



Ministerio de Educación Superior
Facultad de Metalurgia Electromecánica
Departamento de Eléctrica

Trabajo de Diploma

Tesis en opción al título de Ingeniero Eléctrico

Titulo: Estación experimental para diagnósticos de hidrotransporte por patrones difusos asistido por PLC en el ISMM de Moa



Autor: Erikson Hafeni Shalongo Nghitwikwa

Tutores: Dr. Luis Delfín Rojas Purón
Dpto. Ingeniería Eléctrica
ISMM, Moa, Holguín

Dr. Raúl Izquierdo
Dpto. Ingeniería Mecánica
ISMM, Moa, Holguín

“Moa, Holguín, Año 2010”
“Año 52 de la Revolución”



Declaración de Autoridad

Yo, Erikson Hafeni Shalongo Nghiitwikwa, el autor de este trabajo de diploma titulado “Estación experimental para diagnósticos de hidrotransporte por patrones difusos asistida por PLC en el ISMM de Moa”, certifico la propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa a hacer uso del mismo con la finalidad académica que estime conveniente.

.....
Erikson Hafeni Shalongo Nghiitwikwa

Autor

.....
Dr. Luis Delfín Rojas Purón

Tutor

.....
Dr. Raúl Izquierdo

Tutor



AGRADECIMIENTOS

Primeramente debo decir gracias a Dios por sus bendiciones maravillosas. Gracias a mis padres Onesmus y Olivia Nghitwikwa que tuvieron un sueño de tener un hijo profesional, muchísima gracias por todo sus esfuerzos y sacrificios que han hecho para que yo sea como soy hoy. Gracias a todos mis hermanos que han estado siempre a mi lado, especialmente mi hermana Ritha Ndapwa Nghitwikwa que ha sido valiente y útil durante todo el tiempo de mis estudios.

Gracias al gobierno Namibiano y Cubano por sus convenio para que yo realizara mis estudios aquí en Cuba. A mi mejor amigo Absai Vali Mbanja, gracias por todo lo que has hecho. Shilongo, Moses, Mohato, Samantha y D, gracias por compartir momentos inolvidables. A Phillipus Rainbow, desde la preparatoria hasta quinto año, cuento con su apoyo y puedo decir que sí lo logramos. A Nelvis Cuesta y Alfonso gracias por sus apoyos durante nuestros estudios. A todos los compatriotas Namibios que he compartido durante mis estudios aquí en ISMM, quienes de una u otra forma han contribuido a mi profesionalidad. A mis compañeros del aula, especialmente Roger “El Chino”, hemos estado en la batalla por mucho tiempo y al fin lo hicimos, gracias por la información compartida. A la familia de Feliú, gracias por su amor y el apoyo que me han brindado.

Muchas gracias al Ingeniero Rodelbis Justiz Peña por su valiente esfuerzo no solo para que mi trabajo saliera bien, si no también por enseñarme todo lo que no sabía, muchas gracias. A mis tutores Dr. Luis Rojas Purón y Dr. Raul Izquierdo por todo sus consejo y orientación durante la realización de este trabajo y en mi formación como ingeniero eléctrico. Va también mi agradecimiento al Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, al Departamento de Ingeniería Eléctrica especialmente todos mis profesores desde el primer año hasta quinto.



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia entera, a mis padres Mr. Onesmus y Mrs. Olivia Nghiitwikwa. A mi padre, tu agraciaste mi vida y llenaste la familia entera con la alegría, amor, paz y felicidad. Hiciste el mundo especial estando en él. Aunque hoy no estás con nosotros, yo acariciaré los recuerdos que dejaste atrás con la afición y sonrisas para siempre. Dedico este trabajo a ti, ¡Te quiero Pa!



PENSAMIENTO

Nuestras limitaciones y nuestros éxitos estarán basados con frecuencia en nuestras expectativas respecto a nosotros mismos. Lo que la mente cree, el cuerpo lo transforma en resultados.

—Denis Waitley

Nunca puede resolverse un problema en el mismo nivel de conocimiento en el que ha sido creado.

—Albert Einstein



Resumen

Debido a la ausencia de un programa supervisor actualizado, que garantice las operaciones adecuadas en el trabajo de la instalación experimental de hidrotransporte del ISMM de Moa, que es utilizada por varios investigadores en el área de la energía, el hidrotransporte y la eficiencia se hizo este trabajo. Para esto se implementa un sistema SCADA a través del CICTEC, asistido por un autómatas programable de SIEMENS S7-300.

Se elabora una base de datos a partir de mediciones experimentales desde la instalación, y se expone un sistema informativo que mantiene actualizado el comportamiento de las variables del sistema.

Otra contribución del trabajo es la construcción desde el MATLAB de un bloque supervisor que evalúa la eficiencia para diferentes condiciones del trabajo de todo el accionamiento de la bomba centrífuga usando la técnica inteligente. Para esto se hace uso de una metodología de evaluación de la eficiencia a partir de indicadores técnico-económicos a través de un sistema experto de control difuso.

Abstract

Due to the lack of an actualized supervisory program that guarantees an adequate operation of the experimental hydro transportation plant located in the ISMM Moa, which is used extensively by investigators in areas of energy and efficiency, the following work is elaborated. To complete the task of developing such a supervisory program (SCADA), CITECT programming software was used which is assisted by a SIEMENS Simatic S7-300 Programmable logic controller.

A data base was made from the experimental data obtained from the installation and put into an actualized informative system of behavioral characteristics of the system's variables. Another contribution to the work is the construction of supervisory blocks from MATLAB that evaluate the efficiency of different working conditions for all electric drives using artificial intelligence. For this, a methodology of evaluating the efficiency is made considering technical-economic indicators through an expert system of fuzzy control.



INDICE

Introducción General.....	1
Problema	2
Hipótesis.....	2
Objetivo	2
Resultados esperados.....	2
Capítulo I: Instalación experimental de hidrotransporte del ISMMM	3
1.1 Introducción.....	3
1.2 Metodología de la Investigación	3
1.3 Marco Teórico	4
1.4 Descripción de la instalación experimental de hidrotransporte.	5
1.5 Estructura técnica.....	7
1.6 Elementos eléctricos de la instalación experimental	7
1.6.1 Arrancadores	7
1.6.2 El seccionamiento.....	8
1.6.3 La protección contra cortocircuitos y sobrecargas.....	8
1.6.4 La conmutación	9
1.7 Instalación Eléctrica	9
1.8 Sistema eléctrico de potencia.....	10
1.9 Modelo matemático para el control del motor de inducción	10
1.10 Ecuaciones para el Subsistema Hidráulico	11
1.11 Conclusiones Parciales	13
Capítulo II: Fundamentos sobre Autómatas programables industriales	14
2.1 Introducción.....	14
2.2 Definición de un autómata programable.....	14
2.3 Campos de aplicación	15
2.4 Estructura de un autómata programable	17
2.4.1 Estructura externa	17



2.4.2 Estructura interna	18
2.5 Operación básica de un PLC	23
2.6 Ventajas e inconvenientes de los PLC's.....	23
2.7 Programación de un PLC	24
2.8 Funciones generales	24
2.9 Funciones especiales.....	25
2.10 Lenguajes de Programación de los PLC	25
2.10.1 Lenguaje de programación KOP (esquema de contactos)	26
2.10.2 Lenguaje de programación FUP (diagrama de funciones).....	27
2.10.3 El lenguaje de programación AWL (lista de instrucciones)	27
2.10.4 Lenguaje de programación S7-CFC	28
2.10.5 Lenguaje de programación S7-GRAPH (control secuencial)	28
2.10.6 Lenguaje de programación S7-HiGraph (grafo de estado)	29
2.10.7 El lenguaje de programación SCL (Structured Control Language),	30
2.11 Organización de tareas	30
2.12 Bloques de funciones	30
2.13 Tipos de módulos	30
2.14 PLC de SIEMENS	31
2.14.1 Simatic S7-200	31
2.14.2 Simatic S7-300	31
2.15 Conclusiones Parciales	32
Capítulo III: Supervisor asistido por Simatic S7-300	34
3.1 Introducción.....	34
3.2 Sensores	34
3.2.1 Sensores de presión.....	35
3.2.2 Sensor de nivel	36
3.2.3 Sensores de Velocidad	36



3.2.4 Sensores de Densidad (Transmisor de densidad y concentración).....	36
3.2.5 Sensor de Temperatura	38
3.3 Válvulas de Solenoide	38
3.4 Flujómetro SITRANS F	39
3.5 Un PLC de Siemens (Simatic S7-300)	39
3.5.1 CPU 315-2 DP	39
3.5.2 Módulos de entrada/salidas digitales	40
3.5.3 Módulos de entrada/salidas analógicas	41
3.5.4 Fuente de alimentación de carga para el S7-300	42
3.6 Programar el autómatas en Simatic Step 7	43
3.6.1 Configuración del Hardware	43
3.6.2 Programa en Simatic Step 7	45
3.6.3 Como definir y estructurar las tareas a controlar	46
3.6.4 Comunicación entre el dispositivo de la programación/PC y el PLC	47
3.7 Montaje del PLC S7-300	49
3.8 PC/Visualizadores	50
3.9 Conclusiones parciales	50
Capítulo IV: Programa supervisor experto del sistema.....	51
4.1 Introducción.....	51
4.2 Software Citect.....	51
4.3 Sistemas SCADA	51
4.4 Requisitos para la instalación de SCADA	52
4.5 Módulos de un SCADA.	53
4.6 Esquema del SCADA para la instalación experimental del ISMM.....	53
4.7 Conclusiones parciales	56
Capítulo V: Técnicas de inteligencia artificial	57
5.1 Introducción.....	57



5.2 Técnicas de inteligencia artificial	57
5.3 Lógica Difusa.....	58
5.4 Controlador difuso del motor de inducción	60
5.4.1 Esquema del controlador difuso	62
5.4.2 Resultados.....	63
5.5 Conclusiones Parciales	66
Capítulo VI: Evaluación técnico-económica del trabajo.....	67
6.1 Introducción.....	67
6.2 Análisis de las eficiencias de los motores de inducción.....	67
6.2 Costos	70
Conclusiones Generales	71
Recomendaciones	72
Bibliografía	73
ANEXOS GRÁFICOS.....	75
ANEXOS TEXTUALES	80



Introducción General

La instalación experimental de hidrotransporte en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMM) es una reflexión de la instalación de hidrotransporte de minerales en la planta de lixiviación de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. Esta instalación es utilizada por varios investigadores en el área de la energía y la eficiencia, específicamente los estudios de pérdidas hidráulicas en distintas tuberías.

Hoy en día es evidente que una industria que no está automatizada es menos eficiente y con ese razonamiento el siguiente trabajo propone un sistema automático para el mejoramiento de la instalación experimental de transporte de pulpa laterítica localizado adentro del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Este trabajo consiste en un programa supervisor de SCADA asistido por un autómatas programable de SIEMENS que a través de él mismo, la operación de la instalación experimental se controla automáticamente y a la vez se visualiza el estado del proceso. También se propone un sistema automatizado controlado mediante un controlador difuso desde el MATLAB asistido por una autómatas programable de Siemens.

Cuando un sistema industrial esta automatizada se hace más fácil medir y controlar sus parámetros, estos sistemas reducen la posibilidad del error humano, son más fáciles de usar y en la mayoría de los casos se hayan más baratos que los sistemas antiguos que emplean sistemas con tableros de mando.



Problema

La ausencia de un programa para supervisar de forma automática, el funcionamiento eficiente de la instalación experimental de hidrotransporte de pulpa laterítica del ISMM de Moa.

Hipótesis

Con la identificación de las variables y los eventos que tienen lugar en la instalación experimental de hidrotransporte de pulpa laterítica del ISMM de MOA, es posible implementar un programa supervisor a través de un PLC, que asista el funcionamiento eficiente del sistema.

Objetivo

Elaborar un programa supervisor mediante un PLC para la explotación eficiente de la instalación experimental de hidrotransporte del ISMM de Moa, adicionando acciones expertas con el uso de alguna de las técnicas de inteligencia artificial.

Resultados esperados

- Elaborar la matriz de variables que toman parte en el funcionamiento de la instalación experimental de hidrotransporte del ISMM de Moa.
- Ofrecer un programa para la supervisión de la instalación experimental de hidrotransporte del ISMM de Moa.
- Brindar una base experimental bien ordenada que permita elaborar un sistema inteligente de supervisión del sistema.
- Desarrollar un caso de estudio para la validación del sistema experimental.



Capítulo I: Instalación experimental de hidrotransporte del ISMMM

1.1 Introducción

Este capítulo cumple la misión de transferir una breve descripción de la instalación para el transporte de pulpa laterítica localizada en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Doctor Antonio Núñez Jiménez” (ISMM), con el objetivo de inducir una aprehensión de la función del programa supervisor para que los elementos de la instalación sean controlado automáticamente con señales digitales.

1.2 Metodología de la Investigación

La metodología utilizada para el desarrollo de la investigación, sigue varias etapas de trabajo que se presentan a continuación y no difiere en su esencia de la metodología de investigación clásica utilizada para estudios de sistemas a controlar en procesos industriales, sólo que al aplicarla en un proceso real (accionamiento eléctrico de bomba centrífuga de transporte de pulpa laterítica) de cierta complejidad con peculiaridades específicas en más de un objeto, resulta de interés su desarrollo.

Primera etapa: Preliminar ó inicial de la investigación empírica. El primer paso lo constituyó la selección de la planta y el accionamiento objeto de la investigación, debido a su importancia desde el punto de vista energético, metalúrgico y económico, lo cual fue imposible separar de otros objetos presentes en el área de influencia de esta, garantizando que quedaran reflejados todos los agregados que fueran afectados directa o indirectamente. De esta forma quedó definido como objeto de la investigación el sistema de accionamiento eléctrico de bomba centrífuga que transporta pulpa laterítica.

Se determinaron los métodos a aplicar en la fase inicial tales como la revisión bibliográfica, encuestas, revisión de la documentación técnica de la planta y de los accionamientos, manuales de operaciones, trabajos investigativos específicos, trabajos de campo destinados a la observación del trabajo de la planta y de los accionamientos, así como también la revisión de los trabajos precedentes que se estableció como la base teórica que sustenta la investigación para que de esta forma, seleccionar los materiales primarios.

Segunda etapa: Consiste en una investigación profunda de los autómatas programables, donde se establece los principios de funcionamiento de los autómatas programables, las



diferentes aplicaciones en que se puede implementar los mismos. Se ha hecho también un análisis de porque esta preferido usar estos sistemas en comparación con los sistemas antiguos.

Tercera etapa: tiene que ver con la elaboración de un programa supervisor experto que a través de un PLC ayudado por el software necesario (programación en CITECT) se lo hace posible controlar las diferentes variables del sistema transportador de pulpa laterítica del Instituto Superior Minero Metalúrgico de MOA.

1.3 Marco Teórico

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 [8][*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 la potencia de entrada (P_e) 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 hidro-mezcla 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 transmitir 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 (1.1):

$$M_c = f(w, \Delta p, Q) = f(w, H, Q, r) \quad [1.1]$$

Donde:

M_c = Momento de carga

f = frecuencia de línea

w = Velocidad angular de rotación del motor

Δp = Variación de presión (diferencia entre la presión de succión y el de impulsión)

Q = Es el caudal o gasto desarrollado por la bomba, $[m^3/s]$

H = Es la altura de carga desarrollada por la bomba, $[m]$

1.4 Descripción de la instalación experimental de hidrotransporte.

La instalación consta de un tanque (TK1) de $4 m^3$, para almacenar la pulpa a diferentes concentraciones de sólidos [3][Clement Johnson, 2007], dos motores de inducción (M1) y (M2), dos bombas centrífuga (B1) y (B2) que forman el sistema de bombeo del fluido por toda la tubería pasando por un flujo metro (FIT), el tubo Ventuari, 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 separados por longitudes de tubos de 14.5 m. El drenaje del sistema se realiza por la válvula 5, mientras que la regulación se realiza por las válvulas 3 y 4. En el anexo 1 aparece reflejada la fotografía de la instalación para una mejor comprensión de la misma.

Los puntos MN1, MN2, MN3 y MN4 (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.), mientras MN5 y MN6 son para la medición de presión de succión e impulsión respectivamente. El tanque TK1, posee un volumen de 4 m³. La bomba B2 tiene una capacidad de 160 m³/h, y la bomba B1 es de 60 m³/h. Durante la toma de datos experimentales, la instalación opera en circuito cerrado (succión, impulsión y tanque). La limpieza se logra con el trabajo de la instalación en circuito abierto (succión, impulsión y drenaje) a través de la válvula 5. 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 flujo-metro electromagnético FIT.

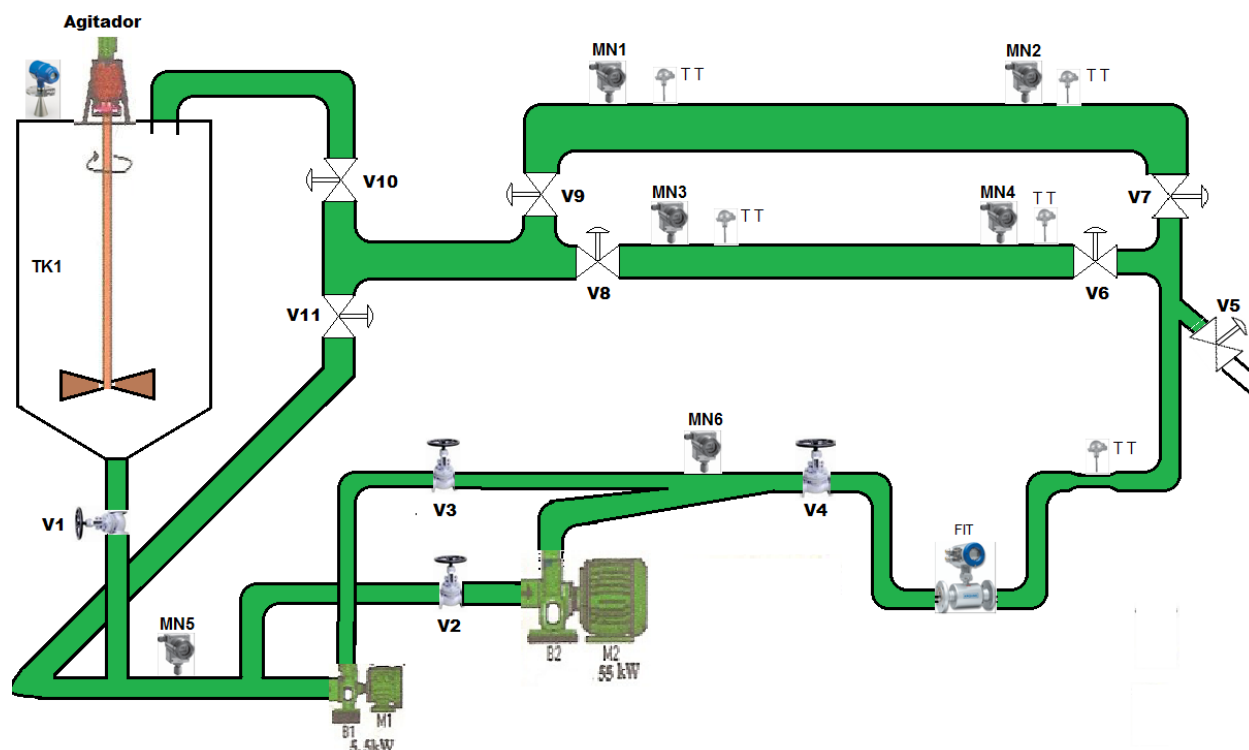


Figura 1.1: Esquema propuesta de la instalación

Las pérdidas de presión en la zona a investigar se miden con transmisores de 0-5 mA, los cuales captan la presión, la transforman en energía eléctrica, y envían la señal para el registrador central, el cual da la información de los valores de presión medido en cada punto. El esquema propuesto de la instalación se muestra en la figura (1.1)



1.5 Estructura técnica

La instalación cuenta con:

- Un recipiente/tanque de pulpas a diferentes densidades.
- Dos (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).
- Tuberías 100 mm, 150 mm de diámetro.
- Válvulas de estrangulamiento de tornillos.
- Medición del gasto o caudal mediante un flujómetro indicador (m^3/h).
- Puntos de medición de presión (kg/cm^2)
- Indicadores de temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
- Medición de densidad mediante el densímetro (kg/m^3)

1.6 Elementos eléctricos de la instalación experimental

El accionamiento eléctrico tiene los siguientes elementos principales;

- Fuente Inversora Sinusoidal (VSI en inglés) con modulación PWM por ancho de pulsos, de SIEMENS (actualmente fuera de servicio).
- Motor de inducción trifásica (M2). Datos de chapa (440 V, 60 Hz, 1769 rpm, 55 kW)
- Motor de inducción trifásica (MI). Datos de chapa (220 V, 60 Hz, 1745 rpm, 5.5 kW)
- Motor agitador
- Bomba centrifuga BC (rodete cerrado = $160\text{m}^3/\text{h}$, $H=40\text{m}$, 1760 rpm)
- Bomba centrifuga BC (rodete cerrado = $60\text{m}^3/\text{h}$, $H=15\text{m}$, 1730 rpm)
- 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

1.6.1 Arrancadores

Los arrancadores reúnen los elementos necesarios para controlar y proteger los motores eléctricos. De la elección de éstos depende del rendimiento de toda la instalación: nivel de protección, funcionamiento con velocidad constante o variable, etc.

El arrancador garantiza las siguientes funciones:



- Seccionamiento
- Protección contra cortocircuitos y sobrecargas
- Conmutación

1.6.2 El seccionamiento

Es necesario disponer de medios que permitan aislar eléctricamente los circuitos de potencia y de control de la red de alimentación general para manipular las instalaciones o las máquinas y sus respectivos equipos eléctricos con total seguridad. Esta función, llamada seccionamiento, corresponde a:

- ✓ **Aparatos específicos:** seccionadores o interruptores seccionadores,
- ✓ **Funciones de seccionamiento integradas** en aparatos con funciones múltiples.

1.6.3 La protección contra cortocircuitos y sobrecargas

Todos los receptores pueden sufrir accidentes, de origen eléctrico y mecánico;

- sobretensión, caída de tensión, desequilibrio o ausencia de fases que provocan un aumento de la corriente absorbida,
- cortocircuitos cuya intensidad puede superar el poder de corte del contactor.
- calado del rotor, sobrecarga momentánea o prolongada que provocan un aumento de la corriente que absorbe el motor, haciendo que los bobinados se calienten peligrosamente. Con el fin de que dichos accidentes no dañen los componentes ni perturben la red de alimentación, todos los arrancadores deben incluir obligatoriamente:

- ✓ **Protección contra los cortocircuitos;** para detectar y cortar lo antes posible las corrientes anómalas superiores a $10 I_n$,
- ✓ **protección contra las sobrecargas;** para detectar los aumentos de corriente hasta $10 I_n$ y cortar el arranque antes de que el recalentamiento del motor y de los conductores dañe los aislantes.

Si es necesario, se pueden añadir protecciones complementarias como el control de fallos de aislamiento, de inversión de fases, de temperatura de los bobinados, etc. Esta protección corresponde a:

- ✓ **Aparatos específicos:** seccionadores portafusibles, disyuntores, relés de protección y relés de medida,
- ✓ **Funciones específicas integradas;** en los aparatos de funciones múltiples.

1.6.4 La conmutación

La conmutación consiste en establecer, cortar y, en el caso de la variación de velocidad, ajustar el valor de la corriente absorbida por un motor. Según las necesidades, esta función puede realizarse con aparatos;

- ✓ **electromecánicos:** contactores, contactores disyuntores y disyuntores motores,
- ✓ **electrónicos:** relés y contactores estáticos, arrancadores ralentizadores progresivos, variadores y reguladores de velocidad.

1.7 Instalación Eléctrica

La instalación semi-industrial ubicada en el ISMM es alimentada desde el banco de transformadores del área docente compuesta por dos transformadores monofásicos de 50 kVA, con una conexión estrella con punto neutro a tierra – delta. Se alimenta de una línea primaria de 13.2 kV y suministra por el secundario 0.24 kV. La corriente nominal a la salida de los transformadores es de 208.3 A.

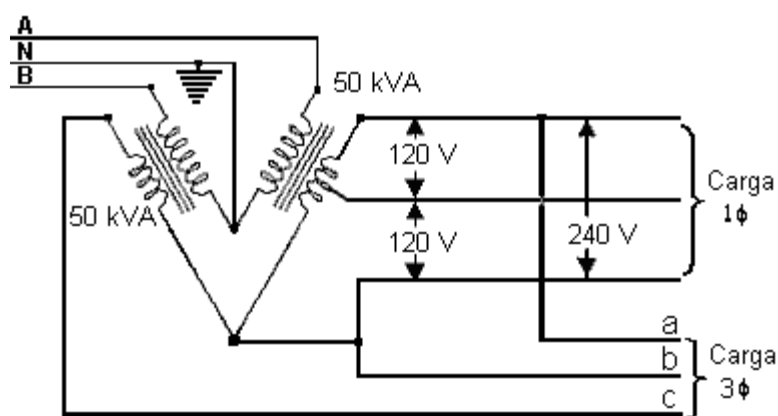


Figura 1.2: Esquema eléctrico de la conexión del banco de los transformadores docente.

1.8 Sistema eléctrico de potencia

Alimentado directamente desde el banco de los transformadores que se encuentra unos metros de la instalación, el sistema tiene un interruptor principal para proteger los elementos eléctricos en caso de avería.

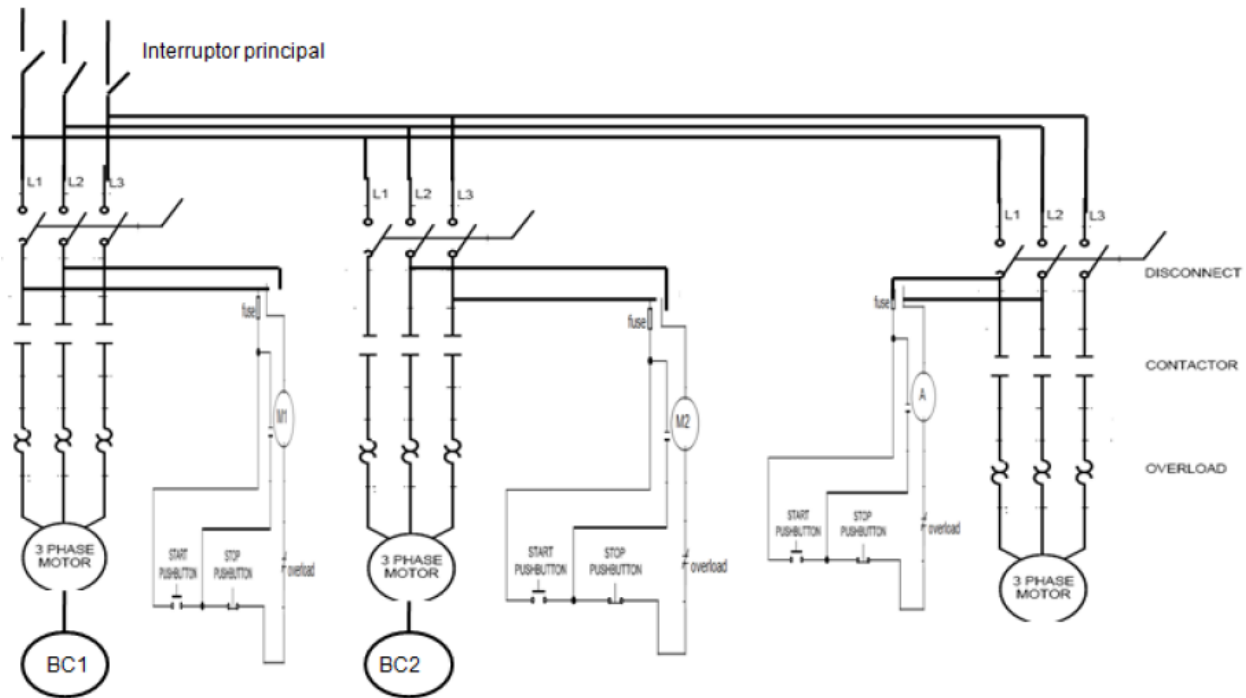


Figura 1.3: Esquema del sistema de potencia de la instalación

1.9 Modelo matemático para el control del motor de inducción

Las ecuaciones del motor de inducción esta basadas en la Teoría del Campo Orientado, que consiste en escribir en formas de vectores los componentes de flujos magnéticos y corrientes de la máquina de inducción tomando como referencia los parámetros del estator de la máquina. Teniendo el conocimiento de los vectores de la corriente, flujo magnético y la velocidad, fue posible formalizar el modelo generalizado del motor de inducción donde es posible escribir a partir del sistema trifásico las variables en un eje de cuadratura en los ejes dd y qq para aproximar la cualidad del motor de inducción a la de un motor de corriente directa que tiene sus componentes en cuadratura o sea, de forma (α, β) a (dd, qq) .

$$U_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d}{dt} \varphi_{qs} + \omega_e \varphi_{ds} \quad [1.2]$$



$$U_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d}{dt} \varphi_{ds} - \omega_e \varphi_{qs} \quad [1.3]$$

$$T_e = 1.5 p \frac{L_m}{L_r} (\varphi_{dr} i_{qs} - \varphi_{qr} i_{ds}) \quad [1.4]$$

$$\varphi_{ds} = L_s i_{ds} + L_m i_{dr} \quad [1.5]$$

$$\varphi_{qs} = L_s i_{qs} + L_m i_{qr} \quad [1.6]$$

$$\varphi_{dr} = L_r i_{dr} + L_m i_{ds} \quad [1.7]$$

$$\varphi_{qr} = L_r i_{qr} + L_m i_{qs} \quad [1.8]$$

Donde;

p : Número de 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 del motor 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]

$\varphi_{ds}, \varphi_{qs}$: Flujos magnéticos en el estator en los ejes dd-qq [Wb]

$\varphi_{dr}, \varphi_{qr}$: Flujos magnéticos en el rotor en los ejes dd-qq [Wb]

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

L_m : Inductancia mutua del motor eléctrico [mH]

σ : Llamado coeficiente de Blonde

1.10 Ecuaciones para el Subsistema Hidráulico

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

$$Q_b = \Omega_b (w) \quad [1.9]$$

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

$$Q_b = K_1 \Delta p \quad [1.10]$$



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.

$$M_c = f(w_r \cdot \Delta p \cdot Q \cdot \rho) = f(w \cdot H \cdot Q \cdot \rho) \quad [1.11]$$

Descripción de las variables

f = frecuencia de línea

w_r = Velocidad angular de rotación del rotor

Δp = Variación de presión (diferencia entre la presión de succión y el de impulsión)

Q = Es el caudal o gasto desarrollado por la bomba, [m³/s]

ρ = Densidad del fluido transportado por la bomba, [kg/m³]

H = Es la altura de carga desarrollada por la bomba, [m]

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:

$$M_{sm} = J \frac{dw}{dt} + M_c(w_r) + Bw_r \quad [1.12]$$

M_{sm} : 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]

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

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



1.11 Conclusiones Parciales

La instalación experimental tiene todos los recursos de equipos e instrumentos para implementar un sistema supervisor y control a través del acondicionamientos de las señales de los sistema eléctrico y mecánico.

El algoritmo de la ejecución de los experimentos es complejo y necesita de un sistema automatizado.

Desde el punto de vista teórico el sistema de hidrotransporte debe seguir varias reglas físicas todas las cuales han sido presentadas para lograr un funcionamiento eficiente.

Los motores de inducción siguen ciertas relaciones matemáticas las cuales describen todas sus características de trabajo, de la relación entre sus corrientes y tensiones hasta la dependencia del torque electromagnético desarrollado.

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 y la densidad de fluido.

Capítulo II: Fundamentos sobre Autómatas programables industriales

2.1 Introducción

En este capítulo se hace una descripción general sobre los autómatas programables industriales y con más detalles los de la marca de SIEMENS. Se presentará también las características del autómata Simatic S7-315 2DP el cual como propuesta será utilizado en la estación experimental de hidrotransporte del Instituto.

2.2 Definición de un autómata programable

Hasta no hace mucho tiempo el control de procesos industriales se hacía de forma cableada por medio de contactores y relés. Al operario que se encontraba a cargo de este tipo de instalaciones, se le exigía tener altos conocimientos técnicos para poder realizarlas y posteriormente mantenerlas. Además, cualquier variación en el proceso suponía modificar físicamente gran parte de las conexiones de los montajes, siendo necesario para ello un gran esfuerzo técnico y un mayor desembolso económico.

En la actualidad, no se puede entender un proceso complejo de alto nivel desarrollado por técnicas cableadas. El ordenador y los autómatas programables han intervenido de forma considerable para que este tipo de instalaciones se hayan visto sustituidas por otras controladas de forma programada.

El Autómata Programable Industrial (API) nació como solución al control de circuitos complejos de automatización. Por lo tanto se puede decir que un API no es más que un aparato electrónico que sustituye los circuitos auxiliares o de mando de los sistemas automáticos.

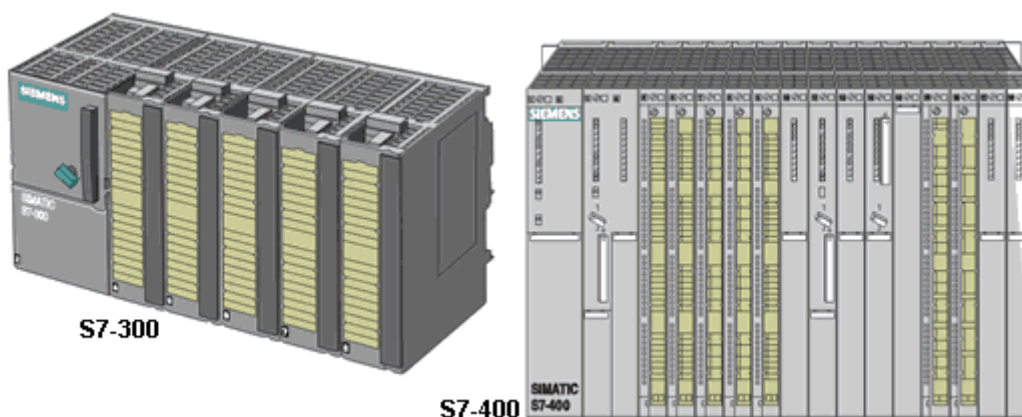




Figura 2.1: Esquema de los autómatas programables, el S7-300 y S7-400

El Autómata Programable o PLC (*Programmable Logic Controller*) no es más que un aparato electrónico que utiliza circuitos integrados en lugar de los dispositivos electromecánicos a llevar a cabo las funciones de mando. Un PLC supervisa las entradas, toma decisiones basadas en su programa, y controla las salidas para automatizar un proceso o máquina.

Los PLC son capaces de guardar instrucciones para hacer funciones como; secuenciar, temporizar, contar, aritmética, manipulación de datos, comunicación, controlar las máquinas industriales y procesos.

2.3 Campos de aplicación

La mejor opción para el control de procesos industriales es el empleo de autómatas programables. Estos aparatos se basan en el uso de un micro-controlador para el manejo de las entradas y salidas.

La gran mayoría de los procesos industriales requieren algún tipo de control. La necesidad de automatizar estas funciones de control puede ser llevada a cabo de muy diferentes formas: a base de cuadros de relés, contactores, etc. Lamentablemente, cualquier modificación en este tipo de sistemas de control suponía gran esfuerzo técnico y económico, y más todavía si estos cambios eran frecuentes. Además se debe tener en cuenta que la mayoría de estos elementos son dispositivos mecánicos y poseen una vida limitada que requiere una estricta manutención. Por otra parte, estos sistemas suponen un conexionado complejo cuando existen gran cantidad de elementos, lo que implica un enorme esfuerzo de diseño, mantenimiento y resulta una gran embolso.

Con el objetivo de solucionar, o al menos reducir, estos inconvenientes se elaboraron los autómatas, que permiten cambiar la funcionalidad del control del proceso industrial sin más que cambiar el programa, ya que gran parte de los componentes necesarios como relés auxiliares, temporizadores, etc. se encuentran implementados en la programación interna de él. Además, en los casos en que las modificaciones superen la capacidad del sistema, es posible agregar módulos de ampliación que permitan cumplir con las nuevas exigencias.

La memoria del aparato contendrá tanto el programa de usuario que se le introduzca como el sistema operativo, que permite ejecutar secuencialmente las instrucciones del programa. Opcionalmente, en la mayoría de los autómatas, también se incluyen una serie de funciones pre-implementadas de uso general como reguladores PID, control de posición, etc.

Aplicaciones generales:

- Maniobra de máquinas.
- Maniobra de instalaciones.
- Señalización y control.

Un autómata programable suele emplearse en procesos industriales que tengan una o varias de las siguientes necesidades:

- Espacio reducido.
- Procesos de producción periódicamente cambiantes.
- Procesos secuenciales.
- Maquinaria de procesos variables.
- Instalaciones de procesos complejos y amplios.
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso.

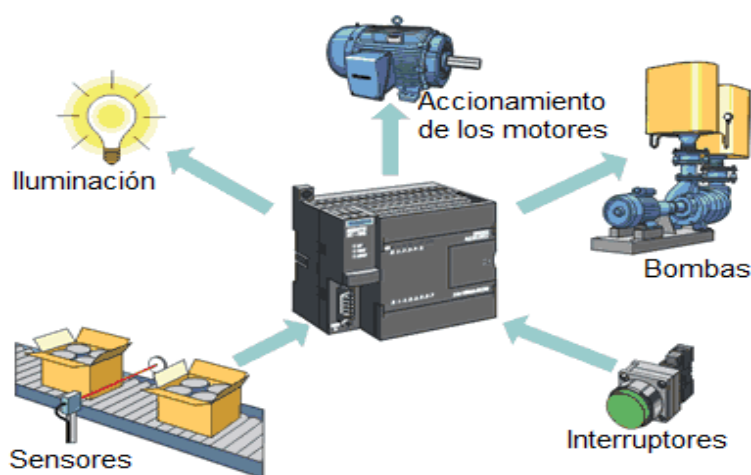


Figura 2.2: Campos de aplicación de los autómatas

Lo anteriormente se refiere a los autómatas programables industriales, dejando de lado los pequeños autómatas para uso más personal (que se pueden emplear, incluso, para automatizar procesos en el hogar, como la puerta de un cochera o las luces de la casa).

2.4 Estructura de un autómata programable

2.4.1 Estructura externa

Existen dos estructuras básicas para los autómatas programables:

Compacta: consiste en una única pieza en la que se integran todos los elementos.

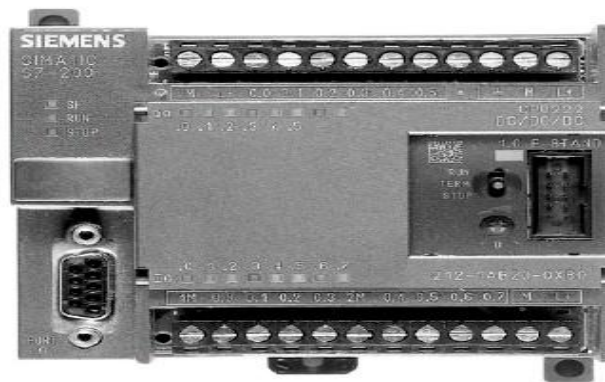


Figura 2.3: Estructura externa (compacta) de un PLC Siemens S7-200

Modular: en los que la CPU, la fuente de alimentación, las entradas, las salidas, etc. son cada una un módulo que se elige en función de la aplicación requerida.

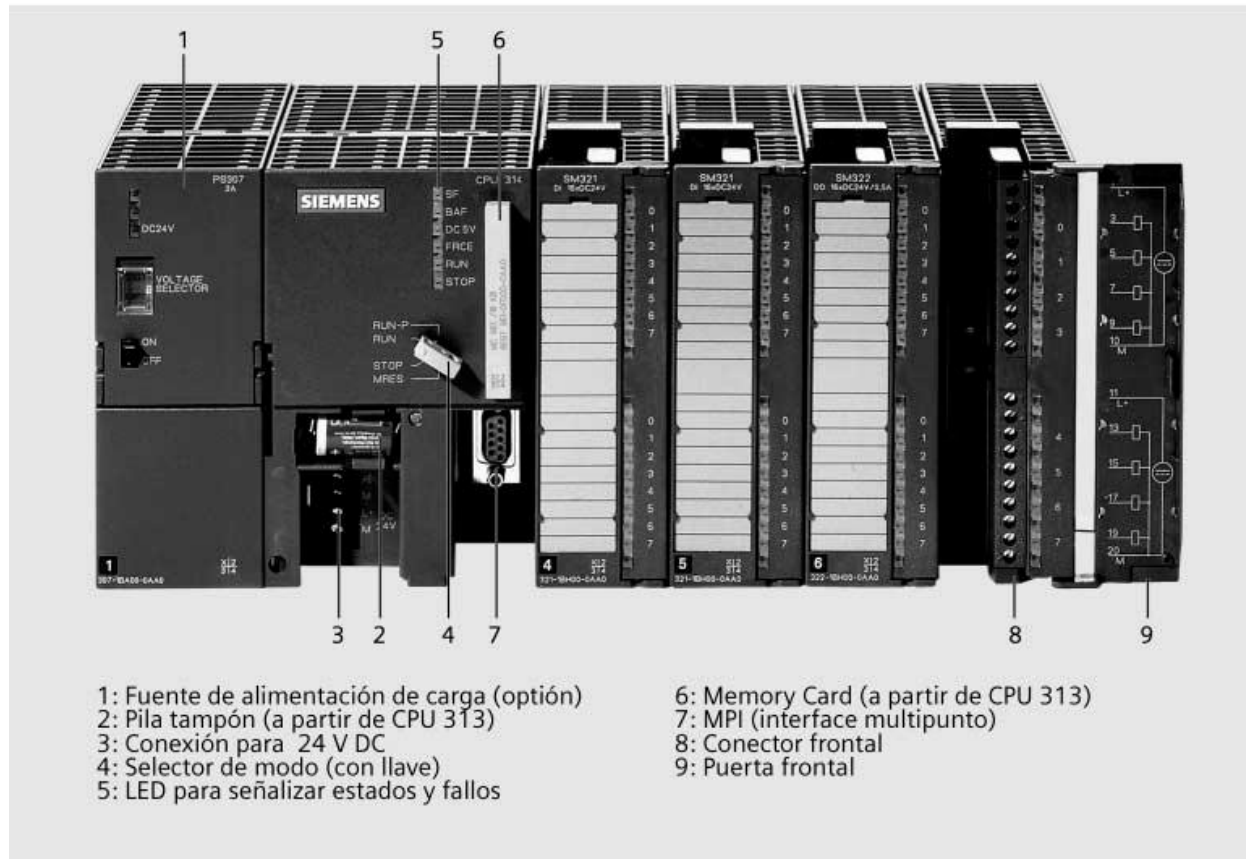


Figura 2.4: Estructura externa (modular) de un PLC Siemens S7-300

Los micro-autómatas suelen venir sin caja, en formato kit, ya que su empleo no es determinado y se suele incluir dentro de un conjunto más grande de control o dentro de la misma maquinaria que se debe controlar.

2.4.2 Estructura interna

Los elementos esenciales, que todo autómata programable posee como mínimo, son:

- **Sección de entradas:** se trata de líneas de entrada, las cuales pueden ser de tipo digital o analógico. En ambos casos tienen unos rangos de tensión característicos, los cuales se encuentran en las hojas de características del fabricante. A estas líneas se conectan los sensores.
- **Sección de salidas:** son una serie de líneas de salida, que también pueden ser de carácter digital o analógico. A estas líneas se conectan a los actuadores.

- **Unidad central de proceso (CPU):** se encarga de procesar el programa de usuario que se le introduzca. Para ello se dispone de diversas zonas de memoria, registros, e instrucciones de programa.

Adicionalmente, en determinados modelos más avanzados, se puede disponer de funciones ya integradas en la CPU; como reguladores PID, control de posición, etc. Tanto las entradas como las salidas están aisladas de la CPU según el tipo del autómata.

Aparte de estos elementos también se dispone de los siguientes:

- Unidad de alimentación (algunas CPU la llevan incluida).
- Unidad o consola de programación: que permitirá introducir, modificar y supervisar el programa de usuario.
- Dispositivos periféricos: como nuevas unidades de E/S, más memoria, unidades de comunicación en red, etc.
- Interfaces: facilitan la comunicación del autómata mediante enlace serie con otros dispositivos (como un PC).

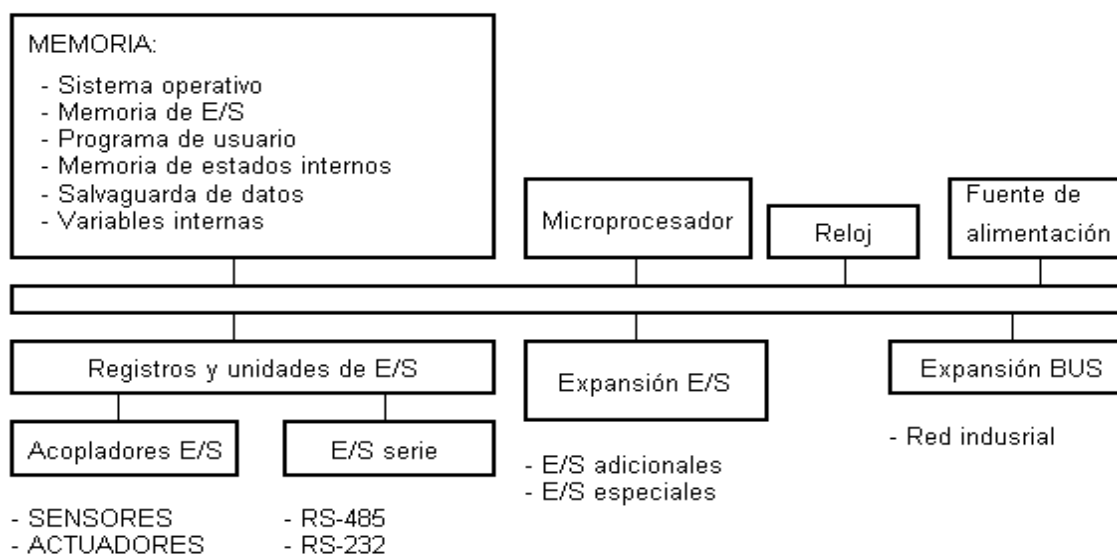


Figura 2.5: Estructura interna de un PLC

Unidad Central de Proceso (CPU)



La CPU es el corazón del autómatas programable. Es la encargada de ejecutar el programa del usuario mediante el programa del sistema (es decir, el programa de usuario es interpretado por el programa del sistema). Sus funciones son:

- Vigilar que el tiempo de ejecución del programa de usuario que no excede un determinado tiempo máximo (tiempo de ciclo máximo). A esta función se le suele denominar Watchdog (perro guardián).
- Ejecutar el programa de usuario.
- Crear una imagen de las entradas, ya que el programa de usuario no debe acceder directamente a dichas entradas.
- Renovar el estado de las salidas en función de la imagen de las mismas obtenida al final del ciclo de ejecución del programa de usuario.
- Chequeo del sistema.



Para ello el autómata va a poseer un ciclo de trabajo, que ejecutará de forma continua:

```
-----  
|Imagen de las| <--- Entradas  
|  entradas  |  
-----  
    ||  
    \/   
-----  
|Ejecución del|  
| Programa de |  
|  usuario   |  
-----  
    ||  
    \/   
-----  
|Imagen de las| ---> Salidas  
|  salidas    |  
-----  
    ||  
    \/   
-----  
|  WATCHDOG  |  
-----
```



Memoria

Dentro de la CPU se dispone de un área de memoria, la cual se emplea para diversas funciones:

- **Memoria de programa del usuario:** aquí se introduce el programa que el autómata va a ejecutar cíclicamente.
- **Memoria de la tabla de datos:** se suele subdividir en zonas según el tipo de datos (como marcas de memoria, temporizadores, contadores, etc.).
- **Memoria del sistema:** aquí se encuentra el programa en código máquina que monitoriza el sistema (programa del sistema o firmware). Este programa es ejecutado directamente por el microprocesador/microcontrolador que posea el autómata.
- **Memoria de almacenamiento:** se trata de memoria externa para almacenar el programa de usuario, suele ser de uno de los siguientes tipos: EPROM, EEPROM, o FLASH.

Cada autómata divide su memoria de esta forma genérica, haciendo subdivisiones específicas según el modelo y fabricante.

Unidades de Entrada y Salida (E/S) de datos

Generalmente las entradas y salidas (E/S) son de tipos digitales o analógicos. Las E/S digitales no conducen cualquier señal, sino poseen un nivel mínimo de tensión. Estas E/S se manejan a nivel de bit dentro del programa de usuario.

Las E/S analógicas poseen cualquier valor dentro de un rango determinado especificado por el fabricante. Se basan en conversores A/D y D/A aislados de la CPU (ópticamente o por etapa de potencia). Estas señales se manejan a nivel de byte o palabra (8/16 bits) dentro del programa de usuario.

Las E/S son leídas y escritas dependiendo del modelo y del fabricante, es decir pueden estar incluidas sus imágenes dentro del área de memoria o ser manejadas a través de instrucciones específicas de E/S.



2.5 Operación básica de un PLC

La entrada acepta una variedad de signos digitales o analógicos de varios dispositivos (los sensores) y los convierte en un signo lógica que puede usarse por el CPU. El CPU toma las decisiones y ejecuta instrucciones del mando basadas en las instrucciones del programa en la memoria. Los módulos de salida convierten las instrucciones de mando del CPU en un signo digital o analógico que puede usarse para controlar varios dispositivos (los actuadores). Un dispositivo de la programación se usa para entrar las instrucciones deseadas. Estas instrucciones determinan lo que el PLC hará para una entrada específica. Un dispositivo de interface de operador permite desplegar la información del proceso y los nuevos parámetros del mando sean entrados.

2.6 Ventajas e inconvenientes de los PLC's

La mayor ventaja es que si hay que variar el proceso basta con cambiar el programa introducido en el autómata (en la mayoría de los casos). Otra ventaja es que el autómata también nos permite saber el estado del proceso, incluyendo la adquisición de datos para un posterior estudio.

Entre otras ventajas;

- Menor tiempo de elaboración de proyectos.
- Posibilidad de añadir modificaciones sin costo añadido en otros componentes.
- Mínimo espacio de ocupación.
- Menor costo de mano de obra.
- Mantenimiento económico.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con el mismo autómata.
- Menor tiempo de puesta en funcionamiento.
- Si el autómata queda pequeño para el proceso industrial puede seguir siendo de utilidad en otras máquinas o sistemas de producción.
- Comunicación con otros PLC's, pudiendo enviar y recibir señales.

Y entre los inconvenientes:



- Adiestramiento de técnicos.
- Costo.

En día de hoy los inconvenientes se han hecho nulos, ya que todas las carreras de ingeniería incluyen la automatización como una de sus asignaturas. En cuanto al costo tampoco hay problema, ya que hay autómatas para todas las necesidades y a precios ajustados.

2.7 Programación de un PLC

La operación de un PLC está limitada solo por las capacidades del hardware y la ingeniosidad de la persona programándola. Los PLCs generalmente permiten varias opciones en cuanto al tipo de lenguaje de programación, bien sea de diagrama en contactos, lógica booleana o secuencia de instrucciones. Las instrucciones usadas para programar un PLC están en desacuerdo en tres grupos: Las instrucciones estándares, las instrucciones especiales, y las instrucciones de paso apresurado.

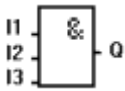
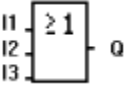
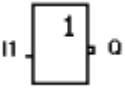
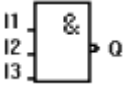
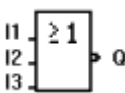
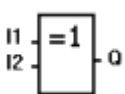
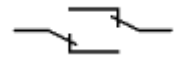
- **Instrucciones estándares;** estas se encuentra en la mayoría de programas. Las instrucciones estándares incluyen; El temporizador, en dirección opuesta, las matemáticas, lógico, el incremento /decremento / invertido, arranque, y las instrucciones de bloque.
- **Instrucciones especiales;** se usan para manipular datos. Las instrucciones especiales incluyen cambio, posponen, encuentran, conversión, para / siguiente, y las instrucciones de tiempo real.
- **Instrucciones de paso apresurado;** tienen en cuenta acontecimientos e interrupciones para ocurrir, independiente del PLC escudriñe el tiempo. Estos incluyen muebles mostradores de alto velocidad, interrupciones, salida, e instrucciones de transmisión.

2.8 Funciones generales

Las operaciones combinacionales más comunes se realizan con los bloques de funciones básicas, en conexión serie y paralelo, negación, etc.

Tabla 2.1: Diferente funciones generales

Bloque	Símbolo	Función
--------	---------	---------

		AND
		OR
		NOT
		NAND
		NOR
		XOR

2.9 Funciones especiales

Las funciones como temporizadores, contadores, secuenciadores entre otros son funciones especiales utilizadas en la programación para los autómatas. La tabla 2.1 en el anexo 2 muestra estas diferentes funciones.

2.10 Lenguajes de Programación de los PLC

Para entender las instrucciones de un PLC, una comprensión del lenguaje es necesaria. El lenguaje de la lógica de escalera de un PLC consiste en un conjunto de símbolos comúnmente usados que representan componentes de control y instrucciones. Con la idea de hacer el estándar adecuado para un gran abanico de aplicaciones, cinco lenguajes han sido definidos en total;

- Lenguaje de programación KOP (esquema de contactos)
- Lenguaje de programación FUP (diagrama de funciones)
- Lenguaje de programación AWL (lista de instrucciones)

- Lenguaje de programación S7-CFC
- Lenguaje de programación S7-GRAPH (control secuencial)
- Lenguaje de programación S7-SCL

2.10.1 Lenguaje de programación KOP (esquema de contactos)

La representación del lenguaje de programación gráfico KOP (esquema de contactos) es similar a la de los esquemas de circuitos. Los elementos de un esquema de circuitos, tales como los contactos normalmente cerrados y normalmente abiertos, se agrupan en segmentos. Uno o varios segmentos constituyen el área de instrucciones de un bloque lógico.

El diagrama de contactos (ladder diagram LD) es un lenguaje que utiliza un juego estandarizado de símbolos de programación. En el estándar IEC los símbolos han sido racionalizados (se ha reducido su número). Si en una entrada hay conectado un contacto abierto, se aplicará el estado de señal “1” en la entrada cuando se accione el contacto.

- ✓ Por el contrario, si a la entrada nos encontramos con un contacto cerrado, se aplicará el estado de señal “0” en la entrada cuando se accione el contacto.

El autómatas no tiene posibilidad de determinar si en una entrada hay conectado un contacto cerrado o abierto. Solo puede consultar o reconocer los estados de señal “1” ó “0”.

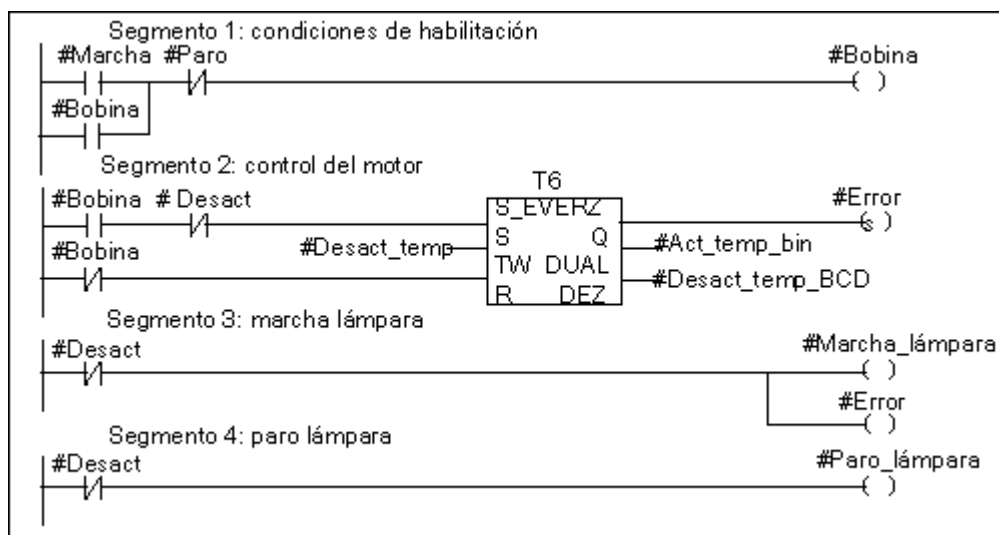


Figura 2.6: Ejemplo de segmento en KOP

2.10.2 Lenguaje de programación FUP (diagrama de funciones)

El lenguaje de programación FUP (diagrama de funciones) utiliza los símbolos gráficos del álgebra booleana para representar la lógica. También es posible representar en conexión directa con los cuadros lógicos funciones complejas, como por ejemplo funciones matemáticas.

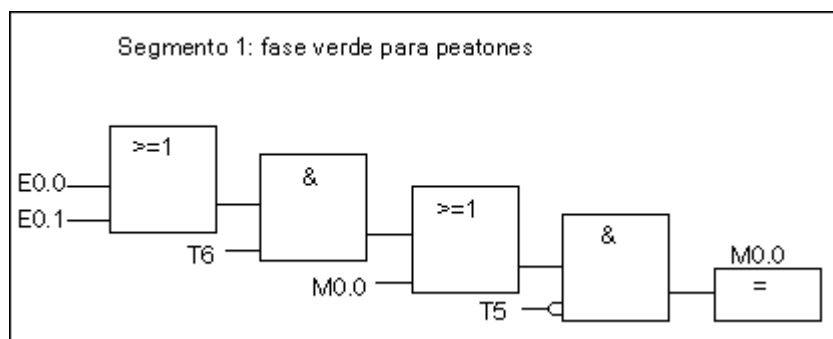


Figura 2.7: Ejemplo de segmento en FUP

2.10.3 El lenguaje de programación AWL (lista de instrucciones)

El lenguaje de programación AWL (lista de instrucciones) es un lenguaje textual orientado a la máquina. Las diversas instrucciones equivalen a los pasos de trabajo con los que la CPU ejecuta el programa. Las instrucciones pueden ser agrupadas en segmentos.

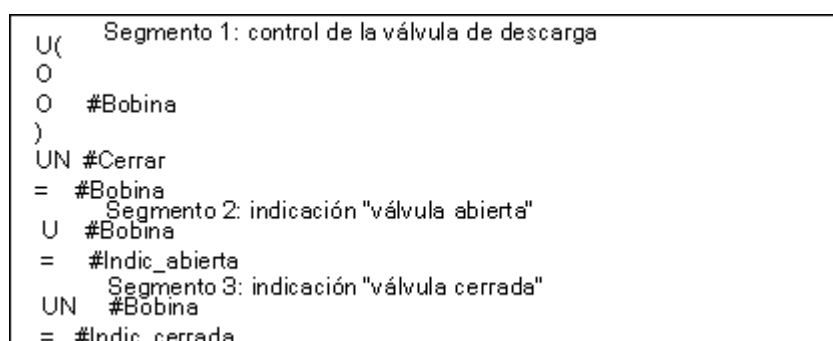


Figura.2.8: Ejemplo de segmento en AWL

El lenguaje de programación AWL está incluido en el software básico STEP 7. Con él puede editar bloques S7 de forma incremental o crear su programa en una fuente AWL con un editor orientado a la fuente para ser luego compilado en bloques.

El software opcional CFC (Continuous Function Chart) es un lenguaje de programación que permite interconectar gráficamente las funciones complejas. En el lenguaje de programación S7-CFC se programa interconectando gráficamente las funciones existentes. No es necesario programar numerosas funciones estándar, puesto que se dispone de librerías que contienen bloques predefinidos (por ejemplo, para funciones lógicas, aritméticas, de regulación y de procesamiento de datos). Para poder utilizar el lenguaje CFC no se requieren conocimientos especiales de programación o sobre sistemas de automatización, lo que permite concentrarse en la técnica. El programa creado se guarda en forma de esquemas CFC. Estos se depositan en la carpeta "Planos" bajo el programa S7. De dichos planos o esquemas se compilan luego los bloques S7 para el programa de usuario.

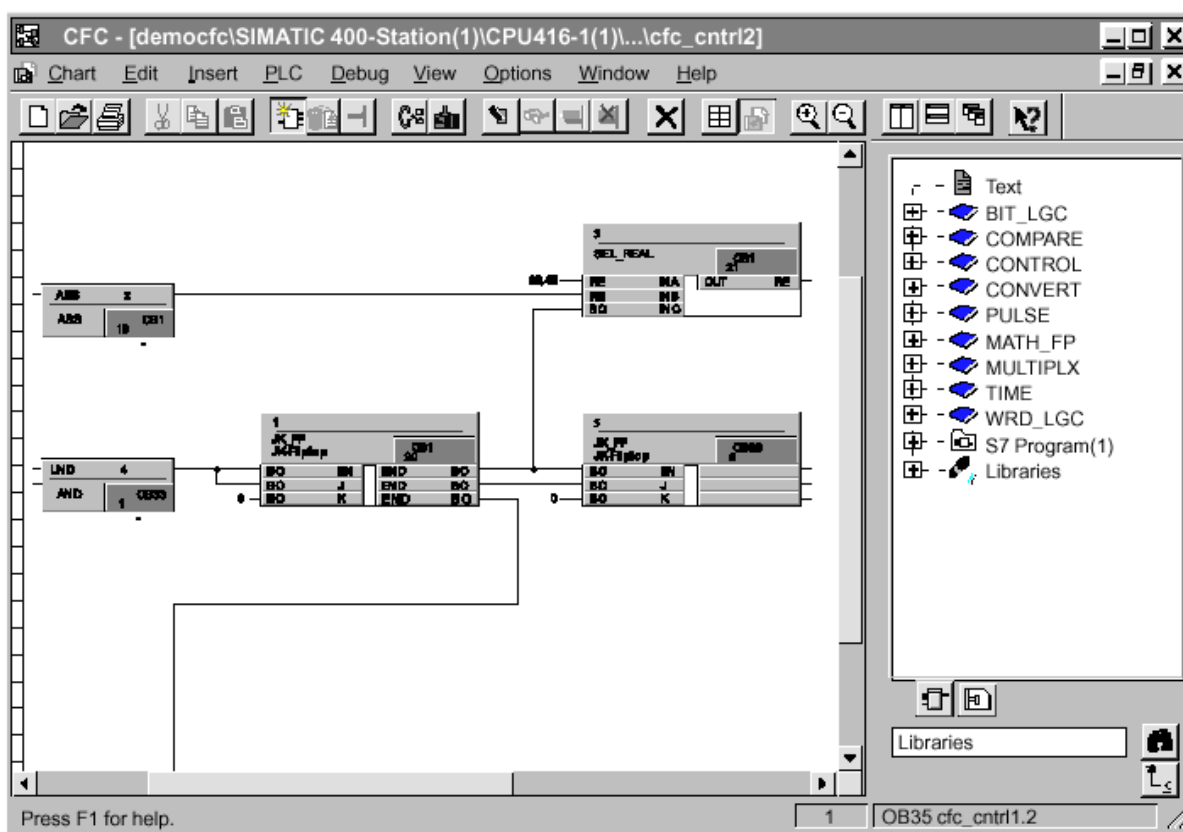


Figura 2.9: Ejemplo de eslabones gráficos con el CFC

El software opcional S7-GRAPH es un lenguaje gráfico de programación que permite programar controles secuenciales. Comprende la creación de una cadena de etapas, la

definición de los contenidos de las mismas y las condiciones de transición. El contenido de las etapas se define con un lenguaje de programación especial (similar a AWL), en tanto que las condiciones de transición se introducen en una representación del esquema de contactos (parte del lenguaje de programación KOP).

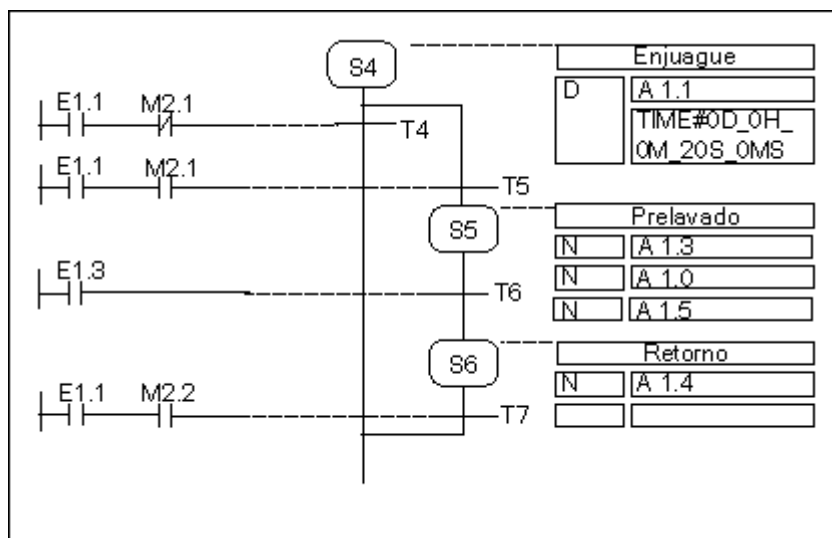


Figura 2.10: Ejemplo de un control secuencial en S7 GRAPH

2.10.6 Lenguaje de programación S7-HiGraph (grafo de estado)

El lenguaje gráfico de programación S7-HiGraph (opcional) permite programar algunos bloques de su programa en forma de grafo de estado. Para ello debe subdividir su instalación en unidades funcionales independientes que puedan adoptar diversos estados. Para cambiar de un estado a otro debe definir transiciones. Las acciones asociadas a los estados y las condiciones de transición entre los mismos se describen en un lenguaje detallado similar a AWL. Para cada unidad funcional se deberá crear un grafo que describa el comportamiento de la misma. Los grafos de una instalación se reúnen en grupos de grafos. Entre los diversos grafos es posible intercambiar avisos para la sincronización de las unidades funcionales.

La representación esquemática de las transiciones de estado de una unidad funcional permite programar sistemáticamente y facilita la búsqueda de errores. Al contrario de S7-GRAPH, en S7-HiGraph sólo hay un estado ("etapa" en S7-GRAPH) activado en un determinado momento. La figura siguiente muestra la creación de grafos para unidades funcionales (ejemplo).



2.10.7 El lenguaje de programación SCL (Structured Control Language),

El lenguaje de programación SCL (Structured Control Language), suministrado como software opcional, es un lenguaje textual de alto nivel cuya definición equivale básicamente a la norma IEC 1131-3. Este lenguaje, similar al PASCAL, ayuda a simplificar – en contraposición a AWL - gracias a sus instrucciones de alto nivel, como p.ej. la programación de bucles y de ramificaciones condicionadas. Por esta razón, SCL es especialmente apropiado para el cálculo de fórmulas, para complejos algoritmos de optimización o para gestionar grandes cantidades de datos.

2.11 Organización de tareas

El estándar también define una nueva arquitectura para la organización e interacción de tareas con los PLC's. Una tarea controla la ejecución de un programa ejecutándolo periódicamente o en respuesta a un específico evento. Para optimizar los recursos del controlador, una aplicación puede ser fragmentada en un número de pequeños programas concretos. Cada programa está bajo el control de una tarea que se ejecuta a la velocidad que requiera la E/S asociada.

2.12 Bloques de funciones

Los bloques de funciones (FB's) son bloques estándar que ejecutan algoritmos como reguladores PID. El estándar IEC asegura que los FB's son definidos empleando una metodología estándar. Hay controles empleando parámetros externos, mientras que los algoritmos internos permanecen ocultos empleando Programación Orientada a Objetos.

2.13 Tipos de módulos

Generalmente, existen cuatro tipos de módulos en cualquier autómata programable:

- **Módulos de organización (OB):** Son los que gestionan el programa de usuario. Numerados OB1, OB3, OB21 y OB22. Destacar el OB1, que es el módulo del programa principal, el OB3, que es el que contiene el programa controlado por alarma, y el OB13, que es el módulo para programas controlados por tiempo. El OB22 es empleado por el sistema operativo.



- **Módulos de programa (PB):** Son los que incluyen el programa de usuario dividido, normalmente, según aspectos funcionales o tecnológicos. PB0 ... PB63
- **Módulos funcionales (FB):** Son módulos de programa especiales. Aquí se introducen las partes de programa que aparecen con frecuencia o poseen gran complejidad. Poseen un juego de instrucciones ampliado. FB0 ... FB63
- **Módulos de datos (DB):** En ellos se almacenan datos para la ejecución del programa, como valores reales, textos, etc. Adoptan los valores: DB0 ... DB63

Los módulos DB1 y DB2 se emplean para definir las condiciones internas del autómata, por lo que no deben emplearse.

2.14 PLC de SIEMENS

Siemens fabrica varios productos de los PLC de la familia de Simatic S7, entre esto están; el S7-200, S7-300, y el S7-400. Se usan los S7-300 y 400 en aplicaciones más complejas que el S7-200. Estas aplicaciones requieren un número mayor de las I/O. Ambos los 300 y 400 son modulares y extensibles.

2.14.1 Simatic S7-200

El S7-200 es el PLC más pequeño de la familia SIMATIC S7. La unidad central de proceso (CPU) está dentro del PLC. Las entradas y salidas (I/O) son los puntos de mando de sistema. Las entradas supervisan los dispositivos del campo, como los interruptores y sensores. Las salidas controlan otros dispositivos, como los motores, bombas, iluminación, apertura de las válvulas etc. El S7-200 es ideal para las aplicaciones pequeñas como los ascensores, las máquinas mezcladora. También son usados en las aplicaciones industriales más complejas como embotellar y las máquinas para empaquetar.

Hay cuatro tipos de CPU del S7-200, los: S7-221, S7-222, S7-224, S7-226/S7-226XM y tres configuraciones de suministro de corriente para cada tipo como se muestra en el anexo 3.

2.14.2 Simatic S7-300

Los autómatas programables de Simatic S7-300 son controladores modulares utilizados en las industrias para soluciones de la producción automatizada de bajo a medias aplicaciones.



Están divididos en tres categorías principales, con diferentes características, pero casi con el mismo principio de funcionamiento.

- Simatic S7-300
- Simatic S7-300F
- Simatic S7-300 SIPLUS

Simatic S7-300

El sistema de miniautomatas modulares para las gamas baja y media, con un amplio abanico de módulos para una adaptación óptima a la tarea de automatización en particular. De aplicación flexible gracias a la posibilidad de realizar estructuras descentralizadas e interconexiones por red. Cómodo de aplicar por su facilidad de uso y a su instalación simple y sin necesidad de ventilación. Ampliable sin problemas en el caso de que aumenten las tareas y tiene gran cantidad de funciones integradas.

Simatic S7-300F

PLC para la seguridad positiva para instalaciones en la industria manufacturera con elevadas exigencias de seguridad.

Simatic S7-300 SIPLUS

El autómata para trabajar en las condiciones más duras ambientales con un rango de temperatura ampliado de -25 a +60 °C. Admite condensación esporádica de corta duración y mayor sollicitación mecánica. Confortable en el manejo, la programación, el mantenimiento y el servicio técnico. Ideal para sectores como la fabricación de vehículos, la minería, industrias químicas, sistemas de transporte de mercancías, industria alimenticia, etc.

2.15 Conclusiones Parciales

- El autómata programable (PLC) S7-300, tiene los recursos para la supervisión y control de las operaciones de la instalación experimental de hidrotransporte del ISMM, y su estructura es su uso extensivo en el control de las variables de este accionamiento, razón por la cual se debe a su alta confiabilidad y alta integración.
- El S7-300 comparado con los sistemas antiguos de control, presentan una mayor flexibilidad en los procesos controlados y una simplificación del cableado requerido.



- Se propone el uso de tantas entradas y tantas salidas, con temporización de las variables.



Capítulo III: Supervisor asistido por Simatic S7-300

3.1 Introducción

Este capítulo presenta como objetivo de diseñar un sistema de control automático mediante un PLC de Siemens elaborado desde el software Simatic S7, para controlar automáticamente el arranque, frenado y variar la velocidad de los motores, control del nivel de pulpa en el tanque, la presión en la tubería y el flujo. Para lograr los anteriores mencionado contamos con los dispositivos siguientes:

- Sensores de presión
- Sensores de nivel
- Sensores de velocidad
- Sensor densidad
- Válvulas solenoides
- Contactores
- Variador de velocidad
- Un PLC
- Un PC/Visualizador

3.2 Sensores

Los sensores son dispositivos utilizados para proporcionar la información de la presencia o ausencia de un objeto o bien, son los ojos del sistema de control, que le permiten ver que está pasando en el sistema.

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. 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 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, más tarde se pueden obtener salidas digitales acondicionando la señal. Pueden efectuar medidas de presión absoluta (respecto a una referencia) y de presión relativa o diferencial (midiendo diferencia de presión entre dos puntos). Generalmente los sensores de presión vienen con visualizadores e indicadores de funcionamiento. En los transmisores de presión, las señales de salidas sensado están en los rangos de 0-100mV, 0-10V, 0.5 -4.5V, y 4-20mA.

En la instalación experimental del ISMM se encuentran seis sensores de presión, dos de estos conectados en la tubería entre las bombas para medir la presión de succión y de impulsión. Los otros cuatro están conectados en las tuberías de 100 mm y 150 mm para medir la diferencia de la presión entre dos puntos. Estos sensores son de la marca Siemens Transimor SITRANS P, con tensión en los bornes del transmisor de 11 a 45 VDC, con señales de salida de 4 a 20 mA.



Figura 3.1: a) Sensores de presión de Silicón

b) Indicador de presión

3.2.2 Sensor 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. Tiene una alimentación de 220 VAC, con salida de 4 a 20mA rango 0-10m, de modelo KROHNE.



Figura 3.2: Sensores de nivel

3.2.3 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 un dinamo tacométrico acoplada al eje del motor 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.

3.2.4 Sensores de Densidad (Transmisor 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 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, alimentado por el lazo de 4-20mA, y con indicación local y retransmisión del valor de densidad o concentración en unidad es configurables por el usuario en forma continua.



Figura 3.3: Transmisor inteligente de densidad y concentración **Smar DT301**

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.

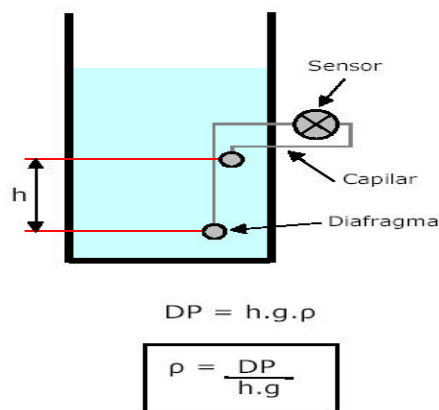


Figura 3.4: Principio de funcionamiento de los sensores de densidad.

3.2.5 Sensor de Temperatura

Los termopares son dispositivos eléctricos con ancha aplicación para medición de temperatura en distintas áreas de las tuberías. Los termopares utilizados son del tipo Termoresistencia PT100 con convertidor incorporado. Longitud de inmersión de 200 mm. Diámetro de la funda 12 mm. Material de la funda acero inox 316L



Figura.3.5: Sensor de temperatura

3.3 Válvulas de Solenoide

Las válvulas de solenoide permiten un control on-off mediante variaciones de corriente eléctrica en su bobina. Son utilizadas ampliamente en control de flujo en sistemas neumáticos.



Este tipo de válvulas es controlada variando la corriente que circula a través de un solenoide (conductor ubicado alrededor de un émbolo, en forma de bobina). Esta corriente, al circular por el solenoide, genera un campo magnético que atrae un émbolo móvil. Por lo general estas válvulas operan de forma completamente abierta o completamente cerrada, aunque existen aplicaciones en las que se controla el flujo en forma lineal. Al finalizar el efecto del campo magnético, el émbolo vuelve a su posición por efecto de la gravedad, un resorte o por presión del fluido a controlar.

3.4 Flujómetro SITRANS F

Los flujómetros ultrasónicos SITRANS F se utilizan para medir el caudal ó flujos de líquidos eléctricamente conductores y no conductores. Dado que el sonido es conducido en forma de hélice, la medición es independiente del perfil de la corriente. Variaciones en la temperatura, la densidad, la viscosidad y la conductibilidad de la sustancia medida no influyen para nada en el resultado de la medición. Para controlar la calidad del producto puede asignarse a la salida de corriente la velocidad del sonido en la sustancia medida.

3.5 Un PLC de Siemens (Simatic S7-300)

El autómatas utilizado en este trabajo es de la marca de SIEMENS, tipo **Simatic S7-300** con el CPU-315 2DP. El CPU 315-2DP es un autómatas que tiene integrada una interface PROFIBUS DP. Para dicha CPU, se dispone de los siguientes protocolos PROFIBUS:

- Interface DP como Maestro, según EN 50170.
- Interface DP como Esclavo, según EN 50170.

PROFIBUS-DP (Periferia Distribuida) es el protocolo de conexión de elementos de campo o periféricos a una CPU con un rápido tiempo de respuesta. Otra característica de este protocolo es que la CPU es capaz de direccionar estos módulos de periferia como si fueran módulos propios de entrada/salida.

3.5.1 CPU 315-2 DP

La CPU con memoria de programa y capacidad funcional media a grande para la aplicación optima de las herramientas de Ingeniería. Es de alta velocidad de procesamiento en aritmética binaria y en coma flotante con puerto maestro/esclavo PROFIBUS DP para extensa expansión de periferia, y para configurar estructurares de E/S descentralizadas. Ver

los datos técnicos en la tabla 2.9 en el anexo 6. Esta CPU es por tanto suficiente como elemento de formación, disponiendo de las siguientes características:

- 16K de instrucciones. 48K de memoria de trabajo 80K de espacio disponible.
- 1024 Bytes de Entradas/Salidas Digitales
- 128 Bytes de Entradas/Salidas Analógicas
- 0,3 ms / 1K instrucciones
- 64 contadores
- 128 temporizadores
- 2048 bits de Marcas



Figura 3.6: El CPU 315-2 DP de la marca Simatic

3.5.2 Módulos de entrada/salidas digitales

El modulo de entradas digitales de SIMATIC S7-300 SM 321, nos permite conectar contactos y detectores de proximidad a 2 hilos. El modulo salidas digitales para el SIMATIC S7-300 SM 322 nos permite conectar electroválvulas, contactores, pequeños motores, lámparas y arrancadores de motores. Los datos de estos se encuentran las tablas 2.4 y tabla 2.5 en el anexo 6.



Figura 3.7: Tarjeta para señales de entrada digitales SM 321, 6ES7 321- 1FH00- OAAO



Figura 3.8: Tarjeta para señales de salida digitales SM 322, 6ES7 322- 1FH00- OAAO

3.5.3 Módulos de entrada/salidas analógicas

El modulo de entrada analógica de SIMATIC S7-300 SM 331 es utilizado para conectar sensores con señales de tensión y de corriente (intensidad), termopares, resistencias y termo-resistencias, presión, densidad etc. El modulo de salida analógica de SIMATIC S7-300 SM 332 es utilizado para conectar actuadores analógicas. Para los parámetros técnicos ver tabla 2.6 y tabla 2.7 del anexo 6.

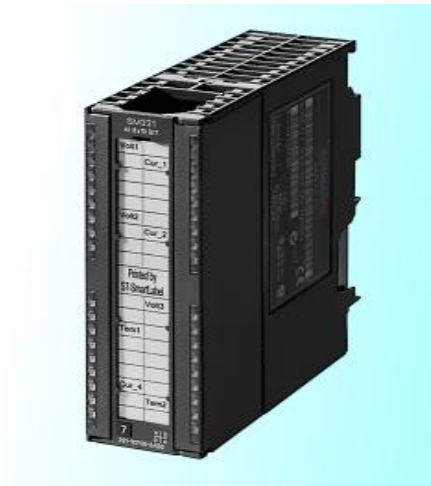


Figura 3.9: Tarjeta para señales de entrada analógica SM 331, 6ES7 331- 7NF00-0AB0



Figura 3.10: Tarjeta para señales de salida analógica SM 332, 6ES7 332- 5HD01-0AB0

3.5.4 Fuente de alimentación de carga para el S7-300

La fuente de alimentación es necesaria para transformar la tensión de red en una tensión de empleo de 24 V DC, con corriente de salida de 2 A, 5 A o 10 A. Ver otros datos técnicos en la tabla 2.8 del anexo 6.



Figura 3.11: Fuente de alimentación PS 307 2 A, 6ES7 307-1BA00-0AA0

3.6 Programar el autómatas en Simatic Step 7

Hay dos vías o posibilidades de programar un proyecto en Step7; Primeramente configurando el Hardware y después programar o programar primero y luego configurar el Hardware, últimamente transferir el programa al CPU y probarlo como se muestra en la figura 3.12.

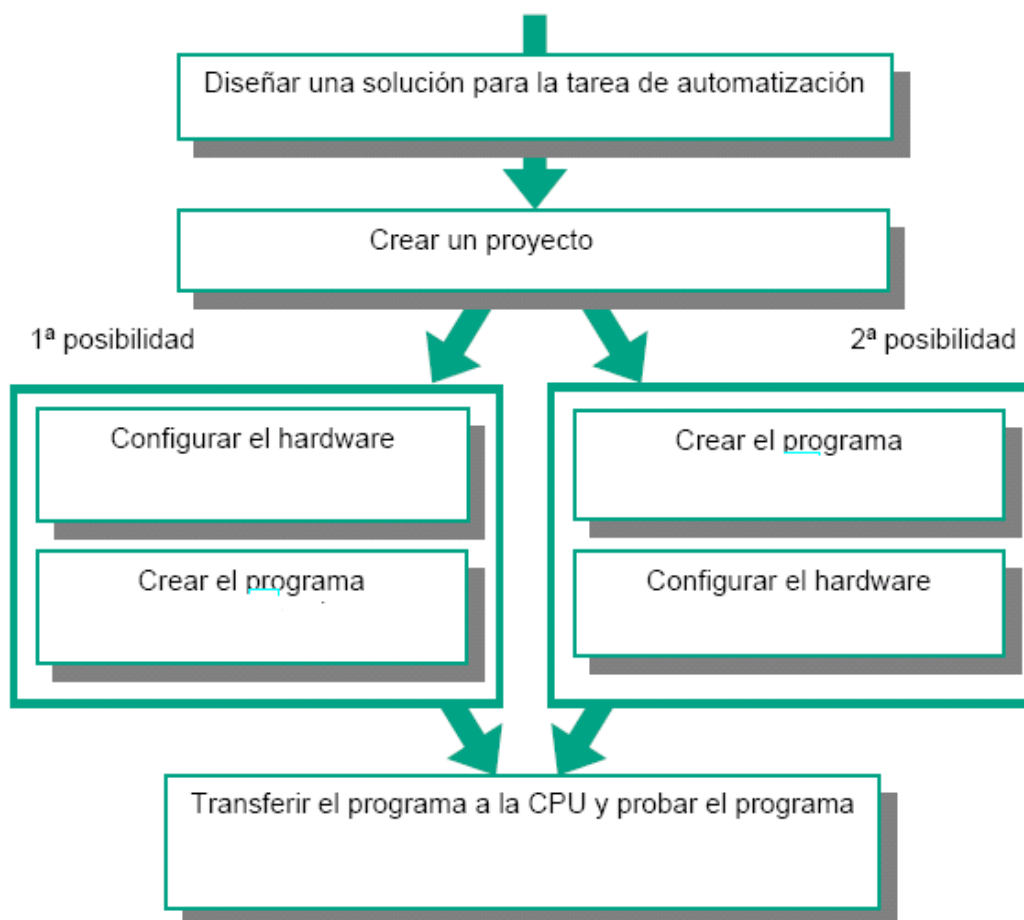


Figura 3.12: Vía para programar en el Step7

3.6.1 Configuración del Hardware

Por "configurar" se entiende en STEP 7 la disposición de los bastidores, de los módulos, la distribución de Entradas/Salidas, el tipo de CPU y la fuente. Los bastidores se representan en una tabla de configuración que permite insertar el número de los módulos determinados, del mismo modo que los bastidores "reales".

En la tabla de configuración, STEP 7 asigna automáticamente una dirección a cada módulo. Si la CPU se puede direccionar libremente, es posible modificar las direcciones de los módulos de un equipo. Para esto, configuramos los siguientes módulos los cuales sus datos técnicos se encuentran en el anexo 6.

- Una fuente PS 307 2A
- Un CPU 315-2 DP
- Tarjeta de señales de entrada analógica a AI8×16 bits
- Tarjeta de señales de salida analógica AO4×12 bits
- Tarjeta de señales de entrada digitales DI16×AC 120/230 V
- Tarjeta de señales de salida digitales DO16×AC 120/230 V/1A

Slot	Module	Order number	Firmware	MPI address	I address	Q address	Comment
1	PS 307 2A	6ES7 307-1BA00-0AA0					
2	CPU 315-2 DP	6ES7 315-2AG10-0AB0	V2.0	2			
X2	DP				204,7		
3							
4	AO4x12Bit	6ES7 332-5HD01-0AB0				256...263	
5	AI8x16Bit	6ES7 331-7NF00-0AB0			272...287		
6	DI16xAC120/230V	6ES7 321-1FH00-0AA0			8...9		
7	DO16xAC120V/230V/1A	6ES7 322-1FH00-0AA0				12...13	
8							
9							
10							
11							

Figura 3.13: Configuración del Hardware en Step 7

Durante el arranque del sistema de automatización, la CPU compara la configuración teórica creada en STEP 7 con la configuración física (real) de la instalación. Así es posible detectar e indicar inmediatamente los posibles errores.

Para crear la configuración centralizada, los módulos se disponen junto a la CPU en un bastidor y luego en otros bastidores. El número de bastidores que se pueden dotar con módulos depende de la CPU utilizada.

Al igual que en una instalación real, en STEP 7 los módulos se colocan en bastidores. La diferencia consiste en que en STEP 7 los bastidores se representan mediante "tablas de configuración", las cuales contienen el mismo número de líneas que el número de módulos

que se pueden enchufar en el bastidor real. La tabla de configuración corresponde al bastidor utilizado.

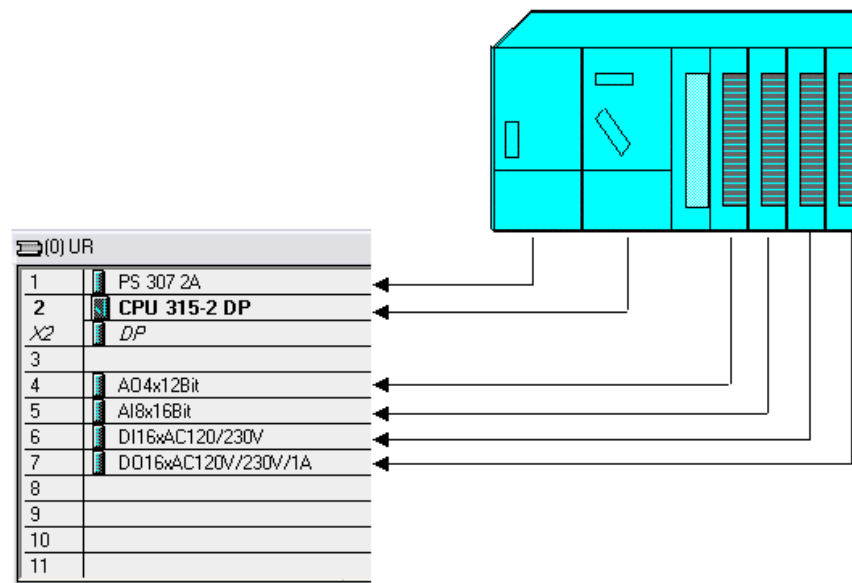
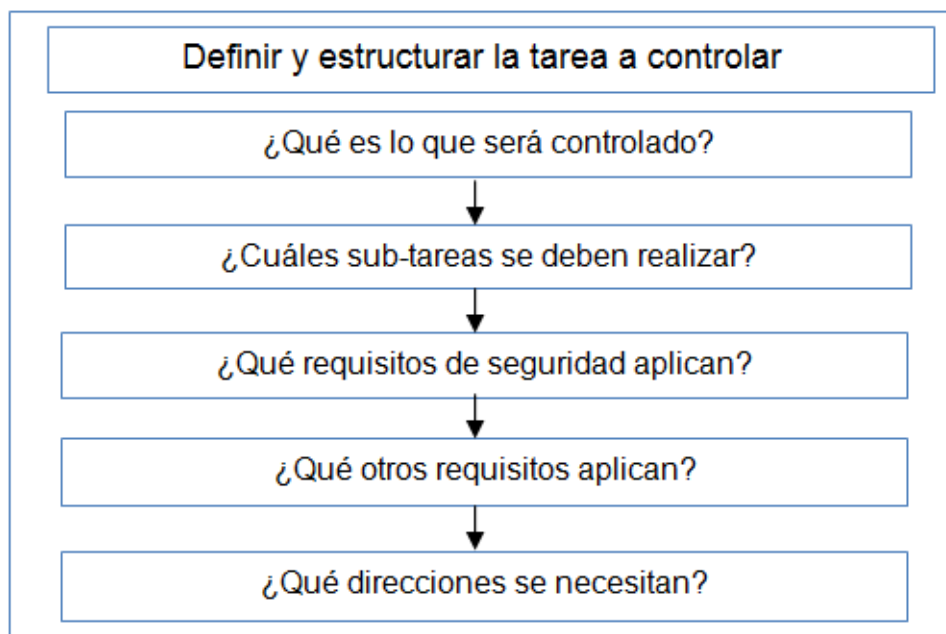


Figura 3.14: Configuración del Hardware en el Simatic S7

3.6.2 Programa en Simatic Step 7

El primer paso en el proyecto es diseñar la tarea de control. Esto significa que el funcionamiento de la tarea de control debe ser documentado y entenderse. La meta u objetivo es entender totalmente la tarea y sub-tarea que constituyen el sistema, las condiciones y reglas necesarias para el control del sistema. Se debe investigar áreas que no están bien claras y deben documentarse desde el principio. La mayoría del trabajo desarrollando un sistema de control se hace en el plan o diseño y fase de clarificación. El procedimiento con ayuda de algunas preguntas



3.6.3 Como definir y estructurar las tareas a controlar

¿Qué es lo que será controlado?

Nuestro trabajo es automatizar el arranque y apagado de los motores para las dos bombas centrifugas, la apertura y cerrada de las válvulas para que la pulpa laterítica sea transportada desde el tanque hacia diferentes tuberías de la instalación como se muestra en el esquema de la figura 1.1.

¿Cuáles sub-tareas se deben realizar?

- Arranque y apagado del motor del agitador,
- Arranque y apagado de los motores de las bombas centrifugas,
- Apertura y cerrada de las válvulas,
- El cierre inmediato por el botón de parada de emergencia.

¿Qué requisitos de seguridad se aplican?

Se debe tener en cuenta los requisitos de seguridad siguientes para prevenir algún riesgo a las personas o equipamientos:

- La válvula (V1) debe estar completamente cerrada antes de llenar el tanque y antes de arrancar el motor del agitador.

- Si el programa recibe una demanda para empezar el sistema transportador entonces debe arrancar y parar si hay una demanda para detener.
- Si en cualquier punto o tiempo el botón de parada de emergencia se aprieta, todos los motores y las válvulas deben detenerse.

¿Qué otros requisitos se aplican?

Otros requisitos son la programación de la comunicación entre el PLC y el PC para visualizar el funcionamiento del sistema. El programa en Step 7 se hace por parte, empujando con el programa del arranque/parada del motor del agitador, la apertura de la válvula1 del tanque, arranque/parada de los motores de las bombas BC, la apertura y cerrada de las demás válvulas y finalmente el programa del botón de emergencia.

Cada parte del programa tiene ciertas condiciones a cumplir, esto se pudiera hacer de forma de algoritmo o simplemente escribiendo las condiciones como se ve en el anexo 4. El siguiente ejemplo es el programa hecho en Simatic versión V5.4 para el arranque/frenado del motor 2.

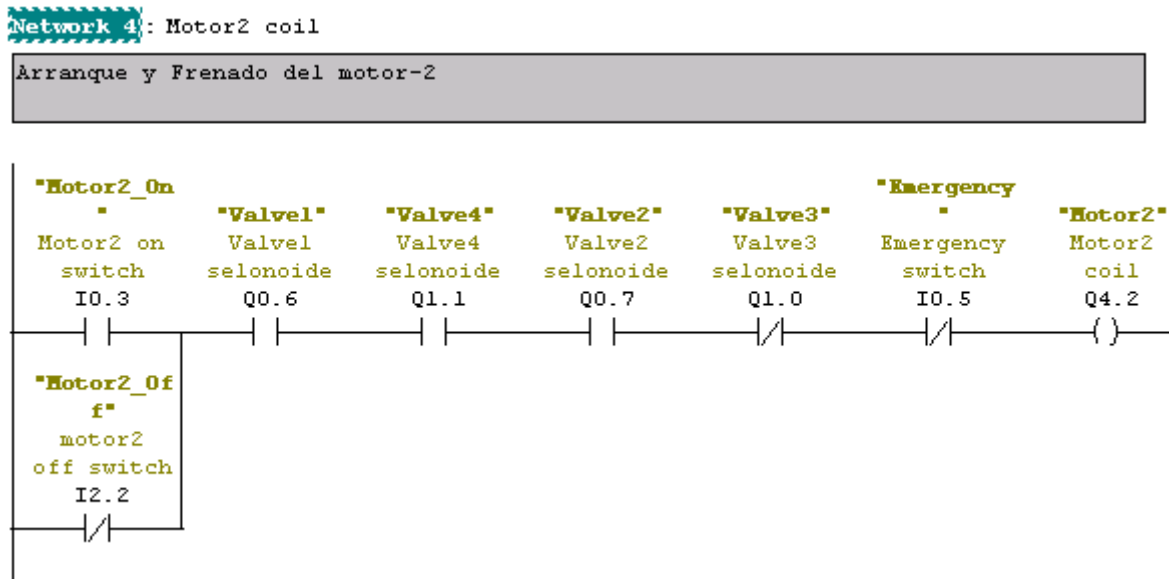


Figura 3.15: Programa para el arranque/parada del motor2

3.6.4 Comunicación entre el dispositivo de la programación/PC y el PLC

Después de la programación, hay que compilar el programa y simularlo. Esto se hace por medio de la conexión entre el dispositivo de la programación/PC y el PLC (S7-300), vía un

cable de MPI. El cable de MPI es incluido con el dispositivo de la programación. Si el dispositivo de la programación (Siemens PG) no está presente, se puede utilizar la tarjeta de Siemens CP5611, instalando primero el PCI para esa comunicación.

La figura debajo de las muestras cómo se conecta el multipoint con el dispositivo de la programación y el PLC S7-300 por un cable de MPI.

Si no hay el dispositivo de la programación (Siemens PG) ni la tarjeta de Siemens entonces se puede utilizar el adaptador de PC. El adaptador de PC se tapa en el puerto del PC (RS232 - Com Port 1 or 2) en un lado y el otro lado se tapa en el puerto de MPI del PLC como se muestra en la figura 3.11.

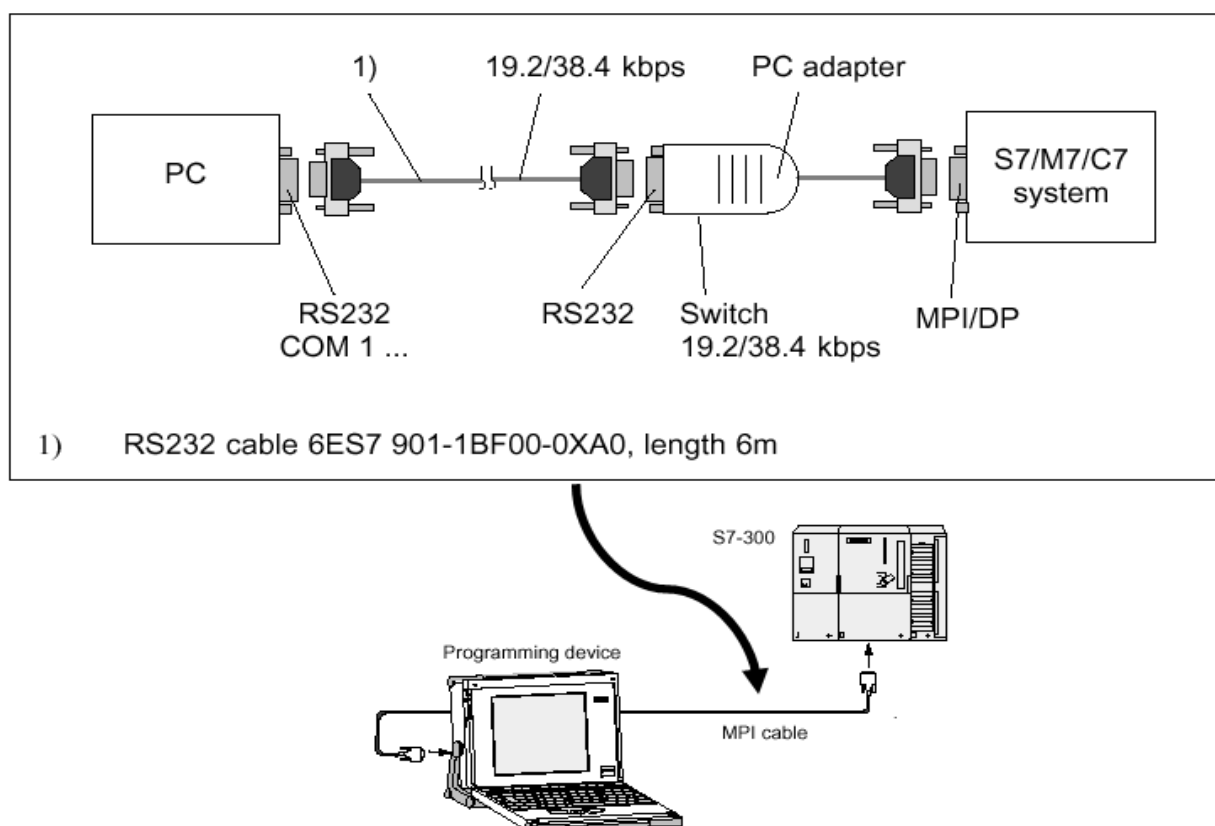


Figura 3.16: Cable MPI para la comunicación entre el PLC y el PC

3.7 Montaje del PLC S7-300

Un controlador programable S7-300 está compuesto por los siguientes componentes;

- Fuente de alimentación (PS)
- CPU
- Módulos de señales (SM)
- Módulos de funciones (FM)
- Procesador de comunicación (CP)

Los componentes del PLC S7-300 se montan en un bastidor. El primer que se monta es la fuente, segundo es el CPU, y finalmente las tarjetas de entradas y salidas. Esto se hace desde la configuración del hardware.

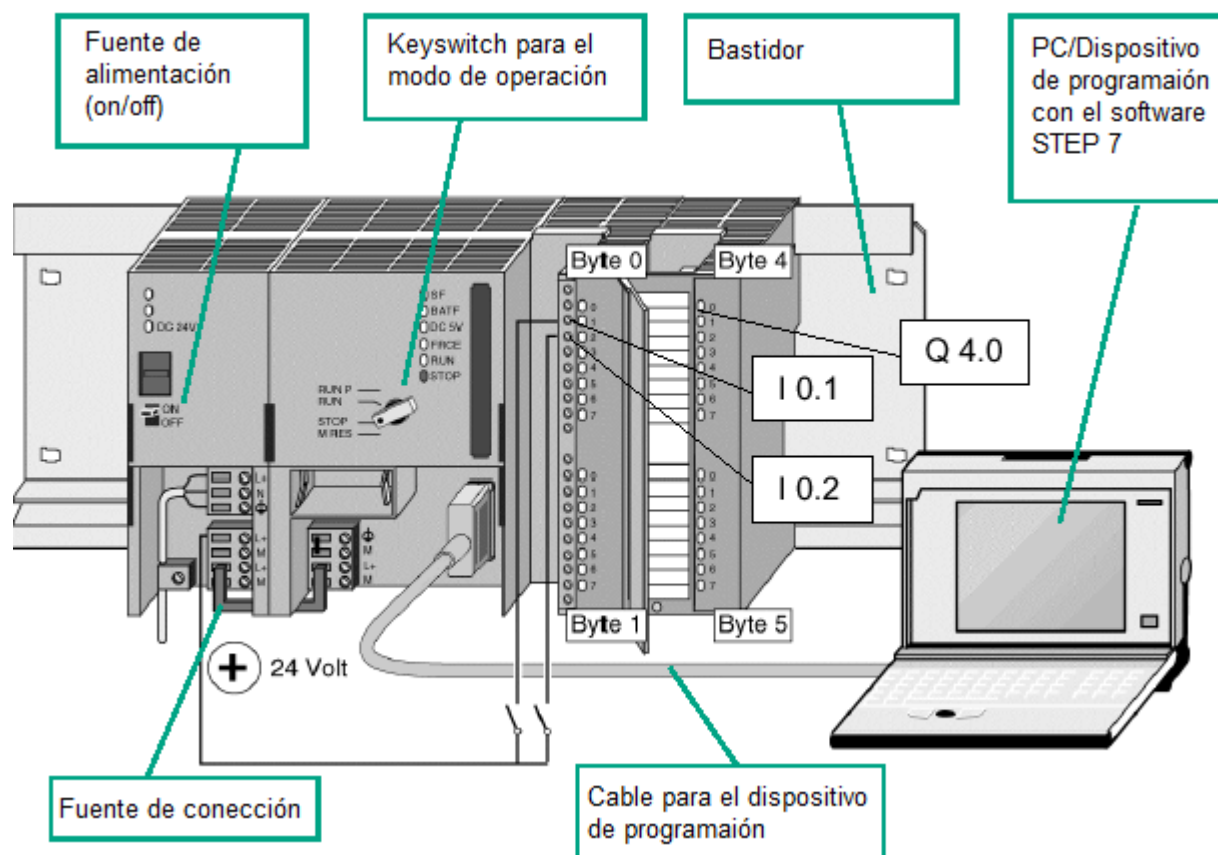


Figura 3.17: Esquema físico del montaje del PLC en el bastidor

3.8 PC/Visualizadores

En la mayoría de los casos se emplea una computadora 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 como se muestra en la figura 3.7. El mismo se puede utilizar para visualizar el estado del proceso y las lecturas de los instrumentos de mediciones a través del sistema SCADA.

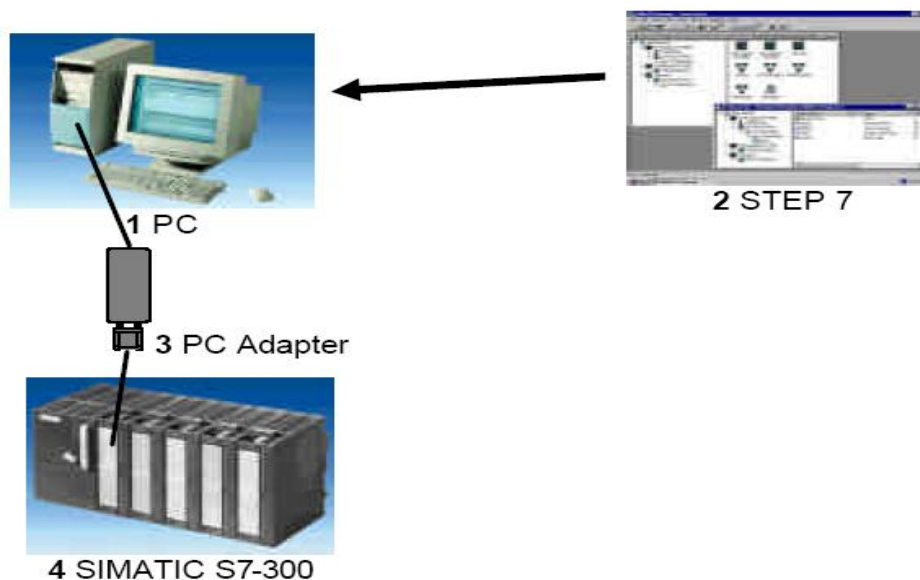


Figura.3.18: Esquema de la comunicación entre el PC y el PLC

3.9 Conclusiones parciales

- El PLC S7 300 con el CPU 325-2 DP es un autómata adecuado para el control automático de la instalación experimental del ISMM por su interface DP.
- El uso del programa en Step 7 nos facilita a programar el PLC S7-300 utilizando los lenguajes de programación KOP y CFC.
- Los instrumentos de campos más importantes a utilizar son; sensores de circuitos de potencia eléctrica y del subsistema mecánico como: temperatura, presión, flujo, nivel y densidad.



Capítulo IV: Programa supervisor experto del sistema

4.1 Introducción

En este capítulo presenta el programa supervisor utilizado para visualizar el estado del proceso controlado junto con las leyendas de los instrumentos de la medición que se encuentran en la estación. En este, contamos con el programa CITEC que nos permite hacer el sistema SCADA.

4.2 Software Citect

Citect es un paquete de SCADA diseñado para el uso en todos los sistemas de pequeño como la estación de bomba, a sistemas grandes dónde pueden haber tantos como 400 000 datos los puntos ser verificado.

El software de Citect se usa para preparar las pantallas de interface de operador, mientras permitiendo a los usuarios del sistema el acceso fácil a la información de la fábrica. Los datos pueden desplegarse en varios formatos, pero el más común es la representación gráfica, como los gráficos de barra, representando el nivel en un tanque o los datos analógicos, o usando varios colores para indicar diferente estados de las señales digitales. Se hizo el uso del CITECT versión 5 y 6.

4.3 Sistemas SCADA

SCADA viene de las siglas de inglés "Supervisory Control And Data Adquisition", es decir: adquisición de datos y control de supervisión. Los Sistemas de Supervisión de Control y Adquisición de Datos permiten la gestión y control de cualquier sistema local o remoto gracias a una interface gráfica que comunica al usuario con el sistema.

Se trata de una aplicación software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador. Además, provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como de otros supervisores dentro de la empresa: control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc.



En este tipo de sistemas usualmente existe un ordenador, que efectúa tareas de supervisión y gestión de alarmas, así como tratamiento de datos y control de procesos. La comunicación se realiza mediante buses especiales o redes LAN. Todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real, y están diseñados para dar al operador de planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos.

Los programas necesarios, y en su caso el hardware adicional que se necesite, se denomina en general sistema SCADA.

Un paquete SCADA debe estar en disposición de ofrecer las siguientes prestaciones:

- Posibilidad de crear paneles de alarma, que exigen la presencia del operador para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencias.
- Generación de históricos de señal de planta, que pueden ser volcados para proceso sobre una hoja de cálculo.
- Ejecución de programas, que modifican la ley de control, o incluso anular o modificar las tareas asociadas al autómatas, bajo ciertas condiciones.
- Posibilidad de programación numérica, que permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU del operador.

Con ellas, se pueden desarrollar aplicaciones para ordenadores (tipo PC, por ejemplo), con captura de datos, análisis de señales, presentaciones en pantalla, envío de resultados a disco e impresora, etc.

Además, todas estas acciones se llevan a cabo mediante un paquete de funciones que incluye zonas de programación en un lenguaje de uso general (como C, Pascal, o Basic), lo cual confiere una potencia muy elevada y una gran versatilidad. Algunos SCADA ofrecen librerías de funciones para lenguajes de uso general que permiten personalizar de manera muy amplia la aplicación que desee realizarse con dicho SCADA.

4.4 Requisitos para la instalación de SCADA

Un SCADA debe cumplir varios objetivos para que su instalación sea perfectamente aprovechada:



- Deben ser sistemas de arquitectura abierta, capaces de crecer o adaptarse según las necesidades cambiantes de la empresa.
- Deben comunicarse con total facilidad y de forma transparente al usuario con el equipo de planta y con el resto de la empresa (redes locales y de gestión)
- Debe ser programas sencillos de instalar, sin excesivas exigencia de hardware, y fáciles de utilizar con interfaces amigable con el usuario.

4.5 Módulos de un SCADA.

Los módulos o bloques software que permiten las actividades de adquisición, supervisión y control son los siguientes:

- Configuración: que permite al usuario definir el entorno de trabajo de su SCADA, adaptándolo a la aplicación particular que se desea desarrollar.
- Interfaz grafico del operador: proporciona al operador las funciones de control y supervisión de la planta. El proceso se representa mediante sinópticos graficos almacenados en el ordenador de proceso y generados desde el editor incorporado en el SCADA o importados desde otra aplicación durante la configuración del paquete.
- Modulo de proceso: ejecuta las acciones de mando preprogramadas a partir de los valores actuales de variables leídas.
- Gestión y archivo de datos: se encarga del almacenamiento y procesado ordena de los datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.
- Comunicaciones: se encarga de la transferencia de información ente la planta y la arquitectura hardware que soporta el SCADA, y entre esta y el resto de elementos informáticos de gestión.

4.6 Esquema del SCADA para la instalación experimental del ISMM

El siguiente esquema muestra la visualización del sistema SCADA hecho en CITECT. En la pantalla se visualiza la lectura de los instrumentos de mediciones (temperatura, densidad, presión, nivel del tanque, velocidad y corriente de los motores). El esquema de la instalación con los instrumentos de mediciones se ve en la figura del anexo

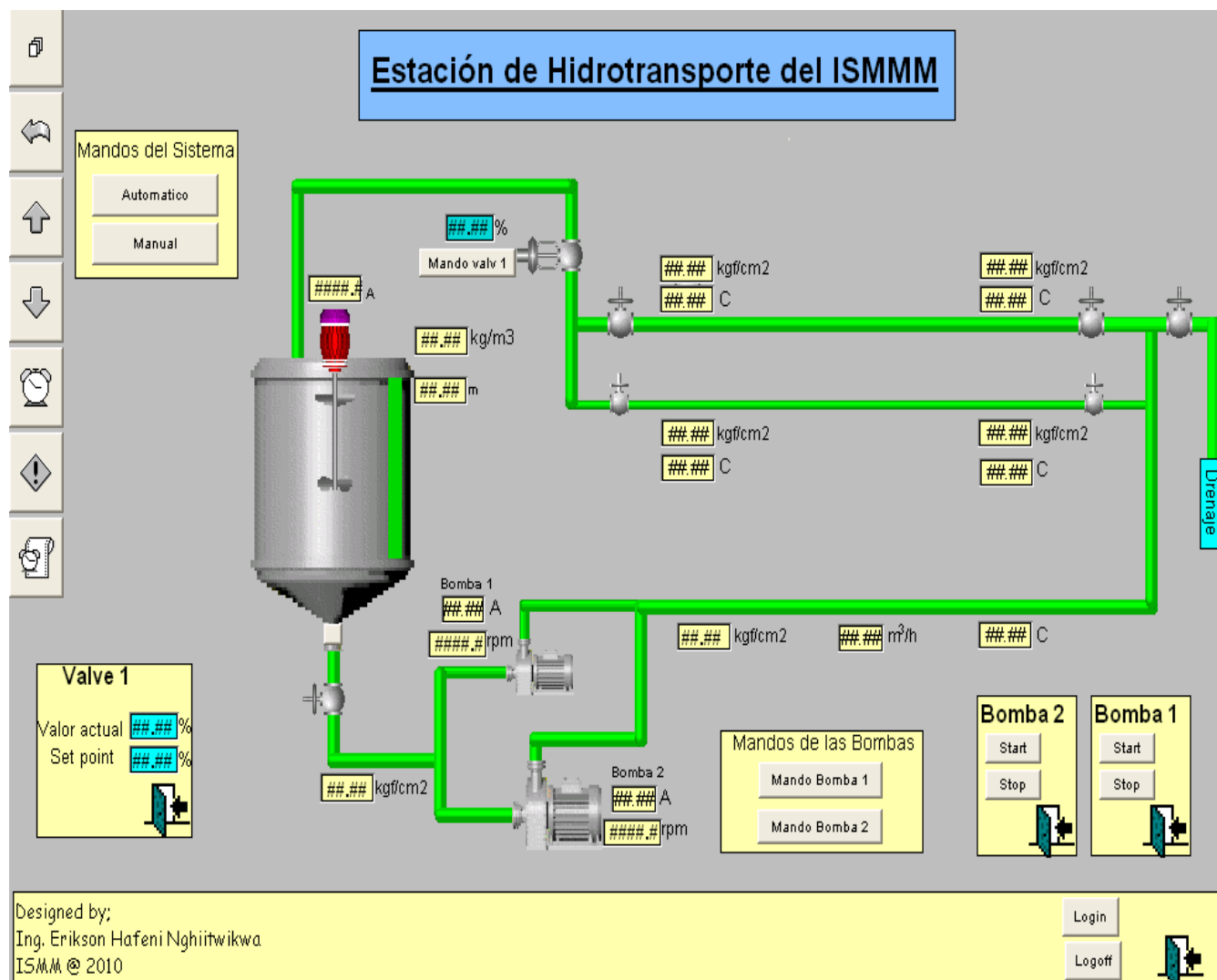


Figura 4.1: Esquema de la pantalla del sistema SCADA

El programa supervisor con la intervención humana se atiende al sistema de transporte de pulpa laterítica en la siguiente manera;

- a) Primeramente cuando se abre la pantalla del SCADA, se selecciona entre el sistema automático o manual en el menú del sistema de mando.
- b) Si es automático el proceso será controlado automáticamente en dependencia del programa en el PLC.
- c) Si es manual, las pantallitas para los mandos de las bombas y el de la válvula sale inmediatamente y el control será de forma manual con el uso del mouse en la pantalla,



ejemplo mandar a arrancar o parar uno de los motores para las bombas y variar el porcentaje de la apertura/cerrada de la válvula automático.

En la pantalla esta también se ven otros botones que aparecen la siguiente tabla;

Tabla 4.1: Algunos Botones de la pantalla del sistema SCADA

	Para ir a la pantalla principal
	Reloj para indicar el tiempo
	Información
	Para salir completamente de la pantalla
	Introducir la contraseña para hacer modificaciones
	Para subir y bajar la pantalla



4.7 Conclusiones parciales

- Con el uso del software CITECT versión 5, se supervisan las siguientes acciones de operación en la instalación: el nivel de tanque, la posición de la válvula automática, el estado de los motores de las bombas, la lectura de los instrumentos de mediciones como, temperatura, presión, flujo y densidad.
- El sistema SCADA se comunica con el PLC y el variador de velocidad a través del protocolo de comunicación RS-485/488.



Capítulo V: Técnicas de inteligencia artificial

5.1 Introducción

En el presente capítulo se presenta una posible aplicación de una metodología basada en técnicas de Inteligencia Artificial con énfasis en particular sobre la lógica difusa, como técnicas al proceso de toma de decisiones de los algunos parámetros del motor de inducción de la instalación. La implementación de modelos difusos en el motor de inducción es una técnica notable para extraer el máximo comportamiento de los motores eléctricos modernos.

5.2 Técnicas de inteligencia artificial

La Inteligencia Artificial empezó como resultado de la investigación en la psicología cognitiva y la lógica matemática. Se ha encaminado sobre la explicación del trabajo mental y construcción de algoritmos de solución a problemas de propósito general.

La Inteligencia Artificial es una mezcla de la ciencia del computador, fisiología y filosofía, tan general y amplio como eso, es que reúne varios campos (robótica, sistemas expertos, por ejemplo), todos los cuales tienen en común la creación de máquinas que pueden "pensar".

Es así como los sistemas de administración de base de datos cada vez más sofisticados, la estructura de datos y el desarrollo de algoritmos de inserción, anulado y traspaso de datos, así como el ensayo de introducir máquinas capaces de realizar tareas que son pensadas como típicas del ámbito de la inteligencia humana, batieron el término Inteligencia Artificial en 1956.

Una característica fundamental que diferencia a los métodos de Inteligencia Artificial de los métodos numéricos es el uso de símbolos no matemáticos, aunque no es bastante para diferenciarlo totalmente. Otros ejemplos de programas como los compiladores y sistemas de bases de datos, también procesan símbolos y no se considera que utilicen técnicas de Inteligencia Artificial.

El comportamiento de los programas no es descrito explícitamente por el algoritmo. El programa especifica cómo encontrar la secuencia de pasos necesarios para resolver un problema dado (programa declarativo). En diferencia con los programas que no son de Inteligencia Artificial, que siguen un algoritmo determinado, que detalla, explícitamente, cómo



hallar las variables de salida para cualquier variable dada de entrada (programa de procedimiento).

El razonamiento basado en el conocimiento, implica que estos programas incorporan factores y relaciones del mundo real y del ámbito del conocimiento en que ellos operan. Al contrario de los programas para propósito específico, como los de contabilidad y cálculos científicos, los programas de Inteligencia Artificial pueden distinguir entre el programa de razonamiento o motor de inferencia y base de conocimientos dándole la capacidad de explicar discrepancias entre ellas.

Los investigadores en Inteligencia Artificial se concentran principalmente en los sistemas expertos, la resolución de problemas, el control automático, las bases de datos inteligentes y la ingeniería del software (diseños de entornos de programación inteligente).

Otros investigadores están trabajando en el desafío del reconocimiento de modelos donde se espera un rápido progreso en este campo que comprende la comprensión y la suma del habla, el proceso de imágenes y la visión artificial.

5.3 Lógica Difusa

Establecida desde hace varios años como una tecnología de vanguardia, la lógica difusa (fuzzy logic) está penetrando con fuerza en el mundo del control y promete convertirse en el método de mando universal de toda clase de dispositivos eléctricos y electrónicos.

La Lógica Difusa es, desde un punto de vista práctico, un método de razonamiento estadístico que permite especificar los problemas de control del mundo real en términos probabilísticos, sin necesidad de recurrir a modelos matemáticos y con un nivel de abstracción mucho más elevado. En contraste con la lógica convencional, que utiliza conceptos absolutos para referirse a una realidad, la lógica difusa la define en grados variables de pertenencias a los mismos, siguiendo patrones de razonamientos similares a los del pensamiento humano. La lógica difusa es basada en el idioma natural.

Actualmente, muchos productos de uso corriente (cámaras fotográficas y de video, electrodomésticos, etc.); así como una gran variedad de controladores industriales, dispositivos médicos y otros sistemas relativamente complejos, están basados en fuzzy logic.



La tendencia continuará a medida que los diseñadores encuentren nuevas aplicaciones para esta tecnología. Otros usos de la fuzzy logia incluyen:

- Modelos de control de trenes, aviones, botes y otras naves.
- Sistemas de seguridad para el hogar y la oficina.
- Sistemas de control y predicción climáticos.
- Controladores de velocidad de motores AC y DC.
- Servomecanismos y robots.
- Control de líneas de producción.

La facilidad de la lógica difusa para adquirir y representar conocimientos ha estimulado también su aplicación en la solución de problemas sociológicos, psicológicos, políticos, administrativos, económicos, epidemiológicos y de otras disciplinas.

En general existen cinco tipos de situaciones en las cuales la aplicación de técnicas de control fuzzy resulta ventajosa o necesaria:

- Sistemas complejos que son difíciles de modelar por métodos convencionales.
- Sistemas controlados por expertos humanos.
- Sistemas con entradas y salidas complejas y continuas.
- Sistemas que utilizan la observación humana como entrada o como base de las reglas.
- Sistemas que son confusos por naturaleza, como los encontrados en las ciencias sociales y del comportamiento.

La Lógica Difusa puede abarcar muchos aspectos de la vida moderna. Sin embargo, la más grande dificultad con la que se enfrenta su universalización es la polarización cultural del mundo occidental a favor de la lógica tradicional del "1" y el "0" y de los modelos matemáticos lineales. Estos últimos son adecuados para describir procesos simples. No obstante, la mayoría de los procesos del mundo real son no lineales y resultan demasiado complejos para ser modelados matemáticamente. Este es el tipo de problemas que deben resolverse por lógica difusa.

5.4 Controlador difuso del motor de inducción

El objetivo de la investigación en la inteligencia artificial de este trabajo es la resolución de problema de la eficiencia de los motores de inducción y el control automático de los mismos mediante el controlador difuso como se muestra en la figura.5.1

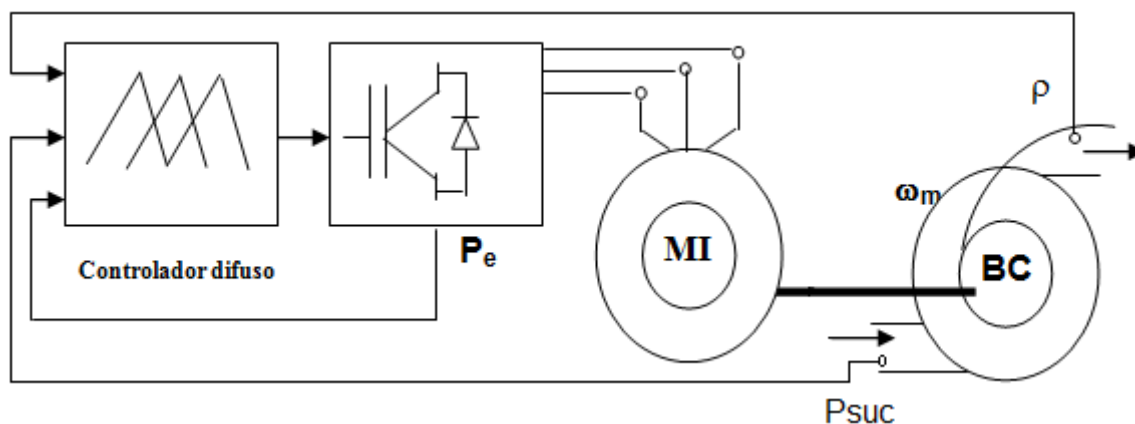


Figura 5.1: Esquema del accionamiento eléctrico MI – BC con el controlador difuso y el inversor sinusoidal de tensión.

En el esquema demuestra el accionamiento eléctrico del motor de inducción de 55 kW para la bomba centrífuga controlado mediante el controlador difuso con la potencia de entrada (P_e), la densidad (ρ) y la presión (P_{suc}) de succión como variables de entrada y la velocidad angular del motor como variable de salida. Este control difuso esta realizado para la bomba centrífuga.



Tabla 5.1: Rangos de las variables de entrada y salida para el controlador difuso del motor de inducción de 55 kW

Variables de Entrada	Rango
Pot. De Entrada (kW)	30.77-56.99
Densidad (Kg/m ³)	1000-1500
Presión de succión (hPa)	900-1700
Caudal (m ³ /h)	18.08-128.02
Caudal (m ³ /h)	18.08-128.02
Velocidad (rpm)	500-1750

Las variables antecedentes reciben diferentes grados lingüísticos que pueden ser:

MB – Muy Bajo

B –Bajo.

N – Normal.

A – Alto.

MA – Muy Alto.

Así los espacios de entrada están particionados en ajustes de reglas difusas, tal como se muestra en la tabla 5.2.

Tabla 5.2: Ajustes de reglas difusas

ω	Q, Psuc					
		MB	B	N	A	MA
P_e	MB	MB	MB	B	N	N
	B	MB	B	B	N	N
	N	B	B	N	N	N
	A	N	N	N	A	A
	MA	N	A	A	MA	MA

5.4.1 Esquema del controlador difuso

Para el diseño del controlador difuso, se ha utilizado una arquitectura tipo Mamdani, en un esquema de dos bloques (control 1 y control 2) conectados en cascadas con dos entradas y una salida cada uno, tal como se muestra en la figura 2.6.

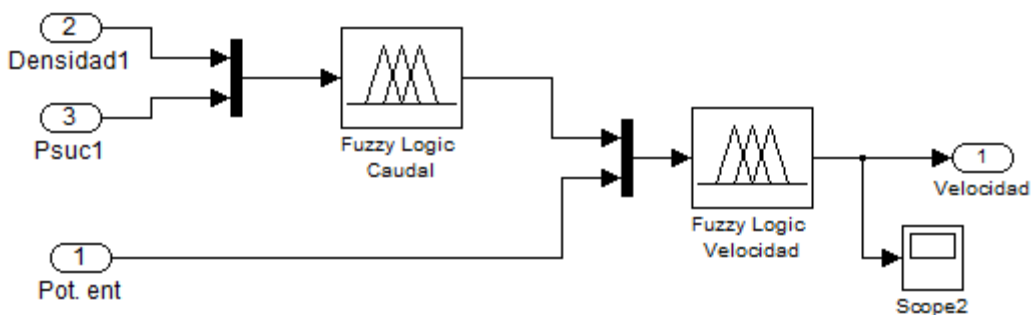


Figura 5.2: Bloque del controlador difuso

Usadas en el bloque control 1 como variables de entrada: la presión de succión, la densidad del fluido que se transporta por la bomba centrífuga, y el caudal Q; en el bloque control 2: entradas: la potencia de entrada P_e e Q; y como variable de salida la corriente velocidad angular del motor ω .



Entonces la máquina de inferencia difusa basada en valores de entrada lingüística, usa la apropiada base de conocimiento diseñada desde la experiencia experta para determinar la salida que es la velocidad angular del motor. Consecuentemente la salida implicada es transformada a un valor por defusificación. Usando el método del centro del área, el valor real de la salida ω del controlador difuso está generado de acuerdo a la decisión del contenido de la tabla de reglas.

El juego de variables difusas potencia de entrada, presión de succión y caudal fueron definidas con funciones de pertenencias de tipo triangulo y una de tipo gaussiana en el caso de la variable densidad de la hidro-transporte de la bomba centrífuga.

5.4.2 Resultados

La evaluación de eficiencia del motor de inducción se obtiene desde las mediciones de las variables de entradas del accionamiento. Se utiliza la expresión (4.1):

$$\eta = \frac{P_e - \Delta p}{P_e} = 1 - \frac{\Delta p}{P_e} \quad [4.1]$$

donde:

P_e – es la potencia de entrada del accionamiento eléctrico, [kW].

Δp – son las pérdidas totales en el motor de inducción, [kW].

En la bomba centrífuga la eficiencia se evaluó a través de la expresión (4.2), a partir de las mediciones de sus variables.

$$N_b = \frac{\rho.H.Q}{102.\eta_b} = \frac{\rho.H.v.A}{102.\eta_b} \quad [4.2]$$

Tabla 5.3: Eficiencias del motor de 55 kW, 440 V, 1250 rpm, obtenida a diferentes cargas mecánicas sin controlador difuso.

Mc [N.m]	Mc/Mn [%]	$\Delta p_{\text{totales}}$ [kW]	Eficiencia [%]	Pe [kW]	Ps[kW]
423	100	4,78	92	59,78	55
380,7	90	4,72	91,3	54,22	49,50
342,63	81	4,69	90,48	49,24	44,55
287,64	68	4,67	88,78	41,61	36,94
270,72	64	4,64	88,23	39,41	34,77
224,19	53	4,55	86,35	33,34	28,79
207,27	49	4,49	85,57	31,11	26,62
169,2	40	4,48	82,9	26,21	21,73
152,28	36	4,45	81,45	24,01	19,56
122,67	29	4,44	78	20,19	15,75
105,75	25	4,43	75,4	18,01	13,58
84,6	20	4,41	71,1	15,27	10,86
67,68	16	4,28	66,98	12,97	8,69
50,76	12	4,12	61,27	10,64	6,52

Tabla 5.4: Valores de eficiencias del motor de 55 kW, 440 V, 1250 rpm, obtenida durante la simulación, usando valores de comandos del controlador difuso.

Mc [N.m]	Mc/Mn [%]	$\Delta p_{\text{totales}}$ [kW]	Eficiencia [%]	Pe [kW]	Ps [kW]	Δp_{ac} [kW]	Δp_{cu} [kW]
423	100	4,78	92	59,78	55	1,20	2,37
380,7	90	4,75	92	59,33	54,6	1,08	2,13
342,63	81	4,19	91,96	48,19	43,85	1,05	2,12
287,64	68	4,12	91,92	40,06	36,93	1,03	2,04
270,72	64	2,85	91,9	37,62	34,81	0,71	1,39
224,19	53	2,3	91,87	31,09	28,8	0,58	1,12
207,27	49	2,19	91,82	28,81	26,65	0,55	1,07
169,2	40	1,84	91,44	23,57	21,69	0,46	0,94
152,28	36	1,7	90,72	21,26	19,61	0,45	0,89
122,67	29	1,75	90	17,5	15,82	0,44	0,88
105,75	25	1,67	88,5	15,25	13,59	0,42	0,76

84,6	20	1,43	87,3	12,29	10,86	0,36	0,69
67,68	16	1,28	86,1	9,97	8,71	0,32	0,62
50,76	12	1,12	84,7	7,64	6,53	0,28	0,59

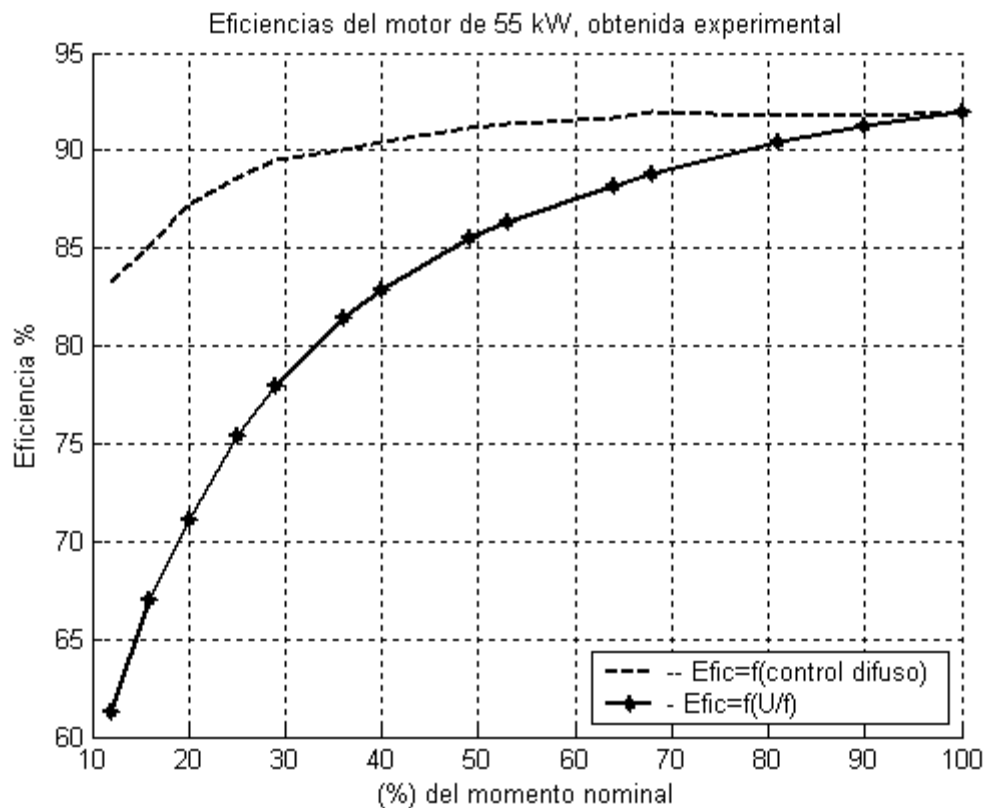


Figura 5.3: Comportamiento de la eficiencia del motor de inducción con datos experimentales cuando opera con mando guiado por ajustes del controlador difuso, accionando la bomba.



5.5 Conclusiones Parciales

- El bloque supervisor difuso opera con dos bloques difusos en cascadas, usando arquitectura tipo Mamdani, teniendo dos variables de entradas y una de salida.
- El supervisor difuso incorpora cualidades de estimación de las variables que intervienen en la eficiencia del accionamiento eléctrico, mejorando así el comportamiento racional del sistema.



Capítulo VI: Evaluación técnico-económica del trabajo

6.1 Introducción

En este capítulo se plantean los resultados de la experimentación del sistema de accionamiento eléctrico de bomba centrífuga.

Para esto se establece una comparación entre el comportamiento de la eficiencia del accionamiento con el uso del variador de velocidad bajo sus condiciones nominales de trabajo, y su posible comportamiento cuando el variador actúe bajo el controlador difuso si se siguen sus parámetros de mando ajustados durante la simulación.

También se hizo el análisis del costo de los elementos a instalar en la estación para que sea controlado automáticamente.

6.2 Análisis de las eficiencias de los motores de inducción de la instalación

En las plantas minero metalúrgicas como las de Moa y Nicaro, se precisan que los mayores consumidores de energía eléctrica lo representan los accionamientos eléctricos de: producción de aire comprimido, las bombas centrífugas, las instalaciones de molienda y secado y los ventiladores.

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.

Como se conoce la eficiencia en los motores de inducción está dada por la relación entre la potencia de salida P_s ó potencia mecánica en su árbol y la potencia de entrada ó eléctrica P_e , que puede ser tomada en los terminales del estator o desde el eslabón de corriente directa del inversor sinusoidal de tensión (VSI a PWM).

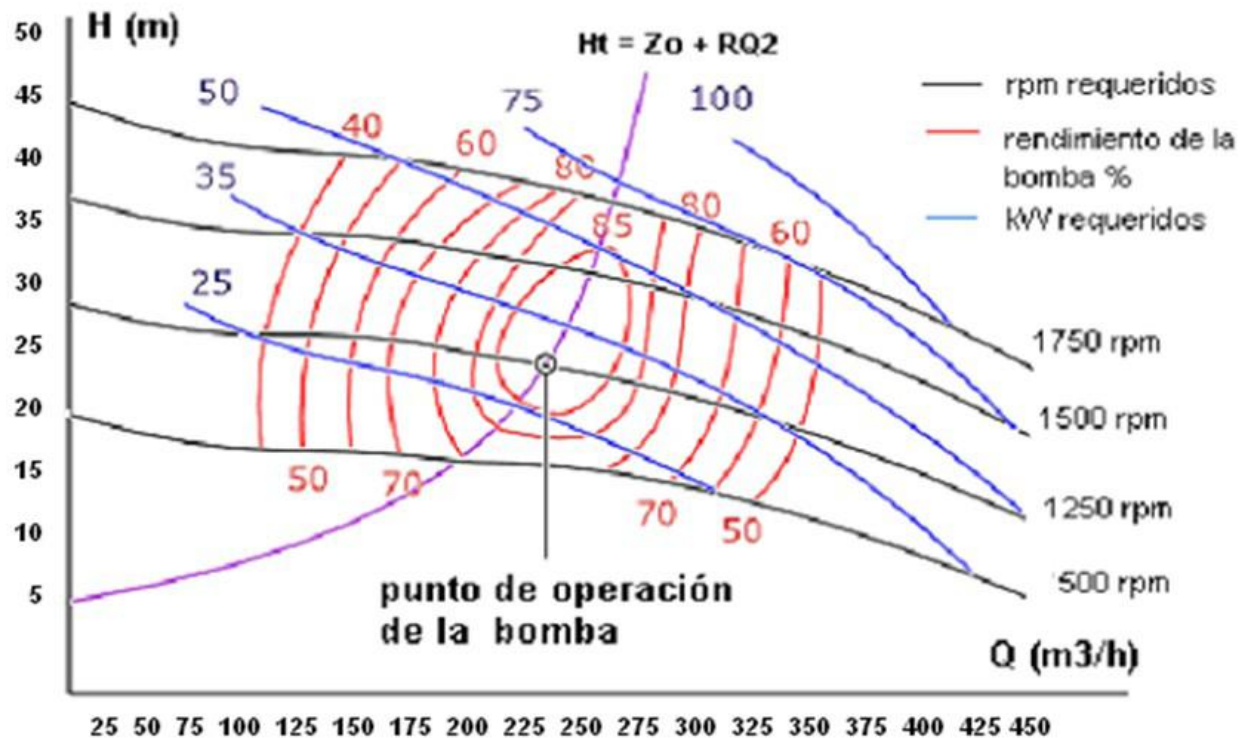


Figura 6.1: Curvas múltiples de operación de una bomba centrífuga

$$\eta = \frac{P_s}{P_e} \quad [6.1]$$

y puede ser determinada también a partir de la medición de una de estas potencias y el cálculo de las pérdidas totales; expuestas en las expresiones siguientes:

$$\eta = \frac{P_s}{P_s + \Delta p} \quad [6.2]$$

$$\eta = \frac{P_e - \Delta p}{P_e} \quad [6.3]$$



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.

En esencia la introducción del esquema de control difuso con los variadores de velocidad, y más si está avalado como el presente estudio del proceso para mejorar eficiencia en el accionamiento, permite la disminución de las pérdidas de energía y aumenta el tiempo de vida útil o empleo de la bomba.

El cálculo económico está dado por el ahorro de energía que puede significar cuando utilizamos el supervisor difuso y el incremento del tiempo de vida útil de la instalación. 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 (6.4):

$$E_{Miahor} = N_b \cdot \left(\frac{1}{\eta_{MI1}} - \frac{1}{\eta_{MI2}} \right) \cdot h_{totales} \quad [6.4]$$

Donde:

P_{Miahor} – 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 (6.5):

$$E_{bcahor} = N_{b1} \left(1 - \frac{\eta_{bc1}}{\eta_{bc2}} \right) \cdot h_{totales} \quad [6.5]$$

Donde:

η_{bc1} – es la eficiencia de la bomba sin el supervisor, [%].

η_{bc2} – es la eficiencia de la bomba con el supervisor, [%].

A modo de ejemplo en la tabla 6.1 se brindan los datos sobre el ahorro que representa el uso del controlador difuso en el accionamiento de la bomba centrífuga con potencias típicas en la



de la instalación de hidrotransporte del ISMM suponiendo que la instalación trabaja 8 horas por 5 meses, trabaja entonces 960 horas, y con la ecuación .

Tabla 6.1: Ahorro de energía anual usando comandos de control difuso en accionamientos de motores con bombas centrífugas

Potencias de motores [kW]	η_{MI1} [%]	η_{MI2} [%]	$\Delta E_{ahorrada}$ anual en motores. [kW.h]	Costo de $\Delta E_{ahorrada}$ anual total (CUC)
55	81	92	14 157.5	1 698.9

6.2 Costos

Se hizo el análisis del costos de los elementos eléctricos a instalar para que la instalación sea controlado automáticamente. El PLC recibe señales analógicas y digitales de diferentes sensores y manda las señales digitales a los contactores para arrancar los motores, y a la vez mandarlos al PC para que el operador visualice la operación en el SCADA. La tabla 3.1 del anexo 7 muestra la cantidad de los elementos a utilizar con un costo total de **21 681.50** CUC.



Conclusiones Generales

Después de haber analizado la potencial implementación del trabajo he llegado a las siguientes conclusiones:

- Fue posible automatizar las acciones de operación y control de la instalación experimental mediante el uso del PLC de Simatic S7-300 de SIEMENS.
- Con los recursos informáticos que ofrece el CITECT fue posible construir un sistema supervisor que permite la adquisición de datos, la supervisión y el control del proceso del hidrotransporte de forma experimental, teniendo en cuenta la identificación de las variables principales del sistema.
- El SCADA elaborado tiene cualidades expertas a partir de la utilización de un supervisor difuso de eficiencia que opera con una arquitectura tipo Mamdani, con tres señales de entradas y una de salida.
- Con la utilización del supervisor difuso, se tiene un impacto técnico-económico de tanto CUC anuales por reducción de pérdidas de energía, en la instalación experimental, alcanzándose mejorar las condiciones de operación del sistema de hidrotransporte.



Recomendaciones

- Continuar el sistema SCADA con más variables para garantizar el acceso remoto a sus bases de datos del sistema y así propiciar una eficiente conectividad a la misma.
- Trabajar en la conectividad inalámbrica de la instrumentación del campo y de todo el sistema SCADA.
- Hacer uso de otro tipo de inteligencia artificial como el controlador por redes neuronales
- Sugerimos experimentar a través de los toolbox de MATLAB (ver comunicación con RF), que tiene interface con CITECT.



Bibliografía

1. A. Turro, L. Garcell, R. Izquierdo, Parámetros y regímenes del hidrotransporte de colas lateríticas en el proceso Caron, v.24 n.4 / 2008 2002.
2. Andres Rugeles Vargas, Diseño de un controlador difuso a través de la herramienta fuzzy de Matlab, (PDF)
3. 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.
4. Damien Wilson Benjamin, 2009, Estación experimental de hidrotransporte de pulpa laterita asistida por PLC en el ISMM de Moa, Tesis de diploma.
5. Introducción to Programmable logic controllers (PLC's) Industrial control systems fall 2006.
6. Jacob Fraden, 2004, Handbook of Modern Sensors Physics, Designs, and Applications, AIP press, USA.
7. Luis D. Rojas, 2004, accionamiento electrico asincronico para transporte eficiente de pulpa laterítica, Tesis de Doctorado, Ciudad de la Habana.
8. Luis D. Rojas, Mario Morera, Ángel Columbié, 2004, Identification de accionamiento de motor de inducción con bomba centrífuga usando lógica difusa. Trabajos Teórico Experimentales. *Energética* Vol. XXV, No. 3/2004.
9. Malcolm Barne, 2003, Practical variable speed drives and power electronics, Elsevier imprint, Australia.
10. Osmanda Cautín Martínez, 2004, Estudio de la eficiencia de los accionamientos de bombas de hidrotransporte de suspensión no newtonianas, Moa, Trabajo de diploma.
11. Penda Negonga, 2008, sistema informativo de accionamiento de hidrotransporte basado en el PLC de Siemens, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Tesis de diploma.
12. Programming a PLC.(PDF) .
13. Siemens, STEP 2000 Basics of PLCs, 2000.
14. Simatic S7 300 (PDF)
15. Step 7 Basic PLC Workshop Rev7 (PDF).
16. Telemecanique, Manual electrotécnico, Junio 1999.



Sitios Web

www.gurupo_maser.com/PAG_Cursos/Auto/auto2/auto2/PAGINA%20PRINCIPAL/PLC/plc.htm

http://es.wikipedia.org/wiki/Inteligencia_artificial

www.seattlerobotics.org/Encoder/mar98/fuz/fl_part4.html

http://es.wikipedia.org/wiki/Redes_Neuronales

<http://www.s7-smartlabel.de>.

<http://www.siemens.com/automation/partner>

<http://mall.automation.siemens.com/>

ANEXOS GRÁFICOS

Anexo.1



Figura 1: Esquema de la instalación de hidrotransporte del instituto superior minero metalúrgico de Moa.

Anexo 2

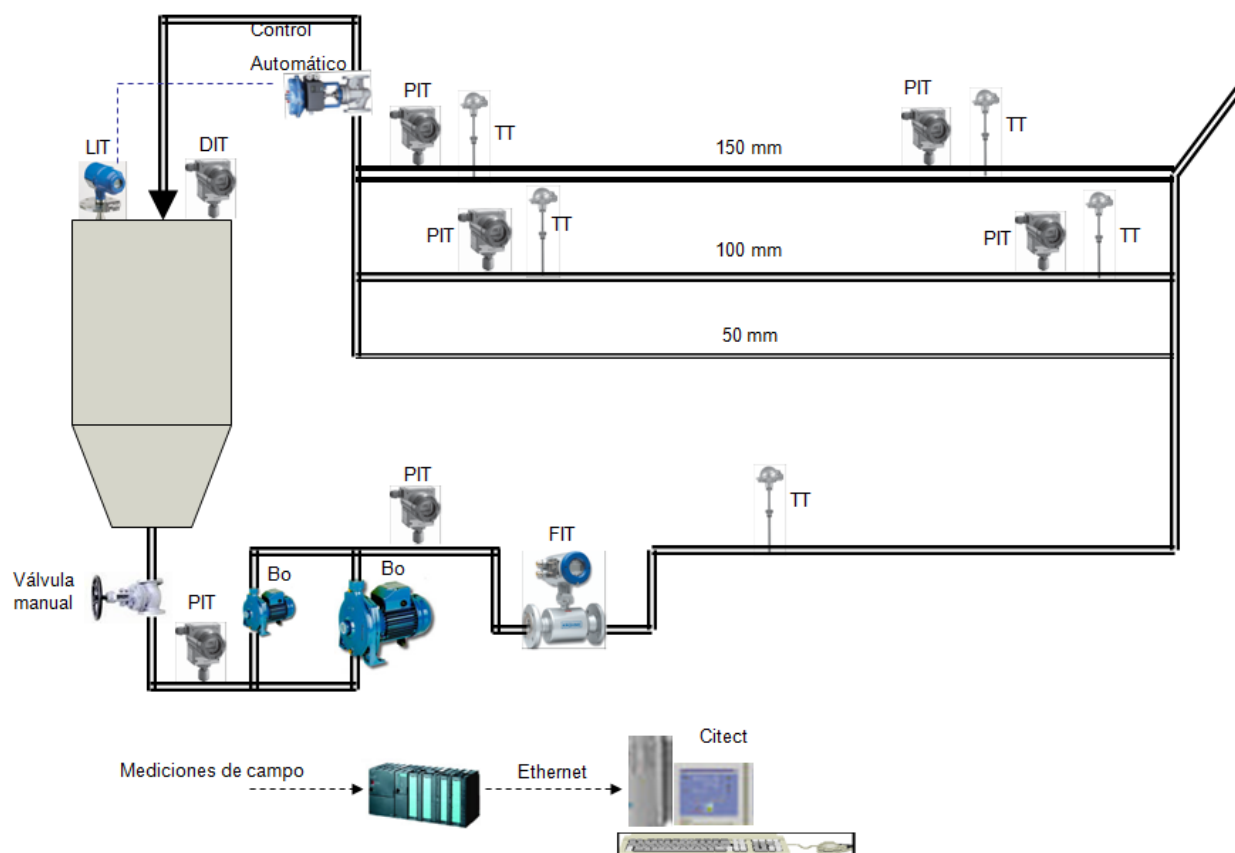


Figura 2: Esquema propuesta con los elementos de mediciones de la instalación

Anexo 3

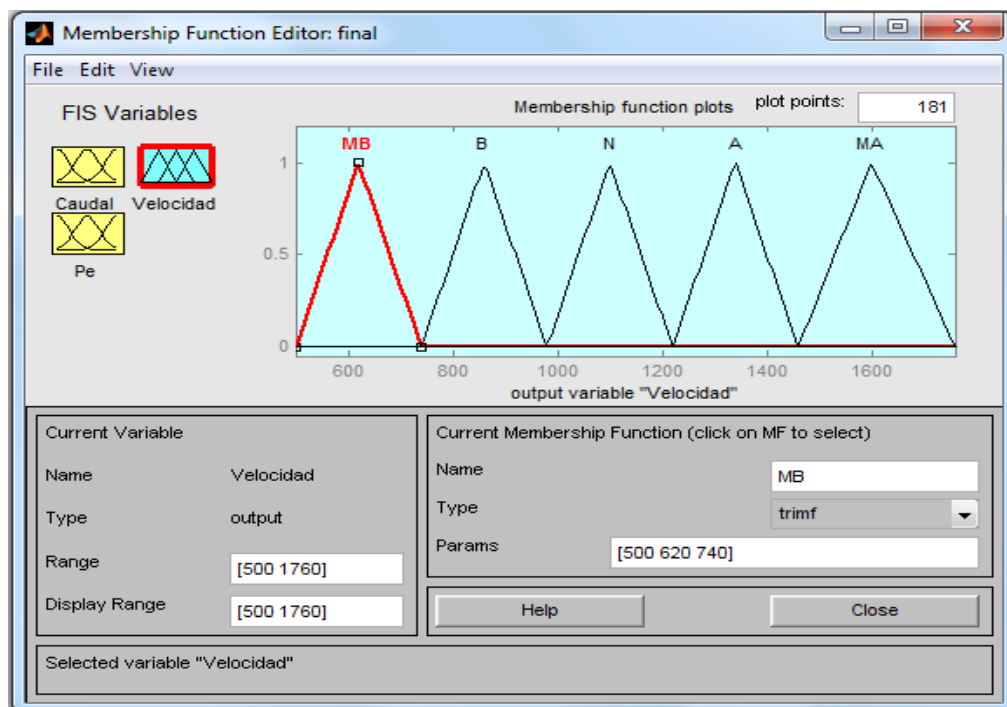


Figura 3.1: Funciones de pertenencia de forma triangular para la variable velocidad

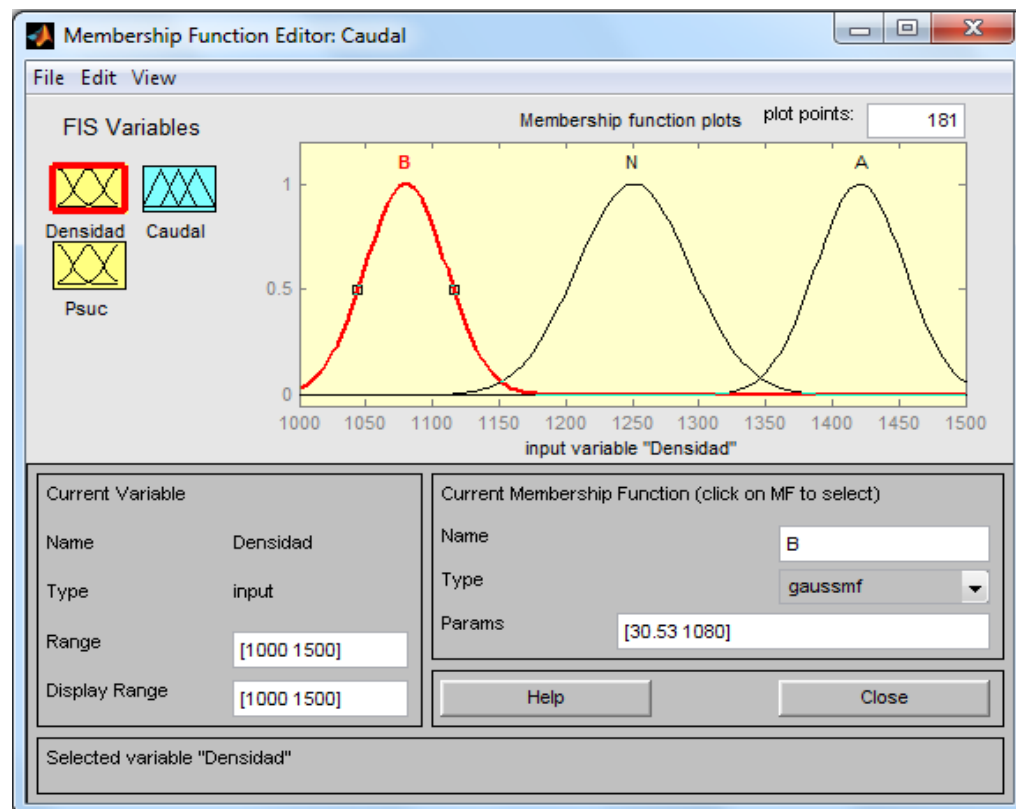


Figura 3.2: Funciones de pertenencia de forma Gausiano para la variable densidad

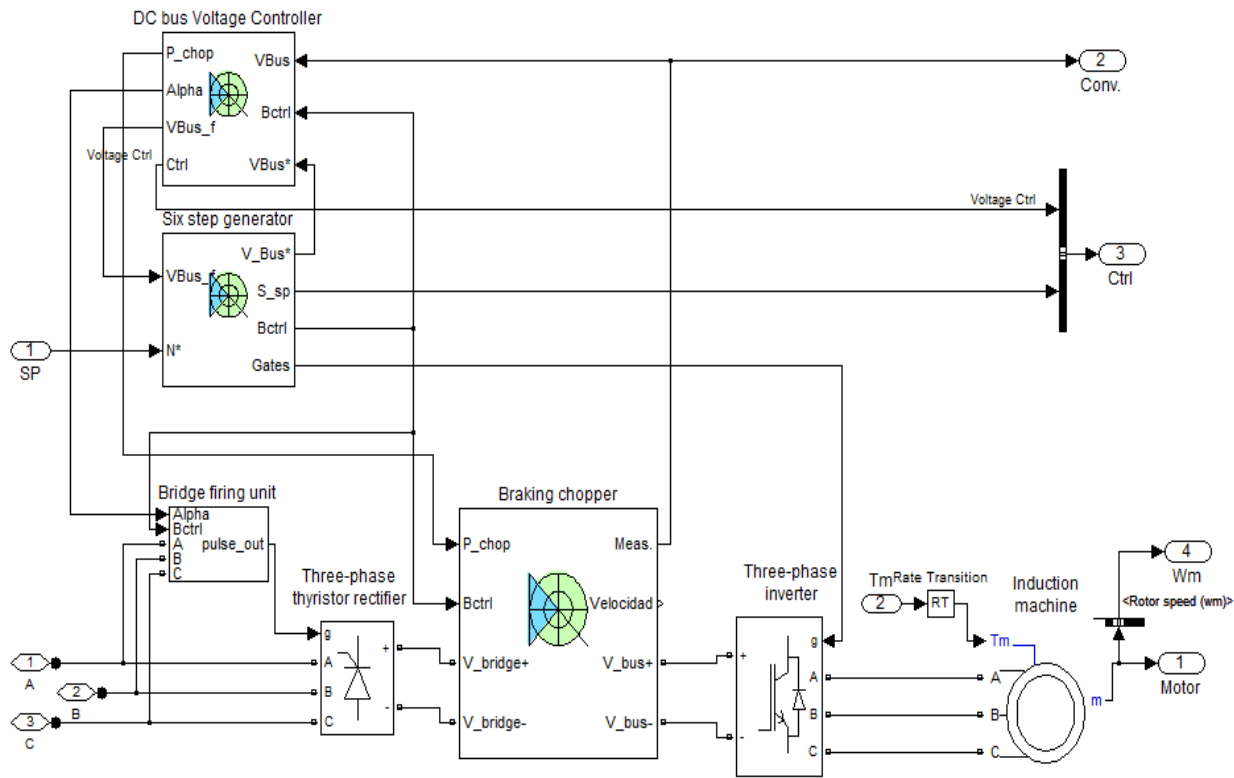


Figura 3.3: Modelo desde MATLAB del motor de inducción para la bomba centrífuga

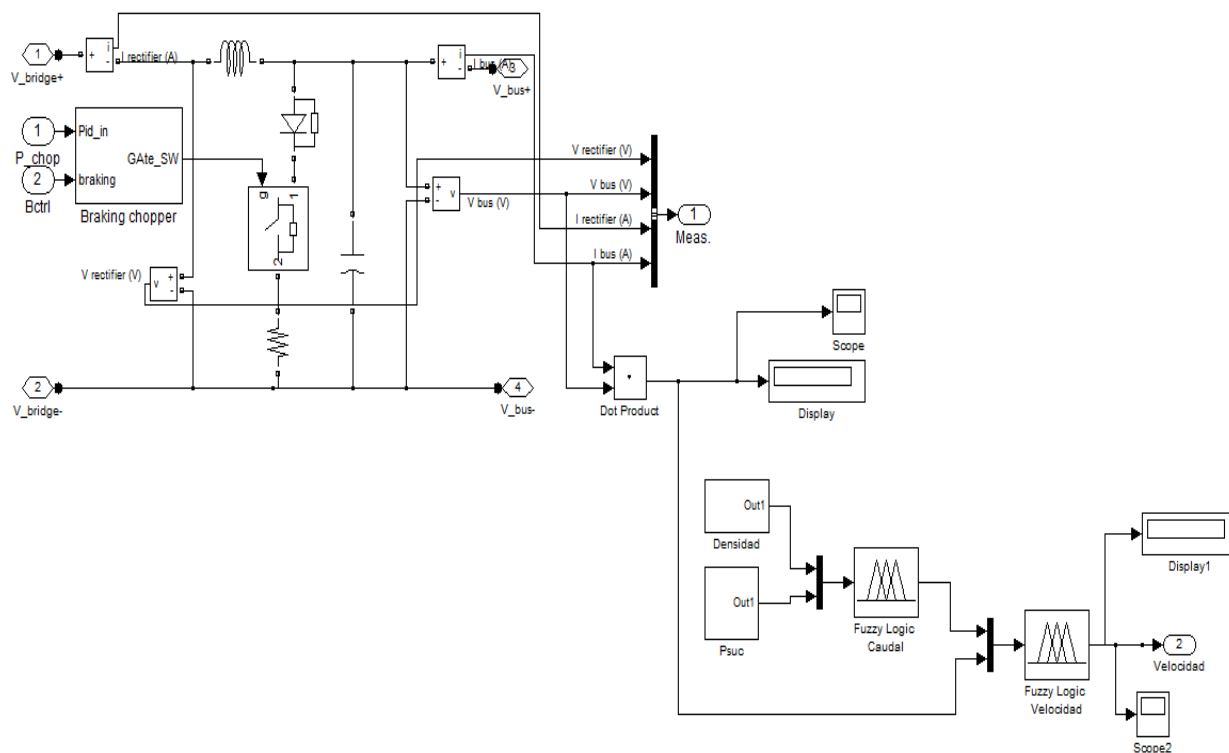


Figura 3.4: Modelo del controlador difuso para el motor de inducción



Network 16: Boton de Emergencia

El boton de parada en caso de emergencia

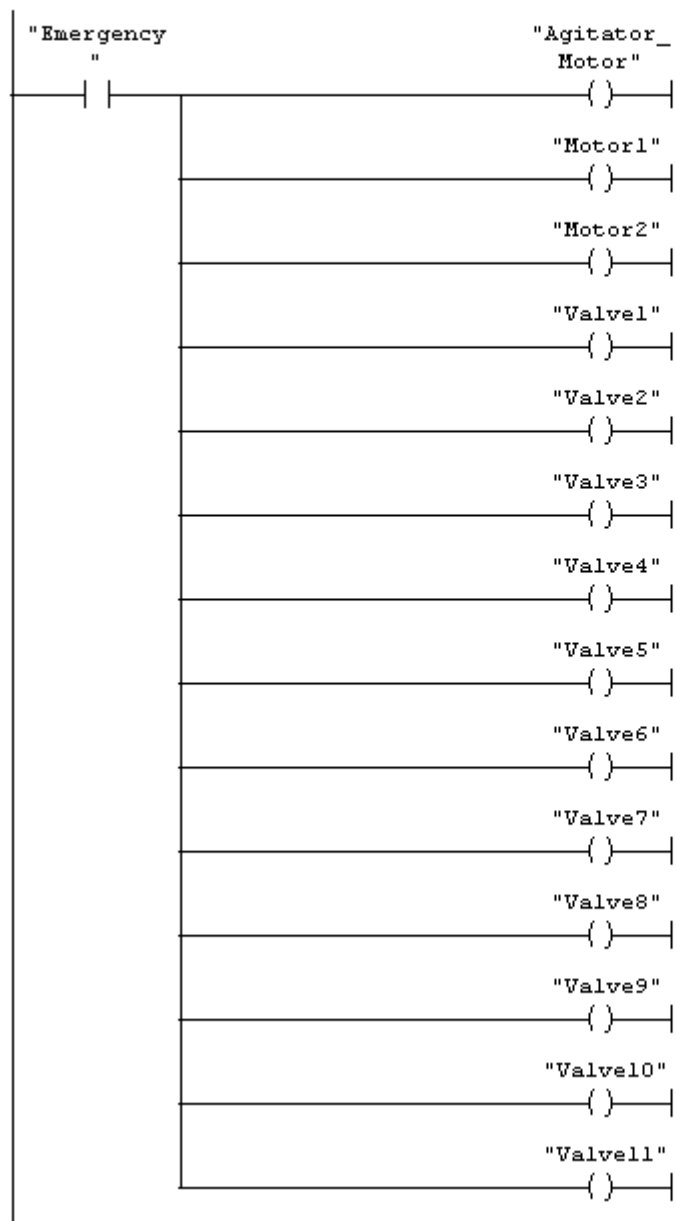


Figura 4.2: Programación del botón de emergencia

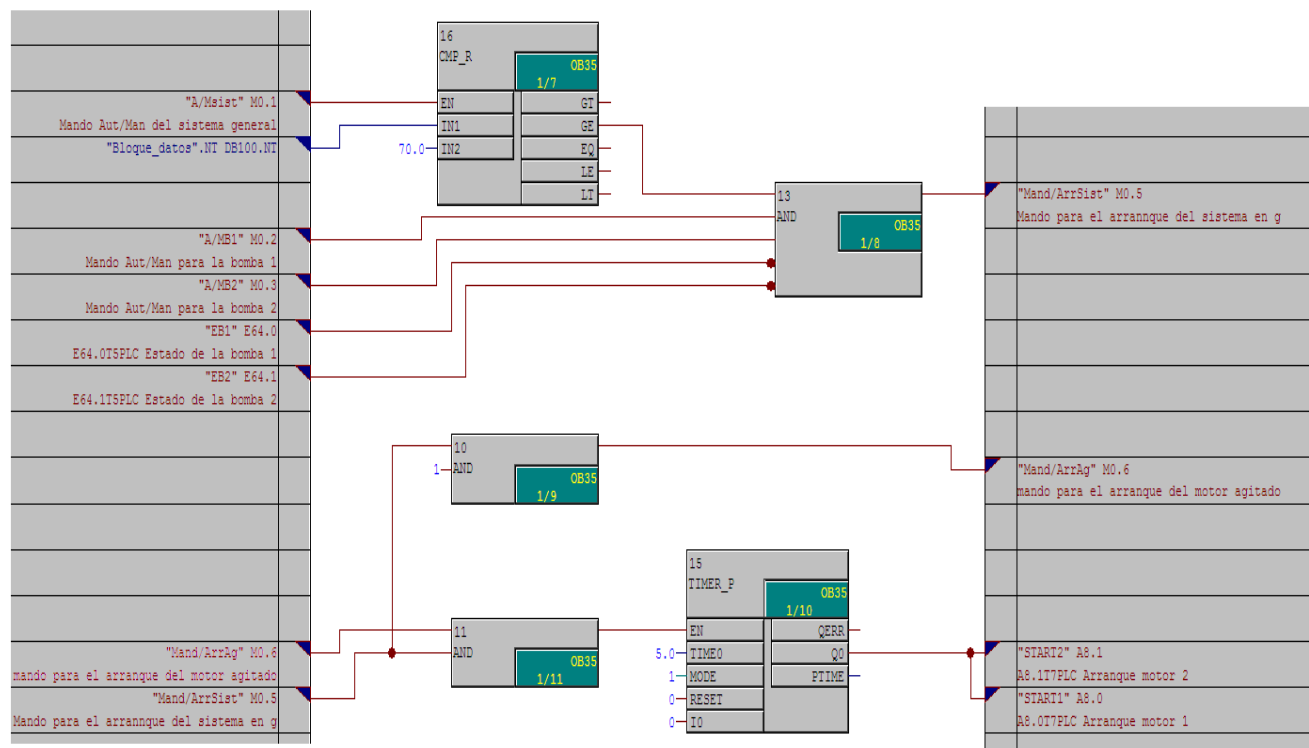
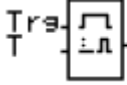
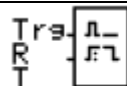
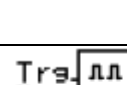
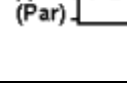
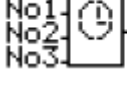
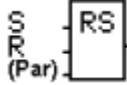
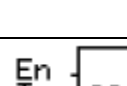
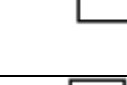
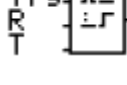
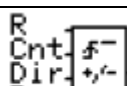


Figura 4.4: Programación para el mando automático hecho en lenguaje de programación CFC

Anexo 5

Tabla.2.1: Funciones especiales para la programación de los autómatas

 Temporizador con retardo a la conexión	Activa la salida Q una vez que ha transcurrido el tiempo programado.
 Temporizador con retardo a la desconexión	Desactiva la salida una vez transcurrido el tiempo programado. El temporizador se pone en marcha en flanco descendente
 Relé de impulsos (Telerruptor)	Tiene el mismo funcionamiento que un interruptor. La salida cambia de estado de 0 a 1, cada vez que cambia la señal en la entrada Trg.
 Reloj Horario	Permite controlar los instantes de activación y desactivación de la salida en un día de la semana y a una hora determinada.
 Relé de automantenimiento. Biestable R-S	Función biestable R-S. Permite realizar la función paro-marcha típica de los automatismos a contactores. La situación no permitida R=1 S=1 se soluciona dando preferencia a R.
 Generador de pulsos de reloj	Genera pulsos de reloj a intervalos iguales. Funcionamiento similar a un intermitente.
 Temporizador con retardo a la conexión con memoria	De funcionamiento similar al temporizador a la conexión, pero con la característica que no es necesario mantener la señal en Trg.
 Contador progresivo/regresivo	Permite contar y descontar los pulso aplicados a su entrada CNT
 Contador de horas de servicio	Permite medir el tiempo que está activada la entrada En. Esta función solamente se puede utilizar como bloque inicial
 Relé de supresión	Activa la salida hasta que haya transcurrido el tiempo de T. Si éste no ha terminado y Trg se pone a 0 la salida también lo hace.

Anexo 6

Tabla 2.2: Tipos de los PLC de S7-200

Model	Description	Power Supply	Input Types	Output Types
221	DC/DC/DC	20.4-28.8 VDC	6 DC Inputs	4 DC Outputs
221	AC/DC/Relay	85-264 VAC, 47-63 Hz	6 DC Inputs	4 Relay Outputs
222	DC/DC/DC	20.4-28.8 VDC	8 DC Inputs	6 DC Outputs
222	AC/DC/Relay	85-264 VAC, 47-63 Hz	8 DC Inputs	6 Relay Outputs
224	DC/DC/DC	20.4-28.8 VDC	14 DC Inputs	10 DC Outputs
224	AC/DC/Relay	85-264 VAC, 47-63 Hz	14 DC Inputs	10 Relay Outputs
226/226XM	DC/DC/DC	20.4-28.8 VDC	24 DC Inputs	16 DC Outputs
226/226XM	AC/DC/Relay	85-264 VAC, 47-63 Hz	24 DC Inputs	16 Relay Outputs

Tabla 2.3: Datos técnico del Caudalómetro SITRANS F

Energía auxiliar	AC 120 a 230 V (50/60 Hz)
Temperatura de la sustancia a medir	-20 °C a +180 °C
Salida analógica	4 a 20 mA
Salida digital	DC 24 V, ≤ 24 mA

Tabla 2.4: Datos técnicos de la tarjeta SM 321, 6ES7 321- 1FH00- OAAO

Cantidad de entradas	16
Tensión de entrada (valor nominal)	120/230 V AC
Tension para señal "1"	79-264 V
Tension para señal "0"	0-40 V
Frecuencia	47-63 Hz
Dimensiones (A x A x P) en mm	40 x 125 x 120
Peso, aproximadamente	275 g
Disipación	4.1 W

Tabla 2.5: Datos técnicos de la tarjeta SM 322, 6ES7 322- 1FH00- OAAO

Cantidad de salidas	16
Tensión nominal de carga	120/230 V AC
Tension para senal “1”	-
Corriente de salida para senal “0”	3mA con 264 V
Frecuencia	0.5-10 Hz
Dimensiones (A x A x P) en mm	40 x 125 x 120
Peso, aproximadamente	275 g
Disipación	8.6 W

Tabla 2.6: Datos técnicos de la tarjeta SM 331, 6ES7 331- 7NF00-0AB0

Cantidad de entrada	8
Tensión nominal de carga	75 V
Disipación	0.6 W
Dimensiones (A x A x P) en mm	40 x 125 x 120
Peso, aproximadamente	270 g

Tabla 2.7: Datos técnicos de la tarjeta SM 332, 6ES7 332- 5HD01-0AB0

Cantidad de salidas	4
Tensión nominal de carga	24 DC
Disipación	3 W
Dimensiones (A x A x P) en mm	40 x 125 x 120
Peso, aproximadamente	220 g

Tabla 2.8: Datos técnicos de la fuente de alimentación, PS 307

Tension nominal de entrada	120/230 V AC
Tension nominal de salida	24 v DC
Frecuencia	50/60 Hz
Corriente nominal	0.9/0.6 A
Dimensiones (A x A x P) en mm	50 x 125 x 120
Peso, aproximadamente	0.42 kg



Tabla 2.9: Datos técnicos del CPU 315 2 DP

Paquete de programación asociado	STEP 7 + V 5.1 + SP 4 ó superior • S7-SCL • S7-GGRAPH • S7-HiGraph
Memoria	128 kbytes
Memoria de carga	Micro Memory Card 4 Mbytes Flash-EPROM (máx. 8 Mbytes)
Tiempos de ejecución	0,1- 0.6 μ s
Contadores S7	256
Temporizadores S7	256
Bloques totales	1024 (DBs, FCs, FBs)
Bastidores, máx.	4
Módulos por bastidor, máx	8
Tipo de	RS 485 integrado
Alimentación en Puerto (15 a 30 V DC)	200 mA
Lenguaje de programación	KOP/FUP/AWL • S7-SCL • S7-GGRAPH • S7-HiGraph • CFC
Tipos de módulos	• bloques de organización (OB) • bloques de función (FB) • funciones (FC) • bloques de datos (DB) • funciones del sistema (SFB, SFC)
Montaje A x A x P (mm)	40 x 125 x 130
Peso	290 g
Tensión de alimentación	24 V DC
Consumo (en vacío)	60 mA
Disipación	2,5 W



Anexo 7

Tabla 3.1: Listado de las señales digitales/analógicas para la instalación

Item	Tag	Descripción	AI	AO	DI	DO
1	PSB1	Presión de succión de la bomba 1	1			
2	PSB2	Presión de succión de la bomba 2	1			
3	PIB	Presión de impulsión de la bomba	1			
4	P1L50	Presión 1 línea de 50 mm	1			
5	P2L50	Presión 2 línea de 50 mm	1			
6	P1L100	Presión 1 línea de 100 mm	1			
7	P2L100	Presión 2 línea de 100 mm	1			
8	P1L150	Presión 1 línea de 150 mm	1			
9	P2L150	Presión 2 línea de 150 mm	1			
10	F1	Flujo 1	1			
11	F2	Flujo 2	1			
12	TLIBo	Temperatura línea de impulsión	1			
13	T1L50	Temperatura 1 línea de 50 mm	1			
14	T2L50	Temperatura 2 línea de 50 mm	1			
15	T1L100	Temperatura 1 línea de 100 mm	1			
16	T2L100	Temperatura 2 línea de 100 mm	1			
17	T1L150	Temperatura 1 línea de 150 mm	1			
18	T2L150	Temperatura 2 línea de 150 mm	1			
19	CNT	Nivel del tanque	1	1		
20	DM	Densidad del material	1			
21	AM1	Amperaje del motor 1	1			
22	AM2	Amperaje del motor 2	1			
23	STAR1	Arranque del motor 1				1
24	STAR2	Arranque del motor 2				1
25	STOP1	Parada del motor 1				1
26	STOP2	Parada del motor 2				1
27	EB1	Estado de la bomba 1			1	
28	EB2	Estado de la bomba 2			1	
29	LDM1	Limite de disparo del motor 1				1
30	LDM2	Limite de disparo del motor 2				1
31	VF	Velocidad del fluido	1			
Total de señales por tipo			23	1	2	6



Anexo 8

Tabla 3.2: Listado y precios de los elementos necesarios para el sistema SCADA

Descripción	Cantidad	Costo	Costo total
FUENTE D/ALIMENTACION PS 307	1	156.15	156.15
CPU 315-2DP con MPI.	1	2,433.56	2 433.56
MICRO MEMORY CARD 8 MBYTE PARA CPU S7 300	1	437.24	437.24
TARJETA DE ENTRADA ANALOGICAS SM 331 SIMATIC S7-300	1	661.87	661.87
TARJETA SM 332	1	551.36	551.36
TARJETA DE ENTRADA DIGITAL SM 321	1	171.777	171.777
TARJETA DE SALIDAS DIGITALES SM 322	1	239.044	239.044
TRANSMISOR P/PRESION RELATIVA O NIVEL TQ. ABIERTO, SMART	1	1220.55	1220.55
TRANSMISOR DE DENSIDAD	1	8241.74	8241.74
Termoresistencia PT100	5	251.00	1 255.00
CAUDALIMETRO DN: 150 REMOTO	1	3254.71	3254.71
Medidor de nivel método onda radar antena tipo BOSTON	1	4757.49	4757.49
Relé de sobrecarga	2	8.00	16.00
Botón de arranque/parada	1	15.57	15.57
Contactor	3	28.00	84.00
Arrancador de motor	3	443.00	1329.00
PC	1	1450.00	1450.00
TOTAL			10 906.77

Tabla 3.3: Rangos de variación de las variables en sus ajustes difusos

Ajuste Difusos	Densidad [kg/m ³]	Caudal [m ³ /h]	Presión suc [hPa]	Pot. Entrada [kW]	Velocidad [rpm]
MB		[18.09 46.07]	[900 1100]	[30.77 37.33]	[500 620 740]
B	[1000 1080 1151]	[46.07 74.05]	[1100 1300]	[37.33 43.89]	[740 860 980]
N	[1151 1251 1351]	[74.05 102]	[1300 1506]	[43.89 50.44]	[980 1100 1220]
A	[1351 1420 1500]	[102 117.65]	[1506 1600]	[50.44 53.80]	[1220 1320 1460]
MA		[117.65 130]	[1600 1700]	[53.80 57.00]	[1460 1600 1760]

Tabla 3.4: Características de operación de la bomba centrífuga PB-315/40 para pulpa al 25 % a 60 °C a 1250 rpm

H (m)	Q (m ³ /h)	N (kW)	Rend (%)	Zo+RQ ²
44	200	45	57	7
43,5	210	46	58	7
43	220	48	59	8
43	230	49	59	8,3
43	240	50	60	8,3
43	250	52,5	60	9
42,5	260	54	60	11
42	270	54,5	61	14,7
42	280	55	62	19,2
41	290	56	62	25,6
40,5	300	57	63	31,4
40	310	59	64	40
40	320	61	64	49
40	330	62	65	58,3
39,5	340	63	65	66
39	350	64	66	69,2
38	360	64,5	67	79,1
35	380	65	68	82,4



32	390	65	67	84,3
30	400	65	66	86
30	410	65	65	87,2
29	420	65	64	88