



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA

“Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”

FACULTAD DE METALURGIA Y ELECTROMECAÁNICA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA

Monitoreo y Control de la eficiencia del Sistema de Bombeo de hidromezclas laterítica Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Dr. Antonio Núñez Jiménez

Autor: José Miguel Veliz Isla

Tutores: MSc. Gabriel Hernández Ramírez.

Msc. Rodney Martínez Rojas.

Consultante: Ing. Geolvis Galano Urtate

Ing. Eduardo Pelegrin Rodríguez.

Curso 2015-2016
“Año 58 de la Revolución”

Declaración de autoría.

Yo: José Miguel Veliz

Autor de este Trabajo de Diploma, tutorado por el M.Sc. Gabriel Hernández Ramírez, declaro la propiedad intelectual de este trabajo a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, para que disponga de su uso con la finalidad que estime conveniente.

Diplomante

José Miguel Veliz Isla

Tutor

MsC. Gabriel Hernández Ramírez.

PENSAMIENTO.

Agradecimientos.

•

Dedicatoria.

A todos “les dedico este éxito”

Resumen.

El trabajo muestra un sistema de adquisición de datos, supervisión y control de la Estación Experimental de Hidrotransporte del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez” utilizado para la visualización de las señales de los dispositivos de campo y como supervisor del accionamiento de bomba centrífuga con variadores de velocidad lo que permitirá obtener el estado del proceso y de las variables eléctricas del mismo.

Se elabora una programación en el sistema de supervisión y monitoreo (SCADA) del Citect, que permite a partir de las mediciones recogidas por el Controlador Lógico Programable y el Analizador de Red determinar el rendimiento del accionamiento en general, y así poder establecer el punto de operación óptimo del proceso de hidrotransporte a través del control PID que es una excelente herramienta para lograr el ahorro de energía en sistemas de bombeo y se encuentra incluido dentro drive Serie P, ofreciéndole tecnología confiable y de vanguardia.

También se crean las tendencias de las variables medidas para su mejor estudio y poder crear una base de datos para su posterior análisis.

Summary.

Índice.

Introducción general.....	1
Capítulo I.....	5
Marco contextual y teórico.....	5
1.1 Introducción	5
1.2 Estado del Arte.	5
1.3 Descripción actual de la instalación experimental de hidrotransporte. ...	11
1.4 Instalación Eléctrica.	14
1.5 Sistema de supervisión, medición y control de variables de datos.	15
1.6 Conclusiones del capítulo.	25
Capítulo II.....	26
Descripción de la Planta del sistema de hidrotransporte del ISMM de Moa.....	26
2.1 Introducción	26
2.2 Descripción del accionamiento eléctrico.	26
2.3 Esquema de potencia. Circuito de mando.	29
2.4 Caracterización del autómata programable.	32
2.5 Instrumentos que se encuentran ubicados en la instalación.....	35
2.6 Conclusiones del capítulo.	39
Capítulo III.....	41
Análisis de los resultados y valoración económica.....	41
3.1 Introducción.	41
3.2 Controladores Lógicos Programables.....	41
3.3 Sistema de comunicación del accionamiento.	47
3.4 Descripción de los resultados obtenidos.....	49

3.5 Valoración técnico-económica.....	57
Conclusiones Generales	62
Recomendaciones.....	63
Bibliografía	64
Anexos.	66

Introducción general.

La extraordinaria versatilidad de los ordenadores en todos los campos de la actividad humana, así como su progresiva miniaturización han hecho posible traspasar el umbral de los grandes centros de cómputo y el uso exclusivo de una casta de especialistas de programadores, para convertirse en la herramienta importante para la humanidad.

Los sistemas compuestos por sensores, software y procesadores implantados en máquinas y dispositivos, son herramientas que la fuerza de la tecnología de computación ha traído a nuestras vidas. Juntas, estas tecnologías emulan la habilidad humana de percibir, razonar, tomar decisiones y actuar como sistemas inteligentes para poder anticiparse a los requerimientos y tratar con el medio ambiente que es complejo, desconocido e impredecible en operaciones precisas para la producción.

El proceso de medición de las variables en instrumentación siempre ha tenido un papel importante en el campo de la automatización. Pues su desarrollo evolutivo ha tomado lugar desde los instrumentos de medición mecánicos, a través de los neumáticos y hasta hoy en día los electrónicos, la mezcla de sistemas analógicos y digitales.

La introducción de los instrumentos basados en microprocesadores va teniendo mayores oportunidades en el campo de la medición y el control. Estos desarrollos han incrementado las capacidades de los instrumentos así como en sus interfaces con el equipo de control a través de la introducción de las redes de comunicación digitales. Otro avance ha sido la introducción de dispositivos de medición intrínseca para ser usados en áreas peligrosas.

Estos logros en la instrumentación permite que el mismo hardware, con sólo algunos cambios en el software, pueda ser usado para diferentes aplicaciones (modos de medición), dar información adicional, tal como el estado del sensor (si el valor medido es válido o no), proporcionar alguna otra información del

mismo (temperatura o presión), monitoreando siempre su punto de operación, dar un diagnóstico remoto de fallas, un auto ajuste remoto y una identificación remota. Adicionalmente, puede mejorar algunas funciones de control tales como los lazos de control PID en sus diferentes formas y otros controles. En la mayoría de las plantas hoy en día los sensores y actuadores están conectados a los equipos de control (PLC, DCS, CNC, PC y otros) mediante señales estandarizadas.

Situación problemática.

En la Estación Experimental de Hidrotransporte del ISMM, se implementó todo un sistema de accionamiento, tanto en la parte eléctrica, así como de instrumentación y automatización, el cual en la actualidad no se ha podido operar al 100 %, debido a que no se cuenta con un sistema de supervisión del proceso, que permita la fiabilidad de las mediciones para las investigaciones que en la misma se realizan, además que garantice el trabajo seguro del sistema de supervisión y control a través del sistema SCADA, el cual gestiona los índices de rendimiento energético del todo el sistema en general.

Problema.

La Estación Experimental de Hidrotransporte del ISMM no cuenta con un sistema de supervisión del proceso, que permita la fiabilidad de las mediciones para las investigaciones que se realizan, además que garantice el trabajo seguro del sistema de supervisión y control a través del sistema SCADA, el cual gestiona los índices de rendimiento energético del todo el sistema en general.

Objeto de estudio.

Estación experimental del ISMM de Moa.

Campo de acción.

Sistema de supervisión.

Objetivo general.

Proponer un sistema de monitoreo y supervisión que permita la automatización de la Estación Experimental de Hidrotransporte del ISMM de Moa.

Hipótesis.

Si se implementa un sistema de monitoreo y supervisión a través de sistema SCADA en la Estación Experimental de Hidrotransporte del ISMM de Moa, se podrá establecer un control eficiente de las variables del proceso.

Objetivos Específicos.

1. Realizar una recopilación bibliográfica sobre la temática u objeto de estudio.
2. Obtener las características de explotación de los accionamientos instalados.
3. Proponer un sistema de supervisión que permita el control de las variables de la estación de hidrotransporte.

Tareas de la investigación

1. Realizar una recopilación bibliográfica sobre la temática y del objeto de estudio.
2. Realizar una descripción de detalle, de todos los componentes que intervienen en la estación de hidrotransporte.
3. Realizar una actualización de los esquemas eléctricos instalados.
4. Realizar un sistema de supervisión y control de las variables de la estación de hidrotransporte.

Métodos a emplear en desarrollo de la investigación.

En el diseño de la investigación, se tuvieron en cuenta los siguientes métodos:

-
- ✓ **Análisis y Síntesis:** Para el estudio y análisis de los sistemas de supervisión, se tomaron en cuenta los antecedentes y los trabajos precedentes realizados anteriormente en función de perfeccionar el esquema de control.
 - ✓ **Hipotético-Deductivo:** Para la elaboración de la hipótesis, cuya veracidad se intentará materializar en la investigación.
 - ✓ **La observación científica:** Para estar al tanto del desarrollo y el comportamiento del objeto de estudio de la investigación, para la validación de los resultados esperados en la investigación.
 - ✓ **La entrevista:** Para recopilar informaciones referentes al comportamiento precedente y actual de nuestro objeto de estudio, con el fin de diagnosticar su estado, teniendo en cuenta las necesidades que proporcionarían un camino correcto en la elaboración de un plan de acciones en función de la selección de un método eficaz para lograr los objetivos trazados.
 - ✓ **Criterio de expertos:** En la proposición de las variantes a implementar como resultado de la investigación, de acuerdo a los resultados esperados en el proceso investigativo, y de implementación.

Capítulo I

Marco contextual y teórico.

1.1 Introducción

Este capítulo se hace una descripción de la instalación para el transporte de pulpa laterítica localizada en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Doctor Antonio Núñez Jiménez” (ISMMM), con el objetivo de evaluar el sistema de fuerza, control y monitoreo del sistema, garantizando el funcionamiento correcto de la instalación.

1.2 Estado del Arte.

Mejoramiento de la eficiencia desde esquemas de control

La eficiencia de los accionamientos de motores eléctricos ha estado enmarcado en función del estudio de las pérdidas en relación con la potencia de entrada del sistema, la velocidad, el momento, el flujo en el entrehierro, la corriente del estator, el factor de potencia y el cálculo por diferentes métodos del rendimiento del motor, tal como lo reflejan las publicaciones de diferentes autores como (Hsu y otros, 1998) y (Slaets, Van Roy y Belmans, 2000).

Usualmente en los accionamientos eléctricos, los motores operan manteniendo el flujo en sus valores nominales o con relación de tensión / frecuencia (V/Hz) sostenidamente constante para las condiciones de cargas de diseño, ofreciendo un favorable trabajo con respuestas rápidas ante los transitorios del sistema. Pero cuando el accionamiento pasa a trabajar con cargas más bajas o ligeras, estas aproximaciones causan pérdidas en el núcleo o pérdidas en el hierro que pueden llegar a ser excesivas comparadas con las pérdidas en el cobre de la máquina, comportándose en condiciones de eficiencias mucho menores.

Selección del esquema de control

Varios esquemas de control de motores eléctricos a lazo abierto y cerrado son implementados basándose en el:

- a) Control escalar, a lazo abierto y lazo cerrado.

b) Control vectorial, por método directo y método indirecto.

Existen varias formas de clasificar los métodos de control vectorial aunque según la bibliografía consultada no siempre existe un consenso general al respecto. La mayoría de los autores si coinciden en la que podría llamarse clasificación primaria o básica y es la que se refiere a la existencia del Método Directo, desarrollado por F. Blaschke y el Método Indirecto desarrollado por K. Hasse, cuya diferencia radica en la forma de obtener la posición del flujo de rotor (Nuez Amador, 1998)(65).

El control directo, se basa fundamentalmente en la utilización del Modelo de flujo, para estimar la posición del flujo del rotor, a partir de variables conocidas como pueden ser corrientes, tensiones y velocidad.

En tanto, los esquemas de control indirecto solo emplean un sensor de posición de una precisión lo mayor posible para determinar la posición del rotor y a partir de ella la del vector espacial de flujo. La velocidad a que gira este último determina el deslizamiento, el cual se estima mediante las referencias del momento y de flujo.

La decisión del esquema de control a realizar se toma a partir de la variante que ofrezca mejores resultados. En resumen se pueden tener en cuenta:

- Cuando el sistema no exige fuertes requerimientos de error en estado estacionario ni dinámico, el método más recomendable es el del control escalar a lazo abierto, dada su sencillez en cuanto a concepción teórica como realización práctica.
- En los casos donde es necesario que la velocidad permanezca con un error pequeño ante perturbaciones, sin que los requerimientos dinámicos sean fuertes, se debe emplear el control escalar a lazo cerrado.
- Si el sistema de control de velocidad exige un buen comportamiento y además adecuada rapidez de respuesta, o sea, cuando se está en presencia de un sistema de mediana prestaciones, el método de control a emplear deberá ser el vectorial, pues este garantiza el control del momento tanto en estado estacionario como dinámico. Pudiendo

obtener de esta manera un comportamiento similar al de un sistema con motor de corriente directa.

- El empleo del control vectorial directo implica la utilización de un modelo de flujo, y es un poco más complicado en comparación con el método indirecto.
- En el método indirecto de control vectorial no existe problemas de distorsión de las señales porque el vector de control es obtenido desde unidades de vectores y con ayuda de un encoger y adicionando los vectores de deslizamiento se obtiene la posición de los vectores del flujo.

Con el avance de las técnicas de inteligencia artificial, se ha logrado avances notables en combinar las bondades del control vectorial con el uso de reguladores difusos o neuro-difusos, que permiten en determinados casos mejorar las cualidades de los esquemas de control.

Por otra parte se ha avanzado en el estudio de la eficiencia de los accionamientos por la vía de efectuar la dirección del motor de inducción por variación del flujo magnético, en aras de un menor consumo de corriente del estator con poca distorsión, con adecuada respuesta del flujo y el torque a los cambios repentinos en los procesos transitorios. Este aspecto es utilizado en el esquema de control, teniendo en cuenta las especificidades de cambios que ocasiona la carga mecánica del proceso.

Con este enfoque, es de interés el estudio de las pérdidas considerando el flujo magnético reducido (Moreno Eguilaz y otros, 2001), utilizando técnica de lógica difusa y esquemas adaptivos, el cual parte de un modelo aproximado de pérdidas, y una aproximación basada en mediciones de potencia, donde utiliza un procedimiento que permite encontrar el valor óptimo del flujo (Moreno Eguilaz y otros, 1996) (García y otros, 1994) (Kioskeridis y Margaris, 1996). Ellos garantizan la estabilidad del accionamiento para las condiciones a mínimo flujo magnético en régimen estático. Nuestro estudio incorpora el comportamiento del accionamiento eléctrico atendiendo los cambios de la carga mecánica.

Zdenek Ceroovsky y J. Javurek en 1997 hicieron un estudio del accionamiento con mínimo consumo de la corriente desde el convertidor (fuente inversora sinusoidal), donde exponen un procedimiento a partir de definir las componentes activas y reactivas del momento electromagnético, así como las componentes reales e imaginarias de la impedancia y las corrientes que participan en la creación del flujo magnético.

Pero hasta la fecha no se reflejan en los modelos de pérdidas, las incidencias que ocasionan los cambios de magnitudes de los parámetros del mecanismo y que de forma casi cíclica exigen al motor, es decir, se separa o se excluye en los modelos la sección de carga mecánica rotacional del mecanismo de producción, que una vez puesto en marcha el accionamiento, es éste el que rige de forma permanente el comportamiento de todo el sistema. En tal sentido, los últimos estudios se han centrado en el grupo Convertidor – Motor de Inducción. (Moreno Eguilaz, 1997) (Harnerfors, 1997) (Abrahamsen, 2000), (Vas, 2001), que aunque se han establecido límites en su manipulación, el problema de mantener elevadas eficiencias en la transferencia de energía del accionamiento para diferentes niveles y regímenes todavía no está suficientemente resuelto como para estar satisfecho en bases a estos enfoques.

Nuestro análisis sigue el comportamiento del accionamiento, a partir de la incidencia de las variables en la transferencia de potencia electromagnética en mecánica rotacional, porque es importante ver los cambios de la carga en el mecanismo para así evaluar la eficiencia en este proceso.

El Motor de Inducción es capaz de reponerse a gran parte de estas oscilaciones, y si son de origen electromagnético y de aceptable intensidad casi siempre las absorbe y las comparte en pequeños transitorios con la red, y este aspecto está contemplado en la fase de diseño de la máquina; pero cuando éstas son más intensas y vienen desde el eje mecánico, por mucho estado inercial que tenga el sistema, al motor le resulta más difícil reponerse a los cambios, y es aquí donde aspiramos profundizar para ampliar la capacidad de

respuesta del accionamiento en base a trabajar en zonas de mejores eficiencias.

Estos trabajos se enfocan a la determinación de las pérdidas en estado estático del motor de inducción, dentro de las cuales se sitúan restricciones. Todos ellos están enmarcados bajo las condiciones de una máquina de inducción ordinaria operando con frecuencias normalizadas (50 ó 60 Hz).

Las bombas trabajan con eficiencias más bajas que los motores de inducción, determinadas una parte por las limitaciones que le impone el diseñador y otra por las restricciones que le ofrece la red hidráulica donde va operar. Aunque de forma empírica se ponen coeficientes dentro de las expresiones analíticas que intervienen en el cálculo de las potencias y dimensiones de la bomba y sus instalaciones, todavía no es suficiente las especificidades que exigen los sistemas de transporte de hidromezclas, es por esto que adquiere importancia correlacionar todas aquellas variables que inciden de manera sensible en el comportamiento eficiente relacionado con la distribución de la energía que se transfiere desde el Motor hasta el mecanismo.

Todos estos estudios basan su análisis en minimizar las pérdidas de la máquinas de inducción para cargas de tipo ventilador, que con aproximación simulan las condiciones de explotación mecánicas, pero no alcanza tener en cuenta con exactitud los diferentes regímenes de trabajo que exigen los mecanismos de transporte.

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 (Rojas, Morera, 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, 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 ρ 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):

$$M_c = f(\omega, \Delta p, Q) = f(\omega, H, Q, \rho) \quad (1.1)$$

Donde:

M_c = Momento de carga

f = frecuencia de línea

ω = 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)

1.3 Descripción actual 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 sólido (*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, Esquema de la instalación de hidrotransporte del instituto superior minero metalúrgico de Moa), 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 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.

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.

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).
- ✓ Tuberías 75mm, 100 mm y 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)

1.3.1 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 (M1). Datos de chapa (220 V, 60 Hz, 1745 rpm, 5.5 kW).
- ✓ Motor agitador.
- ✓ Bomba centrifuga BC (rodete cerrado = $160\text{m}^3/\text{h}$, $H=40\text{m}$,1760rpm).
- ✓ Bomba centrifuga BC (rodete cerrado = $60\text{m}^3/\text{h}$, $H=15\text{m}$,1730rpm).
- ✓ Transductores de presión (kg/cm^2).
- ✓ Analizador de redes (PQM) para medición de tensión, corriente, potencia, factor de potencia y armónicos desde la red de alimentación.

1.3.2 Accionamientos a través de variadores de velocidad.

Un variador de frecuencia, VFD por sus siglas en inglés (Variable Frequency Drive) o bien AFD (Adjustable Frequency Drive), es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna, por medio del

control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor. Otra forma de cambiar la velocidad del motor sería cambiando el número de polos del motor, aunque esta técnica resulta ineficiente y a que habría que cambiar las características físicas del motor.

El principio de funcionamiento del variador de velocidad consiste en convertir el voltaje de CA a un voltaje de CD promedio de un puente rectificador trifásico compuesto por seis diodos para posteriormente convertir ese mismo voltaje de CD a un voltaje de CA por medio de un puente inversor trifásico compuesto por 6 transistores de potencia IGBT, los cuales controlan el voltaje de CA variando su frecuencia.

Los variadores de velocidad (VFD), 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:

- ✓ Protección contra cortocircuitos y sobrecargas.
- ✓ Conmutación.

1.3.3 La protección contra cortocircuitos y sobrecargas.

Todos los receptores pueden sufrir accidentes de origen eléctrico o mecánicos, entre ellos se encuentran:

- ✓ 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.
- ✓ Sobrecarga del sistema 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 6 - 7 veces la

corriente nominal del motor.

- ✚ **Protección contra las sobrecargas;** para detectar los aumentos de corriente desde 1.15 hasta 1.25 de la corriente nominal 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.

1.4 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.

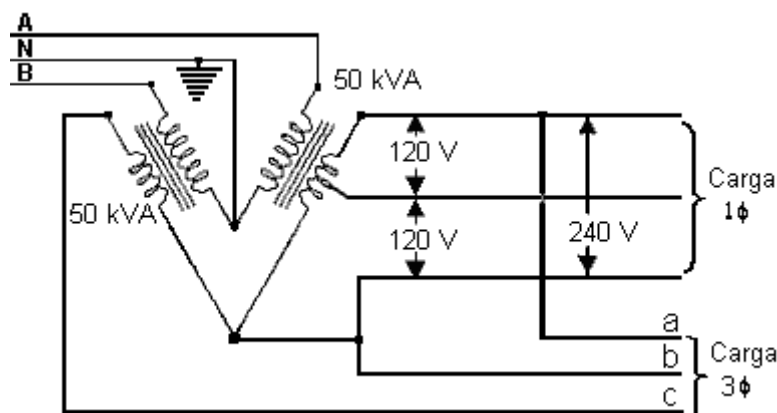


Figura 1.1. Esquema eléctrico de la conexión del banco de los transformadores docente.

Este banco de transformadores es el encargado de alimentar con la tensión requerida al sistema de eléctrico en general de la planta de hidrotransporte del ISMM, la cual además de garantizar el correcto funcionamiento de circulación de la pulpa para su análisis y experimento, también se encarga de suministrar con tensión de 120 Vac la alimentación al PLC S7-300, destinado a supervisar, monitorear y controlar todo el conjunto, a través de sensores de presión, nivel, temperatura y flujo, los esquemas eléctricos de la instalación se representan en los Anexos, 1.3, 1.4, 1.5 y 1.6.

1.5 Sistema de supervisión, medición y control de variables de datos.

Esta se logra a través de la realización de una base de datos a partir de las mediciones realizadas en el accionamiento y se expone un sistema informativo que mantiene actualizado el comportamiento de las variables del sistema. Utilizando un controlador lógico programable (PLC s7-300) para la adquisición de datos.

Las redes locales se han diseñado para los niveles de información y de controladores. En estas se pueden integrar PLC mediante tarjetas Ethernet y fibra óptica, módems; en las cuales, las velocidades de transmisión pueden llegar a sobrepasar los 100 Mbps. En este nivel se integran modelos como el TCP/IP que es uno de los más usados.

El TCP/IP es un modelo de descripción de protocolos de red, describe un conjunto de guías generales de diseño e implementación específicos para permitir que una computadora pueda comunicarse en una red.

1.5.1 Sistemas SCADA.

Visto las principales característica de las redes de comunicación industrial estamos listos para profundizar en los sistemas SCADA, los cuales proviene de las siglas de Supervisory Control And Data Acquisition (Adquisición de datos y supervisión de control), es un software para ordenadores que permite controlar

y supervisar procesos industriales a distancia. Facilita retroalimentación en tiempo real con los dispositivos de campo (sensores y actuadores), y controla el proceso automáticamente. Provee de toda la información que se genera en el proceso productivo (supervisión, control calidad, control de producción, almacenamiento de datos, etc.) y permite su gestión e intervención.

1.5.2 Aplicaciones de sistemas SCADA en áreas industriales:

- Monitorizar procesos químicos, físicos o de transporte en sistemas de suministro de agua, para controlar la generación y distribución de energía eléctrica, de gas o en oleoductos y otros procesos de distribución.
- Gestión de la producción (facilita la programación de la fabricación).
- Mantenimiento (proporciona magnitudes de interés tales para evaluar y determinar modos de fallo, MTBF, índices de Fiabilidad, entre otros).
- Control de Calidad (proporciona de manera automatizada los datos necesarios para calcular índices de estabilidad de la producción CP y CPk, tolerancias, índice de piezas NOK/OK, etc.
- Administración (actualmente pueden enlazarse estos datos del SCADA con un servidor ERP (Enterprise Resource Planning o sistema de planificación de recursos empresariales), e integrarse como un módulo más.
- Tratamiento histórico de información (mediante su incorporación en bases de datos).

Un sistema SCADA incluye además un hardware de señal de entrada/salida, controladores, interfaz hombre-máquina (HMI), redes, comunicaciones, base de datos y software.

Este término usualmente se refiere a un sistema central que monitoriza y controla un sitio completo o una parte de un área que se interesa controlar (el control puede ser sobre máquinas en general, depósitos, bombas, etc.) o

finalmente un sistema que se extiende sobre una gran distancia (kilómetros / millas).

Necesidades de la supervisión de procesos:

- Limitaciones de la visualización de los sistemas de adquisición y control.
- Control software. Cierre de lazo del control.
- Recoger, almacenar y visualizar la información.

El hardware del sistema SCADA es generalmente lo suficientemente robusto para resistir condiciones de temperatura, humedad, vibración y voltajes extremos pero en estas instalaciones es común aumentar la fiabilidad mediante hardware redundante y varios canales de comunicación. Una parte que falla puede ser fácilmente identificada y su funcionalidad puede ser automáticamente desarrollada por un hardware de backup. Una parte que falle puede ser reemplazada sin interrumpir el proceso. La confianza en cada sistema puede ser calculado estadísticamente y este estado es el significado de tiempo medio entre fallos, el cual es una variable que acumula tiempos entre fallas. El resultado calculado significa que el tiempo medio entre fallos de sistemas de alta fiabilidad puede ser de siglos.

Para que la instalación de un SCADA sea perfectamente aprovechada, debe de cumplir varios objetivos:

- ✓ Deben ser sistemas de arquitectura abierta (capaces de adaptarse según las necesidades de la empresa).
- ✓ Deben comunicarse con facilidad al usuario con el equipo de planta y resto de la empresa (redes locales y de gestión).
- ✓ Deben ser programas sencillos de instalar, sin excesivas exigencias de hardware.

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 su proceso sobre una hoja de cálculo.
 - ✓ Ejecución de programas, que modifican la ley de control, o incluso el programa total sobre el autómata, bajo ciertas condiciones.
 - ✓ Posibilidad de programación numérica, que permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU del ordenador, y no sobre la del autómata, menos especializado.
 - ✓ Se pueden desarrollar aplicaciones basadas en el PC, con captura de datos, análisis de señales, presentaciones en pantalla, envío de resultados a disco e impresora.
 - ✓ 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 o Pascal, aunque actualmente se está imponiendo VBA (Visual Basic for Applications), lo cual confiere una potencia muy elevada y una gran versatilidad.

Y cumplir con los siguientes módulos o bloques software:

- ✓ Configuración; permite al usuario definir el entorno de trabajo de su SCADA, adaptándolo a las aplicaciones particulares que se deseen desarrollar.
- ✓ Interfaz Gráfico del Operador; proporciona al operador las funciones de control y supervisión de la planta. El proceso se representa mediante sinópticos gráficos.
- ✓ Módulo de Proceso; ejecuta las acciones de mando preprogramadas a partir de los valores actuales de variables leídas. La programación se realiza por medio de bloques de programa en lenguaje de alto nivel.
- ✓ Gestión de Archivo de Datos; se encarga del almacenamiento y procesado ordenado de los datos, de forma que otras aplicaciones o dispositivos puedan tener acceso a ellos.

Comunicación; es la encargada de la transferencia de información entre la planta y la arquitectura hardware que soporta el SCADA, y entre ésta y el resto de elementos informáticos de gestión.

¿Por qué Citect SCADA?

Utilizamos el software Citect SCADA para la realización del sistema SCADA además de todas las ventajas que el ofrece, por ser un programa bastante intuitivo en el cual los usuarios no tienen que tener un amplio conocimiento del mismo para trabajarlo y también por ser ampliamente usado en la industria del Níquel en Moa, lo que brinda la posibilidad de tener personal capacitado para la creación del sistema de medición de la Estación Experimental de Hidrotransporte del ISMMM.

1.5.2 Control Proporcional integral derivativo

Un **PID** es un mecanismo de control por realimentación que calcula la desviación o error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener, para aplicar una acción correctora que ajuste el proceso. El algoritmo de cálculo del control PID se da en tres parámetros distintos: el proporcional, el integral, y el derivativo. El valor Proporcional determina la reacción del error actual. El Integral genera una corrección proporcional a la integral del error, esto nos asegura que aplicando un esfuerzo de control suficiente, el error de seguimiento se reduce a cero. El Derivativo determina la reacción del tiempo en el que el error se produce. La suma de estas tres acciones es usada para ajustar al proceso vía un elemento de control como la posición de una válvula de control o la energía suministrada a un calentador, por ejemplo. Ajustando estas tres variables en el algoritmo de control del PID, el controlador puede proveer un control diseñado para lo que requiera el proceso a realizar. La respuesta del controlador puede ser descrita en términos de respuesta del control ante un error, el grado el cual el controlador llega al "set point", y el grado de oscilación del sistema. Nótese que el uso del PID para control no

garantiza control óptimo del sistema o la estabilidad del mismo. Algunas aplicaciones pueden solo requerir de uno o dos modos de los que provee este sistema de control. Un controlador PID puede ser llamado también PI, PD, P o I en la ausencia de las acciones de control respectivas. Los controladores PI son particularmente comunes, ya que la acción derivativa es muy sensible al ruido, y la ausencia del proceso integral puede evitar que se alcance al valor deseado debido a la acción de control.

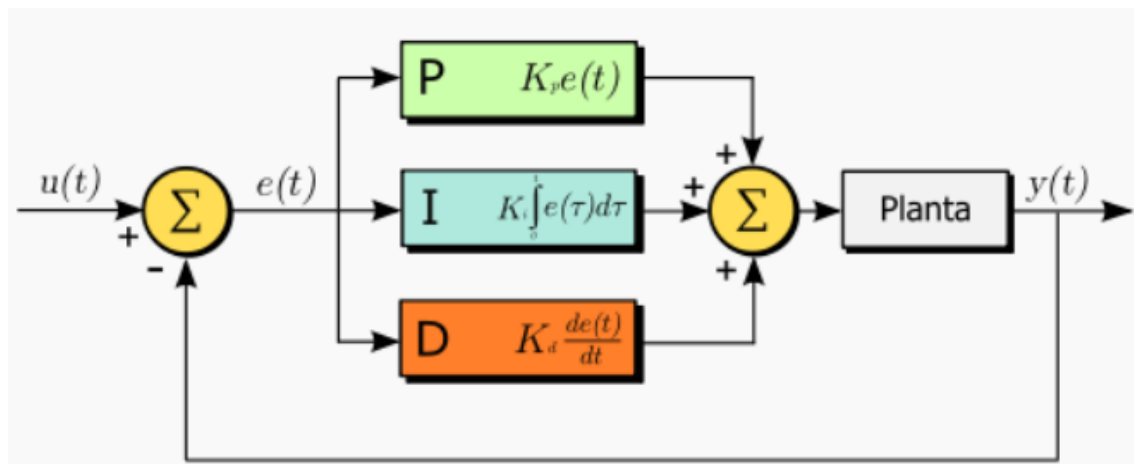


Figura 1.2. Diagrama en bloques de un control PID.

Funcionamiento

Para el correcto funcionamiento de un controlador PID que regule un proceso o sistema se necesita, al menos:

1. Un sensor, que determine el estado del sistema (termómetro, caudalímetro, manómetro, etc).
2. Un controlador, que genere la señal que gobierna al actuador.
3. Un actuador, que modifique al sistema de manera controlada (resistencia eléctrica, motor, válvula, bomba, etc).

El sensor proporciona una señal analógica o digital al controlador, la cual representa el *punto actual* en el que se encuentra el proceso o sistema. La señal puede representar ese valor en tensión eléctrica, intensidad de corriente eléctrica o frecuencia. En este último caso la señal es de corriente alterna, a

diferencia de los dos anteriores, que también pueden ser con corriente continua.

El controlador lee una señal externa que representa el valor que se desea alcanzar. Esta señal recibe el nombre de punto de consigna (o punto de referencia), la cual es de la misma naturaleza y tiene el mismo rango de valores que la señal que proporciona el sensor. Para hacer posible esta compatibilidad y que, a su vez, la señal pueda ser entendida por un humano, habrá que establecer algún tipo de interfaz (HMI-Human Machine Interface), son pantallas de gran valor visual y fácil manejo que se usan para hacer más intuitivo el control de un proceso.

El controlador resta la señal de punto actual a la señal de punto de consigna, obteniendo así la señal de error, que determina en cada instante la diferencia que hay entre el valor deseado (consigna) y el valor medido. La señal de error es utilizada por cada uno de los 3 componentes del controlador PID. Las 3 señales sumadas, componen la señal de salida que el controlador va a utilizar para gobernar al actuador. La señal resultante de la suma de estas tres se llama **variable manipulada** y no se aplica directamente sobre el actuador, sino que debe ser transformada para ser compatible con el actuador utilizado.

Las tres componentes de un controlador PID son: parte **Proporcional**, acción **Integral** y acción **Derivativa**. El peso de la influencia que cada una de estas partes tiene en la suma final, viene dado por la constante proporcional, el tiempo integral y el tiempo derivativo, respectivamente. Se pretenderá lograr que el bucle de control corrija eficazmente y en el mínimo tiempo posible los efectos de las perturbaciones.

Proporcional

La parte proporcional consiste en el producto entre la señal de error y la constante proporcional para lograr que el error en estado estacionario se aproxime a cero, pero en la mayoría de los casos, estos valores solo serán óptimos en una determinada porción del rango total de control, siendo distintos

los valores óptimos para cada porción del rango. Sin embargo, existe también un valor límite en la constante proporcional a partir del cual, en algunos casos, el sistema alcanza valores superiores a los deseados. Este fenómeno se llama sobreoscilación y, por razones de seguridad, no debe sobrepasar el 30%, aunque es conveniente que la parte proporcional ni siquiera produzca sobreoscilación. Hay una relación lineal continua entre el valor de la variable controlada y la posición del elemento final de control (la válvula se mueve al mismo valor por unidad de desviación). La parte proporcional no considera el tiempo, por lo tanto, la mejor manera de solucionar el error permanente y hacer que el sistema contenga alguna componente que tenga en cuenta la variación respecto al tiempo, es incluyendo y configurando las acciones integral y derivativa.

El error, la banda proporcional y la posición inicial del elemento final de control se expresan en tanto por uno. Nos indicará la posición que pasará a ocupar el elemento final de control

Ejemplo: Cambiar la posición de una válvula (elemento final de control) proporcionalmente a la desviación de la temperatura (variable) respecto al punto de consigna (valor deseado).

Integral

El modo de control Integral tiene como propósito disminuir y eliminar el error en estado estacionario, provocado por el modo proporcional. El control integral actúa cuando hay una desviación entre la variable y el punto de consigna, integrando esta desviación en el tiempo y sumándola a la acción proporcional. El *error* es integrado, lo cual tiene la función de promediarlo o sumarlo por un período determinado; Luego es multiplicado por una constante **I**. Posteriormente, la respuesta integral es adicionada al modo Proporcional para formar el control $P + I$ con el propósito de obtener una respuesta estable del sistema sin error estacionario.

El modo integral presenta un desfase en la respuesta de 90° que sumados a los 180° de la retroalimentación (negativa) acercan al proceso a tener un retraso de 270° , luego entonces solo será necesario que el tiempo muerto contribuya con 90° de retardo para provocar la oscilación del proceso. <<< la ganancia total del lazo de control debe ser menor a 1, y así inducir una atenuación en la salida del controlador para conducir el proceso a estabilidad del mismo. >>> Se caracteriza por el tiempo de acción integral en minutos por repetición. Es el tiempo en que delante una señal en escalón, el elemento final de control repite el mismo movimiento correspondiente a la acción proporcional.

El control integral se utiliza para obviar el inconveniente del offset (desviación permanente de la variable con respecto al punto de consigna) de la banda proporcional.

Ejemplo: Mover la válvula (elemento final de control) a una velocidad proporcional a la desviación respecto al punto de consigna (variable deseada).

Derivativo

La acción derivativa se manifiesta cuando hay un cambio en el valor absoluto del error; (si el error es constante, solamente actúan los modos proporcional e integral).

El *error* es la desviación existente entre el punto de medida y el valor consigna, o "*Set Point*".

La función de la acción derivativa es mantener el error al mínimo corrigiéndolo proporcionalmente con la misma velocidad que se produce; de esta manera evita que el error se incremente.

Se deriva con respecto al tiempo y se multiplica por una constante **D** y luego se suma a las señales anteriores (P+I). Es importante adaptar la respuesta de control a los cambios en el sistema ya que una mayor derivativa corresponde a un cambio más rápido y el controlador puede responder acordemente.

El control derivativo se caracteriza por el tiempo de acción derivada en minutos de anticipo. La acción derivada es adecuada cuando hay retraso entre el movimiento de la válvula de control y su repercusión a la variable controlada.

Cuando el tiempo de acción derivada es grande, hay inestabilidad en el proceso. Cuando el tiempo de acción derivada es pequeño la variable oscila demasiado con relación al punto de consigna. Suele ser poco utilizada debido a la sensibilidad al ruido que manifiesta y a las complicaciones que ello conlleva.

El tiempo óptimo de acción derivativa es el que retorna la variable al punto de consigna con las mínimas oscilaciones

Ejemplo: Corrige la posición de la válvula (elemento final de control) proporcionalmente a la velocidad de cambio de la variable controlada.

La acción derivada puede ayudar a disminuir el rebasamiento de la variable durante el arranque del proceso. Puede emplearse en sistemas con tiempo de retardo considerables, porque permite una repercusión rápida de la variable después de presentarse una perturbación en el proceso.

Significado de las constantes

P constante de proporcionalidad: se puede ajustar como el valor de la ganancia del controlador o el porcentaje de banda proporcional. Ejemplo: Cambia la posición de la válvula proporcionalmente a la desviación de la variable respecto al punto de consigna. La señal P mueve la válvula siguiendo fielmente los cambios de temperatura multiplicados por la ganancia.

I constante de integración: indica la velocidad con la que se repite la acción proporcional.

D constante de derivación: hace presente la respuesta de la acción proporcional duplicándola, sin esperar a que el error se duplique. El valor indicado por la constante de derivación es el lapso de tiempo durante el cual se manifestará la acción proporcional correspondiente a 2 veces el error y

después desaparecerá. Ejemplo: Mueve la válvula a una velocidad proporcional a la desviación respecto al punto de consigna. La señal I va sumando las áreas diferentes entre la variable y el punto de consigna repitiendo la señal proporcional según el tiempo de acción derivada (minutos/repetición).

Tanto la acción Integral como la acción Derivativa, afectan a la ganancia dinámica del proceso. La acción integral sirve para reducir el error estacionario, que existiría siempre si la constante K_i fuera nula. Ejemplo: Corrige la posición de la válvula proporcionalmente a la velocidad de cambio de la variable controlada. La señal d es la pendiente (tangente) por la curva descrita por la variable.

La salida de estos tres términos, el proporcional, el integral, y el derivativo son sumados para calcular la salida del controlador PID. Definiendo $y(t)$ como la salida del controlador, la forma final del algoritmo del PID es:

$$y(t) = MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de}{dt}$$

1.6 Conclusiones del capítulo.

La instalación experimental cuenta con 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.

Se definieron conceptos significativos relacionados con la investigación y se presentaron las principales características de los programas que se utilizan para la programación de los PLC y la creación del sistema SCADA (Citect).

Capítulo II

Descripción de la Planta del sistema de hidrotransporte del ISMM de Moa.

2.1 Introducción

En este capítulo se hace una descripción general sobre los accionamientos eléctricos que se encuentran instalados en la pequeña planta de hidrotransporte, así como los instrumentos y sistemas del autómata programable Simatic S7-300 pertenecientes a la estación experimental de hidrotransporte del Instituto de Moa.

2.2 Descripción del accionamiento eléctrico.

La Planta de Hidrotransporte cuenta con tres fundamentales tipos de accionamientos, entre los cuales se encuentra el del tipo de arranque directo a línea el cual pertenece al agitador del tanque y dos más destinados a las bombas con acoplamiento a bombas centrifugas, accionados ambos a través de variadores de velocidad modelos F7 Yaskawa (Fig 2.1), Altivar 71(Fig 2.2) y Schneider (Fig 2.3).

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.



Figura 2.1 Variador de velocidad, modelo F7.

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 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, -10 a 10V y salidas de relay programables (Anexo 6, Conexión eléctrica del VFD F7).

2.3 Esquema de potencia. Circuito de mando.

El variador de velocidad cuenta básicamente con tres secciones (figura 2.2). 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.

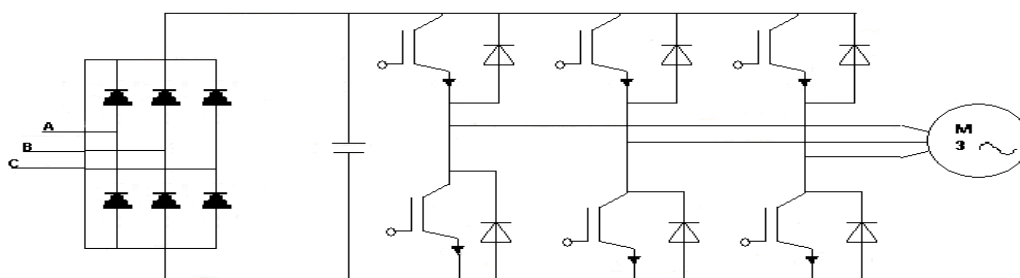


Figura 2.2 Esquema de potencia del variador de velocidad Yaskawa.

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.



Figura 2.3 Variador Shneider.

2.4 Caracterización del autómatas 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.

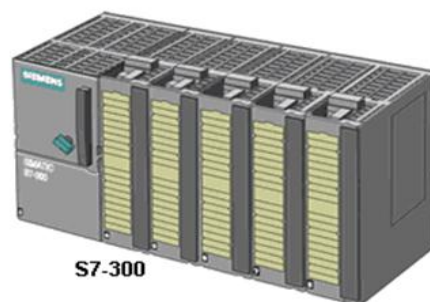


Figura 2.4 Esquema de los autómatas programables, el S7-300 y S7-400

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.

2.4.1 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.

2.4.2 Ventajas e inconvenientes de los PLC.

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.

2.4.3 PLC, 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.

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

2.4.4 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.

2.5 Instrumentos que se encuentran ubicados en la instalación.

La instalación cuenta con varios instrumentos para censar las variables de campo, tales como presión, flujo, temperatura y otros.

2.5.1 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 censado 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 2.4. Indicador de presión.

2.5.2 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 2.5 Sensores de nivel

2.5.3 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 2.6 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.

2.5.4 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 Termo-resistencia PT100 con convertidor incorporado. Longitud de inmersión de 200 mm. Diámetro de la funda 12 mm. Material de la funda acero inox 316L



Figura 2.7 Sensor de temperatura

2.8.5 Flujómetro SITRANS.

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.

Esquema del sistema SCADA (Citect).

Como parte de las tareas a ejecutar en este trabajo de diploma se encuentra la confección del sistema SCADA de la planta de hidrotransporte, la cual se realizara a través de la comunicación con el PLC S7-300, con comunicación a través de Ethernet, lo cual se representa a continuación.

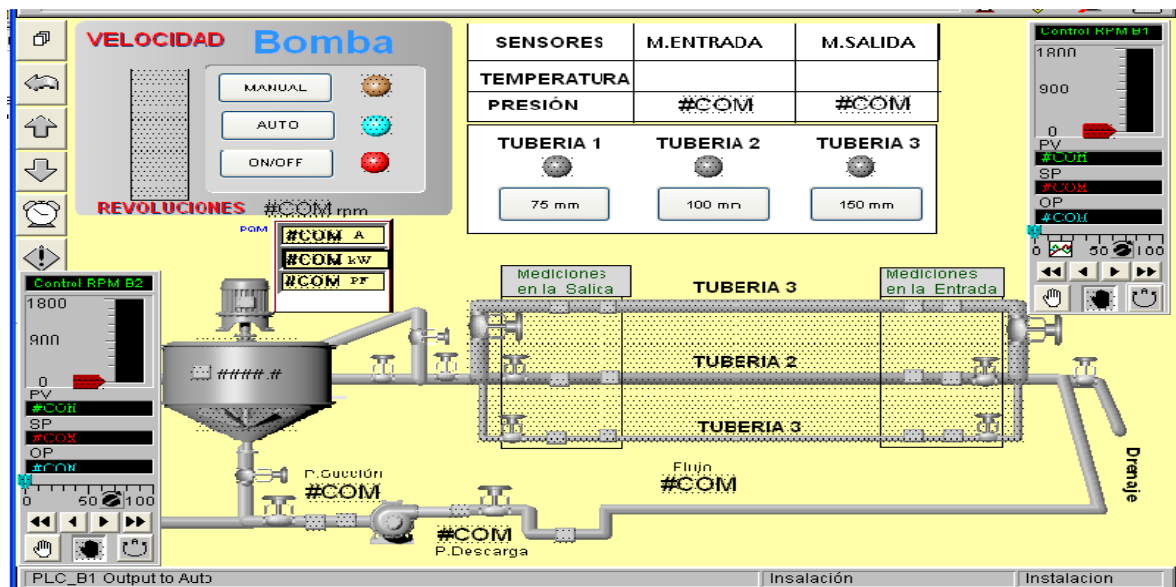


Figura 2.8. Esquema del sistema CitectSCADA para la estación experimental de hidrotransporte.

En la cual se representan los puntos de medición de las variables eléctricas y de instrumentación, además del proceso tecnológico de forma general, esto brindara la información necesaria para los trabajos de estudios y análisis de eficiencia en el proceso.

2.6 Conclusiones del capítulo.

El autómatas 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, todos estos equipos serán la base para lograr la comunicación necesaria para la obtención de una pantalla en el sistema SCADA (Citect), para la supervisión y el control de los accionamientos.

Capítulo III

Análisis de los resultados y valoración económica.

3.1 Introducción.

En este capítulo se hace referencia a los resultados de la experimentación de los resultados obtenidos, los cuales abordan las mediciones obtenidas a través del sistema SCADA (Citect), así como la regulación de las variables de control al VFD Modelo Schneider, Altivar 71 y Yaskawa F7 del sistema de fuerza de las bombas centrifugas, para el control automático mediante un PLC de Siemens S7-300, elaborado desde el software Simatic S7. Además se muestran los resultados económicos de la instalación.

3.2 Controladores Lógicos Programables.

Básicamente un PLC es el cerebro de un proceso industrial de producción o fabricación, reemplazando a los sistemas de control de relés y temporizadores cableados. Se puede pensar como una computadora desarrollada para soportar las severas condiciones a las que puede ser sometido en un ambiente industrial.

Se define como un equipo electrónico, programable, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial o comercial, procesos secuenciales. Monitorea las entradas, toma decisiones basadas en su programa y controla las salidas para automatizar un proceso o máquina.

Arquitectura de un PLC.

Teniendo una idea de lo que son los PLC se explicara su estructura, la cual consiste básicamente en módulos de entradas, una CPU, módulos de salidas, requiere de una fuente de alimentación y una terminal de programación como se muestra en la Figura 2.2.

El Módulo de Entrada acepta una gran variedad de señales analógicas o digitales de varios dispositivos de campo (sensores) y los convierte en una señal lógica que puede usar la CPU.

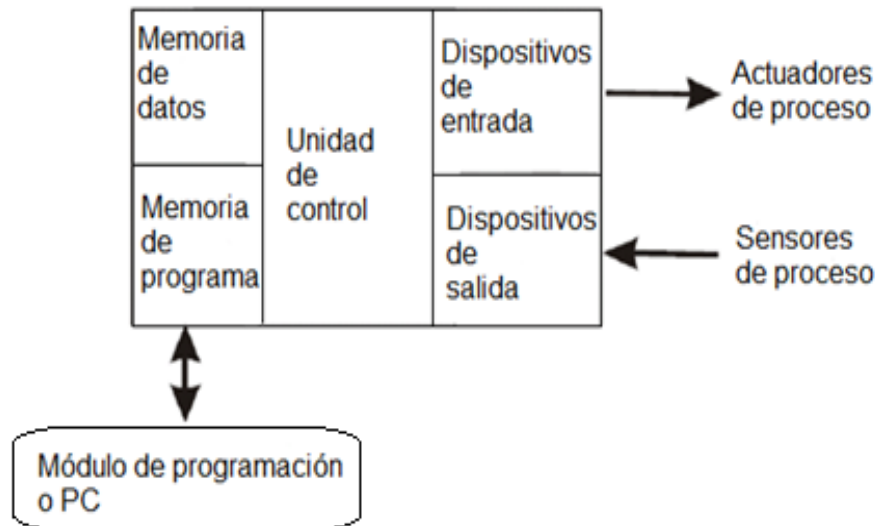


Figura 3.1 Arquitectura de un PLC.

La CPU toma las decisiones y ejecuta las instrucciones de control basadas en las instrucciones del programa de la memoria. Es el auténtico cerebro del sistema. Se encarga de recibir las órdenes del operario por medio de la consola de programación y el módulo de entradas. Posteriormente, las procesa para enviar respuestas al módulo de salidas. En su memoria, se encuentra residente el programa destinado al control del proceso. Los Módulos de Salida convierten las instrucciones de control de la CPU en una señal digital o analógica que se puede usar para controlar dispositivos de campo (actuadores).

La Fuente de Alimentación es la encargada de convertir la tensión de la red, 220 o 110 VCA, a baja tensión de CC, normalmente 24 V. Siendo esta, la tensión de trabajo en los circuitos electrónicos que forman parte del Controlador Lógico Programable.

Se usa además un Dispositivo de Programación para introducir las instrucciones deseadas. Estas instrucciones especifican lo que debe hacer el

PLC según una entrada específica. El terminal o consola de programación es la que permite comunicar al operario con el sistema.

Las funciones básicas de las consolas de programación son las siguientes:

- ✓ Transferencia y modificación del programas
- ✓ Verificación de la programación
- ✓ Información del funcionamiento de los procesos

Como consolas de programación, pueden ser utilizadas las construidas específicamente para el PLC, tipo calculadora o bien un ordenador personal, PC, que soporte un “software” especialmente diseñado para resolver los problemas de programación y control.

Normalmente se requiere una PLC para:

- ✓ Reemplazar la lógica de relés para el comando de motores, máquinas, cilindros, neumáticos e hidráulicos, etc.
- ✓ Reemplazar temporizadores y contadores electromecánicos.
- ✓ Actuar como interface entre una PC y el proceso de fabricación.
- ✓ Efectuar diagnósticos de fallas y alarmas.
- ✓ Controlar y comandar tareas repetitivas y peligrosas.
- ✓ Regulación de aparatos remotos desde un punto de la fábrica.

Sus principales beneficios son:

- ✓ Menor cableado, reduce los costos y los tiempos de parada de planta.
- ✓ Reducción del espacio en los tableros.
- ✓ Mayor facilidad para el mantenimiento y puesta en servicio
- ✓ Flexibilidad de configuración y programación, lo que permite adaptar fácilmente la automatización a los cambios del proceso.

Tipos de Controladores Lógicos Programables:

- ✓ Compactos: están constituidos por su fuente de alimentación, CPU, entradas y salidas digitales.

-
- ✓ Semimodulares: se les puede integrar módulos de entradas y salidas digitales y analógicos
 - ✓ Modulares: estos se montan sobre Rack, y la CPU es independiente de la fuente de alimentación así como de las entradas y salidas digitales y analógicas, se arma de acuerdo a las necesidades del cliente y por su estructura suelen ser más flexibles que los anteriores.

Luego de ver las características principales de PLC y sus ventajas se abordará en la programación de los mismos.

Metodología de programación del PLC.

El lenguaje de programación de un PLC permite la creación del programa que controlará su CPU. Mediante el mismo el programador podrá comunicarse con el controlador lógico programable y así confiarle un programa para controlar las actividades que debe realizar.

Varios son los lenguajes o sistemas de programación posibles en los PLC; por esto, cada fabricante indica en las características generales de su equipo cuál es el lenguaje o los lenguajes con los que puede operar. En general, se podría decir que los lenguajes de programación más usuales son aquellos que transfieren directamente el esquema de contactos y las ecuaciones lógicas pero, éstos no son los únicos.

Entre los lenguajes y métodos gráficos para programas los PLC se encuentran:

- ✚ Nemónico, también conocido como lista de instrucciones, booleano, abreviaturas nemotécnicas, AWL.

Este incluye una lista de instrucciones que se ejecutan secuencialmente dentro de un ciclo. Una de las principales ventajas que presenta es que cualquier programa creado en FUP o KOP puede ser editado por AWL, no así a la inversa

-
- ✚ Diagrama de contactos (Ladder diagram), plano de contactos, esquema de contactos, KOP.

Este lenguaje también llamado lenguaje de escalera permite crear programas con componentes similares a los elementos de un esquema de circuitos. Los programas se dividen en unidades lógicas pequeñas llamadas networks, y el programa se ejecuta segmento a segmento, secuencialmente, y también en un ciclo.

Las operaciones se representan mediante símbolos gráficos que incluyen tres formas básicas:

- ✓ Contactos, representan condiciones lógicas de entrada, interruptores, botones, condiciones internas, etc.
- ✓ Bobinas, representan condiciones lógicas de salida, actuadores.
- ✓ Cuadros, representan operaciones adicionales tales como temporizadores, contactores u operaciones aritméticas

Las ventajas de este lenguaje son:

- ✓ Facilita el trabajo de programadores principiantes.
- ✓ La representación gráfica ayudada de la aplicación (estado de programa) colabora a la fácil comprensión del desarrollo del código.
- ✓ Se puede editar con AWL.

Esta forma de programación se ha llamado de lógica de escalera, porque en el diseño gráfico del diagrama se emplean una especie de rieles y peldaños, como en el ejemplo de la figura 2.2, que muestra el esquema del arranque de un motor.

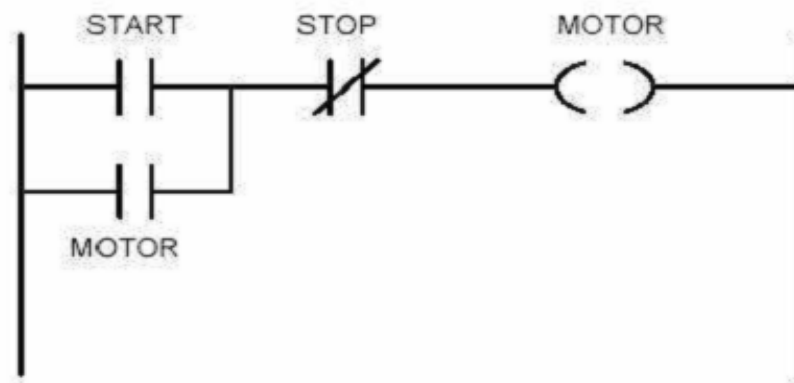


Figura 3.2 Diagrama escalera para el arranque de un motor.

La mayoría de los fabricantes incorpora este lenguaje. Esto es debido a la semejanza con los esquemas de relés utilizados en los automatismos eléctricos de lógica cableada, lo que facilita la labor a los técnicos habituados a trabajar con dichos automatismos.

Otro lenguaje igualmente utilizado es:

🔧 Lenguaje FUP.

Consiste en un diagrama de funciones que permite visualizar las operaciones en forma de cuadros lógicos similares de los de las puertas lógicas. El estilo de representación en forma de puertas gráficas se adecua especialmente para observar el flujo del programa. Se puede editar con AWL o KOP.

Excepto el nemónico, los demás tienen como base su representación gráfica; pero, todos ellos deben ir acompañados del correspondiente cuadro o lista de programación, esto es, la relación de líneas de programa que lo configuran.

Vistas las principales características de los Controladores Lógicos Programable se continuara con el sistema de comunicación de la Estación Experimental de Hidrotransporte del ISMM.

3.3 Sistema de comunicación del accionamiento de la planta de hidrotransporte.

Para el logro de la comunicación entre el sistema de medición de la Instalación Experimental de Hidrotransporte con la red del ISMM se utilizó un cable comercial para productos y servicios de telecomunicaciones (UTP), utilizando la interfaz física *RJ-45* desde el Swith, el cual se conectó a otro Switch, para la interconexión del Controlador Lógico Programable y un Variador de velocidad de la serie Schnoider.

Desde la estación de Ingeniería y Programación se realiza el diseño y control del variador a través del SCADA Citect y el PLC. Para ello se utiliza en el PLC un módulo de control especial para lazos de control PID llamado FM 355C. Con el programa Step 7 se programa el lazo completo que lo compone la entrada de la variable a medir (rpm) actual, se le establece un Setpoint deseado o se calculan las rpm deseadas para que la bomba adquiriera el rendimiento adecuado según las condiciones del fluido en cuanto a caudal, densidad, % de sólidos etc. El modulo FM 355 posee internamente un algoritmo PID que luego de calcular las rpm necesarias envía al variador Schnoider la señal de corrección del error entre el Setpoint y la variable a controlar.

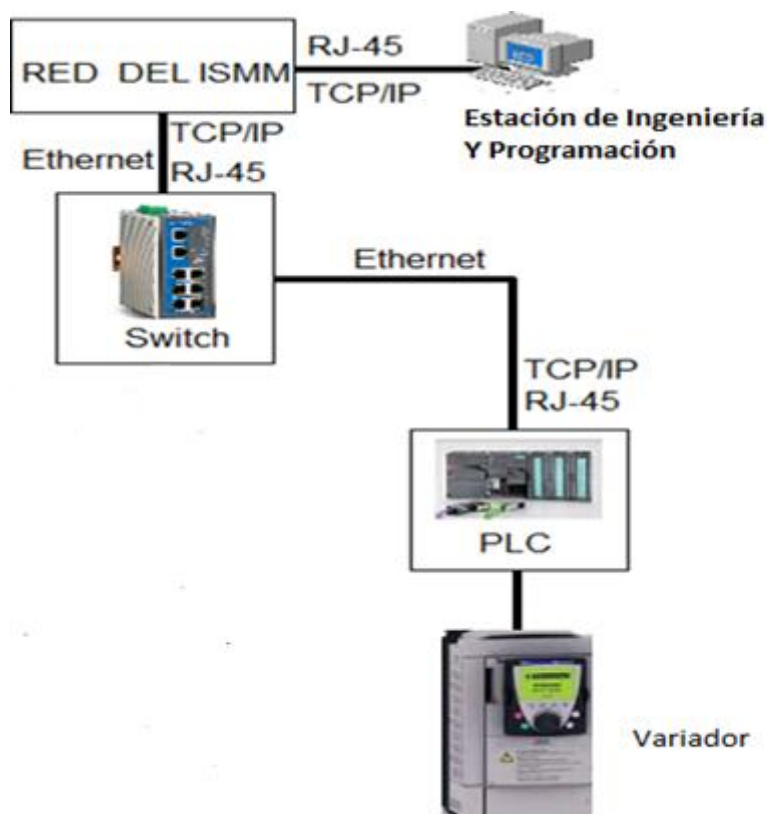


Figura 3.3 Esquema jerárquico del sistema de control de velocidad.

Comunicación con el PLC.

El PLC, al ser un elemento destinado a la automatización y control y teniendo como objetivo principal el aumento de la productividad, no puede o mejor dicho no es un simple ejecutor de datos almacenados en su memoria para transmitir directivas a sus dispositivos que controla.

Es decir, debe ser un elemento que en cualquier momento sea capaz de cambiar la tarea que realiza con simples cambios en su programación, ésta tarea sería imposible sin la ayuda de otros dispositivos tales como PC's, programadoras o paneles de control, dispositivos de campo, PLC's, etc.

El PLC presente en el accionamiento pertenece a la familia S7-300 de Siemens, el cual presenta una CPU 317-2 PN/DP la misma requiere una Memory Card para poder lograr la comunicación. En la tabla 2.2 se muestran alguna característica de la CPU, donde se observa que presenta protocolos

Ethernet a través de la interfaz PROFINET la cual se utiliza para la comunicación con el mismo.

Tabla 3.1 Especificaciones técnicas de la CPU.

Especificaciones técnicas	CPU 317-2 PN/DP
	6ES7 317-2EJ10-0AB0
Memoria de trabajo	512 kB / 170 k instrucciones
Tipo de interfaz	PROFINET
Norma física	RJ45
Detección automática de la velocidad de transferencia	10/100 Mbits/s
TCP/IP	A través de interfaz PROFINET y FB cargables
Lenguaje de programación	KOP, FUP, AWL, SCL, CFC, GRAPH y HiGraph

3.4 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.

Esta consta de un tanque denominado (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) hasta (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 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) 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.

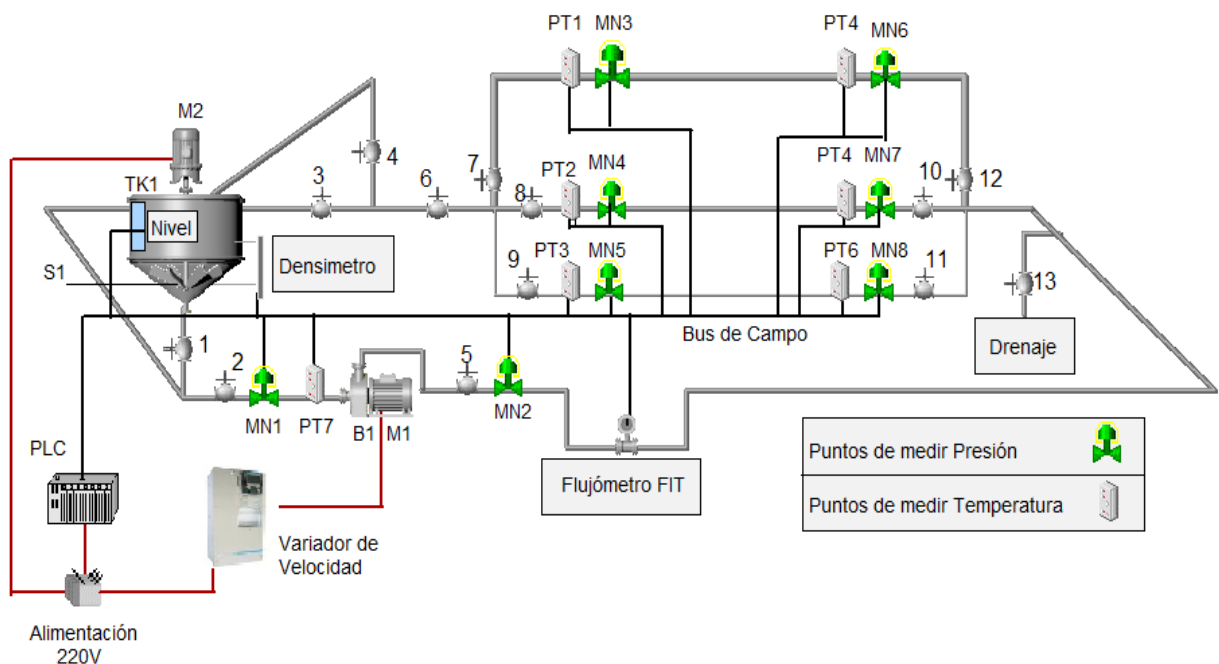


Figura 3.4 Esquema de la Instalación Experimental de Hidrotransporte.

Descripción del sistema SCADA (Citect).

El sistema SCADA consta con una pantalla del Citect como se muestra a continuación, la cual representa la pantalla fundamental del accionamiento, en la cual se puede obtener la información de los diferentes sensores y variables de control, para la regulación de la velocidad de los motores eléctricos a través de los accionamientos VFD.

Para representar la información de los sensores instalados en las sesiones de tubería de 75 mm, 100 mm, y 150 mm empleadas mayormente por los investigadores del ISMM, se creó una tabla donde se muestra la información recogida, debido a la carencia de sensores (presión y temperatura). Se estableció un conjunto de señalizadores con botones que indique donde se estaban realizando las mediciones, como se visualiza en la figura 3.5.

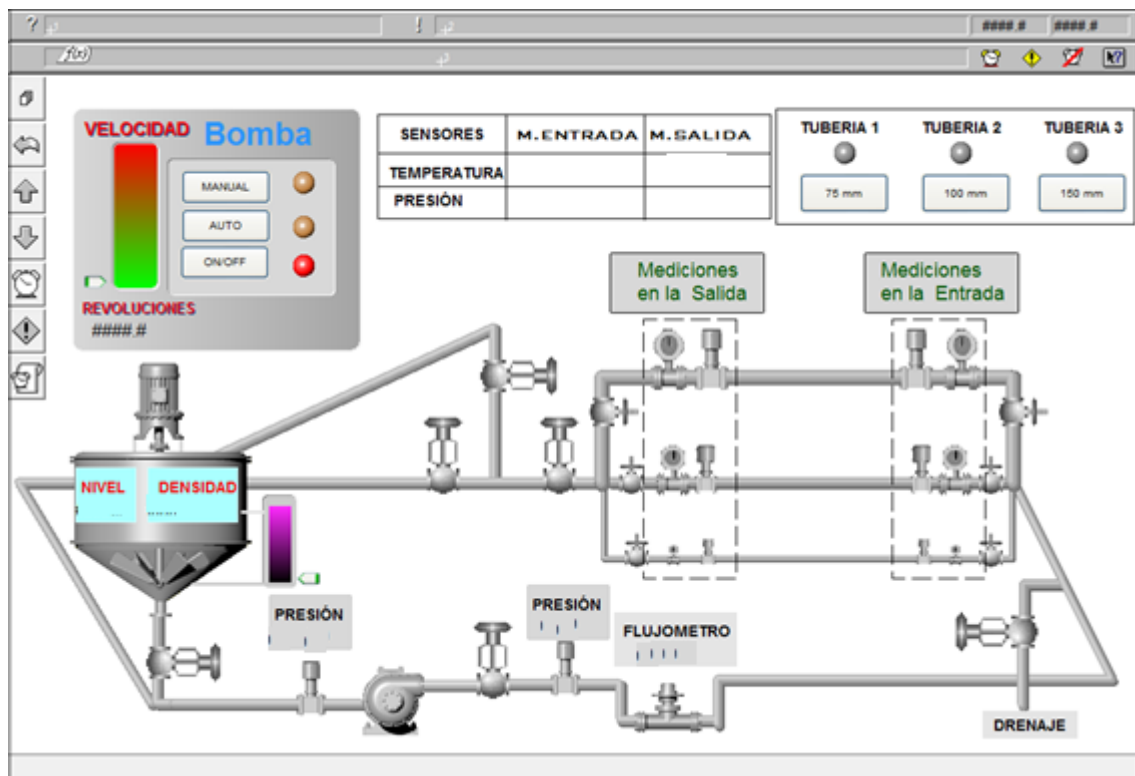


Figura 3.5. Pantalla Citect para la señalización

Descripción control PID

El uso de equipos de control en sistemas de bombeo no es algo nuevo en la industria. Sin embargo, se habla acerca del control PID mas no siempre se tiene la certeza de qué es y para qué sirven estos parámetros.

El control PID es un mecanismo de control que a través de un lazo de retroalimentación permite regular la velocidad, temperatura, presión y flujo entre otras variables de un proceso en general. El controlador PID calcula la diferencia entre nuestra variable real contra la variable deseada. En sistemas de bombeo, regularmente nos interesa mantener la presión o flujo constante, por lo tanto, el control PID mide la diferencia entre la presión en la tubería y la presión requerida y actúa variando la velocidad del motor para que podamos tener nuestra presión o flujo constante.

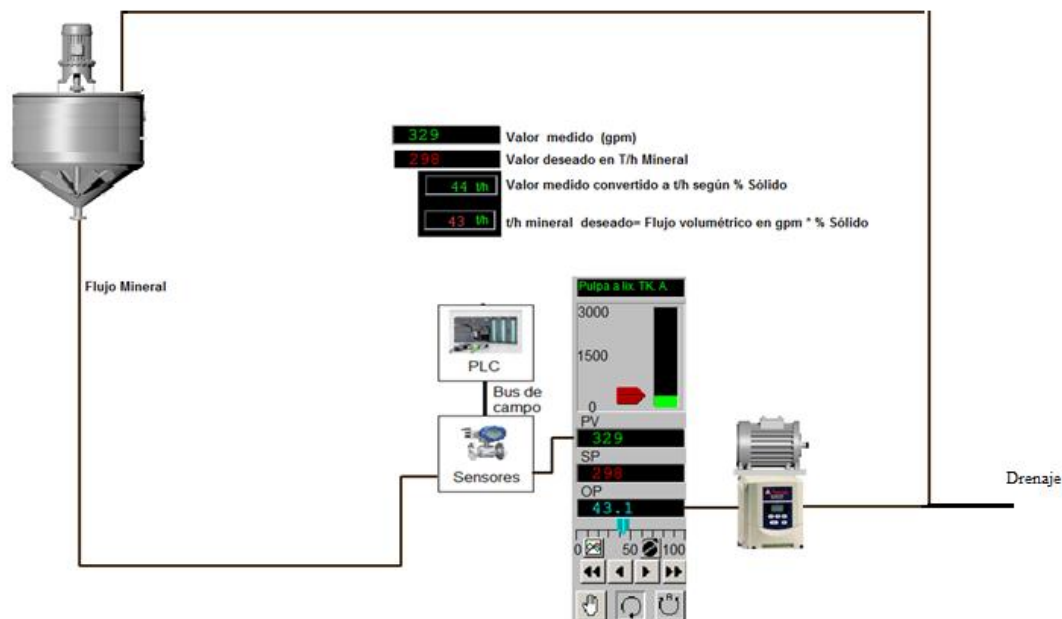


Figura 3.6. Control PID propuesto.

El algoritmo de control incluye tres parámetros fundamentales: Ganancia proporcional (P), Integral (I) y Derivativo (D).

El parámetro Proporcional (P) mide la diferencia entre el valor actual y el set-point (en porcentaje) y aplica el cambio. Para aplicaciones sumergibles, el valor recomendado es 50% y para aplicaciones centrífugas, el valor recomendado es 10%.

El parámetro Integral (I) se refiere al tiempo que se toma para llevar a cabo acción correctiva. Mientras el valor sea más pequeño, el ajuste es más rápido pero puede causar inestabilidad en el sistema, oscilaciones, vibración de motor y de la bomba. El valor recomendado para aplicaciones sumergibles es de 0.5 segundos y para aplicaciones centrífugas es de 1 segundo.

El parámetro Derivativo (D) emite una acción predictiva, es decir, prevé el error e inicia una acción oportuna. Responde a la velocidad del cambio del error y produce una corrección significativa antes de que la magnitud del error se vuelva demasiado grande.

La correcta sintonización o programación de estos parámetros nos ayuda a controlar de manera efectiva nuestra presión o flujo deseado. Si no programamos adecuadamente estos parámetros, el sistema puede quedar inestable y el motor y la bomba pueden comenzar a vibrar y dañarse.

El control PID es una excelente herramienta para lograr el ahorro de energía en sistemas de bombeo y se encuentra incluido dentro de nuestro drive Serie P, ofreciéndole tecnología confiable y de vanguardia.

Potencia requerida teniendo en cuenta los parámetros reológicos a diferentes porcentajes de sólidos.

Teniendo en cuenta los datos del sistema se aplica el Balance de Energía Mecánica (BEM) para determinar las potencias requeridas para las bombas restantes se presentan en las tablas

Tabla 3.2. Resultados BEM teniendo en cuenta los parámetros reológicos de la pulpa.

% Sólidos	Re		f		ΣF (J/Kg)	W (J/Kg)	Pot (kW)
	succión	descarga	succión	descarga			
37	438,6098	266,6669	0,1459	0,2400	47,81	342,17	78,29
40	260,7041	156,3954	0,2455	0,4092	80,64	375,00	88,39
43	180,8000	106,3047	0,3540	0,6020	116,72	411,08	99,92
46	102,4185	57,8480	0,6249	1,1063	207,65	502,01	125,95
48	71,4876	39,8407	0,8953	1,6064	298,28	592,65	151,95

Evaluación de las bombas de pulpa

Para realizar la evaluación de las bombas se tuvieron en cuenta los parámetros reológicos de la pulpa y se realizó una comparación del caudal del punto de operación calculado con el caudal de operación promedio. Para conocer los valores de los flujos promedios que transporta la bomba se utiliza el CITECT

La curva de la bomba centrífugas se trazar a partir del pasaporte de bomba y teniendo en cuenta la velocidad a la que operan.

Es preciso aclarar que el método de cálculo utilizado para la evaluación de los sistemas de bombeo en la Subdirección de Desarrollo de la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba”, se basa en el empleo de una hoja de cálculo en Excel General Pump’s System Calculation, elaborada por la Compañía Sheritt que es nuestro punto de referencia. Estos cálculos tienen el inconveniente de suponer que la pulpa posee un comportamiento newtoniano y se selecciona la bomba requerida considerando siempre un 10% de reserva, lo cual enmascara el efecto del comportamiento reológico no newtoniano que presentan la mayoría de las suspensiones minerales que se manipulan en el proceso productivo.

De ahí la importancia de conocer los parámetros reológicos de los fluidos a trasegar para la correcta evaluación y selección de equipos, bombas y tuberías.

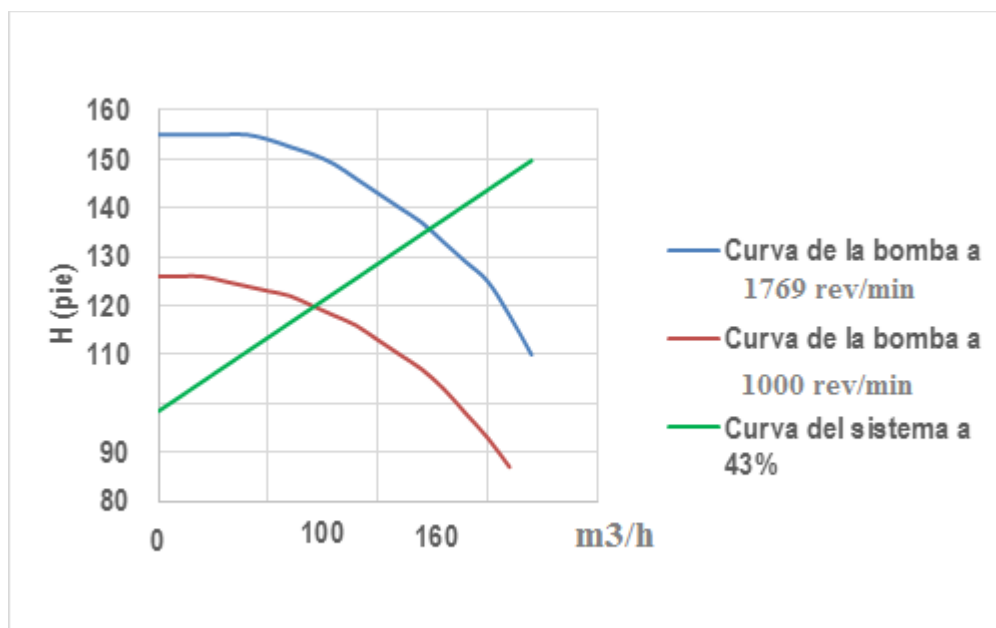


Figura 3.6. Curva del sistema de bombeo

Sistema de alarma y registros en el la SCADA (Citect)..

Luego de tener las pantallas creadas el último paso es crear las alarmas, y el almacenamiento de los registros de las variables medidas.

Una alarma notifica un evento que merece ser tratado de forma especial. Se pueden definir diferentes tipos de alarmas en función de su incidencia. Un

aspecto importante de las alarmas el denominado como acuse o reconocimiento de alarma (validación de notificación de alarma). El reconocimiento de alarmas puede discriminarse por tipo de usuario. Las mismas pueden generarse bien por tags internas como externas.

El procedimiento para configurarlas son los siguientes:

- ✓ Crear un Servidor de Alarmas
- ✓ Crear las Alarmas
- ✓ Configurar las características de las alarmas.

El servidor de alarmas ya está establecido por lo que creamos las alarmas y su configuración en el sistema a través de la programación del Citect.

En la gráfica se muestra los resultados de los registros capturado en tiempo real de las mediciones realizadas en la planta de hidrotransporte, el cual presenta las opciones de realizar estudios de fallas o mediciones pasadas, así como posibilidades de evaluar las curvas para diferentes zoom, para la visualización de las pequeñas variaciones ocurridas, estas se almacenan en intervalos de 3 seg.

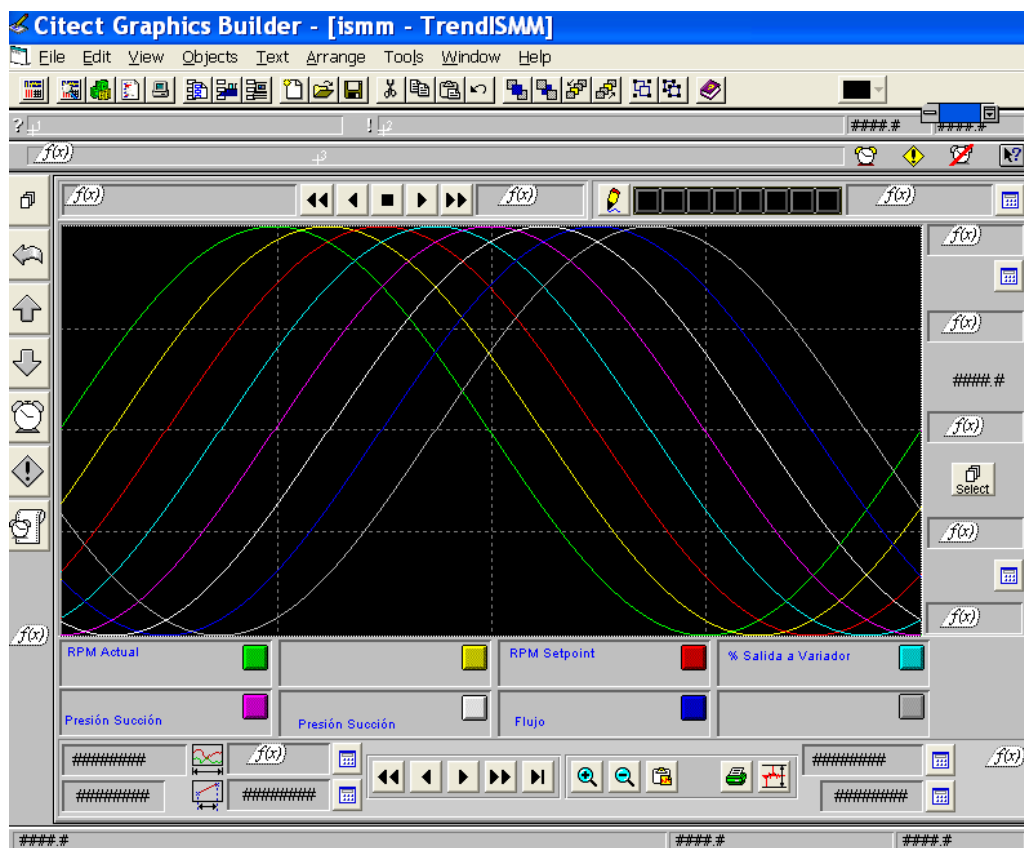


Figura 3.7. Pantalla Citect de resultados de los registros capturado

3.5 Valoración técnico-económica.

En las plantas minero metalúrgicas como las de Moa, 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 y el caudal, que corresponde a una potencia y una eficiencia 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, lo que en muchos casos se realiza estrangulando la tubería de impulsión y con esto aumenta la resistencia de la red y disminuye el rendimiento del accionamiento. El caudal disminuye y la carga de presión aumenta, pero parte de esta energía 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 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 adecuadamente seleccionado.

Los variadores de frecuencia sacan partido de las leyes de proporcionalidad para lograr la principal ventaja de su uso el ahorro de electricidad. Si se compara con sistemas de control y tecnologías alternativos, un variador de frecuencia es el sistema de control de energía óptimo para controlar sistemas de ventiladores y bombas.

El uso de los mismos para controlar el caudal o la presión de un sistema, proporciona un control mejorado. Cuyas variables se adapta rápidamente a las nuevas condiciones del sistema. Control simple del proceso (caudal, nivel o presión) utilizando el controlador PID integrado en el variador de frecuencia.

Cuando se necesita arrancar motores relativamente grandes es necesario usar equipos que limitan la tensión de puesta en marcha. En los sistemas tradicionales, se utiliza con frecuencia un arrancador en estrella/triángulo o arrancador suave. Estos arrancadores de motor no se necesitan si se usa un variador de frecuencia ya que nunca consume más corriente que la nominal.

Cálculo de los costos de explotación.

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.

$$CTI = \sum CIC + \sum CV$$

(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:

$$CTG = CTI - EPA$$

(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 siguiente tabla.

Tabla 3.2 Precios de los equipos utilizados.

Equipo	Modelo	Costo(USD)	Cantidad	Total (USD)
Variador de Velocidad	Schneider	7138.2	1	7138.2
Motor Eléctrico 55kW	-	6368.62	1	6368.62
Nport	5430	741.2	1	741.5
Analizador de red	PQMII-T20-C-A	3108.4	1	3108.4
PC	DELL	500	1	500
Switch	EDS-408A	692.4	1	692.4
Breaker 5A	-	403.9	2	807.8
Breaker 40A	-	779	2	1558
Software	-	-	Varios	10000
Transmisor de presión	SITRANS P	1250	4	5000
Termoresistencia	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
DI16XDC24V				
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

Ahora se calculara el costo total de la instrumentación de campo ($\sum CIC$)

$$\sum CIC = \$4169 + \$4900 + \$1071 + \$3800 + \$873 = \$14813$$

Luego de haber calculado ($\sum CIC$) se continuara con el costo total de equipos y medios de explotación ($\sum CV$).

$$\sum CV = \$7138.2 + \$4885 + \$6368.62 + \$741.5 + \$3108.4 + \$500 + \$807.8 + \$1558 + \$10000$$

$$\sum CV = \$35107.52$$

Por lo que el costo de la instrumentación (CTI)

$$CTI = \$14813 + \$35107.52 = \$49920.52$$

Calculando el costo del estimado de la parte económica (EPA)

$$EPA = 0.2 \cdot \$49920.52 = 9984.104$$

Por lo que el costo total general (CTG) sería igual a:

$$CTG = \$49920.52 - 9984.104 = 39936.416$$

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 ISMM 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.

Conclusiones Generales

Después de haber analizado la implementación del trabajo se ha llegado a las siguientes conclusiones:

1. Se instaló un nuevo sistema de monitoreo y control del sistema que permite una mayor eficiencia, control y seguridad de su funcionamiento.
2. Se determinó que el costo de la instalación asciende a 39936,41 cuc
3. 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).
4. 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.
5. 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.

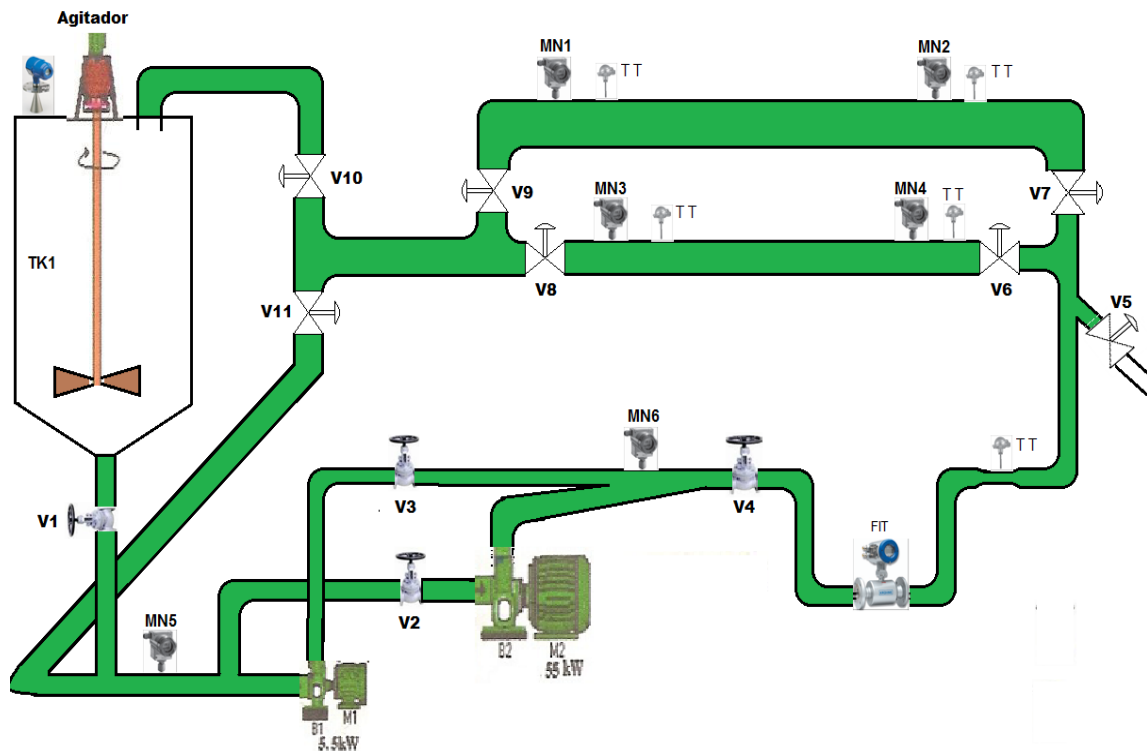
1. Desarrollar la mejora al sistema de cableado de control externo de la instalación, así como la reorganización del mismo en el panel del accionamiento eléctrico.
2. Realizar los cálculos para la mejora del sistema de alimentación del suministro de fuerza a las bombas centrifugas.
3. Continuar con el proceso de conexión del nuevo sistema instalado con el autómata programable (PLC).

Bibliografía

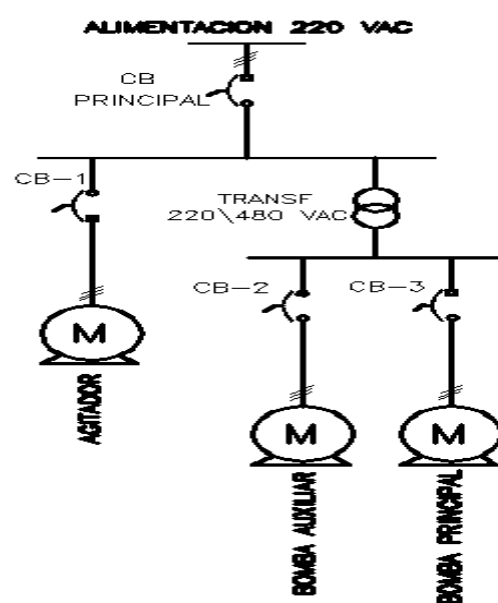
1. A. Turro, L. Garcell, R. Izquierdo, Parámetros y regímenes del hidrotransporte de colas lateríticas en el proceso Caron, v.24 n.4 / 2008 2002.
2. Andres Rugeles Vargas, Diseño de un controlador difuso a través de la herramienta fuzzy de Matlab, (PDF)
3. Clement Johnson, Propuesta de Sistema de Suministro 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 eléctrico asincrónico 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.
 17. Felipe, V. *Motores con variadores de frecuencia*. 2006; Available from: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia>
 18. Calvo, F.S., *Variadores de Frecuencia*. 2010.
 19. Gutierrez, A.P.P., *Implementación de una Ded Industrial basado en ASI-BUS*, in *Facultad de Informática y Electrónica*. 2010, Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.
 20. Mayné, J., *Sistemas de Comunicaciones*. 2004.
 21. "Moxa"_Technologies", *NPort 5400*. 2003.
 22. "GE_Multilin", *Power Quality Meter Intruction Manual*. 2013.
 23. Ahedo, C.D., *Eficiencia energética*, in *Norma Oficial Mexicana NOM-014-ENER-2004*. 2005.
 24. Martinez, E. (2009) *Determinacion del rendimiento en motores de inducción trifasicos según la Norma IEC 60034-2-1*.
 25. Nielsen, K.H. *Guía de cálculo para procesos con bombas centrífugas*. 2012; Available from: <http://todoproductividad.blogspot.mx>.
 26. Avella, J.C.C., *Ahorro de energia en sistemas de bombas centrífugas*. 2008, Universidad autónoma de Occidente.
 27. Franzini, *Curvas características y punto de operación*, in *Bombas Centrífugas*. 1999.
 28. Ruiz, A., *Electrónica Básica para Ingenieros* E. Santander, Editor. 2001.

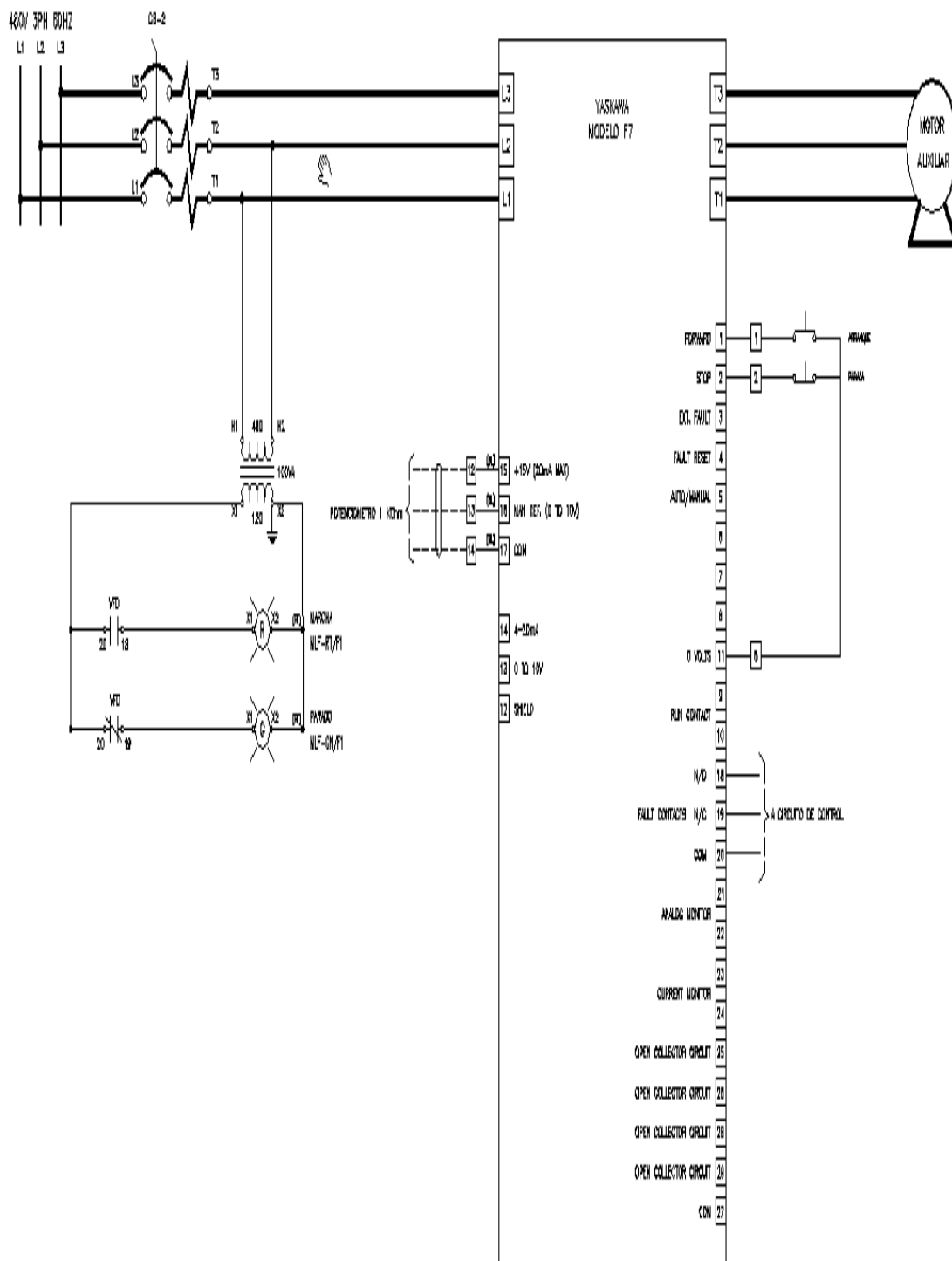
ANEXOS.



Anexo 1 Esquema de la instalación de hidrotransporte del ISMM de Moa.
Estructura técnica.

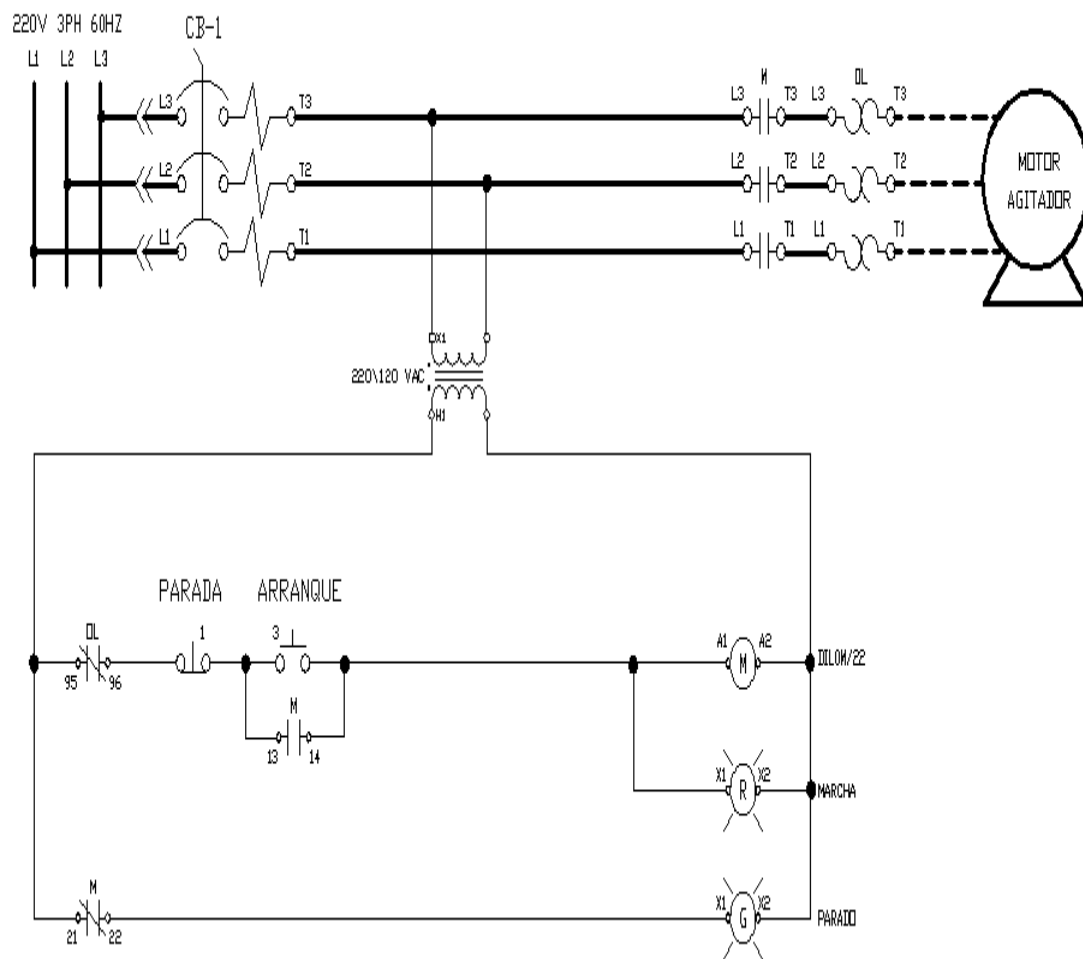


Anexo 2 Monolineal de la instalación.

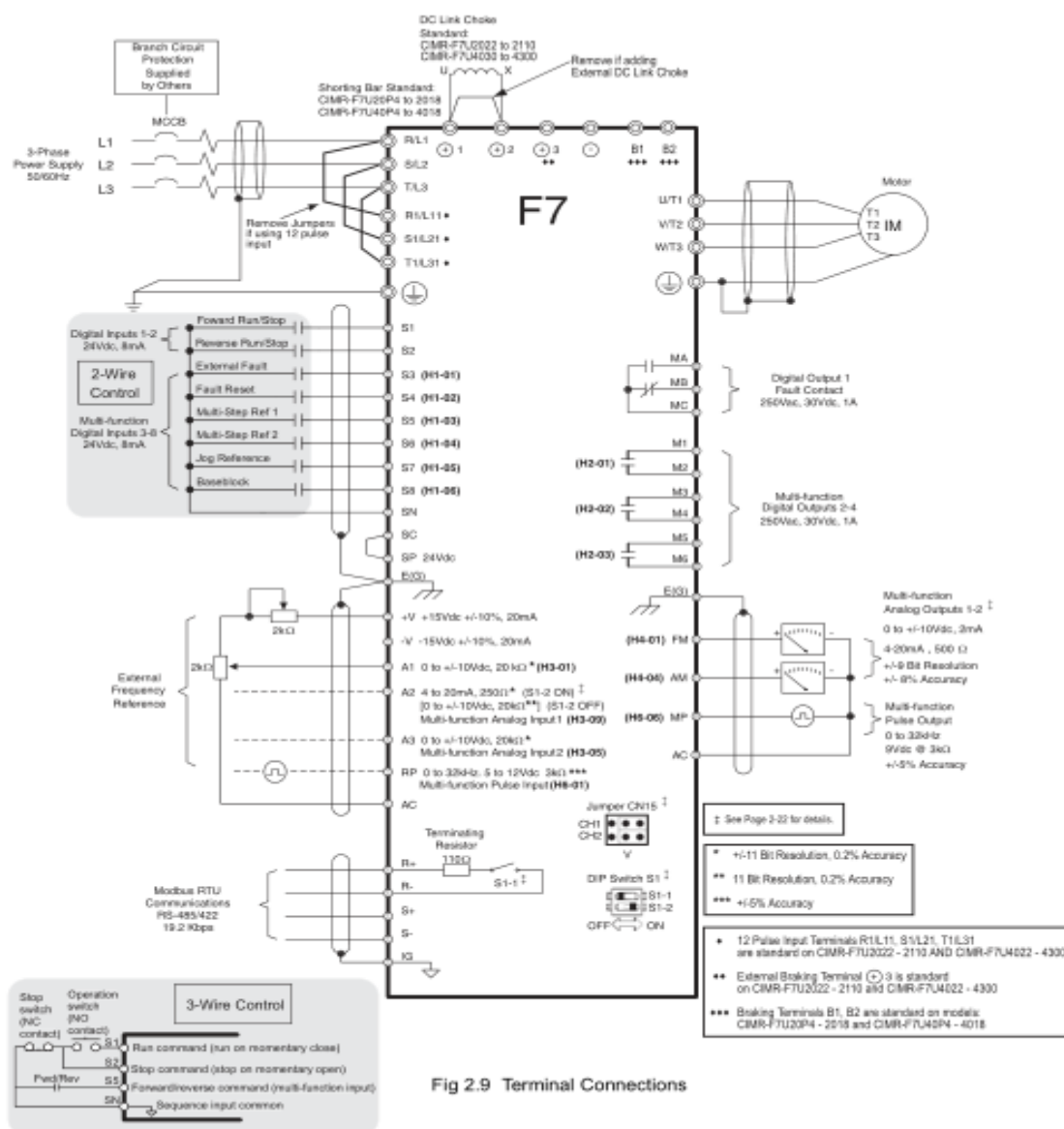


Anexo 4 Esquema de fuerza de la bomba auxiliar.

Accionamiento Electrico del Motor-Agitador



Anexo 5 Esquema de fuerza del agitador.



Anexo 6 Conexión eléctrica del VFD F7.

ANEXO 7 SENSORES DE LA INSTALACIÓN.

Marca: SIEMENS, Made in France	
Tipo: D-76181 Karlsruhe	
Nr. Fab. N1-T926-9532239	
Un: DC 10.5.....45V; Salida: 4...20mA	
Alcance de medida: 0.01....1bar	
Límites de sobre carga: 1....6bar	
Clase de protección IP65	

Sensor de presión SITRANS P.

Réf : T Co 61-2009	
PAVE. DU ROEULX Z.1.	
B-7110 STREPY-BRACQUEGNIES	
Marca: ISO 9001	
Type: Pt 100	
Range: 0/100°C	
S.N : T-40	

Termorresistencia PT-100.

Marca: Krohne	
Alcance de medida: 0...100 m³/h	
Modelo OPTIFLUX 4300 C CG 30011100	
S/N: A08 02773	
Mfd: 2008 in the Netherlands CE 0343	
GK: 4.3637 GKL: 8.8474	
DN 150 mm/6 inch	
100-230 VAC	
50-60 Hz 22 VA	
Wetted materials: T HC4	
IP 66/67	
PED (97/23/EC)	
PSI=16 bar @ TSI=20 °C	
PS2=12.1 bar @ TS2=180 °C	
PT=24 bar @ TT=20 °C	
Norma: DIN 2633 ND 16 WNRI. 4402 75391 NW150/168.3	

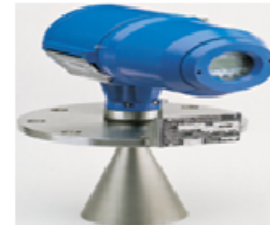
Flujómetro electromagnético.

Marca: Smar
Tipo: DT 301
Serial No: 3794-08
Temp. 60 °C máx
Vmáx. 30 Vdc
Imáx. 110 mA



Densímetro DT 301 (Density Transmitter).

Marca: KROHNE
Fabricado: <u>Duesburg Germany</u>
Altura del tanque (rango medio) 0.5 m a 20 m (1.64 pies a 65.6 pies).
Precisión de la medida (distancia) desde 1 m (3.3 pies): $\pm 1\text{cm}$, hasta 3.3 m (10.8 pies): $\pm 0.3 \%$
Código: C€ 0682
Versión: 5.05
Vk-Auftrag: 886085/010
Serien-Nr: 8/348465.002
Baujahr: 2008
Manufact: 160120080623
Hilfsenergie: 24V DC/AC
Ausgangssignale: 4...20 mA HART



Medidor de nivel BM 700 (Level-Radar).

ANEXO 7 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN DE LOS PLC.

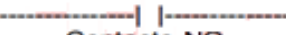
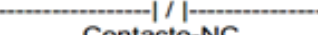
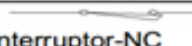
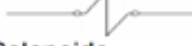
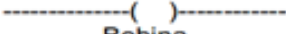
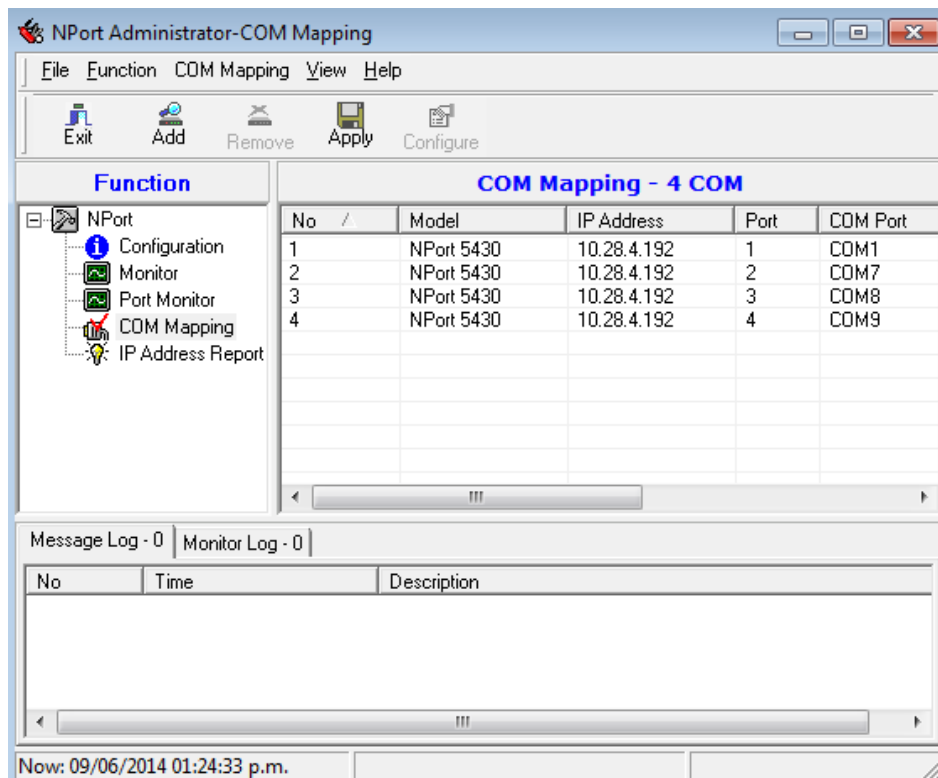
Símbolo Eléctrico	Símbolo en Diagrama de Contactos
 Interruptor-NO	 Contacto-NO
 Botón Pulsador-NO	
 Botón Pulsador-NC	 Contacto-NC
 Interruptor-NC	
 Solenoide	 Bobina
 Lámpara	
 Bobina	

Tabla de símbolos Eléctricos y Diagrama de Contactos.

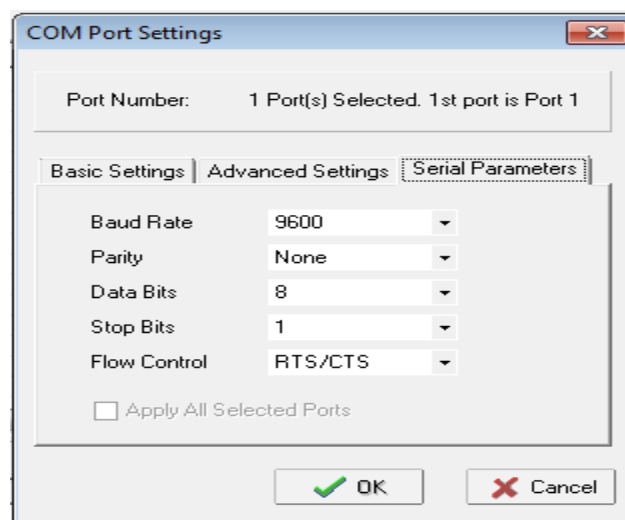
LD: Operación inicio contacto abierto.
LD NOT: Operación inicio contacto cerrado.
AND (Y): Contacto serie abierto.
OR (O): Contacto paralelo abierto.
AND NOT: Contacto serie cerrado.
OR NOT: Contacto paralelo cerrado.
OUT: Bobina de relé de salida.
MEM: Relé interno o marca.
TMR: Temporizador.
CNT: Contador.
 Etcétera.

Instrucciones básicas del lenguaje Nemónico.

ANEXO 8 CONFIGURACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL NPORT.

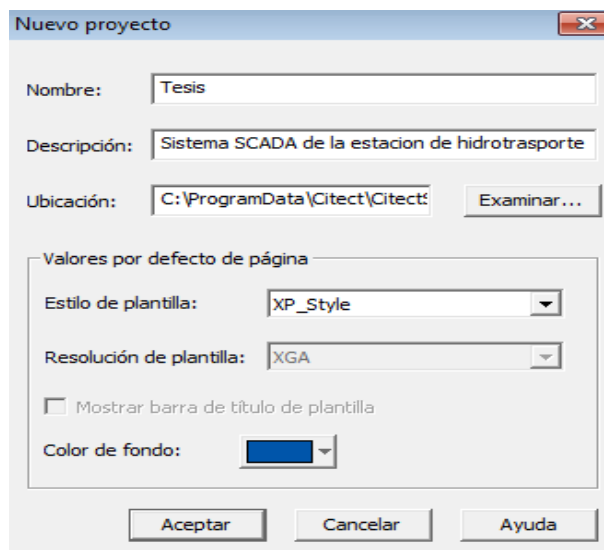


Ventana principal del software Nport Administration Suite.

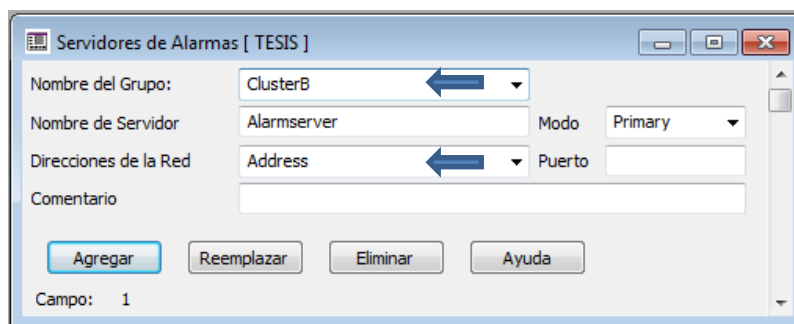


Parámetros del Nport 5430.

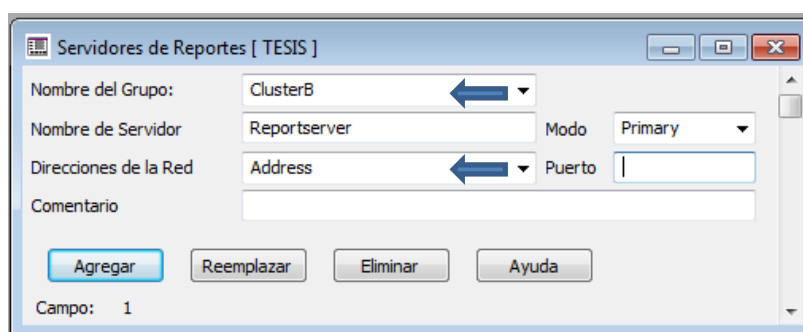
ANEXO 9 CREACIÓN DEL SCADA EN EL CITECT 7.10.



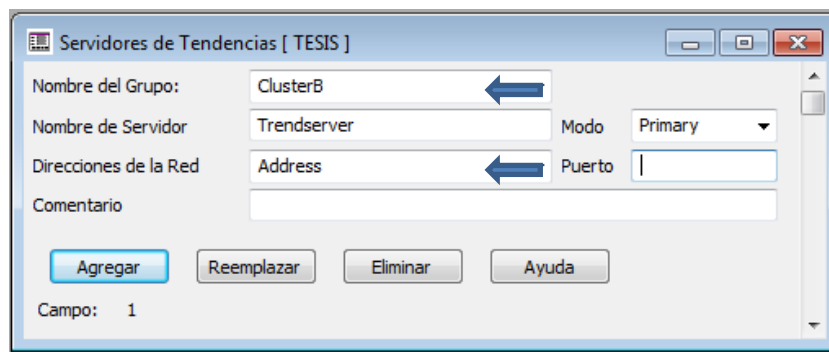
Creacion del proyecto en el CitectSCADA del accionamiento.



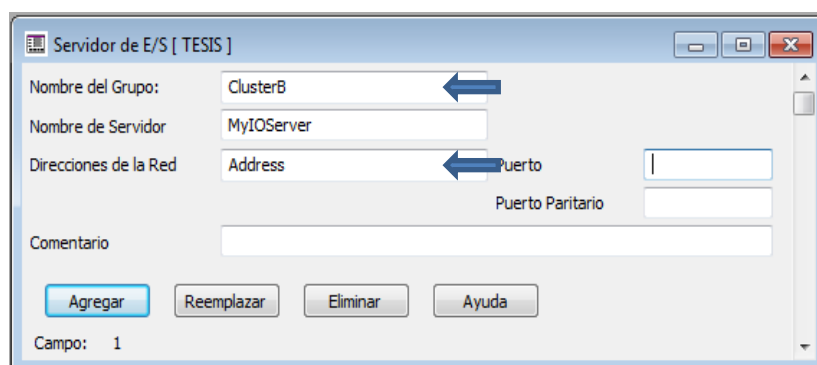
Servidor de Alma.



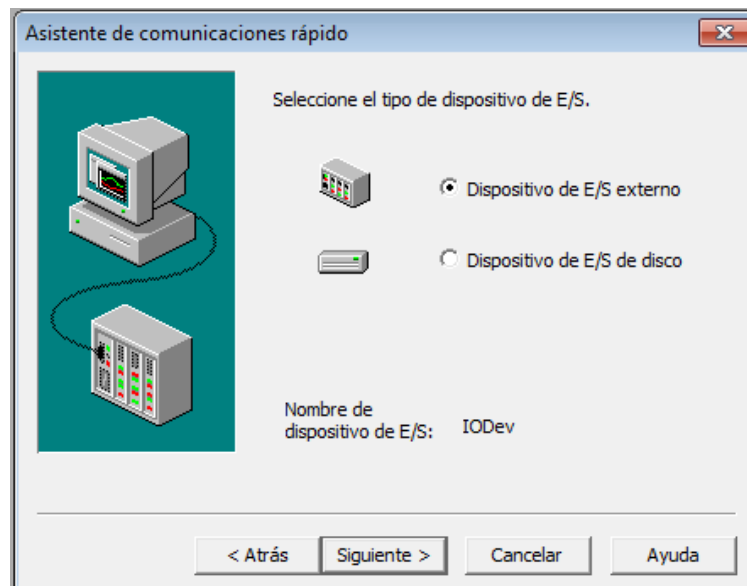
Servidor de Reporte.



Servidor de Tendencia.



Servidor de Entrada/Salida.



CREACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE ENTRADA Y SALIDA.

Tags de Variable [Tutoria1]

Nombre de la Etiqueta Variable: Pump_1_Speed

Nombre del Grupo: ClusterA

Dirección: I1

Cero de la escala sin procesar: 0

Cero de la Escala: 0

Unidades procesadas: RPM

Banda muerta: 0

Comentario: Pump 1 Speed (0-1800 rpm)

Nombre de dispositivo de E/S: IODisp

Tipo de Dato: INT

Máximo de la escala sin procesar: 32767

Máximo de la Escala: 1800

Formato: ####.## EU

Botones: Agregar, Reemplazar, Eliminar, Ayuda

Campo: 2 Vinculado: No

Tag de la variable velocidad de la bomba.