



Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
Dr. Antonio Núñez Jiménez
Facultad Metalurgia-Electromecánica

Sistema informativo de accionamiento eléctrico de hidrotransporte basado en el PLC de SIEMENS

TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCION AL TITULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO

AUTOR: J. Kauko Penda Negonga

TUTORES: Dr. Luis Delfín Rojas Purón

MSc. Oscar Peña

Dr. Raúl Izquierdo Pupo

Moa, Holguín

Año de la revolución cubana

2008

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo Penda Negonga autor de este trabajo de diploma titulado: “Sistema informativo de accionamiento eléctrico de hidrotransporte basado en el PLC de SIEMENS”, certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, el cual podrá hacer uso del mismo para fines docentes y educativos.

ISMM de Moa, 20 de Junio del 2006

Penda Negonga
Diplomante

Dr. Luis Rojas Purón
Tutor

Dedicatorio

Dedico este trabajo a mis padres que a lo largo de toda sus vidas han luchado por mi bienestar, sin importar precio alguno. A mis hermanos y mis amigos.

Agradecimientos

Primeramente quiero agradecer al Señor por la fuerza y resistencia que me ha concedido durante mis cinco años de estudios.

Deseo expresar mi agradecimiento al profesor Dr. Luis Delfín Rojas Purón, Tutor de esta tesis, por sus valiosos consejos, ideas y apoyo para realizar este trabajo.

Agradezco al Ministerio de Educación Superior de Cuba, que ha permitido la realización de mis estudios en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMMM). También agradezco el apoyo institucional que me ha dado el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa durante estos años.

Quiero agradecer también, a los compañeros y amigos del departamento de ingeniería Eléctrica del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, para la invalorable ayuda y compañía, durante el tiempo que estuve junto a ellos.

A las personas con las que he compartido esta etapa de mi vida, con sus buenos y malos momentos, Muchas gracias.

RESUMEN

Este trabajo consiste en el diseño de un sistema informativo que funcione como supervisor de un accionamiento de bombas centrífugas de transporte de pulpa laterítica, utilizada en tareas de investigación y prácticas de laboratorios docentes en el ISMM de Moa, en las carreras de Eléctrica, Mecánica y Metalurgia.

La automatización del sistema se realiza asistida por un autómatas programable de SIEMENS, tipo LOGO.

Se incluye además, la base teórica experimental del accionamiento obtenida desde una interface gráfica, ayudada por el toolbox del MATLAB.

ABSTRACT

This work consists of the design of an information system that functions as the supervisor of an electric drive for centrifugal pumps used for the transport of lateritic pulp that is used in investigations and practical laboratory work in the ISMM of Moa, in the Electrical, Mechanical and metallurgical courses.

The automation of the system is done by a PLC LOGO of SIEMENS. Included also is theoretical- experimental base of the drive obtained from a graphical user interface, with help from the MATLAB toolbox.

INDICE

Dedicatorio.....	II
Agradecimiento.....	III
Resumen.....	IV
Tabla de Contenidos.....	
Introducción General.....	
Capítulo I Descripción de Accionamiento de Hidrotransporte	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Descripción de la Instalación Experimental.....	2
1.3. Estructura técnica.....	4
1.4. Descripción general del proceso.....	5
1.5. Modelos Matemáticos.....	7
1.5.1. Modelo Matemático de Motor de Inducción Trifásico.....	7
1.5.2. Ecuaciones para el Subsistema Hidráulico...	8
Conclusiones Parciales.....	10
Capitulo Fundamentos Sobre Autómatas Programable de SIEMENS	12
2.1. Introducción.....	12
2.2. Controlador Lógico Programable (PLC).....	12
2.3. Desarrollo Histórico.....	13
2.4. Aplicaciones de los PLC.....	15
2.5. La Estructura Básica de un PLC	17
2.5.1. Unidades Funcionales	17
2.5.2. Unidad de Entradas.....	17
2.5.3. Unidad de Salidas	18
2.5.4. Unidad Lógica.....	19
2.5.5. Memoria.....	19
2.6. Interfaces de Estado Sólido	21
2.7. Efectos del Ruido.....	22
2.8. Administración de Entradas y Salidas de un PLC.....	23
2.8.1. Bases del Montaje	23
2.8.1.1 Módulos de Comunicaciones.....	24
2.8.1.2 Módulos de Control de Redundancia.....	25
2.8.1.3 Módulos para Conexión de Racks Remotos.....	25
2.8.1.4 Módulos de Interfaz Hombre-Máquina.....	26
2.8.1.5 Módulos de Almacenamiento de Información.....	27
2.8.1.6 Módulos Controladores PID.....	27
2.8.2 Puntos de Entrada/Salida.....	28
2.8.3 Lenguajes de Programación Orientados a PLC.....	29
2.8.3.1 Programación con Diagrama Escalera.....	29
2.8.3.2 Programación con Bloques Funcionales	30
2.8.3.3 Programación con Lógica Booleana.....	31

2.8.4 Programación de un PLC.....	31
2.9 Presentación de LOGO	33
2.9.1 Tipos de LOGO que Existen	34
2.9.2 Estructura del LOGO.....	34
2.9.3 Identificación de LOGO.....	35
2.9.4 Conectar LOGO.....	37
2.9.5 Estados de Operación de LOGO.....	38
2.9.6 Programación de LOGO	39
2.9.6.1 Primeros Pasos con LOGO	39
2.9.6.2 Cuatro reglas Fundamentales para Operar con LOGO.....	39
2.9.7 Introducción y Arranque del Programa.....	41
2.9.8 Funciones de LOGO	43
2.9.9 Designación de las Entradas.....	45
2.9.9.1 Entradas de Vinculación	45
2.9.9.2 Entradas Parametrizables	46
2.9.10 Respaldo Tampón del Reloj.....	46
2.9.11 Módulos de Programa LOGO.....	47
2.9.12 Sinopsis de los Módulos.....	47
2.9.13 Software de LOGO	48
2.9.14 Determinación del Tiempo de Ciclo	49
2.9.15 Especificaciones de un Industrial.....	50
2.9.16 Consideraciones de Instalación y Montaje.....	51
2.9.17 Encapsulado (Enclosure)	52
2.9.18 Consideraciones Eléctricas.....	53
Conclusiones Parciales.....	54
Capítulo III: Diseño del sistema supervisor asistido por PLC.....	56
3.1. Introducción.....	56
3.2. Sensores.....	57
3.2.1. Sensores de Velocidad.....	58
3.2.2. Sensores de Presión.....	58
3.2.3. Sensores de Nivel.....	59
3.2.4. Transmisor inteligente de densidad y concentración	60
3.3. Arrancadores.....	64
3.4. Componentes de Escala Lógica Básica	65
3.4.1. Contactos.....	65
3.4.2. Bobinas.....	65
3.5. Solenoides.....	66
3.6. 3.6 El montaje de sistema de la instalación y su programación en el LOGO de Siemens	68
3.7. La interface gráfica de un accionamiento de hidrotransporte ayudada por el toolbox del MATLAB.....	76
3.8. Sintonización de PLC con variador de velocidad.....	80
Conclusiones Parciales.....	82

Capítulo IV: Evaluación técnico económica del trabajo.....	84
4.1. Valoración económica.....	84
4.2. Costos.....	86
Conclusiones Parciales.....	89
Conclusiones Generales	
91	
Recomendación	
..... 92	
Bibliografía	95
Anexos	98

Introducción General

Actualmente sería impensable realizar maniobras mas o menos complicadas, dentro del mundo industrial, sin dos elementos ampliamente extendidos en nuestros días, por una parte los autómatas programables y por otra los sensores, que permiten controlar las variables que afectarán al proceso industrial[16][Ing. Eric Serra].

Los autómatas por precio, versatilidad y facilidad de programación se han convertido en los sustitutos de las maniobras en los entornos industriales, y debido a las crecientes necesidades de los procesos industriales modernos, cada vez hay que controlar mas variables que afectan a estos procesos, por lo que los sensores han entrado de lleno en estas maniobras.

Hoy por hoy, sería difícil encontrar procesos automáticos que no estén gobernados por elementos de gobierno, sensores y autómatas.

Procesos como contadores, detectores de presencia, detectores de objetos, control de niveles, medidas de seguridad, chequeo de contenidos, inspecciones de calidad automáticos, posicionamiento y verificación y un largo etcétera serian impensables sin esta combinación de elementos.

Problema

La necesidad de automatizar las operaciones de funcionamiento de un accionamiento de hidrotransporte, mediante el uso de un autómata programable, donde se requiere también acceder desde la red, la recolecta en una base de datos del sistema.

Hipótesis

Mediante la identificación de las variables que participan en el funcionamiento eficiente de un accionamiento eléctrico de la instalación de hidro-transporte, es posible diseñar un esquema para su automatización usando un autómata programable, que garantice la adecuada realización de los regímenes de trabajo del accionamiento.

Objetivo

Elaborar un sistema informativo automatizado del accionamiento de hidrotransporte de pulpa laterítica usando autómata programable de SIEMENS.

Estructura del trabajo

Capítulo I

Descripción del accionamiento de hidrotransporte.

Capítulo II

Fundamentos sobre Autómatas programables de SIEMENS.

Capítulo III

Diseño del sistema supervisor asistido por PLC.

Capítulo IV

Evaluación técnico económica del trabajo.

CAPÍTULO I

Capítulo I: Descripción del accionamiento de hidrotransporte.

1.1 Introducción

En este capítulo se presentará una breve descripción de la instalación incluso los componentes que lo compone .Y también se hará reseña de las ecuaciones matemáticas de los elementos que accionamiento que rigen el proceso.

1.2 Descripción de la instalación experimental

El esquema de la instalación que se muestran en la figura 1.1, consta de un tanque (TK1), para almacenar la pulpa a diferentes concentraciones de sólidos[13][Clement Johnson, 2007], dos bombas centrífuga (B1) y (B2), dos motores de inducción (M1) y (M2) forman el sistema de bombeo que se encarga de hacer circular el fluido por toda la tubería pasando por un flujo metro(9), el tubo venturi (6), los puntos de toma de presión (MN1) y (MN2), el tramo de tubería para determinar las pérdidas hidráulicas(2), el cual posee un diámetro de 100 mm y los puntos de tomas de presión están separados por longitudes de tubos de 14.5 m respectivamente, el drenaje del sistema se realiza por la válvula 8, mientras que la regulación se realiza por las válvulas 4 y 5. En el anexo 1 aparecen reflejadas fotografías de la instalación para una mejor comprensión de la misma.

Los puntos MN1 y MN2 (para medir la presión) se encuentran alejados de los extremos de la tubería a una distancia de 4 m, para evitar las influencias de las perturbaciones más cercanas (codos, etc.).

El tanque TK1, posee un volumen de 4 m^3 . La bomba B2 tiene una capacidad de $160 \text{ m}^3/\text{h}$, y la bomba B1, de $60 \text{ m}^3/\text{h}$. Durante la toma de datos experimentales, la instalación opera en circuito cerrado (succión, impulsión y tanque). Limpieza se logra con el trabajo de la instalación en circuito abierto (succión, impulsión y drenaje) a través de la válvula 8.

DESCRIPCION DEL ACCIONAMIENTO DE HIDROTRANSPORTE.

La regulación del caudal de la bomba B1 se realiza con ayuda de una válvula de compuerta (VC) que se encuentra en la tubería de alimentación. El llenado del sistema efectúa directamente en el tanque TK1.

La medición del caudal del fluido se realiza con el flujómetro electromagnética NP-11. Las pérdidas de presión en la zona a investigar se miden con transmisores de 0-5mA, los cuales captan la presión, la transforman en energía eléctrica, y envían la señal para registrador central, el cual da la información de los valores de presión medido en cada punto.

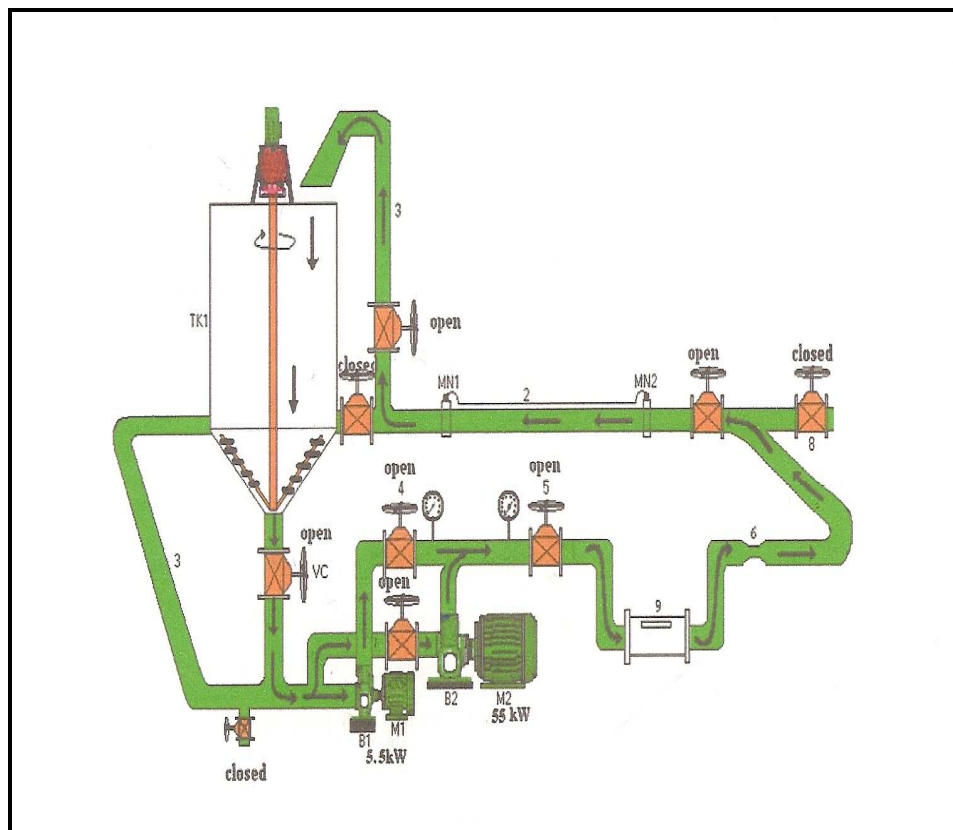


Figura 1.1: Esquema de la instalación [fuente tesis de Clement Johnson]

1.3 Estructura técnica

La instalación cuenta con:

- Un recipiente de pulpas a diferentes densidades.
- 2 Bombas centrifugas accionadas por dos motores de inducción.
- Instrumentos indicadores de presión (kg/cm^2).
- Tubo de Venturi, para medición de caída de presión (mm de H_2O).
- Tubería de 100 mm de diámetro.
- Válvulas de estrangulamiento de tornillos.
- Medición del gasto o caudal mediante un flujómetro indicado $r(\text{m}^3/\text{h})$.
- Puntos de medición de presión(kg/cm^2)

El accionamiento eléctrico tiene los elementos principales siguientes:

- Fuente Inversora Sinusoidal (VSI en inglés) con modulación PWM por ancho de pulsos, de SIEMENS (actualmente fuera de servicio) .
- Motor de inducción trifásica MI. Datos de chapa(440 V,60 Hz,1769 rpm,55 kW)
- Otro motor de inducción trifásica MI. Datos de chapa (440 V,60 Hz,1745 rpm,5,5 kW).
- Bomba centrifuga BC(rodete cerrado= $160\text{m}^3/\text{h}$, $H=40\text{m}$,1760rpm)
- Bomba centrifuga BC(rodete cerrado= $60\text{m}^3/\text{h}$, $H=15\text{m}$,1730rpm)
- Válvulas hidráulicas normalizadas
- Transductores de presión(kg/cm^2)
- Modulo de medición de tensión ,corriente ,potencia ,factor de potencia y armónicos desde la red de alimentación

1.4 Descripción general del proceso

Para obtener alguna información relevante acerca de las leyes físicas que rigen el comportamiento del proceso se usa una base de conocimiento enmarcada en la conversión electromecánica de la potencia en el accionamiento y las leyes hidrodinámicas de la turbo-máquina y la red hidráulica[14][Luis D. Rojas, Mario Morera, Ángel Columbié,2004]. El resultado de la modelación debe ofrecer la medida del rendimiento del sistema.

La conversión electromecánica de energía está relacionada con la potencia de entrada al accionamiento y su diferentes manifestaciones en cada eslabón del sistema hasta llegar y desarrollarse en la bomba centrífuga, que es en definitiva el elemento que exige cuantitativamente el nivel.

En esto participan P_e la potencia de entrada del accionamiento eléctrico , la frecuencia angular ω del subsistema eléctrico que alimentan las variables de entrada del motor eléctrico, y que determina la velocidad rotacional de la bomba, a partir de lo cual se establece su torque mecánico y que decide la cantidad de fluido enviado a través de la red hidráulica; el valor de la densidad ρ del fluido o hidromezcla porque de acuerdo con esta será mayor o menor el gradiente de energía a desarrollar por la turbo-máquina. Una buena parte de la energía desarrollada por la bomba centrífuga está destinada a transmitirle la energía cinética al fluido y esta la determina la altura de presión H entregada por la bomba y que depende del valor de la densidad del fluido.

Aunque usualmente se supone una relación casi proporcional entre la potencia consumida y la densidad del fluido, en el caso de transporte de pulpa laterítica no es así, porque en muchas ocasiones (y las mediciones diarias lo demuestran), se tienen valores altos de potencia en la entrada del accionamiento, sin embargo debido a presencia de gases se propicia el fenómeno de la cavitación con densidades medias, entonces la bomba centrífuga trabaja con un gradiente de potencia relativamente más alto que lo estimado; además, para potencias cercanas la pulpa tiene densidades

diferentes. Esto quiere decir que la variable densidad r es significativa para el análisis del comportamiento del accionamiento electromecánico.

Por otra parte, el momento de carga está relacionado con la potencia mecánica desarrollada por la bomba centrífuga, y esta a su vez viene dada por las variables que determinan finalmente el rendimiento del subsistema mecánico, por lo que el torque de carga está dado por la función de la expresión (1):

$$M_c = f(\omega, \Delta p, Q) = f(\omega, H, Q, r) \quad (1)$$

1.5 Modelos Matemáticos

1.5.1 Modelo Matemático de Motor de Inducción Trifásico

Las ecuaciones del motor eléctrico MI basadas en la Teoría del Campo Orientado donde tienen mayor incidencia las expresiones siguientes:

Las relaciones entre las corrientes y tensiones en los ejes dd y qq con sus componentes están definidas por:

$$\sigma L_s \frac{di_{ds}}{dt} = -R_s i_{ds} + \omega_s \sigma L_s i_{qs} + U_{ds} \quad (2)$$

$$\sigma L_s \frac{di_{qs}}{dt} = -R_s i_{qs} - \omega_s L_s i_{ds} - \omega_s \frac{L_m}{L_r} \psi_{dr} + U_{qs} \quad (3)$$

$$\psi_{dr} = i_{ds} L_m \quad (4)$$

El torque o momento electromagnético M_{em} es tomado por:

$$M_{em} = 1.5p(\psi_{sd} i_{sq} - \psi_{sq} i_{sd}) \quad (5)$$

donde:

p : Número par de polos del motor eléctrico.

U_{ds}, U_{qs} : Tensiones en el estator del motor en los ejes dd-qq, [V].

U_{dr}, U_{qr} : Tensiones en el rotor en los ejes dd-qq [V].

i_{ds}, i_{qs} : Corrientes en el estator en los ejes dd-qq [A].

i_{dr}, i_{qr} : Corrientes en el rotor en los ejes dd-qq [A].

ψ_{ds}, ψ_{qs} : Flujos magnéticos en el estator en los ejes dd-qq, [Wb];

ψ_{dr}, ψ_{qr} : Flujos magnéticos en el rotor en los ejes dd-qq, [Wb].

L_s, L_r : Inductancias en los devanados del estator y rotor, [mH];

L_M : Inductancia mutua del motor eléctrico, [mH];

σ : Llamado Coeficiente de Blond.

También se puede escribir de todo esto:

$$M_{em} = 1.5p(\psi_{sq} i_{dr} - i_{sd} \psi_{qr}) \quad (6)$$

Y hace el enlace entre las variables eléctricas y la carga mecánica de acople en el motor M_I . Las ecuaciones para el proceso dinámico del motor tomando la aceleración angular y la velocidad en el árbol del motor son expresada por:

$$M_{em} - M_c = sJ\Omega_r + B\Omega_r \quad (7)$$

donde:

J : Valor de la inercia total del motor más la de la bomba BC, $[kg.m/s^2]$

M_c : Momento o torque de carga desde el sistema hidráulico [N.m]

Ω_r : Es la velocidad angular de rotación [rad/s]

$$\Omega_r = \frac{M_{em} - M_c}{sJ + B} \quad (8)$$

1.5.2 Ecuaciones para el Subsistema Hidráulico

Teóricamente el caudal desarrollado por la bomba en el circuito hidráulico es función de la velocidad angular de rotación Ω_r y está depende de la frecuencia angular ω .

$$Q_b = \Omega_b(\omega) \quad (9)$$

Y el flujo o caudal de enlace es proporcional a la diferencia de presión Δp a través de la bomba como:

$$Q_b = K_I \Delta p \quad (10)$$

donde:

K : Coeficiente de enlace o proporcionalidad de la bomba.

El momento de carga M_c es función de la potencia y el número de revoluciones de la bomba.

$$M_c = f(\omega_r, \Delta p, Q, \rho) = f(\omega, HQ, \rho) \quad (11)$$

La transferencia de potencia electromagnética del motor MI en mecánica rotacional en la bomba centrífuga BC está asociada con las componentes activas y reactivas de la energía que desarrolla el accionamiento.

La ecuación principal del accionamiento en función de los momentos o torques desarrollados en su árbol está dada:

$$M_{em} = J \frac{dw}{dt} + M_c(\omega_r) + B\omega_r \quad (12)$$

M_{em} : Momento electromagnético del motor de inducción [N.m].

J : Momento de inercia de las partes rotatorias del motor [N.m/s²].

M_c : Momento de carga mecánica de la bomba centrífuga [N.m].

ω_r : Velocidad angular de rotación del rotor [rad/s].

B : Coeficiente que tiene en cuenta la fricción en los rodamientos del motor.

Conclusiones Parciales

Después de haber analizado la temática con profundidad puede concluir que:

- Se presentaron las leyes físicas que rigen el comportamiento del proceso.
- Existe el fenómeno de cavitación que puede dañar la bomba centrífuga.
- La conversión de energía electromecánica está relacionada con las siguientes variables:
 - Potencia de entrada
 - Tensión
 - Corriente
 - Velocidad de rotación de motor
 - El caudal
 - La altura
 - Densidad de fluido

CAPÍTULO II

Capítulo II: Fundamentos sobre Autómatas Programables

2.1 Introducción

En este capítulo se hace fundamento sobre los autómatas programables de SIEMENS empezando con la descripción general de los autómatas y después se presentará el LOGO de esta firma.

2.2 Controlador Lógico Programable (PLC)

Un PLC (Programmable Logic Controller - controlador lógico programable) es un dispositivo electrónico operado digitalmente que utiliza la memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones a fin de implementar funciones específicas, tales como lógicas, secuenciales, tiempo, conteo y aritméticas y así controlar varios tipos de máquinas o procesos a través de módulos de entrada / salida analógicos o digitales.

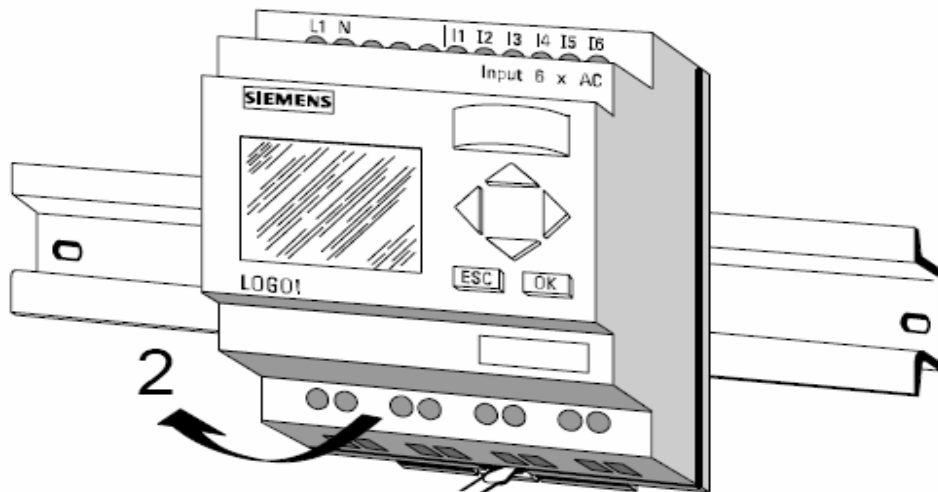


Figura 2.1: PLC de la compañía de SIEMENS

Dentro de las funciones del PLC se puede mencionar [1][Domingo Mery,1994]:

- ❖ Adquirir datos del proceso por medio de las entradas digitales y analógicas.
- ❖ Tomar decisiones en base a reglas programadas.
- ❖ Almacenar datos en memoria.
- ❖ Generar ciclos de tiempo.
- ❖ Realizar cálculos matemáticos.
- ❖ Actuar sobre dispositivos externos mediante las salidas digitales y analógicas.
- ❖ Comunicarse con otros sistemas externos.

2.3 Desarrollo histórico

Los antecesores del PLC fueron los sistemas de control basados en relés (1960). Una aplicación típica de estos sistemas utilizaba un panel de 300 a 500 relés y miles de conexiones por medio de alambres, lo que implicaba un costo muy elevado en la instalación y el mantenimiento del sistema, estimado en US \$30 a \$50 por relé.

Luego surgieron los sistemas lógicos digitales contruidos mediante circuitos integrados (1970), sin embargo eran productos diseñados para una aplicación específica y no eran controladores de propósitos generales. Muchos de ellos empleaban microprocesadores, pero su programación en un lenguaje poco familiar para los ingenieros de control (Assembler), hacía que el mantenimiento fuese inapropiado.

Los primeros controladores completamente programables fueron desarrollados en 1968 por la empresa de consultores en ingeniería Bedford y Asociados, que posteriormente pasó a llamarse MODICOM.

El primer Controlador Lógico Programable fue construido especialmente para la General Motors Hydramatic Division y se diseñó como un sistema de control con un computador dedicado. Este primer modelo MODICOM, el 084, tuvo una gran cantidad

de modificaciones, obteniéndose como resultado los modelos 184 y 384 desarrollados a principios de la década de los '70.

Con estos controladores de primera generación era posible:

- ❖ Realizar aplicaciones en ambientes industriales.
- ❖ Cambiar la lógica de control sin tener que cambiar la conexión de cables.
- ❖ Diagnosticar y reparar fácilmente los problemas ocurridos.

Los primeros PLC, que sólo incorporaban un procesador para programas sencillos y dispositivos de entrada/salida, evolucionaron hasta los equipos actuales, que integran:

- ❖ Módulos multiprocesadores.
- ❖ Entradas y salidas digitales de contacto seco, de relé o TTL.
- ❖ Entradas y salidas analógicas para corriente o voltaje.
- ❖ Puertas de comunicación serial o de red.
- ❖ Multiplexores análogos
- ❖ Controladores PID.
- ❖ Interfaces con CTR, impresoras, teclados, medios de almacenamiento magnético.

2.4 Aplicaciones de los PLC

El PLC es usado en la actualidad en una amplia gama de aplicaciones de control, muchas de las cuales no eran económicamente posibles hace algunos años. Esto debido a:

- ❖ El costo efectivo por punto de entrada/salida ha disminuido con la caída del precio de los microprocesadores y los componentes relacionados.
- ❖ La capacidad de los controladores para resolver tareas complejas de computación y comunicación ha hecho posible el uso de PLC en aplicaciones donde antes era necesario dedicar un computador.

Existen 6 áreas generales de aplicación de PLC:

- ❖ Control secuencial.
- ❖ Control de movimiento.
- ❖ Control de procesos.
- ❖ Monitoreo y supervisión de procesos.
- ❖ Administración de datos.
- ❖ Comunicaciones.

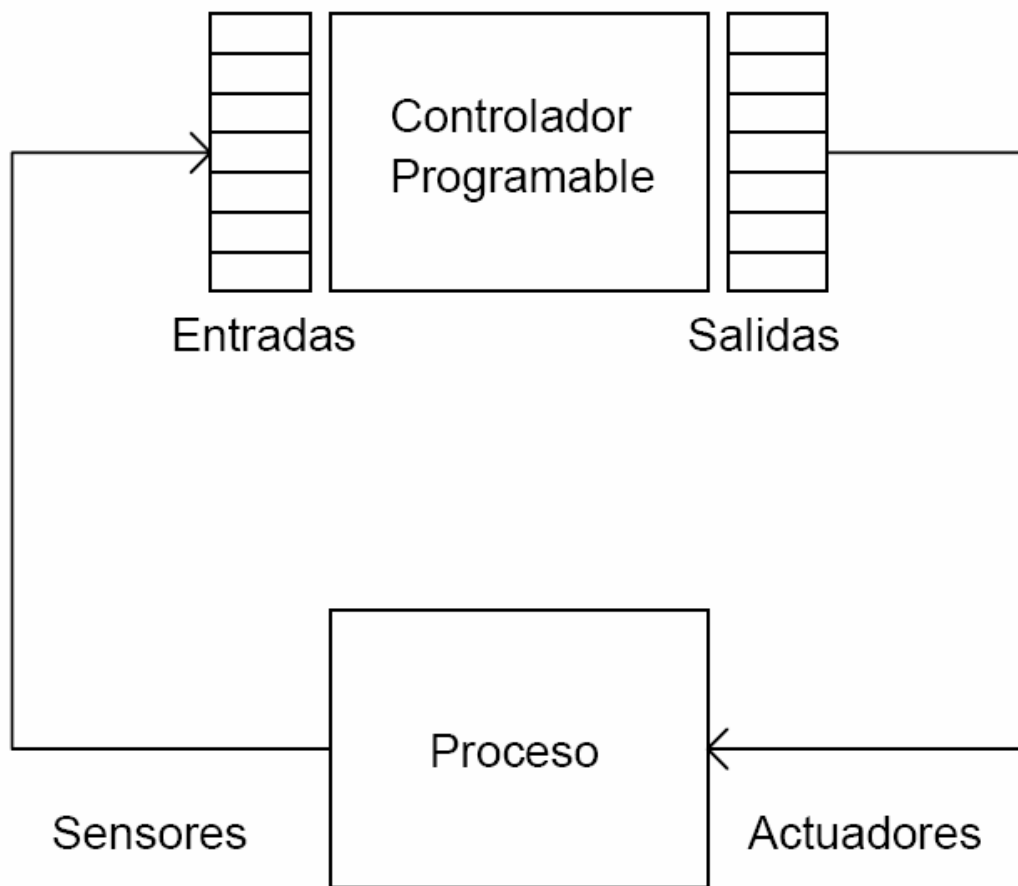


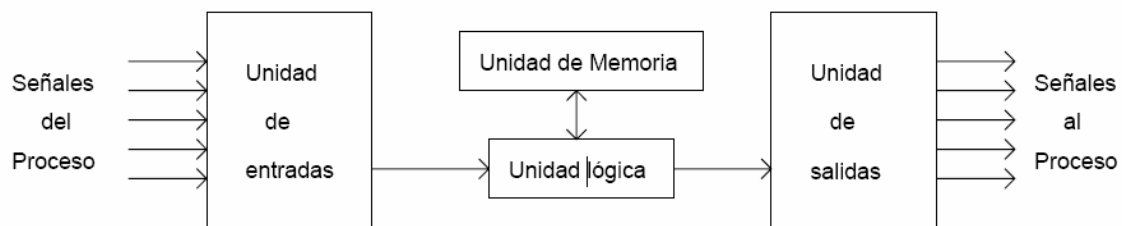
Figura 2.2: Ejemplo del empleo de un PLC en un control de procesos [1][Domingo Mery, 1994].

2.5 La estructura básica de un PLC

2.5.1 Unidades Funcionales

Un controlador lógico programable se compone de cuatro unidades funcionales:

- ❖ Unidad de entradas
- ❖ Unidad de salidas
- ❖ Unidad lógica
- ❖ Unidad de memoria



2.5.2 Unidad de Entradas

Proporciona el aislamiento eléctrico necesario y realiza el acondicionamiento de las señales eléctricas de voltaje, provenientes de los switches de contactos ON-OFF de terreno. Las señales se adecúan a los niveles lógicos de voltaje de la Unidad Lógica.

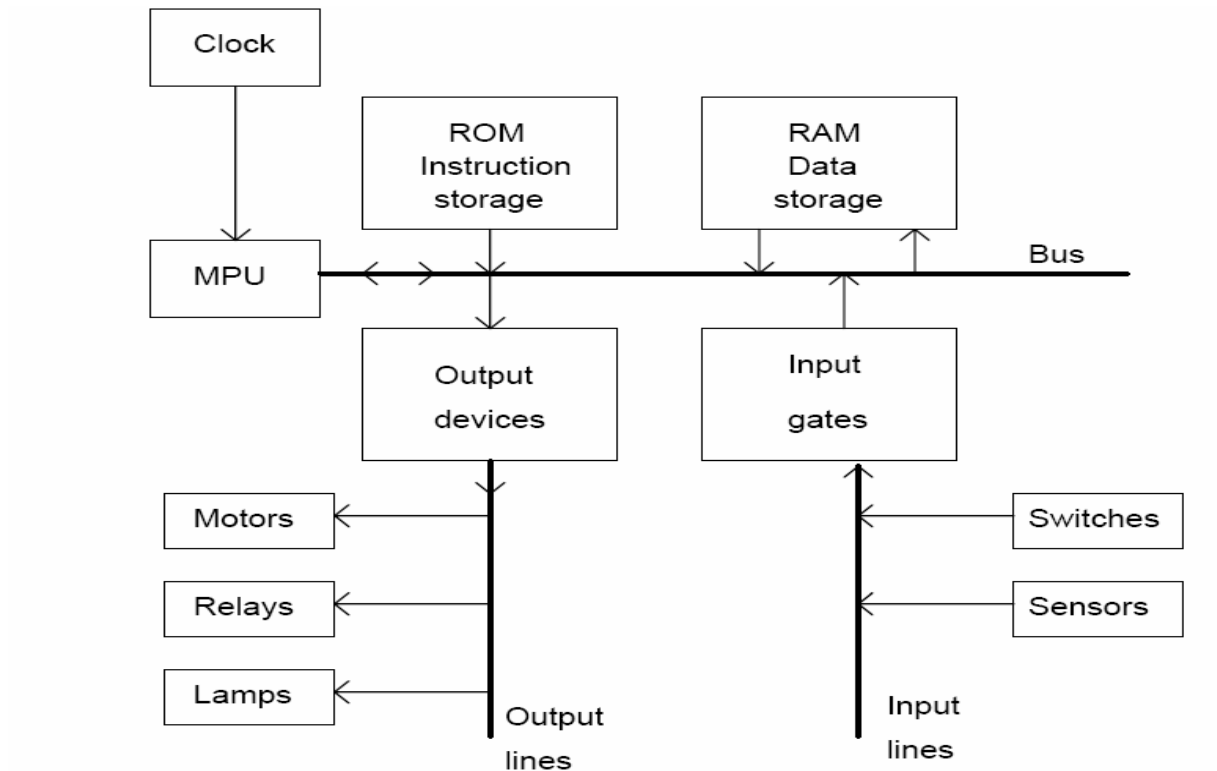


Figura 2.3: Diagrama de un PLC con dispositivos de entrada y salida [1][Domingo Mery].

2.5.3 Unidad de Salidas

Acepta las señales lógicas provenientes de la Unidad Lógica, en los rangos de voltaje que le son propios y proporciona la aislación eléctrica a los switches de contactos que se comandan hacia terreno.

Las unidades de entrada/salida del PLC, son funcionalmente iguales a los bancos de relés, que se empleaban en los antiguos controladores lógicos de tipo tambor. La diferencia radica en que las unidades de entrada/salida de los PLC son de estado sólido.

La eliminación de contactos mecánicos se traduce en una mayor velocidad de operación y mayor tiempo entre fallas (MTBF).

2.5.4 Unidad Lógica

El corazón de un PLC es la Unidad Lógica, basada en un microprocesador. Ejecuta las instrucciones programadas en memoria, para desarrollar los esquemas de control lógico que se especifican.

Algunos equipos antiguos implementan la unidad lógica en base a elementos discretos: compuertas NAND, NOR, FLIP-FLOP, CONTADORES como máquinas de estado. Este tipo de controladores son HARDWARE, versus aquellos que utilizan memorias, denominados SOFTWARE.

2.5.5 Memoria

Almacena el código de mensajes o instrucciones que ejecuta la Unidad Lógica. La memoria se divide en PROM o ROM y RAM.

ROM: Memoria de sólo lectura (Read Only Memory). Memoria no volátil que puede ser leída pero no escrita. Es utilizada para almacenar programas y datos necesarios para la operación de un sistema basado en microprocesadores.

RAM: Memoria de acceso aleatorio (Random Access Memory). Memoria volátil que puede ser leída y escrita según sea la aplicación. Cualquier posición de memoria puede ser accedida en cualquier momento.

Por medio de ellas, se puede utilizar un PLC en procesos diferentes sin necesidad de readecuar o transformar el equipo; sólo se debe modificar el programa. Para el control de un proceso BATCH, se pueden almacenar varias recetas en la memoria y accionar aquélla que interesa.

Las PROM o ROM almacenan los programas permanentes que coordinan y administran los recursos del equipo.

La RAM guarda los programas de aplicación que pueden sufrir modificaciones. Esta memoria es respaldada con baterías, con el propósito de no perder la información al existir cortes de fluido eléctrico.

El sistema opera a través de la interacción con el procesador (Unidad Lógica) y la Memoria. Cuando se enciende el equipo, el procesador lee la primera palabra de código (instrucción) almacenada en memoria y la ejecuta.

Una vez que termina de ejecutar la instrucción leída, busca en memoria la siguiente instrucción y así sucesivamente hasta que se completa la tarea. Esta operación se llama ciclo de búsqueda-ejecución (FETCH-EXECUTE CYCLE).

2.6 Interfaces de Estado Sólido

La función de los módulos de entrada y salida es conectar el PLC con el mundo exterior de los motores, switches límites, alumbrados, y dispositivos de medición. Estos módulos se realizan a través de elementos de estado sólido.

Las aplicaciones iniciares de dispositivos de estado sólido en el control de partida de equipos de potencia, se remontan a la década de 1950 con la utilización de diodos y transistores.

Sin embargo, en la práctica las aplicaciones comenzaron en 1957 con la aparición del primer rectificador controlado de silicio (SCR). Los componentes de estado sólido empleados en las aplicaciones de control industrial, han reemplazando a los relés mecánicos en muchas de las funciones que llevaban a cabo.

Los dispositivos de estado sólido presentan muchas ventajas respecto a los relés, tales como alta velocidad de operación, pequeño tamaño y bajo consumo de potencia.

Sin embargo, son eléctricamente menos robustos y más sensibles a temperaturas elevadas y a la interferencia electromagnética (EMI).

2.7 Efectos del Ruido

Se define el ruido como toda señal eléctrica indeseada, que puede entrar al equipo por diferentes vías. El ruido abarca el espectro completo de frecuencia y no presenta una forma de onda determinada.

El ruido eléctrico puede ocasionarle serios problemas de funcionamiento a los equipos de estado sólido, a causa de los bajos niveles de señal con que funcionan.

El ruido puede corresponder a alguno de los tres tipos básicos que se indican:

- ❖ Ruido transmitido, propio de la señal original.
- ❖ Ruido inherente, producto de los elementos que se integran en un sistema de adquisición de datos.
- ❖ Ruido inducido, originado por las fuentes de poder, acoplamientos magnéticos y acoplamientos electrostáticos.

Algunas medidas que deben tenerse en cuenta para reducir el acoplamiento del ruido eléctrico son:

- ❖ Usar encapsulados metálicos adecuados (jaula Faraday).
- ❖ Canalizar las líneas de control de los dispositivos de estado sólido en forma separada de las líneas de poder.
- ❖ Utilizar cables apantallados y trenzados, que proporcionan un escudo adecuado contra el acoplamiento electrostático y magnético.

El empleo de filtros adecuados permitirá eliminar el ruido indeseado de la señal.

2.8 Administración de entradas y salidas de un PLC

2.8.1 Bases del montaje

El montaje de los diversos módulos del PLC se realiza en slots ubicados en racks.

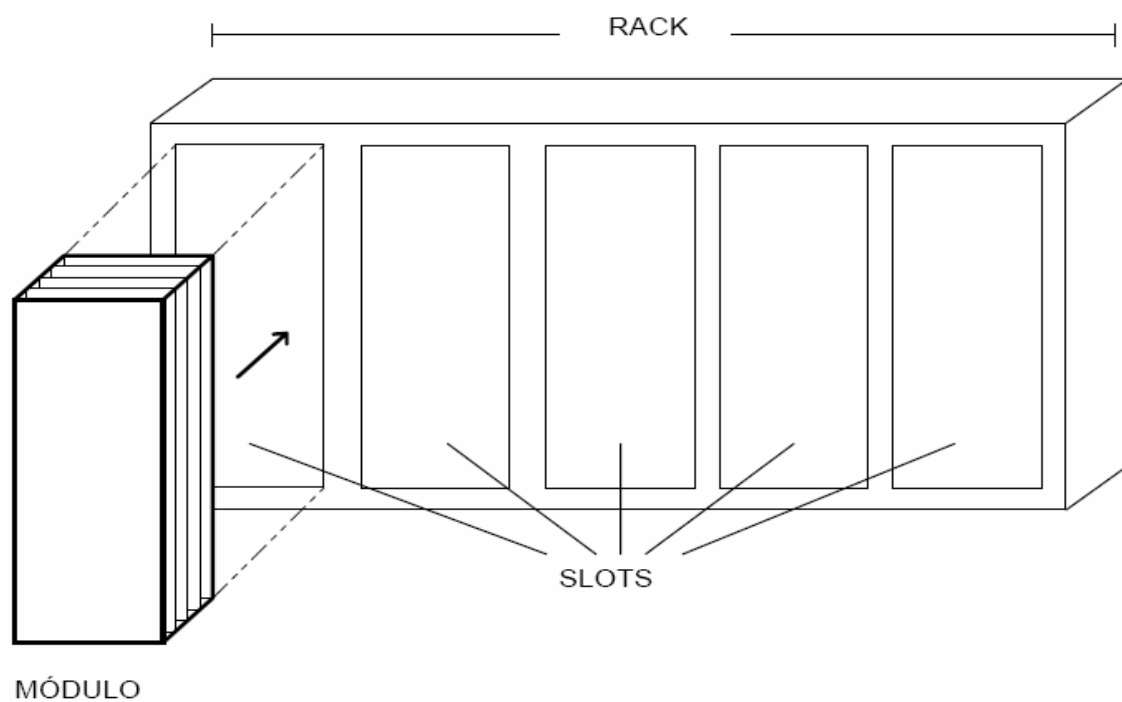


Figura 2.4: Esquema del modulo y slots [1][Domingo Mery].

Los módulos básicos de un PLC son:

- ❖ Fuente de poder
- ❖ CPU
- ❖ Interfaces de entrada y salida

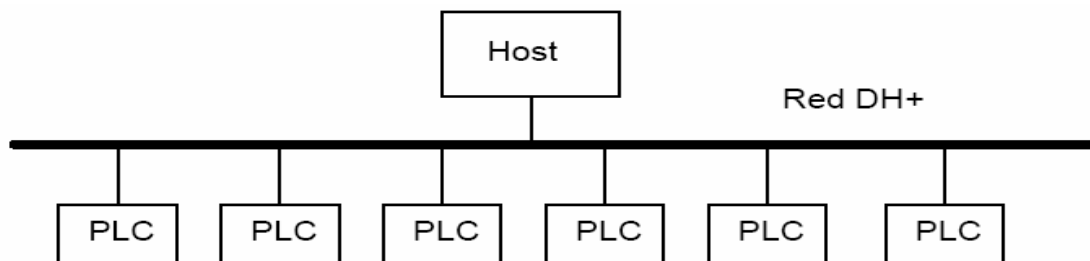
Dependiendo del modelo y la marca, existen en el mercado racks de diversos tamaños, como por ejemplo 4, 6, 8, 12, 14 y 16 slots. Según la aplicación se debe escoger el tamaño adecuado. Es posible instalar un módulo de ampliación, el que permite la conexión de un rack adicional.

Otros módulos existentes son:

1. Módulos de comunicaciones
2. Módulos de control de redundancia
3. Módulos para conexión de racks remotos
4. Módulos de interfaz hombre-máquina (teclado, monitores, etc.)
5. Módulos de almacenamiento de información
6. Módulos controladores PID

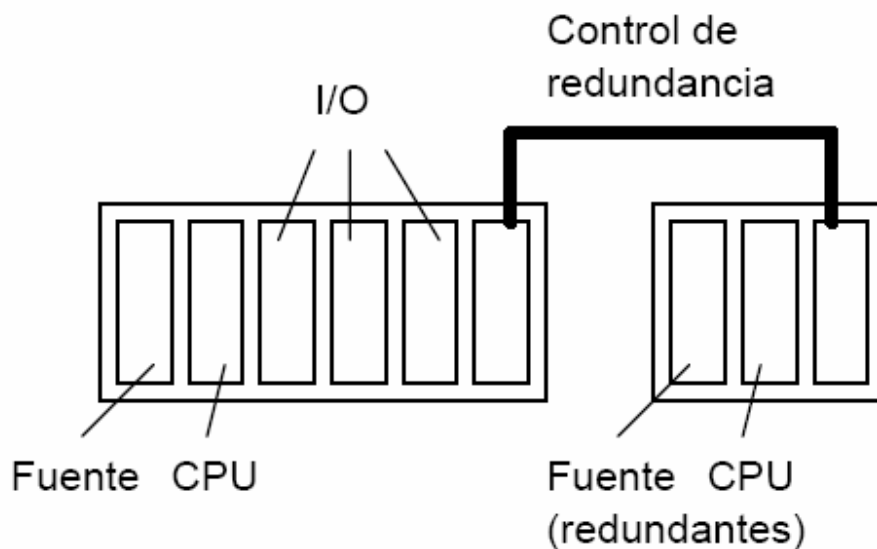
2.8.1.1 Módulos de comunicaciones

Permite la conexión del PLC a otros sistemas de información, tales como computadores y otros PLC. Existen por ejemplo redes tipo DataHiway para establecer una red de PLC conectados a un computador Host, utilizada comúnmente en sistemas de control distribuido.



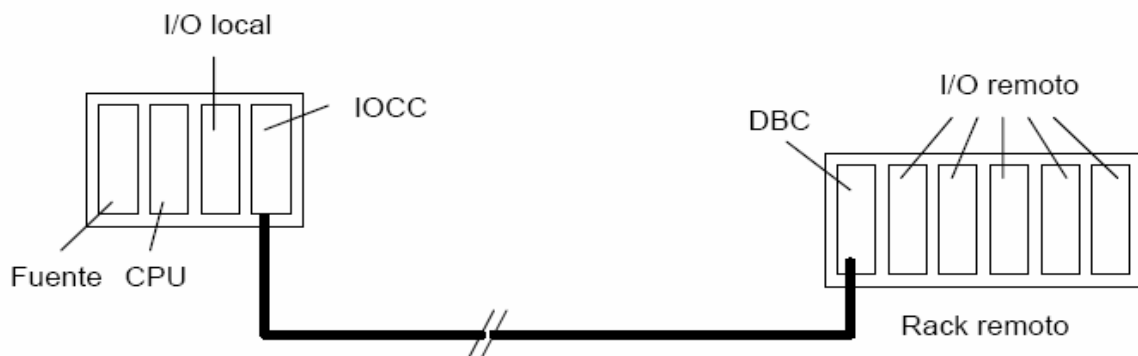
2.8.1.2 Módulos de control de redundancia

Son utilizados para asegurar la operación de un módulo redundante en caso de fallas. Generalmente se utiliza redundancia para el módulo de fuente de alimentación y el CPU.

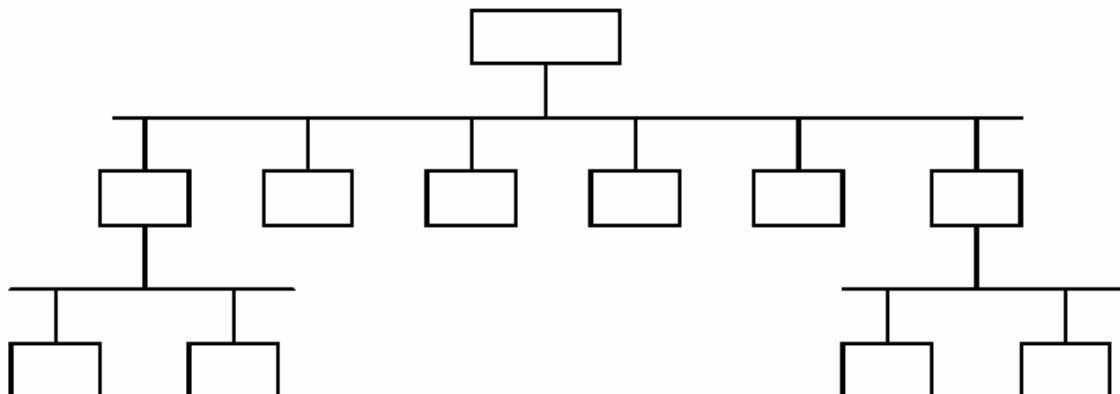


2.8.1.3 Módulos para Conexión de Racks Remotos

En muchas aplicaciones los sensores y los actuadores están localizados a gran distancia del PLC. En estos casos se utilizan los racks remotos, los que son conectados por medio de un cable al rack central del PLC. Se consiguen distancias de 300 metros.

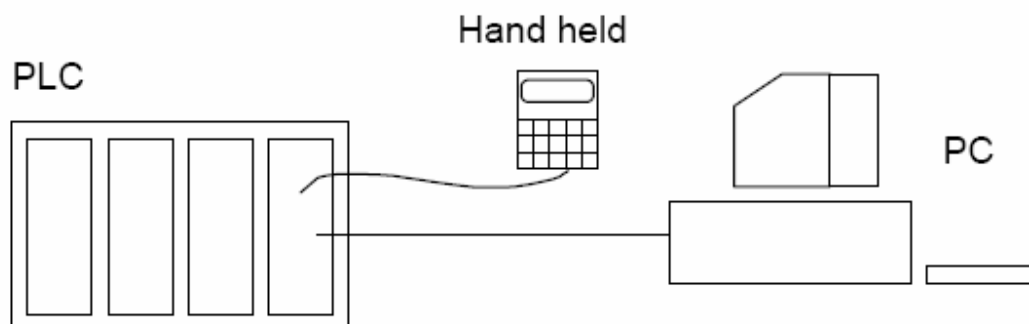


Para establecer esta comunicación se utiliza un módulo denominado canal controlador de entradas y salidas (IOCC) en el rack local y otro llamado controlador de base (DBC) en el rack remoto, al que se le puede conectar otro rack remoto, estableciéndose así una arquitectura distribuida con distintos niveles de jerarquía:



2.8.1.4 Módulos de interfaz hombre-máquina

Se utilizan para establecer la comunicación entre el PLC y el usuario. En la mayoría de los casos se emplea con este fin, un computador PC conectado seriamente, desde el cual se puede programar el PLC y ver los estados de los registros internos y los puntos de entrada/salida. En otros casos se usa un Hand held monitor, que es un dispositivo pequeño con teclas funcionales y pantalla de caracteres.

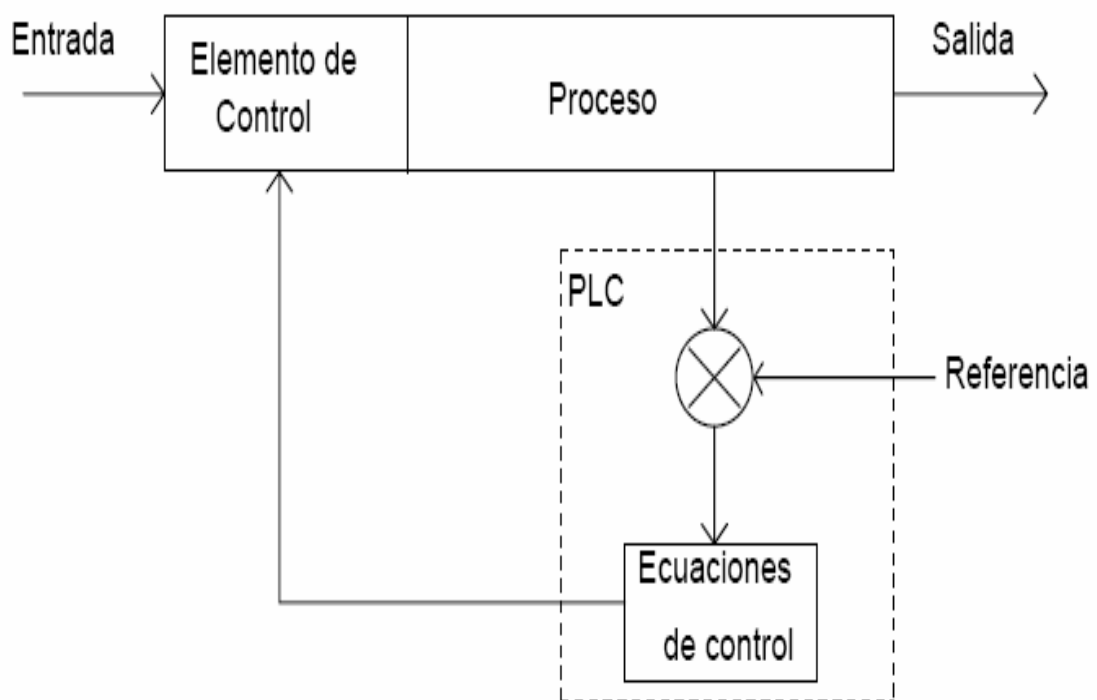


2.8.1.5 Módulos de Almacenamiento de Información

Por lo general se utilizan medios de almacenamiento magnéticos tales como cintas y discos, en los que se puede guardar información de los valores de los puntos de entrada/salida y registros internos.

2.8.1.6 Módulos Controladores PID

Se utilizan en el control de procesos, en el que se pretende igualar una variable de salida de un proceso a una variable de referencia.

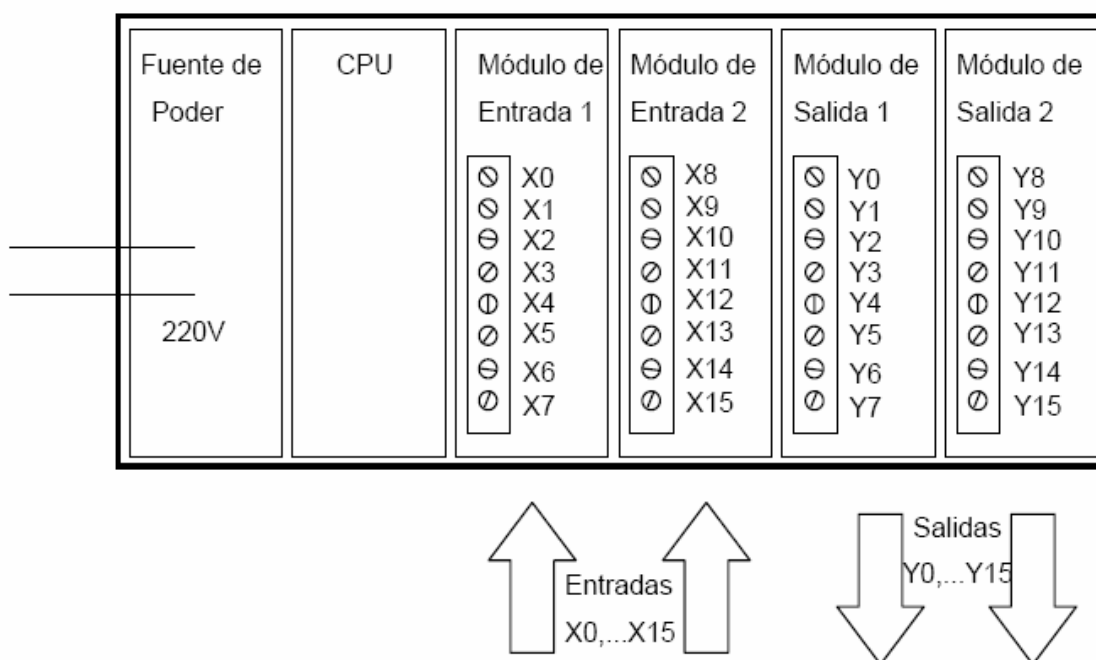


2.8.2 Puntos de Entrada/Salida

Los puntos del PLC son las entradas/salidas físicas que éste puede manejar. Cada punto tiene su representación interna en la memoria del PLC, en la que se utilizan números para identificarlos. Por lo general los módulos de entrada/salida vienen configurados en grupos de 8 puntos y pueden llegar hasta 1024, ampliables a más.

Los puntos de entrada son designados como X0, X1, X2, X3..., mientras que los puntos de salida se identifican como Y0, Y1, Y2, Y3...

A continuación se muestra una configuración básica de un PLC de 16 entradas y 16 salidas:



Al diseñar el programa se debe hacer referencia a las variables de entrada/salida que identifican los puntos del PLC.

2.8.3 Lenguajes de Programación Orientados a PLC

El lenguaje de programación de un PLC permite la creación del programa que controlará su CPU. Mediante este lenguaje el programador podrá comunicarse con el PLC y así dotarlo de un programa que controle las actividades que debe realizar.

Dependiendo del lenguaje de programación, es posible la realización del programa con distintos grados de dificultad.

Junto con el lenguaje de programación, los fabricantes suministran un software de ambiente de trabajo donde el usuario puede escribir sus programas. Estos softwares son amistosos y corren sobre computadores tipo PC bajo plataformas DOS o Windows.

Los métodos de programación más utilizados para PLC son:

1. Programación con diagrama escalera
2. Programación con bloques funcionales
3. Programación con lógica booleana

2.8.3 .1 Programación con Diagrama Escalera

El diagrama escalera es uno de los más utilizados en la programación de PLC. Fue desarrollado a partir de los sistemas antiguos basados en relés. La continuidad de su utilización se debe principalmente a dos razones:

- Los técnicos encargados en darle mantenimiento a los PLC están familiarizados con este lenguaje.
- A pesar del desarrollo de los lenguajes de alto nivel, han sido pocos los lenguajes que han cumplido satisfactoriamente los requerimientos de control en tiempo real que incluyan la representación de los estados de los puntos de entrada y salida.

El nombre escalera proviene del uso de "rieles" y "peldaños" en el diagrama, como en este ejemplo de arranque de un motor.

2.8.3 .2 Programación con Bloques Funcionales

Una de las formas más recientes de programar un PLC es a través de una carta gráfica de bloques funcionales. Este tipo de programación ha sido diseñado para describir, programar y documentar la secuencia del proceso de control.

En Europa, se ha comenzado a utilizar el lenguaje de programación llamado GRAFCET (creado en FRANCIA), orientado a la programación de PLC mediante bloques funcionales.

En la lógica combinacional, la programación con bloques funcionales es muy superior a otras formas de programación, mientras que los diagramas escalera y booleanos son mejores en lógica combinacional.

Debido a que hoy en día el control de procesos se programa principalmente con lógica secuencial, la programación con bloques funcionales será pronto el estándar para programar PLC. Este lenguaje incluye un conjunto de símbolos y convenciones tales como pasos, transiciones, conectividades (también llamados enlaces) y condiciones.

Pasos

Son símbolos secuenciales individuales, representados por cuadrados numerados, los que pueden contener nemónicos que describen la función del paso.

Transiciones

Las transiciones describen movimiento de un paso a otro. Su representación es una línea horizontal corta.

Enlaces

Los enlaces muestran el flujo del control, el que va desde arriba hacia abajo, salvo que se indique lo contrario.

Condiciones

Las condiciones están asociadas a las transiciones y deben ser escritas a la derecha.

2.8.3.3 Programación con Lógica Booleana

La programación con lógica booleana incluye las funciones AND, OR y NOT para la lógica secuencial y las funciones TIMER, COUNTER y LATCH para la lógica combinacional.

Estas funciones son muy similares a las utilizadas en la programación con diagrama escalera. Específicamente:

AND: Contactos en serie.

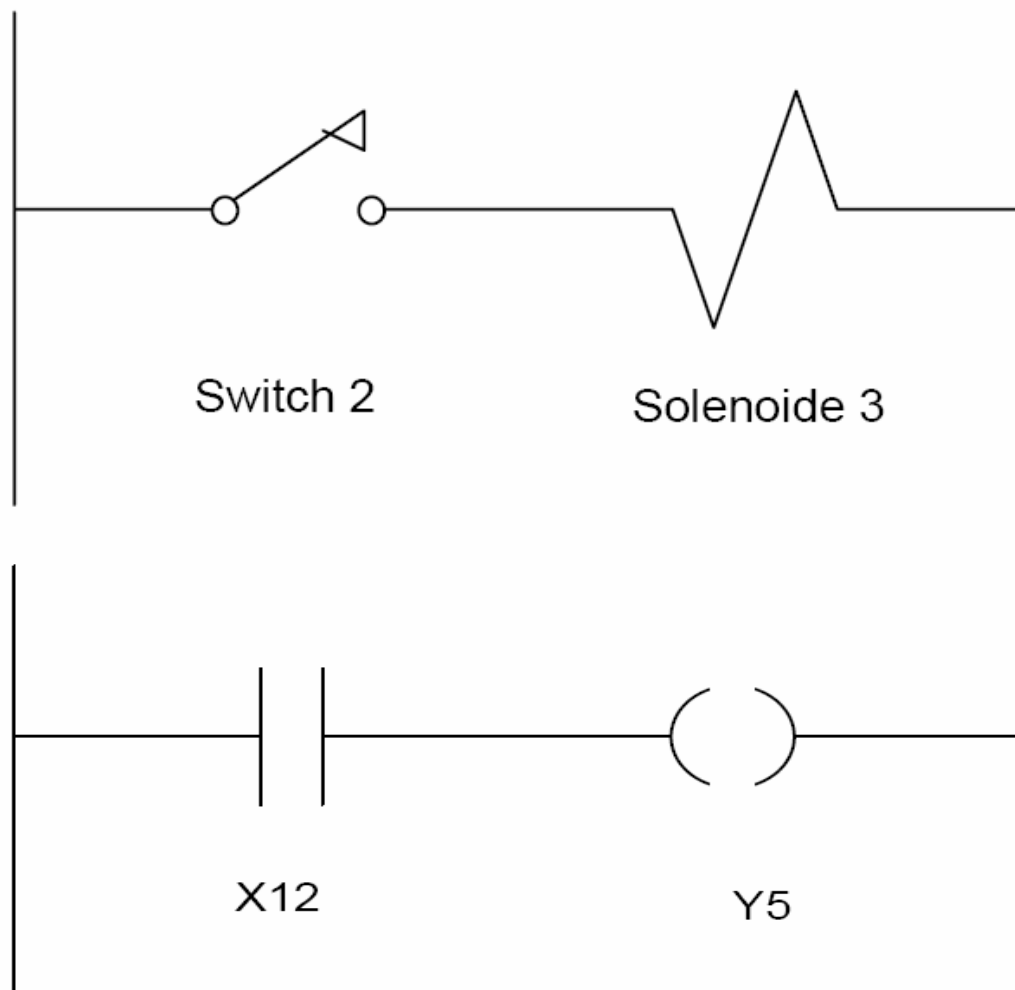
OR: Contactos en paralelo.

NOT: Contacto normalmente cerrado.

Las cajas tipo TIMER, COUNTER y LATCH son empleados de similar manera.

2.8.4 Programación de un PLC

Una forma usual de programar el PLC es utilizando el esquema **Relay Ladder Logic** (RLL), que es muy similar en forma e interpretación a los diagramas de escalera de relés.



De acuerdo al diagrama escala, cuando el interruptor 2 se cierra, el solenoide 3 se energiza.

Para el programa RLL, el interruptor 2 está conectado a un terminal de módulo de entrada identificado como X12.

Cuando el PLC ejecuta el programa, envía una señal al terminal de módulo de salida identificado como Y5, el cual se encuentra conectado el solenoide 3. En la figura del ejemplo, se utilizaron las instrucciones RLL de contacto y solenoide.

2.9 Presentación de LOGO

El LOGO es un módulo lógico universal de Siemens [10, SIEMENS] y está integrados por:

- ❖ Control
- ❖ Unidad de operación y visualización
- ❖ Fuente de alimentación
- ❖ Interfase para módulos de programa y cable de PC
- ❖ Ciertas funciones básicas usuales en la práctica, por ejemplo para activación /desactivación retardada y relé de impulsos
- ❖ Reloj temporizador
- ❖ Marcas binarias
- ❖ Determinadas entradas y salidas según el tipo del equipo

Mediante LOGO se solucionan cometidos en la técnica de instalaciones en edificios (por ejemplo, alumbrado de escaleras, luz exterior, toldos, persianas, alumbrado de escaparates, etc.), así como en la construcción de armarios de distribución, de máquinas y de aparatos (p.ej. controles de puertas, instalaciones de ventilación, bombas de aguas residuales, etc.).

LOGO puede utilizarse asimismo para los controles especiales de invernaderos o invernáculos, para procesar previamente señales en controles y –mediante la variante ASi– para el control descentralizado “in situ” de máquinas y procesos. Para las aplicaciones en serie en la construcción de máquinas pequeñas, aparatos y armarios de distribución, así como en el sector de instalaciones, se prevén variantes especiales sin unidad de operación.

2. 9.1 Tipos de LOGO que Existen

LOGO se prevé para 12 V cc., 24 V cc., 24 V ca. y 230 V ca como

1. Variante estándar con 6 entradas y 4 salidas, integrada en 72 x 90 x 55 mm
2. Variante sin display con 6 entradas y 4 salidas, integrada en 72 x 90 x 55 mm
3. Variante con 8 entradas y 4 salidas, integrada en 72 x 90 x 55 mm
4. Variante larga con 12 entradas y 8 salidas, integrada en 126 x 90 x 55 mm
5. Variante de bus con 12 entradas y 8 salidas, así como conexión de bus adicional de interfase AS, a través de la que hay disponibles en el sistema bus otras 4 entradas y otras 4 salidas. Todo ello integrado en 126 x 90 x 55 mm.

Todas las variantes incluyen 29 funciones básicas y especiales listas para la redacción de programas.

2. 9.2 Estructura del LOGO

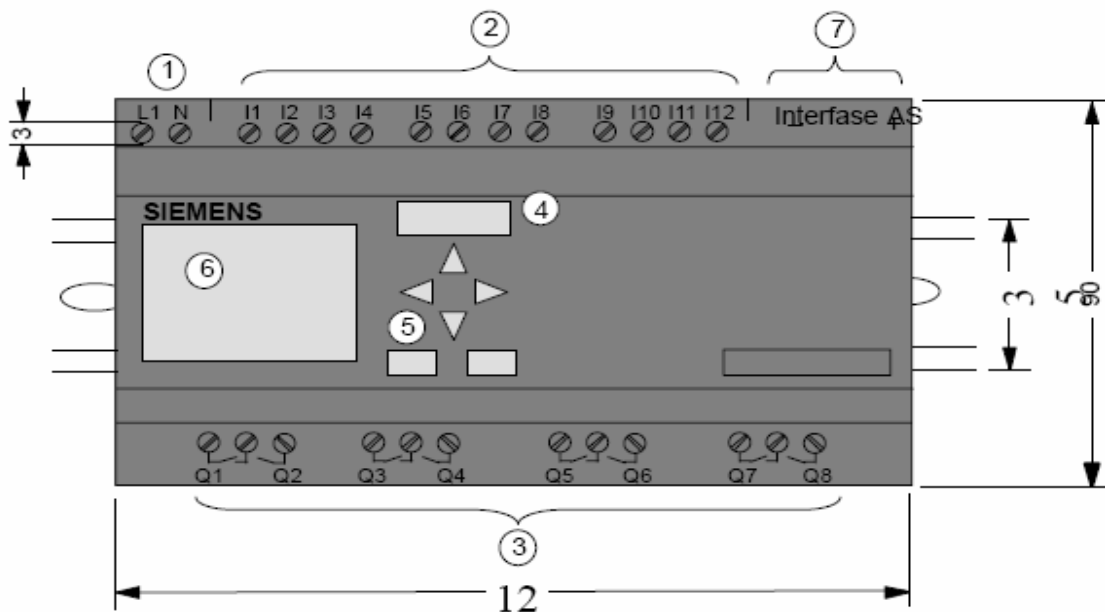


Figura 2.5: Estructura de LOGO [10, Siemens].

Leyenda:

1. Alimentación de tensión
2. Entradas
3. Salidas
4. Receptáculo de modulo con revestimiento
5. Panel de manejo(no en RCo)
6. Display LCD(no en RCo)
7. Conexión de interface AS (solo en B11)

2. 9.3Identificación de LOGO

De la identificación de LOGO se deducen diferentes características del mismo:

- ❖ 12: Versión de 12 V
- ❖ 24: Versión de 24 V
- ❖ 230: Versión de 115/230 V
- ❖ R: Salidas de relé (sin R: salidas de transistor)
- ❖ C: Reloj de temporización semanal integrado
- ❖ o: Variante sin display
- ❖ L: Cantidad doble de salidas y entradas
- ❖ B11: Esclavo con conexión de bus de interfase AS

Variantes

Se prevén las siguientes variantes de LOGO:

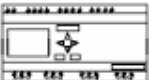
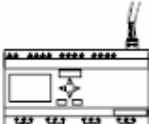
Símbolo	Designación	Salidas	Tipo
	LOGO! 12/24RC *	4 x 230 V; 10A	relé
	LOGO! 24 *	4 x 24 V; 0,3 A	transistor
	LOGO! 24RC (AC)	4 x 230 V; 10A	relé
	LOGO! 230RC	4 x 230 V; 10A	relé
	LOGO! 12/24RC _o *	4 x 230 V; 10A	relé
	LOGO! 24RC _o (AC)	4 x 230 V; 10A	relé
	LOGO! 230RC _o	4 x 230 V; 10A	relé
	LOGO! 12RCL	8 x 230 V; 10A	relé
	LOGO! 24L	8 x 24 V; 0,3 A	transistor
	LOGO! 24RCL	8 x 230 V; 10A	relé
	LOGO! 230RCL	8 x 230 V; 10A	relé
	LOGO! 24RCLB11	8 x 230 V; 10A	relé
	LOGO! 230RCLB11	8 x 230 V; 10A	relé

Figura 2.6: Adicionalmente con entradas analógicas.

2.9.4 Conectar LOGO

LOGO no cuenta con interruptor de red. La reacción de LOGO a la conexión varía según

- ❖ si hay almacenado un programa en LOGO,
- ❖ si hay insertado un módulo de programa,
- ❖ si se trata de una variante de LOGO sin display (LOGO...RCO) y
- ❖ el estado en que se hallaba LOGO antes de desconectarse la red.

He aquí 4 reglas sencillas para aprender el arranque de LOGO:

1. Si no hay ningún programa en LOGO ni en el módulo de programa insertado, se visualiza en LOGO (con display):
No Program.
2. Si el módulo de programa contiene un programa, es copiado éste automáticamente en LOGO, sobrescribiéndose el programa que hubiera en LOGO.
3. Si existe un programa en LOGO! o en el módulo de programa, LOGO pasa al estado de servicio que ocupaba antes de desconectarse la red. Si se trata de una variante sin display (LOGO! ...RCO), se conmuta automáticamente del modo STOP al RUN (luce el LED verde en vez del rojo).
4. Si Ud. ha activado la remanencia para una función por lo menos o bien se prevé una función con remanencia activada continuamente, se conservan sus valores actuales al desconectarse la red.

2.9.5 Estados de Operación de LOGO

En LOGO se prevén 2 estados operación: **STOP Y RUN**

STOP	RUN
Se visualiza 'No Program' (excepto en LOGO! ...RCo) LOGO! conectado al modo de servicio 'Programación'(excepto en LOGO! ...RCo) Luce el LED rojo(sólo en LOGO...RCo)	Se visualiza la máscara para observar las entradas y salidas (tras START en el menú principal) (excepto en LOGO...RCo) LOGO! conectado al modo de servicio 'Programación'(excepto en LOGO! ...RCo) 3. Luce el LED verde(sólo en LOGO ...RCo)
Acciones de LOGO: • no son leídas las entradas, • no es procesado el programa y • están siempre abiertos los contactos de relé o desconectadas las salidas de transistor	Acciones de LOGO: LOGO! lee el estado de las entradas, _ LOGO! calcula mediante el programa el estado de las salidas y _ LOGO! activa o desactiva los relés/salidas de transistor

2.9.6 Programación de LOGO

2.9.6.1 Primeros Pasos con LOGO

Por programación se entiende aquí la introducción de un circuito. Un programa LOGO equivale sencillamente a un esquema de circuitos, pero representado de manera algo diferente. La representación se ha adaptado al display de LOGO. En el presente capítulo se expone cómo puede Ud. Convertir mediante LOGO! sus aplicaciones en programas LOGO.

2.9.6.2 Cuatro Reglas Fundamentales para Operar con LOGO

Regla 1

Pulsación triple

- ❖ Los circuitos se introducen en el modo de servicio "Programación". A este modo de servicio se llega pulsando simultáneamente las 3 teclas y **OK**.
- ❖ Los valores de los tiempos y parámetros se modifican en el modo de servicio "Parametrización". A este modo de servicio se llega pulsando simultáneamente las 2 teclas **ESC** y **OK**.

Regla 2: Salidas y entradas

- ❖ Cada circuito debe introducirse siempre desde la salida hacia la entrada.
- ❖ Es posible enlazar una salida con varias entradas, pero no conectar varias salidas a una entrada.
- ❖ Dentro de una ruta del programa no se puede enlazar una salida con una entrada precedente. Para tales retroacciones internas (recursiones) es necesario intercalar marcas o salidas.

Regla 3: Cursor y posicionamiento del cursor

Para introducir un circuito rige lo siguiente:

- ❖ Si el cursor se representa subrayado, Ud. Puede posicionarlo:
 - Pulse las teclas para desplazar el cursor dentro del circuito
 - Cambie a "elegir borne/bloque" pulsando OK
 - Termine la introducción del circuito pulsando ESC
- ❖ Si el cursor se representa enmarcado, deberá Ud. elegir un borne/bloque
 - Pulse las teclas o para elegir un borne o un bloque
 - Confirme la selección pulsando OK
 - Pulse ESC para retroceder un paso

Regla 4: Planificación

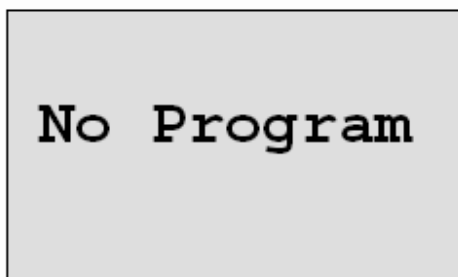
- ❖ Antes de introducir un circuito, debería Ud. Dibujarlo íntegramente en papel, o bien programar LOGO directamente mediante LOGO Soft o LOGOSoft Comfort.
- ❖ LOGO puede almacenar sólo programas completos. Si no se introduce por completo un circuito, LOGO! no puede abandonar el modo de servicio programación.

2.9.7 Introducción y Arranque del Programa

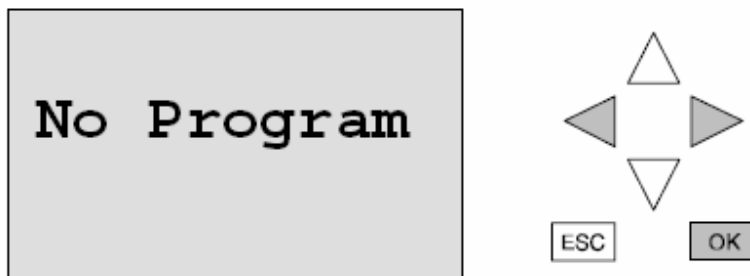
Si una vez diseñado un circuito desea introducirse el mismo en LOGO, procédase conforme el ejemplo siguiente:

Conmutación al modo de servicio

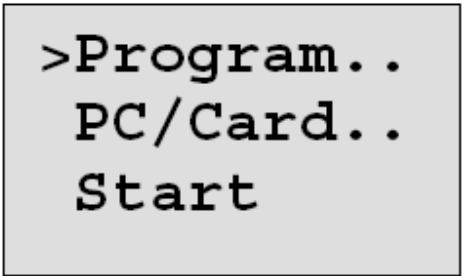
Si se conecta el LOGO a la red y aplica tensión al mismo. En el display aparece ahora lo siguiente:



Conmute LOGO al modo de servicio "Programación". A tal efecto, pulse las teclas y **OK** simultáneamente. Es necesario pulsar a la vez estas teclas para evitar que alguien active involuntariamente dicho modo de servicio.



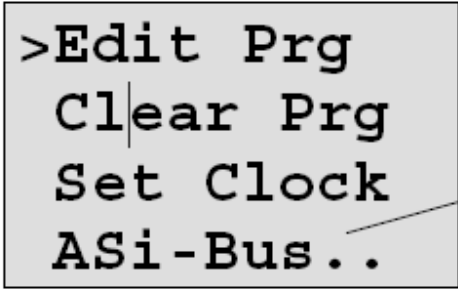
Tras pulsar las teclas se visualiza el menú principal de LOGO:



```
>Program..  
PC/Card..  
Start
```

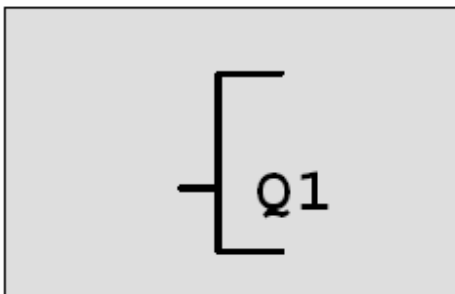
Menú principal de LOGO

Delante de la primera línea aparece un ">". Pulsando las teclas y se desplaza el ">" verticalmente. Posicione el ">" en "Program.." y pulse la tecla **OK**. LOGO pasa al menú de programación:



```
>Edit Prg  
Clear Prg  
Set Clock  
ASi-Bus..
```

Aquí también se puede desplazar el ">" mediante las teclas y . Posicione el ">" en "Edit Prg" (edición, es decir, introducción de programa) y pulse la tecla **OK**. LOGO visualiza ahora la primera salida:



Primera salida de LOGO

Pulsando las teclas y pueden elegirse las demás salidas. A partir de ahora comienza la introducción del circuito.

2.9.8 Funciones de LOGO

El LOGO pone a disposición diferentes elementos en el modo de programación. Para su orientación, hemos distribuido dichos elementos en distintas 'listas', que se especifican a continuación:

- ❖ **Co**: Lista de bornes (**C**onnecto**r**)
- ❖ **GF**: Lista de funciones básicas AND, OR,...
- ❖ **SF**: Lista de funciones especiales
- ❖ **BN**: Lista de bloques ya listos en el circuito y utilizables posteriormente

Constantes y bornes – Co

Se denominan constantes y bornes (en inglés Connectors = Co) a las entradas, salidas, marcas y niveles de tensión fijos (constantes).

Entradas

Las entradas se identifican mediante una I. Los números de las entradas (I1, I2, ...) corresponden a los números de los bornes de entrada en LOGO.

Entradas analógicas

En las variantes de LOGO, LOGO 24, LOGO 12/24RC y LOGO 12/24RCo se prevén las entradas I7 y I8 que, según la programación, pueden utilizarse también como AI1 y AI2. Si se emplean las entradas como I7 y I8, la señal aplicada se interpreta como valor digital. Al utilizar AI1 y AI2 se interpretan las señales como valor analógico. En las funciones especiales que en el lado de entrada sólo resulta conveniente enlazar con

entradas analógicas se ofrecen en el modo de programación para elegir la señal de entrada únicamente las entradas analógicas AI1 y AI2.

Entradas Así

En las variantes de LOGO! con conexión de interfase AS (LOGO!...B11) se prevén asimismo las entradas Ia1...Ia4 para la comunicación a través del bus Así.

Salidas

Las salidas se identifican mediante una **Q**. Los números de las salidas (Q1, Q2,...) corresponden a los números de los bornes de salida en LOGO. En las variantes de LOGO! con conexión de interfase AS (LOGO!...B11) se prevén asimismo las salidas Qa1... Qa4 para la comunicación a través del bus ASi.

Marcas

Las marcas se identifican mediante una **M**. Las marcas son salidas virtuales que poseen en su salida el mismo valor que hay aplicado a su entrada. En LOGO! se prevén las 8 marcas M1 ... M8. Utilizando marcas es posible rebasar en un programa la cantidad máxima de bloques conectados en serie.

Marca inicial

La marca M8 está activada en el primer ciclo del programa de aplicación y puede utilizarse por lo tanto en su programa como marca inicial. Una vez transcurrido el primer ciclo de la ejecución del programa es repuesta automáticamente. En los demás ciclos puede emplearse la marca M8 para activar, borrar y evaluar igual que las marcas M1 a M7

Niveles

Los niveles de tensión se identifican mediante **hi** y **lo**. Si un bloque debe llevar aplicado constantemente el estado "1" = hi o el estado "0" = lo, se cablea su entrada con el nivel fijo o el valor constante hi o lo.

Bornes abiertos

Si no debe ser cableado el pin de conexión de un bloque, se simboliza ello mediante una **x**

2.9.9 Designación de las Entradas

2.9.9.1 Entradas de Vinculación

A continuación se describen las conexiones vinculables con otros bloques o las entradas del aparato LOGO!.

❖ **S (set) :**

A través de la entrada S se puede activar la salida a "1".

❖ **R (reset):**

La entrada de reposición R tiene preferencia sobre las demás entradas y repone salidas a "0".

❖ **Trg (trigger):**

A través de esta entrada se inicia la ejecución de una función.

❖ **Cnt (count):**

A través de esta entrada se reciben impulsos de cómputo.

❖ **Fre (frequency):**

Las señales de frecuencia a evaluar se aplican a la entrada con esta designación.

❖ **Dir (direction):**

A través de esta entrada se determina el sentido en que por ejemplo debe contar un contador.

❖ **En (enable):**

Esta entrada activa la función de un bloque. Si la entrada está en "0", son ignoradas las demás señales del bloque.

❖ **Inv (invert):**

La señal de salida del bloque es invertida al activarse esta entrada.

❖ **Ral (reset all):**

Son repuestos todos los valores internos.

2.9.9.2 Entradas Parametrizables

En ciertas entradas no se aplican señales, sino que se parametriza el bloque de función con determinados valores.

❖ **Par (parameter):**

Esta entrada no es cableada. Aquí se ajustan parámetros para el bloque.

❖ **T (time):**

Esta entrada no es cableada. Aquí se ajustan tiempos para un bloque.

❖ **No (number):**

Esta entrada no es cableada. Aquí se ajustan intervalos de tiempo.

❖ **P (priority):**

Esta entrada no es cableada. Aquí se asignan prioridades.

2.9.10 Respaldo Tampón del Reloj

El reloj interno de LOGO sigue funcionando aunque fallara la tensión de red, es decir, que el mismo cuenta con una reserva de marcha. La duración de esta reserva de marcha depende de la temperatura ambiente. Para una temperatura ambiente de 25°C, la reserva de marcha típica es de 80 horas.

2.9.11 Módulos de Programa LOGO

En LOGO sólo puede haber almacenado un programa en la memoria. Si Ud. desea modificar el programa o redactar uno nuevo sin que se borre el primer programa, tiene que archivar éste en alguna parte. A tal efecto, es posible utilizar módulos/tarjetas de programa.

El programa almacenado en LOGO puede copiarse en un módulo/tarjeta de programa. Enchufando dicho módulo/tarjeta de programa en otro LOGO!, es posible copiar entonces aquí ese programa. El módulo/tarjeta de programa permite:

- ❖ Archivar programas
- ❖ programas
- ❖ Enviar programas por correo
- ❖ Redactar y verificar programas en la oficina y transferirlos luego a otros LOGO en el armario de distribución.

LOGO se suministra con una tapa de revestimiento. El módulo/tarjeta de programa se adjunta el equipo por separado.

2.9.12 Sinopsis de los Módulos

Módulo de programa amarillo

Permite leer e inscribir programas.

Módulo de programa rojo

Sólo permite inscribir programas. No es posible observar, copiar ni modificar el programa que lleva almacenado. Es decir, que sus datos están protegidos. Para que pueda operar un programa así protegido, el módulo tiene que permanecer enchufado en LOGO durante todo el tiempo de operación de la instalación.

Compatibilidad ascendente

Los módulos son siempre compatibles hacia arriba. De ello resulta lo siguiente:

- ❖ Un módulo editado en una variante estándar puede ser leído en todas las otras variantes.
- ❖ Un módulo editado en una variante de LOGO puede ser leído en las demás variantes de LOGO pero no en una variante estándar.
- ❖ Un módulo editado en una variante de LOGO...LB11 puede ser leído en las demás variantes de LOGO...LB11, pero no en una variante estándar ni en una variante de LOGO...L.

Desmontaje e inserción de módulos

Para retirar un módulo de programa rojo (protección know-how y de copiado), sírvase tener en cuenta lo siguiente: El programa almacenado en el módulo sólo es ejecutable si éste permanece enchufado durante toda la operación. Si Ud. retira antes el módulo, LOGO notifica 'no program'. El desmontaje del módulo rojo durante el servicio ocasiona estados de operación inadmisibles.

2.9.13 Software de LOGO

Para el PC es obtenible el paquete de programas denominado programa Logosoft. Este software incluye las facilidades siguientes:

- ❖ Creación offline de programas para su aplicación
- ❖ Simulación de su circuito (o su programa) en el ordenador
- ❖ Generación e impresión de un esquema general del circuito
- ❖ Protección de los datos del programa en el disco duro u otro medio
- ❖ Transferencia del programa
 - desde LOGO al PC
 - desde el PC a LOGO

Con Logosoft Confort se puede elaborar los programas de conmutación de forma eficiente, confortable y transparente. Los programas se elaboran en el PC mediante “drag and drop” (arrastrar y colocar). A tal efecto se redacta primero los programas.

2.9.14 Determinación del Tiempo de Ciclo

El procesamiento completo de un programa, o sea principalmente la introducción de las entradas, la edición del programa y la subsiguiente extracción de las salidas, se designa ciclo del programa. El tiempo de ciclo es el período requerido para procesar íntegramente todo un programa. El tiempo que dura un ciclo del programa se puede calcular mediante un pequeño programa de prueba. Este programa de prueba es confeccionado en LOGO y proporciona un valor durante el procesamiento en el modo de parametrización, del que puede deducirse el actual tiempo de ciclo.

2.9.15 Especificaciones de un industrial

Elementos a suministrar

- ❖ Unidad procesadora
- ❖ Unidad de memoria
- ❖ Módulos de entrada/salida
- ❖ Interfaz de comunicación
- ❖ Rack de entrada/salida
- ❖ Fuente de poder
- ❖ Periféricos
- ❖ Software de programación y documentación
- ❖ Manuales de hardware
- ❖ Repuestos
- ❖ Cables y conectores entre racks, fuente de alimentación y módulos de comunicación

Condiciones de operación

- ❖ Ubicación geográfica de la aplicación
- ❖ Ambiente
- ❖ Instalación Interior-Exterior
- ❖ Altura
- ❖ Temperatura ambiente
- ❖ Humedad relativa
- ❖ Vibraciones
- ❖ Confiabilidad en la operación
- ❖ Suministro eléctrico

Requerimientos técnicos

- ❖ Modularidad y flexibilidad
- ❖ Capacidad de entradas/salidas
- ❖ Capacidad de la fuente de alimentación
- ❖ Tipo de señales a procesar
- ❖ Tiempo de ciclo
- ❖ Lenguaje de programación
- ❖ Indicadores: fuente, batería, status
- ❖ Tipos de instrucciones
- ❖ Características de las señales de entrada(discretas, analógicas, niveles de señal)
- ❖ Precisión de los conversores análogo-digitales
- ❖ Interfaz de operación

2.9.16 Consideraciones de instalación y montaje

Preparación del lugar de instalación

- Definición de los requerimientos de control.
- Determinar el número de PLC requeridos.
- Determinar disposición de paneles y tierras.

Los requerimientos de control se definen en términos del número de entradas y salidas. Posteriormente, se calculan los módulos de I/O y los racks que se necesitan. Una vez que se conocen los PLC, módulos de I/O y racks requeridos, se deben determinar la potencia necesaria para el funcionamiento correcto del PLC.

La potencia total requerida en la instalación, considerando el PLC, módulos de I/O y módulos controladores, no debe exceder la capacidad disponible de la fuente de poder.

Consideraciones de seguridad

Al diseñar el sistema, se deben tener en cuenta las condiciones de seguridad del personal durante fallas. Los equipos conectados al PLC deben incluir interlocks y switches de seguridad, que prevengan la operación al producirse una falla.

- ❖ Debe existir un medio para desconectar la alimentación de energía a las cargas (salidas), independiente del PLC, para operaciones de rutina.
- ❖ Debe existir un medio para desconectar la alimentación de energía a las salidas, para condiciones de emergencia.
- ❖ Se deben utilizar circuitos bypass externos para operaciones de partida o inicialización (cargas críticas).

2.9.17 Encapsulado (Enclosure)

Requerimientos mínimos

- ❖ Fácil acceso a componentes.
- ❖ Potencial de tierra común para el gabinete.
- ❖ Instalación en rieles o paneles verticales de seguridad.
- ❖ Cumplir estándares o normas eléctricas.
- ❖ Protección EMI.
- ❖ Restringir acceso a los equipos.
- ❖ Protección contra polvo y suciedad.
- ❖ Normas NEMA.

2.9.18 Consideraciones Eléctricas

Tierras

Para obtener una operación adecuada, es fundamental contar con un buen sistema de conexión a tierra. Se recomienda la utilización de cable trenzado de cobre Nº12 AWG o de mayor grosor en el retorno de tierra.

Algunas reglas para lograr un buen contacto eléctrico:

- ❖ Se deben emplear terminales adecuados en los extremos de los cables de tierra.
- ❖ Es recomendable utilizar pernos de cobre para realizar la conexión al punto de tierra.
- ❖ La pintura, recubrimientos y el óxido impiden un buen contacto en los puntos de tierra. Se deben remover y emplear golillas dentadas para asegurar una buena continuidad y baja impedancia.

Alumbrado

Algunas consideraciones que se deben tener en cuenta en el alumbrado:

- ❖ Emplear cables de largo mínimo.
- ❖ No añadir cables.
- ❖ Evitar la proximidad de cables de alta potencia.
- ❖ Instalar cablearía de entrada, salida y de otro tipo en paneles separados.
- ❖ Cuando sea posible, canalizar por separado los cables con señales DC y AC.
- ❖ Una impedancia de 0.1Ω o menor debe haber en la conexión a tierra de todos los componentes del sistema.
- ❖ Utilizar guías de cable.
- ❖ Proteger los cables desnudos.
- ❖ No utilizar el mismo cable de retorno de alimentación cuando las líneas son muy largas; de esta forma se minimiza la caída de voltaje

Conclusiones Parciales

Después de haber analizado la temática con profundidad puede concluir que:

- Los autómatas son dispositivos de gran importancia porque ayuda automatizar maquinas y procesos como el hidrotransporte de la pulpa laterítica
- El autómata LOGO, reúne las condiciones para ser utilizado como dispositivo supervisor de las acciones de mando de accionamiento de bomba centrífuga de pulpa laterita.
- Se debe utilizar tanta 15 salidas para supervisión de hidrotransporte.
- Es necesario diseñar un circuito de interfaz entre el autómata y variador de velocidad, que atienda la sintonización de PLD de acuerdo a diferentes densidades de la pulpa laterita.

CAPÍTULO III

Capítulo III: Diseño del sistema supervisor asistido por PLC

3.1 Introducción

El objetivo del presente capítulo es diseñar un sistema de control supervisor asistido por PLC para controlar el arranque, frenado y velocidad del motor, controlar el nivel de agua en el tanque, la presión en la tubería y también el flujo. Para lograr los anteriores mencionado contamos con dispositivos siguientes:

1. Sensores de presión
2. Sensores de nivel
3. Sensores de velocidad
4. Sensor densidad
5. Válvulas solenoides
6. Arrancadores
7. Leds de estado on y off
8. Relés de sobrecarga
9. Contactores
10. Un PLC
11. Variador de velocidad
12. El dispositivo de panel de control
13. Visualizadores

A continuación haremos una breve presentación de algunos dispositivos y también seleccionaremos el tipo del arranque y frenado incluso sus ventajas.

3.2 Sensores

Se llama sensor al instrumento de medición que produce una señal que refleja el valor de una propiedad de un objeto mediante alguna correlación definida (su ganancia).



Figura 3.1: Sensor de temperatura de Siemens de tres colores modelo BERO [8][Fuente Ing. Silverio Mendoza Jiménez, Ing. Yolanda Guillén García, 2003]

En términos estrictos, un sensor es un instrumento que no altera la propiedad sensada. Por ejemplo, un sensor de temperatura sería un instrumento tal que no agrega ni cede calor a la masa sensada, es decir, en concreto, sería un instrumento de masa cero o que no contacta la masa a la que se debe medir la temperatura (un termómetro de radiación infrarroja).

Existe, además, el concepto estricto de transductor: un instrumento que convierte una forma de energía en otra (o una propiedad en otra). Por ejemplo, un generador eléctrico en una caída de agua es un conocido transductor de energía cinética de un fluido en energía eléctrica; sobre esta base se podría pensar, por ejemplo, en un transductor de flujo a señal eléctrica consistente de un pequeño generador a paletas movilizado por el caudal a medir. Los transductores siempre retiran algo de energía desde la propiedad medida, de modo que al usarlo para obtener la cuantificación de una propiedad en un proceso, se debe verificar que la pérdida no impacte al proceso sensado en alguna magnitud importante.

3.2.1 Sensores de Velocidad

Estos sensores pueden detectar la velocidad de un objeto tanto sea lineal como angular, pero la aplicación más conocida de este tipo de sensores es la medición de la velocidad angular de los motores. La forma más popular de conocer la velocidad del giro de un motor, es utilizar para ello una dinamo tacométrica acoplada al eje del que queremos saber su velocidad angular, ya que este dispositivo nos genera un nivel determinado de tensión continua en función de la velocidad de giro de su eje, pues si conocemos a que valor de tensión corresponde una determinada velocidad, podremos averiguar de forma muy fiable a qué velocidad gira un motor. De todas maneras, este tipo de sensores al ser mecánicos se deterioran, y pueden generar errores en las medidas.

3.2.2 Sensores de presión

Suelen estar basados en la deformación de un elemento elástico cuyo movimiento es detectado por un transductor que convierte pequeños desplazamientos en señales eléctricas analógicas, mas tarde se pueden obtener salidas digitales acondicionando la señal [16][Ing. Eric Serra]. Pueden efectuar medidas de presión absoluta (respecto a una referencia) y de presión relativa o diferencial (midiendo diferencia de presión entre dos puntos). Generalmente vienen con visualizadores e indicadores de funcionamiento.



Figura 3.2: Sensores de presión de Silicon [16][Ing. Eric Serra]

3.2.3 Sensores de nivel

Se presenta un sensor óptico para control de nivel de líquidos cuyo funcionamiento está basado en la variación de resistencia de una LDR (light dependent resistor) en función de la intensidad luminosa que le llega. Esta radiación disminuye a medida que se interpone un medio opaco o con un índice de refracción distinto del aire entre el emisor y el receptor LDR [15][Universidad Carlos III de Madrid]



Figura 3.3: Sensores de nivel [7][SIMATICS7-200,2003]

3.2.4 Transmisor inteligente de densidad y concentración

Para la medición de densidad en procesos continuos, se encuentran disponibles muchos métodos de medición, basados en diferentes tecnologías: medición por horquilla vibrante, por principio Coriolis, refractómetros, medidores nucleares, hidrómetros, etc. Utilizando un novedoso diseño, integrado en una sola unidad, el **DT301** de **SMAR** es el único transmisor de densidad y concentración del mercado que puede utilizarse en tanques o en línea, alimentado por el lazo dem4-20mA, y con indicación local y retransmisión del valor de densidad o concentración en unidad es configurables por el usuario en forma continua.



***Figura 3.4:** El transmisor inteligente de densidad y concentración **Smar DT301** utiliza el principio de medición de presión diferencial entre dos puntos separados por una distancia conocida y fija, y puede utilizarse tanto en tanques como en línea.*

Principio de medición

El equipo utiliza un sensor de presión diferencial tipo capacitivo, comunicado mediante capilares con dos diafragmas sumergidos en proceso, separados por una distancia fija.

La presión diferencial sobre el sensor será directamente proporcional a la densidad del líquido medido (ver figura y fórmula). Este valor de presión diferencial no se ve afectado por la variación en el nivel de líquido ni por la presión que pudiera haber en la parte superior del recipiente. El **DT301** incorpora además un sensor de temperatura colocado entre los diafragmas para efectuar una corrección y normalización de los cálculos teniendo en cuenta la temperatura del proceso. La corrección también tiene en cuenta los efectos de la temperatura sobre el líquido de llenado de los capilares internos y la dilatación de los diafragmas.

Debido a que el sensor de presión diferencial utilizado es tipo capacitivo, puede generar directamente una señal digital. Como el procesamiento posterior de la señal se realiza también digitalmente, puede obtenerse un alto nivel de estabilidad y de exactitud en la medición.

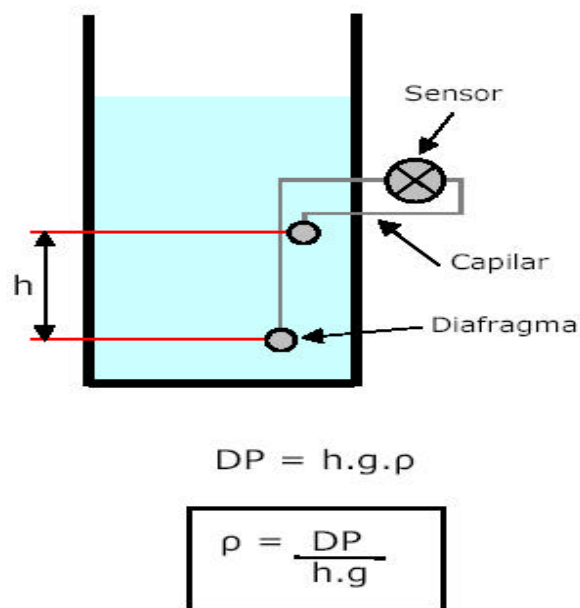
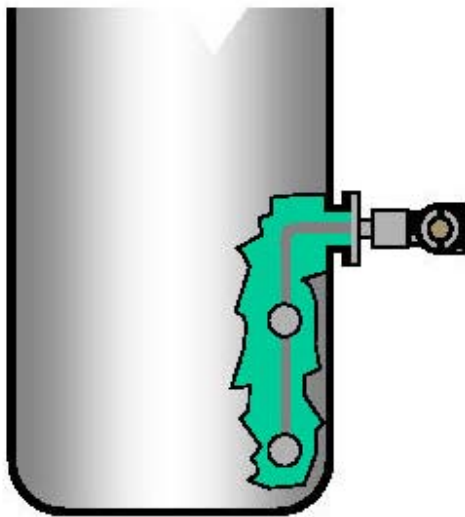


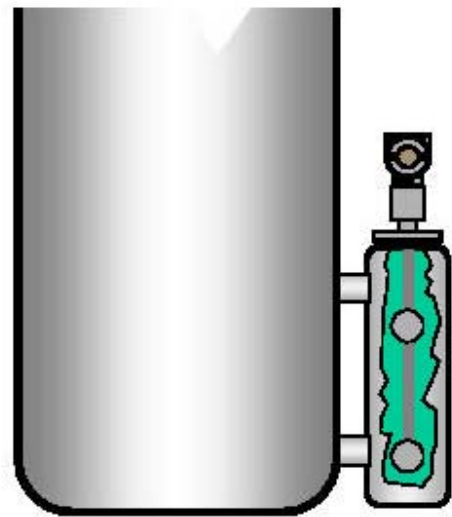
Figura 3.5: Con la información generada por los sensores de presión diferencial y de temperatura, el software de la unidad electrónica efectúa el cálculo de la densidad, suministrando una señal analógica de 4-20 mA, proporcional a la escala de densidad o concentración elegida por el usuario (°Brix, °Plato, °Baumé, g/cm³, etc.).

Montaje en tanques

En general, el modelo más adecuado para el montaje en tanques es el lateral o curvo. Este modelo se monta sobre la pared del tanque, con una conexión bridada o tri-clamp. Cuando no pueda instalarse directamente sobre el tanque de almacenaje, es posible instalar el transmisor sobre un dispositivo externo al recipiente (tipo botellón o chamber) tal como se muestra en las siguientes figuras.



Montaje lateral



Montaje en chamber

Información Técnica

- Exactitud $\pm 0.0004 \text{ g/cm}^3$ (± 0.1 Brix, ° Baumé, ° Plato).
- Rango 0.5 g/cm^3 - 5 g/cm^3 .
- Lectura Directa de la densidad o concentración en unidades de ingeniería como g/cm^3 , kg/m^3 , densidad relativa, Brix, Baumé, Plato, GL, % Solids, etc.

- Sensor de temperatura integrado para realizar una compensación de temperatura muy precisa.
- Aplicable en fluidos dinámicos y estáticos
- Distintos materiales de contacto. sin partes móviles.
- Calibración de fabrica.
- No requiere calibración en laboratorio
- Aplicable en tanques y tuberías.
- Mantenimiento fácil, no requiere limpiezas periódicas
- Conexiones sanitarias e industriales estándar.
 - DT 301 Comunicación Digital HART
 - DT 302 Comunicación Digital Foundation Fieldbus.
 - DT 303 Comunicación Digital Profibus PA

3.3 Arrancadores

Los arrancadores reúnen los elementos necesarios para controlar y proteger los motores eléctricos. De la elección de éstos depende el rendimiento de toda la instalación [11][Telemecanique]:

- Nivel de protección
- Funcionamiento con velocidad constante o variable

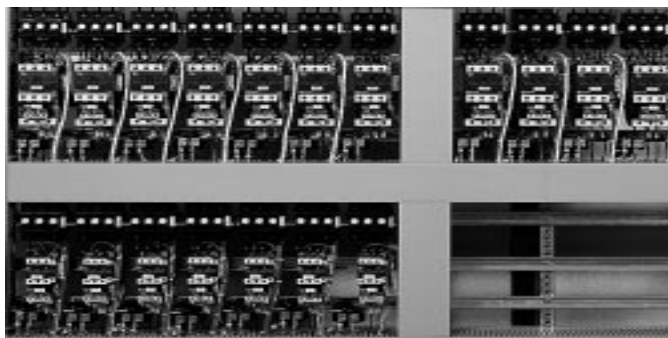


Figura 3.6: Arrancadores con contactores LC1-D y relés térmicos LR2-D [11][Telemecanique].

El arrancador garantiza las siguientes funciones:

- seccionamiento,
- protección contra cortocircuitos y sobrecargas,
- conmutación.

Se pueden clasificar en tres familias:

- arrancadores “todo o nada”: el motor suele arrancar con sus características propias y el régimen de velocidad establecido es constante,
- arrancadores basados en arrancadores electrónicos: la aceleración y la deceleración están controladas y el régimen de velocidad establecido es constante, arrancadores basados en variadores de velocidad electrónicos: el arranque y la parada están controlados y la velocidad depende de una consigna.

3.4 Componentes de Escala Lógica Básica.

3.4.1 Contactos

Los contactos son los dispositivos de entrada en un diagrama. Ellos son abiertos y cerrados tanto por un signo aplicado externamente (usualmente representado por X)[17][Marco Antonio Pérez Cisneros, James Vernon], como por un temporizador interno (T), contador o por una bandera lógica interna. Como se muestra en la tabla de contactos son obtenibles en dos formas: normalmente abiertos o normalmente cerrados.



Figura 3.7: Componentes de la escala lógica básica [17][Marco Antonio Pérez Cisneros, James Vernon].

3.4.2 Bobinas

Las bobinas son los dispositivos de salida en un diagrama de escala. Son usadas para operar dispositivos externos y temporizadores internos, contadores y banderas. Algunas manufacturas incluyen bobinas que permiten operaciones especiales para ser realizadas, lo cual extiende la capacidad del PLC más allá de lo que se puede obtener con las simples bobinas o contacto.

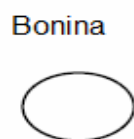


Figura 3.8: Componente de la escala lógica básica [17][Marco Antonio Pérez Cisneros, James Vernon].

3.5 Solenoides

Los solenoides son los más usados como actuadores. Su principio básico de operación radica en que hay partes móviles (un pistón) que mueve la espira hacia adentro como se muestra en la figura [2][Hugh Jack,2003]. Normalmente el pistón es mantenido a fuera de la espira por un resorte. Cuando se aplica la tensión a la espira, la corriente empieza a fluir, la espira crea un campo magnético que atrae el pistón hacia el centro de la espira.

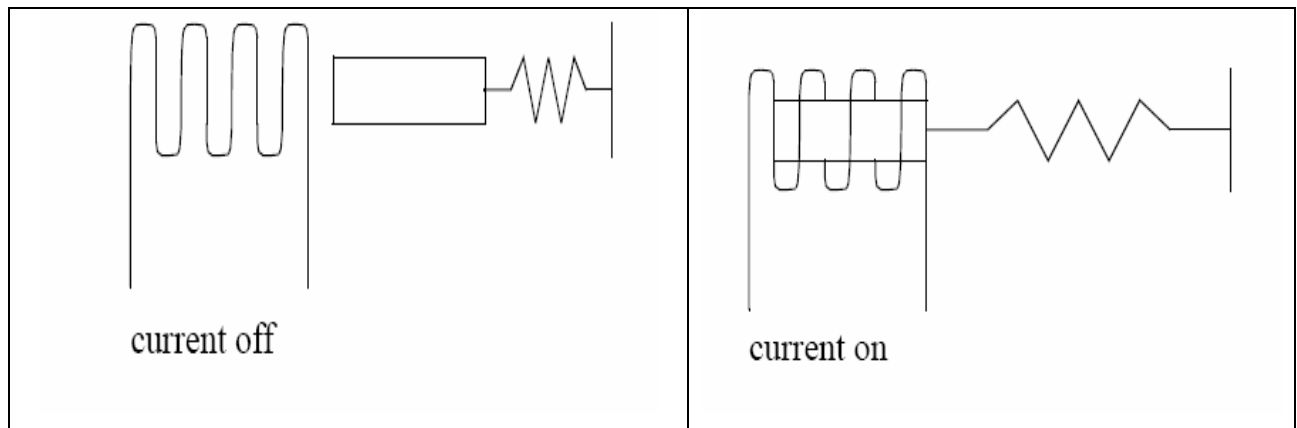
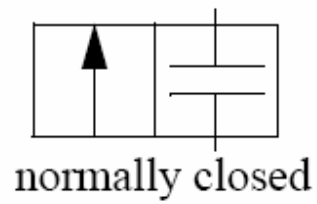


Figura 3.9: Ejemplo del funcionamiento de un solenoide [2][Hugh Jack].

Las válvulas se utilizan para controlar el flujo de un líquido o aire. Existen diferentes tipos de válvulas y se clasifican según los números de admisiones y escapes como siguientes:

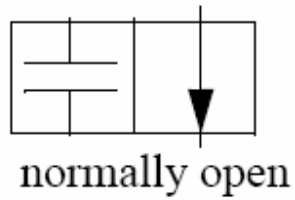
2-way normally closed

Una admisión y un escape. Cuando no está energizado, la válvula es cerrada. Cuando se energiza, la válvula se abre y permite el flujo. Estas válvulas se utilizan para permitir el flujo.



2-way normally open

Una admisión y un escape. Cuando está energizado, la válvula es abierta y permite el flujo. Cuando es des-energizada, la válvula se cierra. Estas válvulas se utilizan para bloquear el flujo.



3.6 El montaje de sistema de la instalación y su programación en el LOGO de Siemens

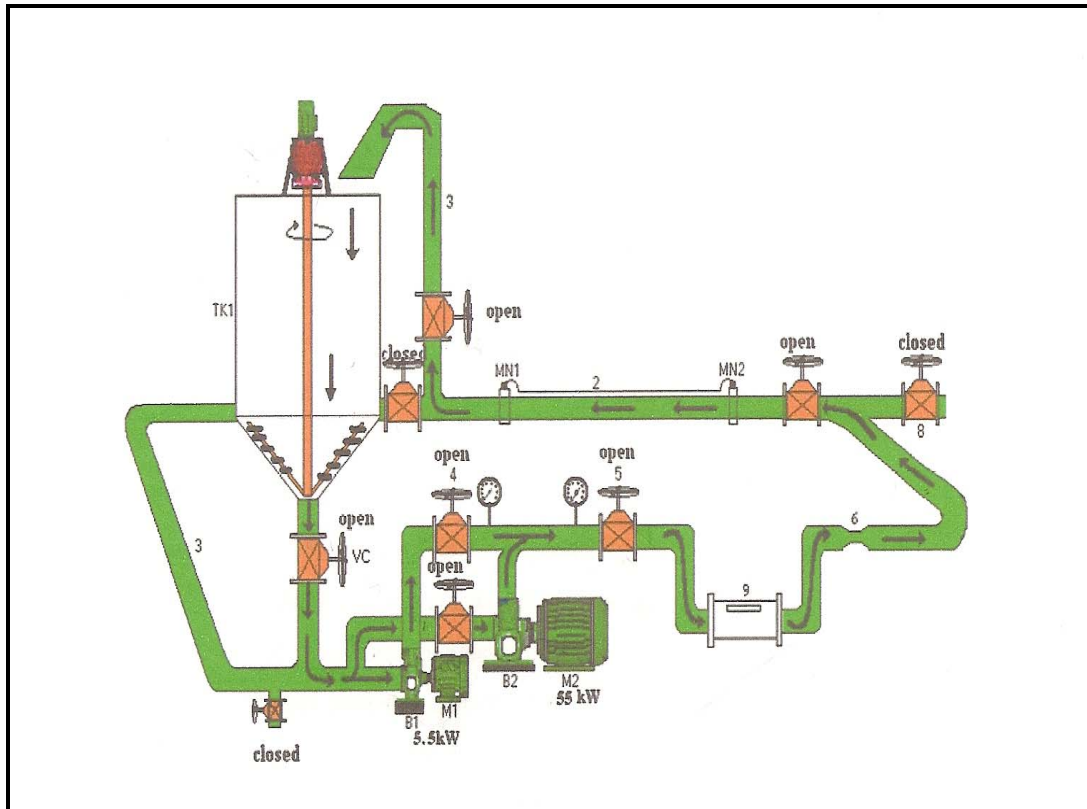


Figura 3.10: Esquema de la instalación antes de automatización.

Representación de la instalación

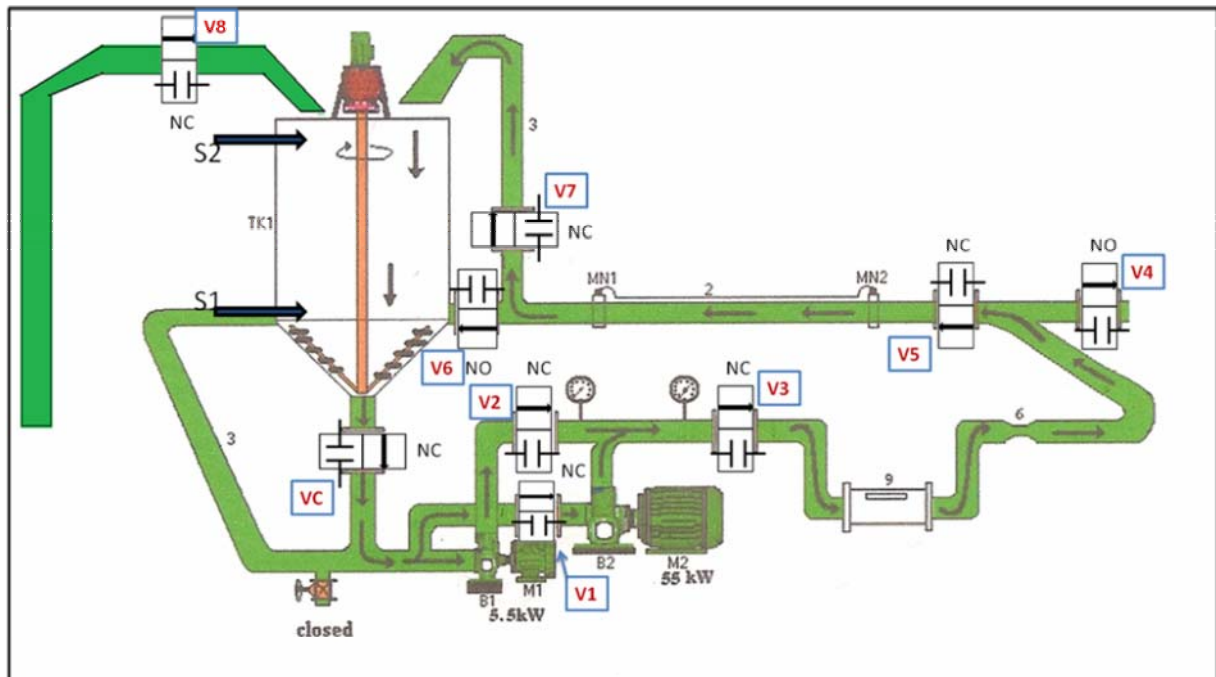


Figura 3.11: Esquema de la instalación automatizado

La descripción del programa

Se abre la válvula (V8) para empezar llenar el tanque. Después de un tiempo determinado se arranca el agitador (MA) para mezclar la pulpa laterita. Cuando el nivel de la pulpa llega ser sensado al sensor uno (S1-sensor del nivel bajo), se abre la válvula de compuerta (VC) y se energiza uno de los motores de la bomba. Se puede señalar que se añade un temporizador para dar un tiempo de demora entre la apertura de la válvula de compuerta y el arranque de los motores (M1 y M2). Esto se hace para evitar el fenómeno de cavitación en la bomba.

Cuando el nivel de pulpa llega al sensor del nivel superior (S2) se cierra la válvula del llenado del tanque (V8) y se abre de nuevo cuando el nivel de la pulpa llega a ser sensado a sensor de nivel inferior (S1). El ciclo se repite.

➤ El programa del autómeta.

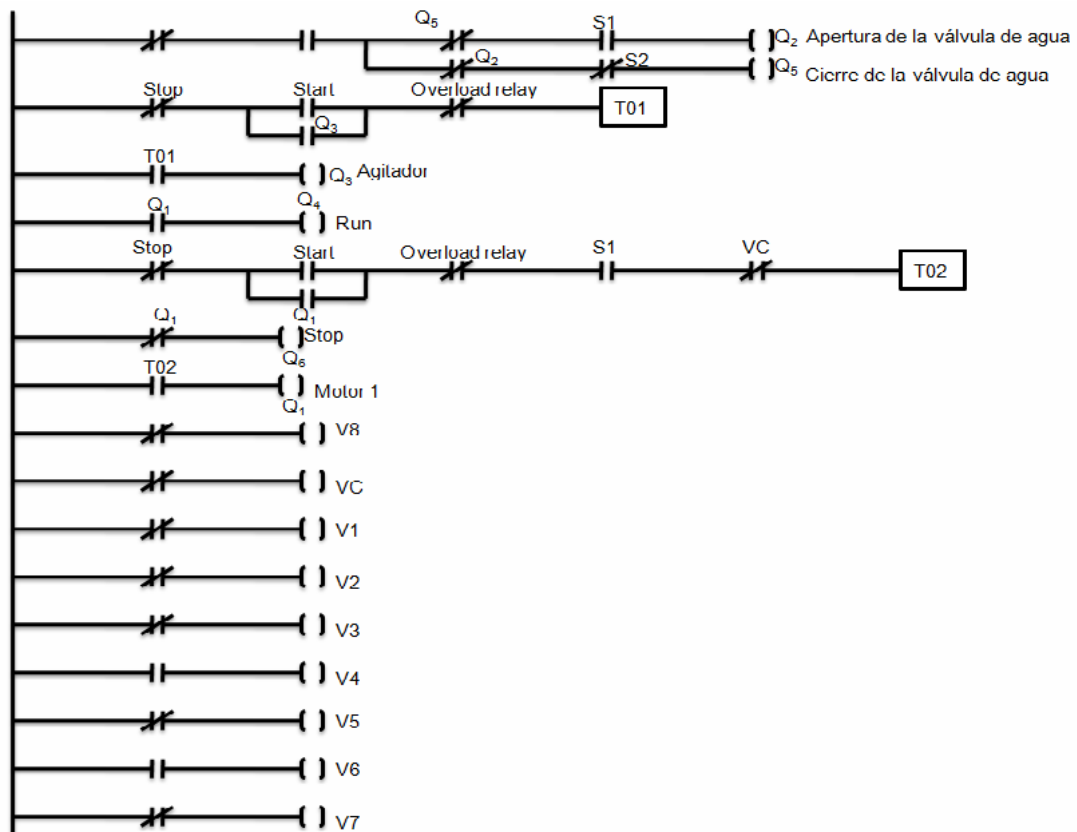


Figura 3.12: El diagrama de automatización de la instalación.

➤ El programa montado en el LOGO

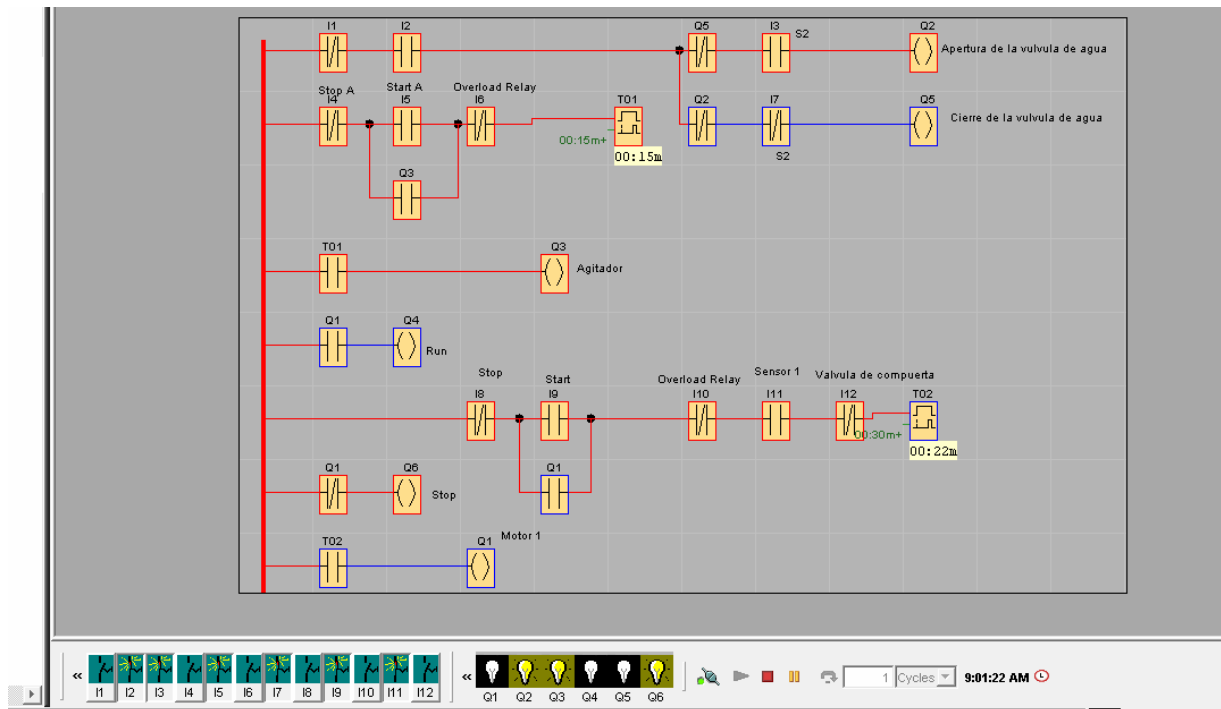


Figura 3.13: La simulación del programa en el Logosoft de Siemens.

➤ Sistema físico de supervisor

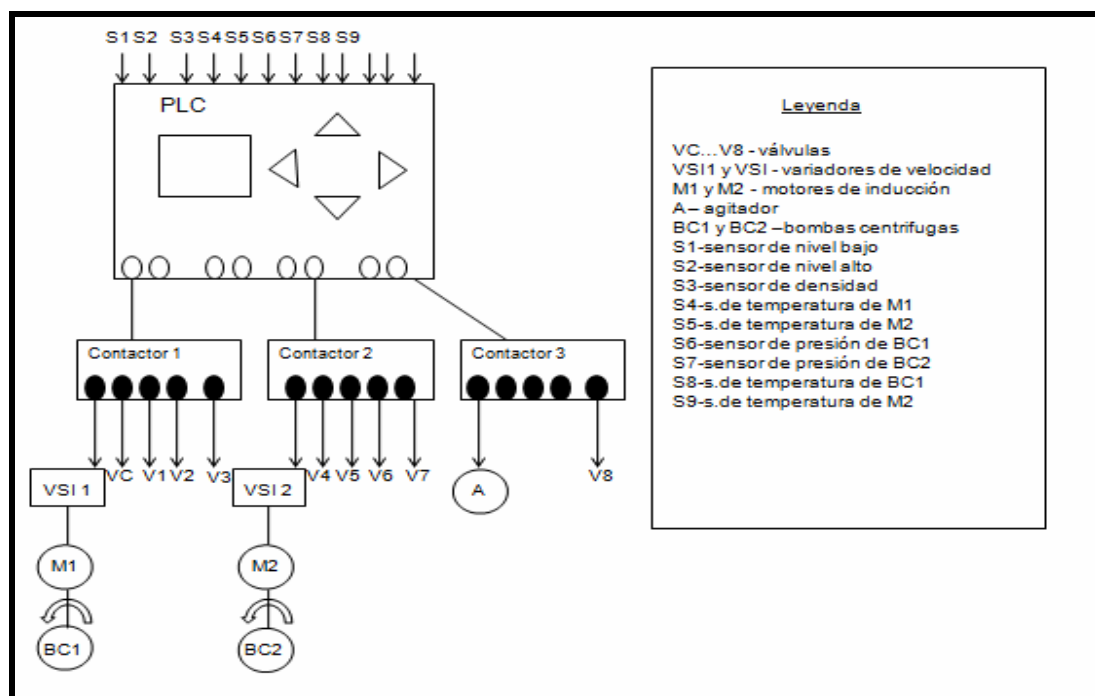


Figura 3.14: Sistema físico de supervisor de la instalación automatizada.

➤ Accionamiento eléctrico con motor de inducción (simplificado)

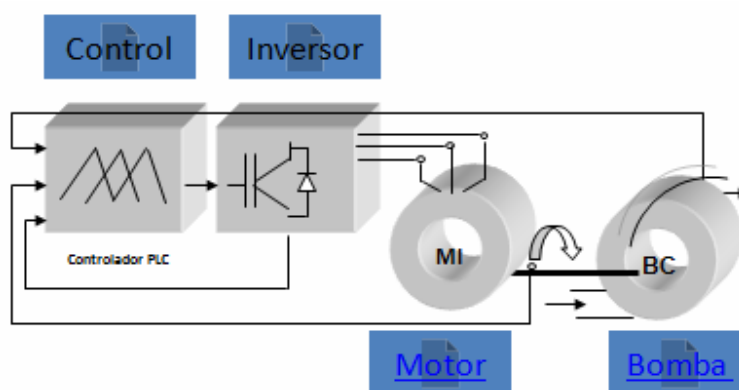


Figura 3.15: El esquema simplificado de accionamiento electrico.

➤ El sistema de comunicación

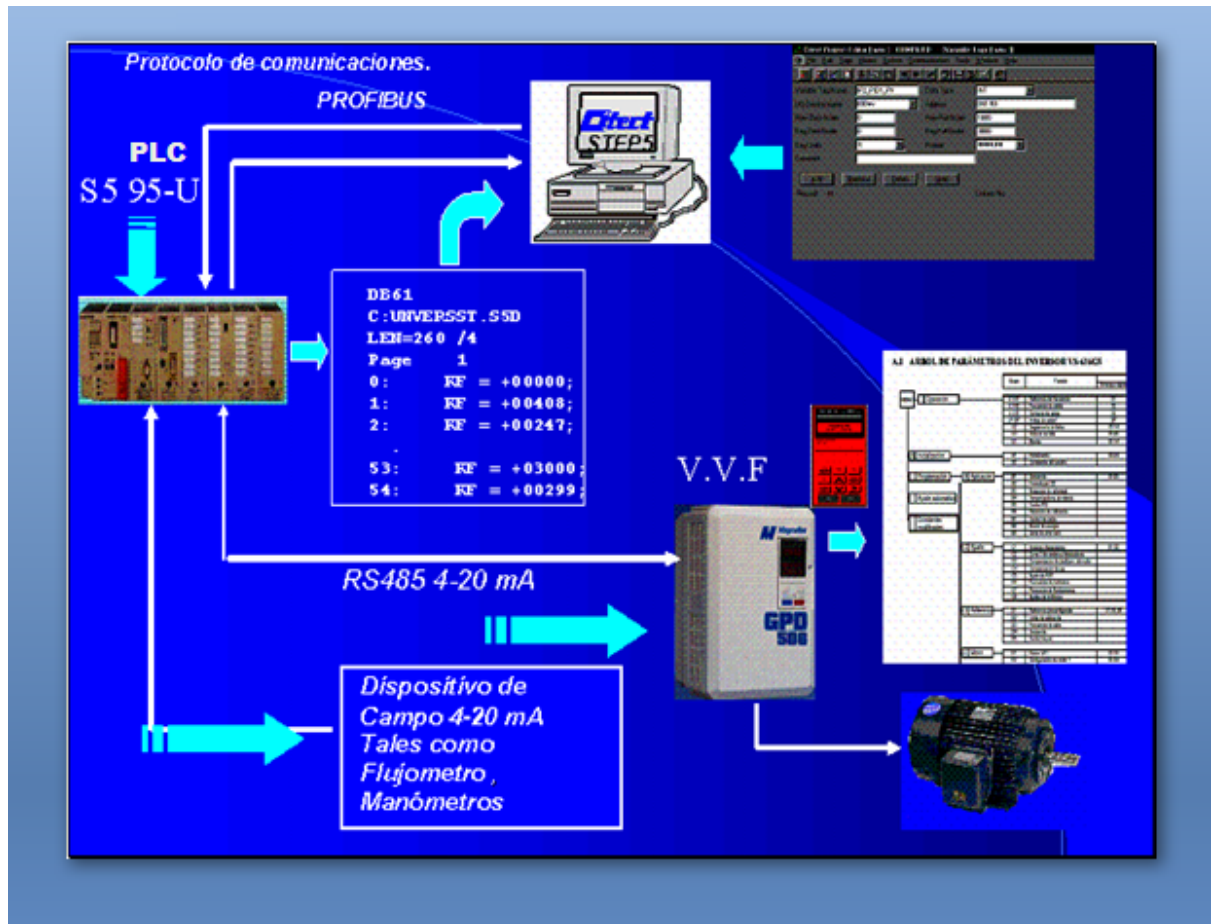


Figura 3.16: El sistema de comunicación montado en el Citect.

Algoritmo de trabajo del autómatas LOGO

➤ Algoritmo del arranque

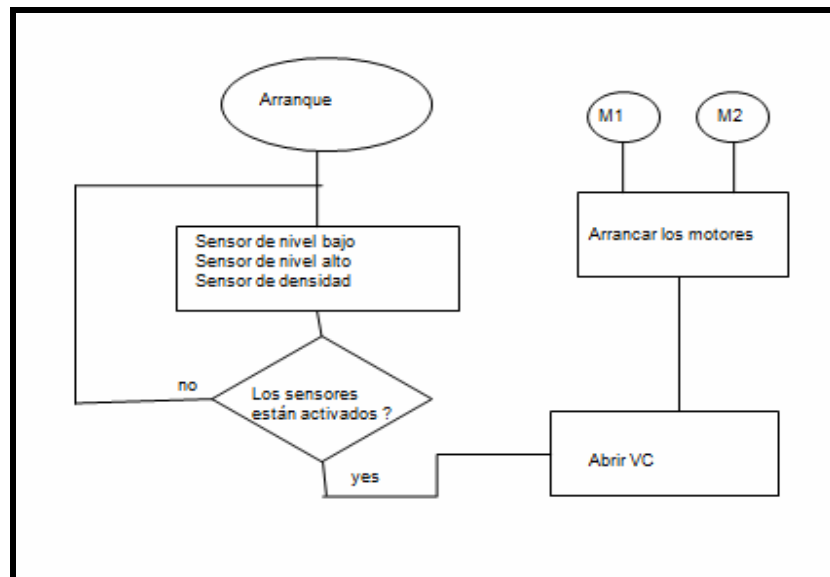


Figura 3.17. El diagrama de arranque.

➤ Algoritmo de frenado

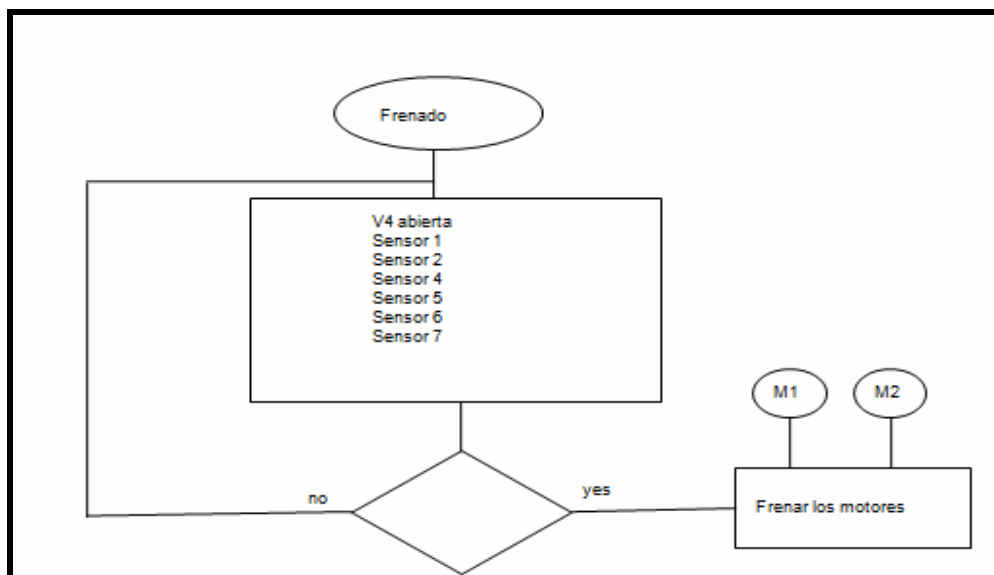


Figura 3.18: El diagrama de parada.

➤ Sistema eléctrico de potencia

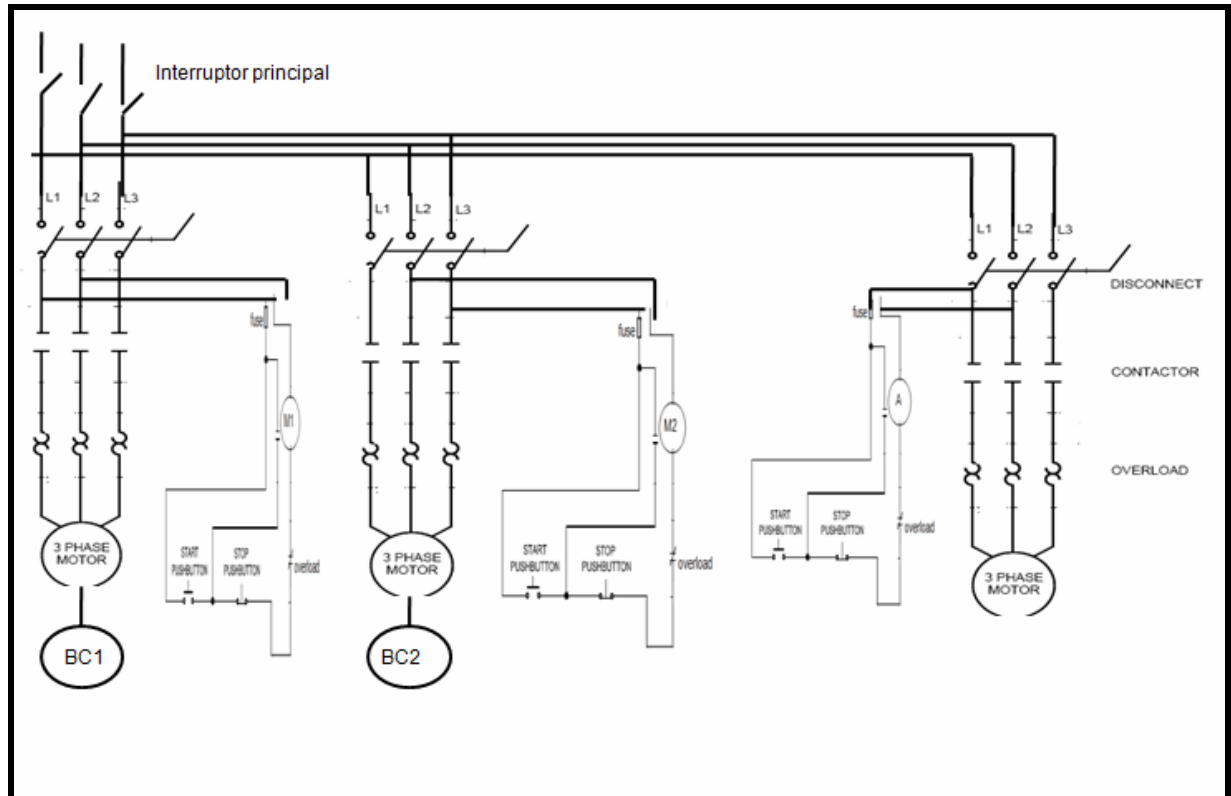


Figura 3.19: El sistema de potencia de la instalación.

3.7 La interface gráfica de un accionamiento de hidrotransporte ayudada por el toolbox del MATLAB.

La instalación, como sistema supervisión y control del accionamiento del hidrotransporte de pulpa laterítica en el ISMM, está concebido como se muestra en el siguiente esquema:

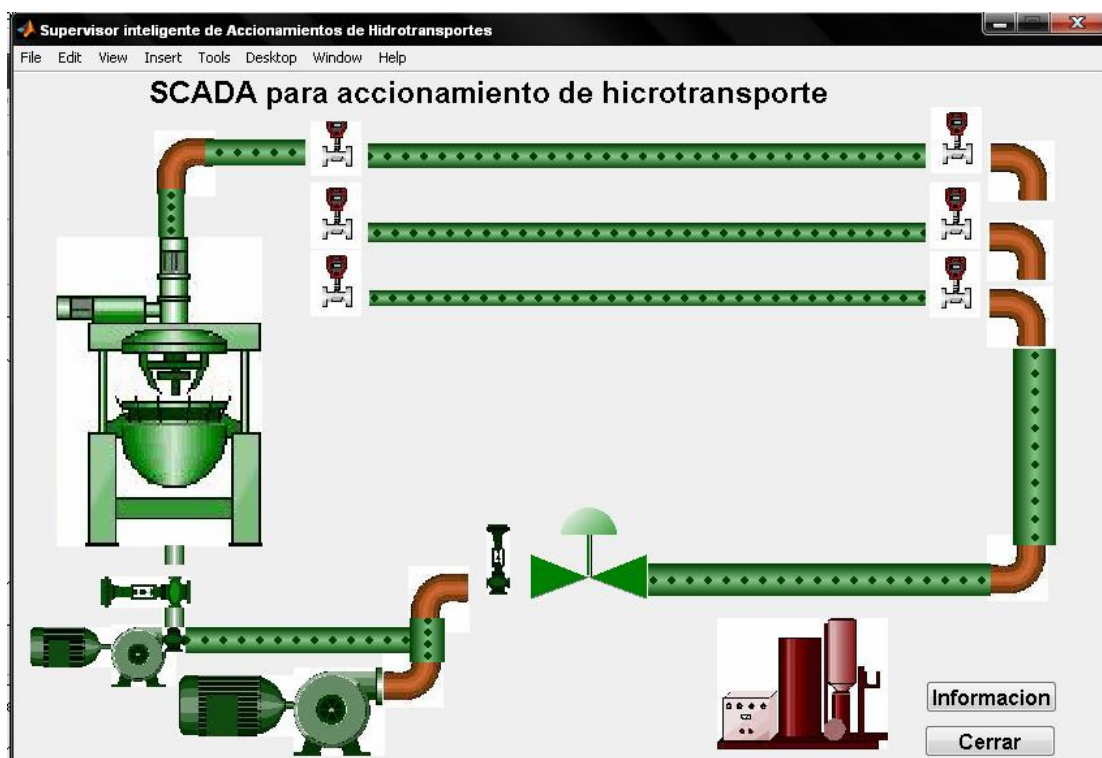


Figura 3.20: El diagrama de comunicación montado el SCADA de MATLAB.

En la figura se muestra una versión de sistema SCADA, encargado de atender las acciones supervisoras de los dos accionamientos de bombas centrífugas de 5 y 55 kW. Se visualizan el tanque de mezclado donde se prepara la pulpa a diferentes densidades desde 25 % hasta 45 % de sólidos. Los instrumentos de presión y demás sensores en campo envían a un transmisor de varios canales, y de este al PLC.

Las acciones relacionadas con el autómata LOGO de SIEMENS, están dadas en la ventana siguiente:



Figura 3.21: Operación de mando.

Se tiene una opción tutorial del mando de cada uno de los accionamientos asistidos desde el PC en comunicación con el LOGO. Tiene ayuda en línea para evitar demoras en el mando asistido desde PC.

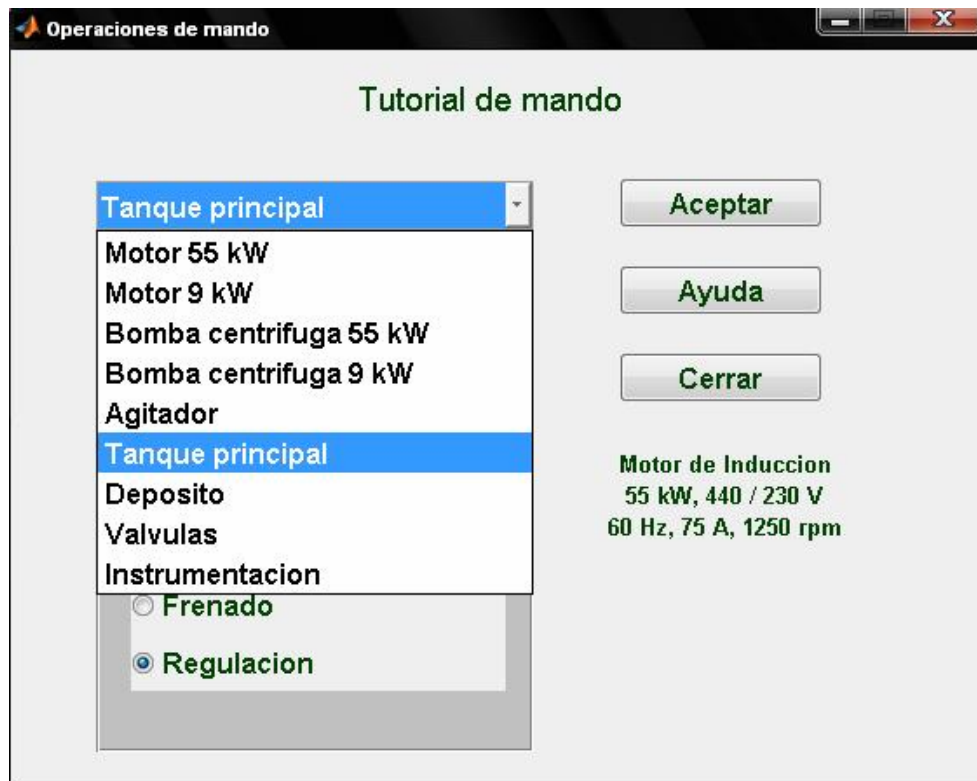


Figura 3.22: La operación de mando ampliada.

Se pueden seleccionar los objetos de toda la instalación de hidrotransporte, con rápida y directa comunicación e información de los mismos.

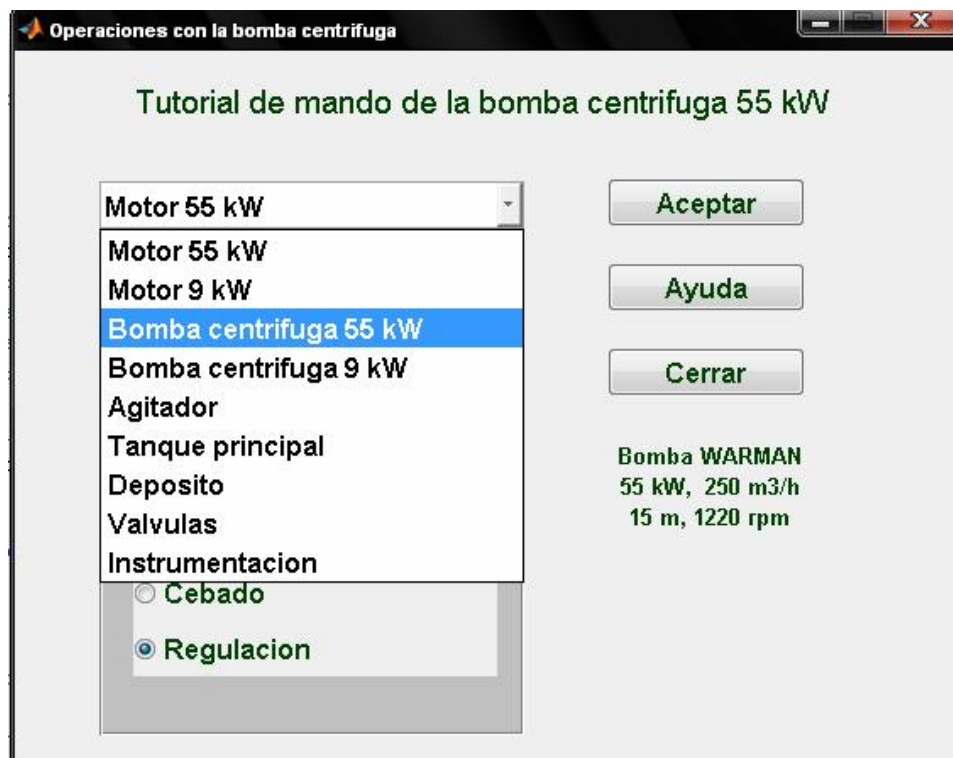


Figura 3.23 Operación con la bomba centrifuga.

Se tienen supervisadas todas las operaciones practicas de las bombas centrifugas, porque están los sensores y actuadores que ayudan a mantener eficiente la operación de los accionamientos y la instalación n hidráulica.

3.8 Sintonización de PLC con variador de velocidad

El estudio presentado por [90][A. Turro y otros, 2002], permite definir que para concentraciones de 30 y 35 % en peso de sólido, las curvas de flujos obtenidas exhiben un comportamiento seudoplástico, mientras que para 40 y 60% en peso las pulpas adquieren propiedades plásticas típico al modelo de Bingham [88][A. Turro, L. Garcell, R. Izquierdo, 2002]. Para las pulpas con comportamiento seudoplástico presenta una tendencia de incremento del esfuerzo cortante y la viscosidad plástica con el aumento de la concentración de sólido [12][A. Cerpa, 1997].

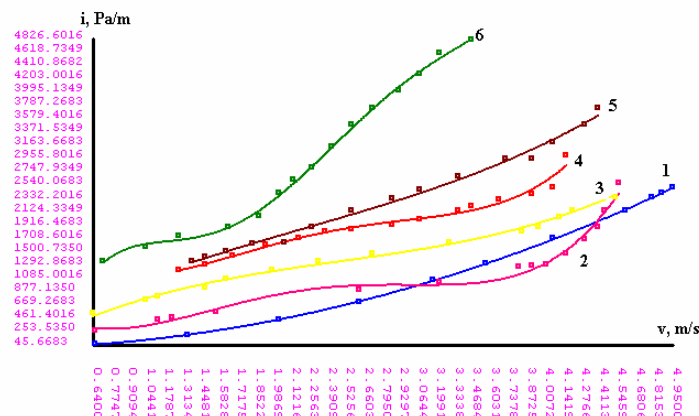


Figura 3.24: Dependencia de $i = f(v)$ para el movimiento de las colas en un tubo circular ($D=150\text{mm}$) a $T=27^\circ\text{C}$ a las concentraciones: 1- Agua; 2- 25%; 3- 30%; 4- 40%; 5- 45%; 6- 50% [12]] [fuente: tesis de doctorado de Rojas.

De la figura 3.24 se observa una apreciable disminución de la pendiente hidráulica con iguales velocidades de transportación a temperaturas de 60 y 90 °C con respecto a 27 °C, esto es debido a que la pulpa se disuelve más favorablemente con el incremento de la temperatura y ofrece menos fricción en la tubería.

Este grafico sirve para sintonizar el PLC con el variador de velocidad para determinar las densidades de la pulpa. Aplicando la ley de física dinámica rotacional que plantea que:

$$v = \omega r$$

donde:

v - es la velocidad lineal

ω - es la velocidad angular

r - es el radio de la tubería

Tenemos como datos la velocidad lineal (valor de 2.92m/s) y el radio de diámetro de 150.m. Con estos datos podemos determinar la velocidad angular de variador de velocidad.

Conclusiones Parciales

- ✓ El autómata LOGO permite llevar a cabo las acciones de supervisión del arranque, frenado y mando del variador de velocidad en la instalación experimental del accionamiento de hidrotransporte de pulpa laterita.
- ✓ Se hace necesario implementar los sensores y demás dispositivos de control en la instalación para alcanzar su adecuada automatización.

Se necesita de:

- ❖ Sensores de presión
 - ❖ Sensores de nivel
 - ❖ Sensores de velocidad
 - ❖ Sensores del caudal
 - ❖ Sensor densidad
 - ❖ Válvulas solenoides
 - ❖ arrancadores
 - ❖ Leds de estado on y off
 - ❖ Relés
 - ❖ Contactores
 - ❖ Un PLC
 - ❖ Variador de velocidad
-
- ✓ Para alcanzar un eficiente gestión energética durante el uso de instalación de hidrotransporte, la utilización de una interfaz que garantice sintonizar el PWM del variador de velocidad de la acuerdo de densidad de la pulpa transportada.

CAPÍTULO IV

Capítulo IV: Evaluación técnico económica del trabajo.

4.1 Valoración económica

Los accionamientos de bombas centrífugas están entre los accionamientos más empleados en el proceso de obtención de níquel ya sea por tecnología Carbonato amoniacal o por Lixiviación Ácida; los cuales se caracterizan por una dependencia entre la carga de presión (H) y el caudal (Q), $H=f(Q)$, que corresponde a una potencia $P=f(Q)$ y una eficiencia $\eta=f(Q)$ dada en su punto de operación, donde se interceptan con la característica de la red hidráulica y que determina el punto de trabajo del motor de inducción con un deslizamiento dado.

Por la exigencia del proceso tecnológico, frecuentemente se hace necesario variar el caudal Q, lo que en la mayoría de los casos, se realiza estrangulando la tubería de impulsión y con esto aumenta la resistencia de la red y disminuye el rendimiento de la instalación. El caudal disminuye y la carga de presión aumenta, pero parte de esta energía ΔH_{val} se pierde en la válvula de impulsión. Si el número de revoluciones de la turbo-máquina se disminuye de tal manera que pase por el punto de funcionamiento H-Q necesario, el rendimiento se mantiene aproximadamente constante y la instalación se regula sin pérdidas adicionales; llevar el número de revoluciones al necesario se puede conseguir con un variador de velocidad (Inversor Sinusoidal de Tensión) adecuadamente seleccionado.

En la práctica en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara de Moa se suele estrangular por la succión logrando el mismo efecto hasta que la caída de presión en la línea de succión alcanza la temperatura de vapor del fluido y aparece el fenómeno de la cavitación.

Es bueno indicar que con el aumento de las pérdidas no sólo disminuye el rendimiento sino también empeora el factor de potencia del motor eléctrico.

Para hallar en la práctica la característica de la red, se hace necesario determinar las pendientes hidráulicas. El hecho de que se puede utilizar velocidad adecuada donde

tienen lugar las menores pérdidas hidráulicas en el sistema de accionamiento de bombas. El cálculo económico está dado por el ahorro de energía que puede significar cuando utilizamos el variador de velocidad controlado por el PLC.

El mejoramiento de la eficiencia del motor eléctrico determinada por la energía total ahorrada por el uso del controlador que modifica el trabajo en el motor se puede estimar como (1):

$$E_{Miahorr} = N_b \cdot \left(\frac{1}{\eta_{MI1}} - \frac{1}{\eta_{MI2}} \right) \cdot h_{totales} \quad (1)$$

donde:

- $P_{Miahorr}$ – es la energía total ahorrada en el motor eléctrico, [kWh].
- N_b – es la potencia de la bomba centrífuga, [kW].
- η_{MI1} – es la eficiencia del motor eléctrico sin el controlador, [%].
- η_{MI2} – es la eficiencia del motor eléctrico con el controlador, [%].
- $h_{totales}$ – horas totales de operación del accionamiento, [h].

El mejoramiento de la eficiencia de la bomba centrífuga determinada por el ahorro de energía en ella, se determina como (2):

$$E_{bcahoor} = N_{b1} \left(1 - \frac{\eta_{bc1}}{\eta_{bc2}} \right) \cdot h_{totales} \quad (2)$$

donde:

- η_{bc1} – es la eficiencia de la bomba sin el controlador, [%].
- η_{bc2} – es la eficiencia de la bomba con el controlador, [%].

En este sistema las pérdidas existentes actualmente pueden clasificarse como:

- Pérdidas de energía eléctrica.
- Pérdidas metalúrgicas.

4.2 Costos

A continuación se va a representar los precios de diferentes elementos que componen la instalación automatizado. El resumen de todo estos aparecen también en la tabla1 de anexos.

Válvulas solenoides



PARKER 2-Way Solenoid Valve 02F30U1104A1F4C80, 24VDC, 1/8 NPT, Universal. 0-65 psi, Buna N Seals

Code: AB02F30U1104A1F4C80 24VDC

Price: \$ 89.00

Motor starter

Price: \$ 434.00

Switch de nivel (Siemens Militronic s)



Switch Pointek CLS 100 para detección de alto o bajo nivel de sólidos, líquidos, mezclas o interfaces, conexión eléctrica de dos hilos, 24V DC, longitud de inserción 100mm, detección de nivel por capacitancia.

Precio: \$ 641.00

Sensor de temperatura

PT-100 longitud de montaje 100, conexión eléctrica 3 hilos, rango de medición de -50 a 400⁰C, termopozo de acuerdo con DIN 43763

Precio: \$367.00

Relés de sobrecarga

Precio: \$ 8.00



Overload relay

Contactor

Precio: \$ 28.00



Contactor

Contactor auxiliar

Precio: \$ 5.00



Auxiliary contact block

Start/stop pushbutton

Precio: \$ 15.57



Start/stop pushbutton

Conclusiones parciales

- La supervisión del trabajo y operación de accionamiento de hidrotransporte de la pulpa laterita representa un costo aproximadamente de \$5727,71.
- Se debe garantizar el uso de los sensores de nivel, temperatura y densidad para alcanzar la efectiva gestión energética de la instalación.
- Con el trabajo conjunto del PLC y variador de velocidad se consigue un efecto económico de 148.92 al año por disminución de costo específico de energía (1.8-2.6%).

$$\begin{aligned}\text{Efecto económico} &= \text{costo total} * 2.6\% \\ &= 5727.71 * 2.6\% \\ &= \$148.92\end{aligned}$$

CONCLUSIONES GENERALES

Conclusiones generales

Luego de realizar el trabajo se llegaron a las siguientes conclusiones:

- ❖ Se puede realizar la supervisión del accionamiento de la instalación experimental de hidrotransporte de ISMM utilizando el autómata LOGO 230 LLS de SIEMENS de 12 entradas y ocho salidas.
- ❖ Para la supervisión de accionamiento hidrotransporte se debe utilizar sensores de nivel, temperatura, densidad, velocidad de rotación de motor y de presión.
- ❖ Es recomendable utilizar el autómata LOGO para llevar a cabo los procesos de arranque y parada de los motores de forma secuenciada porque se racionaliza el uso de la energía eléctrica.
- ❖ La implementación del sistema informativo crea la base para la supervisión desde la red del accionamiento de la instalación experimental.

Recomendaciones

- Utilizar como material bibliográfico el presente trabajo en la automatización de la instalación experimental de hidrotransporte.
- Continuar la presente investigación sobre la base de utilizar las bondades que ofrece la comunicación inalámbrica de sensores,transmisor y dispositivos inteligentes

Referencias bibliográficas.

1. Domingo Mery, Controladores Lógicos Programables, Pontificia Universidad Católica de Chile Facultad de Ingeniería, Noviembre 1994
2. Hugh Jack, Automating Manufacturing Systems with PLCs, Version 4.2, April 3, 2003
3. Siemens, STEP 2000 Basics of PLCs, 2000
4. Juan Pablo Margallón, Javier Cerezo, Guillermo Baldero, Álvaro Aguerri, Comunicación entre PLCs, Curso 2003/2004
5. MME486, Industrial Control Systems Fall 2006
6. Barquisimeto, Introducción a los PLCs
7. SIMATICS7-200, Automatas Programables y Accesorios para Profibus, Octubre, 2003
8. Por: Ing. Silverio Mendoza Jiménez, Ing. Yolanda Guillén García, Controladores Lógico Programables, 2003
9. Benitez Cadena Víctor Manuel, Zalamea Balladares José Mauricio, Construcción de un Modulo Didáctico para el control de Nivel de Líquidos, JEEE, Vol., 19,2005
10. SIEMENS, LOGO 05000
11. Telemecanique, Manual electrotécnico, Junio 1999
12. Ing. Luis Delfín Rojas Purón, Accionamiento Eléctrico Asíncrono para Transporte Eficiente de Pulpa Laterita. Tesis de Doctorado. Ciudad de la Habana del 2006.
13. Clement Johnson, Propuesta de Sistema de Suministro Para La Instalación de Bombeo de Pulpa Laterita a escala Semi-industria en el ISMM. Tesis en Opción al Título de Ingeniero Eléctrico. Junio 2007
14. Luis D. Rojas, Mario Morera, Ángel Columbié, Identification de accionamiento de motor de inducción con bomba centrífuga usando lógica difusa. Trabajos Teórico Experimentales. *Energética* Vol. XXV, No. 3/2004.
15. Universidad Carlos III de Madrid, Sensor Óptico Para El Control de Nivel de Liquido
16. Ingeniero Eric Serra, Introducción a Los Sensores y Elementos de Gobierno de Autómatas.
17. Marco Antonio Pérez Cisneros, James Vernon, Controlador Lógico Programables

Web Sitios

1. www.ad.siemens.de/simatic
2. <http://bombascentrifugas.info-tecnica.org/>
3. http://cidra.com/document_library/BI0067sp_App_Note_Hydrotransport_Slurry.
4. <http://www.scribd.com/doc/95844/PLCBook?query2=control+by+using+plc.pdf>
5. <http://www.plcs.net>
6. <http://www.ieeecss.org/>
7. <http://www.easydeltav.com/>
8. <http://www.automation.com/>
9. <http://www.abb.com/>
10. <http://pacontrol.johnshaw.hop.clickbank.net/>
11. <http://www.yokogawa.com/>
12. <http://www.honeywell.com/sites/acs/>
13. <http://support.automationdirect.com/technotes.html>
14. [http://olmo.pntic.mec.es/jmarti50/descarga/automatas.html\(siemens\)](http://olmo.pntic.mec.es/jmarti50/descarga/automatas.html(siemens))
15. http://apuntes.rincondelvago.com/trabajos_global/industria_materiales/2/
16. <http://www.control-systems-principles.co.uk>
17. <http://openbookproject.net//electricCircuits/>
18. [http://es.wikipedia.org/wiki/Bomba_\(hidráulica\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Bomba_(hidráulica))
19. <http://www.inoxpa.com/es/1/componentes.html>
20. <http://bombascentrifugas.info-tecnica.org/content/view/30/27/>
21. <http://bombascentrifugas.info-tecnica.org/content/view/12/33/>
22. <http://www.barn.org/index.htm>

Anexos

<u>Componente</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Precio (US\$)</u>	<u>Total(US\$)</u>
Válvulas solenoide	9	89*9	801
Sensor de temperatura	4	367*4	1 468
Sensor se nivel	2	641*2	1 282
Sensor de presión	2	#	#
PLC	1	#	#
Motor de Inducción 55 kW, 440 V	1	13 200	13 200@
Motor de Inducción 5 kW, 440V.	1	2 500	2 500@
Bomba Centrifuga 160 m ³ /h 1200 rpm	1	12 000	12 00@
Bomba Centrifuga 60 m ³ /h 1200 rpm	1	2100	2100@
Contactores	3	28*3	84
Variador de velocidad		9 750	9 750@
Motor starter	3	434*3	1 302
Relés de sobrecarga	3	8*3	24
Start/stop pushbutton	3	15.57	46.71
Transmisor inteligente de densidad y concentración	1	720	720
Costo total			5727.71

Tabla 1 Resumen de costos

- significa que el elemento ya está comprado pero se ha encontrado su precio

@- significa que el elemento ya está comprado