

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Sección de Electricidad y Electrónica



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

DISEÑO DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACION INDUSTRIAL PARA EL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUAS ACIDAS

Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico, que presenta el bachiller:

Carlos Miguel Ojeda Chinchayán

ASESOR: Magister Eddie Sobrado

LIMA, 23 de julio 2012

RESUMEN

La mina Yanacocha se ubica aproximadamente a 600 km al norte de Lima y a 20 km al noroeste de la ciudad de Cajamarca, a una altitud cercana a 4100 m.s.n.m. En los procesos mineros que realiza utiliza el agua como alternativa de abastecimiento. En el desarrollo del proceso por acción de lixiviación de sulfuros se producen alteraciones en la calidad del agua (aguas ácidas) las cuales son evacuadas hacia grandes pozas.

Considerando y respetando las normas medio ambientales la minera tiene que preocuparse por restablecer las propiedades naturales del agua antes de devolverlas al medio ambiente. Por tal motivo se desarrolla en Maqui Maqui – Yanacocha el proceso de bombeo de aguas ácidas, evacuando el agua contaminada desde la poza de almacenamiento hasta otra poza localizada al norte de la misma en la cual se procederá a la neutralización del agua antes de devolverla al medio ambiente.

El objetivo general de esta tesis es el desarrollo de la ingeniería de detalle del sistema de bombeo de aguas ácidas desde la poza de almacenamiento sur, hasta la poza de almacenamiento y control norte.

En primer lugar se define el significado de automatización a nivel de industrias mineras en el mundo de hoy. Enfocando nuestro interés en el desarrollo de la automatización en la minera Yanacocha.

En segundo lugar se identifico las variables del proceso, desarrollando la ingeniería básica del proyecto. En tercer lugar se desarrolla la ingeniería de detalle del sistema de bombeo.

Por último, se elabora los cálculos necesarios para la selección de los instrumentos tanto de campo como de control. También se desarrolla el programa que permite controlar el proceso de bombeo, como también los resultados gráficos de la simulación del programa, además sugiero algunas recomendaciones para la prueba de instrumentos antes y después de ser instalados.

A Dios.

Por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarte cada día más.

A ti Madre.

Por tus consejos, por el amor que siempre me brindas y por cultivar e inculcar ese sabio don de la responsabilidad.

¡Gracias por darme la vida!

¡Te quiero mucho!

A ti Padre.

A quien le debo todo en la vida, le agradezco el cariño, la comprensión, la paciencia y el apoyo que me brindó para culminar mi carrera profesional.

FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Diseño de un Sistema de Automatización Industrial para el Sistema de Bombeo de Aguas Acidas
 Área : Control y Automatización # 891
 Asesor : Ing. Eddie Angel Sobrado Malpartida
 Alumno : Carlos Miguel Ojeda Chinchayan
 Código : 20024082
 Fecha : 12 de abril de 2011

Descripción y Objetivos

Actualmente en la minería, para satisfacer sus necesidades de agua, se abastece principalmente de agua superficial, en otros casos utiliza el agua subterránea. En el desarrollo del proceso minero, ya sea en la extracción o en el trabajo de mineral por acción de la lixiviación de sulfuros se producen alteraciones en la calidad del agua (aguas ácidas), las cuales son evacuadas hacia el depósito de desmonte. Para remediar esta situación las empresas mineras, dentro de su zona de operación crean plantas de tratamiento de aguas ácidas, separando las partículas metálicas que afectan al agua, eliminando estos compuestos y así se les devuelve al medio ambiente.

El objetivo principal es el diseño de un sistema de Automatización Industrial para el Sistema de Bombeo de Aguas Acidas. La poza de almacenamiento recolecta las aguas ácidas superficiales y subterráneas en el depósito de desmonte. Las aguas se enviarán desde este depósito hacia una poza ubicada al norte del mismo, para lo cual se necesita un sistema de bombeo con sus facilidades eléctricas, de instrumentación y control.

En función a lo anterior se desarrollará la ingeniería de detalle para la construcción del sistema de automatización industrial de bombeo de aguas ácidas.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU
SECCION ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA

Ing. ANDRES FLORES ESPINOZA
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica

MÁXIMO 50 PÁGINAS

FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Diseño de un Sistema de Automatización Industrial para el Sistema de Bombeo de Aguas Ácidas

Índice

Introducción

1. La Automatización Industrial en la Minería
2. Identificación de Variables del Proceso
3. Ingeniería de detalle del Proceso
4. Pruebas Finales

Conclusiones

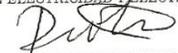
Recomendaciones

Bibliografía

Anexos



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
SECCIÓN ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA



Ing. ANDRÉS FLORES ESPINOZA
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica

MÁXIMO 50 PÁGINAS



INDICE

<u>Índice de Figuras</u>	I
<u>Índice de Tablas</u>	II
<u>INTRODUCCION</u>	III
<u>CAPITULO 1: LA AUTOMATIZACION EN LA MINERIA</u>	1
1.1 Automatización.....	1
1.1.1 Tipos de automatización.....	1
1.2 Automatización en el mundo moderno.....	2
1.3 Automatización en la minería.....	2
1.4 Minera Yanacocha.....	3
1.4.1 Ubicación.....	3
1.4.2 Automatización en Yanacocha.....	4
1.5 Marco Problemático Maqui Maqui.....	6
1.5.1 Hipótesis principal.....	6
1.5.2 Hipótesis secundaria.....	7
<u>CAPITULO 2: IDENTIFICACION DE LAS VARIABLES DEL PROCESO</u>	8
2.1 Presentación del asunto de estudio.....	8
2.2 Estado de la investigación.....	9
2.3 Ingeniería Básica del Proceso.....	9
2.4 Sistema de Control del Proceso.....	10
2.4.1 Sensores.....	10
2.4.2 Transmisores.....	10
2.4.3 Válvulas.....	11
2.4.4 Válvulas de Control.....	11
2.4.5 Dispositivos de Entradas.....	11
2.4.6 Controladores.....	12
2.4.7 Redes de Comunicación Industrial.....	13
<u>CAPITULO 3: IGENIERIA DE DETALLE DEL PROCESO</u>	15
3.1 Descripción general de las zonas a controlar.....	15
3.1.1 Poza de Almacenamiento Sur (Poza A).....	15
3.1.2 Línea de Descargas de Bombas.....	16
3.1.3 Poza de Control norte (Poza B).....	16
3.2 Especificaciones complementarias del diseño.....	16
3.3 Variables internas en el diseño.....	17
3.4 Diseño del Sistema de Bombeo Automatizado.....	19
3.4.1 General.....	19
3.4.2 Lazos de Control.....	19
3.4.3 Variables del Proceso Monitoreadas.....	20
3.4.4 Alarmas.....	20
3.5 Filosofía de Control.....	21
3.5.1 Control Discreto.....	21
3.5.2 Objetivos.....	22
3.6 Diagrama de Bloques.....	22
3.7 Disposición de Instrumentos.....	23
3.8 Selección de Instrumentos.....	25
3.8.1 Parámetros de Entrada.....	25

3.8.2	Fundamento teórico empleado por el Software AFT FATHOM 7.0.....	27
3.8.3	Resultados.....	29
3.8.4	Dispositivos de Entrada.....	32
3.8.4.1	Selección de Sensores en la Poza A.....	33
3.8.4.2	Selección de Sensores en la línea de descarga de las bombas.....	35
3.8.4.3	Selección de Sensores en la Poza de Control Norte.....	38
3.8.4.4	Proveedores Recomendados.....	39
3.8.4.5	Códigos Regulaciones y Estándares.....	39
3.8.5	Actuadores.....	40
3.9	Controlador Lógico Programable Siemens modelo Simatic S7-200	41
3.9.1	Selección de entradas.....	41
3.9.2	Software Step 7-Micro/Win.....	42
3.9.2.1	Funciones Implementadas en Lenguaje Ladder.....	42
3.9.2.2	Modo Automático y Modo Manual.....	43
3.10	Selección de la Red de Comunicación Industrial.....	44
3.10.1	Descripción de la Red Ethernet TCP/IP.....	44
<u>CAPITULO 4: PRUEBAS FINALES</u>		45
4.1	Configuración de entradas analógicas.....	45
4.2	Prueba y Simulaciones del funcionamiento de sensores.....	50
4.2.1	Simulación encendido bomba 1	51
4.2.2	Simulación encendido ambas bombas.....	52
<u>CONCLUSIONES</u>		53
<u>RECOMENDACIONES</u>		54
<u>BIBLIOGRAFIA</u>		55
ANEXO Nº 1: LISTA DE PLANOS.....		57
ANEXO Nº 2: LISTA DE DOCUMENTOS.....		58
<u>GLOSARIO</u>		59

Índice de Figuras

Capítulo 1

FIGURA 1.1 - Ejemplo Automatización Moderna.....	2
FIGURA 1.2 - Vista General Minera Yanacocha.....	3
FIGURA 1.3 - Proceso de lixiviación en pilas.....	4
FIGURA 1.4 - Proceso Gold Mill.....	5
FIGURA 1.5 - Columnas de Carbón.....	5
FIGURA 1.6 - Proceso Merrill Crowe.....	6

Capítulo 2

FIGURA 2.1 - Ingeniería Básica del Proyecto.....	10
FIGURA 2.2 - Comparación entre un PC, un PLC y un PAC.....	13
FIGURA 2.3 - Niveles de Automatización.....	14
FIGURA 2.4 - Redes de Comunicación en distintos niveles de automatización...	14

Capítulo 3

FIGURA 3.1 - Diagrama d Flujo de Variables Internas en el Diseño del Sistema de Automatización de bombeo de aguas acidas.....	17
FIGURA 3.2 - Diagrama d Flujo de Variables Internas en la Operación y Control en Modo Manual y Automático.....	18
FIGURA 3.3 - Diagrama de bloques del Sistema de Bombeo	23
FIGURA 3.4 - Diagrama de Instrumentación y Tuberías Primer Escenario.....	23
FIGURA 3.5 - Diagrama de Instrumentación y Tuberías Segundo Escenario	24
FIGURA 3.6 - Plano de Instrumentación y Tuberías en el entorno del Software AFT FATHOM 7.0	29
FIGURA 3.7 - Configuración de los Parámetros de Entrada en el entorno del Software AFT FATHOM 7.0	30
FIGURA 3.8 - Resultados Gráficos del Software AFT FATHOM 7.0.....	31
FIGURA 3.9 - Caudalímetro Magnético.....	36
FIGURA 3.10- Caudalímetro Ultrasónico.....	36
FIGURA 3.11- Asignación de Entradas	41

Capítulo 4

FIGURA 4.1 - Configuración palabra de entrada a la CPU.....	47
FIGURA 4.2 - Configuración palabra de entrada a la CPU.....	48
FIGURA 4.3 - Parámetros Iniciales Sensor de Nivel.....	49
FIGURA 4.4 - Parámetros Iniciales Sensor de Flujo.....	50
FIGURA 4.5 – Simulación Encendido Bomba 1.....	51
FIGURA 4.6 – Simulación Encendido Bomba 2	52



Índice de Tablas

Capítulo 3

Tabla 3.1 - Enclavamientos	20
Tabla 3.2 - Variables del proceso Monitoreadas.....	20
Tabla 3.3 - Alarmas.....	21
Tabla 3.4 - Tabla de Variables I.....	28
Tabla 3.5 - Tabla de Variables II.....	29
Tabla 3.6 - Resumen de Resultados Primer Escenario.....	32
Tabla 3.7 - Resumen de Resultados Segundo Escenario.....	32
Tabla 3.8 - Requerimientos para la selección del Sensor de Nivel	34
Tabla 3.9 - Cotización del Sensor de Nivel.....	34
Tabla 3.10 - Requerimientos para la selección del Manómetro.....	35
Tabla 3.11 - Cotización del Manómetro.....	36
Tabla 3.12 - Requerimientos para la selección del sensor de Flujo	37
Tabla 3.13 - Cotización del Sensor de Flujo.....	37
Tabla 3.14 - Requerimientos para la selección del sensor de pH.....	38
Tabla 3.15 - Cotización del sensor de pH.....	38
Tabla 3.16 - Fabricantes Recomendados.....	39
Tabla 3.17 - Asignación de Borneras.....	42

Capítulo 4

Tabla 4.1 - Configuración entradas analógicas.....	46
Tabla 4.2 - Configuración entradas analógicas.....	46
Tabla 4.3 - Configuración entradas analógicas.....	47

INTRODUCCION

El agua cumple un rol muy importante en las operaciones mineras. Para proyectos mineros nuevos o ampliaciones de mina el agua subterránea suele ser una buena alternativa de abastecimiento, ya que siempre está presente cerca a la mina o en ella misma.

La Minera Yanacocha se dedica a la exploración y producción de oro que se encuentra en las concesiones mineras de su propiedad. En la Planta Maqui Maqui las operaciones consisten en la exploración a tajo abierto, los minerales extraídos no requieren de molienda o tratamiento previo, en vista de que están compuestos por óxidos, material poroso y material de fácil percolación. Una vez que los minerales son extraídos de la solución, el precipitado es fundido, produciendo barras de doré (con contenido de oro y plata).

Como parte de su operación o por acción del bombeo y desagüe de la mina el sistema produce desechos de naturaleza ácida los cuales deberán ser vertidos en el medio ambiente y para neutralizar el efecto ácido dañino se cuenta con un sistema de bombeo y de neutralización.

Para evitar la contaminación, remediar la calidad del agua subterránea, se debe tratar el agua de drenaje de mina; erradicar los derrames de sustancias tóxicas e impermeabilizar las áreas de almacenamiento de materiales tóxicos. Evitando así el fastidio de las poblaciones aledañas.

En este caso para un proyecto minero es necesaria una adecuada evaluación que establezca la línea de base ambiental, la misma que necesariamente debe involucrar al componente agua subterránea. La evaluación de estos niveles permite predecir los impactos ambientales posibles y por tanto formular correspondientes medidas de mitigación y control.

En función a lo anterior se ha desarrollado la ingeniería de detalle del proceso de automatización del sistema de bombeo de aguas acidas.

CAPITULO 1

LA AUTOMATIZACION EN LA MINERIA

1.1 Automatización

La automatización industrial es el uso de elementos mecánicos, eléctricos o electrónicos para controlar procesos industriales substituyendo el trabajo del ser humano. Provee a los operadores humanos de mecanismos autónomos o semi autónomos para ayudarlos a extender sus capacidades físicas al realizar tareas conocidas por él, de una manera más eficiente y segura [1].

1.1.1 Tipos de Automatización

Existen cinco formas de automatizar en la industria moderna. Los tipos de automatización son [2]:

- Control Automático de Procesos, se refiere usualmente al manejo de procesos caracterizados de diversos tipos de cambios.
- El Procesamiento Electrónico de Datos, Frecuentemente es relacionado con los sistemas de información, centros de cómputo, etc.
- La Automatización Fija, es aquella asociada al empleo de sistemas lógicos tales como los sistemas de relevadores y compuertas lógicas.
- El Control Numérico Computarizado.
- La Automatización Flexible, lo poseen las maquinas de control numérico computarizado.

1.2 Automatización en el mundo moderno

En estos tiempos de calidad, las empresas que destacan en un ámbito global, son aquellas que aprovechan al máximo sus recursos, optimizan sus procesos y a la vez se comprometen a respetar el medio ambiente asegurando su preservación.

Hoy en día la automática se define como la ciencia de la automatización, la cual agrupa un conjunto de disciplinas teóricas y tecnológicas que intervienen en la concepción, la construcción y el empleo de sistemas automáticos como se puede observar en la Figura 1.1. El control automático se ha convertido en una parte importante e integral de los procesos modernos industriales y de fabricación.

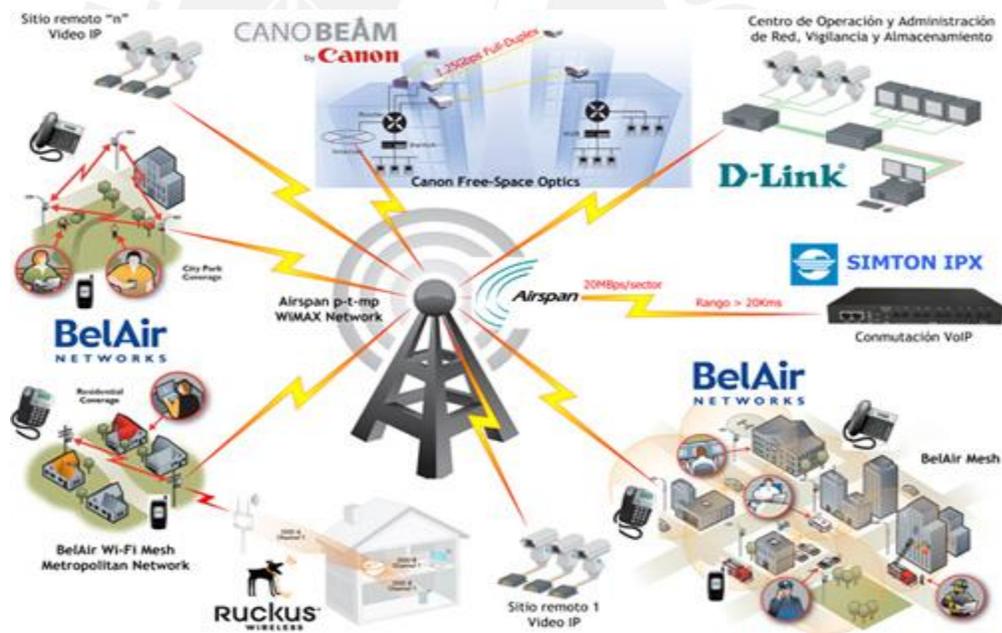


Figura 1.1. Ejemplo de Automatización moderna

1.3 Automatización en la minería

El papel que desempeña la automatización en la minería, se basa en el diseño y mejora de sistemas, que optimicen la utilización y consumo de recursos. El

uso de técnicas de control avanzado ayuda a predecir y prevenir situaciones inusuales que puedan causar daños en equipamientos clave, pérdidas de producción y consumo excesivo de energía.

Para lograr resultados óptimos se tiene que buscar una buena selección y aprovechamiento de la tecnología actual. En nuestros tiempos la variedad de los productos y equipos que facilitan el trabajo del hombre, además de añadir exactitud y precisión al mismo, brindando confiabilidad al combinar los diversos sistemas. Es esencial la utilización de la tecnología en las operaciones mineras para manejar con exactitud el control de presión, temperatura, humedad, viscosidad y flujo en el proceso.

1.4 Minera Yanacocha

1.4.1 Ubicación

Se encuentra ubicada en la provincia y departamento de Cajamarca a 600 kilómetros al noreste de la ciudad de Lima. Su zona de operaciones está a 45 kilómetros al norte del distrito de Cajamarca, entre los 3500 y 4100 metros sobre el nivel del mar como se muestra en la Figura 1.2. [6].



Figura 1.2. Vista General Minera Yanacocha

1.4.2 Automatización en Yanacocha

Las diferentes etapas del proceso que parten desde la extracción del mineral hasta la producción de las barras dore es automatizado. Partiendo desde el proceso de lixiviación en pilas hasta el proceso Merrill Crow [6].

Proceso de lixiviación en pilas

Es un sistema automatizado de goteo, vierte una solución cianurada de 50 miligramos por litro de agua sobre la pila de lixiviación donde se acumula el mineral extraído como se muestra en la Figura 1.3.

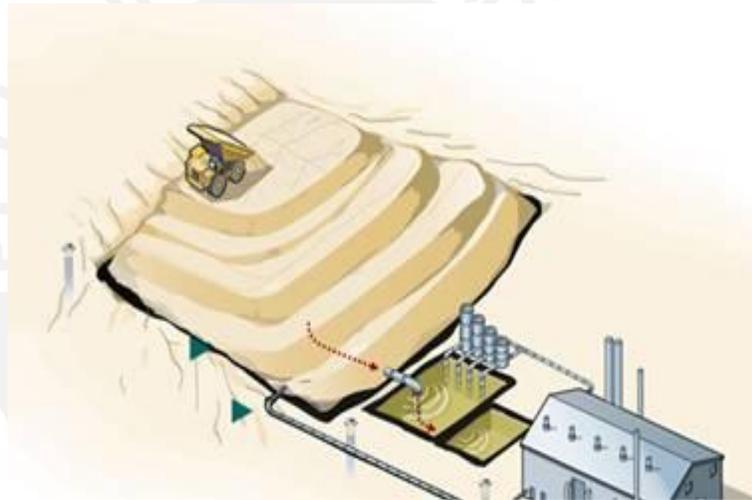


Figura 1.3. Proceso de lixiviación en pilas

Proceso Gold Mill

La planta Gold Mill (Molino de Oro) extrae el metal que no puede ser obtenido mediante la lixiviación en pilas. El oro se recupera en la planta Gold Mill en 24 horas, en el proceso de lixiviación en pilas en casi 60 días. Como podemos ver en la Figura 1.4.



Figura 1.4. Proceso Gold Mill

Columnas de Carbón

Proceso que permite concentrar la cantidad de oro que hay en la solución rica, para luego recuperarlo en el proceso Merrill Crowe, el cual se da en dos etapas como observamos en la Figura 1.5. La primera es la etapa de desorción, en la que haciendo circular una solución cianurada, se saca el oro atrapado en la superficie del carbón activado. La segunda etapa es la de adsorción; en ella se pasa la solución rica a través de columnas cargadas con carbón activado, para que el oro sea atrapado en los poros del carbón.

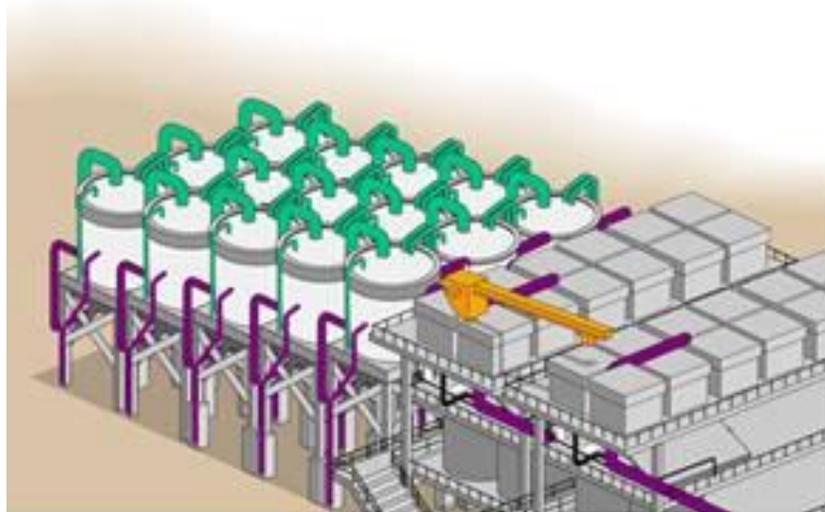


Figura 1.5. Columnas de Carbón

Merrill Crowe

Es el proceso en el cual se elimina el oxígeno a la sustancia rica en oro, se añade polvo de zinc para precipitar el metal y hacerlo sólido. El producto del Merrill Crowe es el que luego pasa al proceso de refinería, como observamos en la Figura 1.6.

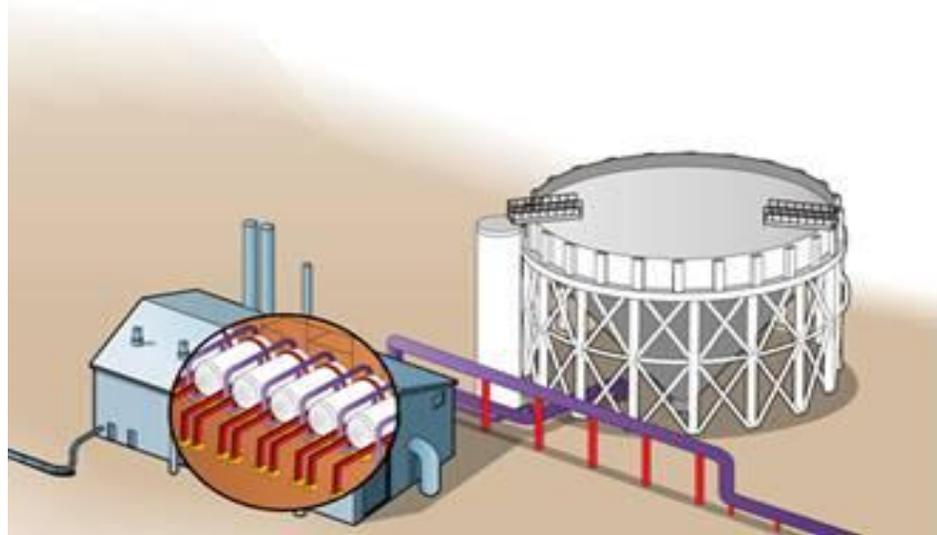


Figura 1.6. Proceso Merrill Crowe

1.5 Marco Problemático Maqui-Maqui

El agua es un bien necesario que es importante en el desarrollo de cualquier proceso. Por acción de desagüe y bombeo en las minas, produce cierto nivel de contaminación que afecta a las poblaciones aledañas. La contaminación generada durante todo el proceso minero en Yanacocha es evacuada hacia unas grandes pozas en la zona denominada Maqui Maqui.

Se busca la creación de una planta automatizada para el proceso de bombeo de aguas ácidas.

1.5.1 Hipótesis principal

Para la optimización del proyecto se usará instrumentación de campo y de control de última tecnología. Para la selección de la instrumentación adecuada

se tiene que identificar las variables de proceso desarrollando la ingeniería de detalle del proyecto.

1.5.2 Hipótesis secundaria

Con la correcta disposición de los instrumentos y una operación óptima del sistema de control se debe evitar el sobre-llenado en la poza de almacenamiento de aguas acidas; también se debe asegurar la protección de las bombas tras la ausencia de flujo.



CAPITULO 2

IDENTIFICACION DE LAS VARIABLES DEL PROCESO

2.1 Presentación del asunto de estudio

La minería para satisfacer sus necesidades de agua, se abastece principalmente de agua superficial (ríos, lagunas), en otros casos y mayormente en forma casual utiliza el agua subterránea. Por acción de desagüe y bombeo de minas se producen variaciones de los niveles freáticos y cambios localizados en el caudal de los manantiales y en la dirección del flujo; mientras que por acción de la lixiviación de sulfuros se producen alteraciones en la calidad del agua (aguas ácidas).

Desde hace un tiempo las normas medio-ambientales establecidas por el ministerio de energía y minas (MEM), han contribuido en minimizar los referidos impactos implementando programas de adecuación al medio ambiente (PAMA), también mediante estudios de impacto ambiental (EIA) y los planes de cierre de minas. Actualmente las empresas mineras, dentro de su zona de operación crean plantas de tratamiento de agua ácidas. Mediante la ayuda de floculantes y coagulantes tratan a las aguas ácidas, separando las partículas metálicas que afectan al agua, eliminando estos compuestos y así se les devuelve al medio ambiente.

2.2 Estado de la investigación

Los instrumentos de medición y control están universalmente aceptados. Hoy en día es inimaginable la existencia de una industria moderna sin instrumentos.

El proceso de planear y diseñar abarca actividades y eventos que parten desde reconocer el problema y la especificación de la solución del mismo. Esta solución tiene que ser funcional, económica y satisfactoria.

Se aplicara ciertos conocimientos, habilidades, actitudes y procedimientos principalmente para la aplicación de aparatos de medición o control a un proceso determinado para determinar la identidad o magnitud de cierta variable física y controlar estas variables bajo limitaciones específicas. También la habilidad para especificar la instalación de instrumentación en el proceso por medio de la elaboración y manejo de criterios, hojas de datos, diagramas, documentos y tablas siguiendo procedimientos y técnicas de códigos y estándares determinados.

La ejecución del proyecto equivale a establecer, detallando sucesivamente y manipulando una descripción del sistema y/o del proceso, cambiar o crear el sistema o proceso, de acuerdo con tal descripción, por medio de las diferentes etapas con las que consta la ingeniería desde el punto de vista de instrumentación y control.

2.3 Ingeniería Básica del Proceso

El proyecto considera el desarrollo de un sistema de bombeo de aguas ácidas desde la poza de almacenamiento sur (poza A), ubicada en la zona sur de la ampliación del depósito de desmonte Maqui Maqui, hasta la poza de almacenamiento y control norte (poza B), ubicada en la ex-cantera Cenizo Como podemos observar en la Figura 2.1. (Ver ANEXO N° 2: LISTA DE DOCUMENTOS [6]).

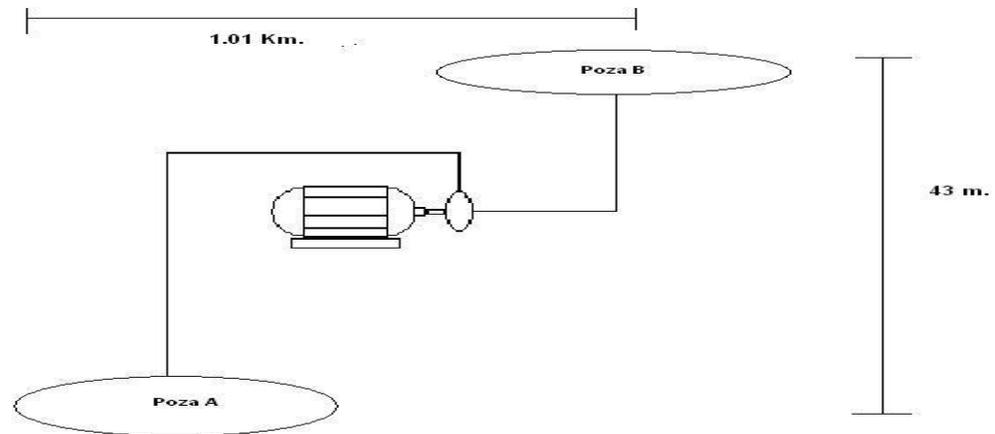


Figura 2.1. Ingeniería Básica del Proyecto

2.4 Sistema de Control del Proceso

Las pozas deben de tener un sistema de telemetría (medición de niveles mediante sensores, para determinar la profundidad, secciones transversales y volumen existente en las pozas); con un sistema de protección enlazado a planta y manejo de aguas (el sistema de protección consiste en sensores de presión y sensores de flujo para bloquear el bombeo) de tal manera que en caso de ruptura en la tubería se accione el sistema de protección e interrumpa inmediatamente el bombeo.

2.4.1 Sensores

Con los sensores se realizaran las operaciones de medición en el sistema de control. En el sensor se produce un fenómeno mecánico o eléctrico, este cambio es relacionado a la variable de proceso que se mide [4].

2.4.2 Transmisores

Es un instrumento que capta la variable en proceso y la transmite a distancia a un instrumento indicador o controlador. La función primordial de este dispositivo

es tomar cualquier señal para convertirla en una señal estándar adecuada para el instrumento receptor [4].

2.4.3 Válvulas

Las Válvulas son dispositivos mecánicos cuya función es la de controlar los fluidos en un sistema de tuberías por apertura, cierre u obstrucción parcial de la zona del paso o por derivación o mezcla del mismo [4].

2.4.4 Válvulas de Control

Las válvulas de control son los elementos finales de control más usados y se les encuentra en las plantas de proceso, donde manejan flujos para mantener en los puntos de control a las variables que se deben controlar. Haciendo una analogía, se encuentra que la válvula de control actúa como una resistencia variable en la línea de proceso; mediante el cambio de su apertura se modifica la resistencia al flujo y en consecuencia el flujo mismo. Las válvulas de control son en sí reguladores de flujo [4].

2.4.5 Dispositivos de entrada

Los dispositivos de entrada permiten establecer el diálogo hombre-máquina para que el operador pueda gobernar el funcionamiento correcto de las máquinas instaladas, verificando condiciones de arranque, alterando el proceso, realizando paradas de emergencia, verificando el estado del proceso, entre otros. Un ejemplo de estos dispositivos son los paneles de operador; estos se encargan de intercambiar información entre los automatismos y los operadores permitiendo la modificación de los valores de las variables en forma amigable. Entre las marcas que ofrecen estos dispositivos se pueden mencionar: Siemens, Allen Bradley, Unitronix. Los paneles de operador generalmente pueden formar parte de redes industriales de comunicación como: Data Highways, DeviceNet, ControlNet, FieldBus, Profibus e incluso a través de la red local de comunicación en planta vía Ethernet. Hoy en día existen en el mercado en las siguientes presentaciones: paneles alfanuméricos,

paneles gráficos, paneles táctiles e incluso se encuentran dispositivos que tienen la función HMI+PLC integrada [5].

2.4.6 Controlador

Un componente importante en un sistema de control es el controlador. En este contexto, en la actualidad se puede utilizar para el control de sistemas industriales: una PC, un PLC o un PAC. En la última década, expertos en la industria y editores predijeron que el control basado en la PC finalizaría el régimen de los controladores de lógica programables (PLC) en el control industrial. Se pensaba que la PC se convertiría en la plataforma fundamental de la Automatización Industrial. Sin embargo, al día de hoy los PLC continúan dominando la mayoría de las fábricas para aplicaciones de control de procesos y máquinas. Aunque muchos ingenieros han evaluado el uso de la PC para funciones como control, conectividad con base de datos, aplicaciones basadas en web y comunicación con dispositivos externos, la PC no ha podido competir con el PLC para aplicaciones basadas en control; sin embargo, hoy en día existe una tercera opción que son productos que ofrecen una combinación de la PC y del PLC. El grupo de analistas de la industria ARC utiliza el término "controladores de automatización programables" (PAC) para estos controladores híbridos. Los PAC combinan las mejores características de la PC, incluyendo el procesador, la RAM, y software potente, con la confiabilidad, dureza, y naturaleza distribuida del PLC. Los PAC combinan el empaque y dureza del PLC con la flexibilidad y funcionalidad de software de la PC. Estas nuevas plataformas son ideales para control sofisticado y registro de datos en ambientes rudos. El soporte técnico de National Instruments, muestra en una publicación el siguiente cuadro comparativo en relación a los controladores mencionados [14].

En la Figura 2.2., observamos el cuadro comparativo de los controladores mencionados en el cual se muestra algunas características importantes del controlador, y cuál de ellos las posee.

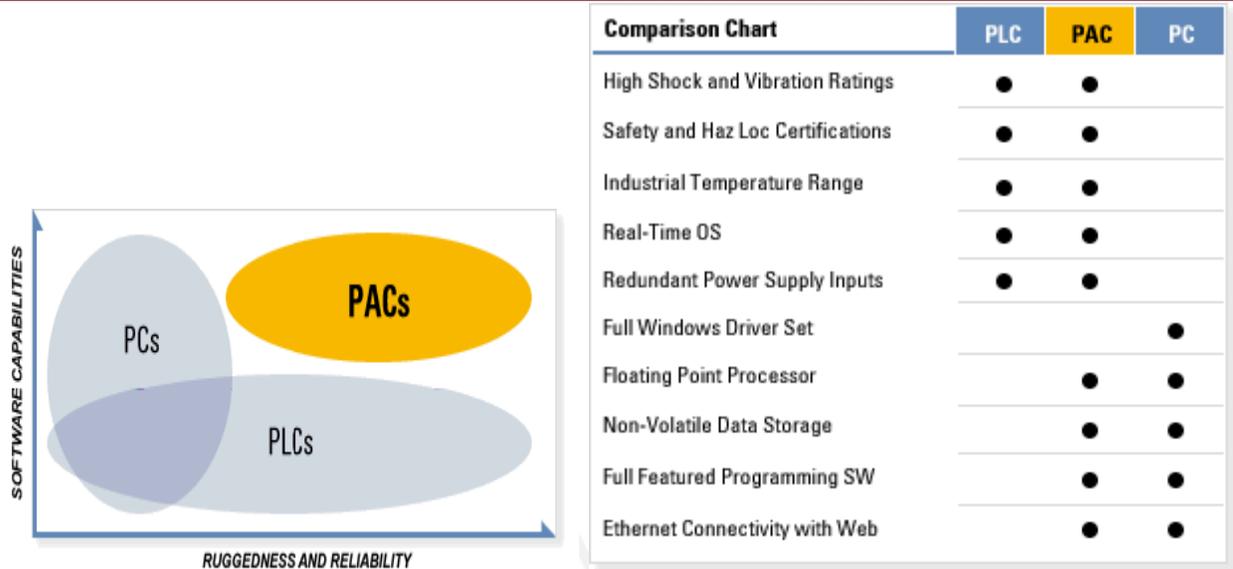


Figura 2.2. Comparación entre una PC, un PLC y un PAC

2.4.7 Redes de Comunicación Industrial

Las comunicaciones industriales son aquellas que permiten el flujo de información del controlador a los diferentes dispositivos a lo largo del proceso de producción: detectores, actuadores, otros controladores. El objetivo primario del sistema de comunicación es el de proporcionar el intercambio de información entre dispositivos remotos. Este intercambio de información puede realizarse en base a distintas tecnologías. Los buses de comunicación industrial usados actualmente se eligen de acuerdo a los requerimientos de la automatización. A continuación se muestra la pirámide de automatización donde se mencionan cuatro niveles asociados a cuatro tipos de buses diferentes como se observa en la Figura 2.3. En función a los niveles de automatización, como se observa en la Figura 2.4. Se muestra los buses usados en cada nivel tomando como referencia una marca europea (Siemens) y una marca americana (Rockell Automation). Cada red de comunicación establece estándares y normas como distancias máximas de trabajo, número de puntos a conectar; etc. [18].

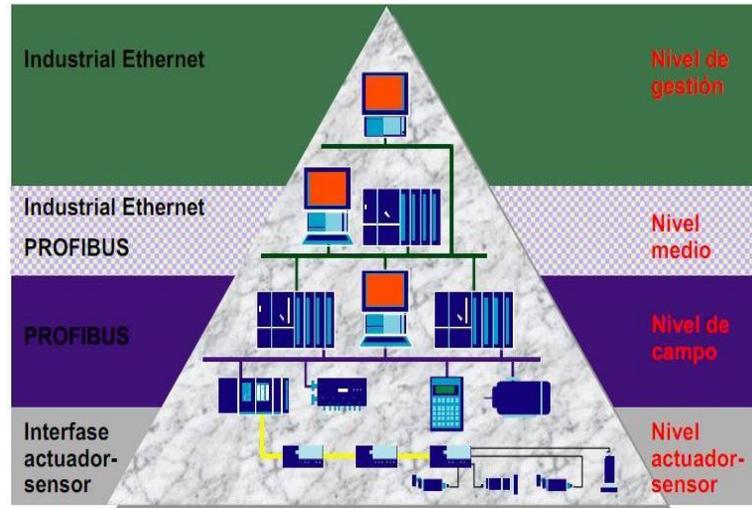


Figura 2.3. Niveles de Automatización

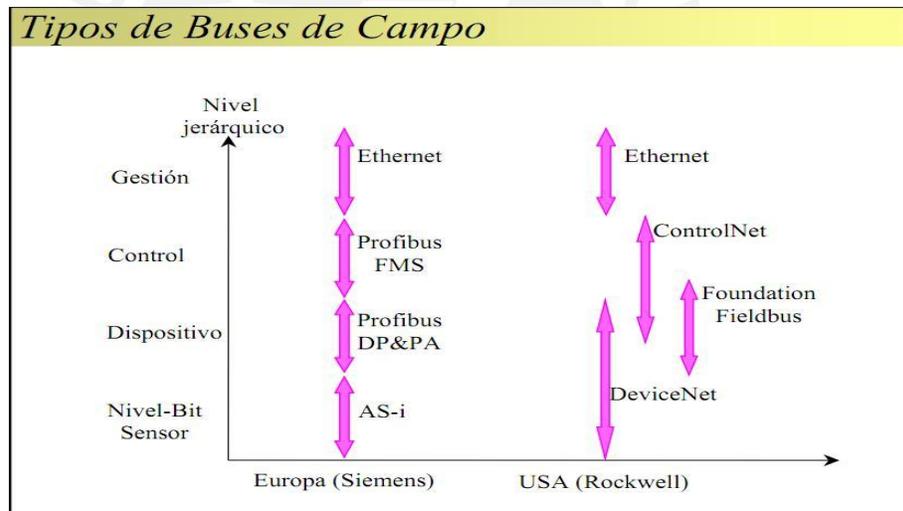


Figura 2.4. Redes de Comunicación en distintos niveles de automatización

CAPITULO 3

INGENIERIA DE DETALLE DEL PROCESO

3.1 Descripción general de zonas a controlar

El diseño de automatización propone la integración de: un Controlador Logico Programable (PLC), sensor de nivel, sensor de flujo, sensor de pH, sensores de presión y actuadores (Bombas).

La propuesta tiene como alcance diseñar un sistema de automatización para el sistema de bombeo de aguas acidas en Maqui Maqui. A continuación se mencionarán las características de dichas áreas con la finalidad de definir el tipo de control que gobernará el encendido y apagado de las bombas.

3.1.1 Poza de Almacenamiento Sur (Poza A)

Es la zona donde se almacenan las aguas acidas generadas durante todo el proceso. Para determinar el momento en el cual las bombas sumergibles deben empezar el proceso de bombeo, se utilizara un sensor transmisor de nivel, que nos indicara si el nivel del agua ya ha sobrepasado el mínimo requerido. El nivel mínimo se establece referencialmente en 10% de la altura de la poza.

3.1.2 Línea de descarga de bombas

Cuando las bombas empiezan a trabajar, el fluido es evacuado hacia la poza B a través de unas tuberías de descarga. En la línea de descarga de las bombas se colocaran indicadores de presión (manómetros), los cuales mostraran la presión en la estación de control.

Se colocara también sensores de flujo para saber la velocidad de evacuación de las aguas acidas desde la poza A hacia la poza B. Esta información nos será muy útil, ya que el funcionamiento de las bombas va estar comandado con la velocidad con la que el flujo es evacuado.

3.1.3 Poza de Control Norte (Poza B)

Es el tramo final de la línea de descarga hacia la poza B. En este tramo se necesitara saber el pH con el cual llegaran las aguas acidas hacia la poza de control, ya que en la etapa posterior al bombeo de aguas acidas, se pasa a la etapa de neutralización.

Se necesita saber los valores de pH medidos en la etapa final del proceso, para poder proceder a la utilización de las sustancias químicas necesarias para la neutralización de la misma. Por ello es necesario colocar un sensor transmisor de pH.

3.2 Especificaciones complementarias en el diseño

El sistema de automatización propone presentar posteriormente al usuario las siguientes opciones complementarias:

- Sistema de Base de Datos:
Opción de guardar mensualmente los valores registrados por los sensores durante el proceso.
- Sistema de seguridad:
Generación de alarmas para registrar los accesos al sistema.

- Red de Comunicación entre Controladores y Panel de Operador.

3.3 Variables internas en el diseño

Resultado de este planteamiento, se realiza un análisis preliminar al desarrollo del diseño con la finalidad de identificar las variables internas que se ven involucradas en el tema de estudio. Las variables internas permiten identificar problemas que pueden presentarse durante el desarrollo de la idea propuesta producto de un análisis preliminar al diseño, para los cuales pueden encontrarse muchas veces soluciones viables o en caso de no poder evitarse sirven para ser identificados como restricciones o limitaciones del diseño.

En la Figura 3.1 se muestra el diagrama de flujo de las variables internas en el diseño del sistema de automatización de bombeo de aguas acidas, se considera parte de hardware y software. Así mismo en la Figura 3.2 se muestra el diagrama de flujo de las variables internas para el proceso de operación. Posteriormente se hace una descripción de cada variable identificada.

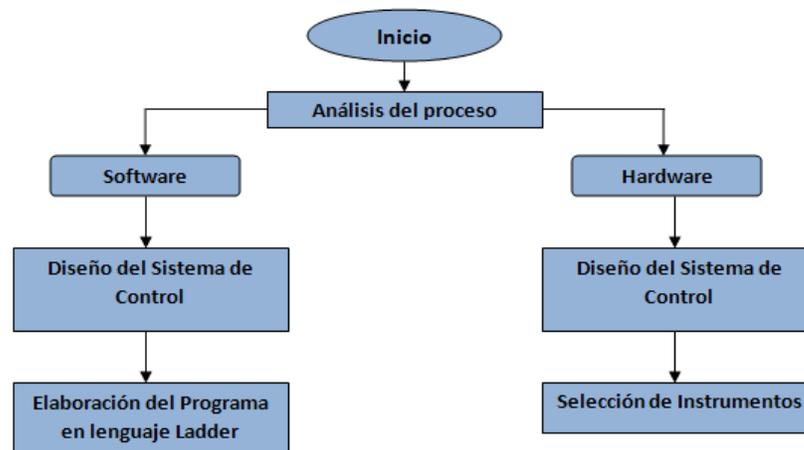


Figura 3.1. Diagrama de Flujo de Variables Internas en el Diseño del Sistema de Automatización de bombeo de aguas acidas.

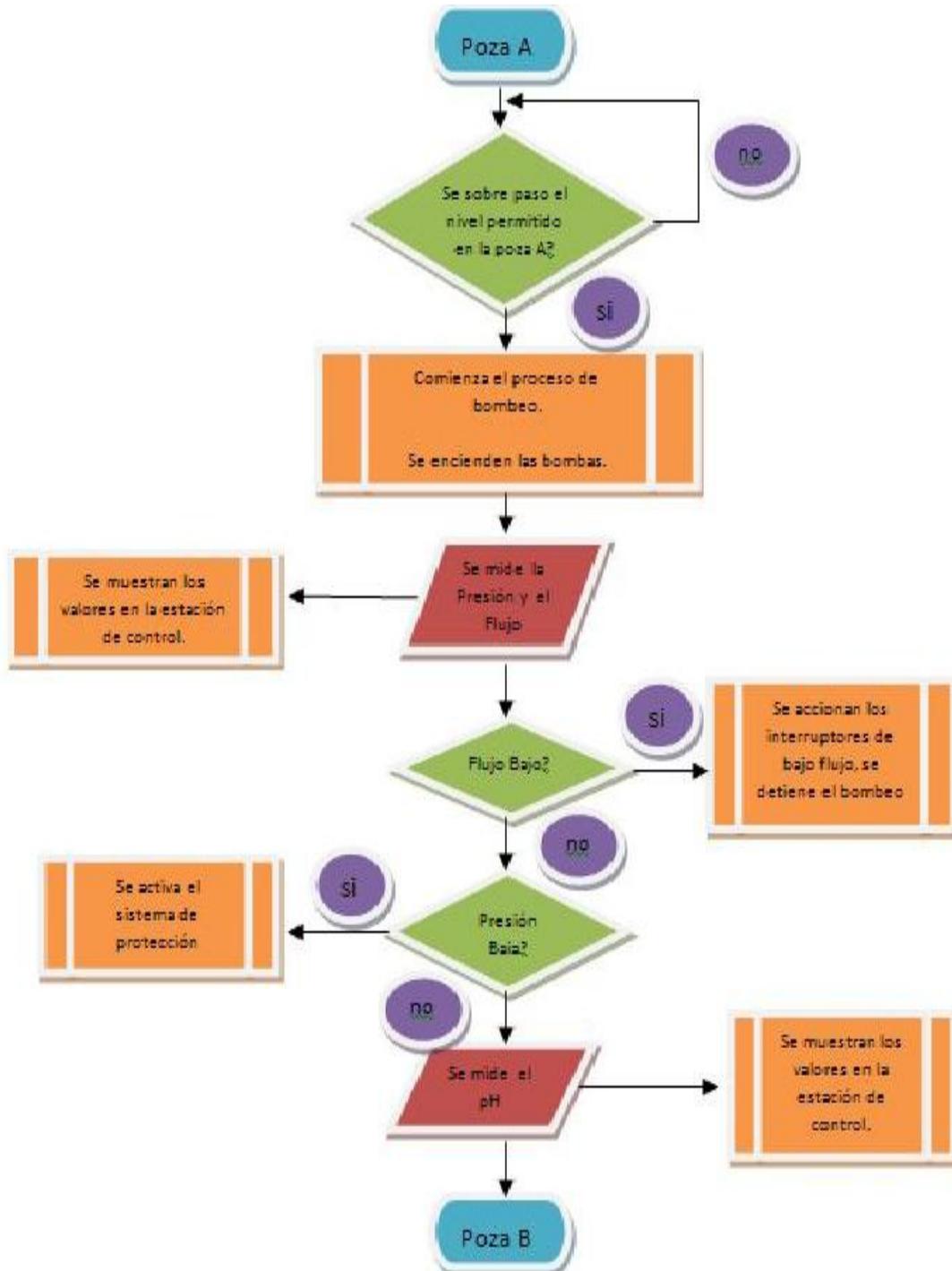


Figura 3.2. Diagrama de Flujo de Variables Internas en la Operación y Control en Modo Manual y Automático

3.4 Diseño del Sistema de Automatización

3.4.1 General

El sistema de control para el proceso de control y supervisión está constituido por un controlador de lógica controlable PLC Siemens, modelo Simatic S7-200, que está ubicado en la Sub-estación eléctrica Poza Sur. El PLC controla el arranque y la parada de los equipos, así como a los lazos de control asociados. El sistema de control arranca y/o para automáticamente los equipos en base a las señales de procesos y enclavamientos, según se requieran (ver ANEXO N° 1: LISTA DE PLANOS [5]... [9]).

La estación de trabajo existente, ubicada en la sala de control es la interfaz del sistema de control con el operador. En esta estación de trabajo se visualizan y monitorean las señales de proceso, el estado de los equipos (Funcionado/Parado/Falla), el estado de activación de los enclavamientos y alarmas, y permiten modificar los valores de referencia y parámetros de los controladores, según se requieran (ver ANEXO N° 1: LISTA DE PLANOS [1]).

La interconexión entre el arreglo de conectores; patch panel; del gabinete de comunicaciones y la estación de supervisión de la sala de control es vía fibra óptica a través de una caja de empalme; splice box; de la red de distribución de fibra óptica existente.

3.4.2 Lazos de Control

El sistema de control está diseñado para evitar el sobre-llenado en la poza de almacenamiento Sur y para proteger a las bombas ante la ausencia de flujo (nivel bajo en el tanque). Los enclavamientos y permisivos para el sistema de bombeo de aguas ácidas cuyo objeto es prestar protección adecuada se observan en la Tabla 3.1.

TAG	ENCLAVAMIENTOS
PU-001	(NOT FAL-003) AND (NOT LALL-007)
PU-002	(NOT FAL-006) AND (NOT LALL-007)

Tabla 3.1. - Enclavamientos

3.4.3 Variables del proceso monitoreadas

Las variables monitoreadas en la estación de supervisión de la sala de control se pueden observar en la tabla 3.2.

TAG	Descripción
LI-007	Indicación de Nivel en Poza de Almacenamiento Sur.
FI-008	Indicación de caudal en manifold de descarga de agua ácida.
FQ-008	Indicación de caudal totalizado en manifold de descarga de agua ácida.
AI-008	Indicación de pH de agua acida en manifold de descarga de agua ácida.
XA-008	Señal de monitoreo que indica falla de batería de la fuente del Surge Commander IV de la válvula anticipadora de onda PRV-011.

Tabla 3.2. Variables del Proceso Monitoreadas

3.4.4 Alarmas

Las alarmas generadas en la estación de supervisión son las que se muestran en la Tabla 3.3.

TAG	Descripción
LAL-007	Nivel Bajo en poza de Almacenamiento Sur.
LALL-007	Nivel Muy-Bajo en poza de Almacenamiento Sur.
FAH-008	Caudal Alto en manifold de descarga de agua ácida.
FAL-008	Caudal Bajo en manifold de descarga de agua ácida.
FALL-008	Caudal Muy-Bajo en línea descarga de agua ácida.
FAL-003	Caudal Bajo en línea de descarga de bomba PU-001.
FAL-006	Caudal Bajo en línea de descarga de bomba PU-002.
XA-008	Detección de falla de batería de la fuente del Surge Commander IV de la válvula anticipadora de onda PRV-011.

Tabla 3.3. Alarmas

3.5 Filosofía de Control

3.5.1 Control Discreto

Las selecciones manual/automático y local/remoto y otras secuencias son comunes para el funcionamiento de operación y parada de bombas.

Con la selección local/remoto; en funcionamiento remoto el equipo puede ser arrancado o parado desde la sala de control, las botoneras pulsadores de campo son deshabilitadas.

El cambio de modo remoto/local, en el selector local debe parar el equipo. En operación local, el equipo puede ser comandado localmente desde una botonera local ubicada en campo y cercana al equipo. El enclavamiento del proceso permanecen deshabilitados en modo local.

La orden de campo “stop” siempre está disponible, donde sea (por razones de seguridad). La opción local/remoto cubre también a los equipos asociados de la

estación de bombeo con el objeto de prestar protección adecuada contra el golpe de ariete a las bombas PU-001 y PU-002.

Para el sistema de control los enclavamientos se consignan como: de seguridad o protección, enclavamientos de proceso y permisivos.

3.5.2 Objetivos

Objetivo General

- Diseñar un sistema de automatización industrial para el sistema de bombeo de aguas acidas aplicado en la zona sur de la ampliación del depósito de desmonte Maqui Maqui en la minera Yanacocha.

Objetivos Específicos

- Elaboración del P&ID (Diagrama de instrumentación y tuberías)
- Dimensionamiento de sensores.
- Selección de sensores y actuadores.
- Diseño de un programa en lenguaje ladder para controlar la secuencia de encendido y apagado de las bombas en función a los datos obtenidos por los sensores de nivel y de flujo.

3.6 Diagrama de Bloques

Al ser especificadas las tecnologías de control que se desarrollarán para el sistema de automatización, se presenta el diagrama de bloques de los subsistemas involucrados, los cuales consideran parte de Hardware y Software que serán desarrollados en las siguientes páginas como se observa en la Figura 3.3:



Figura 3.3. Diagrama de bloques del sistema de bombeo

3.7 Disposición de instrumentos

Para el diseño del plano de instrumentación y tuberías (P&ID), se genero dos posibles escenarios. La primera alternativa de diseño se baso en la utilización de una sola bomba operando según las condiciones generadas en nuestro diagrama de flujo de variables internas en la operación y control como podemos observar en la figura 3.4.

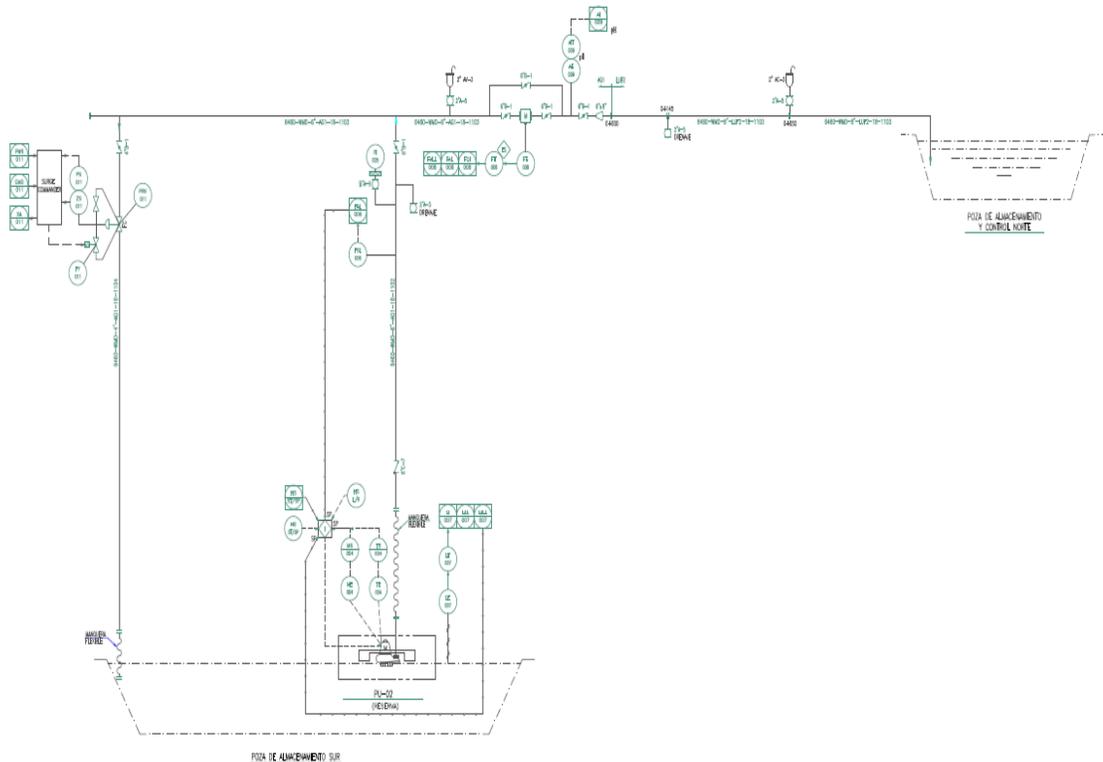


Figura 3.4. Diagrama de Instrumentación y Tuberías Primer Escenario

La segunda alternativa de diseño se basa en la utilización de dos bombas, una de las cuales será el resguardo de la otra en caso falle. Los lazos de control que gobernarán el funcionamiento de este segundo escenario serán similares a la primera alternativa de diseño con la única diferencia que durante el proceso se podrá utilizar ambas bombas en caso el flujo generado en la línea de descarga hacia la poza de control sea muy bajo. En la figura 3.5 podemos observar nuestro diagrama de instrumentación y tuberías para nuestro segundo escenario con los lazos de control definidos.

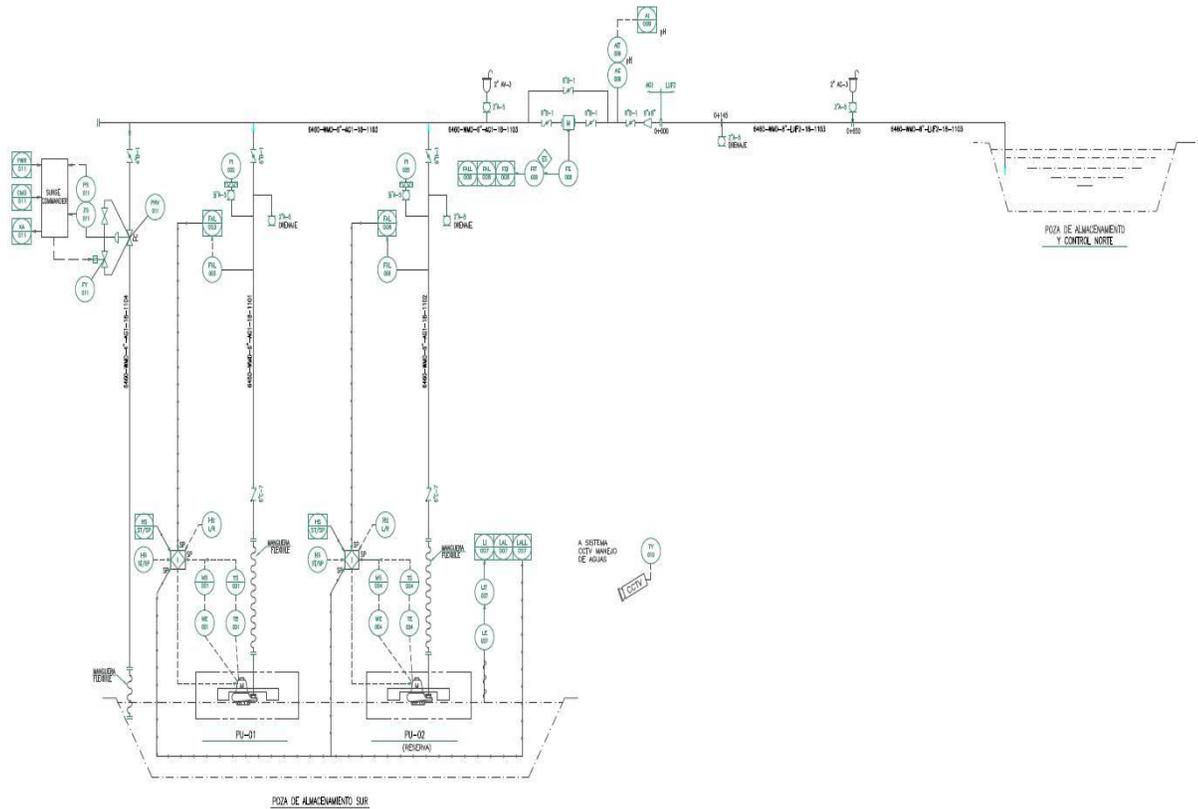


Figura 3.5. Diagrama de Instrumentación y Tuberías Segundo Escenario

La disposición de instrumentos generada en base al desarrollo de nuestro segundo escenario indica que el sensor de flujo será colocado en la línea de descarga de ambas bombas, ya que el flujo comandara en primer lugar una

sola bomba en funcionamiento o en caso se genere bajo flujo accionara ambas bombas.

El sensor de pH ira también en la línea de descarga de ambas bombas ya que se necesita informar al siguiente proceso el valor de pH manejado durante el sistema automatizado de bombeo. Este sensor también puede ir colocado en cada línea de bombeo pero redundara en resultado al ser accionadas ambas bombas, además se generaría un gasto al ser adquiridos dos sensores, cuando solo bastaría con colocar uno en la línea de descarga hacia la poza de control.

3.8 Selección de Instrumentos

Para la selección de instrumentos, se tomaran los parámetros de entrada en campo. Estos parámetros serán introducidos y trabajados en el software AFT FATHOM 7.0, el cual nos brindara los resultados de presiones y flujos tanto mínimos y máximos generados en las líneas de proceso.

3.8.1 Parámetros de entrada

Los siguientes datos fueron obtenidos en campo:

Condiciones Ambientales

Temperatura Ambiente:	10 °C
Presión Atmosférica:	0.65 bar

Características de la Ruta

Cota fondo Poza sur:	3999 msnm
Cota superior Poza sur:	4006 msnm
Cota fondo Poza norte:	4031 msnm
Cota superior Poza norte:	4037 msnm
Cota máxima del tramo sur-norte:	4049 msnm
Longitud total de tramo:	1010 m

Características del Fluido

Nombre de fluido:	Mine Well Water (WMD)
Presión de vapor:	0.0085 bar (PV agua a 5 °C)
Viscosidad Dinámica:	1.52 cp.
Gravedad Específica:	1.1
PH:	1 - 3

Condiciones de Operación para cada bomba

Caudal de operación:	20 litros/seg. (72 m ³ /h)
Factor de diseño para flujo:	1.15
Caudal de Diseño:	23 litros/seg. (82.8 m ³ /h)
Límite de Velocidad de flujo	1 – 3 m/s

Consideraciones de dimensionamiento de tubería principal

Caudal de operación máximo:	40 litros/seg.
Factor de diseño para flujo:	1.15
Caudal de Diseño:	46 litros/seg. (165.6 m ³ /h)

Los cálculos considerarán dos alternativas de diseño:

Primer escenario: Considera calcular el sistema de bombeo teniendo sólo una bomba operativa.

El segundo escenario: considera calcular dos bombas operativas, ambas operando con un caudal total de 165.6 m³/h.

Otras Consideraciones

Se asumirá una eficiencia de 35% para cada bomba, de manera que la potencia calculada pueda cubrir la potencia de demanda de las bombas a comprarse posteriormente.

Por la geometría del terreno se considerará que la tubería tendrá quiebres pronunciados por lo cual se asumirán codos de 45° cada 10 metros y codos de 90° cada 100 metros.

Se asumirá un 10% adicional por pérdidas por envejecimiento en tuberías.

Así mismo se considera también un factor de seguridad de pérdidas de 1.2 en tuberías y accesorios.

Se tomará como referencia las curvas de las bombas existentes para analizar su comportamiento frente al nuevo requerimiento de flujo.

3.8.2 **Fundamento teórico empleado por el Software AFT FATHOM 7.0**

El desarrollo de los cálculos para el diseño de bombeo de aguas o pulpas (mezcla sólido - líquido) se basa en los criterios de diseño de tuberías y en los conceptos de mecánica de fluidos. Todos los cálculos para el presente estudio han sido desarrollados usando el Software AFT FATHOM 7.0, el cual se basa en los siguientes criterios:

Método de eliminación Gaussiana, para resolver ecuación de energía en cualquier punto del sistema. Para líquidos incompresibles, la energía en cualquier punto del sistema se calcula según la fórmula:

$$H \doteq \frac{v^2}{2g} \dot{G} \frac{p}{\rho} \dot{G} Z \dot{G} h_{perdidas}$$

Ecuación de Darcy-Weisbach, para el cálculo de pérdidas en las tuberías según la fórmula:

$$h_f \doteq f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Ecuación de Colebrook-White, para determinar el coeficiente de fricción f según la fórmula:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2.3 \log \left[\frac{2.51}{Re \sqrt{f}} + \frac{\epsilon}{3.71 D} \right]$$

Para calcular las pérdidas locales en válvulas y accesorios el AFT FATHOM 7.0 cuenta con una base de datos que se basa en la fórmula:

$$hf = K \frac{v^2}{2g}$$

Para determinar la potencia de la bomba (BHP), el AFT FATHOM 7.0 utiliza la fórmula:

$$P = \frac{Q \cdot H \cdot S}{102 \cdot \eta}$$

Donde:

Variable	Significado
H	Energía Total (m)
v	Velocidad (m/s)
g	Aceleración de la gravedad (9.807 m/s ²)
P	Presión (N/m ³)
y	Peso Especifico (N/m ³)
Z	Elevación respecto al plano de referencia (m)
D	Diámetro de la tubería (mm)
ε	Rugosidad de la tubería (mm)
Re	Número de Reynolds
P	Potencia de la Bomba kW
H	Altura dinámica de Bombeo (m.c.a)
Q	Caudal (l/s)
S	Gravedad Especifica del fluido
n	Eficiencia de la bomba

Tabla 3.4. – Tabla de variables I

Espesor de tubería de acero, según la norma ASME B31.3:

$$t = \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S \cdot E + P \cdot Y)}$$

Variable	Significado
t	Espesor de diseño para presión interna (pulg)
P	Presión de diseño interna (psi)
D	Diámetro exterior de la tubería (pulg)
S	Esfuerzo permisible del material
Y	Coefficiente de material
E	Factor de calidad

Tabla 3.5. – Tabla de variables II

3.8.3 Resultados

Para generar los resultados que permitan el dimensionamiento de los sensores en la línea de descarga hacia la poza de control se llevo el plano de instrumentación y tuberías al entorno del Software AFT FATHOM 7.0 como podemos observar en la Figura 3.4.

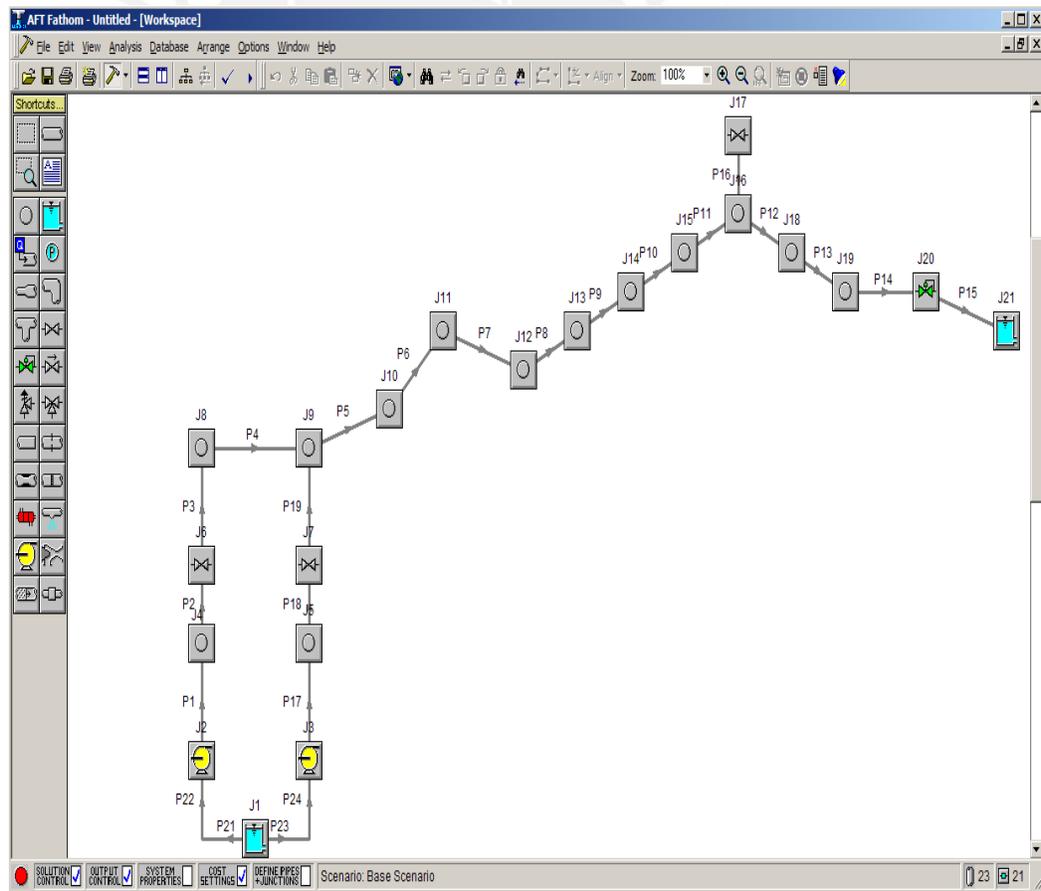


Figura 3.6. Plano de Instrumentación y Tuberías en el entorno del Software AFT FATHOM 7.0

Una vez que tenemos implementado el proceso en el entorno del Software AFT FATHOM 7.0, se configura el proceso con los parámetros de entrada obtenidos en campo como podemos observar en la Figura 3.5.

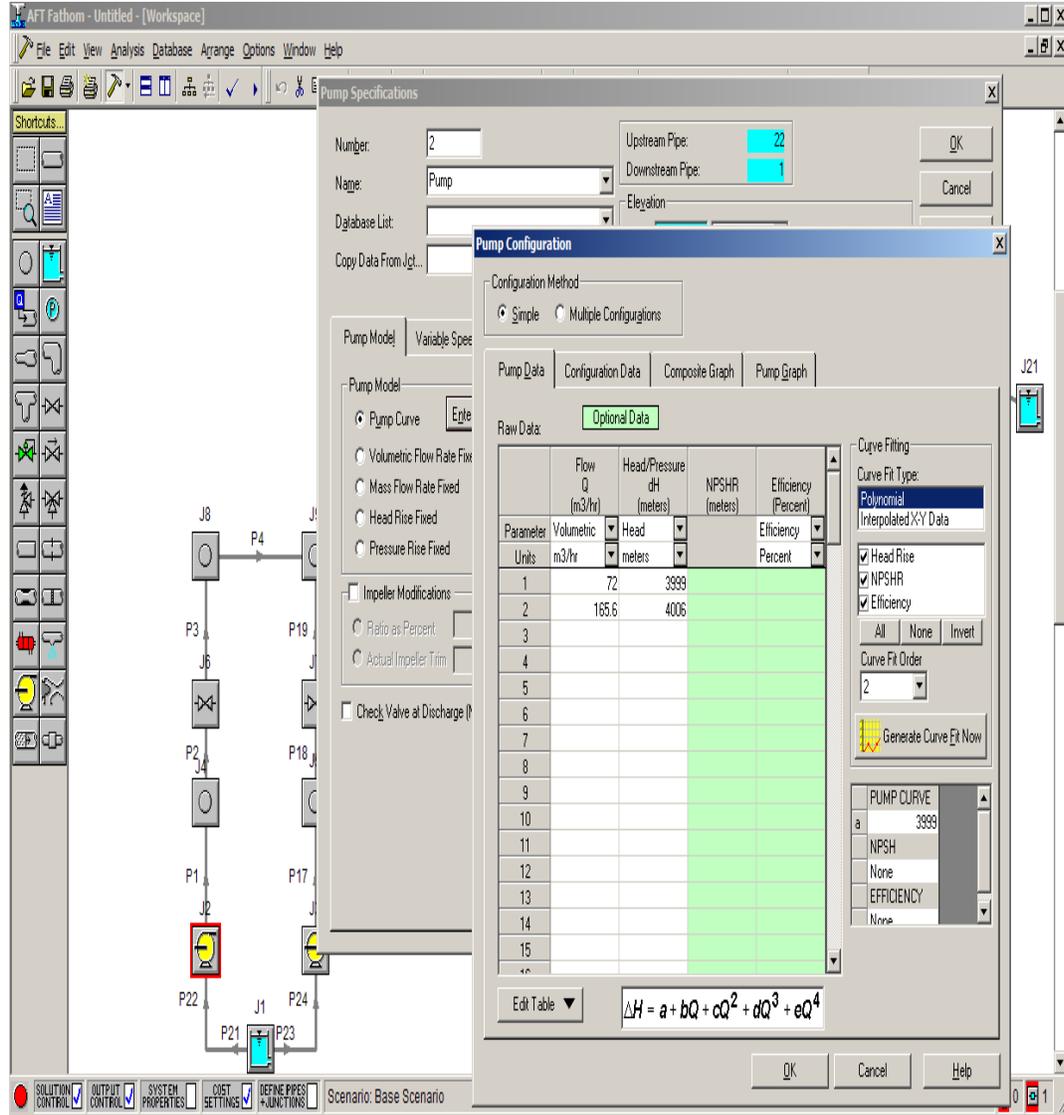


Figura 3.7. Configuración de los Parámetros de Entrada en el entorno del Software AFT FATHOM 7.0

Una vez terminada la configuración, se corre el programa. El resultado que se obtiene es el dimensionamiento por línea como podemos observar en la Figura 3.6.

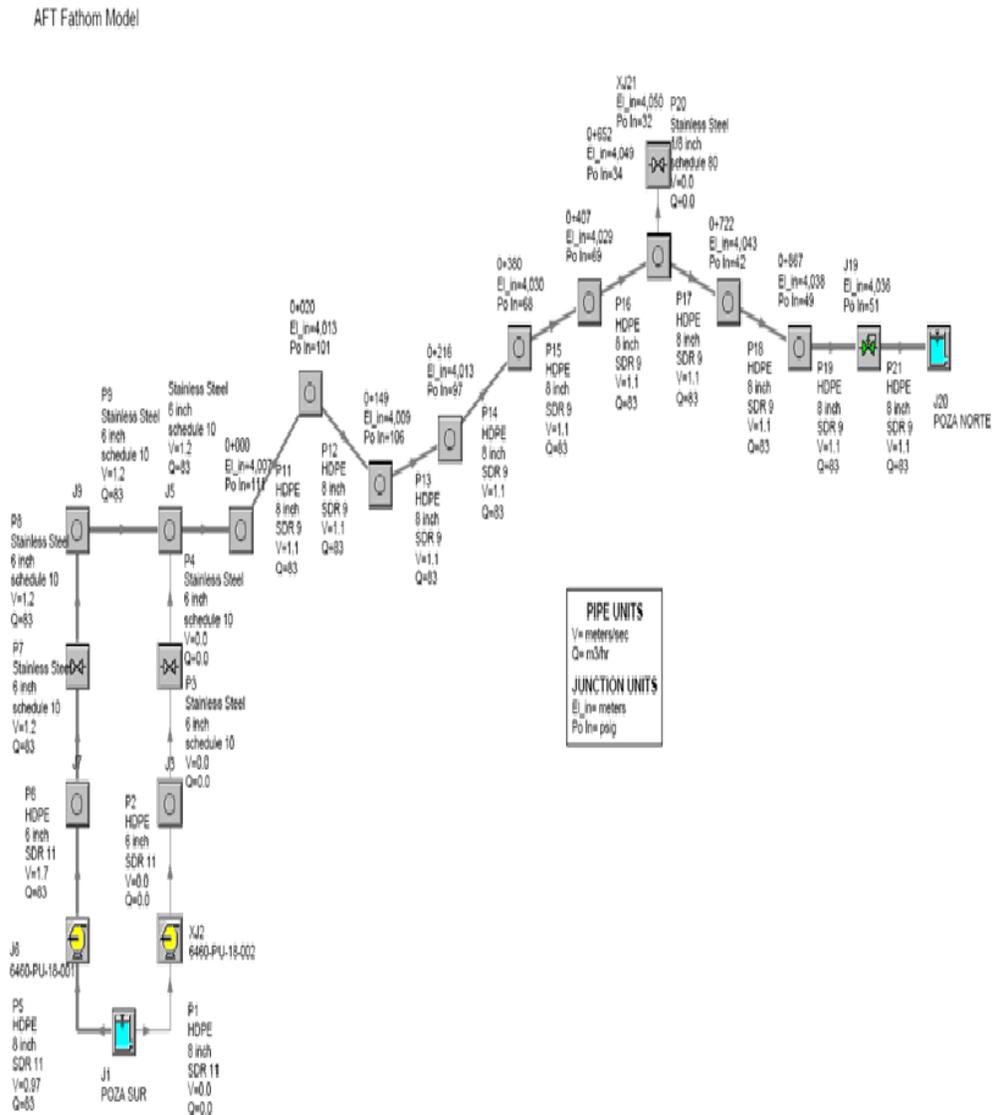


Figura 3.8. Resultados Gráficos del Software AFT FATHOM 7.0

En la Tabla 3.6 y en la Tabla 3.7 se muestran resúmenes de los resultados obtenidos en la simulación del proceso en los 2 escenarios mencionados ver ANEXO N° 2: LISTA DE DOCUMENTOS [7] y [8].

TABLA N° 1 BOMBAS SUMERGIBLES DE AGUAS ACIDAS - PRIMER ESCENARIO					
TAG BOMBA	Caudal (m ³ /h)	TDH (mca)	NPSHA (m)	Potencia Bomba (HP)	Potencia Motor (HP)
PU-001	82.8	58	6.86	55	70
PU-002	82.8	58	6.86	55	70

Tabla 3.6. – Resumen de Resultados Primer Escenario

TABLA N° 2 BOMBAS SUMERGIBLES DE AGUAS ACIDAS - SEGUNDO ESCENARIO					
TAG BOMBA	Caudal (m ³ /h)	TDH (mca)	NPSHA (m)	Potencia Bomba (HP)	Potencia Motor (HP)
PU-001	82.8	78	6.86	72	90
PU-002	82.8	78	6.86	72	90

Tabla 3.7. – Resumen de Resultados Segundo Escenario

3.8.4 Dispositivos de Entrada

Con los resultados obtenidos por el software AFT FATHOM 7.0 podemos empezar con la selección de la instrumentación de campo y de control. Seleccionando los instrumentos adecuados armando propiamente la hoja de datos del sensor a utilizar.

Sensores

Estos dispositivos forman parte de las entradas del sistema. Se emplearán en este diseño cuatro tipos de sensores: sensor de nivel, sensor de flujo, sensor de pH y sensor de presión.

Los sensores de nivel deben enviar una señal al PLC cuando las aguas acidas de la poza de desmonte han superado el nivel mínimo requerido para activar la bomba.

El sensor de flujo debe enviar una señal al PLC indicando la velocidad del flujo dentro de la tubería de descarga adicionalmente se debe medir la presión generada en la tubería como sistema de seguridad para las bombas.

El sensor de pH debe enviar los valores de pH sensados en la línea de descarga hacia la poza B.

Las señales enviadas al PLC tendrán valores relacionados en un rango de 0-10V.

3.8.4.1. Selección de Sensores en la Poza A

En la Poza A se instalara un sensor de nivel, el cual se encargara de sensar la altura de llenado. Si el agua acida alcanza una altura mayor al 10% de la altura total de la poza, se iniciara el proceso de bombeo.

Sensores de Nivel

Los sensores de nivel ultrasonico miden el tiempo empleado por el sonido en su trayecto desde un emisor hasta un receptor [17].

Los sensores de nivel tipo radioactivo emiten un haz de rayos (gamma, alfa etc) que viaja a través del tanque y de su contenido, hasta un detector ubicado en el lado opuesto. [17].

Para el desarrollo del proyecto se cotizo ambos sensores con la finalidad de encontrar el que se utilizara para el desarrollo del mismo. A continuacion en la Tabla 3.8 se observa las características necesarias con las que debe contar el sensor para su elección. En la Tabla 3.9 se evalua las cotizaciones (ver ANEXO N° 1: [9] y [11]).

Descripción	Requisito
Tipo	Ultrasónico/Radioactivo
Rango (m)	0 - 20
Longitud del cable para conexión (m)	50
Temperatura fluido (°C)	5 / 10 / 20
%Sólido / pH	20 % / 1-3
Viscosidad del Fluido	1.52 cp.
Presión de Vapor (kPa)	1.25
Altura del Pozo	7m

Tabla 3.8. Requerimientos para la selección del sensor de nivel

Descripción	SN62 ANH8N (ABB)	PS61.BXCH8N (ABB)	FMU44 (SIEMENS)
Tecnología del Sensor	Ultrasónico	Radioactivo	Ultrasónico
Temperatura de Operación (°C)	10	10	10
Viscosidad	1.52	1.52	1.52
Presión de Vapor (bar)	0.0085	0.0085	0.0085
Rango de Cobertura (m)	0-20	0-20	0-20
Tipo de Salida (mA)	4-20	4-20	4-20
Costo Total S/.	1658.7	2142.3	1999.0

Tabla 3.9. – Cotización de Sensor de Nivel

Tanto los sensores ultrasonicos como radioactivos pueden ser utilizados en el desarrollo del proyecto. Los sensores Radioactivos son utilizados cuando el nivel de la poza no es proporcional; quiere decir que el fondo de la poza no es muy nivelado o tambien porque existe perturbacion fisica en el fondo de la misma, lo que podria generar mediciones incorrectas; trabaja a temperaturas elevadas. En cambio los sensores ultrasonicos pueden ser utilizados a temperaturas no tan elevadas; con un fondo de poza sin mucha perturbacion fisica generando mediciones precisas. Basandonos en estos puntos podemos escoger el sensor ultrasonico para el poryecto, ya que la temperatura a la que se encuentra la poza no es muy elevada y ademas se encuentra nivelada.

Se propone la adquisición del sensor ultrasonico SN62 ANH8N (ABB) o FMU44 (Siemens) para el desarrollo del proyecto.

3.8.4.2. Selección de Sensores en la línea de descarga de las bombas

En las tuberías de descarga se colocaran tanto sensores de presión y de flujo, para optimizar la protección de las bombas. Si el sensor de flujo detecta bajo flujo se activara una alarma y procedera a encender la bomba de resguardo para mantener el proceso constante. El sensor de presión cumple con la misión de enviar al PLC la medición de presión en la línea de descarga. Esta presión será evaluada por la valvula anticipadora de onda.

Sensores de Presión

Como solo se necesita obtener la medición de la presión en la línea de descarga hacia la poza B. Bastara con utilizar un manometro Bourdon.

El principio de medida en el que se basa este instrumento es el sensor conocido como tubo Bourdon. El cual esta formado por un tubo aplanado de bronce en forma de "C" de $\frac{3}{4}$ de circunferencia para la medición de bajas presiones, o enrollado en forma de espiral para la medición de bajas presiones y que tiende a enderezarse proporcionalmente al aumento de la presión; este movimiento se transmite mediante un elemento transmisor y multiplicador que mueve la aguja indicadora sobre una escala graduada [18].

A continuacion en la Tabla 3.10 se muestra las características necesarias con las que debe contar el sensor para su elección. Adicionalmente se observa en la Tabla 3.11 la cotización del manometro (ver ANEXO N° 1: [9]).

Descripción	Requisito
Tipo	Dual KPa / PSI
Escala Rango Indicado (PSI)	0 - 200
Presión del fluido min/nor/máx. (PSI)	85 / 120 / 120
Dial/Material	4 1/2' FENOL
%Solido / pH	20 % / 1-3

Tabla 3.10. – Requerimientos para la selección del manómetro.

Descripción	Manómetro Modelo 232.34 (Siemens)
Tipo	Dual KPa / PSI
Escala Rango Indicado (PSI)	0 - 14500
Presión del fluido min/nor/máx. (PSI)	85 / 120 / 120
Dial/Material	4 1/2' FENOL
Temperatura fluido (°C)	5 / 10 / 20
%Sólido / pH	20 % / 1-3
Precio (\$)	1043

Tabla 3.11. – Cotización del manómetro.

Sensores de Flujo

Los caudalímetros electromagnéticos están basados en la Ley de Faraday, de la cual se deduce que en un conductor en movimiento en un campo magnético constante se inducirá un voltaje. Estos caudalímetros requieren que el líquido a medir tenga un mínimo de conductividad como observamos en la Figura 3.4 [15].

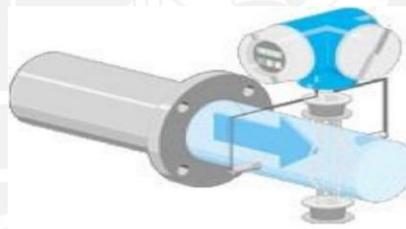


Figura 3.9. Caudalímetro Magnético

El caudalímetro por ultrasonido o ultrasónico están basados en la propagación de ondas de sonido en el fluido. Los elementos emisores y receptores pueden instalarse por fuera de la tubería con abrazaderas como se observa en la Figura 3.5 [15].

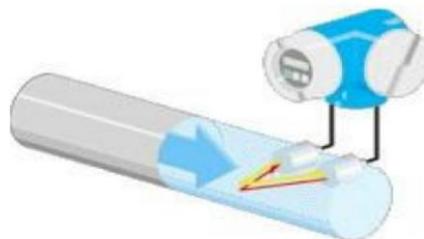


Figura 3.10. Caudalímetro Ultrasónico

Para el desarrollo del proyecto se optó por manejar los caudalímetros ultrasonicos, debido a que el caudalímetro magnético necesita cierta conductividad para realizar las mediciones adecuadas del flujo. El flujo descargado tendrá una variabilidad de conducción muy grande y los datos obtenidos pueden llegar a ser inexactos. Se presenta a continuación las características que necesitará tener el sensor para poder optar por él. Las características se basan en los resultados obtenidos en el punto 3.6.3.

A continuación en la Tabla 3.12 podemos observar las características necesarias con las que debe contar el sensor para su elección. Adicionalmente podemos observar en la Tabla 3.13 la cotización del flujómetro.

Descripción	Requisito
Tecnología del Sensor	Ultrasonico
Flujo min/norm/máx. (m ³ /h)	- / 82.8 / 165.8
Temperatura de Operación (°C)	10
Suministro de Energía	120 VAC , 60Hz
Presión de Vapor (bar)	0.0085
Longitud de Cable (m)	0-20
Tipo de Salida (mA)	4-20

Tabla 3.12. Requerimientos para la selección del sensor de Flujo

Descripción	55S1F (ABB)
Tecnología del Sensor	Electromagnético/Ultrasonico
Flujo min/norm/máx. (m ³ /h)	- / 82.8 / 165.8
Temperatura de Operación (°C)	10
Suministro de Energía	120 VAC , 60Hz
Presión de Vapor (bar)	0.0085
Longitud de Cable (m)	0-20
Tipo de Salida (mA)	4-20
Precio (\$)	6.163.00

Tabla 3.13. – Cotización de Sensor de Flujo

3.8.4.3. Selección de Sensores en Poza de Control Norte

A la entrada a la poza B se colocara un sensor de pH; el cual mostrara el valor real del pH con el cual las aguas acidas son vertidas en la poza de control para su neutralización.

Sensores de pH

El pH-metro es un sensor utilizado en el método electroquímico para medir el pH de una disolución. Para obtener la medicion se realizala la medicion del potencial que se desarrolla a traves de una membrana de vidrio que separa las soluciones con diferente concentraciones en protones.

A continuacion en la Tabla 3.14 podemos observar las caracteristicas necesarias con las que debe contar el sensor para su elección. Adicionalmente podemos observar en la Tabla 3.15 la cotizacion del pH-metro (ver ANEXO N° 1: [10]).

Descripcion	Requisito
Escala Rango Indicado (pH)	0 - 9
Temperatura del fluido min/nor/máx. (°C)	5 / 10 / 20
Presión del fluido min/nor/máx. (PSI)	85 / 120 / 120
Viscosidad (cp.)	1.52
Densidad del Fluido (T/m ³)	1.1
Concentración de Sólidos (%)	20

Tabla 3.14. Requerimientos para la selección del sensor de pH

Descripcion	TBX564 (ABB)	TB82PH (ABB)
Escala Rango Indicado (pH)	0 - 14	0 - 9
Temperatura del fluido min/nor/max (°C)	5 / 10 / 20	5 / 10 / 20
Presion del fluido min/nor/máx (PSI)	85 / 120 / 120	85 / 120 / 120
Viscosidad (cP)	1.52	1.52
Densidad del Fluido (T/m ³)	1.1	1.1
Concnetracion de Solidos (%)	20	20
Precio (\$)	1320	1570

Tabla 3.15. – Cotización del Sensor de pH

Como podemos observar los dos sensores cumplen con los requisitos necesarios para su elección. El único punto en el que difieren es en el costo. Tomando este punto y buscando la economización en el desarrollo del proyecto se tomará el sensor de pH TBX564 para el desarrollo del proyecto.

3.8.4.4. Proveedores Recomendados

La siguiente tabla nos muestra los principales proveedores para cada uno de los instrumentos a utilizar, cuyas características cumplen con las hojas de datos de cada uno de los instrumentos:

Tipo de instrumento	fabricante
Analizadores pH	TBI BAILEY
Instrumentos de Flujo Magnético	ABB/Rosemount
Indicadores de Flujo (Visor de manómetro de flujo)	Brooks
Interruptores de Flujo	Universal Flow Meter
Indicador de Nivel	Jergson
Medida e Interruptores de Nivel Sónico/Ultrasonico	Miltronics Siemens
Indicadores de Presión (Servicio Estándar)	Aschcroft
Interruptor de Nivel	Ashcroft
Controladores Programables	Allen Bradley/Siemens
Válvulas de Alivio	Crosby

Tabla 3.16. Fabricantes Recomendados

3.8.4.5. Códigos regulaciones y estándares

Todo el trabajo y materiales deben ajustarse a las últimas ediciones de los siguientes códigos:

- ANSI American National Standards Institute
- ASTM American Society for Testing and Materials
- ASME American Society of Mechanical Engineers
- API American Petroleum Institute

- AWS American Welding Society
- AWWA American Water Works Association
- OSHA Occupation, Safety and Health Administration
- MSHA Mine Safety and Health Administration
- MSS Manufacturers Standardization Society of the Valve and Fittings Industry
- HIS Hydraulic Institute Standard
- NFPA National Fire Protection Association
- PFI Pipe Fabrication Institute
- PPI Plastic Pipe Institute
- NACE National Association of Corrosion Engineers Institute
- ASNT American Society of Nondestructive Testing
- SSPC Steel Structures Painting Council

En el caso de conflicto de requerimientos entre códigos y normas, prevalecerá el de mayor nivel de exigencia.

3.8.5 Actuadores

Estos dispositivos, como su nombre lo indica, son los encargados de actuar directamente con el proceso a controlar en función al estado de los dispositivos o variables de entrada al sistema de control. La acción del actuador dependerá de la señal enviada por el controlador donde se verificará los siguientes casos:

- Si se ha sobre pasado el nivel permitido de la poza A.
- Si el flujo de descarga es muy bajo.
- Si la presión generada en la línea de recirculación es baja.

3.9 Controlador Lógico Programable Siemens, modelo Simatic S7-200

Los productos Siemens modelo Simatic S7-200 constituyen una familia de Controladores Lógicos Programables (PLCs) de tipo modular para los cuales en un chasis o rack se van colocando sus distintos elementos modulares como son: controladores programables o CPUs, módulos I/O digitales, módulos I/O analógicos. Todos estos dispositivos son configurados y programados mediante el software de programación de lenguaje Ladder STEP 7-MICROWIN.

Componentes Básicos de un Simatic S7-200

Como mínimo en sus componentes de hardware está conformado por un módulo procesador, un módulo I/O.

3.9.1 Selección de entradas

Los módulos de entrada: como observamos en la figura 3.6 son necesarios para conectar las señales de los sensores de nivel, de presión, de flujo y de pH los cuales ejercerán control en el sistema de bombeo de aguas acidas.

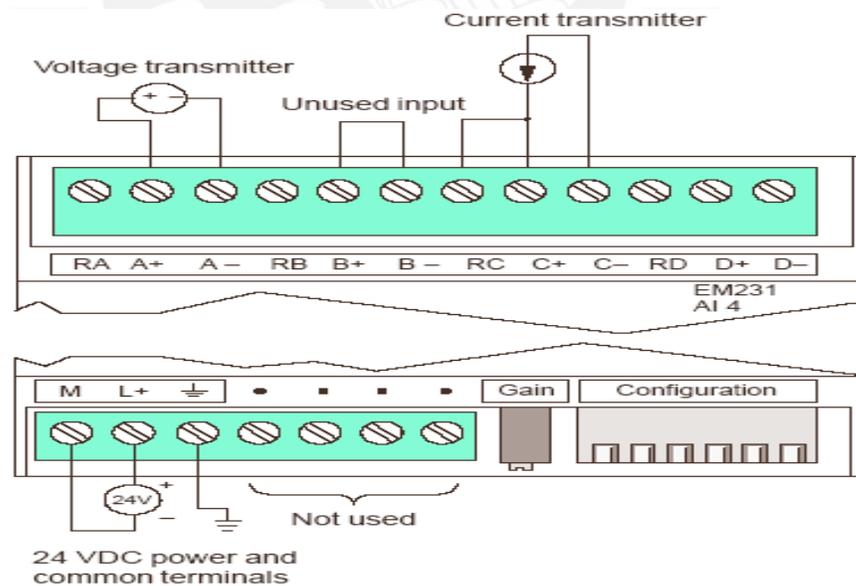


Figura 3.11. Asignación de Entradas

La asignación de borneras para cada sensor se muestra en la tabla 3.17. Las borneras de polaridad negativa van conectadas a tierra.

Instrumentación	Bornera
Sensor de pH	A+
Sensor de Presión	B+
Sensor de Nivel	C+
Sensor de Flujo	D+

Tabla 3.17. Asignación de Borneras

3.9.2 Software Step 7-Micro/Win

Este programa se encarga de la comunicación entre los PLC y periféricos instalados en una red. También nos permite desarrollar el programa en lenguaje de escalera, simularlo y corroborar su correcto funcionamiento.

3.9.2.1. Funciones implementadas en Lenguaje Ladder

El programa implementado en Lenguaje Ladder satisface los requerimientos para el procesamiento de datos y automatización del sistema de bombeo en las zonas a controlar.

A continuación se describe cada una de las funciones implementadas en lenguaje Ladder:

- El código en Lenguaje Ladder valida en primer lugar la altura que el sensor de nivel detecta y si se encuentra dentro de los parámetros configurados por el usuario en el PLC, también considera los niveles de flujo medidos en línea de descarga de las bombas configurados por el usuario para inicio y fin para la activación y desactivación de las bombas.

- Al estar el nivel medido dentro del rango de los parámetros configurados en el PLC, se activa un bit el cual permitirá activar una de las bombas dejando una en stand by. Las bombas son desactivadas cuando se ha detectado que el nivel de la poza es menor al establecido.
- El código en Lenguaje Ladder también validará el flujo obtenido en la línea de descarga. Si el flujo sensado es de carácter muy bajo, activará la bomba en stand by para que trabajen en conjunto y el flujo se mantenga constante.
- Si el flujo supera el máximo establecido, en caso ambas bombas estén funcionando, se desactivará la que inicialmente estaba en stand by. En el caso de que solo una bomba esté trabajando y se supere el máximo establecido, se apagará automáticamente la bomba.

3.9.2.2. Modo Automático y Modo Manual

Esta función permite activar y/o desactivar las bombas en modo manual o automático.

En modo automático, se controla el encendido y apagado de las bombas: cuando el sistema detecta que se ha sobrepasado el nivel establecido dentro de la poza, o cuando se detecta un bajo flujo.

El modo manual es habilitado para activar las bombas en situaciones no planificadas. El usuario tiene la opción de activar o desactivar los circuitos a través del panel de operador y en función a las teclas de este. Al presionar una tecla, se activa un bit que permite activar una salida en particular. Una vez activado un circuito en modo manual, se puede desactivar el mismo presionando la misma tecla con que se activó el circuito con lo cual se regresa al funcionamiento automático.

3.10 Selección de Red de Comunicación Industrial

3.10.1 Descripción de la red Ethernet TCP/IP

Se propone el seleccionado de el módulo de comunicación y el cableado necesario. Los tipos de redes que se proponen son: Profibus, Ethernet, Profinet. Sin embargo, restringiéndose por la red que comanda todos los procesos en Yanacocha utilizaremos la red Ethernet TCP/IP.

La red Ethernet TCP/IP nos ofrece:

- Mayor capacidad para el control de planta y datos de oficina.
- Integración más fácil entre los sistemas de planta y de administración.
- Se puede utilizar una sola infraestructura de red para funciones distintas.
- Permite realizar: Monitoreo de procesos, estado y parámetros de dispositivos incluyendo detección de alarmas y fallas, adquisición de datos, funciones de control y supervisión

CAPITULO 4

PRUEBAS FINALES

En esta parte del documento se presentarán las simulaciones que comprueban el correcto funcionamiento así como procesamiento de datos y variables que interactúan en el proceso a controlar en base al programa implementado en Lenguaje Ladder.

4.1 Configuración entradas analógicas

El primer paso es configurando los valores de entrada en el PLC. Tenemos cuatro valores de entrada; el nivel, el flujo, la presión y el pH. El sensor de nivel al indicarnos que se ha sobrepasado el 10% de la profundidad de la poza iniciara el sistema de bombeo.

La medicion del flujo nos indicara si este se encuentra en bajo flujo o flujo alto. En el caso que el flujo sea muy bajo se encendera la segunda bomba para que trabajen en conjunto. Si se sobrepasa el flujo de diseño obtenido con el software AFT FATHOM 7.0; el caso que las dos esten trabajando, la bomba que se encontraba en reserva se apagara. En caso que solo una bomba este funcionando se detendra la bomba y el sistema entrara en reposo. Tanto la presion y el pH seran sensores que nos arrojaran valores y seran vistos en el interfaz con el operador.

El PLC que utilizamos es el Simatic S7-200, el modulo donde serán conectadas las entradas y salidas será el EM-231. Cuya tabla de parámetros de configuración de entradas analógicas la podemos observar en la tabla 4.1 y 4.2.

No. of Analog Input Points	4
Isolation (Field side to logic circuit)	None
Input type	Differential
Input ranges	
Voltage (unipolar)	0 to 10 V, 0 to 5 V
Voltage (bipolar)	±5 V, ± 2.5 V
Current	0 to 20 mA
Input Resolution	see Table 1
Voltage (unipolar)	
Voltage (bipolar)	
Current	
Analog to digital conversion time	< 250 μs

Tabla 4.1. Configuración entradas analógicas

Data word format	
Bipolar, full-scale range	-32000 to +32000
Unipolar, full-scale range	0 to 32000
Input impedance	≥10 mΩ
Input filter attenuation	-3 db @ 3.1 KHz
Maximum input voltage	30 VDC
Maximum input current	32 mA
Resolution	12 bit A/D converter

Tabla 4.2. Configuración entradas analógicas

Para el desarrollo de nuestro proyecto configuraremos el PLC con el rango de entrada de 0-10V. Recordando que el sensor de nivel marca el inicio del proceso cuando se ha sobrepasado el 10% de la altura, lo que equivale a 1V.

Ya seleccionado el rango de entrada y encontrado su equivalencia para nuestro sensor de nivel lo llevamos al valor binario. Primero el valor de 1V obtenido se

divide entre la resolución de la entrada analógica que para nuestro rango es de 2.5mV según la tabla 4.3.

Unipolar			Full-Scale Input	Resolution
SW1	SW2	SW3		
ON	OFF	ON	0 to 10V	2.5mV
	ON	OFF	0 to 5V	1.25mV
			0 to 20mA	5µA
Bipolar			Full-Scale Input	Resolution
SW1	SW2	SW3		
OFF	OFF	ON	±5V	2.5mV
	ON	OFF	±2.5V	1.25mV

Tabla 4.3. Configuración entradas analógicas

Llamemos K a la resultante entre la división del valor de entrada y la resolución.

$$K=1 \text{ V} / 2.5\text{mV}=400$$

La palabra de entrada analógica de la CPU es de 16 bits. Como podemos observar en la figura 4.1



Figura 4.1. Configuración palabra de entrada de la CPU

El MSB (bit más significativo) indica el signo, el cero indica un valor positivo de la palabra de datos. En formato unipolar, los tres ceros a la derecha modifican el valor de la palabra de datos en incrementos de 8 por cada cambio del valor ADC.

Llevamos el valor obtenido a número binario. La resultante la llamaremos K'.

$$K' = 110010000$$

Los valores obtenidos en K' los colocamos en la palabra de entrada analógica de la CPU respetando el bit más significativo y los últimos tres ceros de la derecha como observamos en la figura 4.2.

0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Figura 4.2. Configuración palabra de entrada a la CPU

La palabra escrita en la figura 4.2 es el dato real que se va ingresar en la configuración de la entrada. Llevando la palabra a decimal obtenemos el valor real que se va a comparar con cada medición que realice el sensor de nivel como observamos en la figura 4.3.

Actuamos de la misma manera para obtener el valor a comparar con cada medición que realice el sensor de flujo. Se obtendrán dos condiciones para este caso. Cuando se encuentre en bajo flujo, asumiremos un -15% del valor de diseño quiere decir que las mediciones para este rango se encontraran entre 0-1.5V del valor de diseño, y para los valores en flujo alto un +15%, en este caso los valores obtenidos se encontraran en el rango de 8.5-10V del valor de diseño como observamos en la figura 4.4.

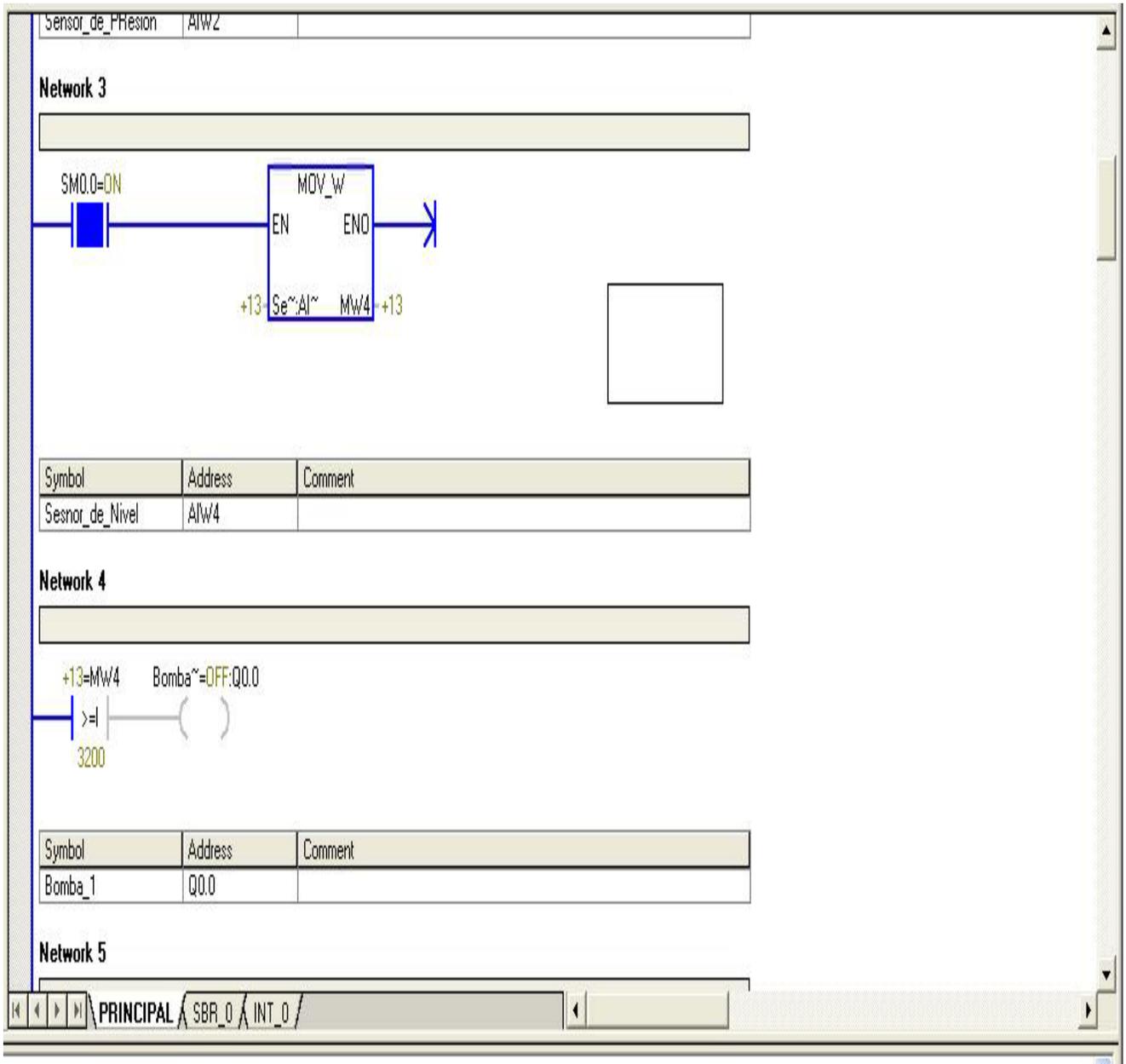


Figura 4.3. Parámetros iniciales sensor de Nivel

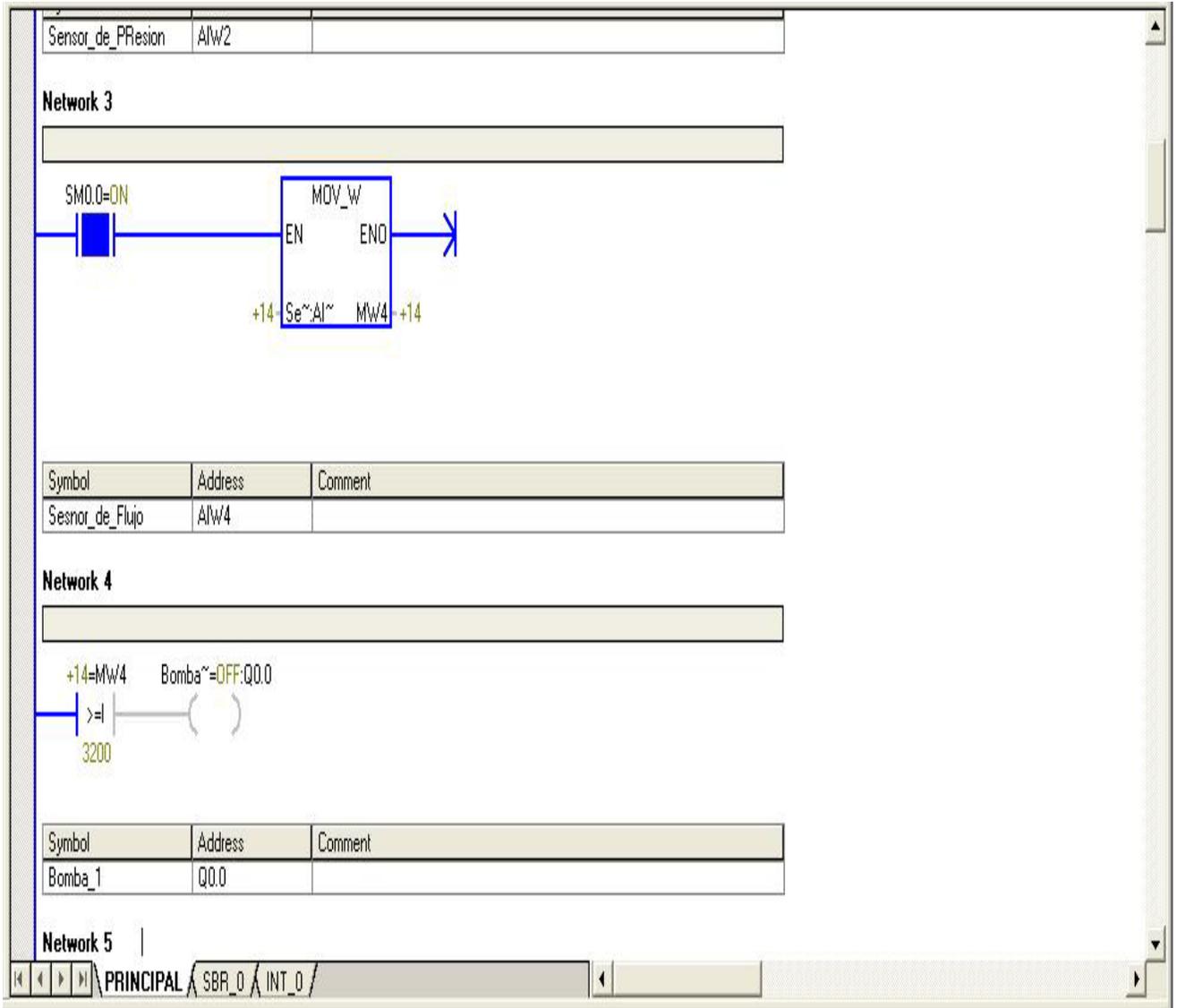


Figura 4.4. Parámetros Iniciales Sensor de Flujo

4.2 Pruebas y Simulaciones del funcionamiento de Sensores

Se realizó la simulación del funcionamiento de los sensores considerando dos potenciómetros uno que representa el estado del sensor de nivel y otro para el estado del sensor de flujo. Ambos potenciómetros son asignados a las entradas configuradas en la subrutina de sensores

4.2.1 Simulación encendido bomba 1

Como podemos observar en la figura 4.5 si superamos el nivel configurado para el inicio de nuestro proceso la bomba 1 se activa.

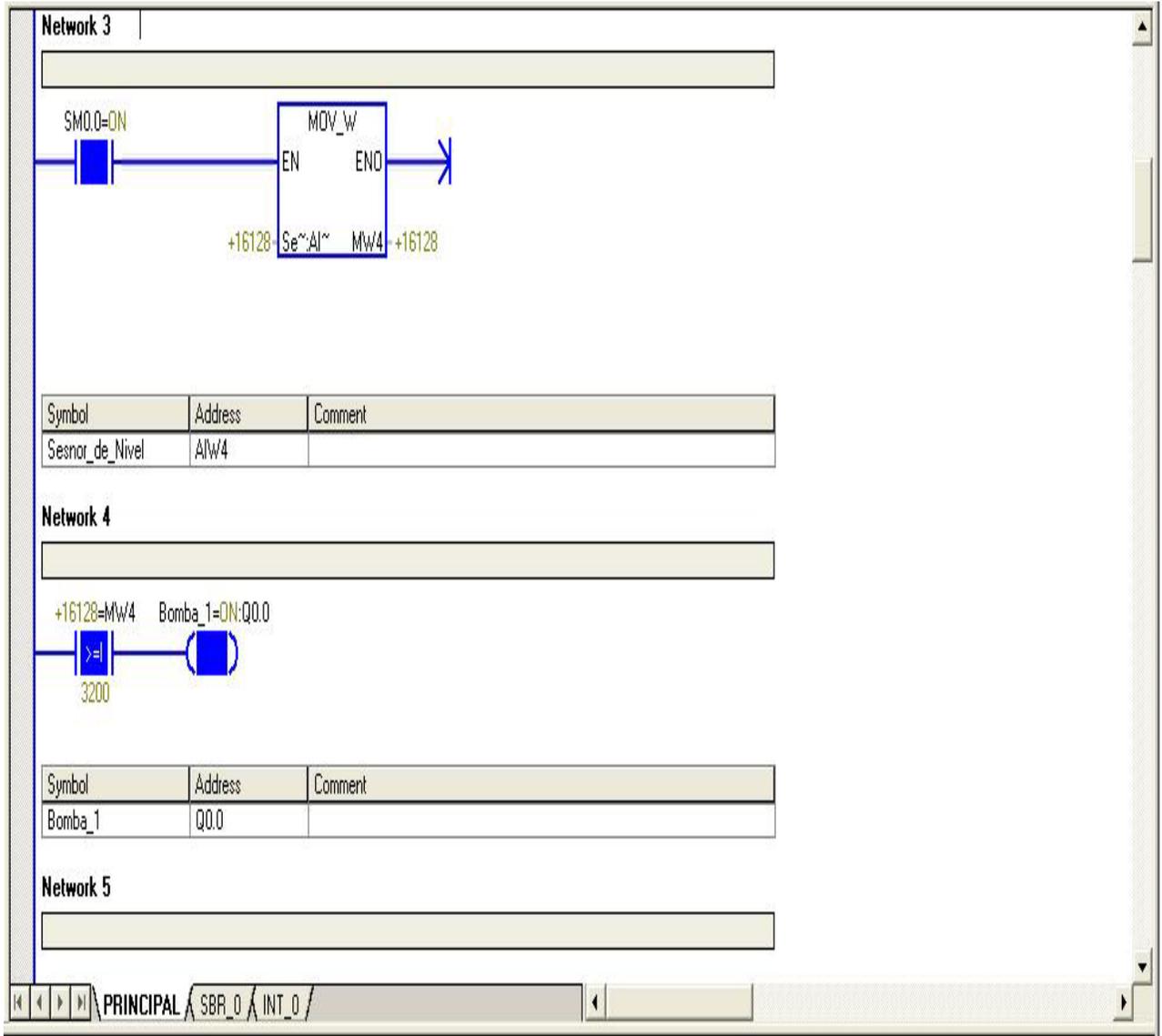


Figura 4.5. Simulación encendido Bomba 1

4.2.2 Simulación encendido ambas bombas

Para simular el proceso con el accionar de ambas bombas tenemos que manejar el flujo y llevarlo a un flujo muy bajo, manteniendo el sensor de nivel sobre su valor inicial. Graduamos el valor del sensor de flujo entre 0-1.5V para generar un flujo muy bajo. Al generar este voltaje lo que logramos hacer es que la segunda bomba se encienda como observamos en la figura 4.6.

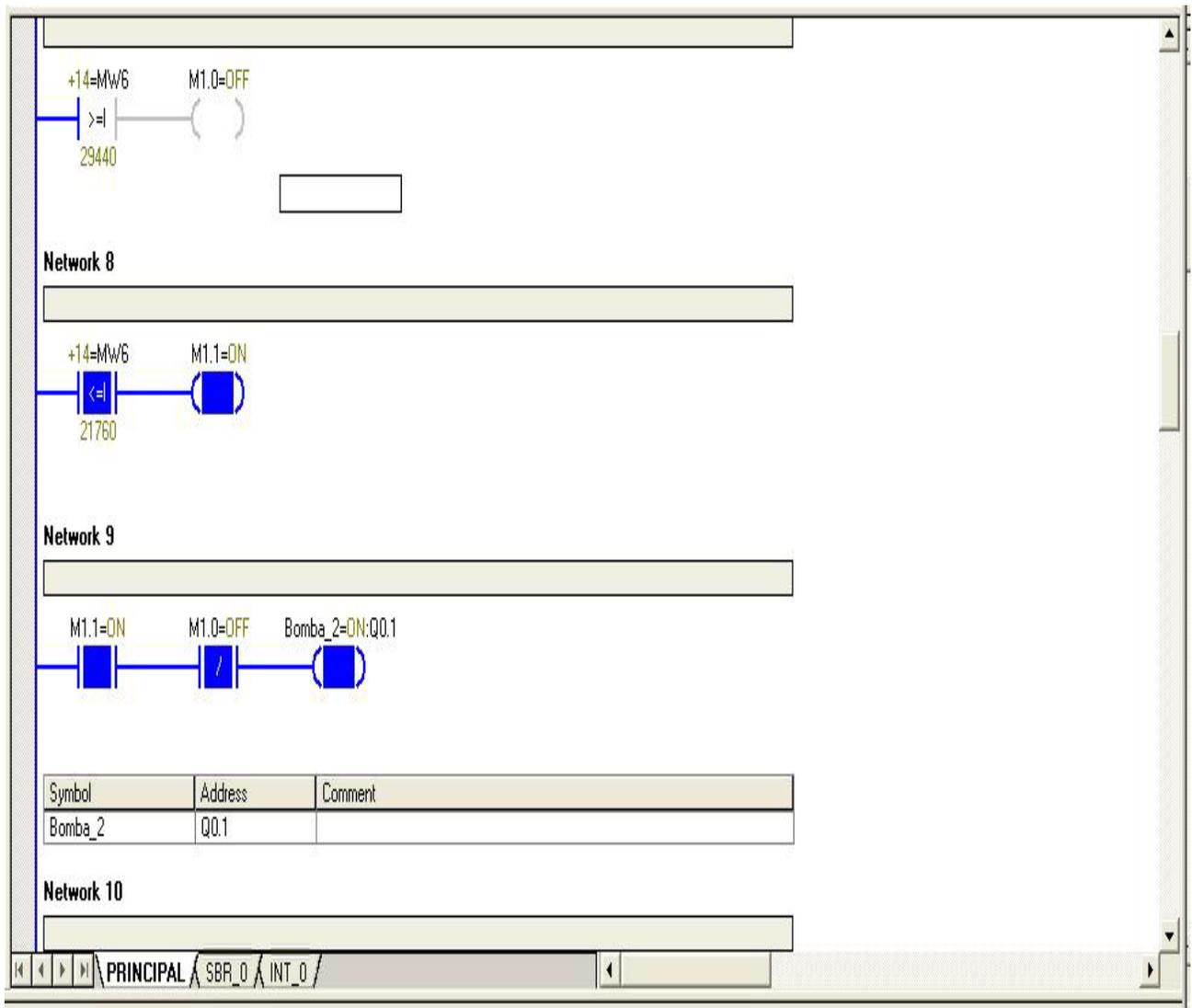


Figura 4.6. Simulación encendido Bomba 2

CONCLUSIONES

Podemos concluir que tanto el objetivo general como los objetivos específicos que conllevaron cada uno de las secciones incluidas a lo largo de los capítulos fueron alcanzados de manera satisfactoria.

Para cumplir con nuestro primer objetivo específico tuvimos que analizar los requerimientos del cliente en nuestro caso la Minera Yanacocha. En base a lo anterior, se detecto la necesidad principal y se propuso alternativas de diseño expuestas en la ingeniería básica desarrollada en el P&ID (Diagrama de Instrumentación y Tuberías).

En la etapa de elaboración de la ingeniería de detalle del proceso que incluye el desarrollo de la etapa de control y el dimensionamiento y selección de instrumentos de campo se tuvo que aprender a utilizar los Software AFT FATHOM 7.0 y el Step 7- Micro/Win.

Los resultados obtenidos con el Software AFT FATHOM 7.0 nos brindo el dimensionamiento en presiones y flujo por línea, lo cual nos permitió elaborar las hojas de datos de los instrumentos de una manera precisa. Las cotizaciones fueron expuestas al cliente. Se procuro la elección de elementos con la relación más alta de beneficio costo.

De los resultados obtenidos con el software Step 7- Micro/Win podemos concluir que el desarrollo de los lazos programados en lenguaje ladder realizan las operaciones requeridas para que proceso se desarrolle de una manera exitosa.

Además podemos concluir que el presente diseño cumple con el objetivo de poder ofrecer una alternativa para la implementación de un sistema de bombeo de aguas acidas para industrias dedicadas al rubro minero.

Actualmente el Sistema de Bombeo de aguas acidas en Maqui Maqui sigue funcionando de manera optima. El diseño fue aprovechado para implementar el proceso en otros puntos de la planta.

RECOMENDACIONES

Las fuentes de energía para instrumentos de 4 hilos serán de 120 VAC, 60 Hertz, 1 fase. Cada instrumento tendrá su propia desconexión de energía.

Los instrumentos neumáticos utilizarán señales de aire de 20.7 a 103.42 kPa (3 a 15 psig) para transmisión y control. Cada instrumento será proporcionado con su propia válvula de cierre de alimentación de presión y estará encima del filtro/regulador.

El suministro de aire para instrumentación estará disponible para instrumentos neumáticos de tipo diafragma, actuadores modulantes, etc. El aire de instrumentación será de 586 kPa (85psig) como mínimo, seco y libre de aceite, con punto de rocío -40°C , conforme a la norma ISA-S/3 “Estándar de Calidad para Aire de Instrumentación”.

BIBLIOGRAFIA

- [1] SMITH, Carlos y CORRIPIO, Armando
2006, Control automático de procesos. México: Limusa-Wiley
- [2] OGATA, Katsuhiko
2003, Ingeniería de Control Moderna. 4ta edición. Madrid: Pearson Educación S.A.
- [3] CHOPEY, Nicolas y HICKS, Tyler
1984, Handbook of chemical engineering calculation. USA: Mc. Graw Hill.
- [4] YOKOGAWA - Instruments
<<http://www.yokogawa-usa.com/>>
- [5] ABB – Industrial Enable
<[http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/SCOT23.NSF/VerityDisplay/F782FDE67C9AB86480256E2E0038274E/\\$FILE/AG_RCP-003_2.pdf](http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/SCOT23.NSF/VerityDisplay/F782FDE67C9AB86480256E2E0038274E/$FILE/AG_RCP-003_2.pdf)>
<[http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/scot271.nsf/VerityDisplay/7F29E22DEC C1114DC1257199004F5788/\\$File/50-53%20M633_SPA72dpi.pdf](http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/scot271.nsf/VerityDisplay/7F29E22DEC C1114DC1257199004F5788/$File/50-53%20M633_SPA72dpi.pdf)>
- [6] YANACOCHA
<<http://www.yanacocha.com.pe/category/responsabilidad-Ambiental/usoconsumo-del-agua/>>
- [7] TRANSMISORES DE NIVEL
<<http://prof.usb.ve/srevolla/Archivos/Instru/Instrument%20nivel.pdf>>
- [8] PROGRAMABLE CONTROLLERS
<<http://ab.rockwellautomation.com/Programmable-Controllers>>
- [9] REATEGUI GABANCHO, Humberto. Sistema Redundante de Supervisión y Control de Despacho de Combustibles de CB N° - Refinería Talara. Tesis (Ing.). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima.
- [10] CALIBRACIONES INDUSTRIALES
<<http://www.ci-sa.com/servicios.php>>

- [11] ANALIZADOR DE pH-pH metro
<<http://www.articuloz.com/ciencia-articulos/analizador-de-ph-phmetro-3520908.html>>
- [12] PROCEDIMIENTO DE CALIBRACION PARA MICROMETROS DE EXTERIORES
<<http://www.matematicasyoesia.com.es/metodos/mecweb10.htm>>
- [13] INTRODUCCION A LAS REDES DE COMUNICACIÓN INDUSTRIALES
<http://etfa2010.org/spanish/ftp/material_asignaturas/Fundamentos%20de%20Automatizaci%F3n%20Industrial/Comunicaciones%20y%20Supervisi%F3n/Introducci%F3n%20a%20las%20Comunicaciones%20Industriales.pdf>
- [14] PAC Combina la Robustez del PLC y la Funcionalidad de la PC
<<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/5947>>
- [15] TORRES, Susana. El ABC de la automatización sensores de flujo, principios de medición.
<<http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/sensores-de-flujo.pdf>>
- [16] Technical Documents – Documentos Técnicos: Sensores de nivel de tipo ultrasónico, fotoeléctrico radioactivo y por microondas.
<<http://www.tecnoficio.com/docs/doc62.php>>
- [17] Manometría e Instrumentación
<<http://www.mei.es/formacion/e1851ee686fc0dbf8e8629c9b47caf4a.pdf>>
- [18] ETHERNET
<<http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/ethernet/ethernet.pdf>>

ANEXO N° 1

LISTA DE PLANOS

- [1] ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACION
- [2] P&ID
- [3] DIAGRAMAS DE LAZO LIT-007
- [4] DIAGRAMAS DE LAZO FIT-008
- [5] DIAGRAMAS DE LAZO AIT-009
- [6] DIAGRAMAS DE LAZO FSL-003
- [7] DIAGRAMAS DE LAZO FSL-006
- [8] DIAGRAMAS DE LAZO PRV-011

ANEXO N° 2

LISTA DE DOCUMENTOS

- [1] Hoja de Datos Flujómetros Magnéticos (DS).
- [2] Hoja de Datos Transmisores de Nivel (DS).
- [3] Hoja de Datos Manómetros (DS).
- [4] Hoja de Datos Interruptores de flujo (DS).
- [5] Hoja de Datos de Transmisores de PH (DS).
- [6] Información Yanacocha.
- [7] AFT Fathon Model 1er escenario.
- [8] AFT Fathon Model 2do escenario.
- [9] Cotización Sensor de Nivel.
- [10] Cotización Sensor de Presión.
- [11] Cotización Analizadores de pH.
- [12] Cotización Sensor de Nivel.
- [13] Hoja de Datos Sensor de Nivel Cotizada (DS).
- [14] Hoja de Datos Sensor de Nivel Cotizada (DS).
- [15] Hoja de Datos Sensor de Nivel Cotizada (DS).

GLOSARIO

C

Conduits: Tubos galvanizados que protegen los cables.

D

Desorción: La eliminación de materia desde un medio adsorbente, usualmente para recuperar material.

Devicenet: Buses de campo más utilizados para el control en tiempo real de los dispositivos, asegura la interconectividad con una gran variedad de equipos de otros fabricantes.

E

Ethernet TCP/IP: Base del internet, sirven para enlazar computadoras que utilizan diferentes sistemas operativos incluyendo PC, microcomputadoras centrales sobre redes de área local (LAN) y área extensa (WAN).

M

Multipolares: Cable formado por muchos conductores.

Manifold: Protector para cables de fibra óptica

P

Patch Panel: Paneles donde se ubican los puertos de una red, normalmente localizados en un bastidor o rack de telecomunicaciones.