



ISMMM

INSTITUTO SUPERIOR MINERO  
METALURGICO DE MOA  
DR. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ

**Ingeniería Eléctrica**  
**Facultad: Metalurgia y Electromecánica**

# *Trabajo de Diploma*

**En opción al Título  
de**

## **Ingeniero Eléctrico**

**Título: Sistema de fuerza para diagnósticos de  
hidrotransporte en la estación experimental del ISMM  
de Moa**

**Autor: Luís Mario Díaz Maren**

**Tutores: MSc. Gabriel Hernández Ramírez**

**Msc. Rodney Martínez Rojas**

Moa, Holguín  
Junio del 2014  
Curso 2013-2014  
"Año 56 de la Revolución"



# Declaración de Autoridad

Yo, **Luís Mario Díaz Maren**, el autor de este trabajo de diploma titulado “Sistema de fuerza para diagnósticos de hidrotransporte en la estación experimental del ISMM de Moa”, certifica su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa a hacer uso del mismo con la finalidad académica que estime conveniente.

.....

*Autor*

.....

*Tutor*



# AGRADECIMIENTOS

*A todos los que han hecho posible la realización de este trabajo.*



# DEDICATORIA

*A todos lo que realmente me quieren.*



# PENSAMIENTO

*La educación es el arma más poderosa que tiene el hombre para crear una ética, para crear una conciencia, para crear un sentido del deber, un sentido de la organización de la disciplina, de la responsabilidad. “*

*Fidel Castro Ruz*



## Resumen

Hoy en día es evidente que la industria que no está automatizada es menos eficiente y con ese razonamiento que el siguiente trabajo se realiza en la instalación experimental de transporte de pulpa laterítica localizado en Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. El mismo consiste en la instalación del sistema de fuerza 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. Cuando un sistema industrial esta automatizada se hace más fácil medir y controlar sus parámetros, estos sistemas reduzcan 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.



**Abstract**

.



**INDICE**

**Contenido**

Introducción General.....	1
Capítulo I: Instalación experimental de hidrotransporte del ISMMM .....	3
1.1 Introducción .....	3
1.2 Estado del Arte .....	3
1.3 Descripción actual de la instalación experimental de hidrotransporte. ....	4
1.4 Conclusiones Parciales.....	9
Capítulo II: Materiales y métodos .....	11
2.1 Introducción .....	11
2.2 Definición de un autómata programable .....	11
2.3 Descripción del variador de velocidad Yaskawa.....	15
2.4 Conclusiones.....	25
Capítulo III: Análisis de los resultados .....	26
3.1 Introducción .....	26
3.2 Descripción de los resultados obtenidos.....	26
3.3. Conclusiones parciales.....	38
Conclusiones Generales.....	39
Recomendaciones .....	40
Bibliografía.....	41
ANEXOS.....	43



## Introducción General

Desde los inicios de la revolución industrial en el siglo XVII se ha debatido mucho acerca el ahorro de la energía. Algunos pensadores como William Stanley Jevons en su libro 1865 titulada "The Coal Question" (la cuestión del carbón) han introducido la Paradoja de Jevons que viene a enunciar: aumentar la eficiencia disminuye el consumo instantáneo pero incrementa el uso del modelo lo que provoca un incremento del consumo global.

La tecnología moderna consume grandes cantidades de energía eléctrica. Esta es normalmente generada en una planta de energía que convierte otras clases de energía en energía eléctrica. Cada sistema tiene ventajas e inconvenientes, pero muchos de ellos plantean preocupaciones medioambientales. Entre las preocupaciones actuales está el ahorro de energía y el efecto medioambiental de la generación de energía eléctrica. Más graves son las preocupaciones acerca de las emisiones que resultan del quemado de combustibles fósiles. Al quemarse se produce la conversión de este carbón el dióxido de carbono, el cual se diluye en la atmósfera, lo que produce un incremento en los niveles del dióxido de carbono atmosférico, que refuerza el efecto invernadero y contribuye al calentamiento global de la Tierra.

La industria es uno de los sectores de la sociedad más necesitados del ahorro de energía, ya que su logro supone una mayor competitividad. En este sector es muy importante el ahorro de combustible mediante manejo y distribución de la energía, así como el aumento de la eficiencia de los equipos que la utilizan todo esto reduce los costos de combustible aumentando los beneficios para las empresas.

Para determinar de forma práctica el ahorro de energía se cuenta con instalación experimental de hidrotransporte en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMM) es una reflexión de la instalación de hidrotransporte de minerales. 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 y en los accionamientos

### Problema

La ausencia del sistema de fuerza que limita 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 sistema de fuerza, que asista el funcionamiento eficiente del sistema.

### **Objetivo**

Proponer un sistema de fuerza para la explotación eficiente de la instalación experimental de hidrotransporte del ISMM de Moa,

### **Objetivo específico**

1. Presentar el estado del arte del sistema de medición de campo de la Estación Experimental de Hidrotransporte en el ISMMM.
2. Elaborar la matriz de variables que toman parte en el funcionamiento de la instalación experimental de hidrotransporte del ISMM de Moa.
3. Desarrollar la operación del sistema experimental para validar la propuesta.



## 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 evaluar el sistema de fuerza que garantice el funcionamiento de la instalación.

### 1.2 Estado del Arte

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 ( $\omega$ ) 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  $\rho$  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  $\rho$  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):

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

Donde:

$M_c$  = Momento de carga

$f$  = frecuencia de línea

$w$  = Velocidad angular de rotación del motor

$\Delta p$  = Variación de presión (diferencia entre la presión de succión y el de impulsión)

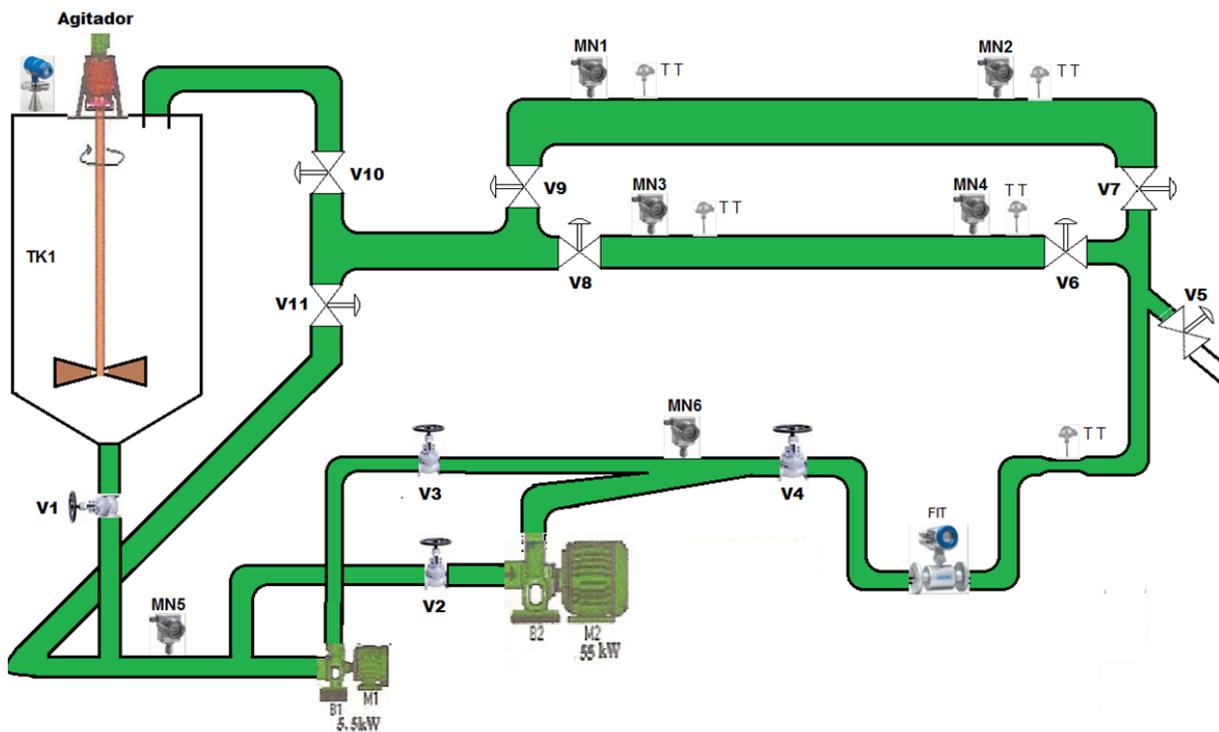
$Q$  = Es el caudal o gasto desarrollado por la bomba, [m<sup>3</sup>/s]

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

### 1.3 Descripción actual de la instalación experimental de hidrotransporte.

La instalación consta de un tanque (TK1) de 4 m<sup>3</sup>, 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 flujometro(FIT), 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  $4 \text{ m}^3$ . La bomba B2 tiene una capacidad de  $160 \text{ m}^3/\text{h}$ , y la bomba B1 es de  $60 \text{ m}^3/\text{h}$ . 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 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)



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

## Elementos eléctricos de la instalación experimental

El accionamiento eléctrico tiene los siguientes elementos principales;

- 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=40m,1760rpm)
- Bomba centrifuga BC(rodete cerrado= $60\text{m}^3/\text{h}$ , H=15m,1730rpm)
- Transductores de presión( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
- Módulo de medición de tensión, corriente, potencia, factor de potencia y armónicos desde la red de alimentación

## 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



## 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.

## 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.



## 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.

## 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.

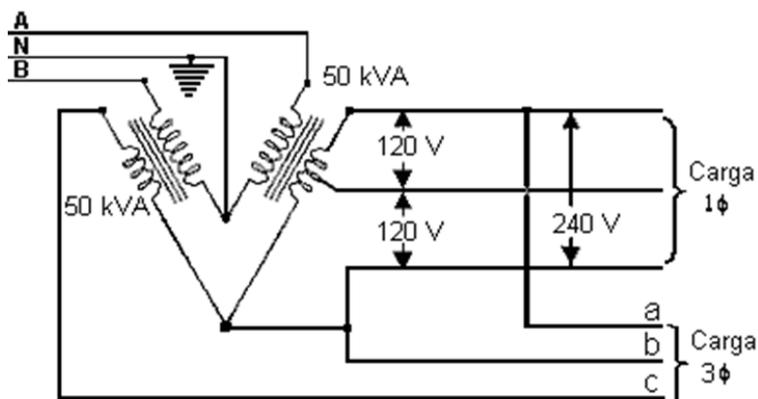


Figura 1.2: Esquema eléctrico de la conexión del banco de los transformadores docente.

## 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.

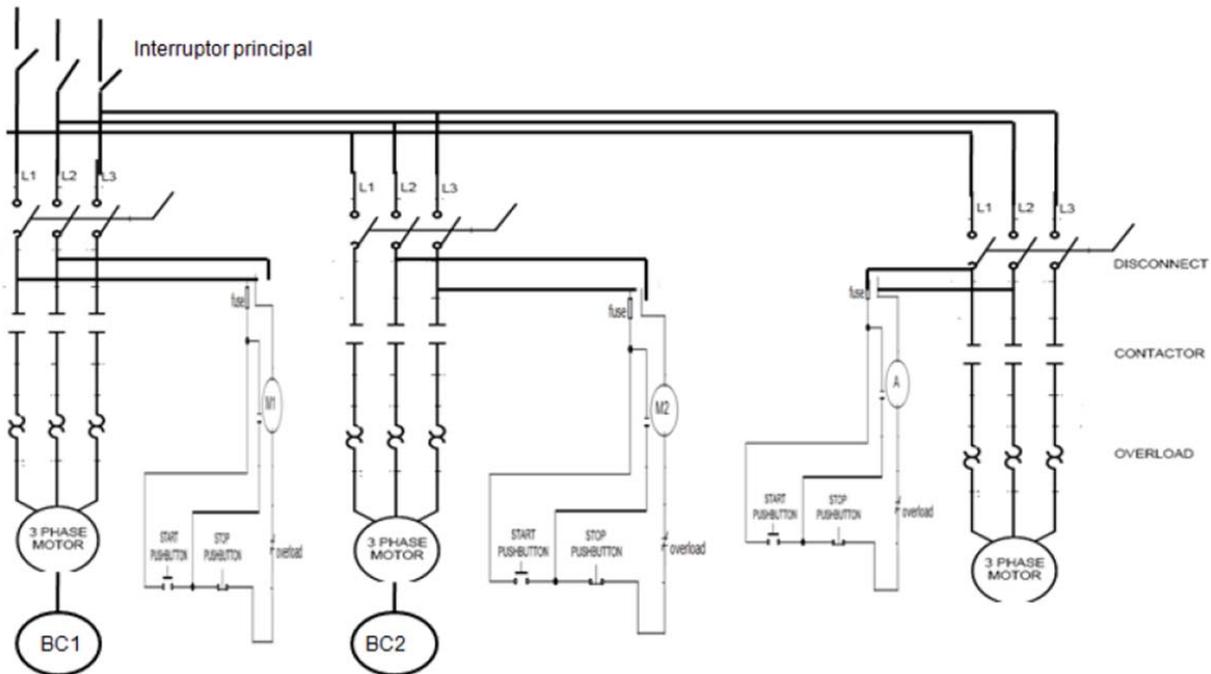


Figura 1.3: Esquema del sistema de potencia de la instalación.



Figura 1.4: Estado del sistema de fuerza de la instalación

Como se observa en la figura existe un deterioro en interruptores, cables y relé para la protección, ocasionando un mal funcionamiento a la instalación.

### 1.4 Conclusiones Parciales

La instalación experimental no 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.

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: Materiales y métodos

### 2.1 Introducción

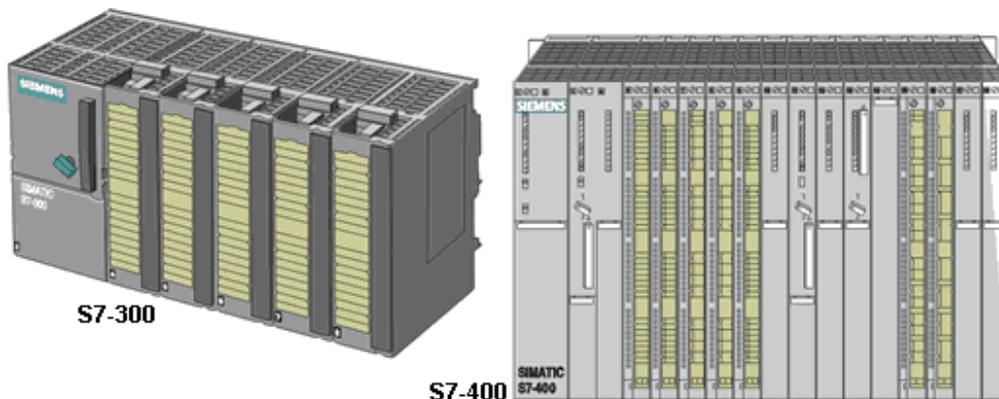
En este capítulo se hace una descripción general sobre los instrumentos que se encuentran ubicados en la instalación. Se presentará también las características del autómata Simatic S7-315 2DP y variadores de velocidad que será utilizado en la estación experimental de hidrotransporte del Instituto.

### 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.

#### **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.

#### **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 autómatas.
- Menor tiempo de puesta en funcionamiento.
- Si el autómatas 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.

### **Lenguaje de programación S7-CFC**

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.

### **Tipos de módulos**

Generalmente, existen cuatro tipos de módulos en cualquier autómatas 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.

## 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.

### 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.



### **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 miniautómatas 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.

## **2.3 Descripción del variador de velocidad Yaskawa**

La utilización de variadores de velocidad en el control del caudal de los mecanismos de circulación de fluidos en comparación con la estrangulación provoca un importante ahorro de energía eléctrica consumida. Por otra parte, la carga de este tipo de mecanismos es



proporcional, aproximadamente, al cuadrado de la velocidad, luego, al reducir ésta última para reducir el caudal, se provoca una sustancial disminución de la carga que trae como consecuencia una menor circulación de corriente tanto por el rotor como por el estator, con la Consecuente disminución de las pérdidas de cobre. En estas condiciones de operación son predominantes las pérdidas de acero, pudiendo aumentarse la eficiencia con la reducción de las mismas. Esta opción existe en muchos variadores de velocidad industriales los cuales utilizan una ley de mando en que la tensión es proporcional al cuadrado de la frecuencia. Esta ley de mando garantiza menores pérdidas que la conocida tensión/frecuencia constante, pero debido a la distribución no lineal de las pérdidas con respecto a las variables de operación de la máquina no se puede asegurar que las pérdidas sean las mínimas posibles, o sea, no se optimiza la eficiencia. Para lograrlo es necesario determinar, para cada punto de operación del motor dado por su valor de momento y velocidad, los valores de las variables de control de las pérdidas que garanticen consumo mínimo de potencia. Estas variables pueden ser de dos tipos: la tensión y la frecuencia en el caso del control escalar del motor y las componentes productoras de momento y de flujo para el control vectorial. Debido a la relación funcional no lineal existente entre la potencia consumida y las variables de control de las pérdidas, se recomienda la utilización de aproximadores funcionales basados en técnicas



Figura 2.1 Variador de velocidad

El modelo F7 de Yaskawa es un variador compacto y de muy alto desempeño capaz de adaptarse a cualquier tipo de aplicación industrial desde una típica y convencional red de bombeo a la más sofisticada línea de producción y acarreo de mercadería gracias a su diseño de plataforma flexible e inteligente. Previsto para Servicio Normal o Pesado, 4 modos



de control, opciones de comunicación (Modbus como Standard), Device-net, Profibus entre otras. Software especializado para aplicaciones específicas y un arreglo de opciones para entradas y salidas muy completo. El variador de frecuencia F7 viene pre-programado de fábrica y listo para operar.

Con un ajuste de gran simplicidad. Incorpora un novedoso operador digital con display alfanumérico de cristal líquido de 5 líneas x 16 caracteres que permite ver su estatus en 7 idiomas diferentes (incluyendo el español). Su sistema de teclado es intuitivo e incluye funciones de copiado si la aplicación lo permite para, trasladar fácilmente un ajuste de programación de un variador a otro.

Los parámetros de programación están agrupados para un ajuste amigable y opciones de programación rápida o avanzada. Para mejorar el manejo de datos y parámetros desde una PC está disponible sin cargo adicional el Software "Drive Wizard" con funciones de carga, descarga monitoreo y gráfica de variables. Su hardware cuenta con múltiples entradas y salidas análogas y digitales que pueden ser programadas para diferentes configuraciones de control externo y permitir la automatización y la incorporación a un sistema de producción. Su nuevo sistema de frenado dinámico "high slip braking" patentado por Yaskawa, puede eliminar la necesidad de resistor de frenado en muchas aplicaciones, descargas de alta inercia. El FT es compacto y confiable y está diseñado para operar en los rudos ambientes industriales, con una MTBF (Mean Time before fault) de 28 años, sin embargo se puede proveer con una variedad de protecciones ambientales y grados de hermeticidad para aplicaciones especiales. Con un rango de tensión que es desde los 208 hasta 480V, su operación de doble rango "Normal Duty" y "Heavy duty" posibilita la selección más económica de acuerdo a las necesidades de sobrecarga, torque de arranque y la potencia real adecuada a la aplicación. Incorpora una reactancia de choque DC, terminales para transformador de 12 pulsos (30 HP o más), autotuning estático y dinámico y opciones de regeneración.

Para proveer el método de control óptimo el F7 puede operar con el método V/f convencional, V/f con realimentación por encoder, método vectorial de lazo abierto y vectorial de lazo cerrado. Además la performance del drive puede ser notablemente mejorada mediante un software especial para aplicaciones específicas. La coordinación con otros

equipos se simplifica por sus entradas y salidas normalizadas de tren de pulsos, 4-20 mA, -10a 10V salidas de relay programables.

◆ **Conexión eléctrica**

■ **Cableado del variador**

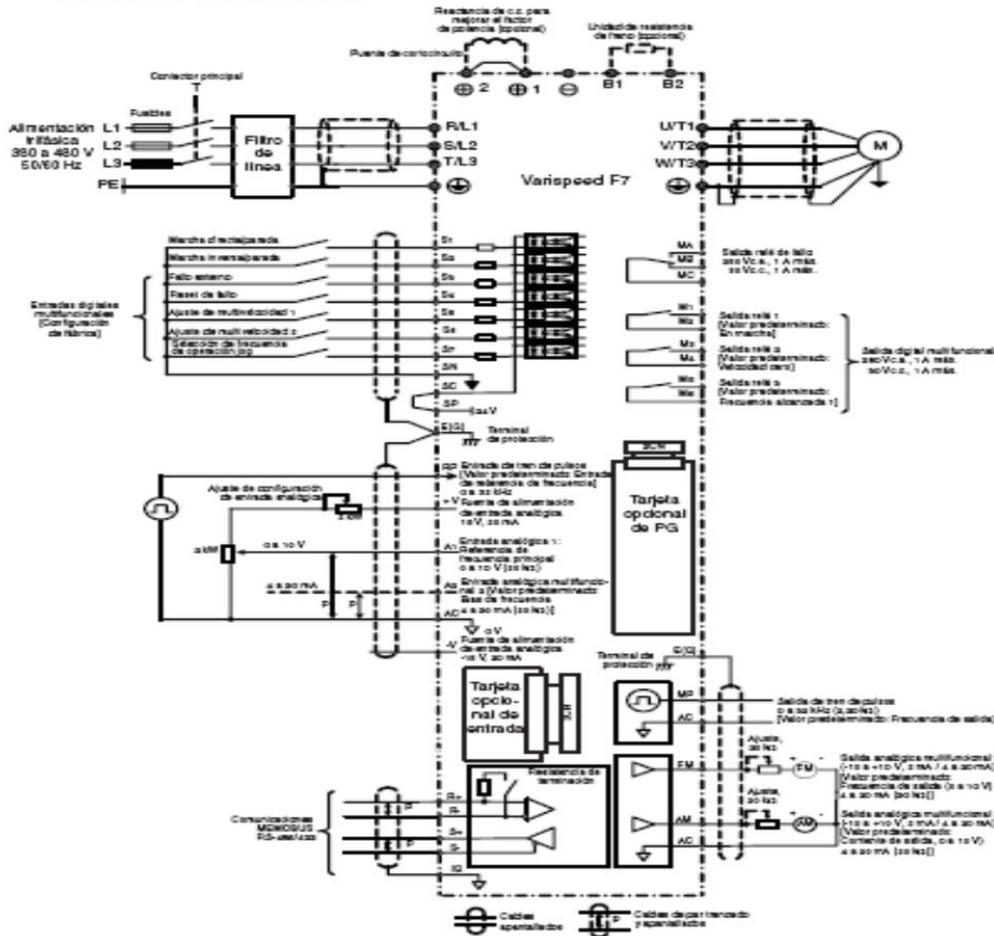


Figura 2.2 Conexión eléctrica

**Esquema de potencia. Circuito de mando**

El variador de velocidad cuenta básicamente con tres secciones (figura 2.1). Sección de entrada, sección de salida y sección de control. Las secciones de entrada y salida se muestran en un esquema común el cual se denomina esquema de potencia. Este esquema está constituido por un convertidor CA-CD construido generalmente con diodos en la sección de entrada y un inversor a IGBT en la sección de salida.

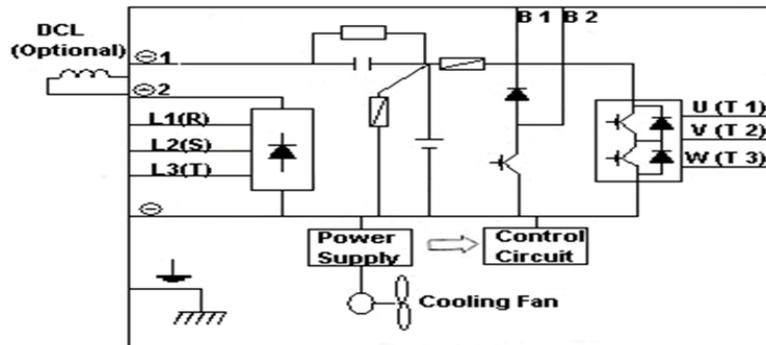


Figura 2.3 Diagrama en bloques del variador de velocidad

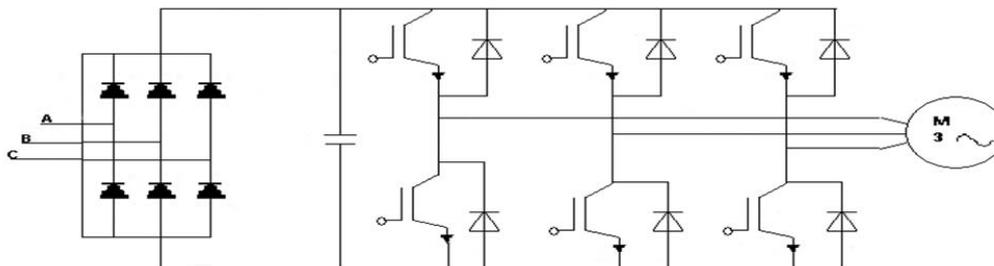


Figura 2.4 Esquema de potencia del variador de velocidad Yaskawa

### Instrucciones y normas para su uso

A continuación se ponen las instrucciones a tener en cuenta y las normas que se exigen para el uso del variador de velocidad: Es importante que todos los equipos de control (ejemplo: un PLC) conectados al convertidor estén puestos a tierra en el mismo punto que el convertidor a través de un cable corto y de gran sección. El conductor de tierra de los motores alimentados por los convertidores deberá conectarse directamente al terminal de tierra (PE) del convertidor asociado. Siempre que sea posible se debe usar cable apantallado para las conexiones.

Los conductores de mando o control deben estar lo suficientemente separados de los conductores del circuito de potencia para evitar las interferencias y el ruido que le pueden provocar a los primeros. Se debe seleccionar la frecuencia de pulsación más baja posible para reducir la cantidad de interferencias generadas por el convertidor.



### **Protocolos de comunicaciones**

El convertidor de frecuencia yaskawa está dotado de inteligencia gracias a la tarjeta opcional de autómatas que puede ser incorporada al equipo. De esta manera aprovecha los recursos comunes del convertidor y del PLC: transparencia en las comunicaciones y entradas/salidas para su integración en redes DeviceNet (compoBus D) y compoBus S, además de aumentar las posibilidades del control de más de 3 motores.

### **Aplicaciones en motores eléctricos**

La preferencia actuar por la regulación a frecuencia variable de la velocidad se debe a la posibilidad de utilizar el sencillo y robusto motor de jaula de ardilla; cuyo mantenimiento es mucho más fácil que el de un motor de contactos deslizantes, lo que resulta muy importante en máquinas que operan bajo condiciones ambientales difíciles. Además este tipo de motor eléctrico resulta más económico y compacto que los restantes.

Asimismo, este método permite transformar fácilmente un equipo de velocidad fija en un accionamiento de velocidad variable, sin realizar grandes modificaciones. Con este tipo de regulación se puede obtener un amplio control de velocidades. Con el máximo par disponible en todas las frecuencias con un elevado rendimiento. Si se prolonga la característica al cuadrante generador se puede obtener un frenado muy eficiente por reducción de frecuencia, con una recuperación de energía hacia la red de alimentación.

Si bien pueden utilizarse distintos tipos de convertidores de frecuencia rotativos (semejantes al sistema Ward-Leonard), en la actualidad la modificación de la frecuencia se realiza fundamentalmente por medio de variadores estáticos electrónicos que ofrecen una regulación suave, permitiendo un aumento en la vida útil de todas las partes involucradas y originando un ahorro en el mantenimiento por ausencia de partes en movimiento que sufran desgastes. Los variadores de velocidad ofrecen una transformación simple de energía de buen rendimiento, permite la inversión del flujo de potencia para la regeneración y la transmisión de la corriente reactiva, proporcionando una gama de frecuencias de trabajo que va desde valores cercanos a cero hasta casi la mitad de la frecuencia de alimentación, con fácil inversión de fase para invertir el sentido de rotación. La tensión y frecuencia de salida se controlan por la duración relativa de las conexiones con las distintas polaridades



(modulación del ancho de pulso) de manera de conservar constante la relación tensión / frecuencia para mantener el valor del flujo magnético en el motor. Aunque la onda de tensión obtenida no es sinusoidal, la onda de corriente tiende a serlo por efecto de las inductancias presentes. Además, de este modo se obtiene una amplia gama de frecuencias por encima y por debajo de la correspondiente al suministro logrando con esto añadirle un valor agregado a los motores de inducción ya que variando la frecuencia se está variando como ya se conoce la velocidad. Asimismo digamos que los variadores de velocidad generalmente también sirven para arrancar o detener progresivamente el motor, evitando por ejemplo, los dañinos golpes de ariete que pueden aparecer en los sistemas de tuberías durante arranque y parada de las bombas.

Estos variadores poseen protecciones contra asimetría, falla de tiristores, sobrecalentamientos y sobrecarga; además de vigilancia del tiempo de arranque con limitación de la corriente, control de servicio con inversión de marcha, optimización del factor de potencia a carga parcial, maximización del ahorro de energía durante el proceso.

## **Instrumentos que se encuentran ubicados en la instalación**

### **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 2.5: a)** Sensores de presión de Silicón

**b)** Indicador de presión

### 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 2.6:** Sensores de nivel

### 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 dinamómetro 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.

### **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 configurable por el usuario en forma continua.

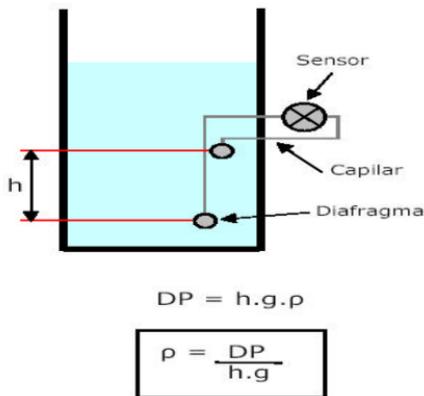


**Figura 2.7:** Transmisor inteligente de densidad y concentración **Smar DT301**

### **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 2.8:** Principio de funcionamiento de los sensores de densidad.

### 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.2.9:** Sensor de temperatura

### **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.

### **2.4 Conclusiones**

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 uso del variador de velocidad Yaskawa en el accionamiento de bombas centrífugas es de carácter energético, y aporta mejoras en el uso racional de la energía, consiguiéndose al mismo tiempo, otras consideraciones tecnológicas importantes que también están a favor de la utilización de este tipo de accionamiento.



## Capítulo III: Análisis de los resultados

### 3.1 Introducción

Este capítulo presenta como objetivo de proponer el sistema de fuerza para el 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
- Contactores
- Variadores de velocidad
- Un PLC
- Un PC/Visualizador

### 3.2 Descripción de los resultados obtenidos.

La Instalación Experimental de Hidrotransporte del ISMMM se dejó dotada de equipos, dispositivos eléctricos y accesorios mecánicos, que permiten realizar corridas de agua y pulpa para llevar a cabo investigaciones científicas, permitiendo hacer mediciones de diferentes variables como: presión, temperatura, densidad, nivel y flujo, registrando sus valores para un mejor análisis del proceso.



Figura 3.1. Vista de la instalación

La consta además de un tanque (TK1), para almacenar la pulpa a diferentes concentraciones de sólidos, un sedimentador acoplado a su árbol (S1) para homogenizar la mezcla, dos motores de inducción (M1) y (M2) una bomba centrífuga (B1) que forman el sistema de bombeo del fluido por toda la tubería pasando por un Flujómetro (FIT), ocho puntos de toma de presión desde (MN1) asta (MN8) y siete puntos de toma de temperatura desde (PT1) hasta (PT7), tres tramos de tubería para determinar las pérdidas hidráulicas, los cuales poseen un diámetro de 75 mm, 100 mm y 150 mm, El drenaje del sistema se realiza por la válvula (13).

Los puntos MN3, MN4, MN5, MN6, MN7 y MN8 (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 MN1 y MN2 son para la medición de presión de succión e impulsión respectivamente.

La bomba B1 tiene una capacidad de  $160 \text{ m}^3/\text{h}$ . 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) La regulación del caudal de la bomba B1 se realiza con ayuda de un variador de velocidad. El llenado del sistema efectúa directamente en el tanque TK1. La medición del caudal del fluido se realiza con el flujo-metro electromagnético FIT.

Las pérdidas de presión en la zona a investigar se miden con transmisores de 4-20mA los cuales captan la presión, la transforman en energía eléctrica, y envían la señal para el PLC, el cual registra la información de los valores de presión medido en cada punto. El esquema propuesto de la instalación se muestra en la figura 3.2.

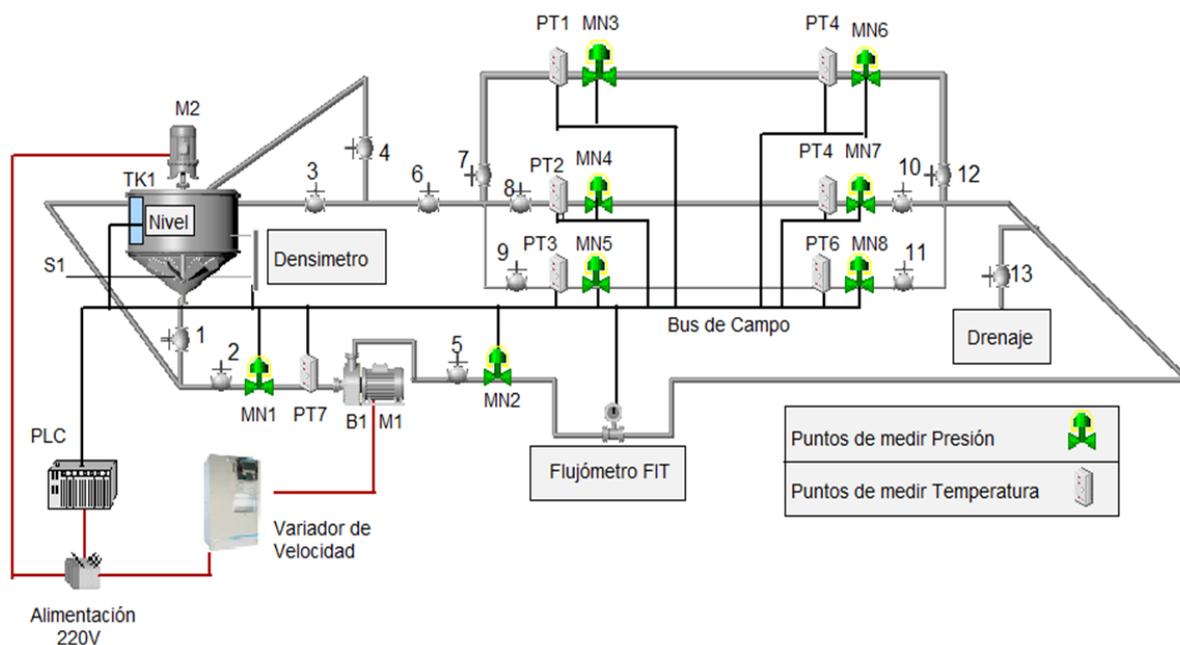


Figura 3.2 Esquema de la Instalación Experimental de Hidrotransporte del ISMMM.

### Estructura técnica.

La misma cuenta con:

- Un tanque (TK1) con un volumen de  $5.187 \text{ m}^3$  en el que se deposita el material a transportar.
- Un motor reductor (M2), que es el encargado de mover el sedimentador.
- Una bomba centrífuga (B1), accionada por un motor de inducción (M1).



- Tuberías de 75mm, 100 mm, y 150 mm de diámetro.
- Válvulas.
- Puntos de medición de presión, temperatura y un punto para medir el caudal.
- Breaker trifásico.

### **Elementos eléctricos del accionamiento.**

El accionamiento eléctrico tiene los siguientes elementos principales:

- Motor de inducción trifásica (M1). Datos de chapa (220 V, 60 Hz, 1769 rpm, 55 kW).
- Motor agitador (M2).
- Variador de velocidad Altivar 71HD 37N4.
- Variador de velocidad Yaskawa 7.0
- Controlador Lógico Programable (PLC) S7-300.
- PQM II.
- Nport 5430.
- Switch Moxa.

### **Sensores que presenta el accionamiento.**

La instalación está equipada con los siguientes sensores:

- Sensor de presión (SITRANS P)

Este transmisor capta la variable de proceso, la transforma en eléctrica y la transmiten en corriente a un PLC. Tiene una precisión de 0.2 % del alcance de medida.

- Termorresistencia PT-100 (SA TERMIBEL N.V)

La medición de la misma está basada en la propiedad que poseen todos los conductores de variar su resistencia en función de la temperatura. La resistencia eléctrica aumenta con el crecimiento de la temperatura y entonces hablamos de coeficiente de temperatura positivo PTC (Positive Temperature Coeficient), esto por ejemplo con las Termorresistencia de platino.

- Flujómetro Electromagnético



Es un dispositivo electrónico de uso universal, de muy baja mantención y alta precisión que se basa en la Ley de Faraday para medir caudal. Tiene una exactitud de 0.2 %, grado de la protección IP 65, consumo de energía 0.65 W[19].

➤ Densímetro DT 301 (Density Transmitter)

Con una exactitud de  $\pm 0.1$  %. Este transmisor es un instrumento desarrollado para la medición continua, en una línea de concentración líquida y densidad, directamente en el proceso industrial. Está diseñado para las aplicaciones de mando de proceso, los transmisores generan una señal de 4-20 mA proporcional a la concentración de la densidad[20].

➤ Medidor de nivel BM 700 (Level-Radar)

Sirve exclusivamente para la medición del nivel, de la distancia, del volumen y para la medición por reflexión de líquidos, pastas, lodos, mercancías a granel y cuerpos sólidos. El instrumento tiene una exactitud de  $\pm 0.05$  %, con clase de protección IP 67[21].

Luego de ver visto las principales características del accionamiento se hará una introducción del uso de los variadores de velocidad en las bombas centrífugas.

### **Sistema de fuerza de la instalación.**

La instalación es alimentada directamente desde el banco de los transformadores, el sistema tiene un interruptor principal para proteger los elementos eléctricos en caso de avería.

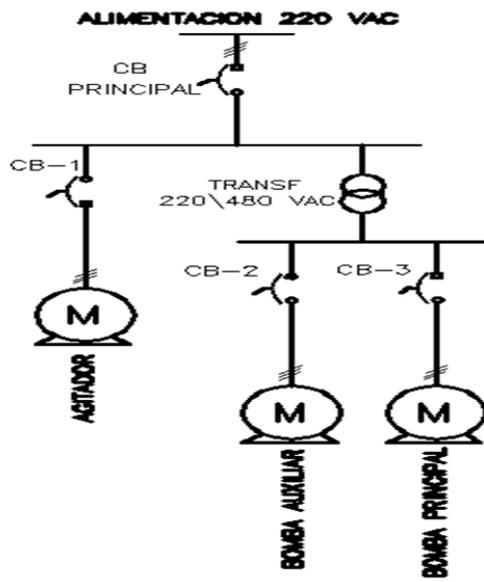


Figura 3.4 Monolineal de la instalación.





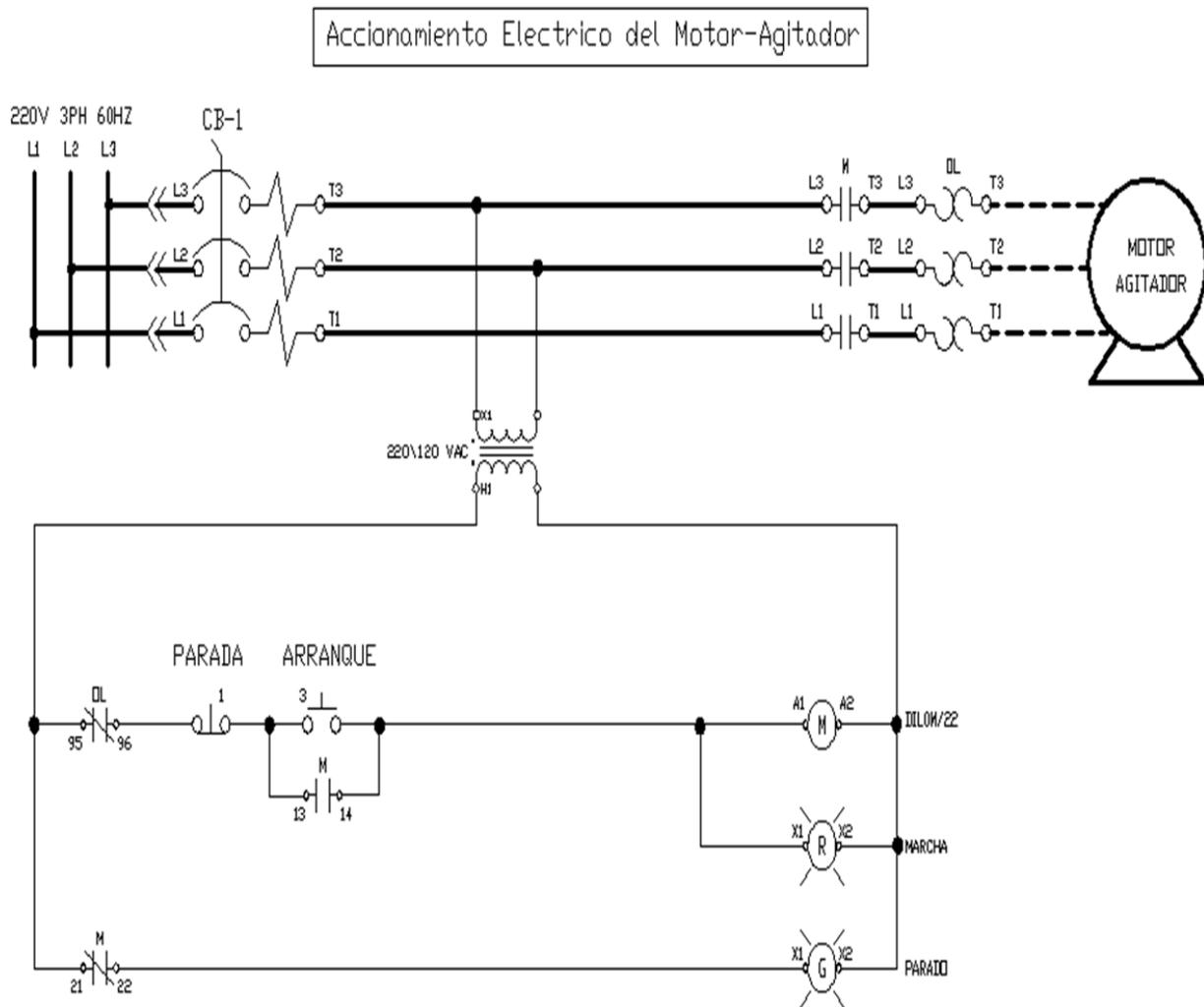


Figura 3.5 Esquema de fuerza del agitador.



Figura 3.5: Vista frontal del panel.

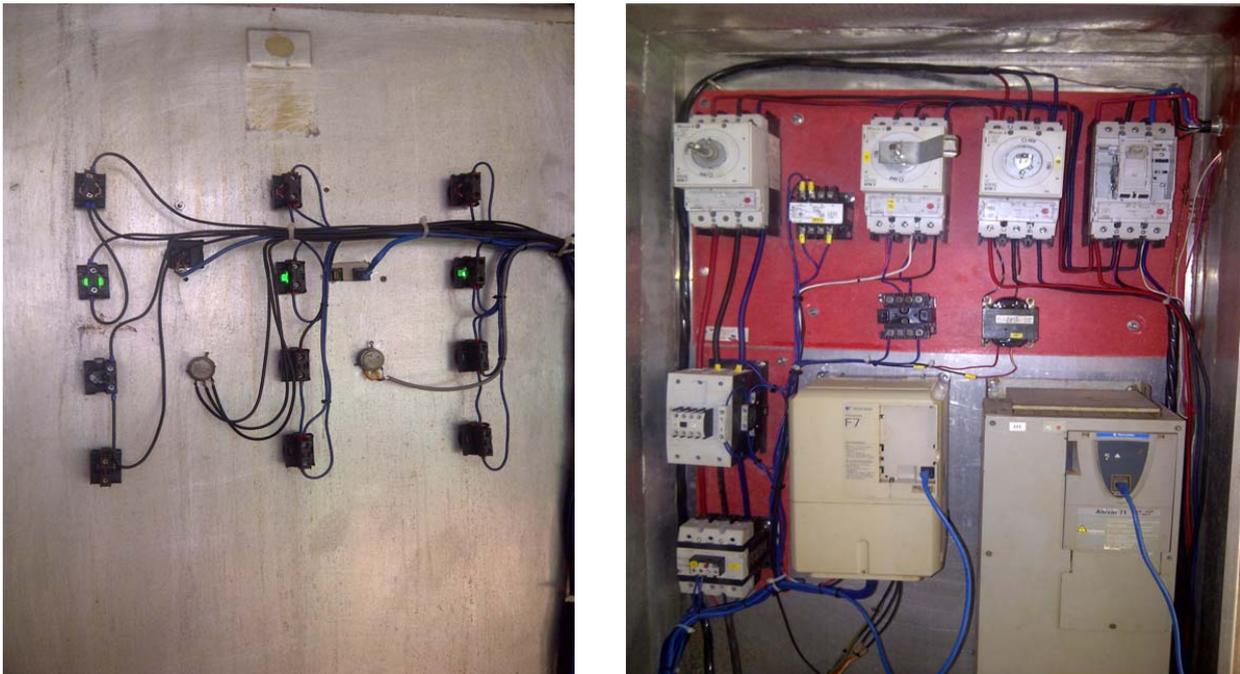


Figura 3.6: Vista frontal del panel.

### Evaluación técnico-económica del trabajo

Para el cálculo del costo de explotación se debe incluir los gastos de la instrumentación de campo, equipos de explotación donde se incluye la PC y el software.

$$CTI = \sum CIC + \sum CV \quad (1.1)$$

Dónde:

$CTI$  : Costo de la instrumentación

$\sum CIC$  : Costo total de la instrumentación de campo.

$\sum CV$  Costo total de equipos y medios de explotación.

Ahora el costo total general ( $CTG$ ) sería:

$$CTG = CTI - EPA \quad (1.2)$$

Dónde:

$EPA$  : Estimado de la parte automática (15 al 20% del costo de la instrumentación  $CTI$ ). Todos estos precios



pueden ser observados en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Precios de los equipos utilizados.

Equipo	Modelo	Costo(USD)	Cantidad	Total (USD)
Variador de Velocidad	Yaskawa F7	5125,21	1	5125,21
Breaker 63 A	Moeller	779,14	1	779,14
Breaker 5A	Moeller	403.9	2	807.8
Breaker 40A	Moeller	779	2	1558
Analizador de red	PQMII-T20-C-A	3108.4	1	3108.4
Contactor		423,26	1	423,26
Transmisor de presión	SITRANS P	1250	4	5000
Termorresistencia	PT-100	240	3	720
Caudalímetro	OPTIFLUS 4300	4500	1	4500
Medidor de nivel	BM 700	5947	1	5947
Densímetro	DT 301	8241	1	8241
Alimentación PLC	PS 307 5ª	227	1	227
CPU del PLC	317-2PN/DP	6880	1	6880
AI8x12Bit		930	3	2790
Relé bornera	-	17	15	255
Relé Zinder	-	3.18	4	12.72
Borneras Portafusibles	-	4.71	24	113.04
Fusibles de 32 mA	-	1.18	24	28.32
Conector frontal	-	128	6	768
Conductor No. 10		0,87	15 m	13,05
Conductor No. 14		0,41	40 m	16,4
Caja		989,35	1	989,35
Total				44232,44

Conjuntamente de lo que puedes ahorrar al automatizar un proceso, humanizas la labor y puedes liberar también fuerza de trabajo lo que te brinda la posibilidad de ahorrar en personal e invertir en otras áreas. Además de que los sistemas SCADA tienen una larga vida



de trabajo en áreas hostiles.

Y en el ISMMM con la creación de este sistema la Estación Experimental de Hidrotransporte estará completamente lista para realizar laboratorios y otras actividades lo que permitirá a los estudiantes poder visualizar todo un proceso industrial sin tener la necesidad de salir del centro.

### **3.3. Conclusiones parciales**

- 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.



## Conclusiones Generales

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

- Se instaló un nuevo sistema de monitoreo y protecciones eléctricas del sistema que permite una mayor eficiencia, control y seguridad de su funcionamiento.
- Se determinó que el costo de la instalación asciende a 44232,44 usd.
- Se establece el esquema monolineal del sistema y los esquemas de fuerzas de los equipos presentes en la instalación (bomba principal, bomba auxiliar y agitador)
- Con el nuevo sistema instalado, se tiene un impacto técnico-económico por reducción de pérdidas de energía, en la instalación experimental, alcanzándose mejorar las condiciones de operación del sistema de hidrotransporte.
- Se estableció 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.



## Recomendaciones

- Continuar con el proceso de conexión del nuevo sistema instalado con el autómata programable (PLC)
- Mejorar el sistema de cableado a los equipos instalados acorde a su potencia.



## 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 Progrmable 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://www.gurupo_maser.com/PAG_Cursos/Auto/auto2/auto2/PAGINA%20PRINCIPAL/PLC/plc.htm)

[http://es.wikipedia.org/wiki/Inteligencia\\_artificial](http://es.wikipedia.org/wiki/Inteligencia_artificial)

[www.seattlerobotics.org/Encoder/mar98/fuz/fl\\_part4.html](http://www.seattlerobotics.org/Encoder/mar98/fuz/fl_part4.html)

[http://es.wikipedia.org/wiki/Redes\\_Neuronales](http://es.wikipedia.org/wiki/Redes_Neuronales)

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

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

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



## ANEXOS

### Anexo.1



**Figura 1:** Esquema de la instalación de hidrotransporte del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.



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

H (m)	Q (m <sup>3</sup> /h)	N (kW)	Rend (%)	Zo+RQ <sup>2</sup>
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