



FACULTAD DE METALURGIA Y ELECTROMECAÁNICA
OFICINA DEL DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA

Trabajo de Diploma para optar por el título de Ingeniero Eléctrico

***Título: Interface de comunicación para un sistema SCADA en
la Estación Experimental de Hidrotransporte asistida por PLC
en el ISMM de MOA***

Autor: Carlos Antonio García Hernández.

Tutores: Dr. C. Luis D. Rojas Purón.

MSc. Gabriel Hernández Ramírez.

Consultantes: Ing. Eduardo Pelegrin.

Ing. Omar Figueredo Oliveros.

Moa, Junio del 2014

“Año 56 de la Revolución”

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo Carlos Antonio García Hernández autor de este trabajo de diploma titulado: “interface de comunicación para sistema SCADA en la Estación Experimental de Hidrotransporte asistida por PLC en el ISMM de MOA”, certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, el cual podrá hacer uso del mismo para fines docentes y educativos.

Firma del Diplomante.

Carlos A. García Hernández

Firma del Tutor.

MSc. Gabriel Hernández Ramírez

AGRADECIMIENTOS

He de expresar mi más profundo agradecimiento a mi madre Gladis por el interés indulgente que han demostrado en el transcurso de mi carrera, a todos mis amigos que me brindaron su apoyo incondicional, a toda mi familia y de forma general a aquellos que han hecho posible la realización de este trabajo.

Agradezco a mis consultantes Omar y Pelegrin por tener tanta paciencia, tacto, energía, sentido práctico, comprensión y por toda la ayuda brindada en el trayecto de formación como profesional.

A todos.....Gracias

Carlos Antonio García Hernández

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1 MARCO CONTECTUAL Y TEÓRICO	5
1.1 Introducción	5
1.2 Estado del arte.....	5
1.3 Redes de Comunicación Industrial	6
1.3.1 Protocolos de comunicación industrial	9
1.4 Sistema SCADA	10
1.4.1 Interfaz humano-máquina	14
1.5 Software STEP 7	15
1.6 Software CitectSCADA.	17
1.7 Conclusiones del capitulo	19
CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS	20
2.1 Introducción	20
2.2 Descripción de la Instalación Experimental de Hidrotransporte del ISMMM.....	20
2.3.1 Estructura técnica.....	22
2.3.2 Elementos eléctricos de la instalación experimental	22
2.3.3 Sensores que presenta la instalación.....	22
2.3.4 Variadores de velocidad en las bombas centrífugas.	23
2.4.1 Método de control por frecuencia.....	24
2.2 Introducción a los Controladores Lógicos Programables.....	25
2.2.1 Arquitectura de un PLC	26
2.2.2 Forma de programar el PLC.....	28
2.5 Comunicación con la instalación.....	30
2.5.1 Comunicación con el PQMII.....	32

2.5.2 Comunicación con el PLC	34
2.6 Metodología para el cálculo del rendimiento del accionamiento.....	35
2.6.1 Potencia y rendimiento del motor.....	37
2.6.2 Potencia y rendimiento en la bomba	38
2.6.3 Rendimiento de la instalación	41
2.7 Conclusiones del capítulo	41
CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	42
3.1 Introducción	42
3.2 Programar el PLC en Simatic Step 7.....	42
3.3 Configuración del CitectSCADA.	42
3.3.1 Configuración de los dispositivos de Entrada / Salida.....	44
3.3.2 Configuración de Tags de Variables	45
3.4 Creación de las pantallas del SCADA.....	48
3.5 Formación de las alarmas y tendencias.....	52
3.6 Valoración técnico-económica del trabajo	56
3.6.1 Cálculo de los costos de explotación.	58
3.7 Conclusión del capítulo.....	61
CONCLUSIONES GENERALES.....	62
RECOMENDACIONES	63
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	64
BIBLIOGRAFÍA	66
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	67
ANEXOS	70

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 variador de velocidad Altivar 71. Lo que nos permitirá obtener el estado del Proceso.

Se elabora un programa a partir de las mediciones recogidas por el Controlador Lógico Programable y el Analizador de Red que permite determinar el rendimiento del accionamiento y así poder determinar el punto de operación óptimo. También se crean las tendencias de las variables medidas para su mejor estudio y poder crear una base de datos.

SUMMARY

The work shows a system of Data Acquisition, Monitoring and Control of the Experimental Station the Hydrotransport Instituto Superior Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez "used for displaying signals from field devices and as supervisor of the drive centrifugal pump with variable speed drives Altivar 71. Which allow us to get the status of the process.

A program was made from measurements collected by the Programmable Logic Controller Network Analyzer that determines the performance of the drive so you can determine the optimal operating point. Trends of measured variables for its study are also created and to create a database.

INTRODUCCIÓN

Por siglos el hombre ha construido máquinas que imiten las partes del cuerpo humano. El desarrollo en la tecnología, donde se incluyen las poderosas computadoras electrónicas, los actuadores de control retroalimentados, transmisión de potencia a través de engranes, y la tecnología en sensores han auxiliado a flexibilizar los mecanismos autómatas para desempeñar tareas dentro de la industria. La investigación en inteligencia artificial desarrolló maneras de emular el procesamiento de información humana con computadoras electrónicas e inventó una variedad de mecanismos para probar sus teorías[1].

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 obligada de cualquier persona.

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, 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 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 al equipo de control (PLC, DCS, CNC, PC y otros) mediante la única señal estandarizada, la señal analógica de 4 – 20 mA.

Sin embargo el problema es como transmitir toda esta información al controlador del proceso, porque con la señal convencional de 4 – 20 mA se puede transmitir solo la información de un parámetro del proceso a la vez. La introducción de las comunicaciones digitales puras trajo una rápida y decisiva ventaja, comparado con la transmisión analógica, esto es posible usando una línea de datos común, llamada “Fieldbus”[2]. Sumando los nuevos desarrollos e investigaciones aplicadas, los instrumentos y control inteligentes continuarán su ascenso en la optimización local y en red para el mejoramiento productivo.

Hoy en día es evidente que la industria que no está automatizada es menos eficiente y con ese razonamiento que el siguiente trabajo propone un sistema automático para el mejoramiento de la Instalación Experimental de Hidrotransporte localizado adentro del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Este trabajo propone realizar un programa supervisor de SCADA asistido por un autómata programable de SIEMENS que a través de él mismo, la operación de la instalación experimental se controla automáticamente y a la vez se visualiza el estado del proceso y se pueden obtener las variables requeridas para evaluar la eficiencia para diferentes condiciones del trabajo de todo el accionamiento de la bomba centrífuga.

La Estación Experimental de Hidrotransporte del ISMMM no cuenta con un sistema de supervisión del proceso que permita la fiabilidad de las mediciones para la investigaciones que se realiza, la ausencia de una interface para establecer la comunicación a través del sistema de medición de campo, entre la red del ISMM y el PLC de SIEMENS para garantizar el trabajo seguro del sistema supervisor y de control SCADA que gestiona los índices de rendimiento energético del sistema.

Por lo anterior esta investigación se plantea como problemas científico:

¿Cómo establecer la comunicación eficiente en el accionamiento eléctrico con el sistema de medición a partir de los recursos que ofrece el control digital a través de un sistema SCADA?

En la cual el objeto de la investigación será la creación de una interface gráfica, donde se define el campo de acción como: control de instrumentos para SCADA de accionamiento eléctrico con variador de velocidad ALTIVAR.

La idea a defender plantea que:

Con la caracterización actualizada del sistema de medición del accionamiento con variador de velocidad ALTIVAR, es posible elaborar una interface que garantice la comunicación entre los periféricos para el trabajo eficiente del sistema SCADA.

Partiendo de esta temática el objetivo de la investigación estará centrado en: Elaborar una interface de comunicación para el trabajo seguro de un sistema de medición de campo en el accionamiento con variador de velocidad ALTIVAR, usando un sistema SCADA.

Y para alcanzarlos se han propuestos como objetivos específicos los siguientes:

- Presentar el estado del arte del sistema de medición de campo de la Estación Experimental de Hidrotransporte en el ISMMM.
- Obtener las características de explotación del accionamiento con variador de velocidad ALTIVAR.

- Crear una metodología para determinar el rendimiento del accionamiento con bomba centrífuga.
- Diseñar una interface para la comunicación y supervisión del sistema de medición de campo entre el PLC y un SCADA.

Como métodos teóricos para esta investigación se utilizaran:

Método Análisis–Síntesis, se aplica este método para el análisis de los elementos bibliográficos, definiciones, de los diferentes autores sobre las redes de comunicación industrial y los sistemas SCADA.

Método Histórico-Lógico, se aplicó este método para analizar los resultados de los investigadores en el campo de la automatización, en el cual desde el surgimiento de las computadoras ha tenido un gran desarrollo.

Método de Inducción-Deducción, se aplicó este método para conocer las concepciones acerca de los sistemas SCADA, variadores de velocidad y como estos influyen en el rendimiento de los accionamientos con bomba centrífuga.

Estructura de la Tesis por capítulos

- Capítulo 1: Estado del arte sobre el sistema de medición de campo en la Estación Experimental de Hidrotransporte en el ISMMM y fundamentos sobre sistemas SCADAS
- Capítulo 2: Descripción de la Estación Experimental de Hidrotransporte en el ISMMM y creación de una metodología para el cálculo del rendimiento en el accionamiento.
- Capítulo 3: Creación del SCADA en el software Citect. Resultados del sistema de control de instrumento y evaluación económica del trabajo:

CAPÍTULO 1 MARCO CONTECTUAL Y TEÓRICO

1.1 Introducción

En este capítulo se realiza el estado del arte y se definen las bases conceptuales de la investigación. Se describen los conceptos fundamentales relacionados con las redes de comunicación industrial y los sistemas SCADA. Se analizan las principales características de los programas que utilizaremos para la realización del sistema SCADA.

1.2 Estado del arte

En el trabajo realizado por Damien Wilson Benjamín,[3] se realiza una descripción de la Instalación Experimenta de Hidrotransporte del ISMMM, con los medios que contaba en aquel momento la misma. Se plantea 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) para la adquisición de datos asistido por un software desde el MATLAB.

Shalongo Nghiitwikwa,[4] planteo la creación de un nuevo sistema de adquisición de datos para el accionamiento, pero con la implementación de un sistema SCADA a través del Citect. En este trabajo se realiza una gran descripción de los sistemas SCADA y los requerimientos que deben tener para su óptimo funcionamiento.

En ambas tesis se realizan una amplia descripción de la programación de los autómatas programables, pero no se logró la comunicación con el mismo ya que la red no estaba instalada. Además la regulación de caudal para los experimentos se realizaban a partir de válvulas de estrangulamiento lo que hacía muy ineficiente las mediciones realizadas y aumentaba el nivel de pérdidas y esto provocaba que el rendimiento cayera considerablemente.

Además de estos trabajos en la Estación Experimental de Hidrotransporte del ISMMM se han realizados otras investigaciones para alcanzar el grado de master y doctor por

los profesores del centro. Pero los trabajos antemencionados solo hacen referencia al tema de la investigación propuesta.

A modo de conclusión se puede decir que la instalación ha pasado por una etapa de remodelación donde se han incorporado nuevas tecnologías como un nuevo sistema de medición a partir de sensores digitales, se le incorporo un variador de velocidad (ALTIVAR 71) para la regulación del caudal, además de una nueva sección de tubería de 75 mm para la realización de nuevos experimentos, y se ha conectado el Controlador Lógico Programable (PLC) a la red del ISMMM por lo que se plantea en este trabajo la realización de un sistema SCADA a través del Citect para la adquisición de datos y evaluar el rendimiento del accionamiento.

1.3 Redes de Comunicación Industrial

En la búsqueda de la integración de las comunicaciones industriales, fueron desarrolladas las Redes de Comunicaciones Industriales (RCI). Las mismas tienen su inicio en los estudios efectuados por la fundación FielBus, que buscaba la creación y desarrollo de esquemas de comunicaciones universales y de arquitectura abierta. La cual desarrollo un nuevo protocolo de comunicación, para la medición y control de procesos donde todos los instrumentos pueden comunicarse en una misma plataforma[5].

Los Sistemas de Comunicación proporcionan el esqueleto, sobre él se articulan las estrategias de automatización. Son mecanismos de intercambio de datos distribuidos en una organización industrial. Donde podemos encontrar:

- Intercambio de datos on-line.
- Intercambio de datos eficientes y de bajo coste temporal y económico.

Los procesos de tiempo real requieren una acotación determinista máxima de sus tiempos de ejecución[6].

El objetivo primario del sistema de comunicación es el de proporcionar el intercambio de información (de control) entre dispositivos remotos. Este intercambio de información puede realizarse en base a distintas tecnologías:

- Comunicación punto a punto analógica.
- Comunicación punto a punto digital.
- Comunicación punto a punto híbrida.
- Comunicación digital con bus de campo.

Los buses de campo conectan actuadores, controladores, sensores y dispositivos similares en el nivel inferior de la estructura jerárquica de la automatización industrial. Una arquitectura de bus de campo es un sistema abierto de tiempo real.

Básicamente la jerarquía de las comunicaciones industriales se puede representar de forma abreviada con forma piramidal[7], como se muestra en la figura 1.1

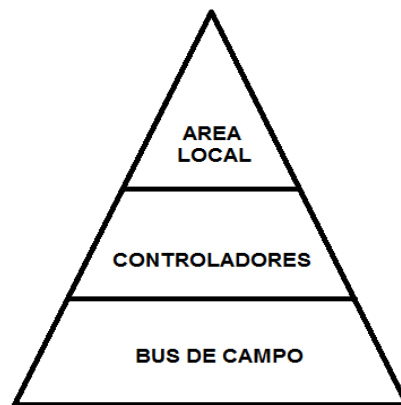


Figura 1.1 Forma jerárquica de las comunicaciones industriales.

En la cima nos encontramos con el nivel de información de la red o redes locales que dan las consignas de producción a las capas inferiores. En el centro se localiza el nivel de los controladores, donde operan diversos sistemas y se pueden encontrar sistemas de control especializados, autómatas programables, buses de instrumentación sobre ordenadores, sistemas de supervisión y SCADA.

Y en el nivel inferior se localiza el nivel de campo donde se localizan los actuadores, sensores y controladores del sistema, siendo el principal soporte de comunicación el bus de campo (fieldbus).

Como se puede apreciar los distintos niveles se comunican entre sí, aunque se implementen en cada nivel distintas soluciones de comunicación. Llevando a cabo esta labor de comunicación están los gateway o pasarelas. En el nivel superior el soporte de comunicación suelen ser redes de ordenadores formando una red local, en el mismo edificio, entre distintos edificios e incluso utilizando internet. 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 usado[8].

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. Provee conectividad de extremo a extremo especificando como los datos deberían ser formateados, direccionados, transmitidos, enrutados y recibidos por el destinatario[7].

Otro modelo a tener en cuenta en la investigación es el modelo de interconexión de sistemas abiertos, también llamado OSI (en inglés *open system interconnection*) es el modelo de red descriptivo creado por la Organización Internacional para la Estandarización en el año 1984. Es decir, es un marco de referencia para la definición de arquitecturas de interconexión de sistemas de comunicaciones. Se trata de una normativa estandarizada útil debido a la existencia de muchas tecnologías, fabricantes y compañías dentro del mundo de las comunicaciones, y al estar en continua expansión, se tuvo que crear un método para que todos pudieran entenderse de algún modo, incluso cuando las tecnologías no coincidieran. De este modo, no importa la localización geográfica o el lenguaje utilizado. Todo el mundo debe atenerse a unas normas mínimas para poder comunicarse entre sí. Esto es sobre todo importante cuando hablamos de la red de redes, es decir, Internet[7].

Además de los modelos existen en las comunicaciones industriales las interfaces físicas, las cuales se definen, como los medios utilizados para la conexión de un computador con el medio de transporte de la red. Esto puede ser un módem, una tarjeta de red, un puerto serie, enlace infrarrojo, una conexión inalámbrica, etc. Se

utiliza esta expresión para no referirse a ningún medio o tipo de conexión en concreto, así se refiere al dispositivo por el cual se accede a la red de forma genérica. [7].

Dentro de las interfaces físicas podemos encontrar:

- El conector RJ-45, comúnmente usada para conectar redes de cableado estructurado, donde suelen usarse 8 pines (4 pares).
- Y la interfaz RS-485, está definida como un sistema en bus de transmisión multipunto diferencial, es ideal para transmitir a altas velocidades sobre largas distancias. El medio físico de transmisión es un par entrelazado que admite hasta 32 estaciones en 1 solo hilo, con una longitud máxima de 1.200 metros operando entre 300 y 19.200 bps. La transmisión diferencial permite múltiples drivers dando la posibilidad de una configuración multipunto. Al tratarse de un estándar bastante abierto permite muchas y muy diferentes configuraciones y utilizaciones.

En la actualidad las redes de comunicación industriales están constantemente en desarrollo pero esto sería imposible sin el uso de los protocolos de comunicación.

1.3.1 Protocolos de comunicación industrial

En principio un protocolo de comunicación es un conjunto de reglas que permiten la transferencia e intercambio de datos entre los distintos dispositivos que conforman una red. Estos han tenido un proceso de evolución gradual a medida que la tecnología electrónica ha avanzado y muy en especial en lo que se refiere a los microprocesadores. El objetivo es establecer una conexión entre nodos, identificando el emisor y el receptor, asegurando que todos los mensajes se transfieran correctamente, controlando toda la transferencia de información [9].

Entre los protocolos más usados en la industria podemos encontrar al Protocolo Modbus el cual es un protocolo de comunicaciones, basado en la arquitectura maestro/esclavo o cliente/servidor, diseñado en 1979 por Modicon para su gama de controladores lógicos programables (PLCs). Convertido en un protocolo de

comunicaciones estándar de facto en la industria es el que goza de mayor disponibilidad para la conexión de dispositivos electrónicos industriales.

Otro protocolo a tener en cuenta en la industria es el Profibus, es un estándar de comunicaciones para bus de campo. Desde el punto de vista del control de las comunicaciones, es maestro esclavo, pero permite:

- Aplicaciones mono maestro. Un sólo maestro está activo en el bus, usualmente un PLC. Los demás dispositivos son esclavos. Este esquema es el que permite los ciclos de lectura más cortos.
- Aplicaciones multimaestro. Permite más de un maestro. Pueden ser aplicaciones de sistemas independientes, en que cada maestro tenga sus propios esclavos. U otro tipo de configuraciones con dispositivos de diagnóstico y otros.

A modo de conclusión se puede afirmar que las redes de comunicación industrial, permiten conocer todo lo referente a un proceso industrial a través de las variables fundamentales medidas por instrumentos instalados en campo, permitiendo a la gerencia saber cómo está funcionando su empresa. Además permite controlar a grandes distancia la planta.

1.4 Sistema SCADA

Visto las principales características de las redes de comunicación industrial estamos listos para profundizar en los sistemas SCADA, los cuales provienen 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[10].

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 nos 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). La mayor parte del control de la zona que nos interesa, es en realidad realizada automáticamente por una Unidad Terminal Remota (UTR), un Controlador Lógico Programable (PLC) y más actualmente por un Controlador de Automatización Programable (PAC).

Las funciones de control del servidor están casi siempre restringidas a reajustes básicos del sitio o capacidades de nivel de supervisión. Por ejemplo un PLC puede controlar el flujo de agua fría a través de un proceso, pero un sistema SCADA puede permitirle a un operador cambiar el punto de consigna de control para el flujo, y

permitirá grabar y mostrar cualquier condición de alarma como la pérdida de un flujo o una alta temperatura. La realimentación del lazo de control es cerrada a través del UTR o el PLC; el sistema SCADA monitoriza el desempeño general de dicho lazo. También puede mostrar gráficas con históricos, tablas con alarmas y eventos, permisos y accesos de los usuarios[10]. En la figura 1.2 se muestra un esquema básico de un sistema SCADA donde se observan sus principales componentes.

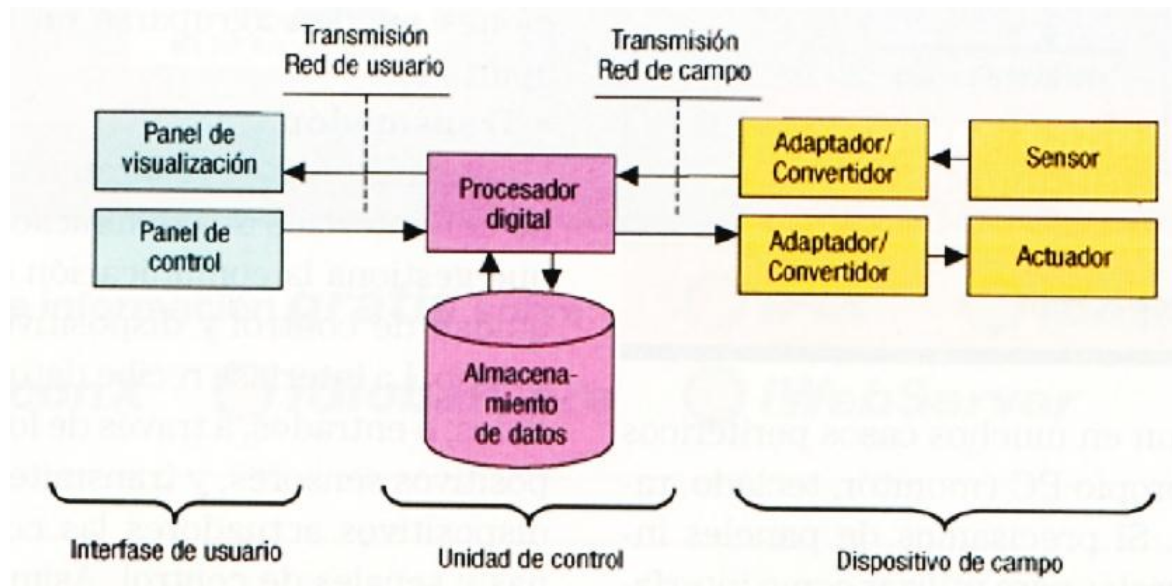


Figura 1.2 Esquema básico de un sistema de adquisición, supervisión y control.

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. También tienen que ser de utilización fácil.

Ofrecer las siguientes prestaciones[10]:

- 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 autómatas, 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 autómatas, 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[10]:

- 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 procesamiento 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.

Visto las principales prestaciones que ofrecen los sistemas SCADA podemos referirnos a las interfaces hombre- máquina.

1.4.1 Interfaz humano-máquina

Una interfaz Hombre - Máquina o HMI ("Human Machine Interface") es el aparato que presenta los datos a un operador (humano) y a través del cual éste controla el proceso.

Los sistemas HMI podemos pensarlos como una "ventana de un proceso". Esta ventana puede estar en dispositivos especiales como paneles de operador o en un ordenador. Los sistemas HMI en ordenadores se los conoce también como software (o aplicación) HMI o de monitorización y control de supervisión. Las señales del proceso son conducidas al HMI por medio de dispositivos como tarjetas de entrada/salida en el ordenador, PLC's (Controladores lógicos programables), PACs (Controlador de automatización programable), RTU (Unidades remotas de I/O) o

DRIVER's (Variadores de velocidad de motores). Todos estos dispositivos deben tener una comunicación que entienda el HMI.

La interacción entre las personas y los ordenadores en la actualidad se realiza principalmente a través de una interfaz gráfica de usuario, un tipo de interfaz de usuario, compuesto por metáforas gráficas inscritas en una superficie de contacto en adición de otros elementos “semánticos” como los icono sonidos (signos sonoros) o interfaces humanos (dispositivos de entrada) necesarios para posibilitar dicha interacción con los signos-objetos en la interfaz gráfica[11].

1.5 Software STEP 7

Luego de tener definido que son los sistemas SCADA y las interfaces HMI nos ubicaremos en el programa utilizado para la programación de los PLC con uno de los softwares más usado en la industria del niquel el Step 7.

El mismo es el programa de computación estándar para configurar y programar los sistemas de automatización SIMATIC. La interface de usuario del software ha sido diseñado siguiendo los criterios ergonómicos más avanzados, lo que permite conocer rápidamente sus funciones[12].

El Step 7 ofrece toda una serie de herramientas como se muestra en la figura 1.3.

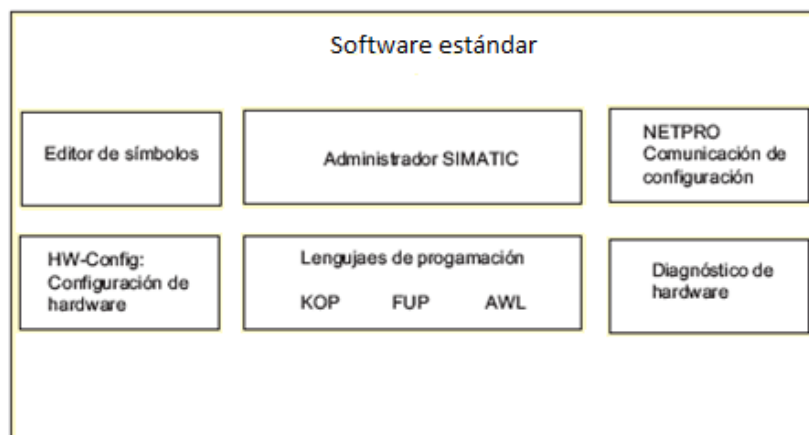


Figura 1.3 Herramientas del Step 7.

Las cuales no se deben llamar por separado, puesto que arrancan automáticamente al seleccionarse una determinada función o al abrirse un objeto[12].

El Administrador SIMATIC gestiona todos los datos pertenecientes al proyecto de automatización, independientemente de donde se encuentre el sistema de destino (S7/M7/C7). El arranca automáticamente las herramientas necesarias para tratar los datos seleccionados[13]. Ver Anexo 1.

Con el editor de símbolos se gestionan todas las variables globales. Se dispone de las siguientes funciones:

- Definir nombres simbólicos y comentarios para las señales del proceso (entradas y salidas), las marcas y los bloques,
- Funciones de ordenación,
- Importación/exportación de/hacia otros programas de Windows.

Todas las herramientas pueden acceder a la tabla de símbolos creada. Por consiguiente, detectan automáticamente si se ha modificado un parámetro de un símbolo. El diagnóstico del hardware permite visualizar el estado del sistema de automatización, mostrando una vista general en la que aparece un símbolo cuando alguno de los módulos presenta un fallo o no. Con un doble clic en el módulo averiado se visualizan información detallada sobre el error.

Los pasos a seguir para programar el autómatas en el Step 7 son los siguientes:

- Arrancar el programa Step-7 y crear el proyecto.
- Comprobar la comunicación con el PLC.
- Editar el programa.
- Cargar y ejecutar el programa en el PLC.
- Depurar el programa.

Examinado las principales herramientas del programa Step 7 podemos abordar en el software que utilizaremos para la creación del sistema SCADA el CitectSCADA.

1.6 Software CitectSCADA.

El software CitectSCADA que viene de las siglas de "Supervisory Control And Data Acquisition", es decir: adquisición de datos y control de supervisión. Se trata de una aplicación especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, RTU, autómatas programables (PLCs), etc.) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador. Además, provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como de otros supervisores dentro de la empresa: control de calidad, supervisión y mantenimiento[14].

En este software usualmente existe un ordenador, que efectúa tareas de supervisión y gestión de alarmas para su análisis y toma de decisiones en tiempo real sobre el proceso, así como tratamiento de datos y el control del proceso. La comunicación se realiza mediante buses especiales standard o redes LAN. Todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real, y están diseñados para dar al operador de planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos[15].

Dentro de las posibilidades y funcionalidades de este SCADA tenemos las siguientes:

- Visualización gráfica del proceso a través de la interface Hombre-Máquina.
- Gestión Avanzada de las alarmas en línea detallando el momento de activación, reconocimiento, desactivación y anulación de la misma.
- Registro e histórico de las tendencias de las variables en tiempo real.
- Generación de reportes estadísticos por hora, turno y día a voluntad del operador de control.
- Ejecutar acciones de control iniciadas por el operador, tales como abrir o cerrar válvulas, arrancar o parar bombas, etc.
- Alertar al operador de cambios detectados en la planta, tanto aquellos que no se consideren normales (alarmas) como lo que se produzcan en la operación diaria de la planta (eventos). Estos cambios son almacenados en el sistema para su posterior análisis.

- Posibilidad de asignar de animación de imágenes a objetos (cambio de color, visualizar, cambio de posición, rotación) en función de la variación de una determinada variable.
- Seguridad y Control de acceso al Sistema.
- Funciones de Servidor Web.

Posee además una arquitectura Cliente-Servidor donde cada tarea trabaja ya sea en la misma PC o en computadoras distribuidas en una red LAN como un módulo cliente y/o servidor bien diferenciado, desarrollando una función específica y enlazándose con otras tareas por medio de la relación cliente Servidor. Se compone también de varias herramientas de configuración y una sección de tiempo de ejecución[15].

Módulos de Citect SCADA:

- Servidor de Entrada/Salida (I/O Sever): Gestiona y optimiza las comunicaciones con los dispositivos de control conectados (PLC,DCS,RTU,etc) a través de un driver al bus de campo en cuestión.
- Servidor de Alarmas (Alarm Server): Gestiona y monitoriza todo tipo de condiciones de alarma en el sistema.
- Servidor de informes (Report Server): Controla, programa y ejecuta operaciones de información a través de informes o reportes.
- Servidor de Curvas de Tendencias (Trend Server): Recoge, registra y gestiona datos de las curvas de tendencias y los históricos.
- Visualización en Pantalla (Display Client): Gestiona la visualización en pantalla de los parámetros de los dispositivos, es la interfaz hombre maquina donde interconecta con otras tareas manteniendo la visualización actualizando los datos en pantalla y ejecutando comandos.

Los servidores se utilizan para gestionar la comunicación con los equipos de la planta y cotejar los datos de producción, mientras que los clientes proporcionan la interfaz para los operadores y gerentes para evaluar e interactuar con el sistema[16].

Esta arquitectura permite la flexibilidad para adaptarse a cualquier escenario de producción, con soporte para la escalabilidad, la agrupación de servidores, y la redundancia del sistema.

Todas estas tareas son independientes, realizando su propio procesamiento. Debido a esta exclusiva arquitectura se tiene control sobre las PC del sistema que realicen cada tarea. Por ejemplo, se puede asignar una PC para realizar las tareas de visualización, y de informes, mientras que el segundo PC realiza las tareas de visualización, E/S y Curvas de tendencias (Registros).

¿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 nos brinda la posibilidad de tener personal capacitado para la creación del sistema de medición de la Estación Experimental de Hidrotransporte del ISMMM.

1.7 Conclusiones del capítulo

En este capítulo se realizó:

- El estado del arte sobre los cambios realizados en la Estación Experimental de Hidrotransporte del ISMMM.
- Se definieron conceptos significativos relacionados con la investigación
- Y se presentaron las principales características de los programas que utilizaremos para la programación del PLC y la creación del sistema SCADA.

CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Introducción

En este capítulo se realiza una descripción de la Instalación Experimental de Hidrotransporte del ISMMM, donde se mencionan los sensores instalados y los elementos con que cuenta la misma. Se hace, una introducción a los Controladores Lógicos Programables Se explica cómo sería la comunicación con los instrumentos de medición. Y además se presentas una metodología para el cálculo del rendimiento en el accionamiento.

2.2 Descripción de la Instalación Experimental de Hidrotransporte del ISMMM.

La función fundamental de la instalación de hidrotransporte es su utilización para estudiar varios fluidos en movimiento a través de un sistema de red de tuberías y equipos conectados en paralelo, donde la línea de descarga independiente de la bomba va hacia una línea de transporte común.

La instalación está 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. Ver anexo 2.

La instalación consta de un tanque (TK1), para almacenar la pulpa a diferentes concentraciones de sólidos, un sedimentador acoplado a su árbol (S1) para homogenizar la mezcla, dos motores de inducción (M1) y (M2) una bomba centrífuga (B1) que forman el sistema de bombeo del fluido por toda la tubería pasando por un Flujómetro (FIT), ocho puntos de toma de presión desde (MN1) asta (MN8) y siete puntos de toma de temperatura desde (PT1) asta (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 0-5 mA, los cuales captan la presión, la transforman en energía eléctrica, y envían la señal para el autómata programable (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 2.1.

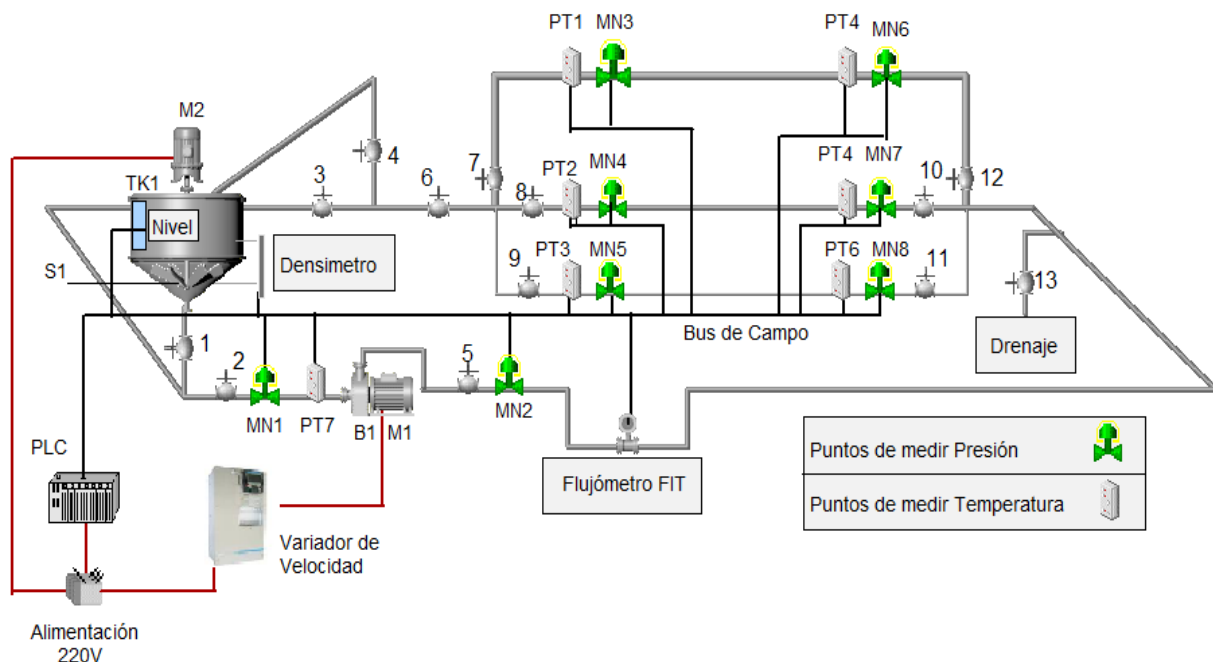


Figura 2.1 Esquema de la instalación de hidrotransporte.

2.3.1 Estructura técnica

La instalación cuenta con:

- Un tanque (TK1) con un volumen de 5.187 m³ en el que se deposita el material a transportar.
- Un motor reductor (M2), que es el que mueve el sedimentador.
- Una bomba centrífuga (B1) accionada por un motor de inducción (M1).
- Tuberías 75mm, 100 mm, y 150 mm de diámetro.
- Válvulas.
- Puntos de medición de presión, temperatura y un punto para medir el caudal.
- Breaker trifásico.

2.3.2 Elementos eléctricos de la instalación experimental

El accionamiento eléctrico tiene los siguientes elementos principales:

- Motor de inducción trifásica (M1). Datos de chapa (220 V, 60 Hz, 1769 rpm, 55 kW).
- Motor agitador (M2).
- Variador de velocidad Altivar 71 37N4.
- Autómata programable (PLC) S7-300.
- PQM II.
- Nport.

2.3.3 Sensores que presenta la instalación.

La instalación está equipada con los siguientes sensores:

- Sensor de presión (SITRANS P)

Este transmisor capta la variable de proceso, la transforma en eléctrica y la transmiten en corriente a un PLC. Tiene una precisión de 0.2 % del alcance de medida[17]. Ver anexo 3.

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

La medición de la misma está basada en la propiedad que poseen todos los conductores de variar su resistencia en función de la temperatura. La resistencia eléctrica aumenta con el crecimiento de la temperatura y entonces hablamos de coeficiente de temperatura positivo PTC (Positive Temperature Coeficient), esto por ejemplo con las Termorresistencia de platino[18]. Ver anexo 3.

➤ Flujómetro Electromagnético

Es un dispositivo electrónico de uso universal, de muy baja mantención y alta precisión que se basa en la Ley de Faraday para medir caudal. Tiene una exactitud de 0.2 %, grado de la protección IP 65, consumo de energía 0.65 W[19]. Ver anexo 3.

➤ Densímetro DT 301 (Density Transmitter)

Con una exactitud de ± 0.1 %. Este transmisor es un instrumento desarrollado para la medición continua, en una línea de concentración líquida y densidad, directamente en el proceso industrial. Está diseñado para las aplicaciones de mando de proceso, los transmisores generan una señal de 4-20 mA proporcional a la concentración de la densidad[20]. Ver anexo 3.

➤ Medidor de nivel BM 700 (Level-Radar)

Sirve exclusivamente para la medición del nivel, de la distancia, del volumen y para la medición por reflexión de líquidos, pastas, lodos, mercancías a granel y cuerpos sólidos. El instrumento tiene una exactitud de ± 0.05 %, con clase de protección IP 67[21]. Ver anexo 3.

Luego de ver visto las principales características del accionamiento podemos introducirnos en el uso de los variadores de velocidad.

2.3.4 Variadores de velocidad en las bombas centrífugas.

Después de los motores eléctricos, las bombas son una de las máquinas más utilizadas en el mundo. Esto significa que una combinación de motor y bomba

constituyen áreas importantes, en que el uso de la energía puede hacerse más eficientes. Un área que brinda grandes oportunidades de ahorro es en los casos en que se controla el flujo de un líquido por métodos de estrangulamiento (válvulas o compuertas) y se sustituye por métodos en que se varía la velocidad del motor que acciona la bomba. El método más eficaz y eficiente para la variación de velocidad es hoy en día el uso de variadores de frecuencia aplicados a los motores asincrónicos, principalmente aquellos que emplean el principio de control por modulación del ancho de pulso (PWM).

Con el estrangulamiento, la reducción de flujo se obtiene al precio de un incremento en las pérdidas, mientras que con el control por velocidad variable resulta posible ajustar las características de la bomba sin apenas incrementar las pérdidas; y los requerimientos de potencia son radicalmente reducidos según la velocidad disminuye[22]. Ver anexo 5.

2.4.1 Método de control por frecuencia

El método se fundamenta en que la velocidad sincrónica del campo magnético rotatorio de un motor asincrónico puede ser controlada por medio de la variación de la frecuencia de la línea[23], ya que:

$$n_s = 120f / P \quad (2.1)$$

Dónde:

n_s : Velocidad sincrónica, (*rpm*).

f : Frecuencia de la línea, (*Hz*).

P : Número de polos.

Pero a fin de mantener la densidad de flujo aproximadamente constante y que no haya afectaciones en el momento que desarrolla el motor, la tensión de línea debe variarse también proporcionalmente a la frecuencia, es decir, U_L / f debe ser aproximadamente constante.

A veces es aconsejable una desviación con respecto a esta regla en los casos en que el momento de la carga disminuya marcadamente con la reducción de la velocidad, por ejemplo, en los accionamientos de cargas centrífugas, como bombas y ventiladores. En este caso, al disminuir la tensión en mayor proporción que la frecuencia, se produce una reducción del flujo y mejoran los indicadores energéticos del motor, al mismo tiempo que la disminución del momento máximo no es peligrosa desde el punto de vista de la capacidad de sobrecarga.

En adición a su función de regular la velocidad, los convertidores de frecuencia actuales ofrecen otras características ventajosas. Una nueva generación de accionamientos de velocidad variable, que permite que los motores asíncronos sean tan controlables y eficientes como sus contrapartes de corriente directa, ha evolucionado rápidamente con los avances de la electrónica del estado sólido y sin los grandes costos que anteriormente implicaba. Los nuevos sistemas de accionamiento, como los que emplean control por modulación del ancho del pulso (PWM), permiten lograr la regulación de la velocidad con una alta eficacia y eficiencia[22]. Visto las principales características de la Instalación Experimental de Hidrotransporte del ISMMM podemos adentrarnos en el mundo de los Controladores Lógicos Programable (PLC).

2.2 Introducción a los Controladores Lógicos Programables

Para introducirnos en el mundo del PLC (programmable logic Controller) o Controlador Lógico Programable, se puede comenzar tratando de entender que hace un PLC en lugar de entender que es.

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[24].

2.2.1 Arquitectura de un PLC

Teniendo una idea de lo que son los PLC podemos explicar 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[24].

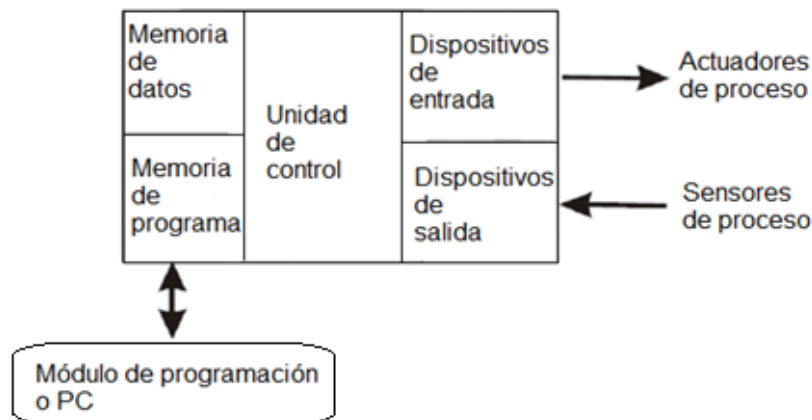


Figura 2.2 Arquitectura de un PLC.

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[24].

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[24].

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 podemos introducirnos en la programación de los mismos.

2.2.2 Forma de programar el 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[12].

Entre los lenguajes y métodos gráficos para programas los PLC podemos encontrar:

- 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[24]. Ver anexo 4.

- 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[24]. Ver anexo 4.

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.

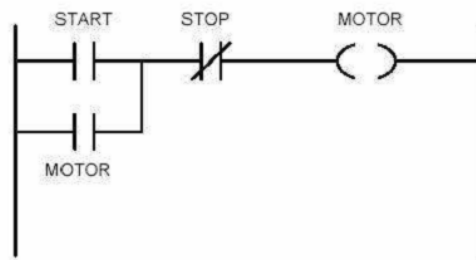


Figura 2.2 Diagrama escalera para el arranque de un motor.

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[24].

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[12].

Vistas las principales características de los Controladores Lógicos programable podemos continuar con el sistema de comunicación de la Estación Experimental de Hidrotransporte del ISMMM.

2.5 Comunicación con la instalación

Para el logro de la comunicación entre el sistema de medición de la Instalación Experimental de hidrotransporte con la red del ISMMM se utilizó un cable comercial para productos y servicios de telecomunicaciones (UTP), utilizando el Conectores RJ-45 desde el laboratorio de computación de las carreras de eléctrica y ciencia de la información hasta la instalación, el cual se conectó a un Switch, para la interconexión del autómatas programable y un PQMII el cual utilizara un Nport para la cambiar de protocolo de RJ-45 a RS-485 en la figura 2.3 se muestra un esquema para la mejor comprensión del sistema de comunicación.

El Conmutador o Switch es un dispositivo digital de lógica de interconexión de redes de computadores que opera en la capa de enlace de datos del modelo OSI. Su función es interconectar dos o más segmentos de red, de manera similar a los puentes de red, pasando datos de un segmento a otro de acuerdo con la dirección MAC de destino de las tramas en la red. Los conmutadores se utilizan cuando se desea conectar múltiples redes, fusionándolas en una sola. Al igual que los puentes,

dado que funcionan como un filtro en la red, mejoran el rendimiento y la seguridad de las redes de área local[25].

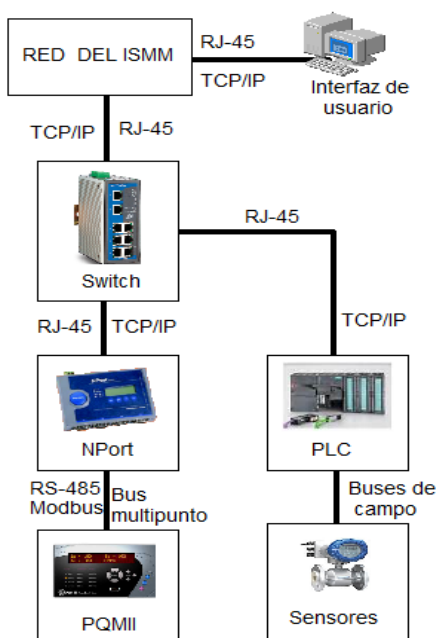


Figura 2.3 Esquema del sistema de comunicación del accionamiento.

El NPort es un dispositivo que permite la comunicación de una computadora con distintos equipos de medición, monitoreo y control. Son Servidores de dispositivos, que permiten el funcionamiento en red de los dispositivos RS-232/422/485 tradicionales. Un servidor de dispositivo es un pequeño ordenador equipado con una CPU, sistema operativo en tiempo real, y los protocolos TCP/IP que puede bidireccionalmente traducir los datos entre los formatos de serie y Ethernet. Su ordenador puede acceso, administrar y configurar las instalaciones y equipos remotos a través de Internet desde cualquier lugar el mundo[26].

El NPort a utilizar pertenece a la serie 5430 de Moxa, La cual proporciona una manera conveniente y transparente de conectar dispositivos en serie a una red Ethernet. Protege la inversión de hardware, garantiza la futura capacidad de expansión de la red. Puede transmitir datos de forma bidireccional entre las interfaces serie y Ethernet.

Para la utilización del mismo se conectara un extremo del cable Ethernet al puerto Ethernet de 10/100M del NPort 5430 y el otro extremo del cable al Switch, si el cable está conectado correctamente, se indicará una conexión válida a la red Ethernet en las siguientes maneras: el LED que indica la conexión a Ethernet en el panel superior, mantiene un color verde fijo cuando está conectado a una red a 100 Mbps, un color sólido amarillo cuando está conectado a una red de 10 Mbps y parpadeará cuando los paquetes Ethernet se están transmitiendo o recibiendo. Ver anexo 2.

Teniendo una idea como es el proceso de comunicación con la instalación estamos listos para explicar el sistema de comunicación con equipos a utilizar (PLC y PQMII).

2.5.1 Comunicación con el PQMII

El PQMII (Power Wallity Meter) es conocido como analizador de redes, es medidor de calidad de energía, es una opción ideal para el monitoreo continuo de un sistema trifásico o monofásico. Proporciona mediciones de corriente, tensión, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, el uso de energía, costo de la energía, factor de potencia y frecuencia. Cuenta con puntos de ajuste programables y cuatro relés de salida asignables que permiten funciones de control añadido para aplicaciones específicas. Esto incluye alarmas básicas en sobre o baja corriente y tensión, desequilibrio, pérdida de carga basado en la demanda, y el control de corrección de factor de potencia del condensador[27].

Como es un dispositivo de recogida de datos para los sistemas de automatización de plantas que integran el proceso, instrumento y requisitos eléctricos, todos los valores monitorizados están disponibles a través de uno de los dos Puertos de comunicación RS-485 que ejecutan el protocolo Modbus. Si se requieren valores analógicos para la interfaz directa a un PLC, cualquiera de los valores monitorizados puede dar salida desde 4 a 20 mA.

Y un tercer puerto de comunicación, RS232 que se conecta a un PC desde el panel frontal para el acceso simultáneo de información por parte de otros miembros del personal. La interfaz eléctrica RS485 de 2 hilos, el flujo de datos es bidireccional y semidúplex. Es decir, los datos nunca se transmiten y se recibe en el mismo tiempo.

Para la conexión con el Nport se utilizaron los terminales 46,47 y 48 como se muestra en la figura 2.4,[27].

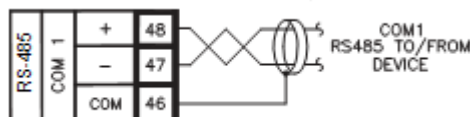


Figura 2.4 Pines de conexión del PQMII.

Los cuales se conectaran al terminal del Nport como se muestran en la figura 2.5.

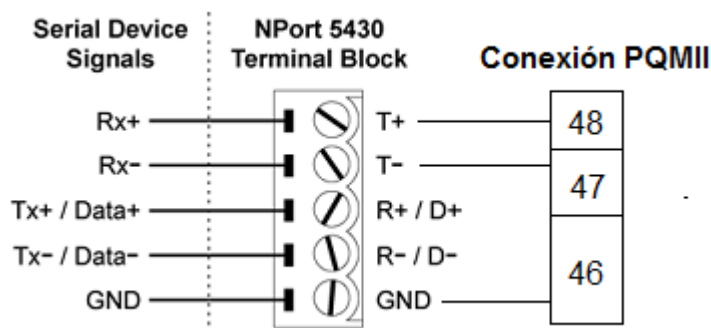


Figura 2.5 Conexionado del Nport con el PQMII

En la tabla 2.1 se muestra el mapa de memoria del PQMII de las variables necesarias para el cálculo de la potencia demandada por el motor. Estas variables serán leídas a través de nuestro sistema SCADA[27].

Tabla 2.1 Mapa de memoria del PQMII.

Item	tags	Dirección	Descripción	Rango
15	PQMII-Vab	40650	Tensión entre las línea AB	
16	PQMII-Vbc	40652	Tensión entre las línea BC	
17	PQMII-Vca	40654	Tensión entre las línea CA	
18	PQMII-Iab	40577	Corriente entre las línea AB	
19	PQMII-Ibc	40578	Corriente entre las línea BC	
20	PQMII-Ica	40579	Corriente entre las línea CA	
21	PQMII-RealP	40754	Potencia trifásica demandad	
22	PQMII-PF	40759	Factor de potencia	

Los datos almacenados en la PQMII se agrupan por los puntos de ajuste y los valores reales. Los puntos de ajuste puede ser leído y escrito por un equipo maestro; valores reales son de sólo lectura. Todos los puntos de ajuste y los valores reales se almacenan como valores de dos bytes; es decir, cada registro de dirección es la dirección de un valor de dos bytes[27].

2.5.2 Comunicación con el PLC

El PLC, al ser un elemento destinado a la Automatización y Control y teniendo como objetivos principales el aumento de la productividad y la disminución de los tiempos ciclos, no puede o mejor dicho no es un simple ejecutador 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. Por lo tanto necesitamos comunicar al PLC a la red del ISMMM para obtener los datos de los dispositivos de campo.

El autómatas presente en el accionamiento pertenece a la familia S7-300 de Siemens, el cual presenta una CPU317-2 PN/DP la cual 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 TCP/IP lo cual utilizaremos para la comunicación con el mismo.

Tabla 2.2 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
--------------------------	--

Visto como sería el proceso de comunicación entre los diferentes dispositivos que presenta la Estación Experimental de Hidrotransporte del ISMMM estamos listos para desarrollar una metodología para el cálculo del rendimiento.

2.6 Metodología para el cálculo del rendimiento del accionamiento.

Para el cálculo del rendimiento del accionamiento se puede comenzar planteando que, el mismo se define como la razón entre la potencia de salida y la potencia de entrada. Se expresa en porciento y se calcula de la siguiente manera[28]:

$$\eta_A = \frac{P_3}{P_1} \cdot 100 \quad (2.2)$$

Dónde:

η_A : Rendimiento del accionamiento, (%).

P_1 : Potencia a la entrada del motor, (kW).

P_3 : Potencia hidráulica agregada por la bomba al fluido, (kW).

En la figura 2.6 se muestra una bomba horizontal igual a la usada en la Estación Experimental de Hidrotransporte del ISMMM.

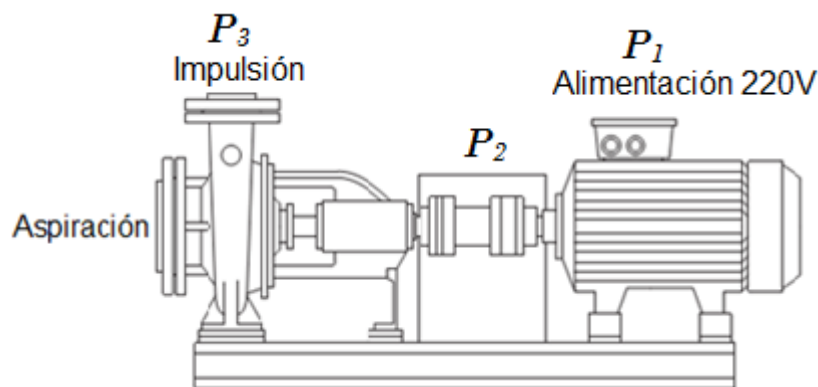


Figura 2.6 Bomba Horizontal.

Las pérdidas correspondientes a la instalación, que afectan el rendimiento de la misma se pueden dividir en dos las ocasionadas por la bomba y las ocasionadas por el motor[29].

➤ Pérdidas ocasionadas por el motor:

Un motor eléctrico es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas.

- Pérdidas eléctricas (pérdidas por efecto Joule).

Son proporcionales al cuadrado de la corriente que circula por las bobinas y se incrementan rápidamente con la carga del motor. Aparecen como consecuencia de la resistencia eléctrica de los bobinados del estator y de las barras conductoras del rotor.

- Pérdidas magnéticas.

Se producen en los núcleos de chapa magnética del estator y del rotor, debidas al ciclo de histéresis. Dependen básicamente de la frecuencia y de la inducción, por lo que prácticamente son independientes del índice de carga.

- Pérdidas mecánicas.

Son debidas a la fricción entre rodamientos y a las pérdidas por resistencia del aire al giro del ventilador y otros elementos rotativos del motor. Dependen de la velocidad, por lo que en el motor de inducción alimentado desde la red se consideran prácticamente constantes.

- Pérdidas adicionales en carga.

Estas pérdidas están relacionadas con la carga y generalmente se supone que varían con el cuadrado del par de salida. La naturaleza de estas pérdidas es muy compleja influyendo, entre otros, el diseño del devanado, la relación entre la magnitud del entrehierro y la abertura de las ranuras, la relación entre el número de ranuras del

estator y del rotor, la inducción en el entrehierro; las condiciones de superficie del rotor, el tipo de contacto superficial entre las barras y las laminaciones del rotor.

➤ Pérdidas ocasionadas por la bomba:

Una bomba no convierte completamente la energía cinética a energía de presión. Alguna energía es siempre perdida interna y externamente en la bomba[30].

- Pérdidas internas

Dentro de las mismas podemos encontrar, pérdidas hidráulicas provocadas por la fricción del disco en el impulsor, pérdidas debidas al rápido cambio en dirección y velocidades a través de la bomba y las pérdidas volumétricas debido a la recirculación interna en anillas y cojinetes desgastados.

- Pérdidas externas

Donde están las pérdidas mecánicas por fricción en sellos y rodamientos.

Por lo que el rendimiento también se puede calcular mediante la ecuación siguiente (2.3).

$$\eta_A = \frac{P_1 - \sum p}{P_1} \quad (2.3)$$

Dónde:

$\sum p$: Sumatoria de todas las pérdidas del accionamiento.

Para determinar la potencia hidráulica agregada por la bomba al fluido y la potencia que demanda el motor eléctrico seguiremos de la siguiente manera.

2.6.1 Potencia y rendimiento del motor.

La bomba de la instalación experimental del ISMM es movida por un motor trifásico. La potencia eléctrica que consume dicho motor es el producto del voltaje, la intensidad de corriente y el factor de potencia. La Ecuación [2.4] expresa la potencia que consume el motor trifásico.

$$P_1 = \sqrt{3}U_L I_L \cos \varphi \quad (2.4)$$

Si deseamos además conocer el rendimiento del motor lo podemos calcular por medio de la ecuación:

$$\eta_M = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 \quad (2.5)$$

Dónde:

U_L : Tensión o voltaje en los terminales del motor, (V).

I_L : Corriente en los terminales del motor, (A).

$\cos \varphi$: Factor de Potencia.

P_2 : Potencia demandada por la bomba o la entregada por el motor, (kW).

η_M : Eficiencia del motor eléctrico, (%).

Visto la expresión para determinar la potencia en la entrada del motor estamos listos para encontrar la potencia de la bomba.

2.6.2 Potencia y rendimiento en la bomba

Una bomba centrífuga es un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio llamado rodete en energía cinética y potencial requeridas. El fluido entra por el centro del rodete, que dispone de unos álabes para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba, que por el contorno su forma lo conduce hacia las tubuladuras de salida o hacia el siguiente rodete.

Teniendo la información de los datos de placa de la bomba, se deben consultar los catálogos o información técnica del fabricante para obtener las curvas características de la bomba centrífuga; dichas curvas son aquellas que relacionan las variables que intervienen en el funcionamiento de la misma. Ver anexo 5.

Las curvas características de las bombas presentan datos similares independientemente del fabricante y en general incluyen:

- La curva de carga vs. caudal (trazada para diferentes diámetros de impulsor y a velocidad constante).
- La curva de NPSH vs caudal.
- La curva de eficiencia vs caudal (o curvas de isoeficiencia).
- La curva de potencia vs caudal.

En caso de no contar con la información técnica del fabricante de la bomba que se desea evaluar, se podrán utilizar curvas de referencia que contengan características similares de la bomba, es decir: diámetro y tipo de impulsor, velocidad, tamaño, etc.[31].

Para determinar la eficiencia de la bomba se puede utilizar la curva de isoeficiencia de un sistema de bombeo que se traza en función del caudal a una velocidad de giro constante. La eficiencia de una bomba es la relación entre la potencia hidráulica agregada por la bomba al fluido y la potencia eléctrica consumida por el motor. El valor de la eficiencia es cero cuando el caudal es cero. A medida que el caudal aumenta, la eficiencia aumenta hasta un valor máximo, denominado punto de máximo rendimiento. A partir de este punto, cuando aumenta el caudal, la eficiencia disminuye.

La ecuación [2.6] es la expresión matemática que se utiliza para calcular el rendimiento de una bomba, de la cual podemos despejar la potencia demandada por la bomba o la entregada por el motor [32].

$$\eta_b = \frac{P_3}{P_2} \cdot 100 \quad (2.6)$$

Dónde:

η_b : Eficiencia de la bomba, (%).

La Potencia hidráulica entregada por la bomba, es el producto del peso específico del fluido, el caudal entregado por la bomba y la altura total desarrollada por la bomba.

$$P_3 = \gamma \cdot Q \cdot H_A \quad (2.7)$$

La altura desarrollada por la bomba H_A se puede determinar mediante la expresión siguiente:

$$H_A = \frac{P_s - P_e}{\gamma} \quad (2.8)$$

Y el peso específico del fluido es la relación entre la gravedad y la densidad de la pulpa:

$$\gamma = g \cdot \rho \quad (2.9)$$

Sustituyendo en la ecuación (2.7) la expresión de la altura desarrollada por la bomba (H_A) la misma quedaría como se muestra en la ecuación (2.10).

$$P_3 = Q \cdot (P_s - P_e) \quad (2.10)$$

Dónde:

γ : Peso específico del fluido, (N / m^3) .

Q : Caudal Volumétrico, (m^3 / s) .

H_A : Altura total entregada por la bomba, (mca) .

P_s : Presión a la salida de la Bomba, (kPa) .

P_e : Presión a la entrada de la Bomba, (kPa) .

g : Aceleración de la gravedad, (m / s^2) .

ρ : Densidad del fluido, (kg / m^3) .

Teniendo la potencia de la bomba y el motor estamos listos para determinar el rendimiento del accionamiento.

2.6.3 Rendimiento de la instalación

Conociendo los datos de caudal, altura y el peso específico del fluido se puede determinar la potencia hidráulica agregada por la bomba al fluido si además tenemos la curva de isoeficiencia, podemos determinar el rendimiento de la bomba. Teniendo también la potencia que demanda el motor por medio de la ecuación [2.2] determinaremos el rendimiento del accionamiento.

Los datos necesarios para determinar el rendimiento en el sistema de bombeo de la Estación Experimental de Hidrotransporte del ISMMM se recogerán a través del sistema SCADA, como se observa en la figura 2.7.

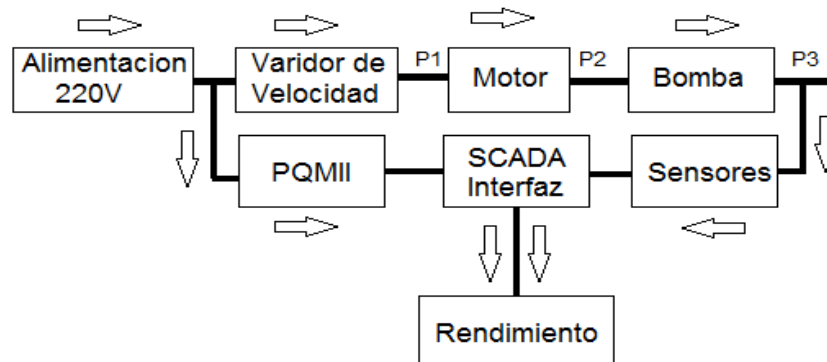


Figura 2.7 Flujo de Potencia en el accionamiento.

Existen otras formas de determinar el rendimiento de la instalación a partir de determinar el rendimiento del motor eléctrico y la potencia a la entrada del motor.

2.7 Conclusiones del capítulo

- En este capítulo se realizó una descripción de la Instalación Experimental de Hidrotransporte del ISMMM y como sería el proceso de comunicación con la misma.
- Se realizó además una metodología para el cálculo del rendimiento del accionamiento con bomba centrífuga.

CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1 Introducción

En este capítulo se plantea como se le incorporo la programación al PLC. Se describe la creación del sistema SCADA, las variables a emplear para la instauración de las pantallas, así como la configuración de los servidores de entrada y salida. Y se analiza los resultados obtenidos además de realizar la valoración técnico- económica.

3.2 Programar el PLC en Simatic Step 7.

Al realizarse la comunicación con el Controlador Lógico Programable se le introdujo la programación que será utilizada para la adquisición de las señales de los dispositivos de campo, la misma fue creada por los programadores de la Empresa del Níquel Comandante Ernesto Che Guevara según la exigencia de los investigadores del centro que trabajan en la Estación Experimental de hidrotransporte del ISMMM y los sensores presentes en la misma.

La cual se le hizo llegar a través del programa Step 7 y será almacenada en la Memory Card del PLC. Teniendo el autómatas ya programado, pasaremos a la creación del sistema SCADA.

3.3 Configuración del CitectSCADA.

Para la creación del sistema SCADA en el Citect, se comenzo con la recopilación de todas las variables a tener en cuenta de acuerdo a los equipos instalados en la instalación de hidrotransporte para su visualización en las pantallas y el uso posterior de las mismas para investigaciones que se realizan en los sistemas de bombeo. Ver tabla 3.1

Tabla 3.1 Variables utilizadas en el SCADA de acuerdo a los equipos instalados.

Variables	Cantidad	Equipo
Preción	4	Sensor de presión
Temperatura	3	Termorresistencia

Caudal	1	Flujómetro electromagnético
Densidad	1	Densímetro DT 301
Nivel	1	Medidor de nivel
Tensión	3	PQMII
Corriente	3	PQMII
Factor de Potencia	1	PQMII
Potencia Real	1	PQMII

Teniendo las variables a utilizar identificadas se comenzo con la creacion del proyecto en el Citect. Ver anexo 6.

Luego de de la creación del proyecto configuramos los Clusters o Grupos, los cuales definen los procesos del servidor (comunicaciones , registro de datos, alarmas, etc), se ejecutan, y cómo diferentes procesos interactúan entre sí. En cada sistema del CitectSCADA debe haber por lo menos un grupo definido, con direcciones de red relacionadas y las funciones de servidor también definidas.

Grupo [TESIS]

Nombre del Grupo: ClusterB

Comentario: Quickstar Tesis|Cluster

Agregar Reemplazar Eliminar Ayuda

Campo: 1

Figura 3.1 Campo donde se crean los Clusters.

Direcciones de la Red [TESIS]

Nombre: Address

Dirección: 10.28.4.22

Comentario: Quickstar loopback TCP/IP address

Agregar Reemplazar Eliminar Ayuda

Campo: 1

Figura 3.2 Campo donde se le introduce la ubicación en la red.

Ahora asignamos el Cluster y la dirección de red a las diversas funciones de servidor que se requieren en este sistema Scada. Esto incluye Servidor de E/S, Alarmas, Tendencias y Servidor de Reportes. Esto le permite al CitectSCADA ejecutarse como un sistema pequeño e independiente. Ver anexo 6.

3.3.1 Configuración de los dispositivos de Entrada / Salida.

Al completar la configuración del servidor pasamos para la configuración de los dispositivos de entrada /salida. Antes de la puesta en marcha de cualquier sistema, se debe probar todas las comunicaciones entre CitectSCADA y estos dispositivos. Muchas personas dejan esto de último, sólo para descubrir problemas de comunicación que no pueden resolver.

El CitectSCADA puede comunicarse con cualquier sistema de control o monitoreo, con dispositivos de entrada/salida de datos, que tengan un puerto de comunicación o la interfaz de intercambio de datos, incluyendo los PLC (Controlador Lógico Programable), controladores de lazo, lectores de códigos de barras, analizadores de red, Unidad Terminal Remota (RTU), y sistemas de control distribuido (DCS).

Las comunicaciones del CitectSCADA típico constan de cuatro partes esenciales:

- Un Servidor CitectSCADA de E / S.
- Un dispositivo de E / S de destino.
- Un medio físico para transportar mensajes entre ellos (transporte).
- Los mensajes intercambiados entre ellos (protocolo).

Estos componentes trabajan al unísono para exponer las entradas y salidas del dispositivo a un sistema CitectSCADA.

El medio de transporte no tiene que ser un cable directo, puede ser cualquier medio de llevar el mensaje, como un enlace inalámbrico de alta velocidad o una red FDDI. Del mismo modo, el mensaje específico del protocolo podría ser un mensaje ASCII simple o un mensaje basado en objetos complejos tales como DNP 3. Lo importante a destacar es que los ingenieros son libres para montar diferentes combinaciones de E / S, transportes y protocolos.

Para verificar que CitectSCADA está en línea con el dispositivos E / S (PLC y PQMII), crearemos un proyecto de prueba. El proyecto de prueba será lo más simple posible. En nuestro caso que nos comunicaremos con más de un equipo con diferentes protocolos, el proyecto de prueba se comunicara con un elemento a la vez. Una vez que estemos seguros de que cada elemento individual funciona correctamente, comenzaremos a sumarlos. Una vez realizado el proyecto de prueba se utiliza el Asistente rápido de Comunicaciones para establecer comunicaciones con los dispositivos E/S.

Sobre la base de los equipos a utilizar, el Asistente rápido de Comunicación establece los valores por defecto y una configuración adaptada a las necesidades de comunicaciones de los dispositivos de E/S. Para acceder al mismo se realiza las operaciones siguientes. Se abre el editor de proyectos, elegimos comunicación, asistente rápido y completamos los campos.

Le pedirá que seleccione un servidor de E/S, se elige un nombre, e indica el tipo de dispositivo de E/S (externo, memoria, disco). El modelo y método de comunicaciones para dicho dispositivo. Si va a conectar mecanismos externos en su ordenador le puede pedir que designe direcciones y puerto de comunicaciones. Después de completar la configuración, la página le resume la configuración del dispositivo de E/S. Y se da clic en finalizar para guardar la configuración, o haga clic en, atrás para cambiar una selección previa. Ver anexo 6.

3.3.2 Configuración de Tags de Variables

Los Tags (Etiquetas) son un bloque de construcción básico para un proyecto CitectSCADA. Las Etiquetas proporcionan el enlace entre el operador y el mundo real. Crearemos tres etiquetas para representar el funcionamiento del sistema de bombeo, una etiqueta de estado de Marcha / Parado, una etiqueta de control Auto / Manual y una etiqueta de control de la velocidad. Ver tabla 3.2.

Tabla 3.2 De control en el sistema de bombeo.

Item	Tag	Descripción	Rango
1	Pump_Run	Arranque del sistema de medición	-
2	Pump_Mode	Control de la instalación Auto/Manual	-
3	Pump_Speed	Control de la velocidad del motor	0-1800 rpm

Para determinar la eficiencia del sistema de bombeo y otros parámetros utilizados por los investigadores del ISMMM, en el transporte de fluidos, crearemos otros grupos de etiquetas como se muestran en la tabla 3.3 a las cuales se le sumaran las etiquetas medidas por el PQMII las cuales se pueden observar en la tabla 2.1.

Tabla 3.3 Etiquetas visualizadas en el SCADA.

Item	Tag	Descripción	Rango
4	PSB	Presión de succión de la bomba	0-100 kPa
5	TSB	Temperatura de succión de la bomba	0-100 °C
6	PIB	Presión de impulsión de la bomba	0-100 kPa
7	P1L	Presión 1 de la línea	0-100 kPa
8	P2L	Presión 2 de la línea	0-100 kPa
9	F1	Caudal	0-150 m ³ /h
10	TLIBo	Temperatura línea de impulsión	0-100 °C
11	T1L	Temperatura 1 de la línea	0-100 °C
12	T2L	Temperatura 2 de la línea	0-100 °C
13	CNT	Nivel del tanque	0-200 cm
14	DM	Densidad del material	2500 g/cm ³

Luego de tener las etiquetas bien definidas, las introducimos en el CitectSCADA a través del editor de proyecto. El editor de proyectos es principalmente para la edición información del tipo de base de datos. Las variables tienen un registro para cada etiqueta que defina. Cada etiqueta tiene varios campos. (Nombre de la etiqueta

variable, tipo de datos, direcciones, etc.) Se puede ver el número de registro indicado en la parte inferior izquierda del cuadro de diálogo. Ver figura 3.5.

Debe asignar una etiqueta de variable a cada dispositivo de E/S. Un elemento del equipo que se comunica con el control de la planta o los equipos de vigilancia (sensores, controladores, y así sucesivamente). Los dispositivos de E/S más comunes son los PLC (controladores lógicos programables); sin embargo, es compatible con una amplia gama de dispositivos de E/S, incluyendo controladores de lazo, lectores de códigos de barras, analizadores de científicos, unidades terminales remotas (RTU), y sistemas de control distribuido (DCS). Puede comunicarse con cualquier dispositivo de E/S que tiene un canal de comunicaciones estándar o autopista de datos. Variable que CitectSCADA utiliza en su sistema de ejecución. Para definir sus etiquetas de variable, se declaran en la etiqueta base de datos variable. La etiqueta de la variable se convierte en una etiqueta, que se utiliza para hacer referencia a la dirección del registro del dispositivos de E/S. Ver anexo 6.

El uso de etiquetas tiene varios beneficios:

- Usted no tiene que recordar la dirección cada vez que quiera utilizar la variable. Se utiliza el nombre de la etiqueta, que debe ser lógica y descriptiva, y por lo tanto menos confuso.
- La dirección en el dispositivo de E/S se define una sola vez. Si cambia la dirección, sólo es necesario actualizar la definición de la etiqueta variables, no todos los casos en su configuración.
- Puede escalar los datos en bruto a un rango apropiado en la misma declaración.

Figura 3.5 Campos a llenar en el editor de proyecto para las variables del SCADA.

3.4 Creación de las pantallas del SCADA.

Ya teniendo las etiquetas variables ya creadas estamos listos para el diseño de las paginas graficas del sistema SCADA.

Existen diferentes plantillas predefinidas. Para el proyecto tomaremos una de la más sencilla. Ver figura 3.6.

Figura 3.6 Creación de la plantillas del SCADA.

Una vez creada la pantalla el siguiente paso es ir dotándola de objetos gráficos. Lo cual se logra a través de la existencia de una barra de herramientas con todos los objetos disponibles. Ver figura 3.7.

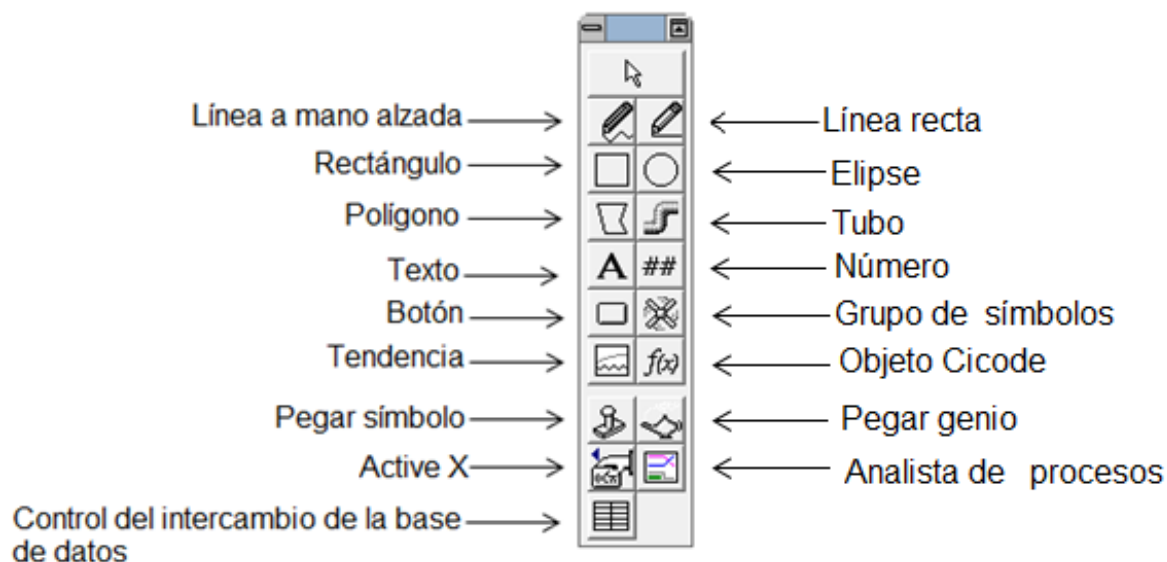


Figura 3.7 Barra de herramientas

Visto esto pasamos a la creación de las pantallas de nuestro sistema SCADA en el Citect como se muestra en la figura 3.8 la cual representa la pantalla fundamental del accionamiento, en la misma se puede obtener la información de los diferentes sensores y regular la regulación de la velocidad del motor.

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, tuvimos que crear una tabla donde nos mostrara la información recogida debido a la carencia de sensores (presión y temperatura) y para crear un conjunto de señalizadores con botones para que nos indicara donde se estaban realizando las mediciones como se visualiza en la figura 3.8.

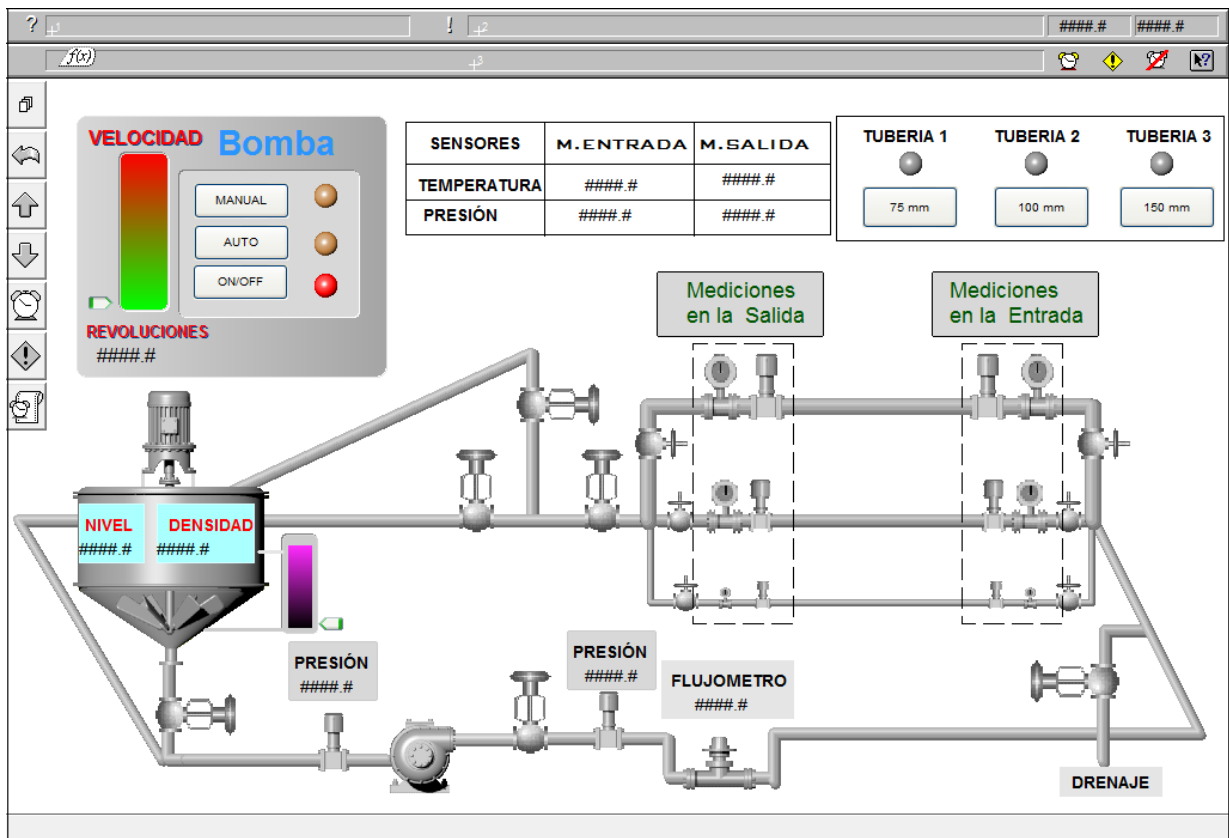


Figura 3.8 Pantalla principal del accionamiento.

Además de esta crearemos otra pantalla donde se visualizan los datos recogidos por el PQMII que serán de gran utilidad para el cálculo del rendimiento de la instalación. En la misma se muestra potencia real, factor de potencia, las corrientes y tenciones de línea, en estas dos últimas su comportamiento puede observar en los gráficos de tendencia de dicha pantalla.

Para el cálculo del rendimiento se creara otra pantalla en la que se visualizara la potencia demandada por el motor, la potencia hidráulica agregada por la bomba al fluido la cual será calculada a través de los datos recogidos por los sensores y utilizando el Cicode del Citect. Ver figura 3.10

El rendimiento podrá ser observado a través de los gráficos de tendencia. Lo que nos permitirá el mejor punto de operación. Ver figura 3.11

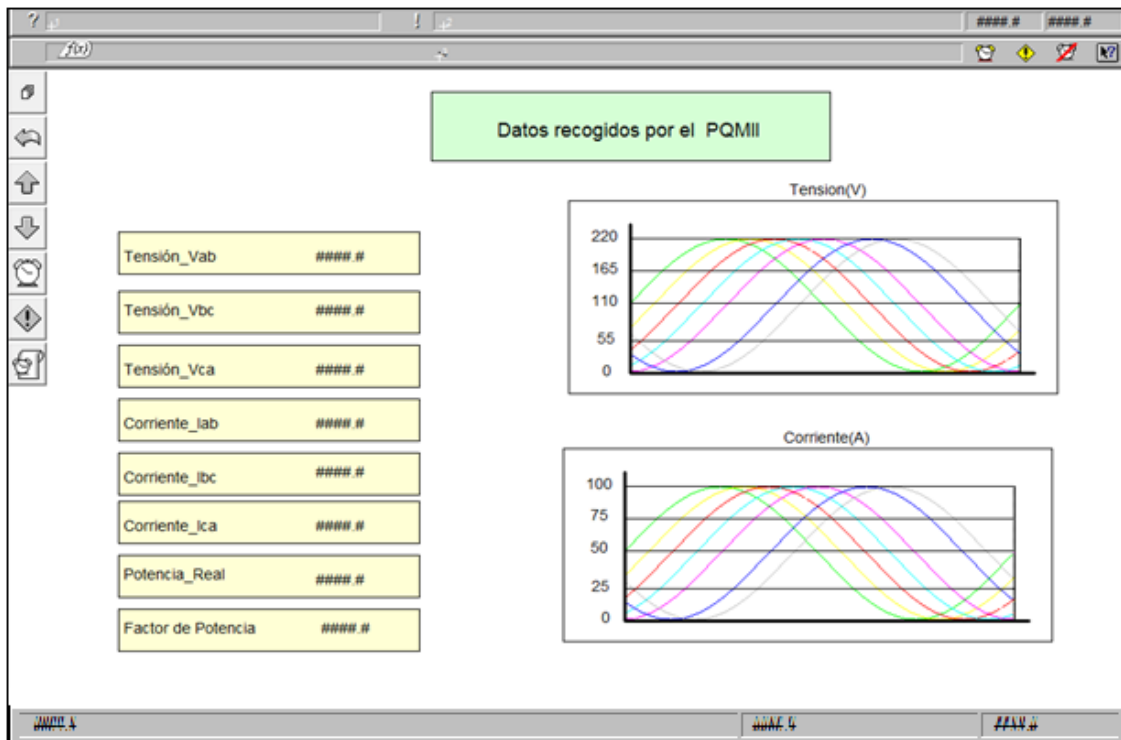


Figura 3.9 Pantalla que muestra los datos recogidos por el PQMII.

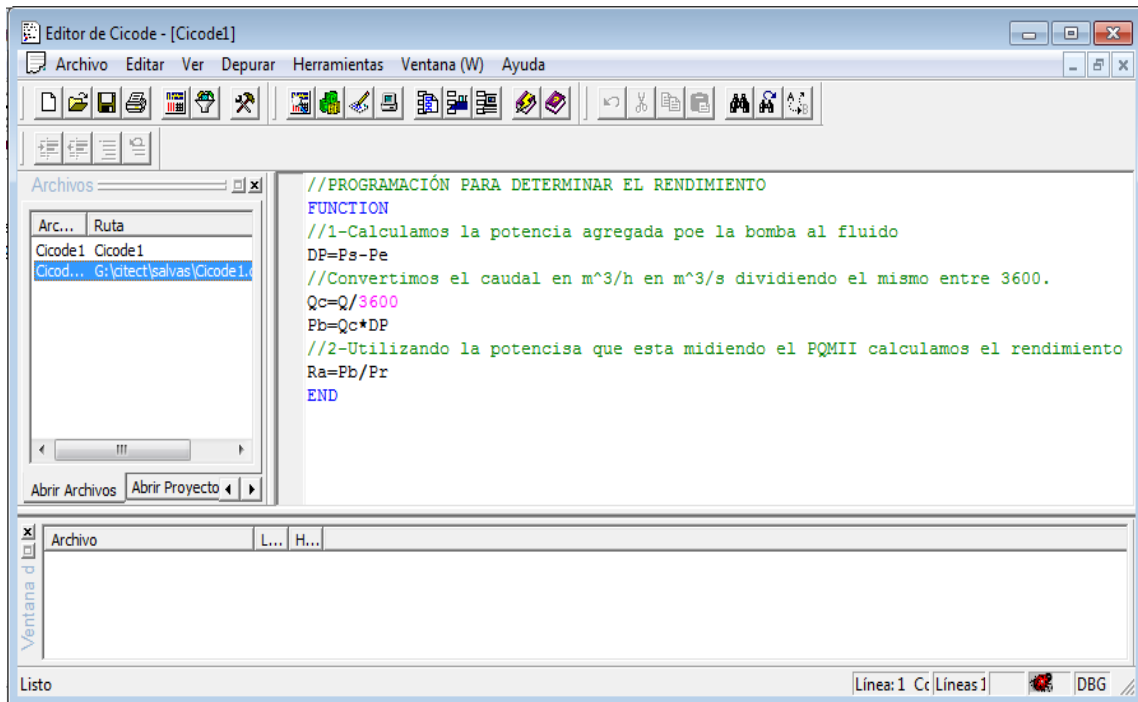


Figura 3.10 Editor del Cicode del Citect.

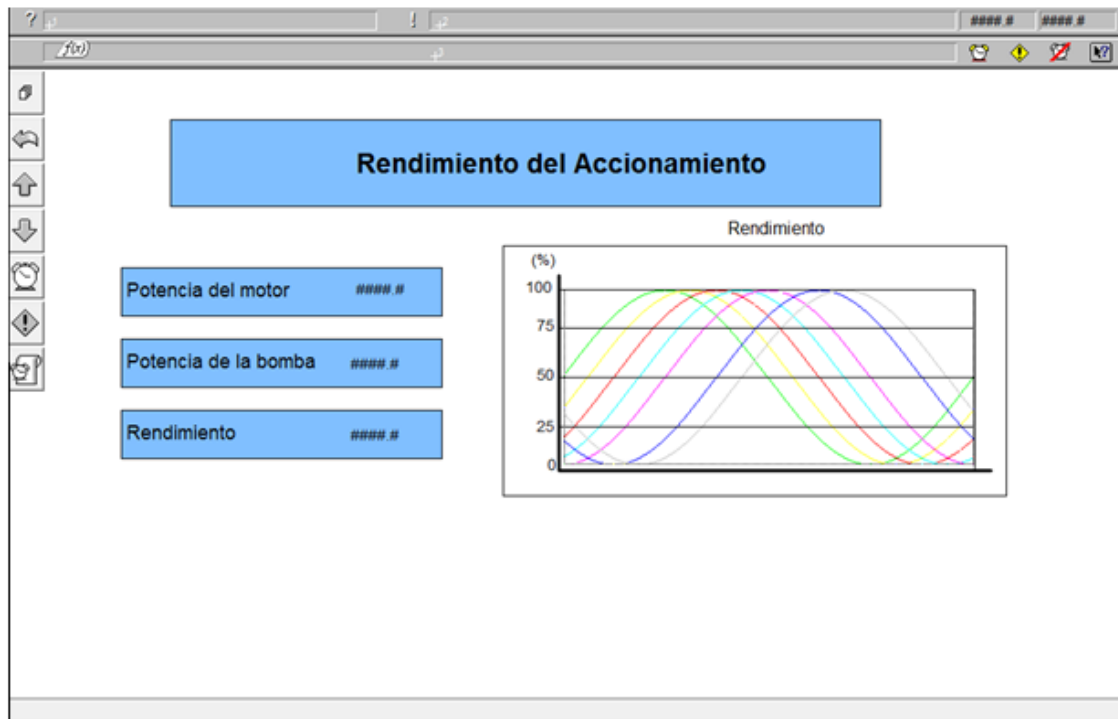


Figura 3.11 Pantalla que muestra el rendimiento de la instalación.

3.5 Formación de las alarmas y tendencias

Luego de tener las pantallas creadas nuestro último paso es crear las alarmas, tendencias y asignarles el nivel de privilegio.

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 creado por lo que seguimos por crear las alarmas y configurarlas. La cual será de ayuda para controlar la velocidad del motor.

Para la crear las alarmas se rellene el formulario de Alarmas Digitales. Cuando el formulario esté completo haga clic en Agregar. Ver figura 3.12

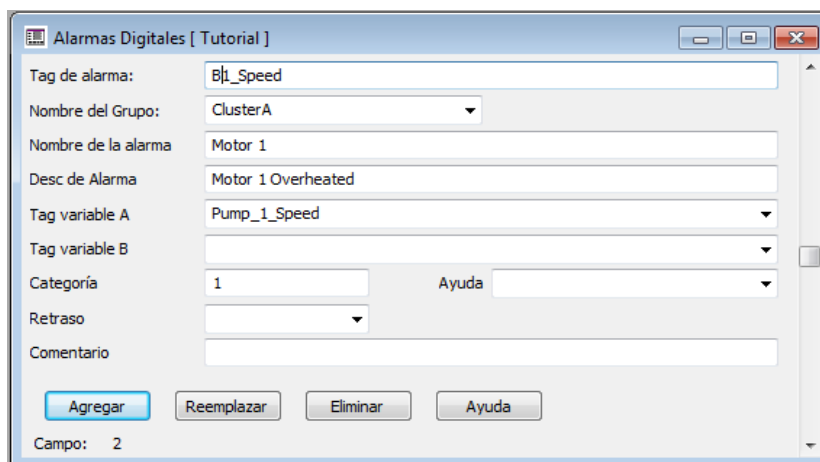


Figura 3.12 Alarmas de digitales.

Teniéndose las alarmas creadas ya estos listos para crear las tendencia la cuales se aran de igual forma que las alarmas llenando los campos en el tags de tendencia. Ver Figura 3.13.

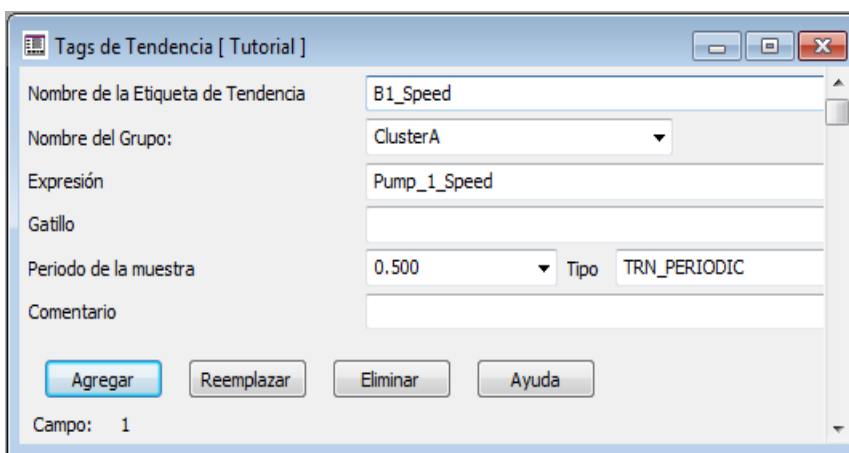


Figura 3.13 Tag de tendencia de la variable velocidad de la bomba.

En la figura 3.14 podemos ver la gráfica de tendencia para la variable velocidad en la cual se puede observar el comportamiento de la misma.

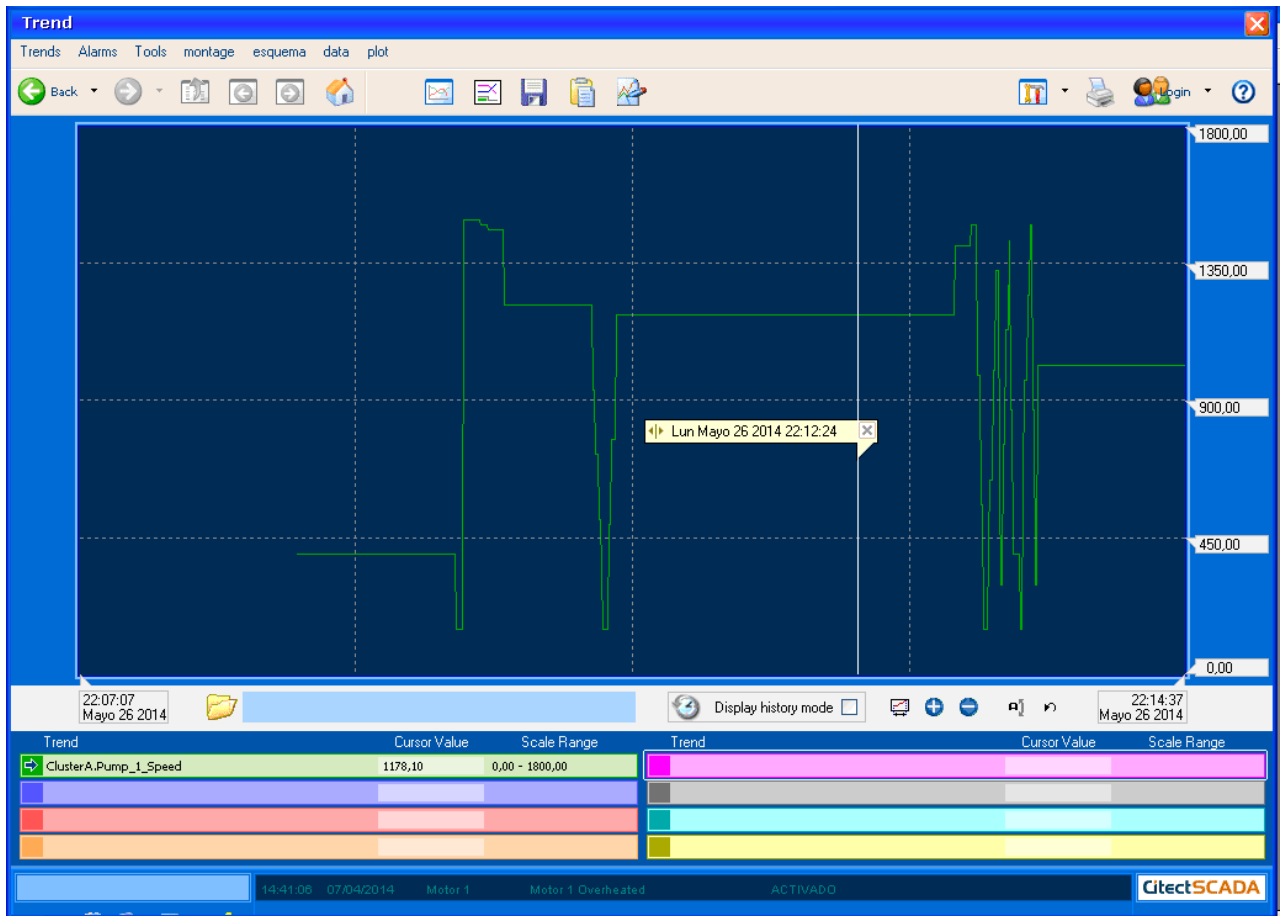


Figura 3.14 Grafico de tendencia de la velocidad de la bomba.

La mayoría de los proyectos requieren la autenticación segura de los usuarios antes de que se permitan las actividades de control que se ejecutan desde el HMI. En Citect esto se puede lograr a través de los usuarios locales o usuarios de Windows.

En el Citect existen hasta 8 niveles de privilegio (1 mínimo - 8 máximo) que permiten limitar el acceso a los objetos.

Para poder tener privilegios es necesario establecer diferentes tipos de usuarios. Ver figuras 3.15 y 3.16.

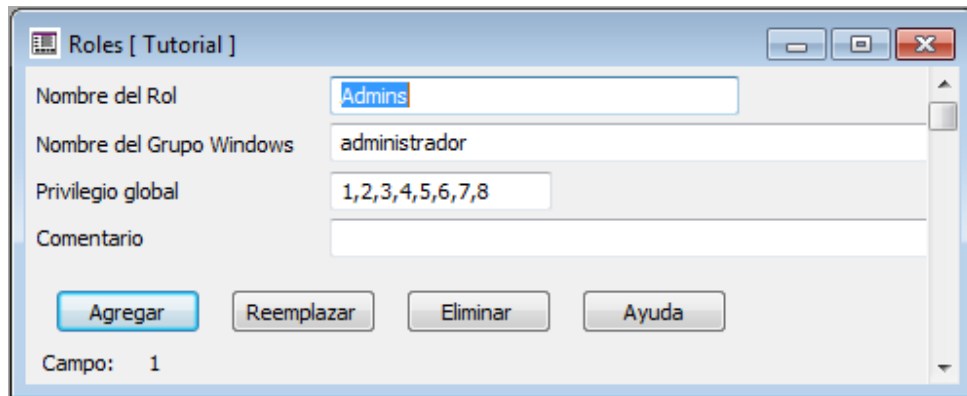


Figura 3.15 Creación de los diferentes tipos de usuario

En la definición del usuario hay que dar los privilegios. Ver figura 3.13

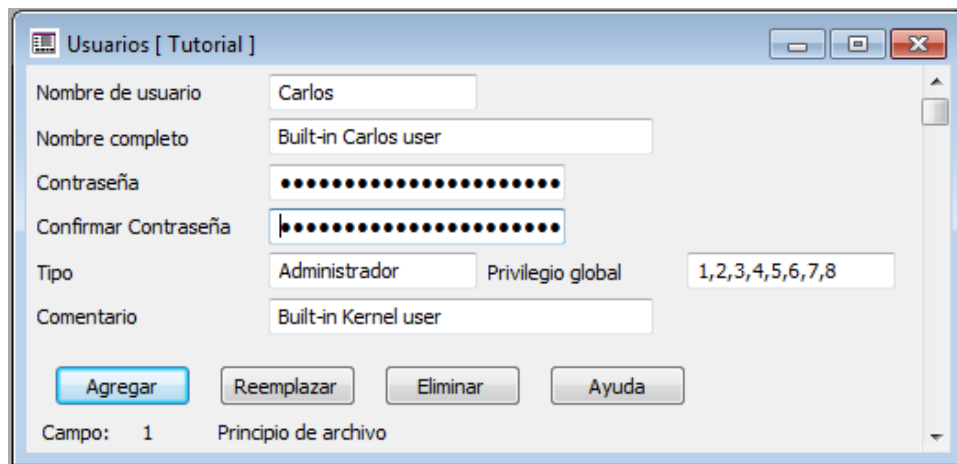


Figura 3.16 Nivel de privilegio concedido a los usuarios

Ahora lo que vamos a realizar es asociar al usuario admin el privilegio de activar/desactivar la alarma. Para ello en la edición de la alarma activamos F2 y aparecerá un menú e introducimos el nivel de privilegio. Ver figura 3.17

Privilegio: 1 | Área:

Filtro a medida 1:

Filtro a medida 2:

Filtro a medida 3:

Filtro a medida 4:

Filtro a medida 5:

Filtro a medida 6:

Filtro a medida 7:

Filtro a medida 8:

Paginando: ▼ Paginando Grupo:

Campo: 2

Figura 3.17 Establecer el nivel de privilegio.

Luego de declaradas las variables, creadas la pantallas, tendencias y alarmas estamos listos para visualizar las señales de los sensores en el sistema SCADA. Los datos recogidos por el PQMII serán muy fácil de visualizar solo tenemos que añadir la dirección de la variable leída en el tags de variable en el editor de Citect.

Las pantallas que se diseñaron como se sabe de anterioridad, fueron las referentes a la instalación experimental de hidrotransporte del ISMM, donde se representan las variables requeridas a supervisar para determinar el rendimiento de la instalación y otras usadas por los investigadores del centro.

Ya creado nuestro sistema SCADA estamos listo para crear la valoración técnico-económica de acuerdo a los precios de los equipos, software utilizados y las ventajas del uso de variadores para el control de caudal en bombas centrífugas.

3.6 Valoración técnico-económica del trabajo

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 la mayoría de los casos, se realiza estrangulando la tubería de impulsión y con esto aumenta la resistencia de la red y disminuye el rendimiento de la instalación. El caudal disminuye y la carga de presión aumenta, pero parte de esta energía 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.

Ventajas del uso de variadores de velocidad en las bombas centrífugas.

- Ahorro de energía.

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.

- Control Mejorado.

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.

- Compensación de $\cos \varphi$

Un variador de frecuencia con un factor de potencia unitario proporciona una corrección del factor de potencia para el motor, lo que significa que no hay necesidad de considerar el $\cos \varphi$ del motor cuando se dimensiona la unidad de corrección del factor de potencia.

- No se requiere un arrancador en estrella/triángulo o arrancador suave.

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.

3.6.1 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.

$$CTI = \sum CIC + \sum CV \quad (3.1)$$

Dónde:

CTI : Costo de la instrumentación

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

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

Ahora el costo total general (CTG) sería:

$$CTG = CTI - EPA \quad (3.2)$$

Dónde:

EPA : Estimado de la parte automática (15 al 20% del costo de la instrumentación CTI). Todos estos precios pueden ser observados en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Precios de los equipos utilizados.

Equipo	Modelo	Precio(USD)	Cantidad	Total (USD)
Variador de Velocidad	ATV71HD37N4	\$7138.2	1	\$7138.2
PLC	Simatic S7-300	\$4885	1	\$ 4885
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	sonyveu	\$500	1	\$500
Flujómetro	OPTIFLUS 4300	\$4169	1	\$4169
Breaker 5A	-	\$403.9	2	\$807.8
Breaker 40A	-	\$779	2	\$1558
Densímetro	DT 301	\$4900	1	\$4900
Termoresistencia	PT-100	\$357	3	\$1071
Sensor de presión	SITRANS P	\$950	4	\$3800
Medidor de nivel	BM 700	\$873	1	\$873
Software	-	\$10000	Varios	\$10000

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

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

Luego de haber calculado ($\sum CIC$) podemos seguir 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 ISMMM con la creación de este sistema la Estación Experimental de Hidrotransporte estará completamente lista para realizar laboratorios y otras actividades lo que permitirá a los estudiantes poder visualizar todo un proceso industrial sin tener la necesidad de salir del centro.

3.7 Conclusión del capítulo

- En este capítulo se crearon todas las herramientas para el trabajo con el Citect SCADA.
- Se crearon las pantallas que conforman el sistema SCADA.
- Se realizó la valoración técnico-económica de la instalación de hidrotransporte así como las ventajas que proporcionan el uso de variadores de velocidad en los accionamientos con bombas centrífugas.

CONCLUSIONES GENERALES

Después de haber desarrollado este trabajo se llegó a las siguientes conclusiones:

- Fue posible introducirle y compilar la programación realizada por los programadores de la Empresa del Níquel Comandante Ernesto Che Guevara al PLC Simatic S7-300 de SIEMENS en la instalación de hidrotransporte del ISMM.
- Fue posible identificar todas las variables necesarias para el cálculo del rendimiento del accionamiento.
- Con los recursos informáticos que ofrece el CITECT fue posible construir un sistema supervisor que permite la adquisición de datos, la supervisión y el control del proceso de la Estación Experimental de Hidrotransporte del ISMMM.
- Se logró crear una programación en el Cicode de Citect que nos permita determinar el rendimiento del accionamiento para cada punto de operación de la bomba.

RECOMENDACIONES

- Seguir implementando el sistema SCADA para calcular otros parámetros del proceso.
- Seguir estudiando las ventajas de implementación de los PLCs en las industrias del Níquel.

REFERENCIA BLIBLOGRÁFICA

1. Zuivi. *Tecnologías de la automatización*. 2008; Available from: <http://rincondelvago.com/bombas.html>.
2. F.D. Soria, *Instrumentación Inteligente en Plantas Industriales*, in *Ingeniería de Control* 2000, Universidad Nacional autónoma de México.
3. Benjamin, D.W., *Estación experimental de hidrotransporte de pulpa laterita asistida por PLC en el ISMM de MOA* in *Departamento de Electrica* 2009, ISMM.
4. Nghiitwikwa, E.H.S., *Estación experimental para diagnósticos de hidrotransporte por patrones difusos asistido por PLC en el ISMM de Moa*, in *Departamento de Electrica* 2010, ISMM.
5. "PROFIBUS", *Introducción a la comunicación de PROFIBUS*, 2000.
6. Industrial", A., *Introducción a las Comunicaciones Industriales*, 2002.
7. Castro, M., *Principios Básicos de las Comunicaciones Industriales* 2007.
8. Barrero, D.D. *Process Field Bus Profibus*, 2010.
9. Castillo, J.J.C., *Protocolos de comunicaciones industriales*. 2004.
10. Lozano, C.d.C., *Introducción a SCADA*, 2009.
11. map, G. *Sistemas SCADA*. 2010.
12. "Siemens", *Introducción a la programación de PLC*, 2009, Educarchile.
13. "Siemens", *Introducción y ejercicios prácticos* 2006.
14. Gerin, M., *Citect Tutorial*, 2008.
15. Electric", S., *CitectSCADA Descripción general técnica*. 2012.
16. Electric", S., *CitectSCADA Guía del usuario*. 2011.
17. "Siemens", *Measuring instruments for pressure*, 2005.
18. N.V, T., *Instrumentación y Automatización* 2009.
19. Netherlannds, *Caudalímetro ultrasónico universal en línea de tres haces para líquidos*, 2010.
20. Smar, *Smart Concentration/Density Transmitter*, 2009.
21. Germany, D., *Installation and operating instructions Level-Radar BM 700*, 2008.

22. Felipe, V. *Motores con variadores de frecuencia*. 2006; Available from: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia>
23. Calvo, F.S., *Variadores de Frecuencia*. 2010.
24. 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.
25. Mayné, J., *Sistemas de Comunicaciones*, 2004.
26. Technologies, M., *NPort 5400*, 2003.
27. Multilin", G., *Power Quality Meter Intruction Manual*, 2013.
28. Ahedo, C.D., *Eficiencia energética*, in *Norma Oficial Mexicana NOM-014-ENER-2004* 2005.
29. Martinez, E. *Determinacion del rendimiento en motores de inducción trifasicos según la Norma IEC 60034-2-1*. 2009.
30. Nielsen, K.H. *Guía de cálculo para procesos con bombas centrífugas*. 2012; Available from: <http://todoproductividad.blogspot.mx>.
31. Avella, J.C.C., *Ahorro de energia en sistemas de bombas centrífugas*, 2008, Universidad autónoma de Occidente.
32. Franzini, *Curvas características y punto de operación*, in *Bombas Centrífugas* 1999.
33. *Teoría Moderna de Control*. 2012; Available from: http://automata.cps.unizar.es/Historia/Webs/teoria_moderna_de_control.htm.
34. Armando, D. *Variadores de frecuencia*. 2010; Available from: <https://sites.google.com/site/electrotechonduras>.
35. Ruiz, A., *Electrónica Básica para Ingenieros* E. Santander, Editor 2001.

BIBLIOGRAFÍA

1. CABRERA ABALLE, Y. Interface de comunicación para evaluar sinergia en variadores de velocidad ALTIVAR. Trabajo de diploma. ISMMM, 2011.
2. FONSECA ALPAJÓN, D. Interfaz para comunicación de sistema SCADA de accionamientos con variadores de velocidad. Trabajo de diploma. ISMMM, 2009.
3. FILIPPICH, M. Digital Control of a Three Phase Induction Motor. Trabajo de Diploma. Universidad de Queensland, 2002.
4. Rojas Purón, L. D. Accionamiento eléctrico asincrónico para transporte eficiente de pulpa laterítica. Tesis doctoral. ISPJAE, 2006.
5. SIEMENS, Simatic Net. Redes de Comunicaciones Industriales (Catálogo IK 10), 1997.
6. SIEMENS, PROFIBUS & AS-INTERFAZ Fibus componests (Catalog ST PI), 1996.

Otras Fuentes bibliográficas

7. <http://www.st-micros.com>.
8. http://www.camiresearch.com/Data_Com_Basics/RS232_standard.html.
9. http://www.consulintel.es/Html/Tutoriales/Lantronix/guia_et_p1.html.
10. <http://html.rincondelvago.com/red-ethernet.html>.
11. <http://support.automation.siemens.com>.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **PLC:** Controladores Lógicos Programables o Programmable Logic Controller por sus siglas en inglés son dispositivos electrónicos muy usados en automatización industrial[1].
- **PID:** Proporcional Integral Derivativo, 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[33].
- **DCS:** Un Sistema de Control Distribuido en inglés Distributed Control System, es un sistema de control aplicado, por lo general, a un sistema de fabricación, proceso o cualquier tipo de sistema dinámico, en el que los elementos del tratamiento no son centrales en la localización (como el cerebro), sino que se distribuyen a lo largo de todo el sistema con cada componente o sub-sistema controlado por uno o más controladores. Todo el sistema de los controladores está conectado mediante redes de comunicación y de monitorización[1].
- **CNC:** Control Numérico por Computadora, es un sistema de automatización de máquinas herramienta que son operadas mediante comandos programados en un medio de almacenamiento, en comparación con el mando manual mediante volantes o palancas[5].
- **PC:** computadora personal u ordenador personal, es una microcomputadora diseñada en principio para ser usada por una sola persona a la vez[10].
- **SCADA:** Supervisory Control And Data Acquisition (Adquisición de datos y supervisión de control), Es un sistema basado en computadores que permite supervisar y controlar variables de proceso a distancia[11].
- **RCI:** Redes de comunicación industrial, deben su origen a la fundación FieldBus (Redes de campo)[5].
- **OSI:** Modelo de interconexión de sistemas abiertos, OSI por sus siglas en inglés Open System Interconnection es el modelo de red descriptivo creado por la Organización Internacional para la Estandarización en el año 1984. Es decir,

es un marco de referencia para la definición de arquitecturas de interconexión de sistemas de comunicaciones[9].

- **MTBF:** Acrónimo de Mean Time Between Failures, es la media aritmética (promedio) del tiempo entre fallos de un sistema[7].
- **CPk:** Índice de capacidad del proceso, también denominado ratio de capacidad del proceso, es un cálculo estadístico sobre la capacidad del proceso[33].
- **CP:** Capacidad del proceso, es una propiedad medible de un proceso que puede calcularse por medio del índice de capacidad del proceso. El resultado de esta medición suele representarse con un histograma que permite calcular cuántos componentes serán producidos fuera de los límites establecidos en la especificación[33].
- **ERP:** Enterprise Resource Planning o sistema de planificación de recursos empresariales, son sistemas de información gerenciales que integran y manejan muchos de los negocios asociados con las operaciones de producción.
- **HMI:** interfaz hombre-máquina, se usa para referirse a la interacción entre humanos y máquinas. Aplicable a sistemas de Automatización de procesos[11].
- **UTR:** Unidad Terminal Remota, define a un dispositivo basado en microprocesadores, el cual permite obtener señales independientes de los procesos y enviar la información a un sitio remoto donde se procese[2].
- **PAC:** Controlador de Automatización Programable, es una tecnología industrial orientada al control automatizado, al diseño de prototipos y a la medición[2].
- **CPU:** Unidad central de procesamiento es el componente del computador y otros dispositivos programables, que interpreta las instrucciones contenidas en los programas y procesa los datos[25].
- **VBA:** Visual Basic for Applications, es el lenguaje de macros de Microsoft Visual Basic que se utiliza para programar aplicaciones de Windows[25].
- **DRIVER's:** Variadores de velocidad de motores[34].
- **LAN:** red de área local del inglés local area network, es la interconexión de una o varias computadoras y periféricos[9].

- **CC:** Corriente Continua, es el flujo continuo de electrones a través de un conductor entre dos puntos de distinto potencial[35].
- **CA:** Corriente Alterna, a la corriente eléctrica en la que la magnitud y el sentido varían cíclicamente[35].
- **PTC:** Coeficiente de temperatura positivo en inglés Positive Temperature Coefficient, es una propiedad intensiva de los materiales que cuantifica la relación entre la variación de la resistencia eléctrica de un material y el cambio de temperatura[29].
- **PQM:** Power Quality Meter, es un instrumento capaz de analizar las propiedades de las redes eléctricas, especialmente aquellas propiedades asociadas con la reflexión y la transmisión de señales eléctricas, conocidas como parámetros de dispersión[27].
- **UTP:** Unshielded Twisted Pair: es un tipo de cableado utilizado principalmente para comunicaciones. Son los que se utilizan para montar una red, de este se conectan los computadores a un modem y de un computador a otro computador[9].
- **TCP/IP:** Transmisión Control Protocol/Internet Protocol, Es un conjunto de protocolos que definen una serie de reglas y primitivas que permiten intercambiar información entre sistemas muy heterogéneos, mediante el uso de redes de área local, redes de área extensa y redes públicas de telefonía[9].
- **PWM:** Modulación por ancho de pulsos (también conocida como PWM, siglas en inglés de pulse-width modulation) de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica (una senoidal o una cuadrada, por ejemplo), ya sea para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga[34].

ANEXOS

Anexo 1 Programas empleados.

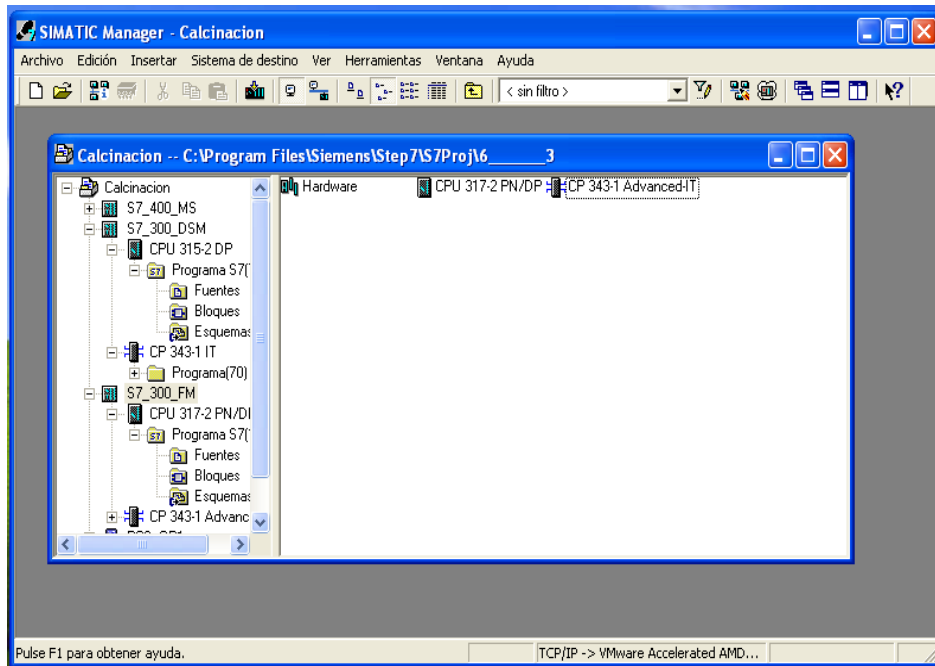


Figura 1 Administrador Simatic.

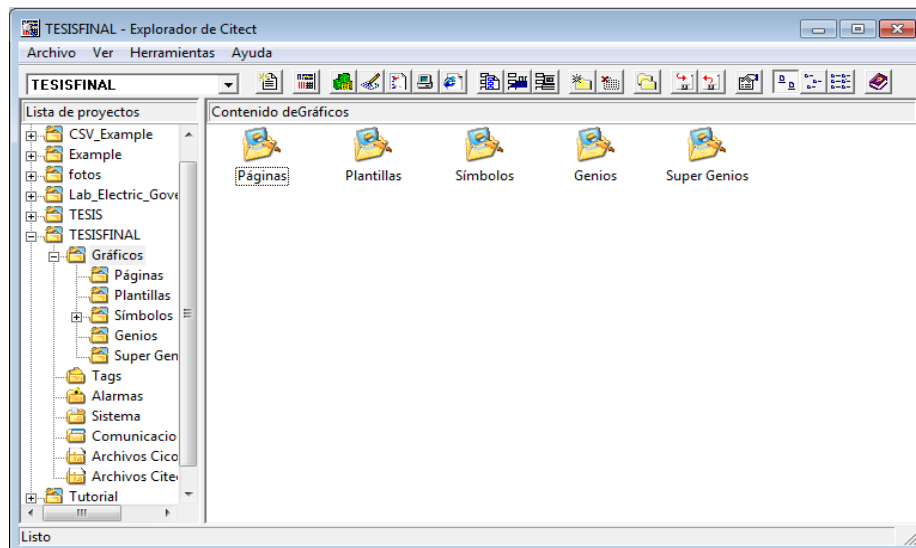


Figura 2 Explorador de Citect

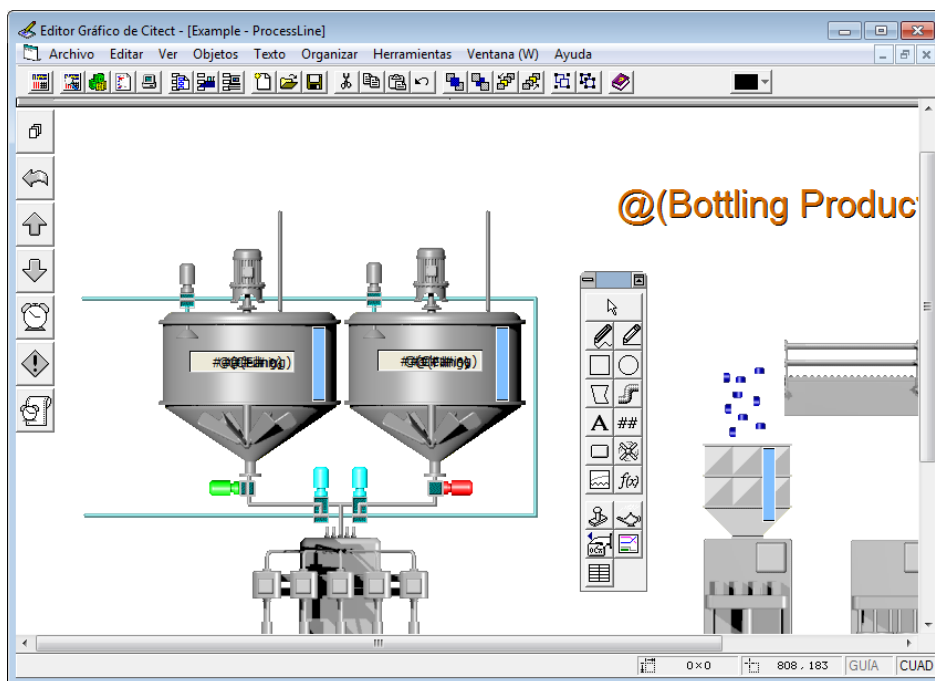


Figura 3 Editor Gráficos de Citect.

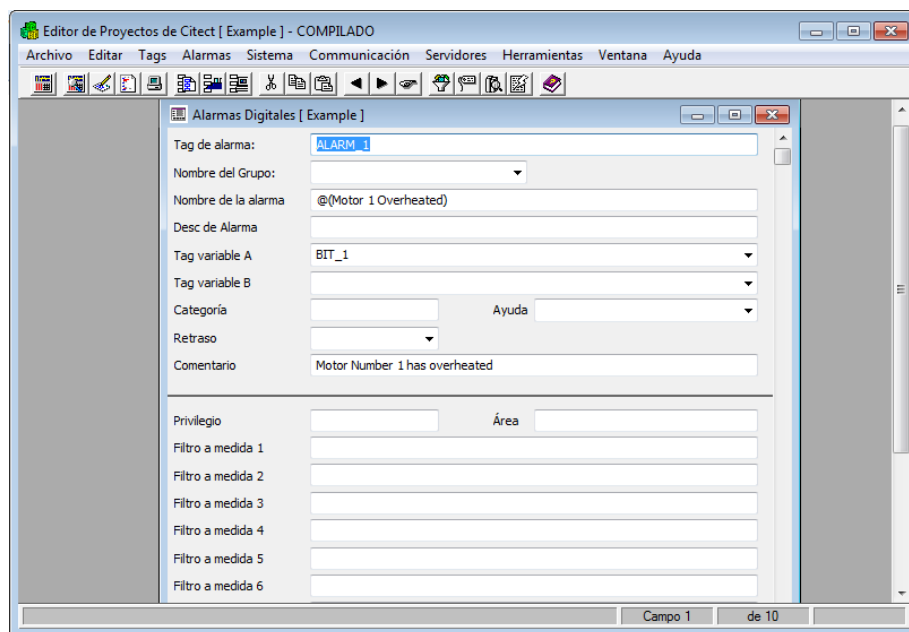


Figura 4 Editor de Proyectos de Citect.

Anexo 2 Instalación de hidrotransporte.



Figura 1 Foto de la instalación de hidrotransporte del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

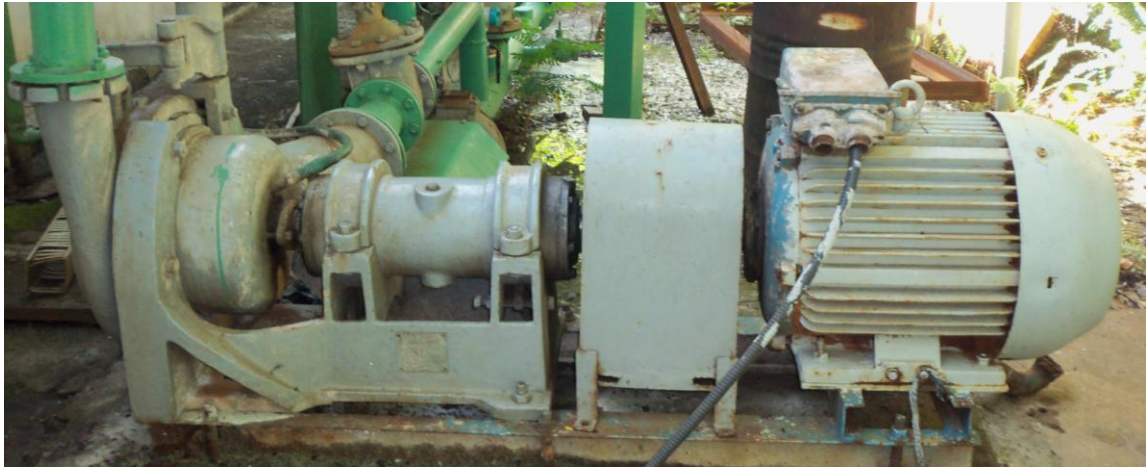


Figura 2 Conjunto motor-bomba.

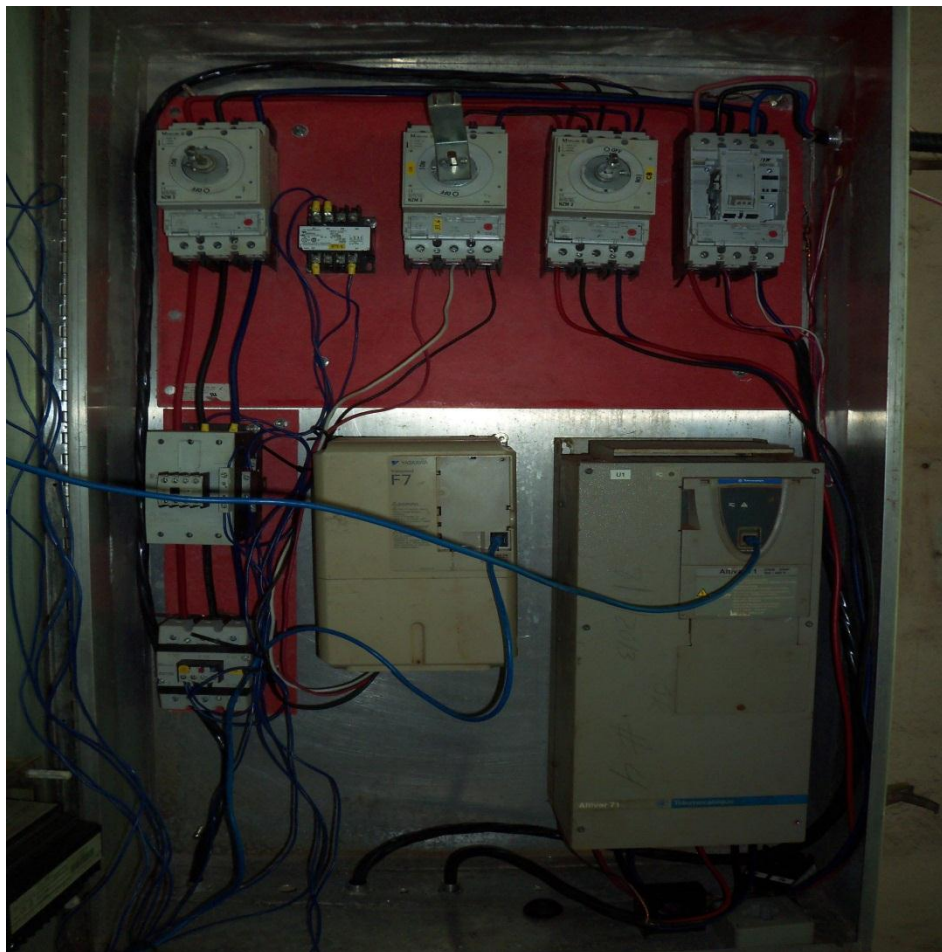


Figura 3 Caja eléctrica del accionamiento.



Figura 4 Controlador Lógico Programable Simatic S7 300.

Anexo 3 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	
Clas de protección IP65	

Figura 1 Sensor de presión SITRANS P.

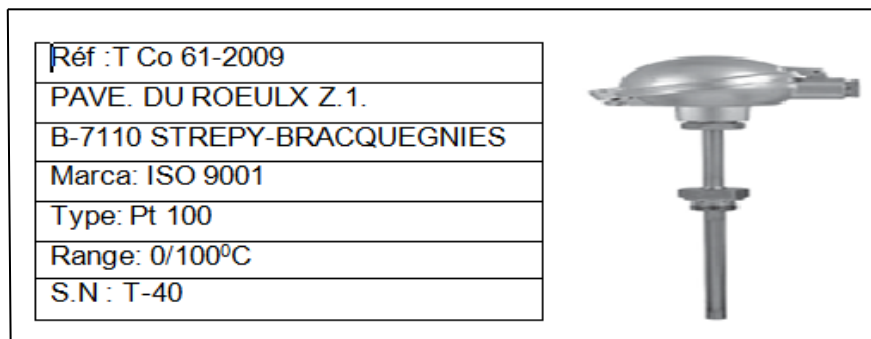


Figura 2 Termorresistencia PT-100.

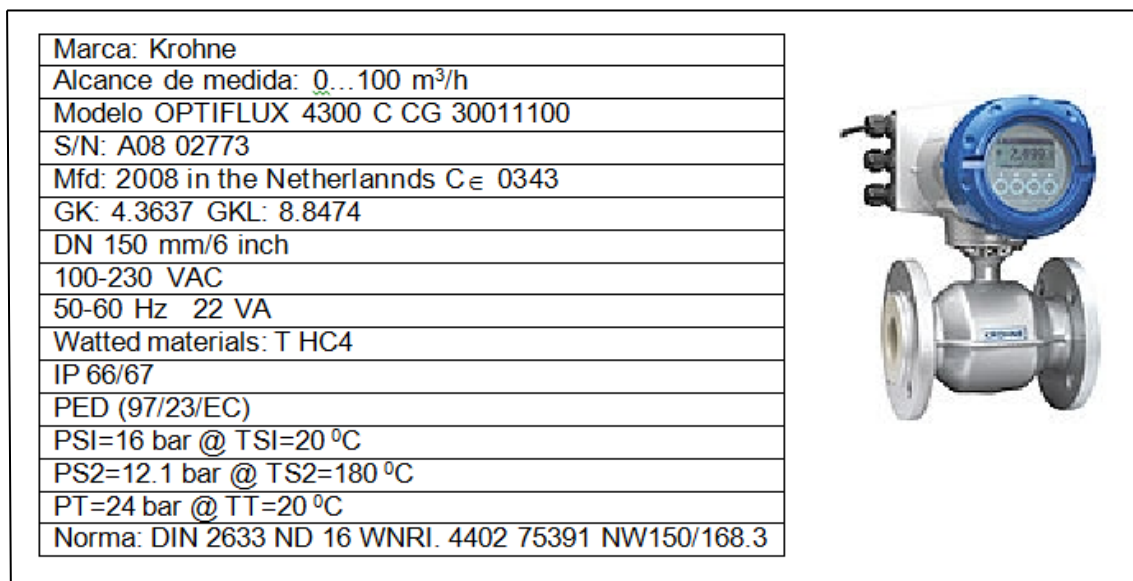


Figura 3 Flujómetro electromagnético.

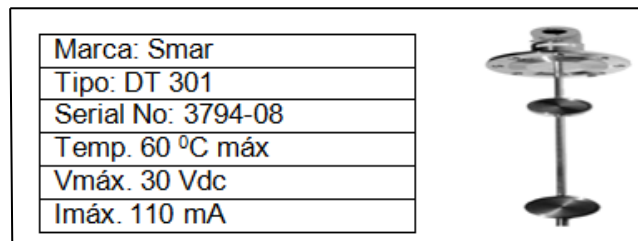


Figura 4 Densímetro DT 301 (Density Transmitter).

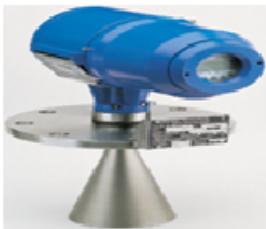
Marca: KROHNE	
Fabricado: <u>Duesburg Germany</u>	
Altura del tanque (rango medio) 0.5 m a 20 m (1.64 pies a 65.6 pies).	
Precisión de la medida (distancia) desde 1 m (3.3 pies): $\pm 1\text{cm}$, hasta 3.3 m (10.8 pies): $\pm 0.3 \%$	
Código: C€ 0682	
Versión: 5.05	
Vk-Auftrag: 886085/010	
Serien-Nr: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

Figura 5 Medidor de nivel BM 700 (Level-Radar).

Anexo 4 Lenguaje de programación de los PLC


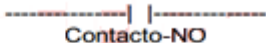

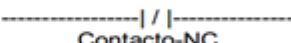

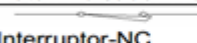
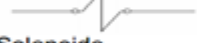
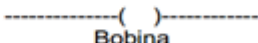


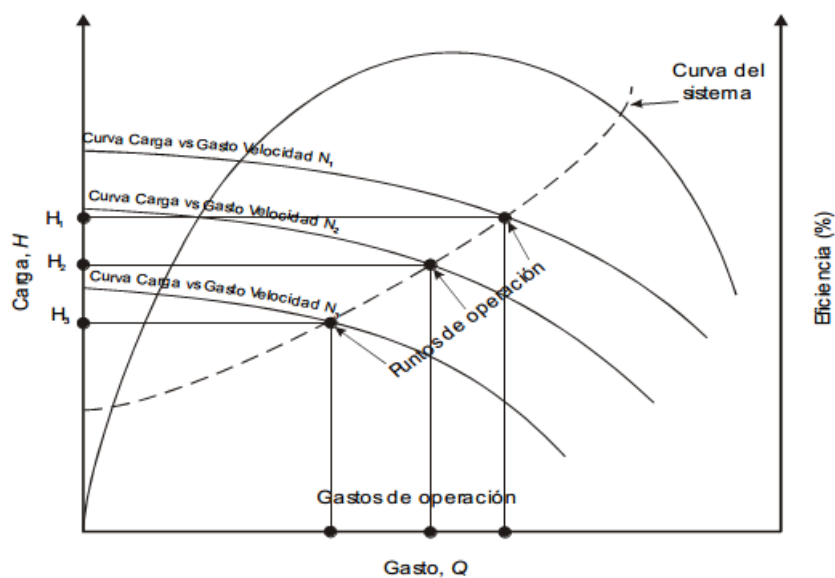
Símbolo Eléctrico	Símbolo en Diagrama de Contactos
 Interrupor-NO	 Contacto-NO
 Botón Pulsador-NO	 Contacto-NC
 Botón Pulsador-NC	
 Interrupor-NC	
 Solenoid	 Bobina
 Lámpara	
 Bobina	

Figura 1 Tabla de símbolos Eléctricos y Diagrama de Contactos.

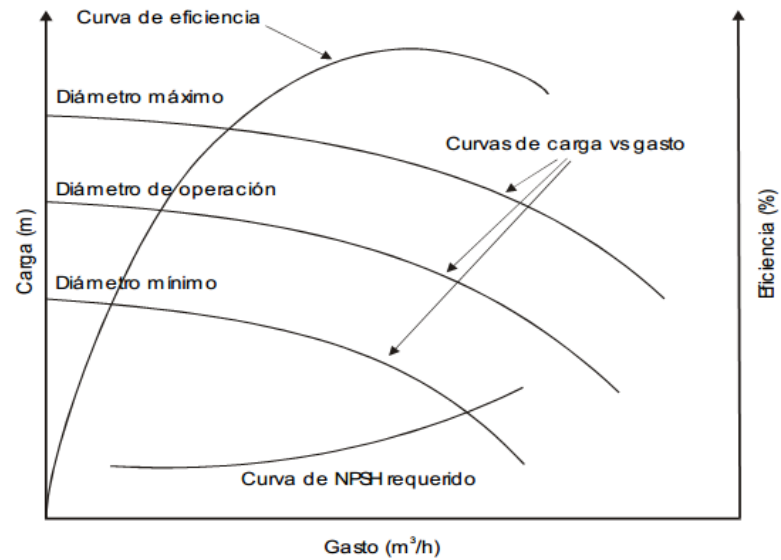
LD: Operación inicio contacto abierto.
LD NOT: Operación inicio contacto cerrado.
AND (Y): Contacto serie abierto.
OR (O): Contacto paralelo abierto.
AND NOT: Contacto serie cerrado.
OR NOT: Contacto paralelo cerrado.
OUT: Bobina de relé de salida.
MEM: Relé interno o marca.
TMR: Temporizador.
CNT: Contador.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

Figura 2 Instrucciones básicas del lenguaje Nemónico.

Anexo 5 Curvas de accionamientos con bombas centrífugas



Anexo 4.1 Cambio de Caudal Mediante Variación de Velocidad.



Anexo 4.2 Curvas Características de una Bomba Centrífuga.

Anexo 6 Creación del SCADA en el Citect.

Figura 1 Creacion del proyecto en el CitectSCADA de la estacion de hidrotransporte.

Servidores de Alarmas [TESIS]

Nombre del Grupo: ClusterB

Nombre de Servidor: Alarmserver Modo: Primary

Direcciones de la Red: Address Puerto

Comentario

Agregar Reemplazar Eliminar Ayuda

Campo: 1

Figura 2 Servidor de Alma.

Servidores de Reportes [TESIS]

Nombre del Grupo: ClusterB

Nombre de Servidor: Reportserver Modo: Primary

Direcciones de la Red: Address Puerto

Comentario

Agregar Reemplazar Eliminar Ayuda

Campo: 1

Figura 3 Servidor de Reporte.

Servidores de Tendencias [TESIS]

Nombre del Grupo: ClusterB

Nombre de Servidor: Trendserver Modo: Primary

Direcciones de la Red: Address Puerto

Comentario

Agregar Reemplazar Eliminar Ayuda

Campo: 1

Figura 4 Servidor de Tendencia.

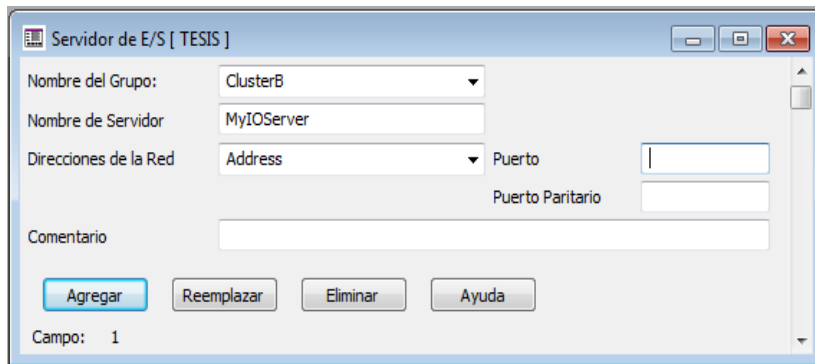


Figura 5 Servidor de Entrada/Salida.



Figura 6 Creación de los dispositivos de entrada y salida.

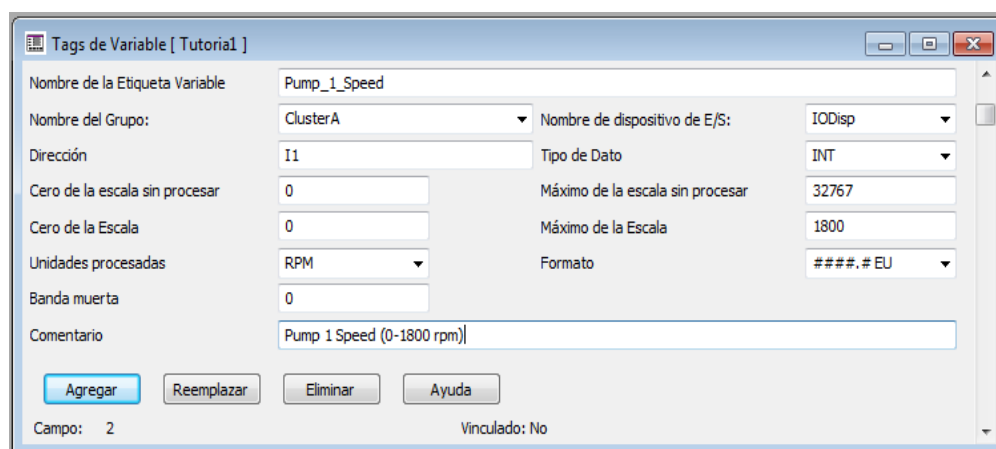


Figura 7 Tag de la variable velocidad de la bomba.