



Universidad  
Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Trabajo de Investigación

**Programación del Logo 8-230RCE para una  
presión de agua constante a 10 Bar mediante un  
regulador PI controlando la velocidad de la bomba  
que alimenta a una caldera**

para optar el Grado Académico de Bachiller en  
Ingeniería Eléctrica

**Jesús David Gaona Huilca**

Arequipa, 2018



Repositorio Institucional Continental

Trabajo de Investigación



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

## **AGRADECIMIENTO**

*Al finalizar de este trabajo de investigación quiero agradecer al profesor Ing. William Vladimir Mullisaca Atamari, por haberme instruido en esta última etapa de mi carrera, por lo cual me permitió aprender a realizar una investigación profesional y estoy seguro que será de mucha utilidad para una vida futura de investigación.*

*No menos importante quiero agradecer a mis familiares, amigos y compañeros de trabajo, que con sus palabras de aliento fortificaron mis motivos para alcanzar mi meta deseada.*

*Y por último agradezco a todos los profesionales que trabajan en “agroindustrial del Perú” por su colaboración y confianza que me brindaron para poder realizar este trabajo de investigación.*

## **DEDICATORIA**

*A mis padres porque a ellos me debo por completo por enseñarme que el esfuerzo de uno es por su propio bien y ahora más que nunca lo sé.*

*También dedico este trabajo de investigación a mi querida esposa y a mi soñado hijo por los cuales he tomado la decisión de iniciar esta etapa académica y ahora que está por concluir este sueño que tuve desde niños lo viviré junto con ellos que son parte este logro por su nudo sacrificio pero yo lo pude sentir.*

# ÍNDICE

AGRADECIMIENTO .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
RESUMEN .....	viii
ABSTRACT .....	ix
INTRODUCCIÓN .....	x
CAPITULO I .....	1
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	2
1.2.1. Problema General .....	2
1.3 OBJETIVOS .....	2
1.3.1. Objetivo general .....	2
1.3.2. Objetivos Específicos .....	2
1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA .....	2
1.5 HIPÓTESIS Y VARIABLES .....	4
1.5.1. Hipótesis General .....	4
1.5.2. Hipótesis Específica .....	4
1.5.3. Identificación De Variables .....	4
1.5.3.1. Variable Independiente .....	4
1.5.3.2. Variable Dependiente .....	4
CAPITULO II .....	5
MARCO TEÓRICO .....	5
2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA .....	5
2.2 BASES TEÓRICAS .....	5
2.2.1. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	6
2.2.1.1. ¿Qué es LOGO? .....	6
2.2.1.2. ¿Qué modelos existen? .....	6
2.2.1.3. Montaje y cableado del LOGO .....	7
2.2.1.4. ¿Qué ventajas tiene el LOGO? .....	7
2.2.1.5. Estructura de LOGO .....	8
2.2.1.6. Cableado de LOGO .....	9
2.2.1.7. Conexión de la alimentación .....	9
2.2.1.8. Entradas Analógicas .....	9

2.2.1.9.	Salidas Analógicas.....	10
2.2.1.10.	Regulador Pi. ....	10
2.2.1.11.	Control proporcional.....	10
2.2.1.12.	Control Proporcional – Integral. ....	10
2.2.1.13.	Bomba centrífuga verticales de funcionamiento en seco (no sumergidas). ....	11
2.2.1.14.	Variador de frecuencia CA PowerFlex 520 (Max 30 HP).....	12
2.2.1.14.1.	Características de control. ....	12
2.2.1.15.	Módulos De Ampliación. ....	13
CAPITULO III.....		14
METODOLOGÍA.....		14
3.1	MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	14
3.2	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN. ....	14
3.2.1.	Diseño Específico. ....	15
3.2.2.	REGULADOR PI.....	15
3.2.3.	ENTRADA DIGITAL.....	16
3.2.4.	ENTRADA ANALÓGICA. ....	16
3.2.5.	SALIDA ANALÓGICA. ....	17
3.2.6.	NIVELES.....	17
3.2.7.	CONTROL PI.....	17
3.2.8.	Programación del PLC LOGO.....	18
3.2.2.1.	Primer paso.....	18
3.2.2.2.	Segundo paso.....	18
3.2.2.3.	Tercer paso.....	19
3.2.2.4.	Cuarto paso. ....	20
3.2.2.5.	Quinto paso-Configuración del valor proporcional y del tiempo integral. 21	
3.2.2.6.	Bomba centrífuga verticales de funcionamiento en seco (no sumergidas). ....	26
3.2.2.6.1.	Características.....	26
3.2.2.7.	Instalación del MODULO LOGO RCE230 y accesorios. ....	27
3.3	UNIDAD DE ESTUDIO.....	29
CAPITULO IV.....		30
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		30
4.1	RESULTADOS DEL TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	30
4.2	PRUEBA DE HIPÓTESIS. ....	31
4.3	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	32

CONCLUSIONES .....	33
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	34

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 : Estructura del LOGO</i> .....	8
<i>Figura 2 : Bomba Centrífuga Vertical (10 HP)</i> .....	11
<i>Figura 3: Variador de Velocidad PowerFlex</i> .....	12
<i>Figura 4: Forma física del PLC LOGO</i> .....	13
<i>Figura 5: bloque REGULADOR PI</i> .....	16
<i>Figura 6: bloque ESTRADA DIGITAL</i> .....	16
<i>Figura 7: bloque ENTRADA ANALOGICA</i> .....	17
<i>Figura 8: bloque SALIDA ANALOGICA</i> .....	17
<i>Figura 9: bloque de BAJA SEÑAL</i> .....	17
<i>Figura 10: control PI</i> .....	18
<i>Figura 11: Elección del bloque 001 REGULADO PI</i> .....	18
<i>Figura 12: Conexión de señales analógicas y digitales</i> .....	19
<i>Figura 13: Ventana de Parámetros</i> .....	20
<i>Figura 14: Programa PI terminado listo para iniciar PROCESO AUTOMATIZADO</i> .....	21
<i>Figura 15: Configuración 1</i> .....	21
<i>Figura 16: Configuración 2</i> .....	23
<i>Figura 17: Configuración 3</i> .....	23
<i>Figura 18: Configuración 4</i> .....	24
<i>Figura 19: Configuración 5</i> .....	25
<i>Figura 20: Configuración 6</i> .....	25
<i>Figura 21: Módulo LOGO instalado en tablero</i> .....	27
<i>Figura 22: Bombas de alimentación</i> .....	27
<i>Figura 23: Tablero de control</i> .....	28
<i>Figura 24: Sensor de presión analógico</i> .....	28
<i>Figura 25: Fuente AC/DC 24 VDC</i> .....	28
<i>Figura 26: Configuración óptima de controlador PI</i> .....	31

## RESUMEN

La programación de un PLC se podría considerar un arte digital por donde se puede identificar lo bueno y malo, es decir lo bueno podría considerarse con la obtención de un producto terminado en forma correcta y malo cuando se presentan fallas a la hora de un proceso a plena producción, y justo para este último caso está la programación de PLC que se trata de identificar los errores de un proceso para evitarlos totalmente y así obtener como final un producto a satisfacción del cliente.

El micro procesador LOGO está diseñado para realizar el rol de controlador automatizado de varios procesos tantos como su memoria por ejemplo tenemos disponibles en un LOGO 24 entradas digitales, 20 salidas digitales, 8 entradas analógicas, 8 salidas analógicas, convirtiéndolo en un PLC completo capaz de controlar con eficiencia.

Gracias a una señal analógica (sensor) instalada en la línea de agua a la salida de las bombas se tendrá la primera condición como principal para nuestro programa automatizado que será instalado en el borne de AI1 de nuestro LOGO y nuestro programa tendrá la variable que quiera modificada a una señal estándar de 4 a 20 ma. Como mínimo y máximo de presión de agua para luego digitalmente controlarlo con el bloque REGULADOR PI de la memoria que será programado con los parámetros ya guardados a nuestra conveniencia para nuestro proceso y luego como señal de salida AO1 se tendrá el resultado de analógico de 4-20 mA, que será instalado como señal de entrada al variador de velocidad y finalmente se obtendrá la velocidad variable de acuerdo a la presión de la línea de agua.

Modular el trabajo de bombeo de la bomba centrífuga significa un ahorro en energía eléctrica gracias al control de la velocidad que nos da el variador de frecuencia que será gobernado por el microprocesador LOGO con su salida analógica de 4 – 20 mA.

**PALABRAS CLAVES:** Microprocesador, Controlador Lógico Programable (PLC), Regulador PI, presión constante.

## **ABSTRACT**

The programming of a PLC could be considered a digital art where you can identify the good and bad, that is, the good could be considered with the obtaining of a finished product in a correct and bad way when there are failures at the time of a process full production, and just for this last case is the programming of PLC that it is about identifying the errors of a process to avoid them totally and thus obtain as final a product to the satisfaction of the client.

The LOGO microprocessor is designed to perform the role of automated controller of several processes as many as its memory, for example we have available in a LOGO 24 digital inputs, 20 digital outputs, 8 analog inputs, 8 analog outputs, converting it into a complete PLC capable of control efficiently.

Thanks to an analog signal (sensor) installed in the water line at the pump output, the first condition will be the main one for our automated program that will be installed in the terminal of AI1 of our LOGO and our program will have the variable that you want modified to a standard signal of 4 to 20 mA. As a minimum and maximum of water pressure to then digitally control it with the PI REGULATOR block of the memory that will be programmed with the parameters already stored at our convenience for our process and then as an AO1 output signal we will have the analog result of 4- 20 mA. Which will be installed as an input signal to the variable speed drive and finally the variable speed will be obtained according to the pressure of the water line?

Modulating the pumping work of the centrifugal pump means a saving in electrical energy thanks to the speed control that gives us the frequency variator that will be governed by the microprocessor LOGO with its analog output of 4 - 20 mA.

**KEY WORDS:** Microprocessor, Programmable Logic Controller (PLC), PI Regulator, constant pressure.

## INTRODUCCIÓN

El control automático en esta oportunidad está dado por un microcontrolador denominado LOGO de la marca SIEMENS reconocida a nivel mundial por sus productos de alta confiabilidad y duración además de considerar sus productos de alta calidad y duración.

El control de una presión de agua constante para alimentar una caldera está estrictamente mencionado como una medida de seguridad para garantizar la operación correcta de la caldera es por ello que en esta oportunidad quiero poder agregar un granito de solución inmediata para satisfacer esta necesidad y brindar una alternativa como medida de seguridad en la empresa además de salvaguardar el bienestar de los equipos y por ello la economía.

Mantener la presión de agua constante está ideado básicamente por dos razones fundamentales una de ellas es para mantener un nivel de agua sin cambios dentro de la caldera y la otra es para modular el trabajo de bombeo de la bomba centrífuga.

Mantener un nivel de agua dentro de la caldera significa una correcta evaporación y también evita un sobrecalentamiento del equipo y la línea de vapor además de esto se puede considerar el ahorro en combustible.

El Autor.

# **CAPITULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

Hoy en día la industria está cada vez más implementando sistemas automáticos para sus procesos industriales que les permita garantizar la calidad de su producto cuidando los equipos y teniendo el absoluto control sobre el consumo de la materia prima y también visualizar datos reales del proceso para la fabricación del producto terminado garantizando su calidad en el mercado.

Por lo tanto, ante esta demanda las industrias buscan el CONTROL LÓGICO PROGRAMABLE que se conoce mayormente como PLC el cual es un control automatizado de acuerdo a la utilización y aplicación del cliente.

También cabe mencionar que existe infinidad de PLC diferenciados entre marcas, memorias programables, cantidad de señales analógicas o digitales tanto en entradas como salidas, espacio físico en instalación, robustez, y lo más importante para todo inversionista es su tiempo de duración y el costo.

Este último es el más cuestionado por todos los inversionistas ya que como cliente desean un producto bueno de larga duración y sin exagerar en el precio, también la mayoría sabe que no todo lo caro es bueno para esto la ventaja es el conocimiento en automatización para poder elegir el adecuado y el más idóneo de todos los productos de CONTROL LÓGICO PROGRAMABLE.

También es bueno considerar la aplicación que se desea controlar con este PLC es decir existe PLC de varias gamas como gama alta, media, y baja. En el caso que se trate de un control complejo como una planta de plásticos o evaporación de leche significaría que lo más normal se elija productos de gama alta para el manejo de grandes cantidades en señales digitales y analógicas con redes de comunicación como PROFIBUSS entre dispositivos indicadores y dispositivos moduladores, también existen los de gama media que se podría acondicionar con facilidad a un proceso por ejemplo control de una caldera industrial donde solo se utilizaría la mayoría de señales digitales y muy escaso señales analógicas, sin embargo hay controladores considerados de gama baja por ser fabricados básicamente para operar con señales digitales mas no con señales analógicas sin embargo hoy en día la tecnología avanzado y ahora existen equipos considerados de gama baja que ya pueden operar con señales analógicas siendo así no muy diferente con uno de gama media cabe resaltar que no todos tienen estas ventajas.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Problema General**

¿La programación del logo 8-230rce modulara la velocidad de una bomba que alimenta a una caldera mediante el control PI de presión de agua constante a 10 bar?

## **1.3 OBJETIVOS.**

### **1.3.1. Objetivo general.**

Programar el LOGO 8-230rce para mantener una presión de agua constante a 10 bares mediante un regulador PI modulando la velocidad de una bomba que alimenta a la caldera.

### **1.3.2. Objetivos Específicos.**

- ✓ Programar el LOGO 8-230 RCE para el control PI, mediante el software logosoft Comfort V8.0.
- ✓ Modular la velocidad de la bomba de alimentación hacia la caldera.

## **1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.**

Una caldera tiene como prioridad un nivel de agua controlado, es decir una caldera sin nivel de agua suficiente para su proceso estaría en grave peligro por la presencia de elevadas temperaturas, presión y combustible , ahora consideraremos que el control de nivel este en mal estado o también se considera en nivel de agua crítico siempre y cuando no haya suficiente agua esto provocaría el apagado automático de la caldera provocando una parada de proceso que sería perjudicial para la producción considerando el tiempo de recuperación de nivel de agua de la caldera y el encendido de la misma.

Se elegirá el CONTROL LÓGICO PROGRAMABLE logo 8-230RCE para realizar el control PI de presión constante de agua para alimentación a caldera por su facilidad de programación y por tener la función especial idónea para el control que es propia del PLC, también se considera la probabilidad de dañado/reemplazo a bajo costo.

Adicionalmente a lo anterior se tiene como gran ventaja y comodidad una pantalla 5 cm x 5 cm para la visualización del programa que se puede realizar manualmente o mediante el software "LOGO SOFT COMFORT V8.0".

También se toma en cuenta la comodidad que brinda el equipo PLC para ser instalado en cualquier gabinete o tablero, además el equipo PLC cuenta con la posibilidad de incorporar módulos de expansión para así ingresar más entradas y salidas digitales o analógicas y así poder realizar una ampliación de programa y controlar más procesos automáticamente.

## **1.5 HIPÓTESIS Y VARIABLES.**

### **1.5.1. Hipótesis General.**

El control de la velocidad de una bomba que alimenta a una caldera será posible mediante el logo 8-230RCE, el cual regulara el control PI de presión de agua constante a 10 bar.

### **1.5.2. Hipótesis Específica.**

- El software logosoft confort V8.0 permitirá la programación del LOGO 8-230 RCE, el cual podrá controlar el regulador PI.
- La velocidad de la bomba de alimentación hacia la caldera será modulada gracias al LOGO 8-230 RCE.

### **1.5.3. Identificación De Variables.**

#### **1.5.3.1. Variable Independiente.**

- Programación del LOGO 8-230 RCE.

#### **INDICADORES.**

- Conexión del LOGO 8-230 RCE con la PC.
- Simulación del programa mediante el software logosoft confort V8.0

#### **1.5.3.2. Variable Dependiente.**

- Control automático PI.

#### **INDICADORES.**

- Variable Kp.
- Variable Ki.
- Variable Ti.
- Parámetros dentro de los tiempos requeridos de respuesta.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.**

El regulador PI es esencial para un proceso que se requiere de exactitud y sumo cuidado con el control de las variables tanto de entradas como salidas de los elementos para la fabricación del producto final, ya que cuenta con dos partes fundamentales que es proporcional e integral, ajustando estas dos variables de regulación PI, el controlador puede proveer una acción de control diseñada para el proceso de mantener la presión constante.

La parte proporcional es la relación que existe entre la señal de error y la constante proporcional siendo así se busca minimizar el valor a cero.

La parte integral opera cuando hay una desviación entre la variable y el punto de consigna.

El proyecto estará formado en un selector de dos posiciones que será utilizado como selección de manual-automático, también será utilizado un sensor de presión de 4 a 20 mili amperios que será instalado como señal de entrada analógica, también será conectado un variador de velocidad que tendrá que tener disponible una señal de entrada analógica que será conectada con la salida AQ1 del PLC.

#### **2.2 BASES TEÓRICAS.**

Uno de los elementos de seguridad más importantes para la operación de las calderas de vapor ha sido siempre el control del nivel de agua. El desarrollo tecnológico ha permitido

mejorar la seguridad en la evolución de este control, desde los primitivos controles manuales hasta los actuales sistemas electrónicos como LOGO 230 RCE.

## **2.2.1.DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS**

### **2.2.1.1. ¿Qué es LOGO?**

Es un módulo lógico, es decir, un controlador programable que permite que sin intervención humana, las máquinas hagan un trabajo.

“LOGO es el módulo lógico universal de Siemens.

- LOGO lleva integrados los módulos de Control, módulo de Unidad de mando y visualización con retroiluminación.
  - Lleva la fuente de alimentación.
  - Lleva la Interfaz para módulos de ampliación, la interfaz para módulo de programación (Card) y cable para PC.
  - Tiene las funciones básicas habituales pre-programadas, p.ej. para conexión retardada, desconexión retardada, relés de corriente, e interruptor de software.
  - Lleva temporizadores, marcas digitales y analógicas.
  - Entradas y salidas en función del modelo.”
- Manual del producto LOGO, (07/2016).

### **2.2.1.2. ¿Qué modelos existen?**

“LOGO Basic está disponible para dos clases de tensión:

- ✓ Categoría 1: 24 es decir, 12 V DC, 24 V DC, 24 V AC
- ✓ Categoría 2: > 24 V, es decir 115...240 V AC/DC.

Y a su vez:

- ✓ Variante con pantalla: 8 entradas y 4 salidas.
- ✓ Variante sin pantalla (“LOGO Pure”): 8 entradas y 4 salidas.

Cada variante está integrada en 4 unidades de división (TE), dispone de una interfaz de ampliación y le facilita 33 funciones básicas y especiales pre-

programadas para la elaboración de su programa.” Manual del producto, (07/2016).

### **2.2.1.3. Montaje y cableado del LOGO**

“Al montar y cablear el LOGO se recomienda observar los puntos siguientes: Asegúrese de cumplir todas las normas vigentes y vinculantes cuando realice el cableado de LOGO, Observe las respectivas prescripciones nacionales y regionales durante la instalación y la operación de los equipos.

Utilice conductores con la sección adecuada para la respectiva intensidad. LOGO se puede conectar con cables de una sección entre 1,5 mm<sup>2</sup> y 2,5 mm<sup>2</sup>.

Los conductores han de tenderse siempre lo más cortos posible. Si se requieren conductores más largos, deberá utilizarse un cable apantallado. Los conductores se deben tender por pares: un conductor neutro junto con un conductor de fase o una línea de señal.

Desconecte:

- ✓ El cableado de corriente alterna
- ✓ El cableado de corriente continua de alta tensión con secuencia rápida de operación de los contactos.
- ✓ El cableado de señal de baja tensión.

Hay que prever un alivio de tracción adecuado para los conductores. Proteja los cables con peligro de fulminación con una protección adecuada contra sobretensión.” Manual del producto, (07/2016).

### **2.2.1.4. ¿Qué ventajas tiene el LOGO?**

Las ventajas son muchas:

- ✓ Son aparatos asequibles en precio.
- ✓ Por ser programables, es flexible y versátil. Puedes hacer muchas cosas con ellos.
- ✓ Ahorra mucho cableado.

- ✓ Es mucho más fácil de mantener en caso de tener que realizar modificaciones.
- ✓ Es escalable: se puede añadir más o menos entradas y salidas.
- ✓ Puede tener una pantalla asociada de mando.” Siemens logo.com.(2018)

### 2.2.1.5. Estructura de LOGO.

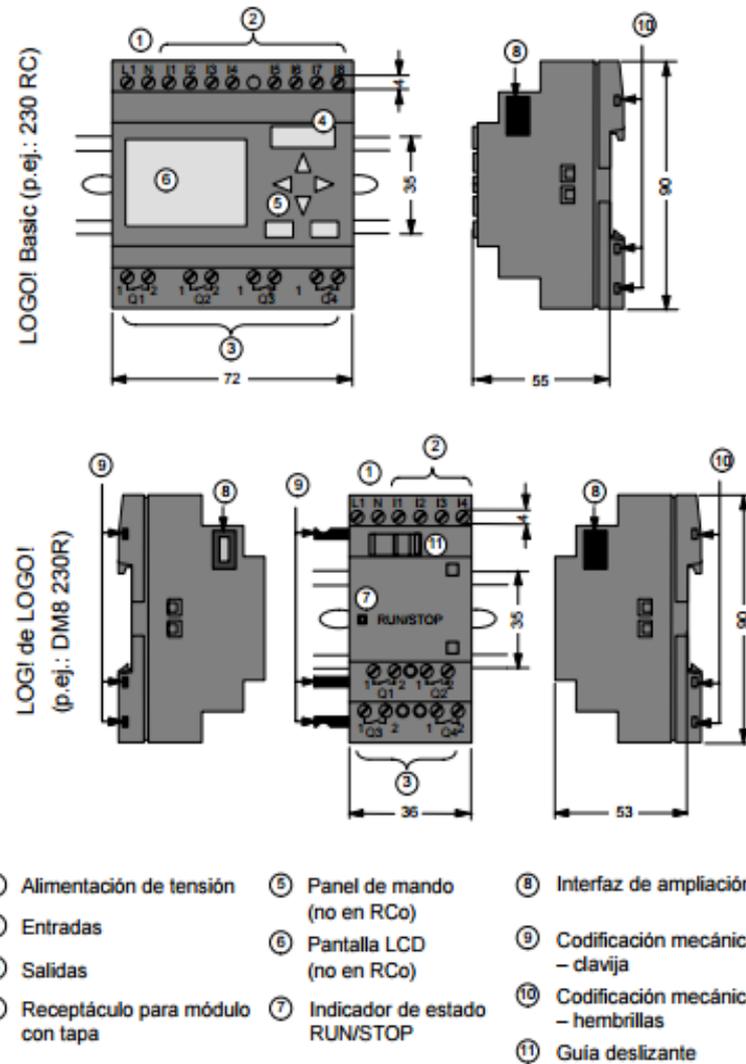


Figura 1: Estructura de LOGO. ( Siemens).

### **2.2.1.6. Cableado de LOGO**

“Para efectuar el cableado de LOGO, utilice un destornillador con un ancho de hoja de 3 mm.

Para los bornes no se requieren férulas o punteras de cable, pudiendo utilizarse conductores con secciones de hasta:

1 x 2,5 mm<sup>2</sup>.

2 x 1,5 mm<sup>2</sup> por cada segundo porta bornes Pares de apriete de conexión: 0,4...0,5 Nm o 3...4 LBin.” Manual del producto, (07/2016).

“NOTA: Tras el montaje, los bornes deben quedar cubiertos. Para poder conectar LOGO suficientemente contra el contacto no admitido de las piezas bajo tensión, es necesario respetar las normas nacionales.” Manual del producto, (07/2016).

### **2.2.1.7. Conexión de la alimentación.**

“Las variantes 230 de LOGO están indicadas para tensiones eléctricas con un valor nominal de 115 V CA/CC y 240 V CA/CC. Las variantes 24 de LOGO y las variantes 12 de LOGO son adecuadas para 24 V DC, 24 V AC o bien 12 V DC. Deben observarse al respecto las instrucciones de conexión descritas en la información del producto así como los datos técnicos del anexo A referentes a las tolerancias de tensión, frecuencias de red y consumo de corriente permitidos.” Manual del producto, (07/2016).

“NOTA: Un corte de la alimentación eléctrica podría ocasionar p.ej. en las funciones especiales activadas por flancos la generación de un flanco adicional. Los datos del último ciclo ininterrumpido se guardan en LOGO.” Manual del producto, (07/2016).

### **2.2.1.8. Entradas Analógicas.**

Las entradas analógicas empiezan por las letras AI. Hay 4 entradas analógicas disponibles, a saber: AI1, AI2 AI3 y AI4. Se recomienda que la entrada se

conecte solo con una entrada analógica, también si el programador lo requiere se puede usar como entradas de más funciones.

#### **2.2.1.9. Salidas Analógicas.**

“Las salidas analógicas empiezan por las letras AQ. Hay ocho salidas analógicas disponibles, a saber: AQ1, AQ2 a AQ8. Una salida analógica solo puede conectarse con la entrada analógica de una función, una marca analógica (AM) o un conector de salida analógico”. Manual de producto, (07/2016)

#### **2.2.1.10. Regulador Pi.**

Que es un regulador proporcional y regulador integral. Puede utilizar ambos tipos de regulador individualmente o combinados.

#### **2.2.1.11. Control proporcional.**

Katsuhiko Ogata (1998) menciona que “la función de transferencia entre la salida del controlador  $u(t)$  y la señal de error  $e(t)$  es:“

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p$$

Donde  $K_p$  se denomina ganancia proporcional. Otro parámetro importante en la acción de este controlador, es la denominada banda proporcional que expresa que tan grande será la acción de control ante una señal de error en la entrada, y es igual a:”

$$B_p = \frac{1}{K_p}$$

#### **2.2.1.12. Control Proporcional – Integral.**

Katsuhiko Ogata (1998) menciona que “El valor de salida del controlador proporcional varía en razón proporcional al tiempo en que ha permanecido el error y la magnitud del mismo, su función de transferencia es:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_N \cdot s} \right)$$

Donde  $K_p$  es la ganancia proporcional y  $T_N$  se denomina tiempo de acción integral. Ambos valores son ajustables. El tiempo integral regula la velocidad de acción de control, mientras que una modificación en  $k_p$  afecta tanto a la parte integral como a la parte proporcional de la acción de control.”

### **2.2.1.13. Bomba centrífuga verticales de funcionamiento en seco (no sumergidas).**

En este tipo de bombas, el motor siempre se encuentra por encima de la bomba, sin embargo, su grado de elevación dependerá de factores como la necesidad de protegerlo ante una eventual inundación, o la necesidad de tenerlo más accesible.

La principal ventaja de este tipo de bombas es que precisan de muy poco espacio horizontal, lo que las convierte en imprescindibles para pozos, barcos, etcétera, e ideales para irrigación, aguas sucias, usos marinos... Por el contrario, necesitan de un amplio espacio vertical para un cómodo montaje y desmontaje.

Además, ante un gran caudal, las bombas verticales son más baratas que las horizontales.



*Figura 2: Bomba Centrífuga Vertical (10 HP). (Web grundfos)*

#### 2.2.1.14. Variador de frecuencia CA PowerFlex 520 (Max 30 HP).

La aplicación de un variador de velocidad para el motor con la bomba centrífuga es esencial para este trabajo por dos razones fundamentales una es por presentar ahorro en consumo energético y otra por el resguardo de las piezas mecánicas a la hora de operar por ejemplo no es necesario que el motor trabaje al 100% cuando la aplicación solo se necesita un 50% para esta modificación de cambio en operación solo se podría lograr con un variador de velocidad adicional a esto se suma un bajo costo de mantenimiento.

##### 2.2.1.14.1. Características de control.

- “Una (1) entrada analógica (unipolar de voltaje o corriente) aislada de manera independiente del resto de las E/S del variador”. Publicación de Rockwell Automation 520-TD001E-ES-E – (julio 2016).
- “Cinco (5) entradas digitales (cuatro programables) proporcionan versatilidad de aplicación”. Publicación de Rockwell Automation 520-TD001E-ES-E – (julio 2016).
- “Una (1) entrada analógica (1) que puede seleccionarse mediante puente entre 0-10 V o 0-20 mA. Esta salida escalable de 10 bits es adecuada para la medición o como referencia de velocidad de otro dispositivo”. Publicación de Rockwell Automation 520-TD001E-ES-E – (julio 2016).
- “Una (1) salida de relé (formato C) puede usarse para indicar varias condiciones del variador, motor o lógica”. Publicación de Rockwell Automation 520-TD001E-ES-E – (julio 2016).



Figura 3: Variador de Velocidad PowerFlex. (Web PowerFlex)

### 2.2.1.15. Módulos De Ampliación.

- “Los módulos digitales LOGO 8 están disponibles para el funcionamiento con 12 V DC, 24 V AC/DC y 115... 240 V AC/DC, e incorporan cuatro entradas y cuatro salidas”. Manual de producto, (07/2016).
- Los módulos analógicos LOGO están disponibles para el funcionamiento con 24 V DC y, algunos de ellos, con 12 V DC. Cada uno de ellos puede incorporar dos entradas analógicas, dos entradas PT100, dos entradas PT100/PT1000 o dos salidas analógicas.

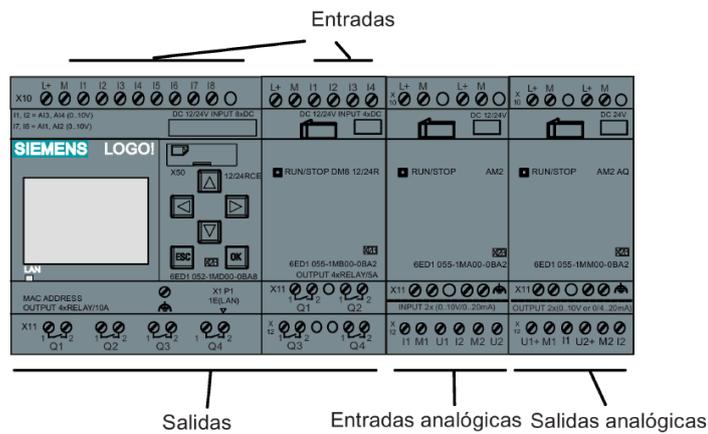


Figura 4: Forma física del PLC LOGO. (Manual de producto, 07/2016)

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.**

En todo estudio o investigación es de importancia fundamental que los hechos y relaciones que se establece, a partir de los resultados obtenidos o nuevos conocimientos; tengan el grado máximo de exactitud y confiabilidad.

Para ello se planea una metodología o procedimiento ordenado que se sigue para establecer lo significativo de los hechos y fenómenos hacia los cuales está encaminado el significado de la investigación.

Para el presente trabajo de investigación se utilizará los siguientes métodos:

- Método Sintético: Este método nos sirve para analizar el problema existente en el presente trabajo de investigación.
- Método Analítico: Nos permitirá analizar las causas del problema planteado y sus efectos.
- Método Inductivo: Nos permitirá ver el problema de manera particular para llegar a una conclusión.

#### **3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.**

“El diseño de la investigación entendida como el conjunto de estrategias procedimentales y metodológicas definidas y elaboradas previamente para desarrollar el proceso investigativo, guiando los propósitos a través de la prueba de hipótesis, para el presente estudio es de carácter experimental y cuyo diseño es el explicativo causal”.

(SAMPIERE Y FERNANDEZ Metodología de la investigación 5ta edición editorial McGRAWHILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. A MÉXICO D.F. pp 149).

### **3.2.1. Diseño Específico.**

Del logro óptimo de los objetivos trazados según Hernández Sampieri y Fernández (2006, 161), se adoptó el diseño EXPOSTFACTO, ya que se ha establecido una relación causa - efecto entre las variables independientes y dependiente. Su esquema es el siguiente:

$$Y = f(X)$$

Dónde:

Y = Control automático PI..

X = Programación del LOGO 8-230 RCE.

f = Función.

### **3.2.2. REGULADOR PI.**

Para nuestro proyecto utilizaremos en REGULADOR PI para mantener una presión constante de agua de 10 Bar como alimentación a calderas de vapor, la razón que utilizaremos este bloque es que se nos acondiciona muy bien para desempeñar este tipo de control que es proporcional e integral y la descripción es:

“Regulador proporcional y regulador integral también puede utilizar ambos de regulador individual o combinados”. Manual de producto, (07/2016).

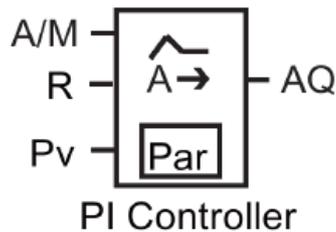


Figura 5: bloque REGULADOR PI (fuente: propia).

- “ENTRADA A/M, permite ajustar el modo de operación del regulador: 1- modo automático, 0- modo manual”. Manual de producto (07/2016).
- “ENTRADA, utilice la entrada R para desactivar la salida AQ, mientras está, activada la entrada A/M permanece bloqueada, la salida AQ se pone a 0”. Manual de producto (07/2016).
- “ENTRADA PV, Valor analógico: variable de proceso, influye en la salida”. Manual de producto (07/2016).

### 3.2.3. ENTRADA DIGITAL

“Las entradas digitales empiezan por la letra I. el número de entrada digital (I1, I2,...) se corresponde con el número de conectores de entradas del módulo base LOGO”. Manual de producto (07/2016).

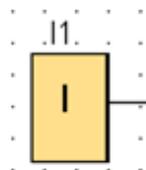


Figura 6: bloque ENTRADA DIGITAL. (Fuente propia)

### 3.2.4. ENTRADA ANALÓGICA.

Las señales de entradas analógicas (AI1, AI2, AI7, AI8), son usadas básicamente como señales variables de recolección de datos sobre todo para aquel proceso que se desea controlar en un nuestro caso es para medir presión de agua que sería un sensor de presión, la señal eléctrica que usaremos será de 4 a 20 mA.

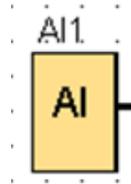


Figura 7: bloque ENTRADA ANALÓGICA. (Fuente propia)

### 3.2.5. SALIDA ANALÓGICA.

“Las salidas analógicas empiezan por la letra AQ. Hay ocho salidas analógicas disponibles y la relación es desde AQ1, AQ2, AQ3,...AQ8”. Manual de producto (07/2016).

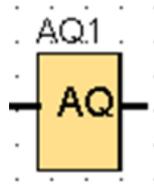


Figura 8: bloque SALIDA ANALÓGICA. (Fuente propia)

### 3.2.6. NIVELES.

“Los niveles de tensión se identifican mediante hi y lo. Un estado constante (“1” = hi o “0” = lo) de un bloque puede justarse mediante un nivel de tensión fija o un valor constante “hi” o “lo” “, Manual de producto, (07/2016).

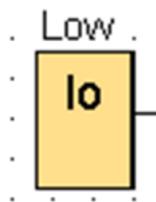


Figura 9: bloque de BAJA SEÑAL. (Fuente propia)

### 3.2.7. CONTROL PI

Control PI automatizado descrito de la siguiente manera.

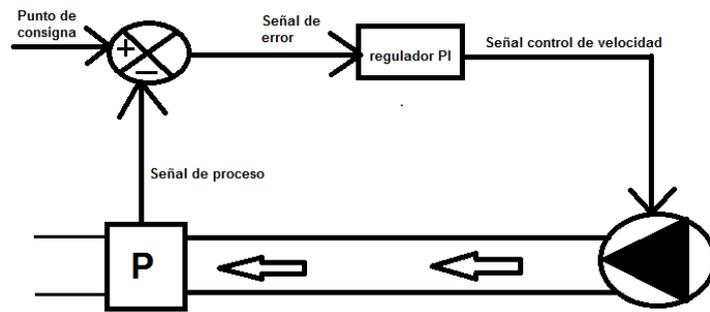


Figura 10: control PI. (Fuente propia)

### 3.2.8. Programación del PLC LOGO.

#### 3.2.2.1. Primer paso.

Mediante el software LOGO SOFT COMFORT V8.0, agregamos un nuevo diagrama como opción inicial para posteriormente elegir el bloque control PI que se encuentra en la barra de INSTRUCCIONES, buscamos la lista de ANALÓGICOS, ahí encontraremos el bloque “REGULADOR PI” y manteniendo el click del mouse haremos un arrastre hasta la pantalla punteada de la derecha.

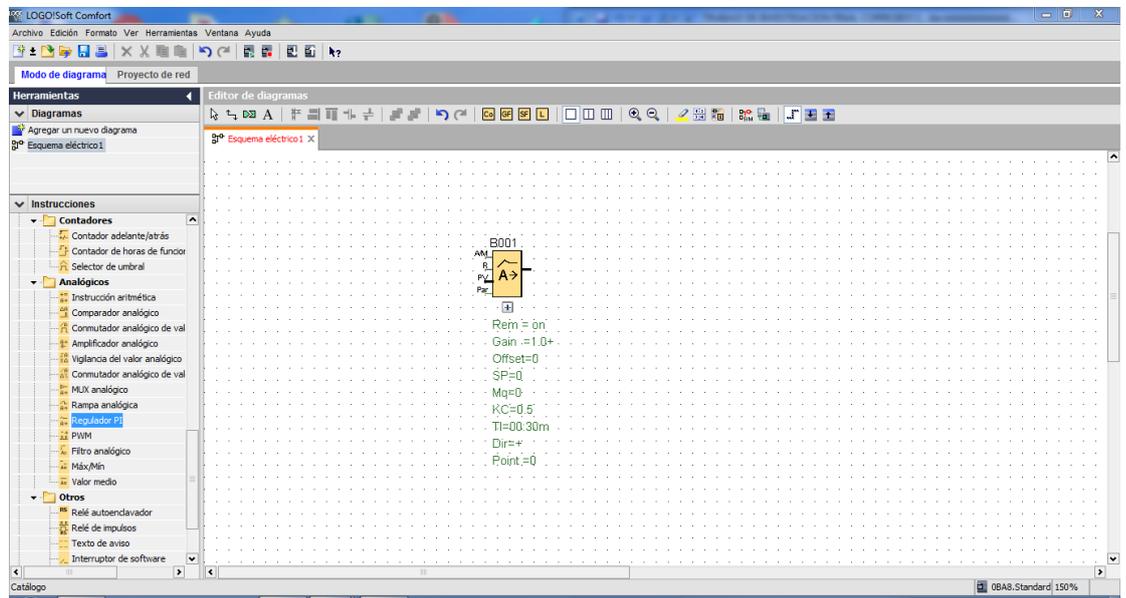


Figura 11: Elección del bloque 001 REGULADO PI. (Fuente: Propia)

#### 3.2.2.2. Segundo paso

Como principal condición el bloque tiene una entrada por el lado izquierdo donde se aprecia A/M que indica manual o automático la cual es considerada una señal digital que podría ser un selector de dos posiciones.

Luego se tiene la entrada R que indica RESET que se puede interpretar como señal de bloqueo esto significa que si la entrada RESET es suministrada con señal digital 1 este bloque tendrá como salida 0 para nuestro caso colocaremos una señal baja denominada “Lo” que indica que no se bloqueea por ningún motivo.

La entrada analógica variable que para nuestro caso será el sensor de presión será instalada por el terminal PV la cual influirá en la salida.

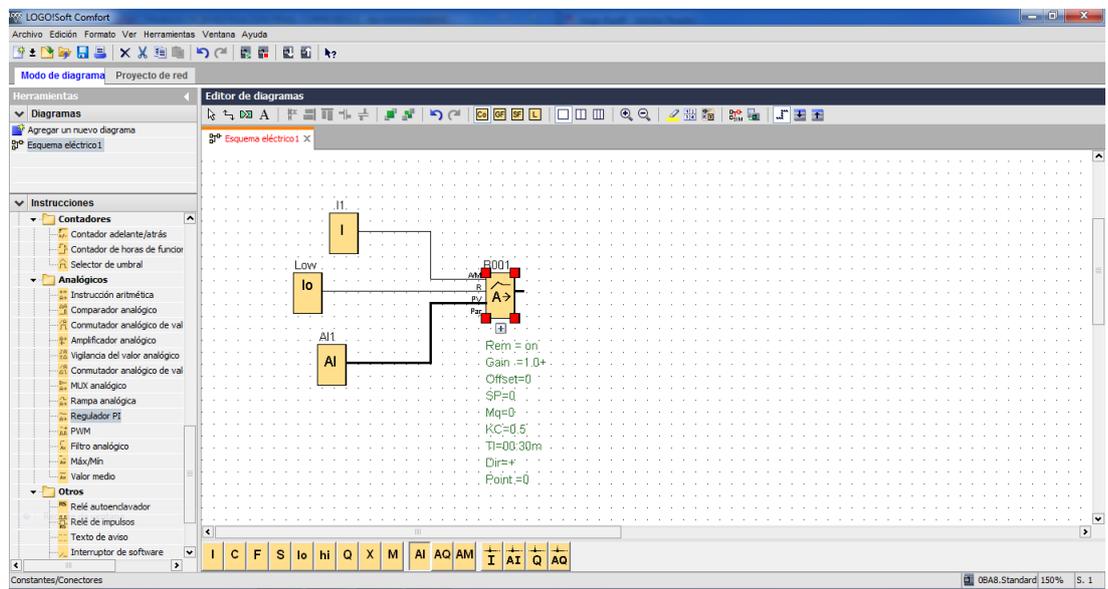


Figura 12: Conexión de señales analógicas y digitales. (Fuente: Propia)

### 3.2.2.3. Tercer paso.

Para configurar el proceso tendremos que hacer doble click sobre el bloque REGULADOR PI y se mostrara la ventana de parámetros donde podremos elegir.

- Sensor de 4.....20mA.
- Configuración analógica como mínimo 0 y máximo como 1000 donde:

- 4mA indicara 0 bares de presión con un valor de 0, (bomba 0% de velocidad).
- 20mA. indicara 20 bares de presión un valor de 1000, (bomba a 100 % de velocidad).
- Los valores del parámetro de ganancia y Offset serán dados por el propio software por defecto, se podría cambiar por alguna necesidad pero para nuestro caso lo dejaremos igual.
- **Finalmente la salida llamada también consigna (SP) será de 500, porque para nuestro caso el valor 500 indica 12 mA. Por lo tanto la presión que se obtendrá como constante será de 10 bares.**

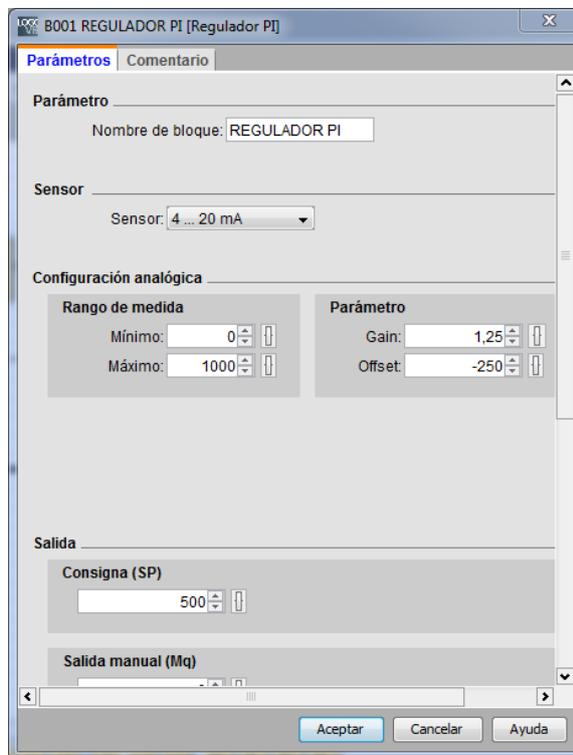


Figura 13: Ventana de Parámetros. (Fuente: Propia)

#### 3.2.2.4. Cuarto paso.

Finalmente se realiza una simulación del proceso con la ayuda de la opción RUN del software que nos indica mediante una gráfica los comportamientos de los valores variables con respecto al cambio de la señal de entrada analógica.

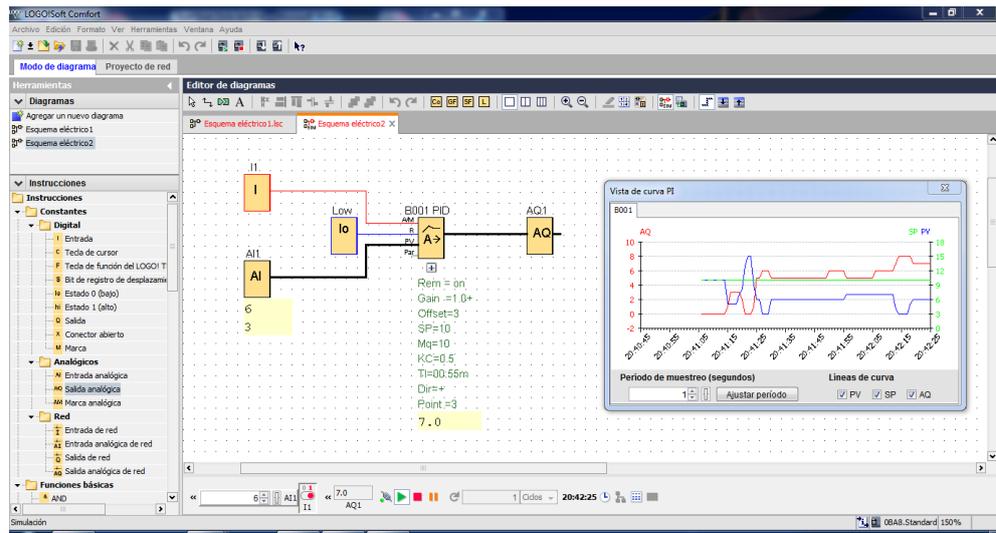


Figura 14: Programa PI terminado listo para iniciar PROCESO AUTOMATIZADO. (Fuente: Propia)

### 3.2.2.5. Quinto paso-Configuración del valor proporcional y del tiempo integral.

Para este caso usare el método de prueba y error para poder encontrar el valor más adecuado para el valor proporcional y el tiempo integral y para poder lograrlo me apoyare del software logosoft que nos grafica las señales de entrada y salida analógica, para lo cual también utilizare la recta moduladora que me brinda el software para poder simular la señal analógica de entrada que estará simulando la señal del sensor de presión y estará coloreada de azul, la señal de salida de color rojo.

Lo que básicamente se busca es encontrar la mejor respuesta en la señal de salida ya que es la señal que utilizaremos como controladora absoluta del sistema.

Colocaremos intuitivamente valores para la parte proporcional y para el tiempo integral.

➤ Probaremos con:

**Valor proporcional (1)**  
**Tiempo integrativo (10seg)**

La modulación que se realiza a la salida de señal analógica es escalonada ocasionando una perturbación en la señal moduladora de velocidad a la bomba centrífuga, en **este caso no se recomienda la configuración.**

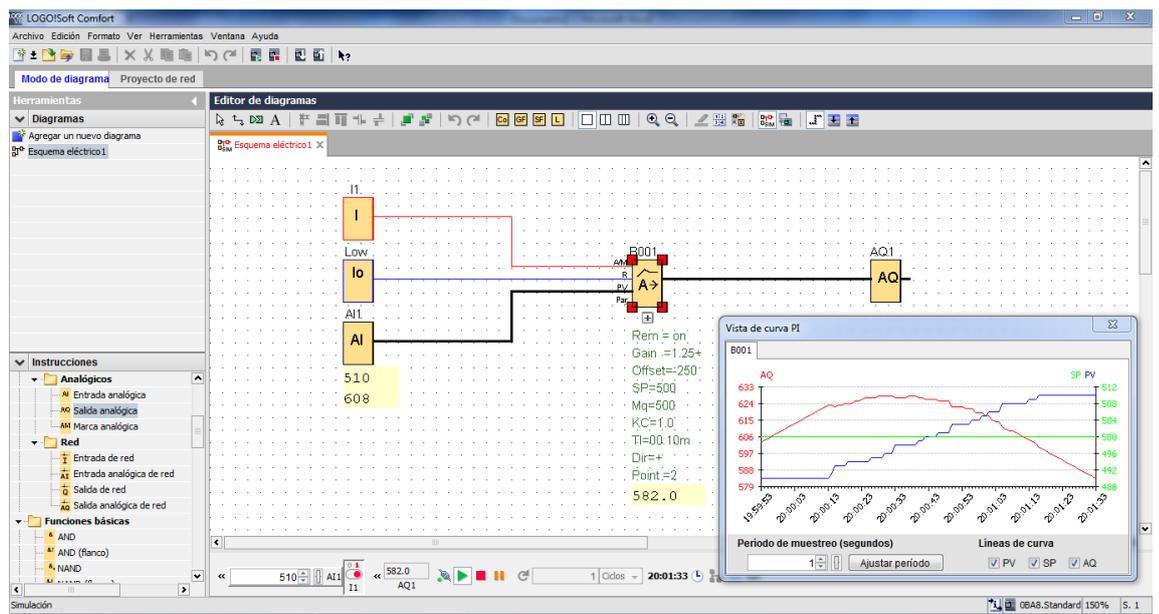


Figura 15: Configuración 1 (Fuente propia)

➤ Probaremos con:

**Valor proporcional (1)**  
**Tiempo integrativo (5seg)**

La modulación que se realiza a la salida de señal analógica es muy escalonada donde se podría ocasionar una pequeña perturbación en la señal moduladora

de velocidad a la bomba centrífuga, **en este caso no se recomienda la configuración.**

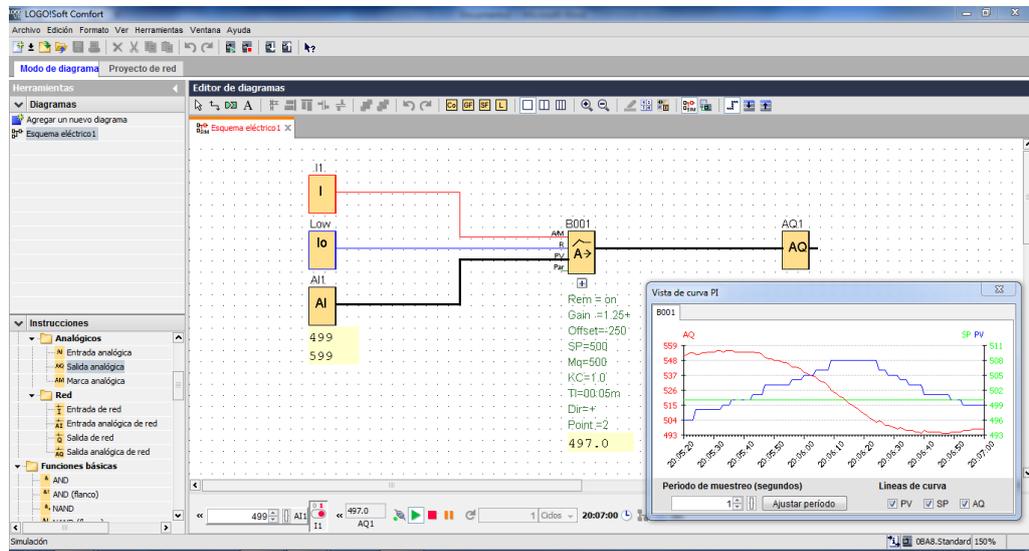


Figura 16 Configuración 2 (Fuente propia).

➤ Probaremos con:

**Valor proporcional (1)**  
**Tiempo integral (1seg)**

La modulación que se realiza a la salida de señal analógica es insignificanemente escalonada donde se podría despreciar la posibilidad de ocasionar una perturbación en la señal moduladora de velocidad a la bomba centrífuga, **en este caso se recomienda esta configuración.**

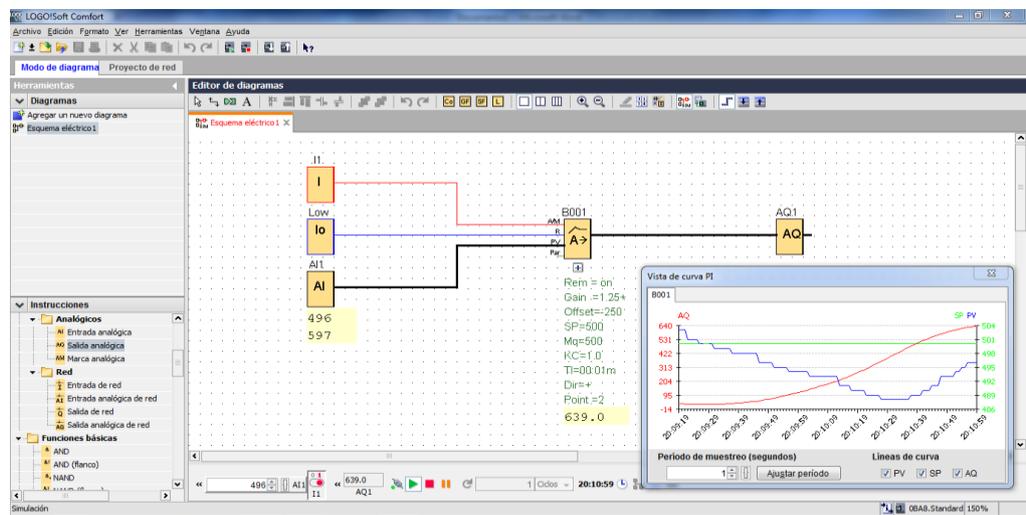


Figura 17 Configuración 3 (Fuente propia)

➤ Probaremos con:

**Valor proporcional (2)**  
**Tiempo integrativo (1seg)**

La modulación que se realiza a la salida de señal analógica es mínimamente escalonada donde no podría ocasionar perturbación en la señal moduladora de velocidad a la bomba centrífuga sin embargo se nota que la señal de salida tiene una considerable demora en la reacción al tratar de corregir el error de entrada, **en este caso no se recomienda.**

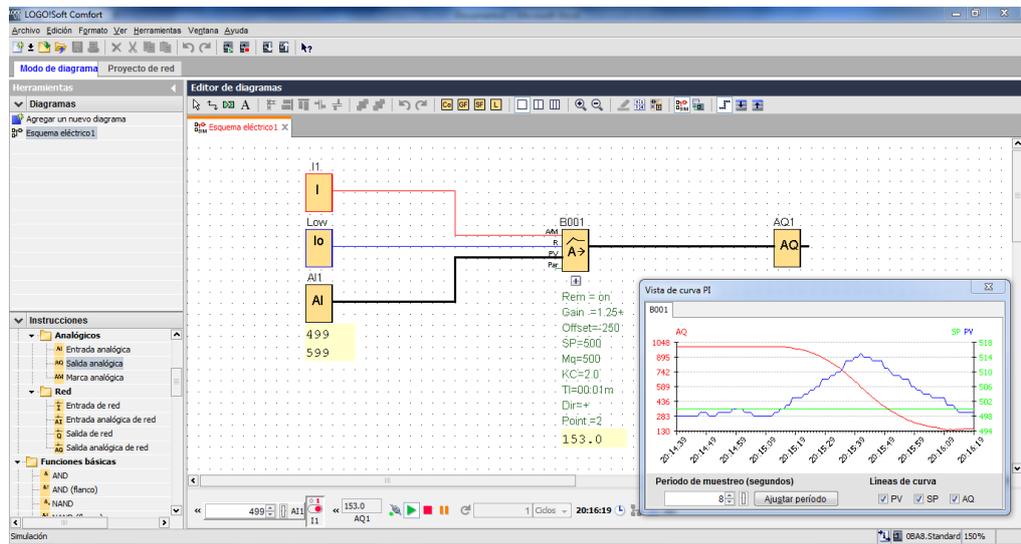


Figura 18 Configuración 4 (Fuente propia)

➤ Probaremos con:

**Valor proporcional (2)**  
**Tiempo integral (5seg)**

La modulación que se realiza a la salida de señal analógica es mínimamente escalonada donde no podría ocasionar perturbación en la señal moduladora de velocidad a la bomba centrífuga sin embargo se nota que la señal de salida tiene

bastante demora en la reacción al tratar de corregir el error de entrada, **en este caso no se recomienda.**

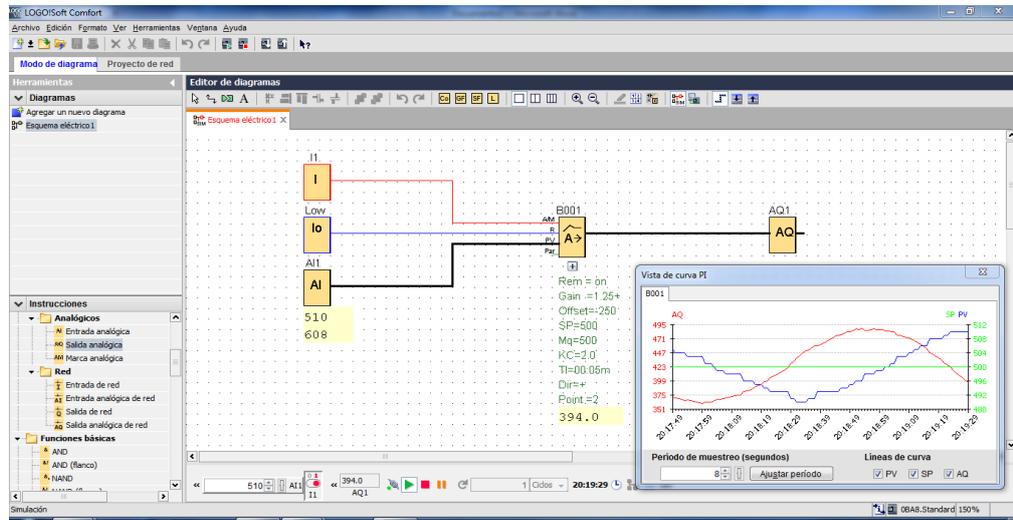


Figura 19 Configuración 5 (Fuente propia)

➤ Probaremos con:

**Valor proporcional (2)**  
**Tiempo integral (10seg)**

La modulación que se realiza a la salida de señal analógica es muy escalonada donde podría ocasionar perturbación en la señal moduladora de velocidad a la bomba centrífuga sin embargo se nota que la señal de salida tiene bastante demora en la reacción al tratar de corregir el error de entrada, **en este caso no se recomienda la configuración.**

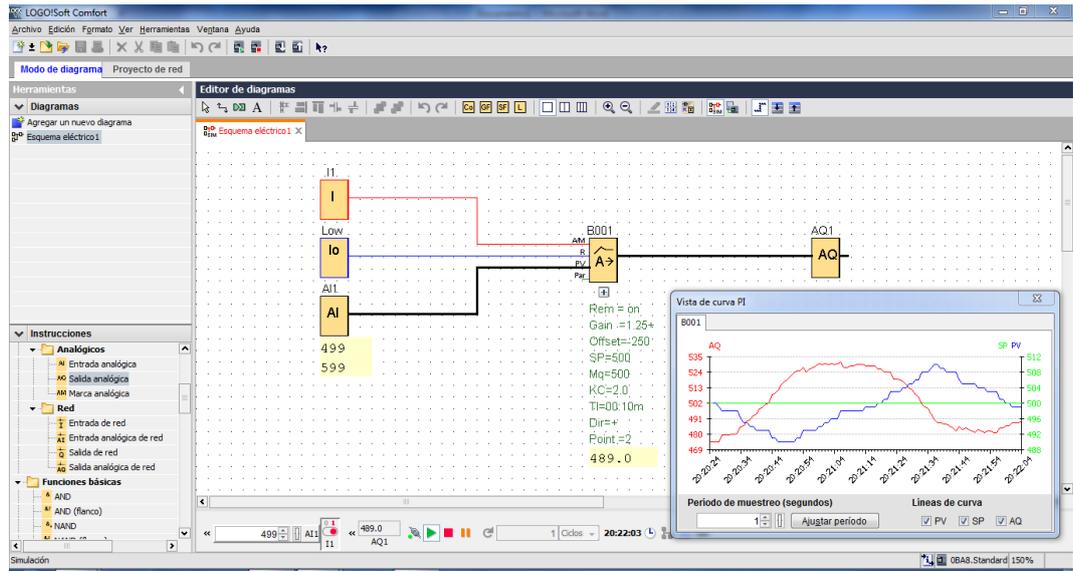


Figura 20 Configuración 6 (Fuente propia)

### 3.2.2.6. Bomba centrífuga verticales de funcionamiento en seco (no sumergidas).

Para esta investigación se considera la variación de velocidad a una bomba centrífuga vertical de 10 HP de potencia del motor por tener cumplir con los requerimientos operacionales e instalación sencilla y poco espaciosa.

Su principal ventaja es que eliminan el inconveniente del cebado por lo que el impulsor siempre se encuentra rodeado del agua a bombear, y la bomba puede comenzar a trabajar en cualquier momento con tan sólo poner en marcha el motor esto es una gran ventaja para condiciones automáticas de encendido con relación a la variación de presión de línea de agua.

#### 3.2.2.6.1. Características.

Caudales	Hasta 162 m <sup>3</sup> /h / 850 gpm.
Alturas	Hasta 400 m/ 1350 pies.
Presiones	Hasta 40 bares/ 580 psi.
Temperaturas	Hasta 140 °C/284 °F.
Bridas de descarga	Diámetro del impulsor de hasta 125 mm / 5 pulgadas.

### 3.2.2.7. Instalación del MODULO LOGO RCE230 y accesorios.

- 1) Como se muestra en la figura se aprecia una instalación del módulo LOGO de la marca SIEMENS el cual ya está programado para el control de presión constante en la línea de agua que alimenta a la caldera, se puede apreciar en la parte de arriba el cableado de alimentación con tensión de 220VCA y señales de entrada (AI1-AI2-DI3-DI4) y de igual manera se tiene el cableado de abajo para señales de salidas (AO1-AO2-DO3-DO4).



Figura 21: Modulo logo instalado en tablero. (Fuente: Propia)

- 2) Las bombas de alimentación son las encargadas de abastecer con agua a las calderas, las más comunes son las bombas centrífugas, también se aprecia en la imagen un grupo de bombas (04) con sus respectivas válvulas check y válvulas de bola como dispositivos que favorezcan el mantenimiento y su reemplazo e instalación.



Figura 22: Bombas de alimentación. (Fuente: Propia)

- 3) El tablero de control está diseñado para la inspección de señales tanto como para parametrizaciones del variador de velocidad como voltaje, corriente, velocidad y hasta incluso potencia de consumo, horómetros. También nos sirve para poder gobernar el encendido y el apagado del equipo en una forma segura.



Figura 23: Tablero de control. (Fuente: Propia)

- 4) La señal de entrada que usaremos será transmitida mediante un sensor de presión de la marca SIEMENS que se encargará de traducir la presión de línea a una señal eléctrica analógica la cual será instalada a nuestro modulo LOGO en los bornes de entrada analógica (AI1-AI2).



Figura 24: Sensor de presión analógico. (Fuente: Propia)

- 5) Para la instalación de nuestro sensor de presión es necesario contar con la corriente eléctrica continua de 24 voltios y también para algunos dispositivos electrónicos como podrían ser relés de corriente continua u otros.



Figura 25: Fuente AC/DC 24 VDC. (Fuente: Propia)

### 3.3 UNIDAD DE ESTUDIO.

Para nuestro trabajo de investigación nuestra unidad de estudio es el LOGO RCE230 Módulo lógico, Display AL/E/S: 115V/230V/Relé, 8ED /4SD, Memoria de 400 bloques, 230V AC/DC, Interfaz Ethernet, porque toda nuestro trabajo de investigación se basa en la programación de dicho controlador lógico programable.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 RESULTADOS DEL TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.

Del punto anterior del capítulo 3 donde se hizo la prueba con los siguientes valores de configuración:

:

**Valor proporcional (1)**

**Tiempo integral (1seg)**

Podemos ver en la gráfica siguiente que la señal de control de la salida de color rojo, es insignificamente escalonada (es decir no hay variaciones bruscas en los cambios de la señal, solo variaciones insignificantes) donde se podría despreciar la posibilidad de ocasionar una perturbación en la señal moduladora de velocidad a la bomba centrífuga.

También se puede apreciar que llega al setpoint de 500 (de color verde) en 80 segundos, ya que trata de corregir el error en la entrada de la señal (de color azul) lo más rápido posible a pesar de que la señal PV se aleje de la consigna (setpoint).

Por este motivo es que elegimos estos valores de KP y de Ti, por estos los mas optimos.

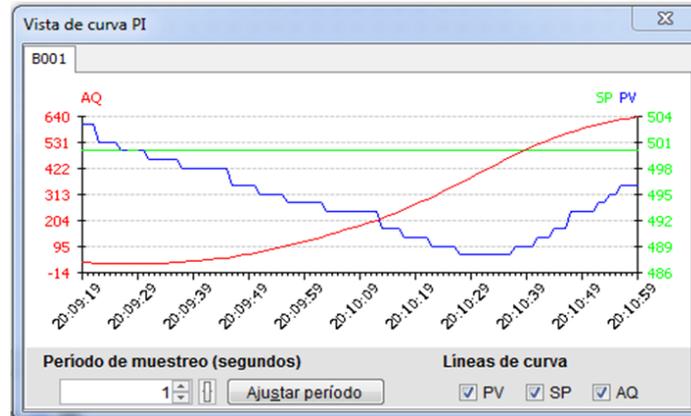


Figura 26: Configuración óptima de controlador PI. (Fuente propia)

## 4.2 PRUEBA DE HIPÓTESIS.

La solución al problema planteado en esta investigación es absolutamente correcta, después de comprobar que existe el bloque control PI en el módulo programable LOGO y después de ser programado ha sido instalado físicamente a manera de prueba en un tablero de control instalado con sus respectivos accesorios eléctricos como fuente AC/DC, sensor de presión y módulo de expansión de entradas y salidas analógicas y por último la instalación del variador de velocidad para luego ser puesto en marcha dicho programa para controlar la presión de agua constante a 10 bar como seteo.

### 4.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

1. Será un poco difícil la interpretación de señales analógicas ya que un sensor de presión idealmente emite señales de 4 a 20 miliamperios pero en la práctica se ha notado que a veces no es así de sencillo entonces uno tiene que acondicionar las señales que recibe del sensor para luego aplicar la fórmula del equipo y así poder maniobrar con señales comunes como de 4 a 20 mA.
2. De todas las configuraciones dadas, fue elegida la que mejores resultados producía, es decir con tiempos óptimos así como la que no producía perturbaciones en el sistema de control.
3. Una señal analógica es necesaria para esta clase de control por más exacta a tiempo real y muy confiable también se recomienda no tener largas distancias de cableado para llevar esta señal por las perturbaciones que podrían afectar a su confiabilidad, recomendando un cableado menor a 5 metros.
4. Y finalmente estar seguro de operación de modulo LOGO porque una vez programado y comprobado en campo y dando la aceptación no se puede desprogramar ni modificar por si solo y si el cliente desea tener más seguridad el modulo LOGO nos da la opción de una contraseña.

## CONCLUSIONES

1. El modulo LOGO es una buena herramienta programable de buena calidad y confiabilidad garantizada por la marca SIEMENS, nos ha permitido, que se efectuó la programación para regular la presión de agua a 10 BAR ya que cuenta para su programación el bloque regulador PI.
2. El software logosoft permite una regulación fácil del controlador PI, porque su programación para este caso en particular se hace mediante bloques, y además solo se tiene que hallar los parámetros de control requeridos.
3. La sencillez de montaje sobre el tablero y el poco espacio que ocupa lo hace el modulo programable cómodo para quien desee utilizarlo sumado esto tiene una programación que es muy sencilla y de fácil comprensión contando con un manual muy didáctico y lógico que claramente describe los procesos de cada bloque específico.
4. La programación del control automatizado de presión de agua constante está totalmente garantizada por dos razones fundamentales una es que el distribuidor lo menciona y la otra razón es que lo he probado con resultados satisfactorios.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. OGATA, Katsuhiko, *Ingeniería De Control Moderna*, 5<sup>ta</sup> edición, Prentice-Hall 2010, 904 pp, ISBN. 9788483226605
2. VILLAJULCA, José, instrumentacionycontrol.net, ©2018, [consulta: 20 octubre 2018]. Disponible en <https://instrumentacionycontrol.net/>
3. MARAÑA, Juan. *Instrumentación Y Control De Procesos* [en línea], 28 abril 2005, [consulta: 29 setiembre 2018]. Disponible en: [https://www.academia.edu/10047837/INSTRUMENTACION\\_Y\\_CONTROL\\_DE\\_PROCESOS\\_Autor\\_es\\_JUAN\\_CARLOS\\_MARA%91A\\_Area\\_t%91A9cnica\\_Industria\\_y\\_Energ%91ADa](https://www.academia.edu/10047837/INSTRUMENTACION_Y_CONTROL_DE_PROCESOS_Autor_es_JUAN_CARLOS_MARA%91A_Area_t%91A9cnica_Industria_y_Energ%91ADa)
4. Controladora lógica programable LOGO, siemens.com, ©2018, [consulta: 01 octubre 2018]. Disponible en [https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores\\_modulares/logo/pages/default.aspx](https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores_modulares/logo/pages/default.aspx)
5. Manual de usuario LOGO 8 Topo I, siemens.com, ©2018, [consulta: 10 octubre 2018]. Disponible en: [https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores\\_modulares/LOGO/Documents/logo\\_system\\_manual\\_es-ES\\_es-ES.pdf](https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores_modulares/LOGO/Documents/logo_system_manual_es-ES_es-ES.pdf)
6. Controladores lógicos programables, rockwellautomation.com, ©2018, [consulta: 20 octubre 2018]. Disponible en: [www.rockwellautomation.com](http://www.rockwellautomation.com).
7. SAMPIERE Y FERNANDEZ, “Metodología de la investigación”, 5<sup>ta</sup> edición editorial McGRAWHILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. A MÉXICO D.F. pp 149.