
<b>SECRETARIA</b>	<b>Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas</b>

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

<b>DECANO</b>	<b>Ing. Sydney Alexander Samuels Milson</b>
<b>EXAMINADOR</b>	<b>Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo</b>
<b>EXAMINADOR</b>	<b>Ing. Otto Fernando Andrino González</b>
<b>EXAMINADOR</b>	<b>Ing. Armando Gálvez Castillo</b>
<b>SECRETARIO</b>	<b>Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco</b>

**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBAS DE AGUA FRÍA DE  
FÁBRICA DE TEJIDOS IMPERIAL, S.A.,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Mecánica Eléctrica, con fecha de febrero de 2006.



**Rony Augusto Castillo López**

Guatemala, 18 de mayo de 2,002.

Ingeniero  
Renato Escobedo, Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente

Ingeniero Escobedo:

Cumpliendo con lo resuelto por la Dirección de la Escuela, se procedió a la asesoría del trabajo de graduación titulado **AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBAS DE AGUA FRÍA, DE FÁBRICA DE TEJIDOS IMPERIAL, S.A.** desarrollado por el estudiante universitario Rony Augusto Castillo López.

El trabajo presentado por el estudiante Castillo López, ha sido desarrollado cumpliendo con los requisitos reglamentarios y siguiendo las recomendaciones de la asesoría, en virtud de lo cual me permito recomendar su aprobación.

Atentamente



Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo  
Asesor Colegiado No. 4265



Ref. EIME 21.2009  
Guatemala, 15 de JUNIO 2009.

FACULTAD DE INGENIERIA

Señor Director  
Ing. Mario Renato Escobedo Martínez  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

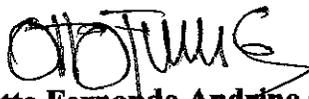
Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
**AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBAS DE AGUA FRIA  
DE FÁBRICA DE TEJIDOS IMPERIAL, S.A.**, del estudiante; **Rony  
Augusto Castillo López**, que cumple con los requisitos establecidos  
para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

  
**Ing. Otto Fernando Andriño González**  
Coordinador Área de Electrotécnica



OFAG/sro



REF. EIME 36.2009.

**El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Area, al trabajo de Graduación del estudiante; Rony Augusto Castillo López titulado: AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBAS DE AGUA FRÍA DE FÁBRICA DE TEJIDOS IMPERIAL, S.A., procede a la autorización del mismo.**

  
**Ing. Mario Renato Escobedo Martínez**  
**DIRECTOR**



**GUATEMALA, 01 DE JULIO 2,009.**



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBAS DE AGUA FRÍA, DE FÁBRICA DE TEJIDOS IMPERIAL, S.A.**, presentado por el estudiante universitario **Rony Augusto Castillo López**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

Ing. Murphy Olympo Paiz Reinos  
Decano



Guatemala, agosto de 2009

## **DEDICATORIA A:**

### **DIOS**

Por guiarme e iluminarme, para culminar ésta carrera universitaria.

### **MIS PADRES**

Rolando Castillo y Nivea de Castillo, por su esfuerzo y apoyo incondicional, que me permitió alcanzar la meta propuesta.

### **MI ESPOSA**

Lourdes Córdova, por su amor, esfuerzo y apoyo incondicional.

### **MIS HIJOS**

Diego Javier y Maria Fernanda, por ser el motor que impulsa mi vida y para que éste triunfo sea ejemplo para sus vidas.

### **MIS HERMANOS**

Por su apoyo y colaboración.

### **LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Por el conocimiento adquirido en sus aulas.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

### **Dios**

**Por derramar sus bendiciones sobre mi y mi familia.**

### **Los ingenieros**

**Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo**

**Inga. Lourdes Maricela Córdova Ramírez**

**Por el apoyo y la colaboración brindada.**

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	<b>V</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>VII</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XI</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>XIII</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>XV</b>
<b>1. AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL</b>	
1.1 Automatización fija	2
1.2 Automatización programable	2
1.3 Automatización flexible	2
1.4 Sistemas de control	2
1.5 Ventajas y desventajas de la automatización industrial	3
<b>2. CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO (PID)</b>	
2.1 Definición	5
2.2 Control proporcional	5
2.3 Control integral	6
2.4 Control derivativo	6
2.5 Como seleccionar un control PID	6
2.5.1 Tipo de señales que usa el sistema a controlar	7
2.5.2 Tipos de transductor	8

### **3. VARIADOR ELECTRÓNICO DE FRECUENCIA**

<b>3.1 Definición</b>	<b>9</b>
<b>3.2 Componentes del variador de frecuencia</b>	<b>10</b>
3.2.1 Etapa rectificadora	10
3.2.2 Etapa intermedia	10
3.2.3 Inversor o Invertir	11
3.2.4 Etapa de control	11
<b>3.3 Programación de un variador de frecuencia</b>	<b>12</b>
<b>3.4 Como seleccionar un variador de frecuencia</b>	<b>13</b>
<b>3.5 Clasificación de los variadores de frecuencia</b>	<b>16</b>
3.5.1 Variador de gama baja	16
3.5.2 Variador de gama media	16
3.5.3 Variador de gama alta	17

### **4. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)**

<b>4.1 Descripción</b>	<b>19</b>
<b>4.2 Hardware del PLC</b>	<b>20</b>
4.2.1 Entradas y salidas del PLC	20
4.2.2 Memoria del PLC	22
4.2.3 Unidad de control de procesos	23
4.2.4 Fuente de alimentación	23
<b>4.3 Software del PLC</b>	<b>24</b>
4.3.1 Lenguaje de programación Ladder	25
<b>4.4 Cómo especificar un PLC</b>	<b>33</b>

<b>5. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROL DE BOMBAS DE AGUA FRÍA DE FÁBRICA DE TEJIDOS IMPERIAL, S.A.</b>	
5.1	Objetivo de la implementación 37
5.2	Alcance del proyecto 37
5.3	Diagrama de bloques del proceso 38
5.4	Optimización de energía eléctrica en el arranque de la bomba de agua piloto desarrollando un lazo de control para mantener la presión constante en la tubería de distribución. 40
5.5	Optimización de energía eléctrica manejando el arranque de tres bombas de agua de acuerdo a la necesidad real de consumo de la planta de tintorería 42
5.6	Diagramas eléctricos 51
<b>6. ANÁLISIS ECONÓMICO</b>	
6.1	Análisis económico del sistema actual de bombeo de agua fría en Fábrica de Tejidos Imperial, S.A. 59
6.2	Análisis económico de la implementación de un sistema automatizado de bombeo en Fábrica de Tejidos Imperial, S.A. 62
	<b>CONCLUSIONES 71</b>
	<b>RECOMENDACIONES 73</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA 75</b>
	<b>APÉNDICES 77</b>
	<b>ANEXOS 91</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. Diagrama en bloques de un autómata o PLC	20
2. Lenguaje de programación como un medio de entendimiento entre el usuario y el sistema	25
3. Input	26
4. Nc-input	26
5. Output	27
6. Marca	27
7. TOF	28
8. TON	28
9. TP	29
10. CTD	29
11. CTU	30
12. CTUD	31
13. DIV	31
14. GRT	32
15. LES	32
16. Diagrama de conexiones de un autómata	35
17. Diagrama de bloques del proceso	39
18. Diagrama de bloques de control	41
19. Diagrama de potencia	52
20. Diagrama de mando	55
21. Diagrama de mando dos.	57

## **TABLAS**

<b>I.</b>	<b>Características de las máquinas teñidoras</b>	<b>42</b>
<b>II.</b>	<b>Capacidades de las bombas de agua centrífugas</b>	<b>42</b>
<b>III.</b>	<b>Consumo de energía de las bombas de agua</b>	<b>59</b>
<b>IV.</b>	<b>Proyección del consumo y demanda de potencia anual del sistema de bombas de agua.</b>	<b>61</b>
<b>V.</b>	<b>Tiempos de llenado de las máquinas en relación a tiempo de trabajo de las bombas de agua</b>	<b>63</b>
<b>VI.</b>	<b>Tiempos de trabajo de bombas de agua</b>	<b>64</b>
<b>VII.</b>	<b>Consumo mensual por bomba</b>	<b>65</b>
<b>VIII.</b>	<b>Materiales eléctricos</b>	<b>66</b>
<b>IX.</b>	<b>Proyección del consumo y demanda anual del sistema automatizado de bombas de agua.</b>	<b>69</b>
<b>X.</b>	<b>Comparación económica entre los sistemas.</b>	<b>69</b>

## GLOSARIO

<b>Convertor análogo/digital</b>	Dispositivo que convierte señales análogas en señales digitales.
<b>Convertor digital / análogo</b>	Dispositivo convierte señales digitales en señales analógicas.
<b>Energía</b>	Es la potencia eléctrica consumida por una carga eléctrica en un período de una hora, se mide en kilovatios hora.
<b>Error</b>	Es la diferencia entre la señal de referencia y la señal de salida real
<b>Perturbación</b>	Es una señal que afecta la salida del sistema, desviándola del valor deseado.
<b>Potencia demandada o demanda</b>	Es la energía que debe tener disponible la empresa eléctrica para satisfacer la demanda de energía que solicitan las plantas durante el arranque de su maquinaria, se mide en kilovatios.
<b>Proceso</b>	Es el conjunto de operaciones que conducen a un resultado determinado.

<b>Sensor</b>	Es un dispositivo que se utiliza para convertir el valor de una magnitud física en una señal eléctrica codificada ya sea en forma analógica o digital con el objetivo de medir parámetros como presión, flujo, temperatura, etc. Para obtener señales eléctricas normalizadas como rangos entre de 0 a 5 voltios, 0 a 10 voltios o de 4 a 20 mA.
<b>Señal análoga</b>	Es una señal continua en el tiempo cuyos valores pueden cambiar dentro de un rango determinado de voltaje o corriente.
<b>Señal de control</b>	Es una señal producida por el controlador para modificar la variable controlada con el objeto de disminuir o eliminar el error.
<b>Señal de referencia</b>	Es el valor que se desea que alcance la señal de salida.
<b>Señal de salida</b>	Es la variable que se desea controlar, por lo que también se llama variable controlada y puede ser por ejemplo velocidad, presión, temperatura, etc.
<b>Señal digital</b>	Es una señal discontinua en el tiempo. Este tipo de señal solamente toma valores de todo o nada que digitalmente se representan como 1 ó 0 respectivamente.

<b>Sistema</b>	Es el conjunto de elementos que actúan coordinadamente para realizar un objetivo determinado.
<b>Sistema de control de lazo abierto</b>	En este tipo de control la señal de salida no se utiliza para generar la señal de control.
<b>Sistema de control de lazo cerrado</b>	También es llamado control retroalimentado debido a que constantemente se esta monitoreando la señal de salida para compararla con la señal de referencia y calcular el error, el cual se aplica al controlador para generar la señal de control con el propósito de tratar de llevar la señal de salida al valor deseado.
<b>VAN</b>	Es el valor actual neto que consiste en encontrar la diferencia entre el valor actual de los flujos de beneficios y el valor actual de los costos. La tasa que se utiliza para descontar los flujos, es aquella tasa de interés que se obtendría en la mejor alternativa de inversión.
<b>TIR</b>	Es la tasa interna de retorno que consiste es la tasa de interés que hace que el valor actual de los flujos de beneficios (positivos) sea igual al valor actual de los flujos de costos (negativos).

**Es como la tasa de interés que nos paga el proyecto, por poner en él nuestro dinero.**

## **RESUMEN**

La automatización industrial se puede entender como la facultad de autonomía o acción de operar por sí solo que poseen los procesos industriales, donde sus actividades de producción son realizadas a través de acciones autónomas con una participación de fuerza física humana mínima, haciendo la participación de inteligencia artificial máxima.

En el presente trabajo de graduación se diseña un sistema de control para automatizar el arranque de tres bombas centrífugas, que alimentan de agua fría a la planta de tintorería de Fábrica de Tejidos Imperial, S.A., para desarrollar el sistema de automatización se emplean equipos como un variador de frecuencia, un control PID y un PLC auxiliados entre otros elementos de control por transductores de presión a corriente y relevadores de nivel de agua.

Para verificar la viabilidad de la implementación de este trabajo de graduación, se costea el proyecto y el ahorro de energía que se consigue con el desarrollo de la automatización para tener la idea clara de la eficiencia del proyecto.

## **OBJETIVOS**

- **General:**

Automatizar el sistema de arranque de bombas de agua fría de la Fábrica de Tejidos Imperial, S.A.

- **Específicos:**

1. Controlar el arranque y paro de tres bombas de agua que trabajan durante veinticuatro horas sin parar.
2. Reducir el pago de energía eléctrica correspondiente al uso del sistema de bombas de agua fría.
3. Aplicar las herramientas de la ingeniería eléctrica para la implementar un sistema de automatización industrial.

## **INTRODUCCIÓN**

En la actualidad, toda empresa que desea permanecer en el mercado y más aún en una posición privilegiada, debe competir con calidad mundial y con eficiencia para lograr la plena satisfacción de sus clientes logrando el mejor beneficio posible para los accionistas de las empresas; esto se logra optimizando los recursos de la empresa en el proceso de producción haciéndolo confiable, preciso y seguro mediante la aplicación de tecnología de punta.

En una empresa textil y más específicamente en el área de tintorería, su principal insumo es el agua por lo que debe garantizarse la continuidad en el servicio así como el control óptimo y adecuado de las bombas de agua que son las encargadas de proveedor del vital líquido a las máquinas teñidoras.

El presente trabajo de graduación consiste en un sistema de automatización industrial, el primer capítulo explica los conceptos relacionados con este tema, a continuación se describen la herramientas empleadas en la implementación que son el control PID (proporcional, integral, derivativo), el variador de frecuencia y el PLC (controlador lógico programable).

Después de conocer las herramientas de automatización se implementa el sistema de automatización de las bombas de agua fría de la Fábrica de Tejidos Imperial S.A., para lo cual se hacen los diagramas eléctricos y el programa para PLC correspondiente. Finalmente se hace un análisis económico para comparar la situación actual con el panorama que se tiene pronosticado conseguir con el objeto de tomar la dedición de su ejecución o no.

## **1. AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

La automatización industrial es un conjunto de técnicas que involucran la aplicación e integración de sistemas industriales para desarrollar las actividades de operación y funcionamiento en forma autónoma. Es un área en la que se apoyan diferentes disciplinas para la solución de problemas industriales como la eficiencia, productividad, calidad, decisiones estratégicas y diseño de procesos, tanto a nivel de producción y planta como a nivel gerencial.

La automatización industrial se puede entender como la facultad de autonomía o acción de operar por sí solo que poseen los procesos industriales, donde sus actividades de producción son realizadas a través de acciones autónomas con una participación de fuerza física humana mínima, haciendo la participación de inteligencia artificial máxima. Cabe destacar que la inteligencia artificial es producto de la inteligencia natural, pero la manifestación de esta inteligencia en los sistemas de control es mediante la programación en los distintos tipos de procesadores por lo tanto es artificial.

Aplicamos la automatización bajo la premisa que no se puede mejorar lo que no se puede medir, ya que la automatización es causada por las mejoras al producto y a sus proceso de fabricación, es por ello que se implementa en las industrias cuando se necesita controlar, inspeccionar o dimensionar de forma rápida y lo más exacto posible parámetros como: cantidad, calidad, métodos de producción, gestión y planificación de la producción, economía de producción y otros.

Se puede clasificar la automatización industrial como: automatización fija, automatización programable y automatización flexible.

## **1.1 Automatización fija**

Se utiliza en procesos especializados que tienen alto volumen de producción que justifican una alta inversión debido al alto rendimiento y tasas de producción elevadas.

La automatización fija tiene la desventaja de que su tiempo de vida es igual al tiempo de vigencia que tenga el proceso específico que este manejando dentro de la producción.

## **1.2 Automatización programable**

Se utiliza automatización programable cuando los productos que se están elaborando cambian constantemente en el mercado. Este tipo de automatización se realiza por medio de software y permite que el equipo de producción sea diseñado para adaptarse a las variaciones de la configuración del producto.

## **1.3 Automatización flexible**

Este sistema posee características de la automatización fija y de la automatización programada, es más adecuada para un rango de producción medio.

## **1.4 Sistemas de control**

Los sistemas de control tienen como función principal observar los procesos y las variables a automatizar, procesar las variables y parámetros observados y comparar la información procesada con los parámetros

programados o deseados para luego corregir los elementos terminales para conseguir los resultados deseados.

Los Sistemas de Control se manifiestan desde un sistema muy simple hasta ser altamente complejo, este grado de complejidad se dará según el tipo de instrumentación a usar, el tipo de procesamiento y los alcances que se desea dar a la automatización. Estos alcances dependerán de situaciones como por ejemplo, supervisión y control de la producción (integración global del sistema de producción), control de procesos industriales (manejo y regulación de variables del sistema), sistemas de seguridad en la producción (alarmas del sistema, protección de personas y dispositivos dentro del proceso productivo), métodos de producción (tipo apagado-encendido), secuencias, (discontinua, continua, producción por unidad, por lotes o *batch*, por masa o volumen) y finalmente el factor económico (la inversión hacia el sistema de control).

### **1.5 Ventajas y desventajas de la automatización industrial**

Como ventajas de la automatización industrial se pueden mencionar:

- Mejor calidad y gestión de procesos.
- Reducción de costos laborales al reducir el costo de la intervención humana.
- Incremento de la productividad al incrementar la cantidad de producto por unidad de tiempo.
- Estandarización de las características de los productos al realizar mediciones más exactas.
- Reducción de costos de energía al evitar reprocesos.
- Incremento de la eficiencia.

Entre los inconvenientes o desventajas con los cuales podemos encontrar en la industria a la hora de hacer una automatización de procesos son los siguientes:

- Posible inversión inicial elevada.
- Resistencia al cambio.
- Ausencia de personal capacitado que pueda manejar las nuevas tecnologías.
- Dependencia tecnológica debido a que por la complejidad del equipo se obligue a tener una relación exclusiva con el proveedor del sistema de automatización en casos de mantenimientos correctivos o actualizaciones.

## **2. CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO (PID)**

### **2.1 Definición**

Un controlador Proporcional Integral Derivativo, llamado por sus siglas PID, es un dispositivo electrónico de control cuyo objetivo es mantener un nivel predeterminado en su salida y para ello, el controlador mide la salida y controla la entrada que usualmente son sensores como por ejemplo de temperatura, de nivel, de presión, velocidad, etc.. Luego, aplica modelos matemáticos a la diferencia entre entrada y salida llamada error. El error es procesado en forma proporcional, integral y derivativa según la ecuación  $U(t) = K_c E(t) + 1/T_1 \int E(t) dt + T_2 dE(t)/dt$ .

### **2.2 Control proporcional**

El error es multiplicado por una constante proporcional  $K_c$ , y enviada a la salida.  $K_c$  representa la banda donde la salida del controlador es proporcional al error del sistema.

El modelo matemático es el siguiente:

$$P_{sal}(t) = K_c E(t)$$

En donde:

$P_{sal}(t)$  es la presión de salida del controlador.

$E(t)$  es la señal de error en la entrada

$K_c$  es la ganancia proporcional

### **2.3 Control integral**

El error  $E(t)$  es integrado con el objeto de promediarlo o sumarlo por un período de tiempo. Luego es multiplicado por una constante y se agrega a la salida proporcional obteniendo el siguiente modelo matemático.

$$P_{sal}(t) = 1/T_1 \int E(t) dt$$

En donde:

$1/T_1$  es la velocidad de reposicionamiento

### **2.4 Control derivativo**

El error se deriva con respecto al tiempo y se multiplica por una constante  $T_2$  y luego se suma a las señales anteriores. La función derivativa es gobernar la respuesta de control a los cambios en el sistema ya que una mayor derivada corresponde a un cambio más rápido y el controlador puede responder acordeamente.

El modelo matemático es:

$$P_{sal}(t) = T_2 dE(t)/dt$$

En donde:

$T_2$  Es el tiempo de acción derivada

### **2.5 Cómo seleccionar un control PID**

Para seleccionar el control adecuado debe seguirse un procedimiento de diseño en el que las especificaciones iniciales para el funcionamiento de un control automático prescriben, generalmente, cantidades como el rango de

operación de la variable de entrada y de sus derivadas, el máximo valor de error aceptable en el estado de régimen y de ser posible, otras cantidades, como tiempo máximo de estabilización y pico de sobretiro. Con un conocimiento preliminar de la naturaleza de la variable de entrada y de la carga, el diseñador integra las componentes del sistema automático de control básico, desarrolla la función de transferencia de lazo abierto de este sistema básico y examina el lugar geométrico de  $E(t)$ , después de ajustar la ganancia  $K$  del sistema para satisfacer los requerimientos del error en estado de régimen y para la estabilidad se examina otra vez el lugar geométrico resultante  $KE(t)$ . Si existe inestabilidad para la ganancia requerida habrá que reformar el lugar geométrico de  $KG(t)$  empleando la compensación derivativa o integral por medio de una componente que adelante o atrase la fase hasta obtener un margen de fase y de ganancia aceptables.

En el momento de solicitar un controlador, deben especificarse el tipo de señales que usa el sistema a controlar y el tipo de transductor los cuales se definen a continuación.

### **2.5.1 Tipo de señales que usa el sistema a controlar.**

Las señales pueden ser analógicas o digitales.

Las señales analógicas pueden ser voltajes de 0 a 24 voltios o corrientes de 4 a 20 miliamperios provenientes de medidores de flujo, de presión, de velocidad, etc.

Las señales digitales trabajan con unos o ceros, es decir o tienen el máximo nivel de tensión establecido nominado como uno, o no tienen nada que es el equivalente a cero voltios. Las señales digitales que entrega el controlador

como parte de la retroalimentación pueden ser aprovechadas por electro válvulas, variadores electrónicos, etc.

### **2.5.2 Tipos de transductor**

Cuando se compra un control PID debe especificarse el tipo de transductor que se requiere debido a que algunos controles PID son provistos de transductores para manejar las señales de entrada y salida. En el caso de que controlador no tenga incorporado el transductor debe solicitarse por separado el transductor adecuado. Los transductores comúnmente utilizados son:

- a) Transductor P / I:** es alimentado con una señal analógica de presión y salida de corriente de 4 a 20 mA.
  
- b) Transductor I /P:** al contrario del transductor P/I, la entrada es una señal de corriente y la salida una señal análoga de presión.
  
- c) Transductor RTD:** son convertidores de temperatura a señal analógica de corriente.

### **3. VARIADOR ELECTRÓNICO DE FRECUENCIA**

#### **3.1 Definición**

Un variador electrónico es un aparato automatizado de control que se utiliza para controlar la velocidad de los motores asincrónicos, cuya frecuencia de giro ( $n_r$ ) depende de la frecuencia de corriente ( $f$ ) y del número de pares de polos de campo ( $p$ ) según la ecuación de frecuencia.

$$n_r = 120f / p$$

Los variadores se constituyen generalmente con tiristores gobernados por un microprocesador que utiliza un algoritmo de control vectorial de flujo, y consiste básicamente en un convertidor estático alterna-alterna (ciclo convertidor) o alterna-continua-alterna (convertidor de enlace), que permiten la modificación progresiva de la frecuencia aplicada, con la consiguiente modificación de la corriente y el par motor. En algunos casos se agregan filtros de armónicas.

Debido a que en nuestro medio la frecuencia de alimentación que entregan las empresas generadoras de electricidad es constante a 60 Hertz. la velocidad de los motores asíncronos será constante mientras no se varíe el número de polos, o el deslizamiento.

Los variadores de velocidad amplían el campo de regulación sobre las bombas de agua donde las condiciones de caudal fluctúan o donde hay necesidad de controlar la presión, temperatura, nivel, etc.

El variador regula la frecuencia del voltaje aplicado al motor, logrando modificar su velocidad. Sin embargo, simultáneamente con el cambio de frecuencia, debe variarse el voltaje aplicado al motor para evitar la saturación del flujo magnético con una elevación de la corriente que dañaría el motor.

### **3.2 Componentes del variador de frecuencia**

Los variadores de frecuencia están compuestos por tres etapas que son: etapa rectificadora, etapa intermedia y el inversor.

#### **3.2.1 Etapa rectificadora**

Su función es convertir el voltaje alterno en voltaje continuo mediante el uso de rectificadores de diodos o tiristores. Los variadores más comunes utilizan modulación PWM (Modulación de Ancho de Pulsos) y usan en la etapa rectificadora puente de diodos rectificadores.

#### **3.2.2 Etapa intermedia**

Funciona como un filtro para suavizar la tensión rectificada y adicionalmente reduce la emisión de armónicos

En la etapa intermedia se usan condensadores y bobinas para disminuir las armónicas y mejorar el factor de potencia. Los fabricantes que utilizan bobinas en la línea en lugar del circuito intermedio, pero tienen la desventaja de ocupar más espacio y disminuir la eficiencia del variador.

### **3.2.3 Inversor o inverter**

Mediante la generación de pulsos, convierte la tensión continua de la etapa intermedia en una tensión de valor y frecuencia variable. Para generar los pulsos controlados de tensión, actualmente se emplea el transistor bipolar de compuerta aislada conocidos como IGBT por sus siglas en inglés *Isolated Gate Bipolar Transistor*.<sup>1</sup>

La tecnología moderna utiliza IGBT's inteligentes que incorporan un microprocesador con toda la protección por sobre corriente, sobre tensión, baja tensión, cortocircuitos, puesta a masa del motor, sobre temperaturas, etc..

Los IGBT's envían pulsos de duración variable y se obtiene una corriente casi senoidal en el motor.

La frecuencia portadora de los IGBT's se encuentra entre 2kHz a 16kHz. Una portadora con alta frecuencia reduce el ruido acústico del motor pero disminuye el rendimiento del motor y la longitud permisible del cable hacia el motor. Por otra parte, los IGBT's generan mayor calor.

### **3.2.4 Etapa de control**

Su función es controlar los IGBT's para generar los pulsos variables de tensión y frecuencia. Adicionalmente controla los parámetros externos en general.

---

<sup>1</sup> Ver más información sobre IGBT en el anexo 1

### **3.3 Programación de un variador de frecuencia.**

La programación de los variadores de frecuencia depende de la marca a utilizar, así como de la capacidad y complejidad del variador, por lo que a continuación se indican los parámetros básicos que se deben programar en los variadores.

- a) **Voltaje nominal:** es el voltaje al cual se conectará el motor, se debe tomar en cuenta que los motores de nuestro medio, en su mayoría tienen la disponibilidad de ser conectados en doscientos cuarenta voltios o en cuatrocientos ochenta voltios, por lo que se debe verificar la conexión del motor antes de introducir este valor al variador.
  
- b) **Corriente nominal del motor:** debe tomarse de la placa característica tomando en cuenta si se conectará en alto o bajo voltaje, ya que de ello depende el valor de la corriente.
  
- c) **Potencia nominal del motor:** este valor se lee de la placa característica del motor.
  
- d) **El factor de potencia del motor:** se lee en la placa característica del motor.
  
- e) **La frecuencia nominal del motor:** se toma de la placa característica y en nuestro medio es 60 Hz.
  
- f) **Velocidad máxima:** es la máxima velocidad en revoluciones por minuto a la cual trabajará el motor dependiendo de la aplicación.

- g) Velocidad mínima:** es la mínima velocidad que puede desarrollar el motor antes de pararse. Esta velocidad depende de la aplicación específica.
- h) Tiempo de aceleración:** debe buscarse el tiempo necesario para que el motor alcance su velocidad máxima en la curva de aceleración tomando en cuenta la calidad del proceso que se desee controlar.
- i) Tiempo de desaceleración:** está limitada por la corriente máxima del motor debido a que si se pretende frenar instantáneamente un motor, el variador se dispara por sobre corriente.
- j) El lenguaje del display:** dependiendo de la procedencia la variador tienen la opción de seleccionar un idioma entre inglés, español, alemán, mandarín, italiano, etc.
- k) Nivel de seguridad del teclado:** usualmente se puede seleccionar entre la visualización de parámetros o limitar el acceso de éstos por medio de códigos de usuario que se pueden acceder por medio del teclado alfanumérico.

Nota: para conocer la forma de cómo acceder al menú de programación del variador, debe referirse al catálogo del fabricante según la marca y modelo del variador.

### **3.4 Cómo seleccionar un variador de frecuencia**

Los datos que se necesitan para especificar un variador son los siguientes:

- a) **Potencia del variador:** es la potencia del motor que se va a accionar y se obtiene del valor de placa del motor. En el caso que en el mercado no se encuentre la capacidad exacta, debe utilizarse la inmediata superior.
  
- b) **Voltaje de alimentación del variador:** al igual que los motores, los variadores vienen fabricados para un rango específico de voltaje por lo que en el mercado local, se debe especificar si se quiere para doscientos veinte voltios o para cuatrocientos cuarenta voltios.
  
- c) **La aplicación del variador:** permite especificar las funciones que se necesitan .

Las principales aplicaciones de los variadores de frecuencia son:

- **Transportadoras:** controlan y sincronizan la velocidad de producción de acuerdo al tipo de producto que se transporta, así como para arrancar suavemente y evitar la caída del producto que se transporta.
  
- **Bombas y ventiladores centrífugos:** controlan los caudales, uso en sistemas de presión constante y volumen variable.
  
- **Bombas de desplazamiento positivo:** control de caudal y dosificación con precisión, controlando la velocidad.
  
- **Ascensores y elevadores:** se utilizan para arranques y parada suaves manteniendo la copia de motor constante, y diferentes velocidades para aplicaciones distintas.

- **Extrusoras:** se obtiene una gran variación de velocidades y control total de la copla del motor.
  - **Centrífugas:** permiten obtener un arranque suave evitando picos de corriente y velocidades de resonancia.
  - **Prensas mecánicas y balancines:** mediante velocidades bajas en el inicio de la tarea, se evitan desperdicios de materiales.
  - **Máquinas textiles:** para distintos tipos de materiales, inclusive para telas que no tienen un tejido simétrico se pueden obtener velocidades del tipo *random* para conseguir tejidos especiales.
  - **Otras aplicaciones:** transportadoras helicoidales, pantógrafos, maquinas para vidrios, laminadoras, mezcladoras, trituradoras de minerales, vehículos eléctricos, juegos mecánicos, etc.
- d) **Ambiente de trabajo:** la mayoría de averías producidas en variadores de velocidad ocurren en las instalaciones donde existen condiciones desfavorables de trabajo. El polvo, la humedad, los ambientes corrosivos y las altas temperaturas son los peores enemigos de un variador de velocidad. El polvo en si no es conductor, pero con la humedad puede ocasionar disparos y daños en las tarjetas electrónicas. Para mayor protección es importante que los variadores posean protección contra salpicaduras de agua y polvo. En cuanto a la temperatura de trabajo, es importante que los equipos puedan trabajar a temperaturas de treinta grados centígrados a régimen nominal.

- e) **Tipo de control:** depende de la aplicación si se utiliza un control vectorial o control escalar.

### **3.5 Clasificación de los variadores de frecuencia.**

Para tener una perspectiva de los variadores que se pueden encontrar en el mercado y de las alternativas existentes se clasifican los variadores en las tres siguientes gamas:

#### **3.5.1 Variadores de gama baja**

No incorporan filtros de radiofrecuencia ni bobinas de choque.

Cuentan con un grado de protección IP00 o IP21.<sup>2</sup>

Temperatura de trabajo de cuarenta grados centígrados.

Display de segmentos numérico.

Dispone de menos de 4 entradas digitales y menos de 2 salidas digitales.

No incorpora comunicación serie.

Se suelen instalar en aplicaciones sencillas, tales como cintas transportadoras y ventiladores donde la consigna se establece por teclado o potenciómetro.

#### **3.5.2 Variadores de gama media**

Los filtros de radiofrecuencia y las bobinas de choque son opcionales.

Grado de protección IP21.

Temperatura de trabajo cuarenta grados centígrados.

Display alfanumérico.

Incorpora comunicación serie, pero dispone de pocos protocolos de comunicación.

---

<sup>2</sup> Ver anexo 2 sobre grado de protección IP.

**Está provisto de alimentación veinticuatro voltios de corriente continua**  
**Dispone entre cuatro y siete entradas y dos ó tres salidas digitales**  
**PID interno**  
**Control escalar**  
**Algunos incorporan macros de aplicaciones.**

### **3.5.3 Variadores de gama alta**

**Equipado con filtros a la entrada.**  
**Bobinas de choque a la entrada y salida.**  
**Grado de protección IP54.**  
**Temperatura de trabajo cincuenta grados centígrados.**  
**Display alfanumérico extraíble con protección IP 54.**  
**Mínimo de siete entradas y tres salidas digitales.**  
**Selección de control escalar o vectorial.**  
**Frecuencia de conmutación de dos a dieciséis Khz..**  
**Suministro de par 250% a velocidad cero.**  
**PLC incorporado para desarrollar con el propio variador cualquier aplicación deseada, o configurar un variador a su medida y poder disponer de temporizadores, tantos PID como requiera la aplicación, puertas lógicas, contadores, generadores de pulsos, osciladores, funciones de transferencia, tablas, funciones aritméticas, etc..**



## **4. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)**

### **4.1 Descripción**

El PLC o autómeta programable es un equipo electrónico de control que se basa en un programa interno en el cual un operador definirá la secuencia de acciones que se realizarán, según los requerimientos de un proceso específico diseñado para el control de maquinaria industrial en tiempo real. Esta secuencia de acciones se ejercerá sobre las salidas del autómeta a partir del estado de sus señales de entrada. Un autómeta programable industrial, representa a la unidad de control dentro de un sistema de control.

Cuando hacemos un circuito controlador por medio de relevadores electromagnéticos, nos encontramos con la dificultad que si queremos hacer algún cambio al circuito, nos toca modificar todo el cableado y necesitamos un espacio bastante considerable para realizar la instalación. Si el sistema lógico esta basado en transistores y queremos modificarlo, de nuevo tendríamos que cambiar las conexiones entre sus componentes lógicos implicando hacer una nueva tarjeta de cobre para modificar las pistas. Por los motivos anteriormente mencionados, se dificulta hacer cambios en los circuitos convencionales y es por ello que se introdujo el concepto del PLC (Controlador Lógico Programable) el cual nos permite codificar las instrucciones para almacenarlas en un circuito de memoria y luego ejecutarlas por medio de un microprocesador, formando con esto un programa. En este caso, si se quiere cambiar una instrucción ya no es necesario mover el cableado del circuito, sino solamente se cambian las instrucciones codificadas.

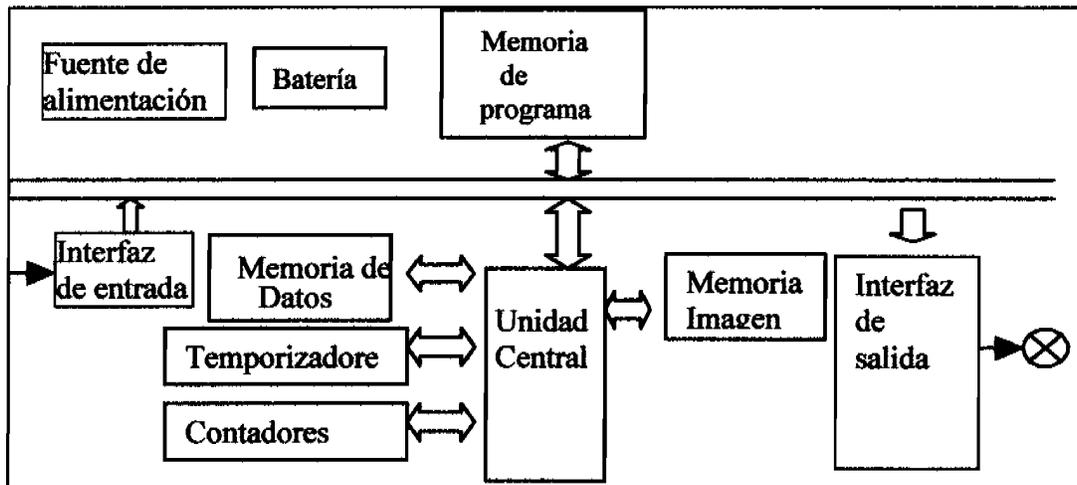
Un PLC, al igual que una computadora, esta formado por Hardware y Software.

## 4.2 Hardware del PLC

El hardware son las partes tangibles de una computadora y en el caso del PLC son:

- Tarjetas de entradas.
- Tarjetas de salidas.
- Memorias.
- Unidad de control y procesamiento.
- Fuente de alimentación.
- Tarjeta de comunicación.

Fig. 1 Diagrama de en bloques de un Autómata o PLC.



### 4.2.1 Entradas y salidas del PLC

Las interfaces de entrada y salida establecen la comunicación del autómata con los elementos implicados en el proceso de producción de la

planta donde se hace la aplicación de automatización. Para ello se conectan, por una parte, con las señales de proceso y por otra, con conexiones que permiten la unión eléctrica entre la unidad de control, las memorias y las interfaces de entrada y salida. El PLC puede trabajar entradas y salidas analógicas o digitales.

Las señales digitales de entrada y salida trabajan con unos o ceros, es decir, o tienen el máximo nivel de tensión establecido nominado como uno, o no tienen nada que es el equivalente a cero voltios. Las señales digitales pueden ser alimentadas por medio de pulsadores, interruptores de final de carrera, foto celdas, detectores de proximidad, etc. Las salidas digitales del PLC pueden ser aprovechadas por lámparas, electro válvulas, variadores electrónicos, etc.

Las señales analógicas varían en forma continua, dentro de un rango de valores predeterminados como por ejemplo de cuatro a veinte miliamperios. Este tipo de señal se aplica por medio de conversores analógico/digital y digital/analógico, aislados de la CPU como lo son convertidores de RTD (Sensores de temperatura).

Con base al número de puntos de entradas y salidas que la CPU puede manejar, se habla de autómatas de gama baja, mediana o alta.

Gama baja con menos de doscientos cincuenta y seis entradas y salidas.

Gama mediana con una cantidad de entradas y salidas entre doscientos cincuenta y seis y mil veinticuatro.

Gama alta con más de mil veinticuatro entradas y salidas.

#### **4.2.2 Memoria del PLC**

En la memoria del autómatas se almacenan datos binarios que según sean sus formatos pueden ser leídos BIT a BIT, en grupos de ocho bits (byte) o dieciséis bits (Word).

Los autómatas combinan los siguientes tipos de memorias:

**Las memorias de lectura / escritura, RAM:** pueden ser leídas y modificadas cuantas veces sea necesario a través de los buses internos, y de forma rápida. Se utilizan principalmente como memorias de datos internos, y únicamente como memorias de programa en el caso de que pueda asegurarse el mantenimiento de los datos con una batería exterior.

**Las memorias ROM,** son solo de lectura, no reprogramables, no pueden ser modificadas de ninguna forma. Se utilizan para almacenar el programa monitor, que contiene las rutinas incluidas por el fabricante como: inicialización tras la alimentación o reset, rutinas de prueba y de respuesta a error de funcionamiento, intercambio de información con unidades exteriores, lectura y escritura en las interfaces de entrada y salida.

**Las memorias EPROM,** son memorias de sólo lectura que pueden programarse con un circuito especial, después de borrar su contenido utilizando luz ultravioleta, para lo cual es necesario extraerla del autómatas. Normalmente se utilizan estas memorias para almacenar el programa del usuario.

**Las memorias EEPROM** son memorias reprogramables sobre el propio circuito, sin necesidad de ser extraídas del autómatas para su borrado. Se emplean principalmente para almacenar programas, aunque en la actualidad es cada vez mas frecuente el uso de combinaciones RAM+EEPROM, utilizando

estas últimas como memorias de seguridad que salvan el contenido de las RAM en caso de interrupción del suministro eléctrico. Una vez reanudada la alimentación el contenido de la EEPROM se vuelca de nuevo a la RAM, por lo que el autómata puede continuar en el mismo punto del programa en el que fue interrumpido por la pérdida de voltaje.

#### **4.2.3 Unidad de Control de Procesos**

La unidad de control de procesos (CPU por sus siglas en inglés de *Control Proces Unit*), se encarga de consultar el estado de las entradas y de adquirir la secuencia de instrucciones que generarán señales de salida específicas en el PLC.

Durante la ejecución del programa, las instrucciones son procesadas en serie, una tras otras. La unidad de control es la responsable de actualizar continuamente los temporizadores y contadores internos que hayan sido programados.

#### **4.2.4 Fuente de alimentación**

Proporciona, a partir de una tensión exterior, las tensiones necesarias para el manejo de circuitos electrónicos del sistema. Usualmente, los autómatas disponen de una batería que permite mantener alimentado el programa y algunos datos de memorias en caso de que se desenergice el autómata.

Los autómatas requieren al menos de dos fuentes de alimentación:

- a) Alimentación del autómata (CPU, memorias e interfaces).
- b) Alimentación de los emisores de señal y de los actuadores de salida.

Generalmente, la alimentación de la CPU puede ser continua a 24 VCC, o en alterna 110V / 220 VCA. En cualquier caso, la propia CPU alimenta las interfaces conectadas a través del bus interno. La alimentación a los circuitos de entrada y salida usualmente pueden realizarse, según dos tipos, en alterna a 24/ 48 / 110 / 220 VCA o en continua a 12 / 24 / 48 VCC.

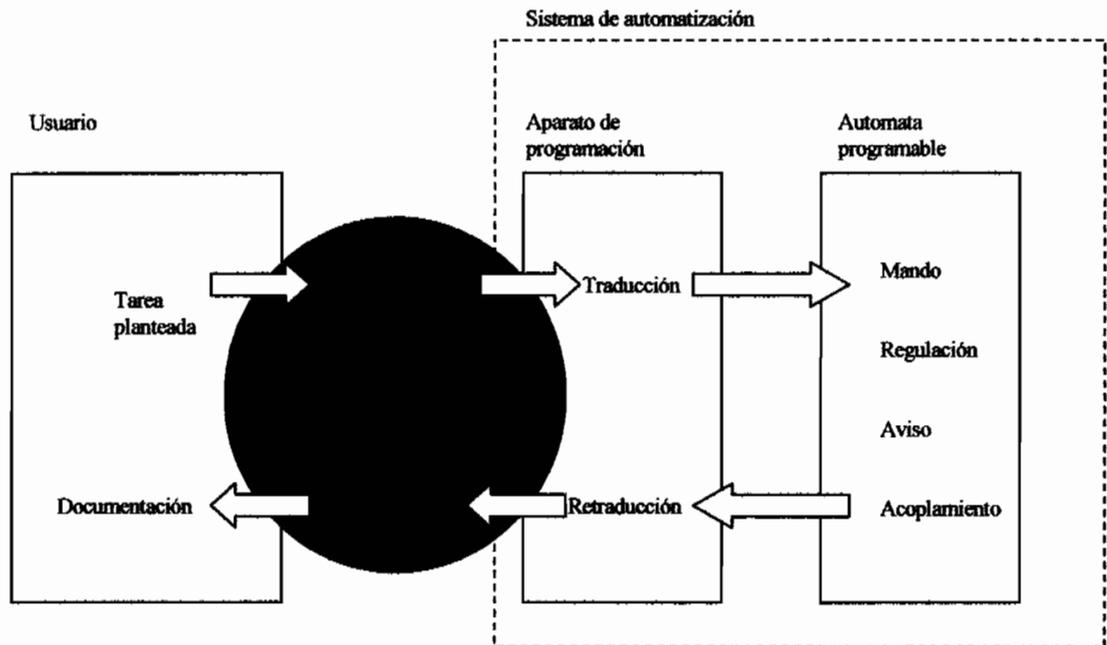
### **4.3 Software del PLC**

El software del PLC, al igual que el resto de las computadoras, esta formado por las partes intangibles como lo son los programas de computación y sus respectivo lenguaje de programación. Debido a que cada fabricante tiene su propio lenguaje de programación, para evitar caer en publicidad, esta tesis se enfocará en un lenguaje común para los fabricantes que es el lenguaje gráfico conocido como de lógica en escalera o Ladder.

Los fabricantes de controladores lógicos programables crean su propio software, dependiendo del modelo y capacidad de sus controladores. Algunos lo hacen en ambiente DOS los cuales son económicos, pero tienen limitaciones en el ambiente de Windows y los programas más sofisticados utilizan herramientas de Windows para hacer aplicaciones como herramientas de diagnóstico y detección de fallas, así como simuladores.

El lenguaje de programación tiene la función de servir como medio de entendimiento entre el usuario y el sistema de automatización como se muestra en la figura dos.

Figura 2 Lenguaje de programación como medio de entendimiento entre el usuario y el sistema



#### 4.3.1 Lenguaje de programación Ladder

Este lenguaje es comúnmente conocido como “Lenguaje Escalera” debido a la forma gráfica en que permite representar el circuito del proceso que se está automatizando. Este lenguaje, utiliza símbolos de todos los elementos que se usan en los diagramas eléctricos entre los que se encuentran contactos normalmente abiertos o cerrados, temporizadores, contadores, registros de desplazamiento, relevadores, etc.

El programa en lenguaje LADDER es escrito por el programador utilizando una computadora personal para luego trasladarlo a la memoria del PLC que lee el programa de forma secuencial haciendo un barrido siguiendo el orden en que

los renglones fueron escritos, comenzando por el renglón superior y terminado con el inferior.

Los programas de este tipo, se componen de símbolos que tienen un significado cada uno, que son variables con valores falso o verdadero. Se cuenta con dos barras verticales que representan los conductores de alimentación eléctrica del diagrama de mando; una barra vertical izquierda que corresponde al conductor con tensión y una barra vertical derecha que corresponde a la línea común o de tierra.

La simbología utilizada comúnmente en el lenguaje LADDER es la siguiente:

### **Input**

Representa una entrada normalmente abierta que puede representar a una entrada lógica asociada a una entrada física del PLC que puede provenir de un pulsador, limitador, guarda-nivel etc.

Figura 3 Input



### **Nc-input**

Este símbolo representa una entrada normalmente cerrada que puede provenir de una entrada lógica asociada a entradas físicas del PLC que provienen de los estados de las variables que forman el sistema de control.

**Figura 4 Nc-input**



Los símbolos anteriores pueden ser asociados a un relevador interno o a una salida.

### **Output**

Representa los dispositivos de salida que pueden estar asociados a salidas físicas como por ejemplo señales de arranque de motores, o puede también asociarse a salidas lógicas del diagrama escalera.

**Figura 5 Output**



### **Marcas**

Son salidas internas de procedimientos que sirven para relacionar una acción que se repite a lo largo del programa, las cuales deben estar claramente definidas antes de hacer el llamado a dicha marca en el programa.

**Figura 6 Marca**

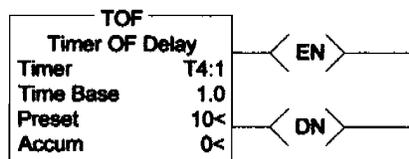


### **Tof**

Este dispositivo representa temporizadores con retardo a la desconexión conocidos como Off-delay y funciona de la siguiente manera:

Al aplicar un nivel lógico en la entrada EN, inmediatamente se activa la salida DN. En este punto, si se corta la señal en la entrada EN, es cuando comienza a transcurrir el tiempo programado como preset en el temporizador. Cuando el tiempo programado ha transcurrido (permaneciendo cortada la señal en la entrada EN), la salida DN se desactiva. Esta condición se mantendrá mientras la entrada EN permanezca sin señal. Si se aplica nuevamente un nivel lógico alto a la entrada EN antes de que el temporizador alcance su tiempo programado, la cuenta del tiempo se pondrá en cero y la salida DN se activará.

Figura 7 TOF

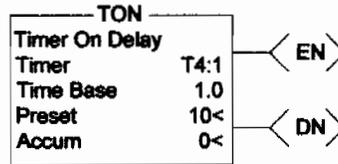


## Ton

Este dispositivo representa un temporizador con retardo a la conexión, conocido como On-Delay y su funcionamiento es la siguiente:

Al aplicar un nivel lógico alto en la entrada EN, comienza a transcurrir el tiempo del temporizador. Cuando el tiempo programado como preset, ha transcurrido, la salida DN se activa. Esta condición continuará hasta que se corte la señal en la entrada EN. Si la señal en la entrada EN es cortada antes de que el temporizador alcance su tiempo programado, la cuenta del tiempo se pondrá en cero y la salida DN se desactivará.

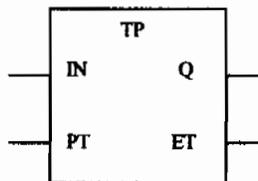
Figura 8 TON



## TP

Este tipo de temporizador tiene el mismo comportamiento del temporizador de simple tiro o monoestable. Cuando una transición de flanco ascendente (de *OFF* a *ON*) es detectada en la entrada IN, la salida Q se activa. Esta condición continuará hasta que el temporizador alcance su tiempo programado en la entrada PT. Luego de que transcurra el tiempo programado en el temporizador, la salida Q permanecerá activa siempre y cuando se mantenga la señal en la entrada IN. Este temporizador no es re-disparable, es decir, que luego de que comience a transcurrir el tiempo en el temporizador, no se podrá detener sino hasta que se complete la sesión. El pin de salida ET indica el tiempo actual transcurrido.

Figura 9 TP

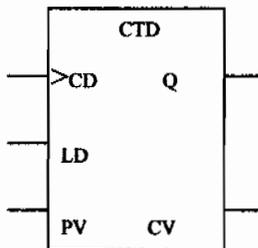


## CTD

Es un contador descendente. Un flanco ascendente en la entrada CD decrementa la cuenta en 1. La salida Q se activará cuando la cuenta actual sea igual o menor que cero. Si se le aplica un nivel lógico alto en la entrada LD

(load), el contador se cargará con el valor que tenga la entrada del valor programado PV. El pin de salida del valor contado CV indica el valor actual de la cuenta.

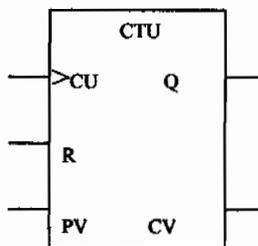
Figura 10 CTD



## CTU

Es un contador ascendente que cuando recibe un flanco ascendente en la entrada del contador ascendente CU incrementará la cuenta en 1. Cuando la cuenta actual alcance al valor fijado en la entrada PV, la salida Q se activará. Si se le aplica un nivel lógico alto en la entrada de reset R, el contador se pondrá en cero. El pin de salida CV indica el valor actual de la cuenta.

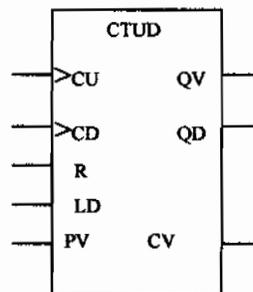
Figura 11 CTU



## CTUD

Es un contador que se puede programar ascendente o descendente. Un flanco ascendente en la entrada CU incrementará al contador en 1, mientras que un flanco ascendente en la entrada CD lo decrementará en 1. Si se aplica un nivel lógico alto en la entrada R, el contador se podrá en cero. Un nivel lógico alto en la entrada LD cargara al contador con el valor que tenga la entrada PV. La salida QV se activa cuando la cuenta actual sea mayor o igual que el valor fijado en la entrada PV. La salida QD se activa cuando la cuenta actual sea menor o igual que cero. El pin de salida CV indica el valor actual de la cuenta.

Figura 12 CTUD



## DIV

Esta función, permite dividir los valores de un rango de corrientes o voltajes, según sea el caso entre una escala donde se este realizando la aplicación. Por ejemplo:

Si se tiene un rango de entradas entre 4 y 20 amperios y queremos relacionar esta información con una escala de volumen de agua de un depósito entre 0 y 100 galones de agua, necesitamos dividir los 16 valores de corriente

disponibles entre los 100 galones para poder obtener un factor de conversión de .16 amperios por galón.

**Figura 13 DIV**

DIV	
Divide	
Source A	I:0.4 0<
Source B	100 100<
Dest	N7:0 0<

## **GRT**

La función GRT o mayor que, hace una comparación entre dos variables, validando que la variable ingresada en la entrada A sea mayor que la variable de la entrada B. Si esta condición no se da, la salida será cero lógico, de lo contrario, la salida será un uno lógico.

**Figura 14 GRT**

GRT	
Greater Than (A>B)	
Source A	N7:0 0<
Source B	N7:2 350<

## **LES**

La función LES o menor que, hace una comparación entre dos variables, validando que la variable ingresada en la entrada A sea menor que la variable de la entrada B. Si esta condición no se da, la salida será cero lógico, de lo contrario, la salida será un uno lógico.

Figura 15 LES

LES	
Less Than	(A<B)
Source A	N7:0
	0<
Source B	N7:1
	30<

#### 4.4 Cómo especificar un PLC

La información básica que se necesita para especificar un PLC, se puede obtener respondiendo las siguientes preguntas sobre el proceso

##### ¿ Cuántos instrumentos de medición hay en el proceso?

Se refiere a aquellos elementos que se usan para obtener datos del proceso que pueden ser presión, temperatura, caudal, nivel, densidad, humedad relativa, contenido de agua, acidez (ph), contenido de oxígeno, torque, velocidad, etc. que por lo general utilizan señales analógicas.

La respuesta a esta primera pregunta, permite averiguar cuantas entradas analógicas y digitales vamos a necesitar en el PLC y que tipo de entrada serán.

##### ¿Cuántos elementos para regulación hay en el proceso?

El más común de los elementos de regulación o de control de procesos, es la válvula de control. Sin embargo, existen otros elementos de regulación como los variadores de velocidad para motores, transductores I/P, salida de pulsos, salidas de voltaje.

La respuesta a esta pregunta nos permite averiguar cuantas salidas de regulación o salidas analógicas, y digitales vamos a necesitar en el PLC y que tipo de salida serán.

### **¿ Cuántas señales de Encender / Apagar dará el operario al proceso?**

En el proceso existen dispositivos que para su control, solamente necesitan una señal de encender y apagar proporcionada por pulsadores, interruptores, limitadores, etc.. Estos a diferencia de los dispositivos de regulación de los mencionados anteriormente, no necesitan señales para regular su comportamiento en forma continua como por ejemplo encendido de motores, bombas de proceso, alarmas sonoras o visuales, indicadores, válvulas, posicionadores on / off, etc.

La respuesta a esta pregunta nos dirá cuantas entradas y salidas digitales se necesitan configurar en el PLC.

### **¿Qué tipo de interacción necesita el operario con el sistema?**

En el caso que el proceso sea controlado por un operario, esta persona puede ser el responsable de iniciar y parar el proceso o de modificarlo para obtener rutinas diferentes, cambiando parámetros y condiciones.

La respuesta a esta pregunta indicará el tipo de interfase humano máquina que se necesita para realizar el proceso.

Los interfaces pueden ser pantallas y para seleccionarla, debemos tomar en cuenta si es una pantalla con valores numéricos, pantalla con valores alfanuméricos, cantidad de mensajes que debe desplegar, capacidad para despliegues gráficos, si es a colores o blanco y negro.

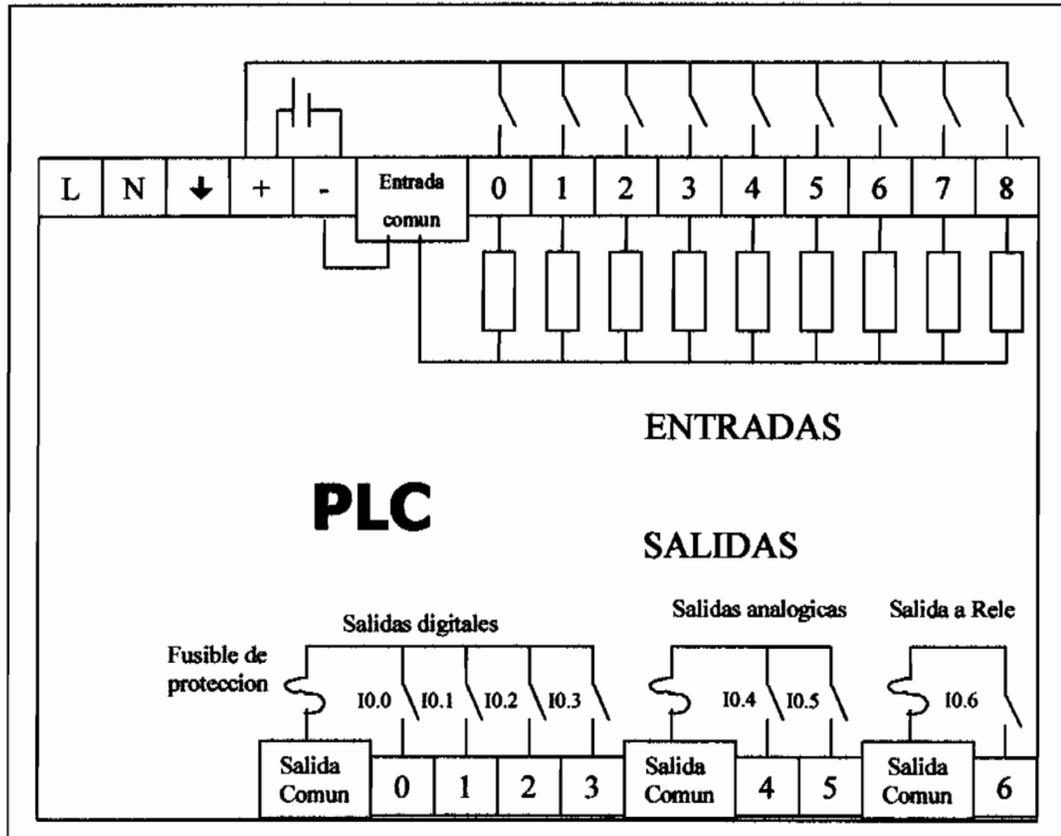
Las aplicaciones donde se requiere un alto grado de seguridad, es mejor pensar en pantallas a color porque permiten que las alarmas sean detectadas mas rápidamente y con mayor exactitud.

### **¿Se necesitan registrar variables del proceso?**

La respuesta a esta pregunta, nos dará las capacidades de comunicación que se necesitan en el proceso.

Normalmente es necesario interconectar los autómatas con servidores que por medio de la red manejan los procesos con el objetivo de mantener un registro de variables que luego permita documentar el comportamiento del proceso con fines de control.

Figura 16 Diagrama de conexiones de un autómata.



## **5. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROL DE BOMBAS DE AGUA FRÍA DE FÁBRICA DE TEJIDOS IMPERIAL, S.A.**

### **5.1 Objetivo de la implementación**

Reducir el consumo de energía eléctrica en el sistema de bombas de agua fría de Fábrica de Tejidos Imperial que se muestra en el apéndice 1, por medio de la automatización del arranque de tres bombas centrífugas de agua de 25 HP cada una.

### **5.2 Alcance del proyecto**

Este proyecto manejará tres bombas centrífugas de agua de 25 HP cada una, que forman la batería de bombas de agua fría del área de Tintorería de Fabrica de tejidos Imperial y una bomba sumergible de 100 HP que alimenta con agua del pozo el tanque de agua fría.

Con la automatización del arranque de las bombas se garantizará la alimentación de agua a siete máquinas teñidoras con el beneficio que las bombas de agua arrancarán únicamente cuando sea necesario y se alargará el período de mantenimiento así como el ahorro de energía que se obtiene al parar las bombas cuando la demanda de agua se reduzca.

Se asigna una bomba que se denomina Bomba Piloto, la cual es manejada directamente por un variador de frecuencia que junto a un control PID la hacen

trabajar de acuerdo al caudal de agua que circula por la tubería de distribución y las otras dos bombas se arrancan de forma manual.

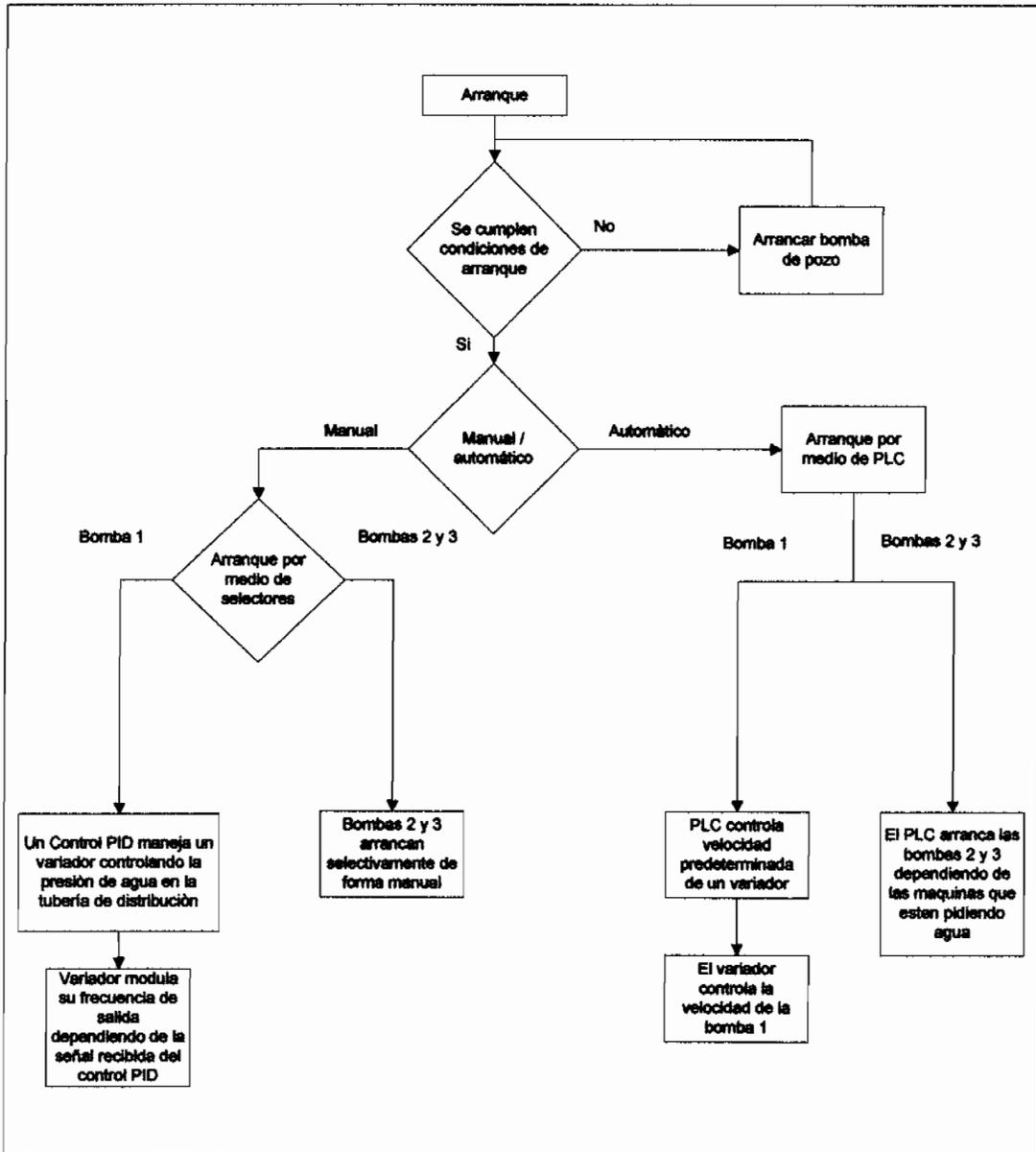
En la segunda parte se automatiza completamente el sistema de bombeo al arrancar la bomba piloto con el control PID y las otras bombas con un PLC que maneja el sistema dependiendo de las señales de demanda de agua que producen las siete máquinas teñidoras.

### **5.3 Diagrama de bloques del proceso**

El diagrama se presenta en la figura 17 donde se indica que la primera parte del proceso es la verificación de las condiciones necesarias para que se puedan arrancar las bombas de agua, condiciones que principalmente son que tenga agua el pozo y el tanque de distribución, seguidamente se toma la decisión de arrancar el sistema en forma manual o automático. El proceso manual consiste en arrancar por medio de selectores las tres bombas de agua. A pesar de ser un sistema de arranque manual, se instala un variador para modular la presión de agua proporcionado por la bomba piloto y se agrega un control PID que recibe señal de un presóstato para enviarle señal al variador de frecuencia.

La otra opción del selector es el arranque en modo automático, donde se cuenta con un PLC que se programa para manejar el paro y marcha de las tres bombas de agua en base al requerimiento de agua que hacen las máquinas teñidoras tomando en cuenta que el control por medio del variador que tiene la bomba piloto, siempre continua trabajando como un subsistema dentro del sistema total automatizado.

Figura 17 Diagrama de bloques del proceso



#### **5.4 Optimización de energía eléctrica en el arranque de la bomba de agua piloto desarrollando un lazo de control para mantener la presión constante en la tubería de distribución.**

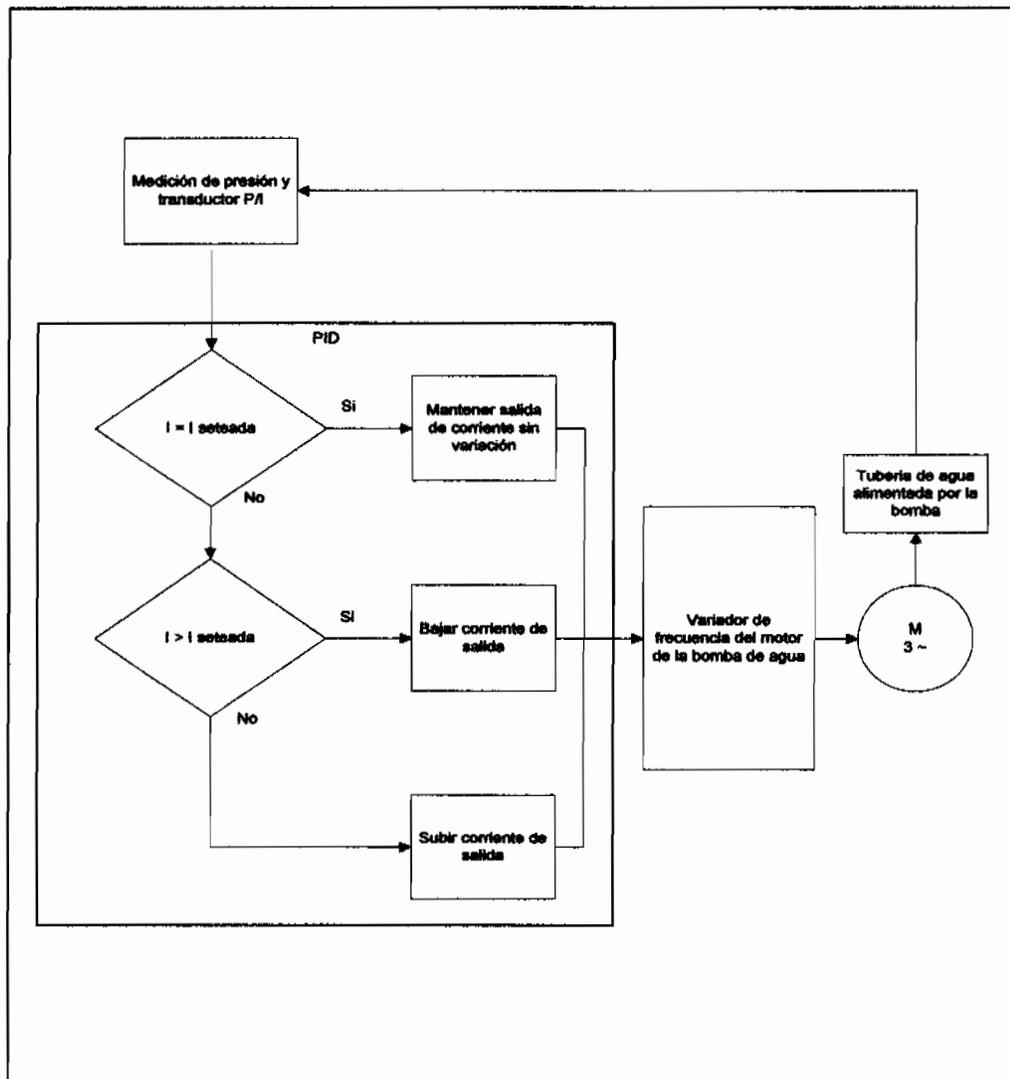
Para medir la presión del agua, se instala un presóstato de membrana tipo hongo directamente en la tubería de distribución y la señal de presión que se obtiene de éste presóstato, se envía directamente a un transductor de presión / corriente que convierte la señal de presión a una señal de salida de cuatro a veinte miliamperios.

La señal de corriente obtenida del transductor, es inyectada a un control proporcional integral derivativo (PID) que se encarga de indicar al variador de velocidad a que frecuencia debe trabajar para subir o bajar la velocidad de la bomba de agua piloto con el objeto de que esta bomba proporcione el diferencial necesario para que la presión permanezca constante. El diagrama eléctrico de este sistema se indica en los apéndices 2 y 3.

El funcionamiento del control PID está basado en un sistema de lazo cerrado como el indicado en el diagrama de bloques de la figura 18 donde el controlador recibe la señal del transductor y la compara de modo que si la corriente de entrada esta dentro del rango indicado por el usuario, la velocidad de la bomba debe permanecer constante, por lo que continua alimentando el variador con la misma corriente. En el caso de que la corriente proporcionada por el transductor sea mayor a la corriente programada en el PID, implica que la presión de agua en la tubería es mayor a la deseada y por lo tanto, el control PID debe disminuir su corriente de salida indicándole con ello al variador que debe bajar su frecuencia para que la bomba de agua disminuya el caudal de salida.

En el caso de que la presión medida sea menor a la presión necesaria, la corriente que proporciona el transductor será baja por lo que el transductor deberá aumentar su corriente de salida indicando al variador que debe aumentar su frecuencia con el objeto de que la bomba aumente su velocidad de salida y así se mantenga la presión dentro de un rango preestablecido.

**Figura 18 Diagrama de bloques de control.**



### 5.5 Optimización de energía eléctrica manejando el arranque de tres bombas de agua de acuerdo a la necesidad real de consumo de la planta de tintorería.

En la planta de tintorería de Fábrica de Tejidos Imperial, S.A., el consumo más crítico de agua se debe a la demanda de las máquinas textiles de teñido, que tienen las características indicadas en la tabla I.

Tabla I. Características de las máquinas teñidoras

Nombre de la Máquina	Capacidad de tela en kg.	Volumen de agua en Lt.	Tiempo promedio de llenado en minutos	Velocidad en Lts/minuto
Sholl 1	1000	4500	2:35	1741.95
Sholl 2	1000	4500	2:48	1607.14
Sholl 3	500	2250	1:27	1551.72
Sholl 4	120	500	0:35	857.19
Scholl 5	1500	6750	3:53	1738.21
Atyc	700	4500	2:40	1687.48
Fongs	1100	7000	4:30	1555.56

Tabla II. Capacidades de las bombas de agua centrifugas

Bomba de agua	Potencia	Caudal en lt / min
1	15 HP	500
2	15 HP	500
3	15 HP	500
4	50 HP	2000

Para proporcionar agua fría a la planta, se utilizan tres bombas de 15 H.P. cada una, como se indica en la tabla II, las cuales proporcionan un caudal de 500 litros por minuto cada bomba, y éstas, permanecen arrancadas durante las veinticuatro horas del día provocando un gasto innecesario de energía cuando el sistema no requiere agua, esto implica que las bombas se quedan girando y el agua no fluye provocando calentamiento por fricción.

Basados en el consumo de agua de cada una de las teñidoras, con los datos obtenidos de las tablas I y II y con el conocimiento de que el pedido de agua por parte de las teñidoras es en forma aleatoria y debido a que además de las máquinas principales de teñido hay otros consumos de agua que se utiliza para lavado de máquinas o para alimentar máquinas de prueba y consumos varios de agua como lavados de tela en hidroextractoras, limpieza de máquinas o servicios sanitarios, se desarrolla un programa para PLC en lenguaje escalera con la finalidad de que el sistema trabaje de acuerdo a los siguientes criterios:

- a) Por presión cuando se necesite solamente mantener presurizada la tubería en el caso de que no halla mayor consumo.
- b) Por flujo cuando no hay pedido de las máquinas teñidoras de producción principales o cuando solamente están trabajando las máquinas que complementan el proceso de teñido.
- c) Por pedido cuando las teñidoras están trabajando.

A continuación se describe el algoritmo del programa en lenguaje escalera presentado en el apéndice 4

## **ALGORITMO DE PROGRAMACIÓN**

Inicialmente se definen las variables que utilizaremos para facilitar la descripción del algoritmo.

**Marcas:** se simbolizan con B3 acompañadas de un número correlativo.

**Entradas:** se simbolizan como I:0 acompañadas de un número correlativo.

**Salidas:** se simbolizan como O:0 acompañadas de un número correlativo.

### **Algoritmo**

0. Para que el sistema trabaje, es esencial que el tanque tenga agua con el objeto que las bombas no trabajen en vacío y para verificar esto, se instala un guarda-nivel que por medio de un contacto normalmente cerrado asignado a una entrada del PLC proporciona dicha información, y a la vez, activa una marca de seguridad de bombas.
1. Si el paso anterior indica por medio de la marca de seguridad que no hay agua en el tanque, se activa por medio de la salida O:04 una alarma de bajo nivel del tanque.
2. Para arrancar el sistema se debe hacer por medio de un interruptor de encendido/apagado y en serie se conecta la señal que nos indica que si hay agua en el tanque asignado el resultado de esta serie a la marca de arranque del sistema

3. La señal de la marca de arranque del sistema, activa la bomba 1 denominada bomba piloto para lo cual lo único que hace el PLC es enviar una señal de arranque al subsistema de control PID y Variador que se utiliza en el modo de arranque manual.
4. Las bombas de agua dos y tres se arrancan por medio de pedido de agua de las máquinas y por un sistema automatizado basado en el flujo de agua en la tubería donde se instala un flujómetro que tiene un rango de medición de entre cero y cien mil gotas por minuto (gpm) pero es un rango demasiado grande, por lo que se asigna esta señal a una entrada analógica del PLC y luego se reduce el rango por medio de un divisor que asigna a otra entrada analógica el resultado de la división que es entre cero y mil. La instalación se muestra en el apéndice seis.
5. Se arranca la bomba dos después de verificar que el sistema este arrancado usando la marca de arranque y se usará un comparador *Greater than* (mayor que) para mandar arrancar la bomba si la entrada analógica tiene un valor mayor a trescientos que equivale a tres mil gotas por minuto. Adicionalmente se pone un retardo de 10 segundos al arranque de la bomba con el objeto de que se estabilice el flujo y no se apague y encienda la bomba durante este período.
6. La bomba dos debe apagarse cuando el flujo disminuya y para esto se compara la señal analógica de entrada con valores predeterminados y si el valor es menor a trescientos, se produce un retardo de 10 segundos para que de nuevo se estabilice el flujo debajo de este valor y no se apague y vuelva a encender la bomba durante este período.

7. Debido a que las máquinas teñidoras cuentan con un sistema automatizado por medio de PLC con salidas a relé, se aprovecha un contacto normal cerrado para que cuando la máquina necesite llenar agua envíe una señal de retorno a nuestro PLC indicando que necesita agua y esto es válido para las siete máquinas teñidoras que debe alimentar el sistema que estamos trabajando. Por lo tanto, si la máquina teñidora Scholl 1 solicita agua al sistema, ésta envía una señal la cual es recibida por medio de una entrada digital y asignada a una marca en el PLC.
8. Si la máquina teñidora Scholl 2 solicita agua al sistema, la entrada digital asignada a dicha máquina debe activar su marca de pedido.
9. Si la máquina teñidora Scholl 3 solicita agua al sistema, se debe activar su marca de pedido por medio de la entrada digital asignada a dicha máquina.
10. Cuando la máquina teñidora Scholl 4 solicita agua al sistema, la entrada digital asignada se activa y esta a su vez debe activar su marca de pedido.
11. A la máquina Scholl 6 se le asigna también una entrada digital que al activarse acciona la marca de pedido correspondiente.
12. Si la máquina teñidora marca Atyc esta en proceso de llenado solicita agua al sistema activando la entrada digital asignada en el PLC y ésta debe activar su marca de pedido.

13. Cuando la máquina Fongs solicita agua al sistema, al igual que las otras teñidoras activa por medio de un contacto normalmente abierto de un relé la señal digital de entrada al PLC que activa la marca de pedido de agua de esta máquina.
14. La bomba piloto es controlada por un variador que se programa para ser controlado por medio de un PLC para modular la presión del agua cuando el PLC no le envía señal de arranque, pero en el caso de que las teñidoras estén trabajando, se necesita que el motor trabaje a su frecuencia nominal por lo que se programa el variador para que por medio de una señal del PLC haga trabajar el motor con una velocidad predeterminada que será a la frecuencia nominal del motor. En esta este paso se genera la señal de salida asignada en el PLC por medio de la activación de las marcas de pedido de las máquinas Scholl 1, Scholl 2 o Scholl 3.
15. Se genera la señal de arranque con velocidad predeterminada para el variador cuando esta llenando cualquiera de las teñidoras Scholl 4, Scholl 6, Atic o Fongs produciendo con esto la activación de sus respectivas marcas de pedido de agua.
16. La bomba de agua número dos arranca cuando se cumplen una serie de condiciones con varias opciones por lo que se hacen dos grupos que activan cada uno una marca del programa con el cumplimiento de cualquiera de las condiciones descritas. El primer grupo de condiciones que activa la primer marca de arranque es el siguiente:
  - a) Que arranque por flujo usando las condiciones adecuadas de los temporizadores de arranque y paro asignados a esta bomba.

- b) Que la teñidora Scholl 1 active su marca de pedido.
  - c) Que las teñidoras Atyc y Scholl 3 activen sus marcas de pedido.
  - d) Que la máquina Fongs active su marca de pedido.
17. El segundo grupo de condiciones que activa la segunda marca para que la bomba dos arranque es cualquiera de las dos condiciones siguientes:
- a) Que la teñidora Scholl 2 active su marca de pedido
  - b) Que la teñidora Scholl 6 active su marca de pedido.
18. La bomba dos arranca cuando se activa cualquiera de las dos marcas asignadas a las series de condiciones mencionadas en los dos incisos anteriores.
19. Si la bomba dos esta arrancada y el flujo de agua es mayor que setecientos en la escala del PLC, se arranca la bomba tres utilizando un temporizador que activa un retardo al arranque por un período de diez segundos con el objeto de evitar que la bomba arranque y pare durante este período.
20. Si está trabajando la bomba dos junto a la bomba tres y el flujo en la tubería es menor a setecientos en la escala del PLC, se inicia el paro de la bomba tres activando un temporizador para retardar su paro con el

objeto de asegurar que no sea necesario arrancar de inmediato esta bomba nuevamente durante un tiempo de diez segundos.

21. Para poder disponer del arranque de la bomba tres y habilitar una de sus marca de arranque, es necesario que se cumpla una de las siguientes condiciones:

Halla transcurrido ya el tiempo del retardo al arranque y que no esté activo el retardo al paro de la bomba tres.

- a) Que la teñidora Scholl 6 active su marca de pedido.
- b) Que la teñidora Fongs active su marca de pedido.
- c) Que las máquinas Scholl 1 y Scholl 2 active su marca de pedido.

22. La segunda marca de arranque de la bomba se activa con el cumplimiento de una de las siguientes condiciones:

- a) Que estén en el ciclo de llenado y por consiguiente tengan habilitadas sus marcas de arranque las teñidoras Scholl 2, Scholl 3 y Scholl 4.
- b) Que estén habilitadas las marcas de pedido de las teñidoras Scholl1, Scholl 3 y Scholl 4.

23. La bomba tres arranca sí las marcas asignados en los numerales veintiuno y veintidós se activan.

24. Por seguridad del sistema, cuando una de las bombas tiene problemas eléctricos y se dispara uno de los relevadores de sobre corriente, se asigna una salida del PLC para que funcione como alarma indicando que una de las protecciones térmicas de las bombas se activo. Debido a que son tres relevadores de sobre corriente, se conectan los tres en paralelo para que cualquiera de ellos active una entrada del PLC para activar una marca de alarma.
25. Al activarse la marca de falla de motores se utiliza un contacto normalmente cerrado del temporizador de apagado y se utiliza un temporizador para encender una luz durante dos segundos conectada a la salida del PLC.
26. Para producir el efecto de apagado y encendido intermitente de la luz de falla, se utiliza un contacto del temporizador utilizado en el paso anterior y la marca de falla para habilitar un temporizador que apaga la luz durante 2 segundos.
27. La señal intermitente de falla se produce uniendo las marcas de falla de los dos pasos anteriores dando el efecto de encendido y apagado por intervalos de 2 segundos.
28. Se activa una luz de programa automatizado en funcionamiento cuando se activa la marca de arranque del sistema.
29. Fin del programa.

## **5.6 Diagramas eléctricos**

Debido a que la aplicación de este sistema es para una planta textil de tintorería donde se necesita la continuidad del servicio de agua, se consideran en el diseño, dos subsistemas que son uno manual y otro automático. Ambos subsistemas están entrelazados para que en el momento de existir algún problema con el equipo de automatización, se pueda conmutar al modo manual por medio del selector S3 indicado en el diagrama de mando.<sup>3</sup>

La descripción del circuito eléctrico se divide en descripción del diagrama de potencia y descripción del diagrama de mando.

### **Descripción del diagrama de Potencia**

El sistema eléctrico de potencia indicado en el diagrama de la figura 19, es un sistema trifásico alimentado por medio de un interruptor trifásico Q1 y protegido por medio de un sistema de porta fusibles tipo cartucho trifásico F0. Para proteger el sistema contra problemas entre las fases que alimentan el sistema, se instala un relé de falta de fase o falla de fase FF.

Para arrancar la bomba piloto M1, se debe activar el variador de frecuencia VF1, el cual está protegido por medio de tres fusibles semiconductores debido a su rápida curva de disparo como se puede comparar en los anexos tres y cuatro. El caudal del agua impulsado por la bomba piloto, dependerá entonces de la salida del variador que es controlado por una señal de entrada analógica.

---

<sup>3</sup>

Ver diagrama de mando fig. 5.3 pag. 55.

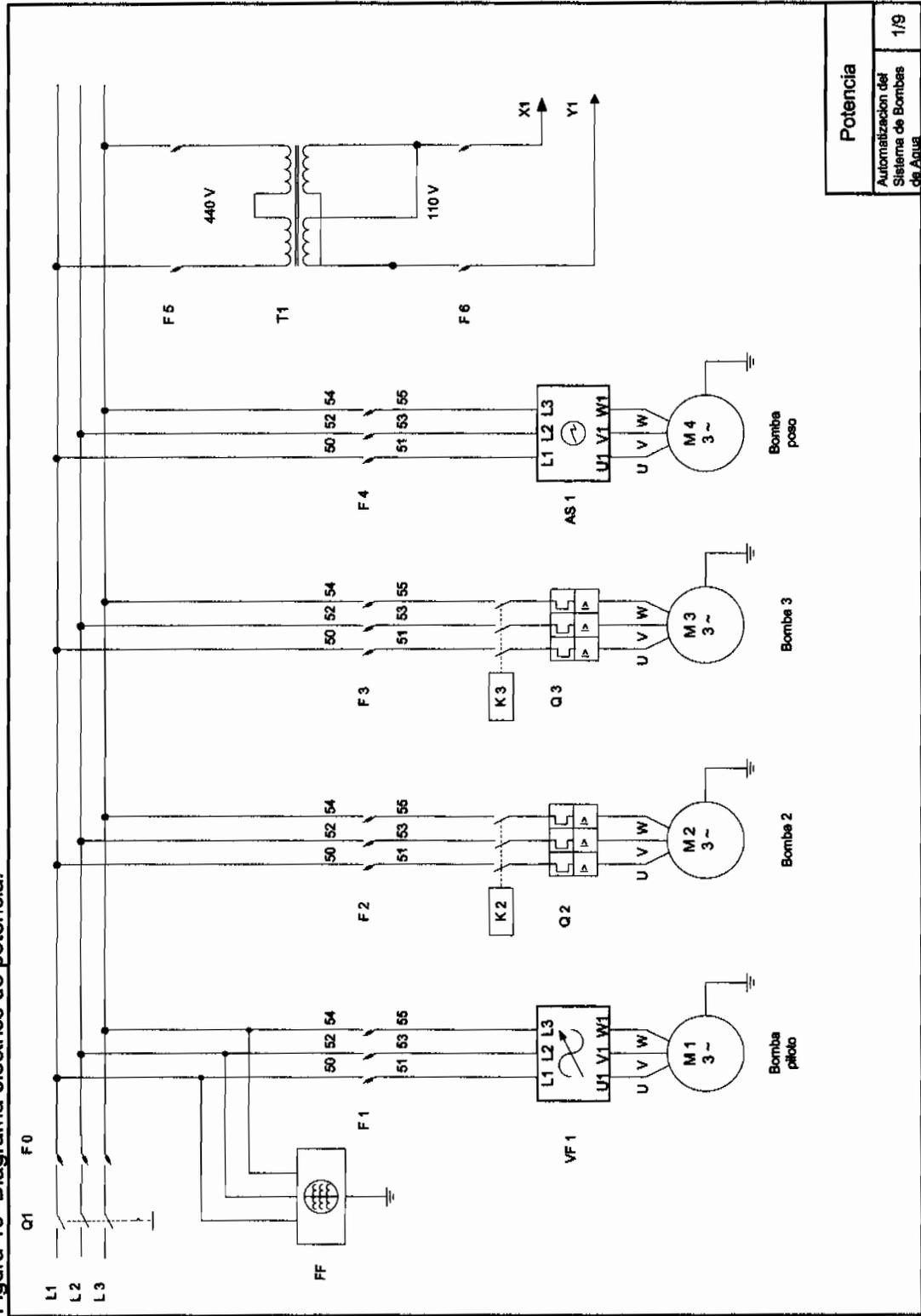
La bomba M2 está controlada por el contactor K2 que esta alimentado por medio de un juego trifásico de fusibles F2 y en la salida tiene conectado en serie un relé térmico Q2 que se encarga de proteger la bomba contra sobre corrientes debidas al mal funcionamiento de la bomba.

La bomba M3, al igual que la bomba M2 está controlada por un contactor que en este caso es K3 el cual esta alimentado por medio de un juego trifásico de fusibles F3 y en la salida tiene conectado en serie un relé de sobre carga que protege el motor de la bomba tres para evitar que se dañe por sobrecorrientes debidas a problemas con la bomba.

La bomba del pozo es controlada directamente por un arrancador suave AS1 que se encarga de reducir el pico de corriente generado en el arranque de la bomba conectando internamente capacitores para proveer el voltaje necesario para que la bomba llegue al par necesario de trabajo. Cuando esto sucede, el arrancador suave, desconecta su fuente capacitiva y continua trabajando como un simple contactor.

Debido a que el voltaje de control del sistema es de 120 voltios, se instala un transformador de instrumento el cual baja el voltaje de 480 V de la alimentación principal a un voltaje de mando de 110V. Este transformador esta alimentado en su entrada con los fusibles F5 y en su salida tiene protección por medio de los fusibles F6 de donde salen las líneas de alimentación X1 y Y1.

Figura 19 Diagrama eléctrico de potencia.



<b>Potencia</b>	
Automatización del Sistema de Bombas de Agua	1/9

## **Descripción del diagrama eléctrico de mando**

El circuito de mando esta alimentado con 110 voltios de corriente alterna, por las líneas X1 y Y1 que son alimentadas por un transformador de control instalado en el área del circuito de potencia del panel, la protección del circuito de mando la hace el fusible F6.

Como se observa en el diagrama de la figura 20, se utiliza un contacto auxiliar del interruptor principal de potencia S1 que es normalmente abierto para alimentar el sistema de mando al energizar el panel eléctrico. A continuación, se instala en serie un contacto auxiliar del relé de falla (RF 21,22) el cual es normalmente cerrado con el objeto de que abra el circuito y pare todo el sistema cuando se active dicho relé como consecuencia de alguna anomalía en el sistema de bombeo. En la línea de alimentación también se conecta en serie un botón de paro de emergencia tipo hongo que sirve para parar el sistema de las bombas por medio de un contacto normalmente cerrado el cual des energiza el mando del sistema al ser activado. Al cumplirse con el cierre de los contactos antes mencionados, se energiza la línea de alimentación X2 que se analizará mas adelante.

Alimentado de X2, se encuentra el selector de tres posiciones S3, el cual en la posición uno activa el modo manual, en la posición dos es modo de paro y en la posición tres activa el modo automático que se representa por medio del punto A indicado en el diagrama.

### **Arranque de la bomba piloto.**

La bomba piloto tiene la capacidad de variar su velocidad debido a que esta controlada por un variador de frecuencia que se activa al cerrar el

interruptor manual S4 (3-4) o al activarse el relé R1 administrado por el sistema automático, ambos contactos están en serie con un contacto de alarma del variador de frecuencia que permanece cerrado en condiciones normales y se activa cuando hay algún problema con el variador. Junto al variador, se enciende la luz indicadora de arranque de la bomba piloto.

### **Arranque de la bomba dos**

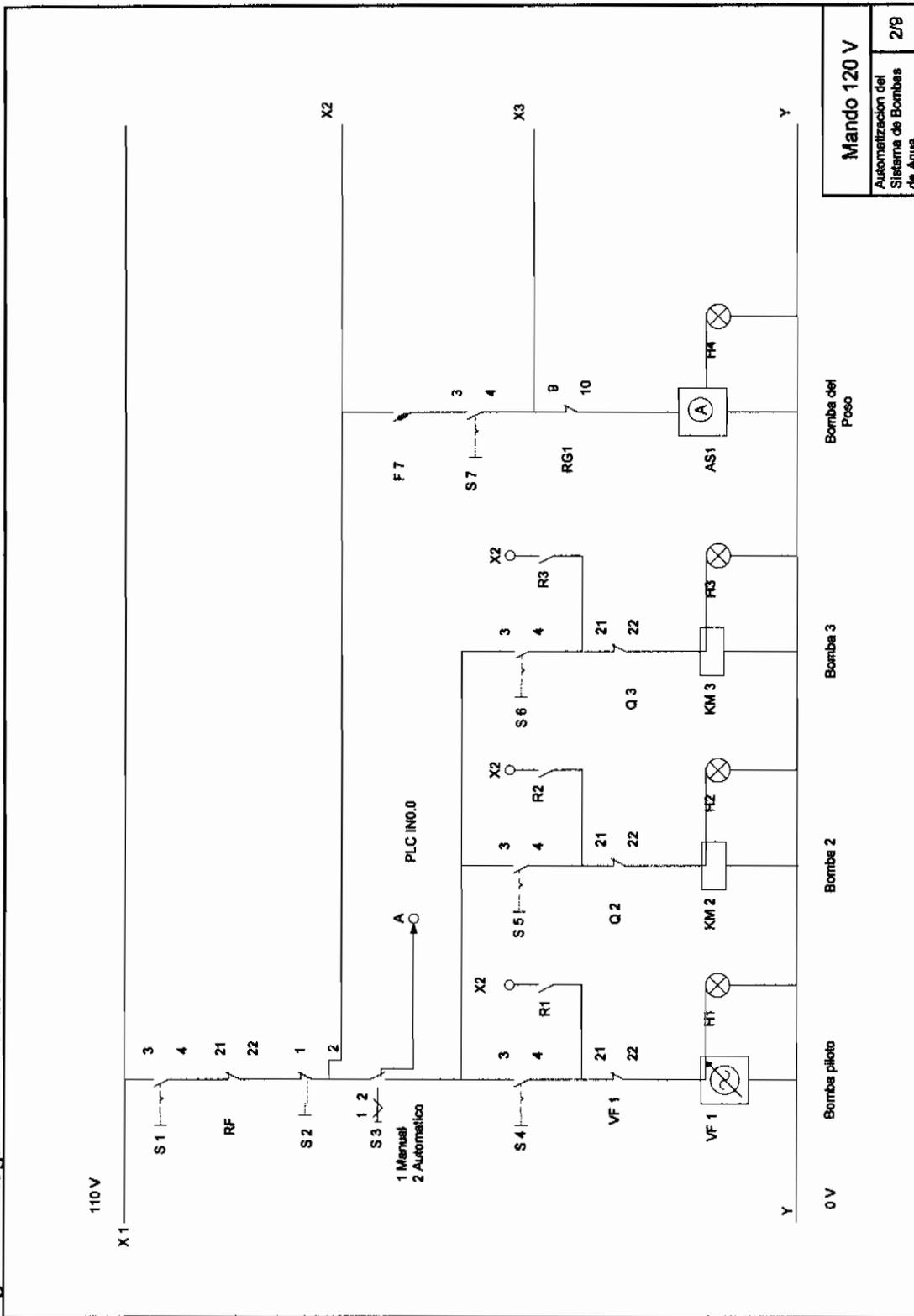
La bomba dos está controlada por el contactor KM2 que se activa junto a la luz piloto de la bomba dos al cerrar el interruptor manual S5 (3-4) o al activarse el relé R2 administrado por el sistema automático, ambos contactos están en serie con un contacto seguridad del relé térmico Q2 que permanece cerrado en condiciones normales y se activa cuando hay algún problema con la bomba dos.

### **Arranque de la bomba tres**

La bomba tres está controlada por el contactor KM3 que se activa junto a la luz piloto de la bomba tres al cerrar el interruptor manual S6 (3-4) o al activarse el relé R3 administrado por el sistema automático, ambos contactos están en serie con un contacto seguridad del relé térmico Q3 que permanece cerrado en condiciones normales y se activa cuando hay algún problema con la bomba tres.

De la línea X2 se alimenta por medio del fusible F7 al interruptor con enclavamiento S7 (3-4) que activa la línea de alimentación X3 de donde se alimenta a través de un contacto del guarda nivel del pozo RGI (9-10) la luz piloto de la bomba del pozo junto al arrancador suave AS1 que es el que controla el arranque de la bomba sumergida dentro del pozo de agua.

Figura 20 Diagrama de mando uno



Mando 120 V	
Automatización del Sistema de Bombas de Agua	2/9

En la figura 21 se observan prolongaciones de las líneas de alimentación X1, X2 y X3. La línea X2, alimenta el relé de falla RF por medio del cierre de cualquiera de los siguientes contactos:

- Contacto de alarma del relé de falla de fase FF (13-14)
- Contacto de alarma del variador de frecuencia VF1 (13-14)
- Contacto normal abierto del relé térmico de la bomba 2 Q2 (13-14)
- Contacto normal abierto del relé térmico de la bomba 3 Q3 (13-14)
- Contacto de falla del arrancador suave de la bomba del pozo AS1 (13-14)

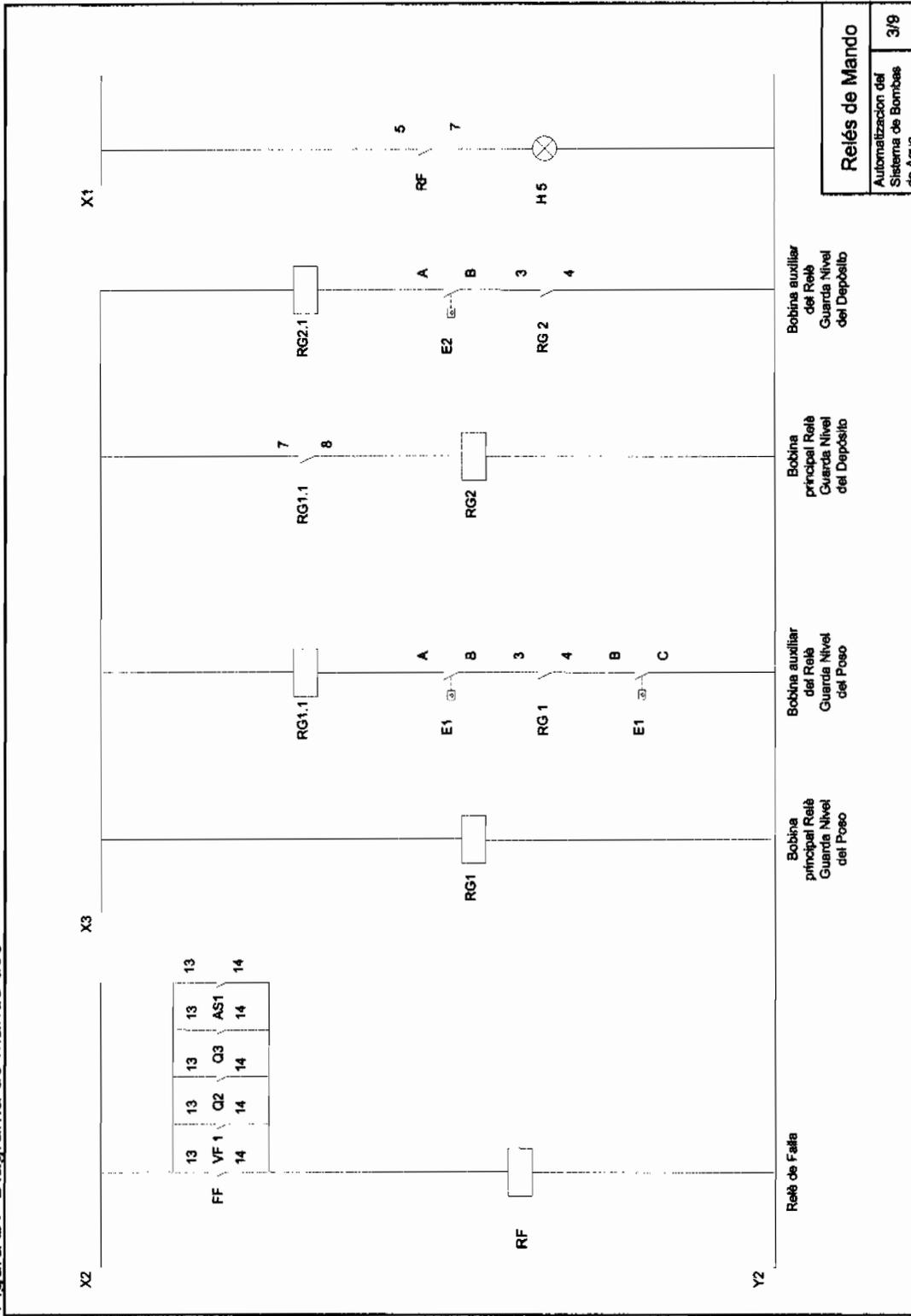
La línea de alimentación X3, se utiliza para alimentar los relevadores de guarda nivel<sup>4</sup> que se encargan de dar las condiciones iniciales para que arranque el sistema debido a que son ellos los que indican si hay agua en el pozo para que pueda arrancar la bomba sumergible o también indican si se vació o llenó el deposito que provee de agua a las bombas centrífugas para mandar arrancar o parar la bomba del pozo.

La línea de alimentación X1 alimenta una indicadora de falla cuando el contacto normalmente abierto del relé de falla se cierra como consecuencia de cualquier problema eléctrico en el sistema.

---

<sup>4</sup> Ver apéndice 5 Guarda nivel.

Figura 21 Diagrama de mando dos



## **6. ANÁLISIS ECONÓMICO**

La creciente preocupación de todos los productores industriales sobre el encarecimiento de la energía eléctrica y el incremento de sus costos de operación, obliga a las empresas a buscar soluciones para el ahorro energético, por lo que en este capítulo se hará un análisis económico de la implementación de un sistema automático de arranque las bombas de agua fría de fábrica de tejidos imperial lo cual se hará haciendo un análisis del consumo de energía actual con su respectivo costo y luego analizaremos cuanta energía se puede llegar a consumir al tener automatizado el sistema con su respectivo costo para obtener un diferencial de gastos entre ambos sistemas con el objeto de determinar la factibilidad de invertir en un sistema de automatización.

### **6.1 Análisis económico del sistema actual de bombeo de agua fría en Fábrica de Tejidos Imperial, S.A.**

Actualmente se mantienen trabajando las tres bombas de agua juntas y el consumo de energía, debido al funcionamiento de dichas bombas es continuo durante todo el mes.

Para este análisis tomaremos como referencia meses de 30 días y para ello se tabulan los datos de consumo de energía de las bombas de agua en la tabla III.

Tabla III. Consumo de energía de las bombas de agua.

Bomba Centrifuga	Potencia en HP	Voltaje de trabajo	Potencia en kW	Días de trabajo	Consumo mensual de energía en kW/h	Demanda del sistema
1	15 HP	460	11.18 kW	30	8,049.60	55.9 kW
2	15 HP	460	11.18 kW	30	8,049.60	11.18 kW
3	15 HP	460	11.18 kW	30	8,049.60	11.18 kW
Sumatoria			33.54 kW	30	24,148.80	76.26 kW

El total de la factura para las empresas catalogadas como gran consumidor esta formada por la suma de un cargo fijo mensual, consumo de energía cobrado en \$/kWh, potencia contratada cobrada en \$/kW, potencia máxima cobrada en \$/kW, recargos por tener un factor de potencia menor a noventa, servicio de alumbrado público y otras penalizaciones.

En este trabajo de graduación se trabajan en los rubros de consumo de energía que es el principal objetivo de este trabajo y en el rubro de demanda o potencia máxima que se puede controlar para reducir el costo de la tarifa eléctrica.

El precio promedio de la energía se tomará como veinte centavos de dólar americano por kilowatio-hora.

En un mes de trabajo, la energía consumida por las bombas de agua fría será el consumo en kW x Horas de trabajo diarias x 30 Días.

$$33.54 \text{ kW} \times 24 \text{ horas} \times 30 \text{ dias} = 24,148.80 \text{ kW-Hora mensual.}$$

El consumo anual de la energía consumida será entonces

$$\text{kW-h } 24,148.80 \times 12 = \text{kW-h } 289,785.60$$

Para obtener el precio anual de energía, multiplicaremos los Kilowattios-hora anuales por el precio de la energía promedio.

$$289,785.60 \text{ kW-h} \times \text{U.S.}\$/\text{kW-h } 0.20 = \text{U.S.}\$ 57,957.12$$

La demanda máxima o potencia máxima es la potencia que debe estar disponible para ser utilizada durante el arranque de la maquinaria, especialmente para el arranque de los motores eléctricos que elevan la corriente hasta cinco veces la corriente nominal, por tal motivo, la potencia máxima depende del tipo de control que tengan los motores en el arranque. Esta potencia se mide con contadores demandómetros que toman lecturas en períodos de 15 minutos dejando registrada la máxima potencia demandada en el período de medición.

Actualmente el arranque de las bombas del sistema de agua fría de la fábrica, es directo implicando que el arranque de las bombas demanden una potencia máxima de 76.25 kW por mes con un costo anual de U.S.\$ 3,202.92 tomando en cuenta que el valor de la potencia máxima es de tres punto cinco dólares americanos por kW demandado.

En la tabla IV se muestra una proyección del consumo de energía y de dato de demanda que afectarán la tarifa eléctrica de la fábrica por cinco años.

Tabla IV. Proyección del consumo y demanda anual del sistema de bombas de agua.

Año	Consumo en U.S.\$	Demanda en U.S.\$	Total en U.S.\$
1	57,957.12	3,202.92	61,160.04
2	52,161.41	3,202.92	55,364.33
3	63,752.83	3,202.92	66,955.75
4	66,650.69	3,202.92	69,853.61
5	66,650.69	3,202.92	69,853.61

## 6.2 Análisis económico de la implementación de un sistema automatizado de bombeo de agua fría en Fábrica de Tejidos Imperial, S.A.

Para poder determinar cuanto tiempo debe trabajar cada bomba de agua realmente, se tabulan a continuación las características de cada máquina tales como capacidad de proceso de tela en kilogramos, el volumen de agua que requiere cada máquina cada vez que se llena, el tiempo promedio que tarda cada máquina en llenarse, la velocidad de llenado en litros por minuto, la cantidad de veces que debe llenarse la máquina por cada proceso, la cantidad de procesos que realiza cada máquina al día y finalmente con estos datos podemos ver realmente cuantas veces al día se llena cada máquina con lo cual podremos tener un estimado de cuanto tiempo debe trabajar el sistema de bombas de agua en un día. Todos estos datos se tabulan en la tabla V.

Tabla V. Tiempos de llenado de las máquinas en relación a tiempo de trabajo de las bombas de agua.<sup>5</sup>

Máquina	Capacidad de procesar tela en kg.	Volumen de agua en Litros que necesita cada maquina	Tiempo promedio de llenado formato HH:MM:SS	Velocidad de llenado de máquina en Lts/minuto	Promedio de llenados que hace la maquina por proceso	Promedio de procesos al día por máquina	Llenados de máquina diarios	Tiempo de trabajo ideal para el sistema de bombeo	Horas de trabajo al vacío
Scholl 1	1000	4500	00:02:35	1741.95	7	4	28	01:12:20	
Scholl 2	1000	4500	00:02:48	1607.14	7	4	28	01:18:24	
Scholl 3	500	2250	00:01:27	1551.72	7	6	42	01:00:54	
Scholl 4	120	500	00:00:35	857.19	7	6	42	00:24:30	
Scholl 5	1500	6750	00:05:15	1738.21	7	3	21	01:50:15	
Atyc	700	4500	00:02:40	1687.48	7	4	28	01:14:40	
Fongs	1100	7000	00:04:30	1555.56	7	3	21	01:34:30	
								08:35:33	15:24:27

Conociendo el número de llenados de máquina por día, se conoce el tiempo que las teñidoras demandan que trabaje el sistema de bombas de agua fría y con ello concluimos, que al sumar el tiempo de llenado de cada máquina, el sistema debería trabajar solamente 8 horas, 35 minutos y 33 segundos, lo cual es en casos ideales, pero éste tiempo se ve afectado debido a que las máquinas teñidoras demandan el agua en forma aleatoria por lo que no se puede determinar si dos o más máquinas estarán pidiendo agua al mismo tiempo. A pesar de ello, se tomará este tiempo como válido con el objeto de hacer el análisis económico para implementar la automatización.

En la tabla VI se tabulan los tiempos que debe trabajar cada bomba de agua para llenar las máquinas teñidoras, como se puede ver en dicha tabla, la

<sup>5</sup> Datos Obtenidos del programa ORGATEX que administra la operación de la planta de tintorería.

bomba uno deber permanecer arrancada 24 horas y esto se debe a que es utilizada como bomba piloto para alimentar a las máquinas hidroextractoras, cocina de químicos y servicios generales. Para ahorrar economizar energía con esta bomba, se le instala un variador de frecuencia que la hace trabajar al 40% de su capacidad mientras el sistema no necesite su máxima potencia. Las bombas dos y tres trabajan únicamente el tiempo necesario para llenar la máquinas teñidoras.

Tabla VI. Tiempos de trabajo de bombas de agua.

Bomba 1	24:00:00
Bomba 2	08:35:33
Bomba 3	08:35:33

Si multiplicamos los tiempos de operación por las potencias de cada motor, y este producto lo multiplicamos por 30 días, al sumar los resultados de las tres bombas, obtenemos el consumo en kW hora del sistema automatizado como se ve en la tabla VII.

Tabla VII. Consumo mensual de energía por bomba.

Bomba	Horas de trabajo	Potencia	Consumo Diario	Consumo Mensual
Bomba 1	24:00:00	11.18 kW	268.32 kW-h	8,049.60 kW-h
Bomba 2	08:35:33	11.18 kW	96.04 kW-h	2,892.00 kW-h
Bomba 3	08:35:33	11.18 kW	96.04 kW-h	2,892.00 kW-h

Automatizando el sistema se observa que el sistema consume kW-hora 13,833.60 por lo que anualmente el consumo es de kW-hora 166,003.02

Si el valor de energía promedio es de U.S.\$ 0.20 por kW-hora, entonces multiplicamos por el consumo anual para obtener el costo anual de energía.

$$\text{U.S.}\$ 0.20 \times \text{kW-hora } 166,003.02 = \text{U.S.}\$ 33,200.64$$

La demanda máxima de potencia para el caso de la bomba piloto del sistema en estudio, se reduce cuando aplicamos el variador de frecuencia para el arranque de esta bomba disminuyendo en un 40% el consumo de la corriente que reducirá de 58.9 kw a 23.56 kw produciendo un ahorro mensual de U.S. \$123.69 y un ahorro anual de U.S.\$ 1,484.28 con respecto al dato que se tiene de U.S.\$ 3,292.92 produciendo una dato para la factura de U.S.\$ 1,808.64.

Para desarrollar el proyecto de automatización es necesario realizar una inversión que consiste en complementar el equipo ya existente por lo que en la tabla VIII se listarán los materiales eléctricos necesarios para hacer el panel de control en base a los diagramas eléctricos. En dicha tabla, en la columna de Instalado, se indican los materiales que ya están instalados en el sistema que trabaja actualmente, en la columna de Nuevo, se listan aquellos materiales que se deben adquirir para hacer la automatización y finalmente en la columna de Precio se indica el valor de los materiales nuevos que es el que nos interesa para conocer la inversión que es necesaria realizar para poder desarrollar el proyecto de automatización.

Tabla VIII. Materiales eléctricos

Cantidad	Descripción	Instalado	Nuevo	Precio
3	Bomba de agua de 15 HP centrífuga completa	3		
1	Pararrayos para panel eléctrico		1	Q.800.00
4	Porta Fusible tipo NH00	4		
6	Fusible NH00 de 25 A.	6		
6	Porta fusible tipo europeo		6	Q. 213.42
3	Fusible tipo semi-conductor de 25 A.		3	Q. 270.00
3	Fusible tipo semi-conductor de 50 A.		3	Q. 300.00
1	Variador de Frecuencia de 15 HP		1	Q.18,052.45
2	Contactador de 15 HP bobina 120V con 1 contacto auxiliar NA y 1 NO	2		
1	Arrancador suave de 50 HP	1		
2	Relè térmico de 22 a 30 amperios con 1 contacto NA.	2		

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Instalado</b>	<b>Nuevo</b>	<b>Precio</b>
1	Transformador de control 480VAC/120VAC	1		
1	PLC de 12 entradas y 7 salidas		1	Q.4,670.00
5	Switch con enclava-miento normalmente abierto	5		
1	Botón de paro tipo hongo normalmente cerrado de 22 mm	1		
1	Selector de tres posiciones de 22mm.		1	Q.150.00
5	Luz piloto color verde de 22 mm.		5	Q.356.40
1	Relé bobina 120V de 8 pines con base		1	Q.157.50
2	Relé guarda nivel	2		
6	Electrúdo para Guarda nivel	6		
1	Luz piloto color rojo.		1	Q.71.28
1	1 Gabinete para la humedad	1		
16	Bornera para riel Din No. 8		1	Q. 132.00
35	Borneras para cable 16-14		35	Q.218.75

Cantidad	Descripción	Instalado	Nuevo	Precio
200 metros	Cable de control 3 x 18 AWG		200	Q. 1,750.00
200 metros	Cable TFF16, 100 mT. Rojo y 100mt. Azul		200	Q. 482.00
20 metros	Cable para variador 4 x 8 AWG		20	Q. 2,423.50
6	Porta fusible para fusible europeo		6	Q.180.00
4	Fusible semiconductor 10 A		4	Q.200.00
2	Fusible semiconductor 6 A.		2	Q. 60.00
1	Fuente de poder de 24VDC, 10A		1	Q. 489.05
1	Transductor Presión / Corriente de 4 a 20 MA		1	Q.2,300.00
1	Control PID		1	Q.2,490.00

Sumando el valor de los materiales que se deben adquirir, obtenemos el valor de Q. 38,189.85 de inversión. Equivalente a U.S.\$ 4,714.80

Con fines de evaluar la implementación del sistema automatizado de control de las bombas de agua fría, se hace una proyección de la energía consumida y el factor de carga del área de tintorería, los datos pueden observarse en la tabla IX.

Tabla IX. Proyección del consumo y demanda anual del sistema automatizado de bombas de agua.

Año	Energía en U.S. \$	Demanda en U.S. \$	Precio Total
2009	33,200.64	1,808.64	35,009.28
2010	29,880.57	1,808.64	31689.21
2011	36,520.70	1,808.64	38329.34
2012	38,180.74	1,808.64	39989.38
2013	38,180.74	1,808.64	39989.38

En la tabla X se comparan los costos de operación del sistema de bombas de agua trabajando como esta actualmente y el sistema automatizado, se trabaja la diferencia entre ambos sistemas para desarrollar el análisis económico.

Tabla X. Comparación económica entre los sistemas.

Año	Proyección de costo con condiciones actuales	Proyección de costos con la automatización	Diferencia (Ingresos / Egresos)
Inversión	0	47,140.8	-4,714.80
1	61,160.04	35,009.28	26,150.76
2	55,364.33	31,689.21	23,675.12
3	66,955.75	38,329.34	28,626.41
4	69,853.61	39,989.38	29,864.23
5	69,853.61	39,989.38	29,864.23

### **Valor actual neto**

Si  $n$  es el número de flujos de caja de la lista de valores, la fórmula de VNA es:

$$VNA = \sum_{i=1}^n \frac{\text{valores}_i}{(1 + \text{tasa})^i}$$

Al aplicar esta fórmula a la columna de ingresos/egresos de la tabla anterior con una tasa de interés del 35% se obtiene un VNA = \$40,691.02

### **Tasa interna de retorno**

La forma de calcular la TIR es al tanteo. Se toma una tasa de interés cualquiera y se obtiene el valor actual de los flujos netos, hasta que se encuentran dos que se acerquen mucho a cero, uno positivo y otro negativo.

Al calcular el TIR de la columna de ingresos/egresos se encuentra una TIR de 549%.

Analizando el VAN se puede determinar que al final del periodo en estudio de cinco años se obtendrán ganancias de \$40,691.02 lo cual demuestra que es un proyecto viable. Y comparando la tasa de interés analizada del 35% con la tasa interna de retorno obtenida de 549% observamos que el rendimiento del proyecto está por arriba de la tasa de interés, es importante destacar que la inversión inicial es mínima comparada con los ingresos que se obtienen anualmente por lo cual la TIR tiende a elevarse por dando un valor mayor al 100%, ya que cuando en un proyecto solo se obtienen ganancias la TIR tiende al infinito.

## **CONCLUSIONES**

- 1. La aplicación de este trabajo de graduación permitirá automatizar el sistema de bombas de agua fría de la Fábrica de Tejidos Imperial, S.A.**
- 2. La automatización del sistema de bombas de agua fría permite dar autonomía al arranque y paro de las tres bombas de agua, por medio de la aplicación de un control lógico programable (PLC) con el beneficio de que éstas no trabajen veinticuatro horas diarias.**
- 3. Como consecuencia de la automatización del sistema de bombas de agua fría, se reduce el pago anual de energía eléctrica consumida en 123,782.58 kilovatios hora proyectándose un ahorro anual de doscientos tres mil, tres quetzales con trece centavos (203,003.13) y un ahorro en la demanda de 35.34 kw proyectando un ahorro anual por este concepto de U.S.\$ 1,484.28.**
- 4. En la automatización del sistema de agua fría se aplican las herramientas proporcionadas por la ingeniería eléctrica en las áreas de máquinas eléctricas y robótica tales como controlador lógico programable (PLC), variador de frecuencia, control proporcional integral derivativo, transductores y sensores eléctricos.**
- 5. Para determinar la viabilidad del proyecto, se obtuvo el valor actual neto (VAN), el cual indica que al final de un período de cinco años se obtiene una ganancia de U.S.\$40,691.02. La tasa interna de retorno (TIR) obtenida en el análisis nos demuestra que el rendimiento del proyecto**

**está muy por arriba de la tasa de interés, lo cual implica ganancias.**

## **RECOMENDACIONES**

- 1. Después de comprobar los beneficios en el sistema de bombas de agua fría, este mismo sistema puede aplicarse al sistema de bombas de agua caliente de la Fábrica de Tejidos Imperial, S.A., el cual tiene las mismas condiciones de trabajo.**
- 2. Debido a que el control de presión, como parámetro de medición es complicado por su alto grado de variabilidad, es posible utilizar únicamente un controlador proporcional integral en lugar de un controlador proporcional integral derivativo completo.**
- 3. El sistema de distribución de agua presenta una alta demanda de potencia, debido a la corriente en el arranque de los motores. Esta corriente se puede reducir aplicando arrancadores suaves a las bombas que están siendo controladas únicamente con contactores.**
- 4. Debido a que las bombas de agua son máquinas rotativas sometidas a desgaste, es necesario programar un mantenimiento periódico para la revisión de cojinetes y sellos mecánicos que pueden producir calentamiento por fricción, lo cual se convierte en consumo eléctrico al frenar los motores. Este mantenimiento puede ser predictivo por medio de termografías a los motores eléctricos.**

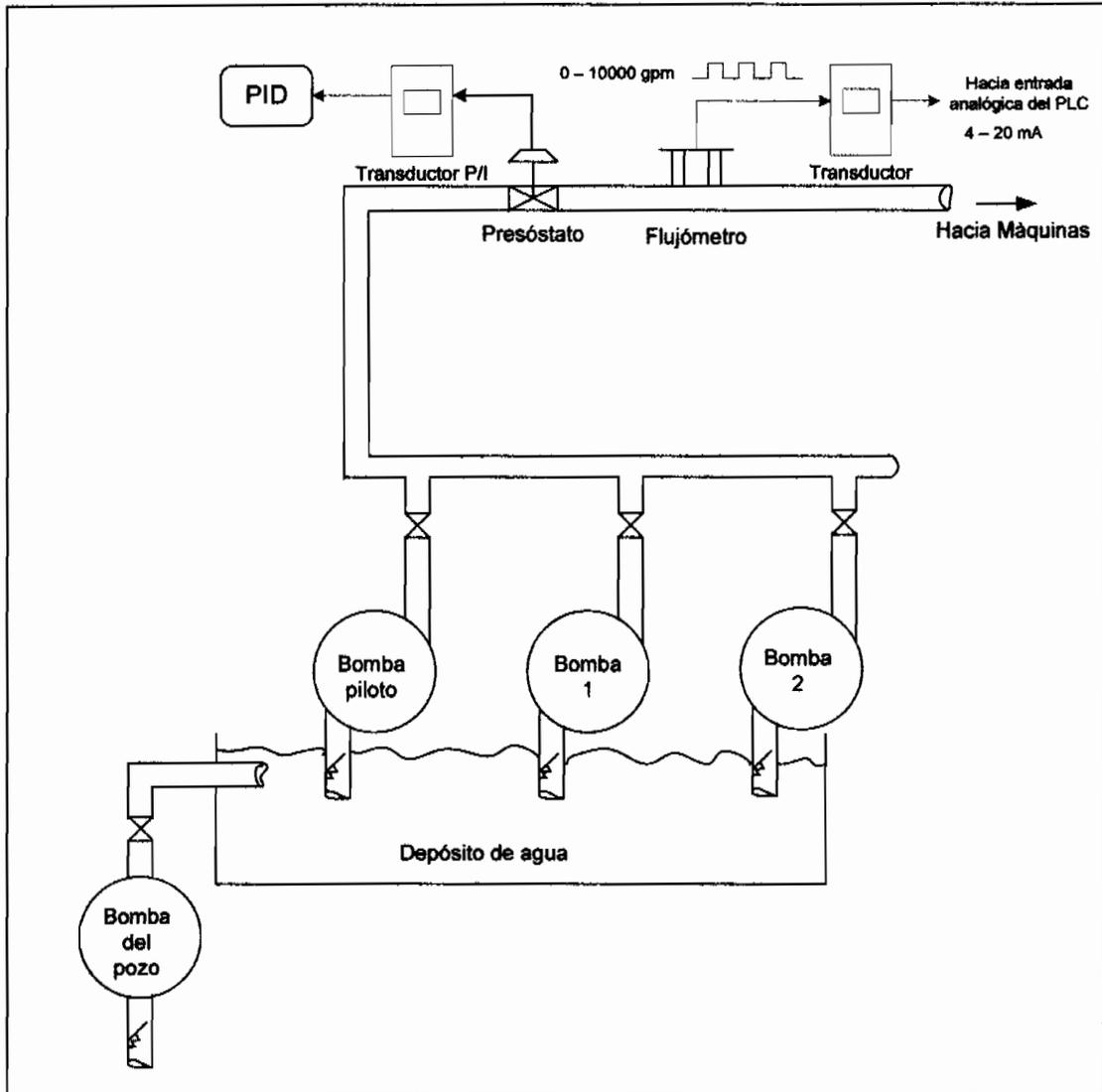


## BIBLIOGRAFÍA

1. ABB automation Inc. User`s Manual ACS 400 AC Drives for Speed Control. S.E. 1999.
2. Allen-Bradley Company, Inc. Introduction to Programming a 1785 PLC-5 Programmable Controller. S.E. 1992.
3. Avellone, Eugene y otros. Manual del ingeniero mecánico. Novena Edición. 1999.
4. Considine, Douglas M. Proces instruments and Controls Handbook Tercera edición. Editorial McGraw –Hill book company
5. SCHOLL SWIZERLAND AG. Diagramas de mando eléctrico de máquinas teñidoras. S.E. Suiza, 2002.
6. Chapman, Stephen J. Maquinas elèctricas. Tercera Edición. 2,000.
7. [www.aie.cl/prensa/cp04](http://www.aie.cl/prensa/cp04). Asociación de la industria eléctrica. Electrónica Chile.
8. [www.es.wikipedia.org/wiki/inversor](http://www.es.wikipedia.org/wiki/inversor). Wikipedia La enciclopedia libre. 2009.

# APÉNDICE 1

## Conexión de presóstato a la tubería de distribución.

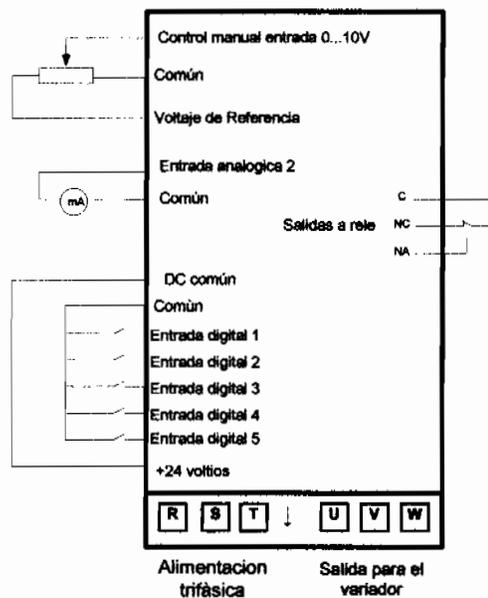




## APÉNDICE 2

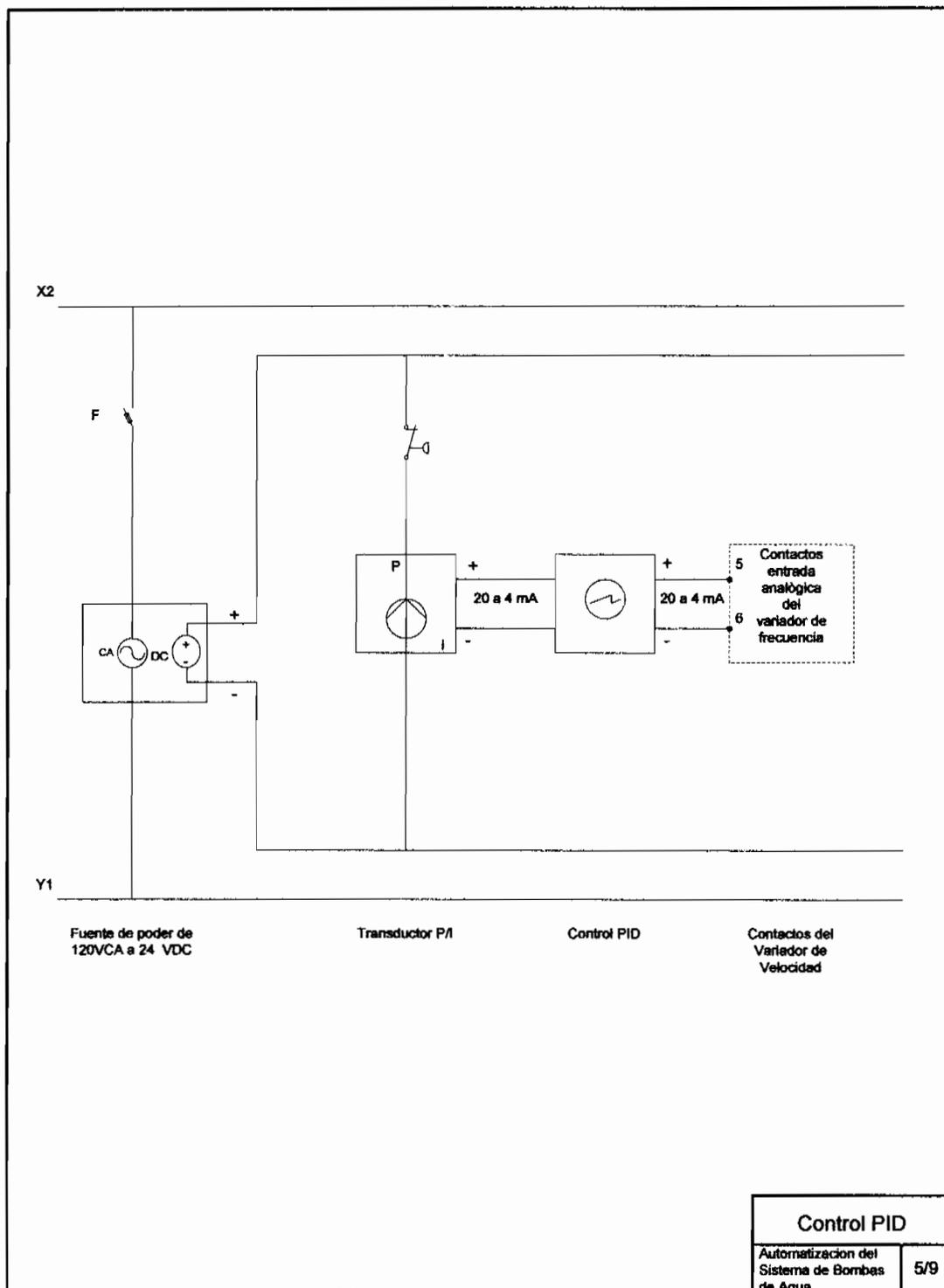
### Variador de frecuencia

Variador de velocidad en configuración para control PID



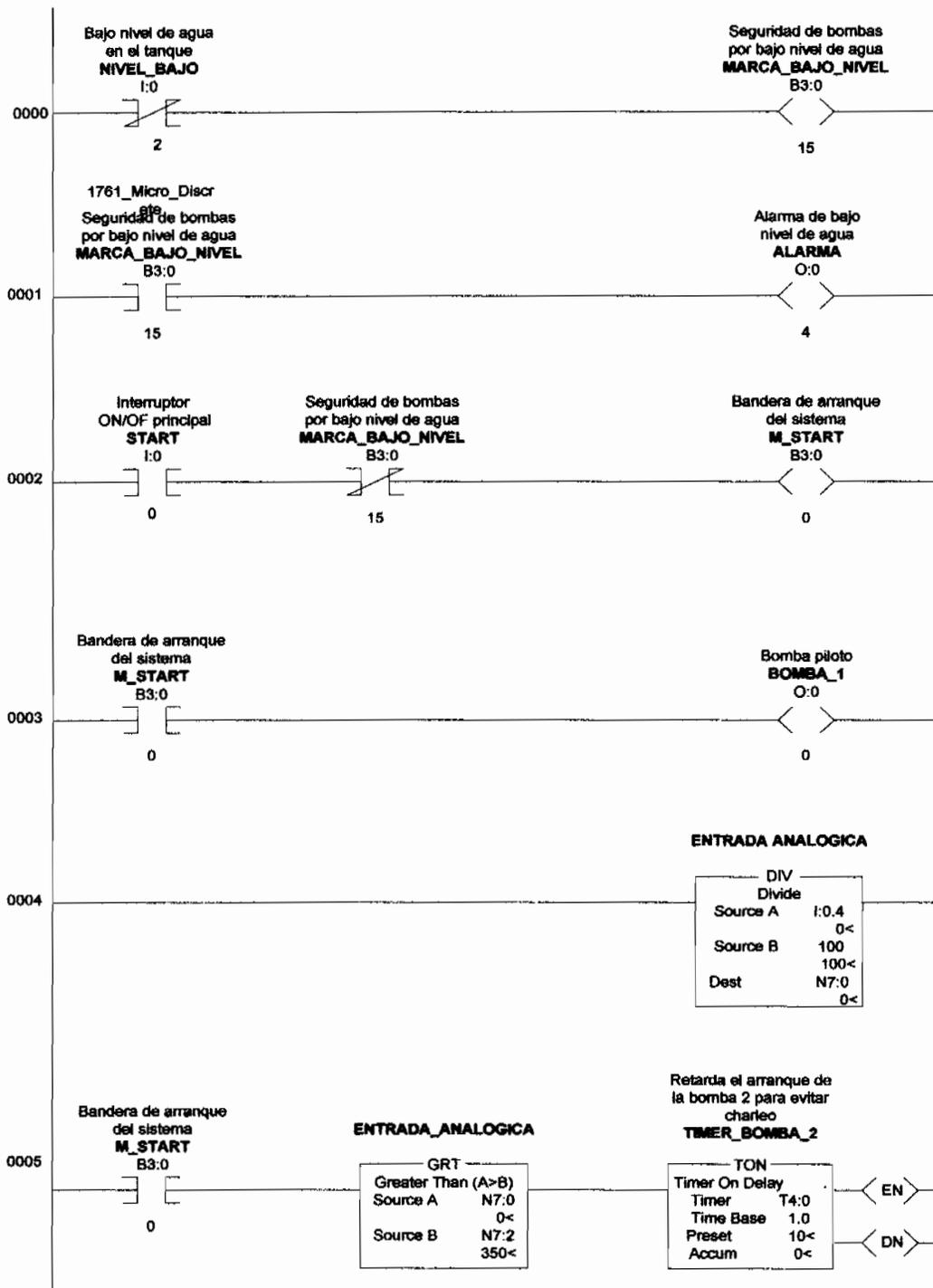
<b>Variador de frecuencia</b>	
Automatización del Sistema de Bombas de Agua	4/9

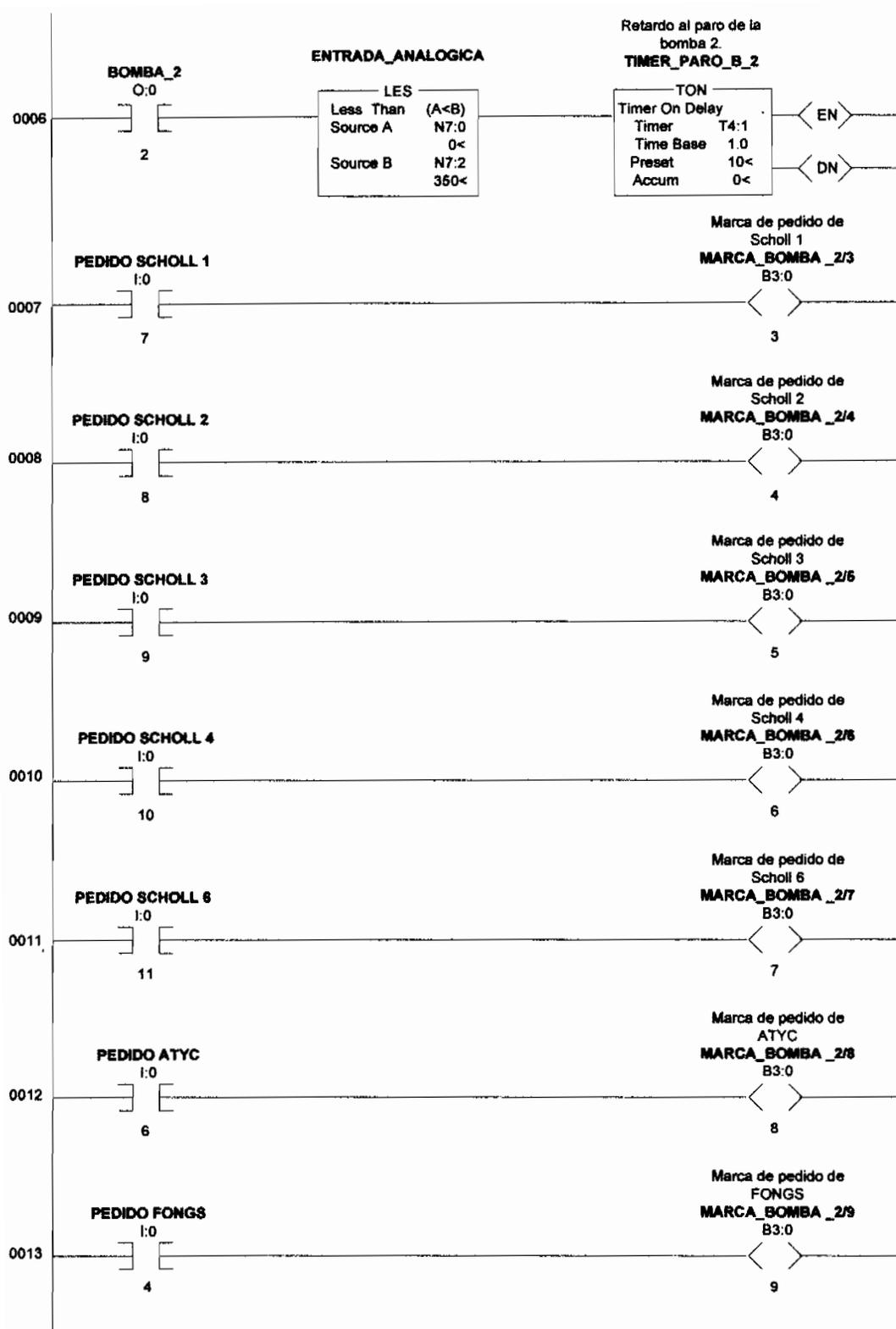
## APÉNDICE 3 Control PID

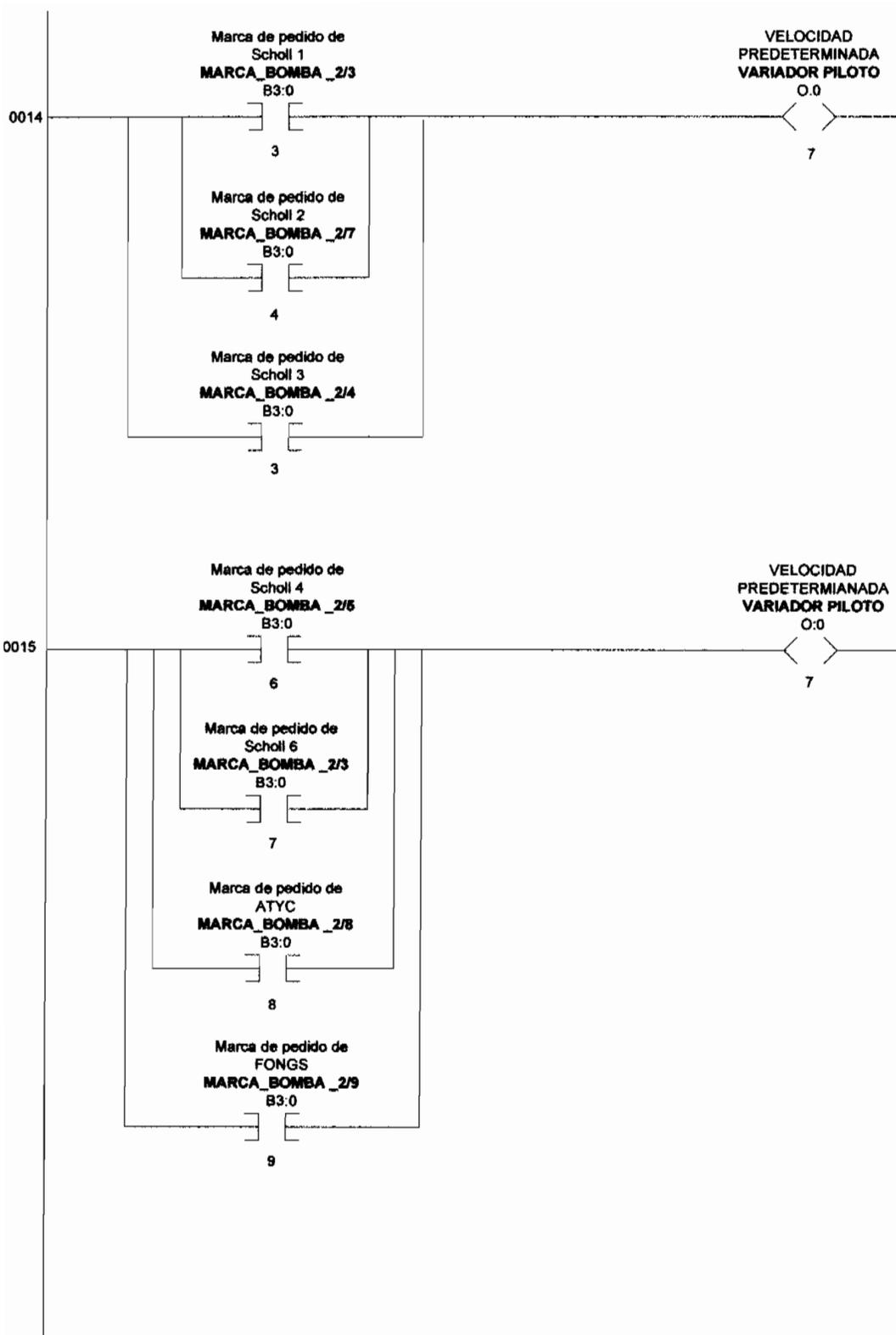


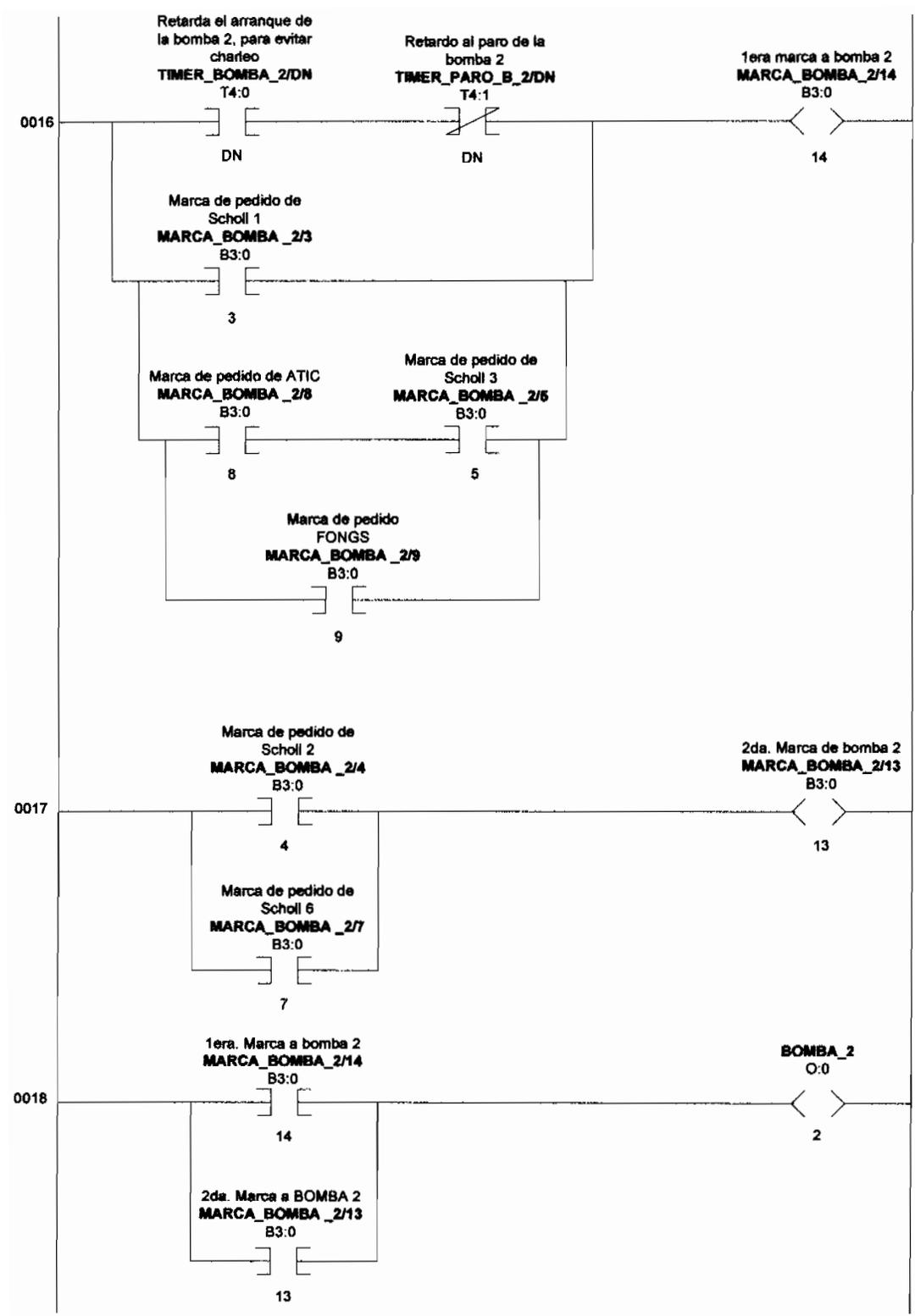
## APÉNDICE 4

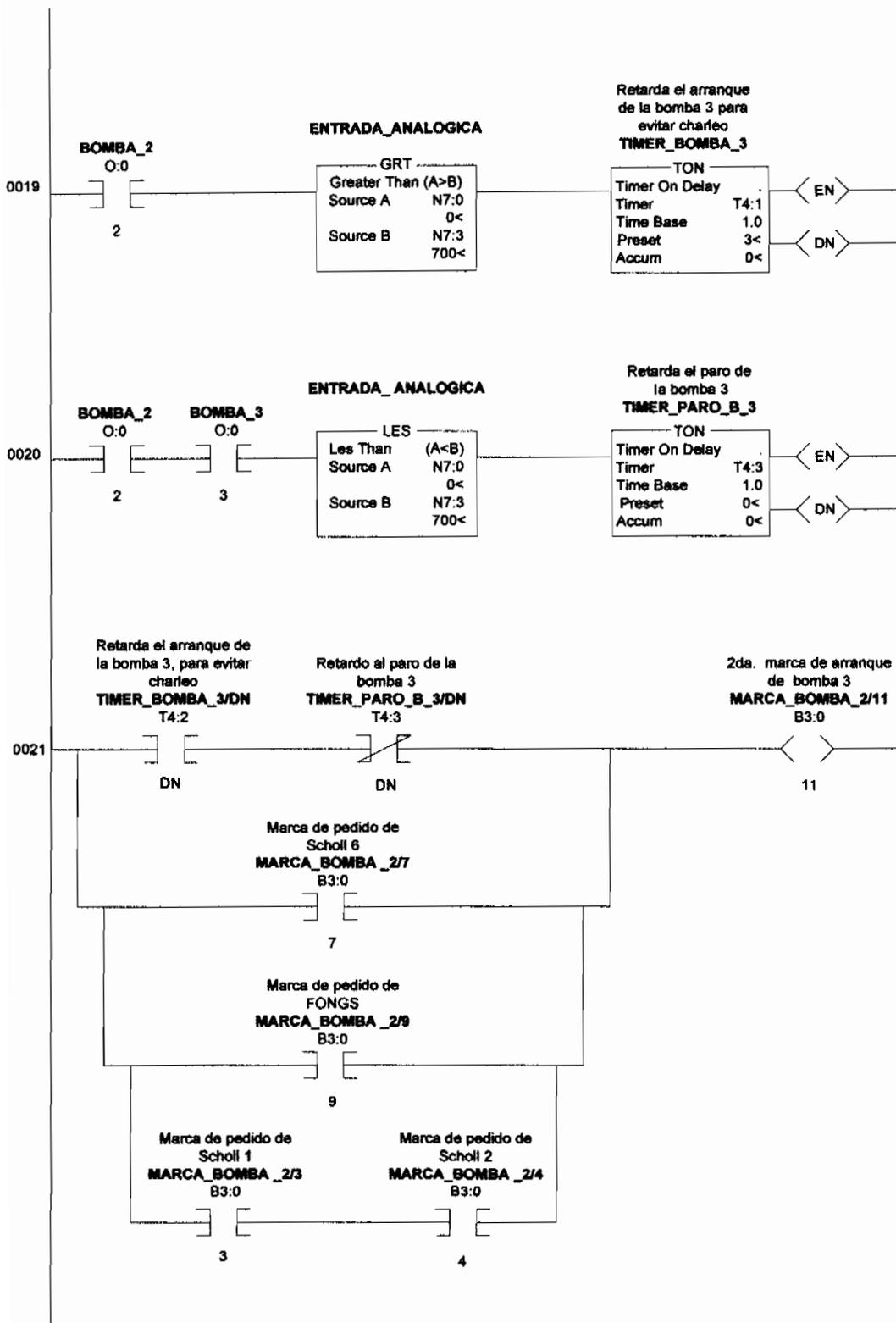
### Programa para PLC de pedido de agua fría

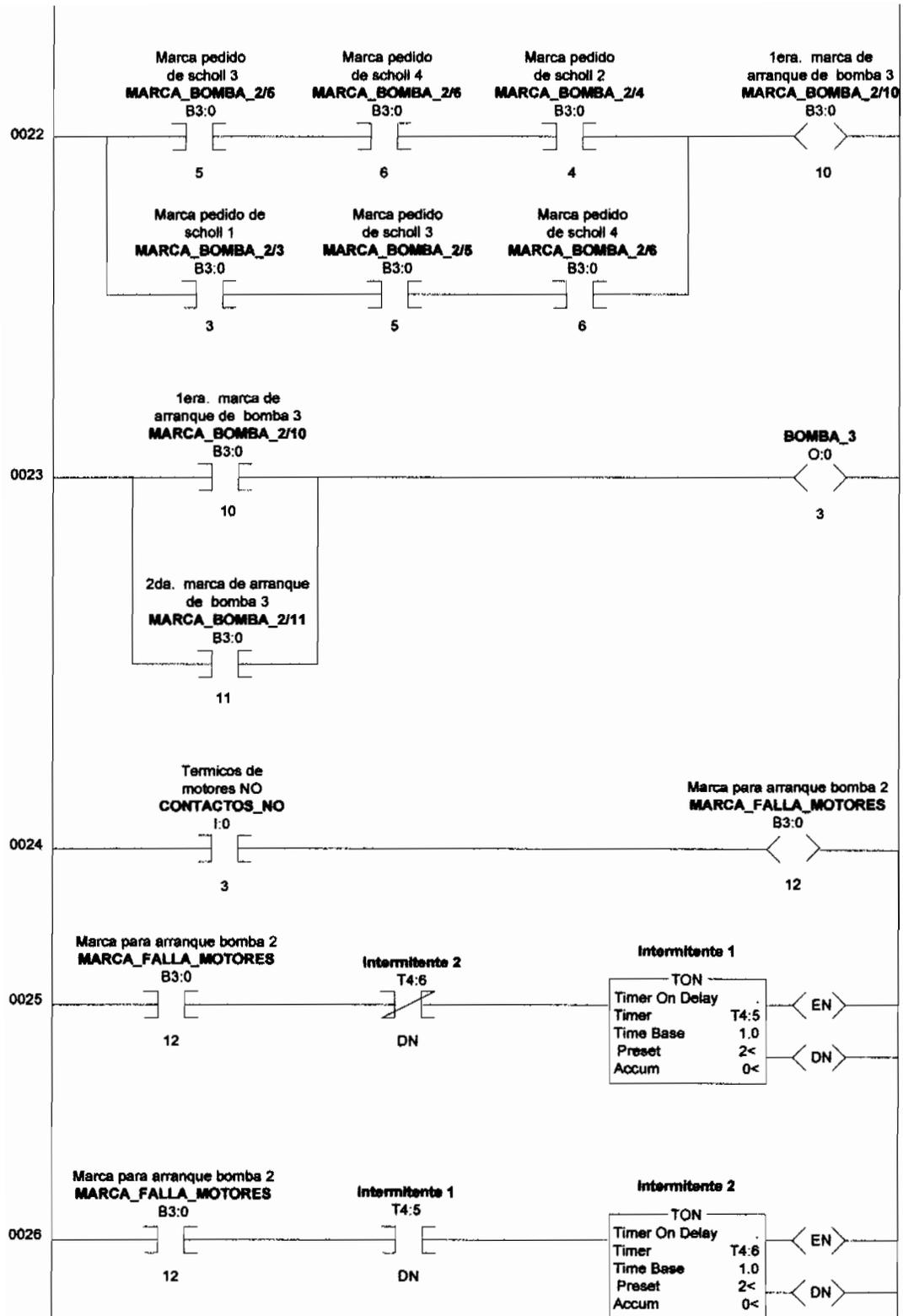


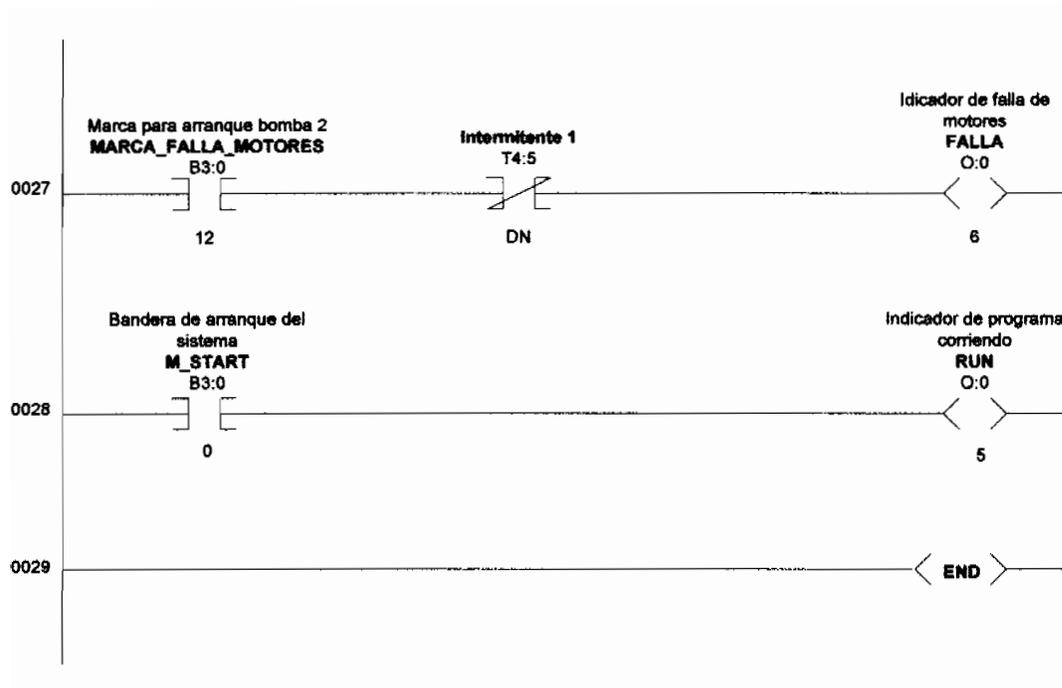




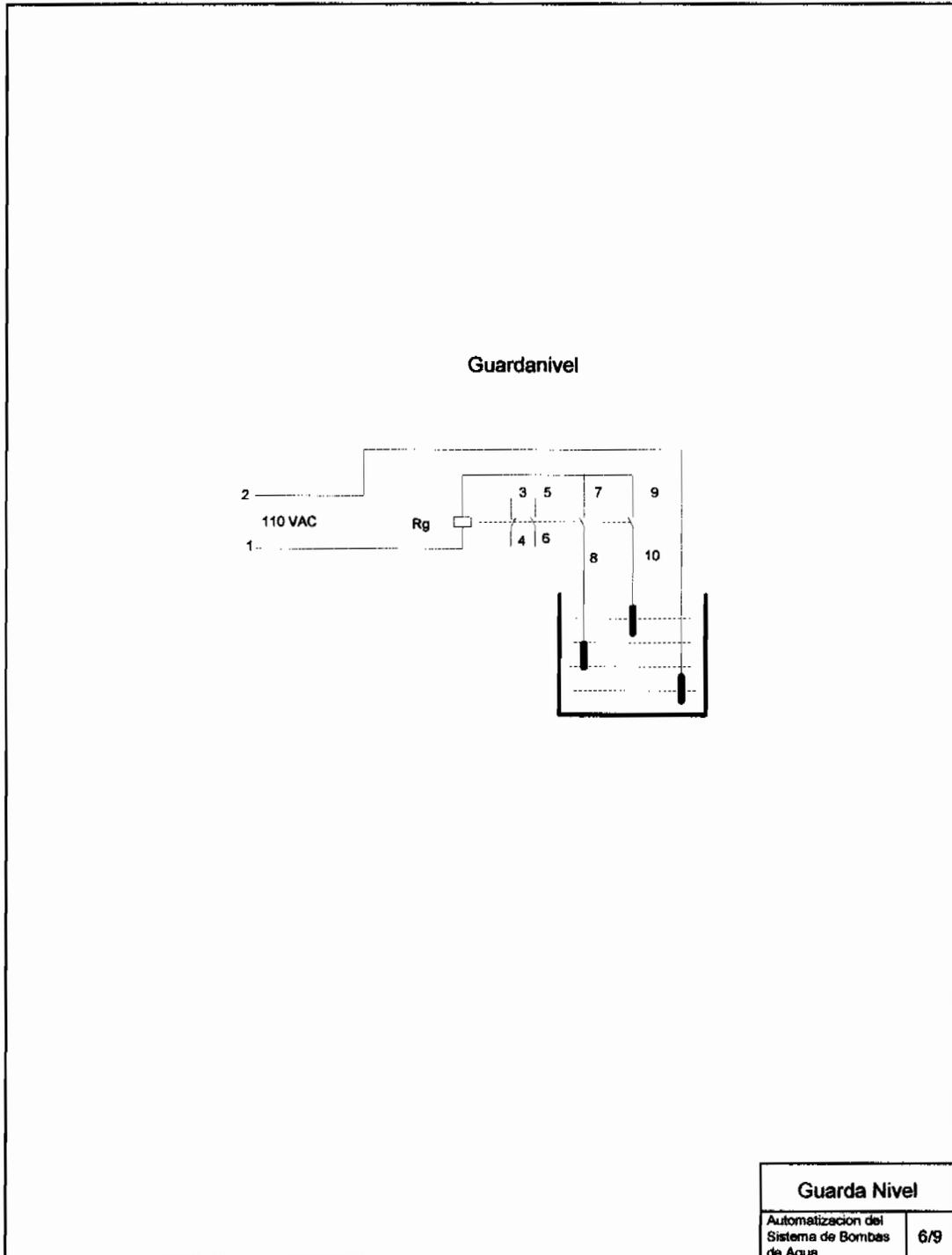






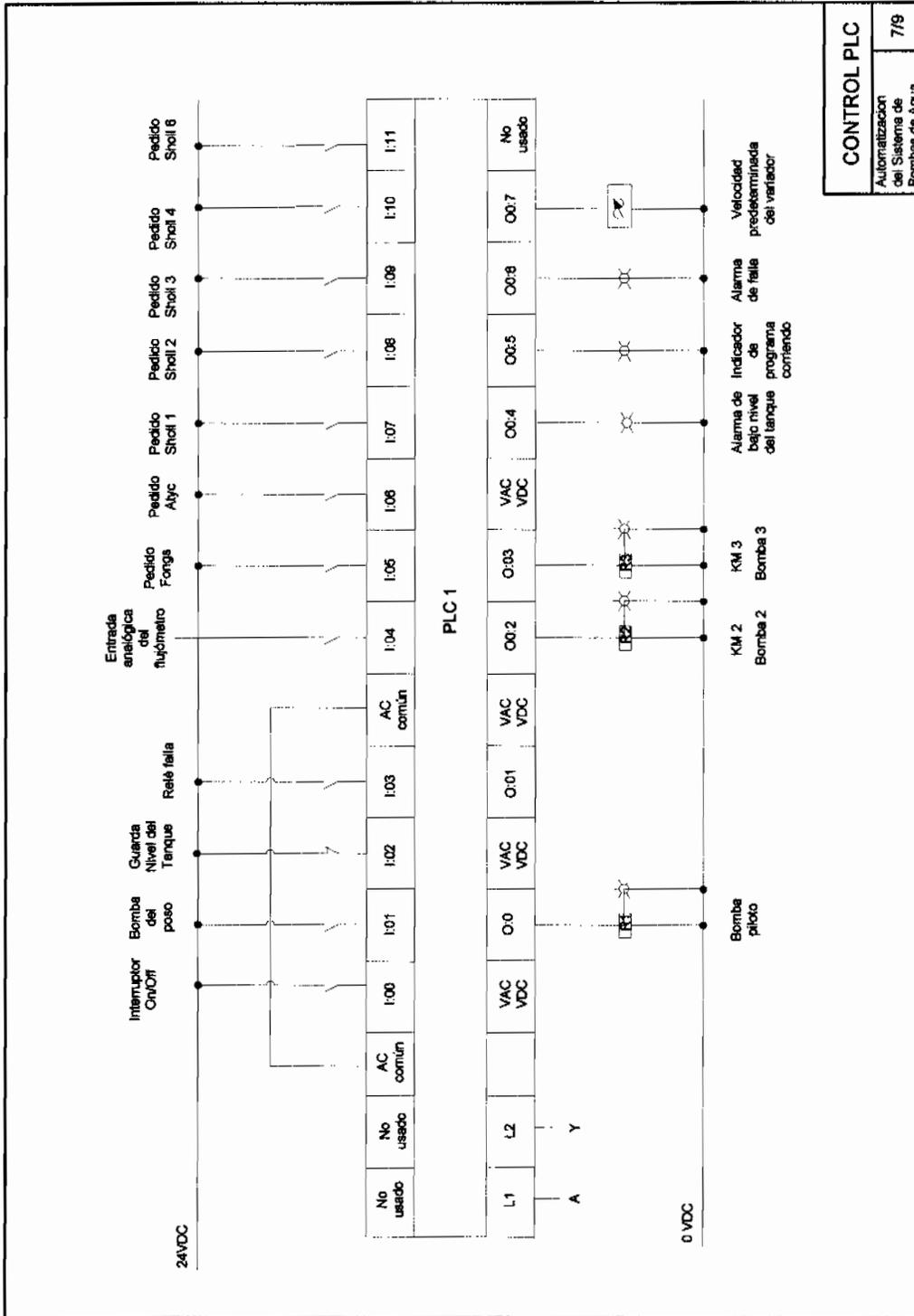


## APÉNDICE 5 Guardanivel



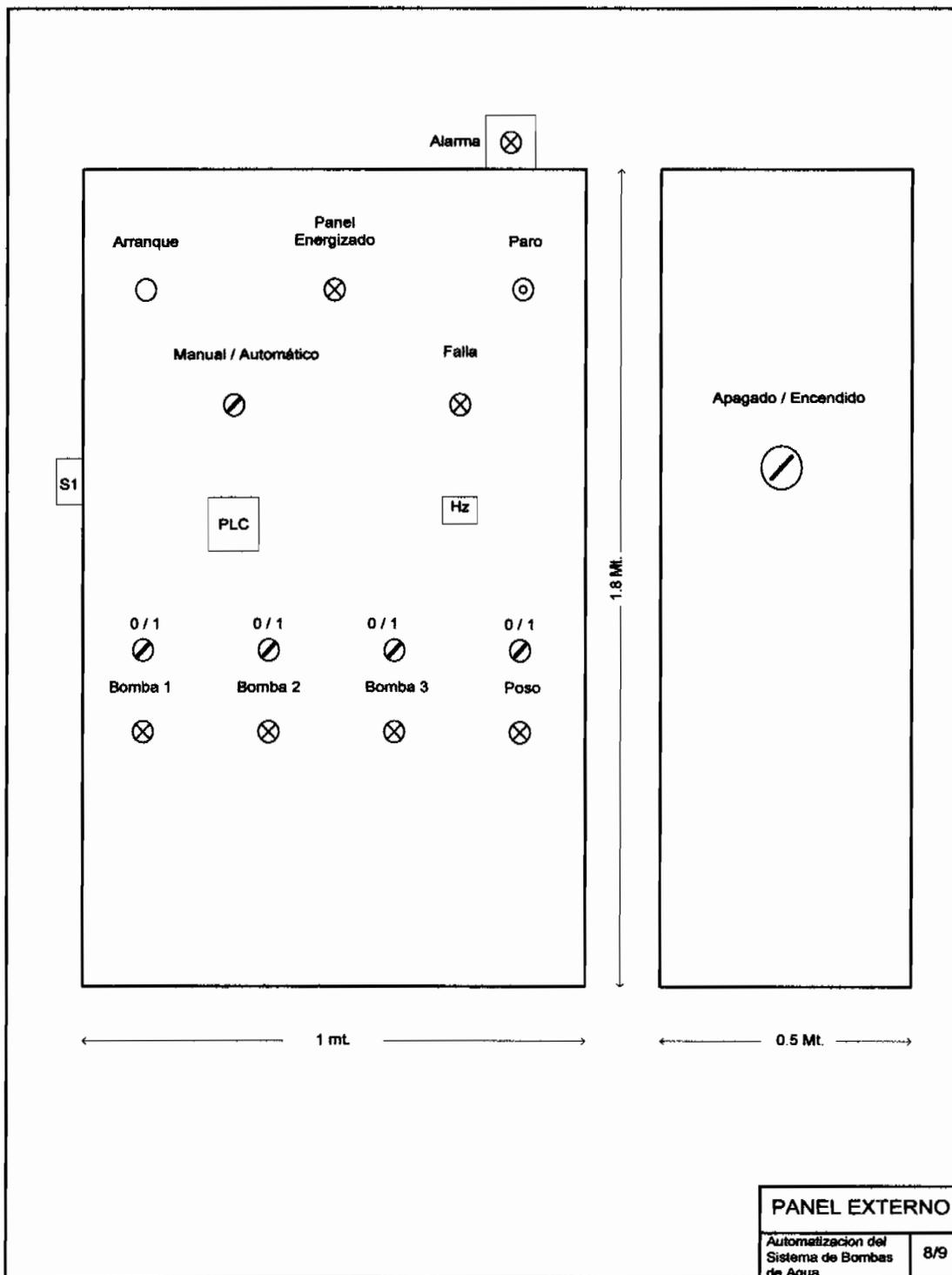
# APÉNDICE 6

## Diagrama de conexión del PLC



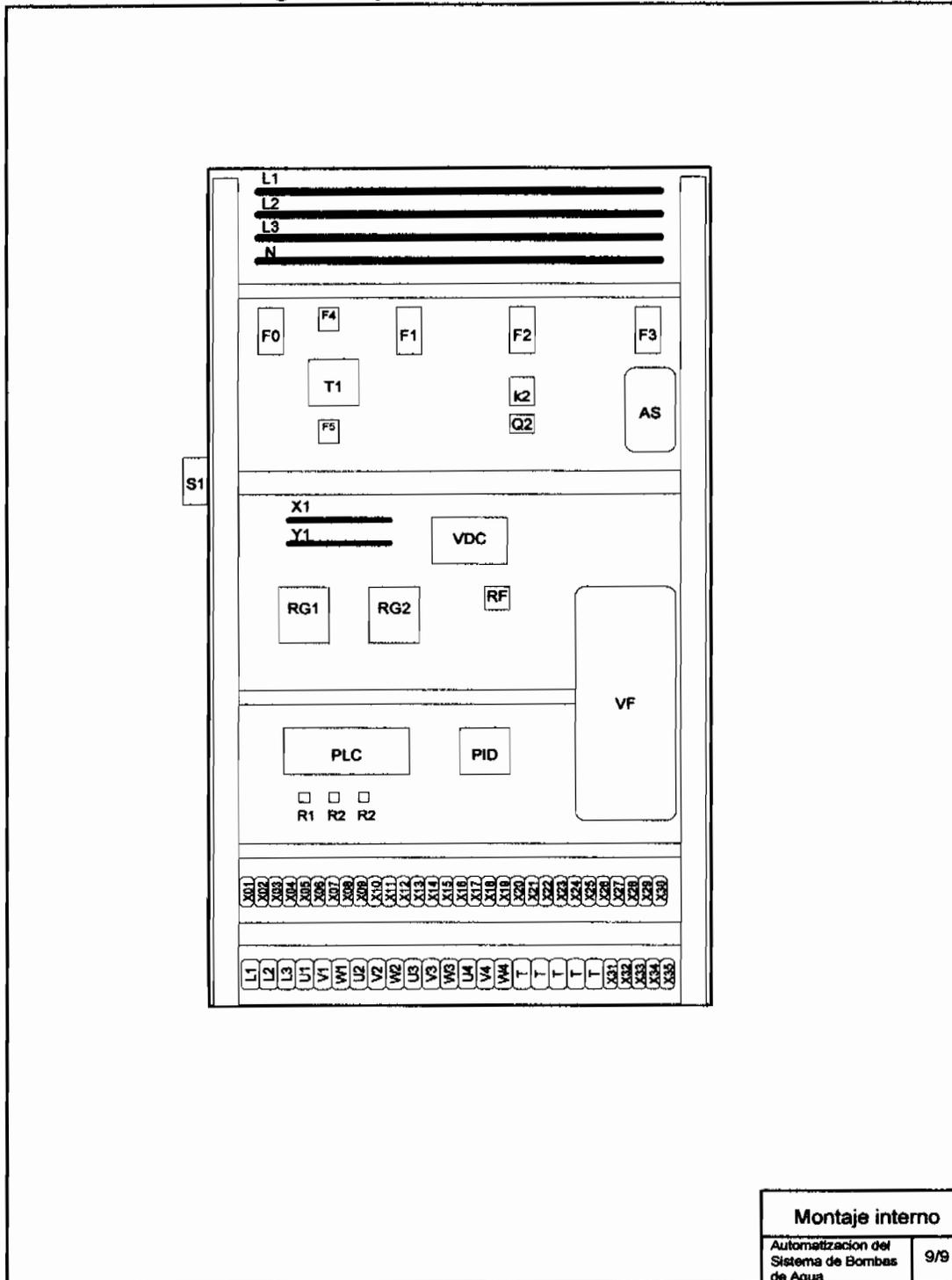
<b>CONTROL PLC</b>	
Automatización del Sistema de Bombas de Agua	7/9

## APÉNDICE 7 Panel Externo



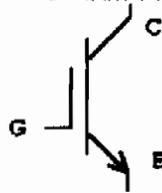
## APÉNDICE 8

### Diagrama pictórico interno del panel



## ANEXO 1

### Transistor IGBT



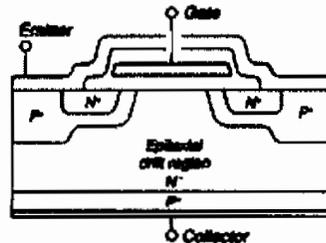
Símbolo más extendido del IGBT: *Gate* o puerta (G), colector (C) y emisor (E)

El **transistor bipolar de puerta aislada (IGBT, del inglés *Insulated Gate Bipolar Transistor*)** es un dispositivo semiconductor que generalmente se aplica como interruptor controlado en circuitos de electrónica de potencia.

Este dispositivo posee la características de las señales de puerta de los transistores de efecto campo con la capacidad de alta corriente y voltaje de baja saturación del transistor bipolar, combinando una puerta aislada FET para la entrada E control y un transistor bipolar como interruptor en un solo dispositivo. El circuito de excitación del IGBT es como el del MOSFET, mientras que las características de conducción son como las del BJT.

Los transistores IGBT han permitido desarrollos hasta entonces no viables en particular en los Variadores de frecuencia así como en las aplicaciones en maquinas eléctricas y convertidores de potencia que nos acompañan cada día y por todas partes, sin que seamos particularmente conscientes de eso: automóvil, tren, metro, autobús, avión, barco, ascensor,

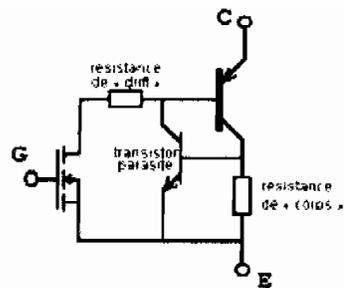
electrodoméstico, televisión, robótica, Sistemas de Alimentación Ininterrumpida o SAI (en Inglés UPS), etc.



### Sección de un IGBT

El IGBT es adecuado para velocidades de conmutación de hasta 20 KHz y ha sustituido al BJT en muchas aplicaciones. Es usado en aplicaciones de altas y medias energía como fuente conmutada, control de la tracción en motores y cocina de inducción. Grandes módulos de IGBT consisten en muchos dispositivos colocados en paralelo que pueden manejar altas corrientes del orden de cientos de amperios con voltajes de bloqueo de 6.000 voltios.

Se puede concebir el IGBT como un transistor darlington híbrido. Tiene la capacidad de manejo de corriente de un bipolar pero no requiere de la corriente de base para mantenerse en conducción. Sin embargo las corrientes transitorias de conmutación de la base pueden ser igualmente altas. En aplicaciones de electrónica de potencia es intermedio entre los tiristores y los mosfet. Maneja más potencia que los segundos siendo más lento que ellos y lo inverso respecto a los primeros.



### Circuito equivalente de un IGBT

Este es un dispositivo para la conmutación en sistemas de alta tensión. La tensión de control de puerta es de unos 15 V. Esto ofrece la ventaja de controlar sistemas de potencia aplicando una señal eléctrica de entrada muy débil en la puerta.

## **ANEXO 2**

### **Clasificación IP (*Ingress Protection*)**

El sistema de clasificación IP consta de un número de dos dígitos establecido por la Internacional Electro Técnica Comisión para saber el grado de protección de un equipo electrónico o de un bastidor para equipamiento electrónico. El sistema es reconocido en la mayoría de los países y está incluido en varios estándares, incluyendo el IEC 60529.

Por ejemplo: IP65

Estos dos dígitos representan diferentes formas de influencia del entorno:

- El primer dígito representa protección contra el ingreso de objetos sólidos
- El segundo dígito representa protección contra el ingreso de líquidos

Para saber si un equipo, tal como un PC Industrial, un portátil, o un Panel PC es el adecuado para una aplicación que funcionará bajo condiciones extremas, es necesario revisar en sus especificaciones mecánicas los grados IP que soporta.

Mientras mayor sea el valor del dígito, mayor protección tendrá. Por ejemplo, un producto clasificado como IP54 estará mucho mas protegido contra factores ambientales que otro producto similar que tenga una clasificación como IP42

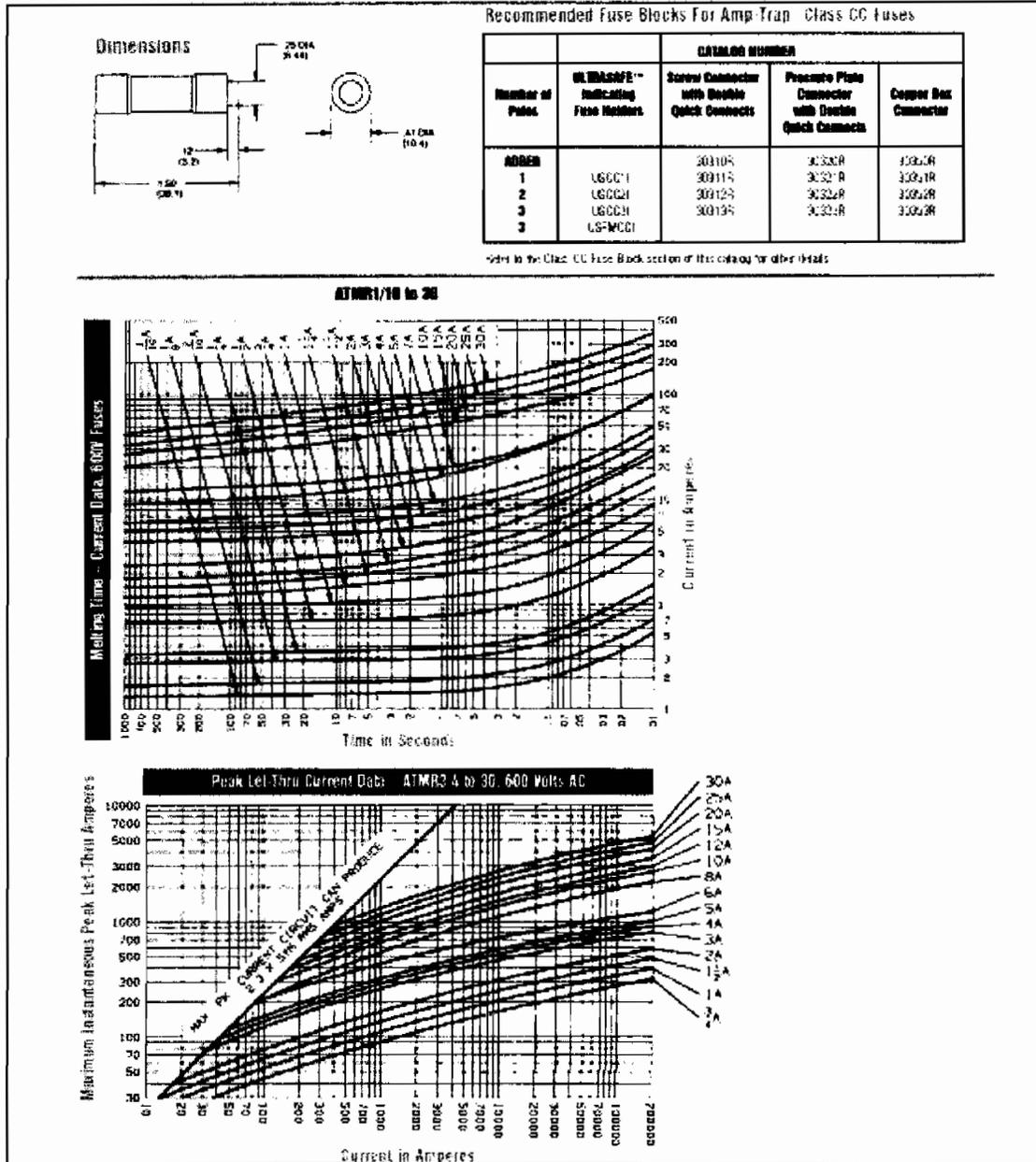
A continuación se explican brevemente los fundamentos de éstos estándares.

	<b>Primer Número – Protección contra sólidos</b>	<b>Segundo Número - Protección contra líquidos</b>
<b>IP 0</b>	Sin Protección	Sin Protección
<b>IP 1</b>	Protegido contra objetos sólidos de más de 50mm	Protegido contra gotas de agua que caigan verticalmente
<b>IP 2</b>	Protegido contra objetos sólidos de más de 12mm	Protegido contra rocíos directos a hasta 15° de la vertical
<b>IP 3</b>	Protegido contra objetos sólidos de más de 2.5mm	Protegido contra rocíos directos a hasta 60° de la vertical
<b>IP 4</b>	Protegido contra objetos sólidos de más de 1mm	Protegido contra rocíos directos de todas las direcciones - entrada limitada permitida
<b>IP 5</b>	Protegido contra polvo - entrada limitada permitida	Protegido contra chorros de agua a baja presión de todas las direcciones - entrada limitada permitida
<b>IP 6</b>	Totalmente protegido contra polvo	Protegido contra fuertes chorros de agua de todas las direcciones - entrada limitada permitida
<b>IP 7</b>		Protegido contra los efectos de la inmersión de 15cm - 1m
<b>IP 8</b>		Protegido contra largos periodos de inmersión bajo presión

**Fuente: TGA Ingeniería y electrónica S.A. [www.tga.es](http://www.tga.es)**

# ANEXO 3

## Características de fusibles de uso general



# ANEXO 4

## Características de fusibles semiconductores

AMP-TRAP Form 101

### A60Q SEMICONDUCTOR PROTECTION FUSES

PL at 600VAC, 100kA

AMPERE RATINGS	MELTING F1 (ms)	CLEARING F1 (ms)
5	1	101
8	4.5	70
10	10	110
12	17	150
15	26	180
20	41	230
25	60	340
30	72	360
35	110	500
40	270	1000

Watts Loss Data

AMPERE RATINGS	WATTS LOSS @ 100% RATED (mW)	WATTS LOSS @ 100% RATED (mW)
5	0.1	0.7
8	0.2	1.1
10	0.3	1.5
12	0.4	2.0
15	0.5	2.6
20	0.8	4.1
25	1.1	5.1
30	1.4	5.8
35	2.1	8.4
40	2.6	7.6

A60Q5 to 40

Melting Time - Current Data, 600V Fuses

Peak Let Thru Current Data, A60Q5 to 40, 600 Volts AC

PL at 600VDC, 100kA, I.R. = 50 mΩ

AMPERE RATINGS	CLEARING F1 (ms)
5	6
8	6
10	7
12	8
15	10
20	200
25	200
30	500
35	700
40	1000