

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



ANÁLISIS DE LOS CIRCUITOS DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y  
MEDICIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL PARA LA  
OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES EN MANCHAY

**INFORME DE SUFICIENCIA**  
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTADO POR:**  
**NILTON ROBERT CISNEROS CANDIA**

**PROMOCIÓN**  
**2001-I**

**LIMA-PERÚ**  
**2011**

**ANÁLISIS DE LOS CIRCUITOS DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y MEDICIÓN DEL  
SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LOS  
PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN MANCHAY**

A mis padres y hermanos  
A mis profesores  
A la Universidad de Ingeniería

## SUMARIO

Debido a la obsolescencia de los equipos y herramienta de gestión de control y monitoreo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Manchay, SEDAPAL decidió su modernización. Para ello se realizaron mejoras en los circuitos de adquisición de datos y de medición del sistema de monitoreo y control con la finalidad de optimizar los procesos de tratamiento en todas sus etapas.

Esta modernización permitió a esta planta de tratamiento soportar una mayor demanda ampliándose las redes de alcantarillado, dándose tratamiento a 90 litros/seg de agua devolviéndola apta para regadío.

El informe describe la problemática y la solución implementada, enfocándose en la instrumentación (sensores y actuadores). Complementariamente se muestra los resultados del SCADA desarrollado.

Los capítulos del informe son cuatro: "Planteamiento de Ingeniería del Problema", "Marco Teórico Conceptual", "Marco situacional de la PTAR Manchay", "Descripción de la solución y adecuación de instrumentación".

En el informe se han descrito los conceptos básicos de las plantas de tratamiento, los sensores y actuadores típicos de estas plantas, y complementariamente las redes de datos industriales. También se evalúa la situación previa de la planta, se examinan los requerimientos para el mejoramiento y se dimensiona la solución. Se explica la solución y finalmente se presentan los detalles técnicos de instrumentación, control y comunicaciones.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPITULO I</b>	
<b>PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA</b> .....	3
1.1 Descripción del problema .....	3
1.2 Objetivo del trabajo.....	3
1.3 Evaluación del problema .....	3
1.4 Alcance .....	5
1.5 Síntesis .....	5
<b>CAPITULO II</b>	
<b>MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL</b> .....	6
2.1 Sensores y actuadores típicos del sistema .....	6
2.1.1 Sensores y transductores .....	6
2.1.2 Actuadores .....	15
2.2 Controladores Lógicos Programables.....	16
2.2.1 Hardware .....	17
2.2.2 Arquitectura interna .....	18
2.3 Sistemas de supervisión, monitoreo y control.....	19
2.3.1 Conceptos básicos del sistema SCADA .....	20
2.3.2 Funciones principales del sistema .....	20
2.3.3 Transmisión de la información.....	21
2.3.4 Comunicaciones.....	21
2.3.5 Elementos del sistema.....	22
2.4 Redes de datos industriales .....	23
2.4.1 HART .....	25
2.4.2 PROFIBUS .....	25
2.4.3 FOUNDATION FIELDBUS .....	25
2.4.4 MODBUS.....	26
2.4.5 DEVICENET.....	26
<b>CAPITULO III</b>	
<b>MARCO SITUACIONAL DE LA PTAR MANCHAY</b> .....	27
3.1 Planta de tratamiento de aguas residuales.....	27
3.1.1 Procesos SBR y ICEAS.....	27

3.1.2	Diseño de cuenca.....	27
3.1.3	Descripción general del proceso.....	28
3.1.4	Capas de la cuenca.....	29
3.1.5	La cuenca hidráulica y carga.....	30
3.2	Análisis de la solución.....	30
3.2.1	Situación previa a la solución.....	30
3.2.2	Requerimientos para el mejoramiento del sistema.....	34
3.2.3	Dimensionamiento de la solución.....	41
3.3	Planteamiento de caso de estudio.....	43
<b>CAPITULO IV</b>		
<b>DESCRIPCION DE LA SOLUCION Y ADECUACION DE INSTRUMENTACIÓN.....</b>		<b>44</b>
4.1	Planteamiento de la solución.....	44
4.1.1	Instrumentación.....	49
4.1.2	Automatismo y control.....	52
4.2	Descripción de la solución.....	55
4.2.1	Dimensionamiento y adecuación de instrumentación.....	58
4.2.2	Desarrollo del sistema de comunicaciones y de SCADA.....	70
4.3	Costos y cronograma.....	75
4.3.1	Costos del proyecto.....	75
4.3.2	Cronograma.....	75
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>77</b>
<b>ANEXO A</b>		
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS.....</b>		<b>79</b>
<b>ANEXO B</b>		
<b>DETALLES TECNICOS DE EQUIPAMIENTO.....</b>		<b>81</b>
<b>ANEXO C</b>		
<b>ESQUEMAS DE TABLEROS.....</b>		<b>91</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>94</b>

## INTRODUCCIÓN

La función de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) es recibir las aguas contaminadas para, luego de varios procesos (decantación, filtrado, clorinación), ser devueltas para uso en agricultura y parte al río.

Las PTAR están compuestas de varias áreas, cada una de estas (cámara de rejillas, cámara de tamices, desarenadores, piscinas de aireación, zona de sedimentado del lodo y zona de cloración) poseen elementos electromecánicos (motores, tableros eléctricos, bancos de condensadores, etc.), que deben ser controlados y monitoreados.

Es ahí donde la electrónica interviene, mediante la colocación de sensores y transductores para la lectura de variables físicas y químicas, así como para el control de los actuadores ya sean eléctricos, hidráulicos, neumáticos o térmicos.

En general, para cualquier solución de automatización, es necesario la utilización de instrumentos con señales discretas y analógicas, PLC (Controlador lógico programable), SCADA (Sistema de adquisición y control de datos) y redes de comunicación industriales.

Los tableros para cada área o función poseen muchos elementos, por ejemplo, un tablero de fuerza posee, entre otros: Interruptor/Conmutador; lámpara de fijación mediante riel DIN; Sistema de ventilación; rejilla; termostato; interruptor termo magnético regulable; analizador de redes; transformador de corriente; bloque de fusible, relé de protección de mínima/máxima tensión, pérdida de fase, desequilibrio y secuencia de fase, etc.

Los sensores son situados en el campo y los PLC recogen la información y según el algoritmo programado controlan a los actuadores. El control puede ser distribuido (cada PLC hace su tarea) pero el sistema de monitoreo es centralizado y por ello se recurre a las redes de comunicaciones industriales.

Cada una de estas plantas puede poseer un aproximado de 15 a 30 tableros según sus dimensiones, por ello los "Expedientes de Conformidad y Liquidación de Obra", son documentos sumamente extensos, y que pueden ocupar hasta 500 páginas o más, incluyendo planos, manuales, relación de equipamiento, etc.

Por tal motivo, este informe se ha enfocado en los aspectos de instrumentación, omitiendo la relación de tableros y de sus componentes, así como de la presentación de los diagramas unifilares y demás planos.

El informe se divide en cuatro capítulos principales: I Planteamiento de Ingeniería del

problema, II Marco Situacional de la PTAR Manchay, III Proceso de tratamiento de aguas residuales en Manchay y requerimientos técnicos, y IV Descripción de la solución y adecuación de instrumentación.

En el Capítulo I se describe el problema y el objetivo del trabajo, y de manera complementaria se evalúa el problema de ingeniería y delimitando los alcances del mismo, finalmente se hace una síntesis del informe.

En el Capítulo II se describe las plantas de tratamiento de aguas residuales, los sensores y actuadores típicos de estas plantas, los Controladores lógicos Programables, el SCADA, y las redes de datos industriales.

En el Capítulo III se realiza un análisis de la planta de tratamiento de aguas residuales, sus procesos, a su vez describiendo la situación previa, los procesos para el mejoramiento de la PTAR así como el dimensionamiento.

En el Capítulo IV se describirá el planteamiento de la solución. Luego se explica la solución, describiendo la instalación y adecuación de la instrumentación, así como el desarrollo SCADA. Finalmente se detallan los aspectos técnicos del equipamiento



## **CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA**

El capítulo se enfoca en el planteamiento de ingeniería del problema. Primeramente se describe el problema y el objetivo del trabajo, complementariamente se evalúa el problema de ingeniería y se delimita el informe de suficiencia, finalmente se hace una síntesis del trabajo desarrollado.

### **1.1 Descripción del problema**

Obsolescencia de los equipos y herramientas de gestión de control y monitoreo, frente a los nuevos requerimientos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Manchay.

Esta situación motiva la renovación del sistema a nivel a todo nivel: PLC, equipos de instrumentación, y programa de gestión de adquisición de datos.

### **1.2 Objetivo del trabajo**

Analizar los circuitos de adquisición de datos y medición del sistema de monitoreo y control de la PTAR (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales) Manchay, frente a los nuevos requerimientos, y plantear las mejoras para la optimización de los procesos involucrados. Los objetivos específicos son los siguientes:

- Hacer un análisis de los instrumentos utilizados y por qué se ha hecho la elección de estos equipos, como estos se adecuan a las necesidades de la planta.
- Analizar la instrumentación sensor de pH, Medidor de flujo magnético y toroide amperímetro, además la adecuación de la instrumentación a planta.
- Hacer un análisis de la solución en su conjunto y explicar cómo estos se integran a la planta, y cómo interactúan con el sistema SCADA.

### **1.3 Evaluación del problema**

El año 2010, Empresa de Agua Potable planteó observaciones al sistema SCADA de la PTAR (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales) Manchay. Algunas de estas observaciones, demandaban implementar la modernización de la instrumentación y la arquitectura control y cómputo para la aplicación de reportes en el SCADA citado.

Para implementar la funcionalidad que demandaba, se requería como paso previo desarrollar una Ingeniería de detalle que identifique los circuitos de medición, se diseñe los circuitos de toma de señales y dispositivos que permitirán la captura de estas señales

y llevarlas al nuevo controlador de procesos de la planta, a fin de sean integrados al Sistema SCADA de la misma, y por ende su visualización.

La modernización del sistema fue necesaria para soportar la mayor demanda de la PTAR como resultado de la ampliación de las redes alcantarillado para la quebrada de Manchay, cumpliendo así con el objetivo de mejorar las condiciones de salud y de vida de la población, al dar un tratamiento óptimo a la nueva demanda de aguas residuales (90 lts/seg) devolviendo este recurso hídrico, debidamente tratado, para su reutilización en la zona agrícola del valle de Lurín.

La PTAR Manchay se sitúa en la quebrada del mismo nombre, con coordenadas Latitud  $12.130501^{\circ}$  S, longitud  $76.824222^{\circ}$  O. La Figura 1.1 ilustra la localización de la planta de tratamiento



**Figura 1.1** Vista aérea de a Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Manchay

En general la PTAR Manchay cubre los siguientes procesos, los mismos que cuentan con diversos equipos electromecánicos.

- Tratamiento Primario 1.- Motor Reja Fina, Tornillo Horizontal Extracción Arena, Tornillo Vertical Extracción Arena, Motor Aireación, Motor Paleta Retiro de Grasa, Bomba Booster, Bomba Grasa.

- Tratamiento Primario 2.- Motor Reja Fina, Tornillo Horizontal Extracción Arena, Tornillo Vertical Extracción Arena, Motor Aireación, Motor Paleta Retiro de Grasa, Bomba Booster, Bomba Grasa.

- Planta Elevadora.- Bomba Elevadora 1, Bomba Elevadora 2.
- Ecuación.- Bomba 1 Ecuación, Bomba 2 Ecuación.
- Espesador y Bombeo de Lodos.- Barredor de Lodos, Bomba Mono 1 Lodos a Estación de Mezcla, Bomba Mono 2 Lodos a Estación de Mezcla, Bomba Mono 1 Lodos a Centrifuga, Bomba Mono 2 Lodos a Centrifuga.
- Cloro, Cal, Bivalva.- Desinfección Gas Cloro, Dosificación Cal Mezcla, Cuchara Bivalva, Tablero dosificación Polímetros.
- Tratamiento Secundario.-Bomba de Lodos 1, Bomba de Lodos 2, Decanter 1, Decanter 2, Aireación 1, Aireación 2, Soplador 1, Soplador 2, Soplador 3.

Estos procesos son descritos en mayor extensión en el siguiente capítulo.

#### **1.4 Alcance**

El estudio realizado se enfoca en la instrumentación (sensores y actuadores). De manera complementaria se muestra la implementación del sistema de supervisión, control y adquisición de datos SCADA.

#### **1.5 Síntesis**

El informe presenta en el marco teórico los conceptos generales vinculados a la solución: los sensores y actuadores típicos del sistema, los PLC, el SCADA y las redes de datos industriales.

Posteriormente se explica el funcionamiento de una PTAR, y se describe la situación previa de la PTAR Manchay, se presentan los requerimientos para el mejoramiento del sistema, y se hace el dimensionamiento de la solución.

Finalmente se describe la solución; se hace incidencia en la adecuación de las señales de campo y se complementa con la descripción del desarrollo del SCADA. En la última sección se muestran los detalles técnicos del equipamiento utilizado.

## CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

En este capítulo se exponen las bases teóricas conceptuales más importantes para la comprensión del sistema descrito en el presente informe.

### 2.1 Sensores y actuadores típicos del sistema

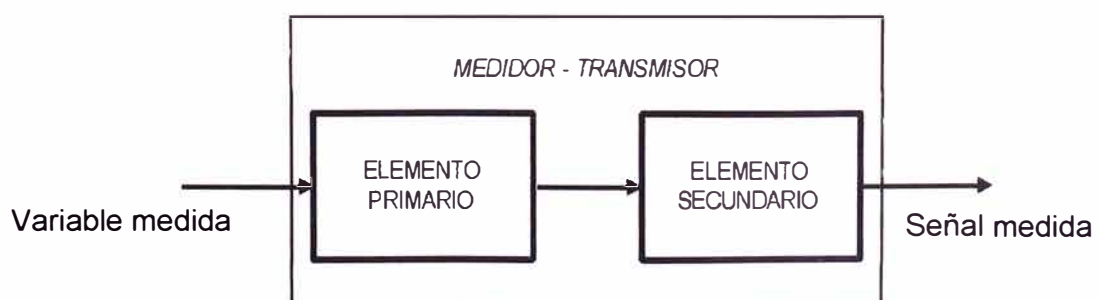
Este capítulo se divide en dos partes: sensores y actuadores [3].

#### 2.1.1 Sensores y transductores

El Sensor (elemento primario) es un dispositivo que detecta una determinada acción externa, temperatura, presión, etc., y la trasmite adecuadamente mediante un transductor. El transductor (elemento secundario), es un dispositivo que transforma el efecto de una causa física, como la presión, la temperatura, la dilatación, la humedad, etc., en otro tipo de señal, normalmente eléctrica.

Su utilización toma en cuenta la curva de calibración, también llamada curva característica, que relaciona la variable medida y la señal generada. Esta curva se puede obtener aplicando una serie de entradas físicas conocidas y almacenando la respuesta del sistema. Las variables tradicionales que se miden y controlan en los procesos son cuatro: Presión, Temperatura, nivel de interfaz y caudal. Estas variables están vinculadas a las condiciones operativas de los procesos. También interesa en la industria de procesos ciertas características físicas (densidad, viscosidad, etc.) y químicas (composición, conductividad, pH, etc.) que también se miden y controlan, pero en mucha menor escala.

Tanto el sensor como el transductor, pueden estar claramente separados como en el caso de un tubo Venturi (elemento primario) con transmisor de presión diferencial (elemento secundario) o bien ambos elementos están confundidos en un mismo dispositivo (medidor de presión tipo Bourdon con indicación de aguja).



**Figura 2.1** Medidor-transmisor como dos sistemas en serie

La Figura 2.1 es el esquema de las relaciones causa efecto, se puede representar a un medidor-transmisor como dos sistemas en serie:

#### a. Medición de presión

La presión, junto con la temperatura, constituyen las variables que más frecuentemente a medir. Los elementos primarios que se emplean en estos ambientes son fundamentalmente de dos tipos:

- Elementos de columna de líquido: empleados fundamentalmente para indicación. A este grupo pertenecen los diversos manómetros de tubo y las campanas con sello líquido.
- Elementos elásticos: sirven tanto para medición local como para transmisores. Los cuatro elementos que se emplean en sensores industriales son: Tubo de Bourdon, diafragma, cápsulas y fuelles.

Existen en el mercado diversas tecnologías para transmisores que se acoplan con los elementos elásticos, pero las más difundidas y confiables son los extensométricos (strainage), capacitivos y de alambre vibrante.

#### b. Dispositivos industriales de medición de temperatura

Existen muchos dispositivos que sirven para medir temperatura, pero solo algunos han sido adaptados para su uso en ambientes industriales. En la Tabla 2.1 están los principales.

Se muestra su principio general, el tipo de dispositivos, su principio de funcionamiento y su rango:

- Eléctricos: Termocupla, termoresistencias, termistores.
- Expansión térmica: Sistemas de dilatación, termómetros de vidrio, bimetálicos
- Radiación térmica Pirómetros óptico, de radiación total y de relación
- Visuales Indicadores de color

**Tabla 2.1** Principales dispositivos que sirven para medir temperatura

Principio General	Tipo	Principio de Funcionamiento	Rango(°C)
Eléctricos	Termocupla	La f.e.m. inducida en dos alambres de distintos metales o aleaciones depende en forma directa de la diferencia de temperaturas entre los dos extremos soldados (juntas).	-200 a 2000
	Termoresistencias	Se infiere la temperatura a partir de la variación en la resistencia eléctrica de un metal, generalmente platino, cobre o níquel.	-200 a 700

Principio General	Tipo	Principio de Funcionamiento	Rango(°C)
	Termistores	Similar al anterior, pero de un semiconductor. La resistencia tiene relación inversa con la temperatura.	< 300
Expansión térmica	Sistemas de dilatación	Son elementos que aprovechan la capacidad de los fluidos (líquidos y gases) de dilatarse con la temperatura. Generalmente se asocian a transmisores neumáticos.	-195 a 760
	Termómetros de vidrio	Similares a los anteriores pero para indicación sobre una escala.	-200 a 350
	Bimetálicos	Consisten en dos piezas de aleaciones de distinto coeficiente de dilatación térmica que producen cambios de forma por efecto de la temperatura.	-50 a 500
Radiación térmica	Pirómetros óptico, de radiación total y de relación	Sistema que mide la temperatura basándose en la radiación que emite la superficie cuya temperatura es censada. El elemento sensible no está en contacto con el cuerpo sobre el que se practica la medición.	-40 a 4000
Visuales	Indicadores de color	Se trata de compuestos químicos que tienen la propiedad de cambiar su color con la temperatura. Solo sirven de indicación	-50 a 1000

### c. Medidor de Caudal

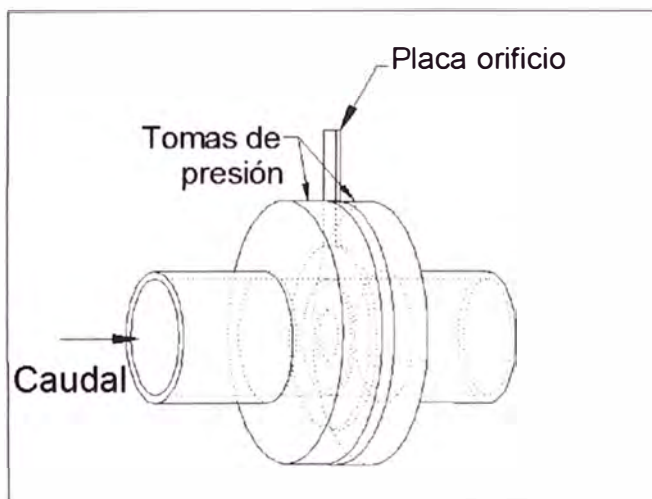
Esta es una variable muy importante ya que su conocimiento es indispensable en los balances de materia y energía. El costo y las dificultades técnicas para la medición hacen que su uso sea menos difundido. Una clasificación exhaustiva se la puede encontrar en la norma británica BS-7405. Algunos de los elementos primarios más empleados son los siguientes:

#### c.1 Placa orificio

La Figura 2.2 muestra un instrumento de medición basado en **placa orificio**. Consiste en dos elementos básicos, una placa orificio y un transmisor de presión diferencial. La placa orificio es una placa delgada con un orificio perforado que actúa como restricción en la corriente de flujo.

Como el área de la corriente de flujo disminuye a medida que el fluido pasa a través del orificio, su velocidad aumenta. La energía requerida para incrementar la velocidad del fluido se obtiene a través de una reducción en la presión estática. Midiendo el cambio que se produce en la presión estática con un transmisor de presión diferencial, se puede inferir el caudal volumétrico. La raíz cuadrada de la salida del transmisor de presión

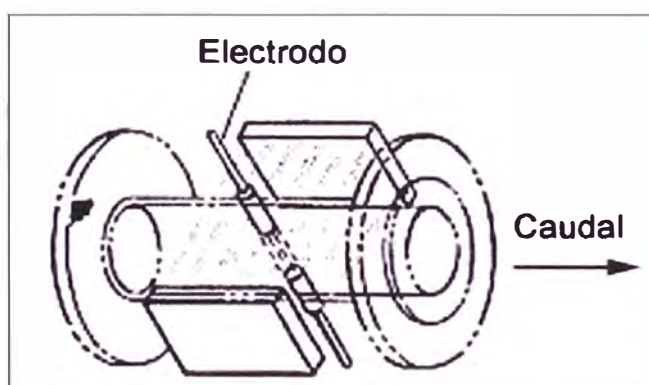
diferencial es proporcional al caudal.



**Figura 2.2** Instrumento de medición basado en placa orificio

### c.2 Caudalímetro Magnético

El funcionamiento de un caudalímetro magnético se basa en la Ley de Faraday de inducción magnética como ilustra la Figura 2.3. Una partícula cargada eléctricamente que pasa a través de un campo magnético produce una tensión que es perpendicular tanto al campo magnético como al vector velocidad y esta tensión es proporcional a la velocidad de la partícula. Puesto que un líquido conductor contiene partículas cargadas, al pasar a través de un campo magnético, producirá una tensión (Ley de Faraday). Los caudalímetros magnéticos generan un campo magnético perpendicular a la corriente de flujo y miden la tensión producida por el fluido que pasa a través del instrumento. La tensión producida es proporcional a la velocidad media del fluido. Esta tensión es acondicionada y suministrada como salida analógica.

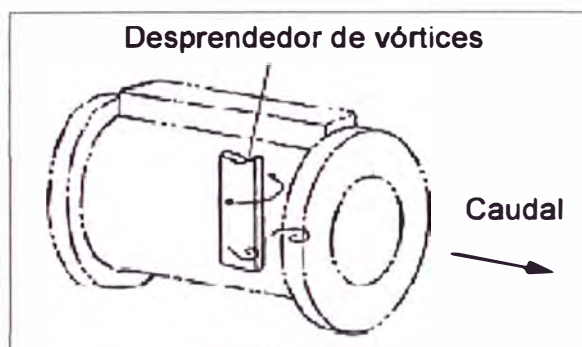


**Figura 2.3** Caudalímetro magnético

### c.3 Caudalímetro de desprendimiento de vórtices

Los caudalímetros de vórtices miden el caudal con la ayuda de un cuerpo que genera vórtices (Figura 2.4). El principio ilustra lo básico de un medidor de vórtices es que los remolinos se desprenden del cuerpo a una frecuencia proporcional al caudal volumétrico. Los vórtices son detectados por distintos medios. A medida que los vórtices se van

desplazando a través del caudalímetro, crean áreas alternadas de baja y alta presión. Y son estas presiones alternadas las que hacen responder a los elementos sensores. El elemento de detección produce una señal eléctrica de la misma frecuencia con que se generan los vórtices. Esta frecuencia es acondicionada en una salida de pulsos y/o analógica. La señal de salida es proporcional a la velocidad del fluido.

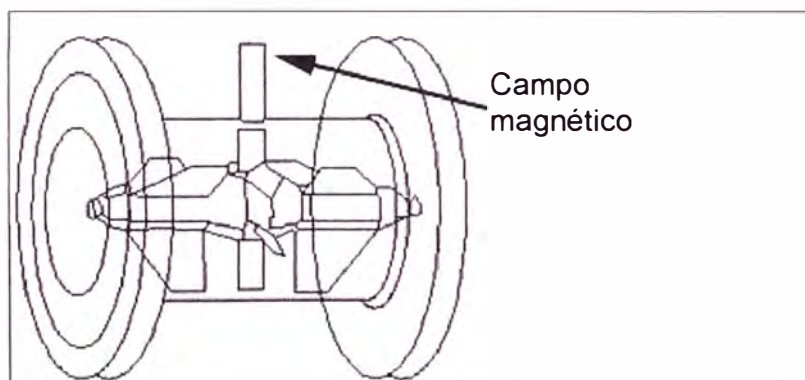


**Figura 2.4** Caudalímetro de desprendimiento de vórtices

#### c.4 Caudalímetro a Turbina

El caudalímetro a turbina (Figura 2.5) mide el caudal de líquidos claros mediante la detección de la rotación de un alabe (hélice) de turbina colocada en la corriente de flujo. Las partes básicas de un medidor a turbina son el rotor de turbina y el detector magnético.

El fluido que circula sobre los álabes del rotor lo hace girar y la velocidad rotacional es proporcional al caudal volumétrico. El detector magnético consiste de un imán permanente con devanados de bobina que capta el pasaje de los álabes de turbina. El paso de los álabes delante del detector hace interrumpir el campo magnético y produce una tensión en la bobina. La frecuencia con que se genera esta tensión es proporcional al caudal y se la acondiciona en una salida de pulsos y/o analógica.



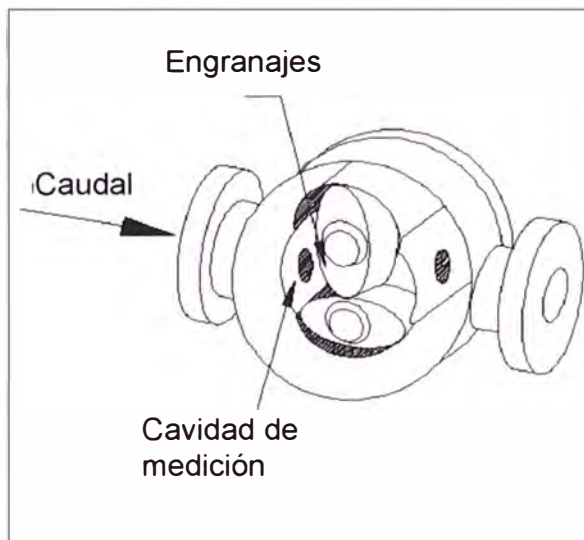
**Figura 2.5** Caudalímetro a Turbina

#### c.5. Medidor de Engranajes

Como se ilustra en la Figura 2.6 Es uno de los tipos más populares de medidor de desplazamiento positivo. Consiste de dos ruedas maquinadas y una cavidad de medición. El paso del fluido a través del medidor hace girar las ruedas ovaladas; cada rotación



de las ruedas corresponde al paso de una cantidad conocida de fluido a través del medidor. La rotación de las ruedas suele ser detectada por un sensor de proximidad que genera una señal eléctrica con una frecuencia proporcional al caudal. Esta señal es acondicionada luego en una salida de pulsos y/o analógica.



**Figura 2.6** Medidor de Engranajes

#### **d. Medidor de Nivel**

El nivel es una variable muy importante en los procesos ya que está vinculada a la operación del equipo, al inventario, etc. Lo más común es designar con nivel a la posición de la interfaz líquido-gas o sólido-gas. Pero también se suele medir y controlar la interfaz líquido-líquido y líquido-sólido.

No existe algo así como “un medidor universal” que sea aplicable a todos (o la mayoría) de los casos. Cada situación debe ser cuidadosamente analizada, ya que existe un sinnúmero de condiciones a tener en cuenta como tipo de sólidos o fluido, agresividad física o química, existencia de espuma, ángulos de talud en sólidos, etc.

En la actualidad existe una gama enorme de tecnologías de medición de nivel. A continuación se describen algunas de las tecnologías más comunes para la medición continua de nivel.

##### **d.1 Vibrante**

Es un sensor con forma de horquilla, que vibra a su frecuencia de resonancia por un cristal piezoeléctrico. Esta frecuencia cambia cuando la horquilla se pone en contacto con el sólido o líquido contenido en el recipiente. El cambio de frecuencia es evaluado y convertido en una señal. Sirve para mediciones discretas. Existen tanto para líquidos como para sólidos:

Líquidos: existen para toda clase de líquidos. Es usado para seguridad y monitoreo de los límites superior e inferior de los tanques y en sistemas de bombas. Pueden usarse en aquellas aplicaciones donde no es posible utilizar un flotador, por ejemplo turbulencia,

espuma.

Sólidos: es posible utilizarlos en silos que contengan granos finos y sólidos en polvo, por ejemplo: trigo, uva, cereales, harina, leche en polvo, azúcar, cacao, alimento de animales, polvo de lavar, cemento, plástico granulado, tintura, yeso, etc.

#### **d.2 Capacitancia / Admitancia RF**

La Figura 2.7 ilustra las sondas de detección de nivel de capacitancia/admitancia RF se pueden usar para detección de nivel para en depósitos, silos y tanques, de manera continua. Son aplicables en toda la industria, tanto en líquidos como en sólidos, pero principalmente en líquidos. Están diseñados para soportar altas presiones como altas temperaturas y materiales cáusticos.

La sonda de capacitancia y la pared del recipiente forman las dos placas de un capacitor, la capacidad estará determinada por su área superficial, la distancia entre ellas, así como el tipo y propiedades dieléctricas del producto que se está midiendo. A medida de que el recipiente se llena, la capacidad aumenta. La capacidad se mide y una señal proporcional al nivel es generada por un circuito electrónico que posee la sonda. La señal es evaluada por otra unidad electrónica conectada al sistema. Las sondas de detección de nivel de admitancia de radio frecuencia (RF) se ven afectadas por la resistencia del material cuyo nivel se está midiendo. El sistema de Admitancia RF mide tanto la capacitancia como la resistencia del material que se está midiendo y, por medio de un circuito electrónico, sustrae la resistencia de la medición combinada.



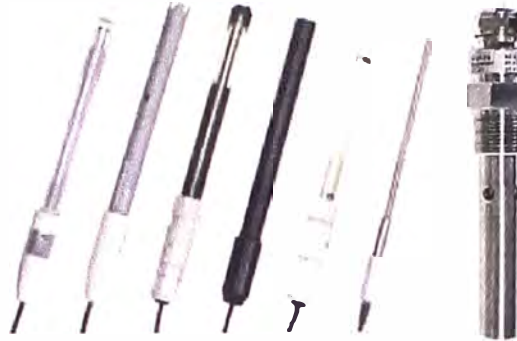
**Figura 2.7** Medidor de Nivel tipo Capacitancia/Admitancia RF

#### **d.3 Conductímetro**

Se utiliza en líquidos que sean conductores de corriente y están diseñados para soportar líquidos agresivos. No se pueden utilizar en líquidos que sean inflamables o explosivos. Utiliza una pequeña corriente alterna, por lo que no es peligroso para las

personas y no tiene efectos de electrólisis.

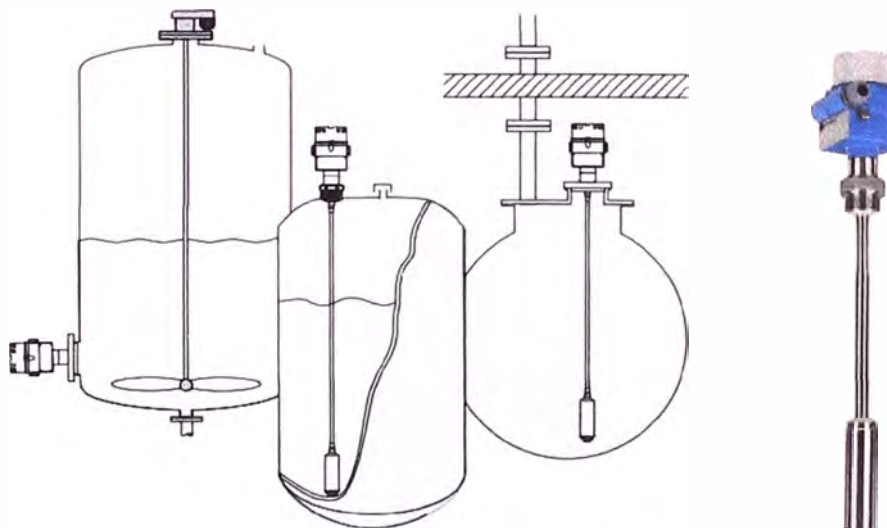
Es un interruptor de nivel que suministra una pequeña corriente alterna entre dos sondas, el circuito se cierra por medio del fluido y se indica así el nivel cuando el líquido 'toca' ambas sondas. Se utiliza en mediciones discretas. Ver Figura 2.8.



**Figura 2.8** Medidor de nivel tipo conductímetro

#### d.4 Hidrostático

La Figura 2.9 ilustra como el medidor de nivel hidrostático es utilizado para medición continua de nivel en tanques que contengan líquidos o barros, en la industria química, farmacéutica y alimenticia, como también en tratamiento de agua y aguas residuales. La sonda, formando un sensor de presión se encuentra de distintos diseños de construcción para diversas aplicaciones, por ejemplo: para ser montadas a un costado del tanque, o arriba, para materiales corrosivos, etc. El peso de una columna de líquido genera una presión hidrostática. A densidad constante, la presión hidrostática es solamente función de la altura de la columna de líquido.



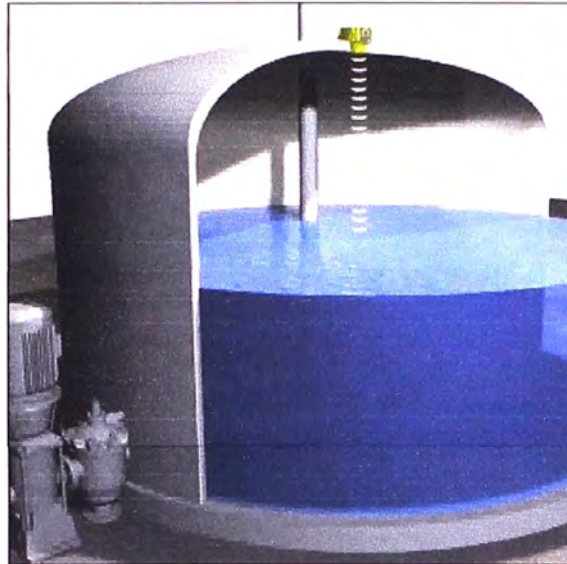
**Figura 2.9** Medidor de nivel hidrostático

#### d.5 Ultrasónico

El medidor de nivel ultrasónico se usa para la medición continua de nivel, suelen montarse a través de la parte superior del recipiente o tanque (Figura 2.10).

Su principio de funcionamiento consiste en emitir un pulso de energía que viaja a la

velocidad del sonido en el espacio de vapor que se encuentra por encima del líquido o polvo. La señal es reflejada por la superficie del líquido o polvo y va de vuelta al receptor. Se mide el tiempo entre la señal emitida y la señal recibida. A partir de esa medición de tiempo y con la velocidad del sonido en el vapor se calcula la distancia desde el receptor a la superficie del líquido o polvo. En los últimos años, los medidores sónicos de nivel han mejorado en exactitud cuando se los aplica en forma adecuada.



**Figura 2.10** Medidor de Nivel Ultrasónico

#### **d.6 De presión diferencial**

Se usa generalmente para recipientes bajo presión, el aparato computa la diferencia entre la presión total y la sobre presión. Esta presión es la presión de la columna de líquido, que luego es convertida en una señal eléctrica. Si la densidad del líquido se conoce, la señal será directamente el nivel.



**Figura 2.11** Medidor de presión diferencial

#### **d.7 Medidores a flotador**

Uno de los primeros métodos para medir nivel de líquidos empleaba un flotador dentro de un tanque conectado por medio de un cable a un contrapeso en el exterior del

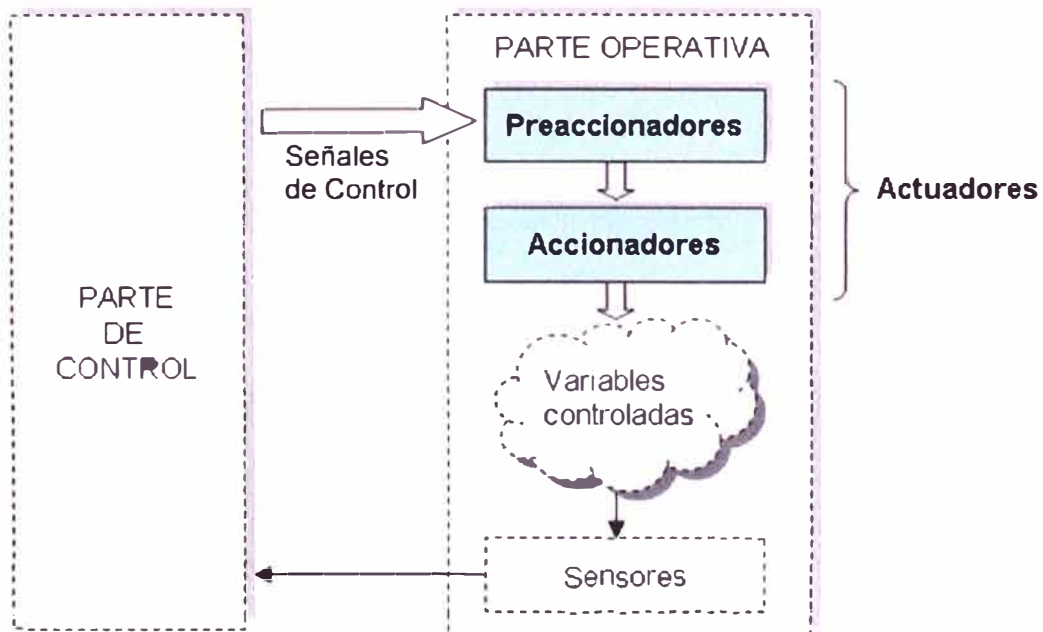
tanque(Figura 2.12). Una escala graduada sobre el tanque permite obtener lecturas continuas y directas del nivel del líquido. Este sistema abundan las inexactitudes y solo es apto para indicación.



**Figura 2.12** Medidor de nivel con flotador

### 2.1.2 Actuadores

Genéricamente se conoce con el nombre de actuadores a los elementos finales que permiten modificar las variables a controlar en una instalación automatizada. Se trata de elementos que ejercen de interfaces de potencia, convirtiendo magnitudes físicas, normalmente de carácter eléctrico en otro tipo de magnitud que permite actuar sobre el medio o proceso a controlar. Al mismo tiempo aíslan la parte de control del sistema de las cargas que gobiernan el proceso (Figura 2.13) [4][5].



**Figura 2.13** Esquema que relaciona los sensores y actuadores con el control

Entre los accionamientos más habituales se encuentran los destinados a producir movimiento (motores y cilindros), los destinados al trasiego de fluidos (bombas) y los de

tipo térmico (hornos, intercambiadores, etc.). En muchas ocasiones es posible distinguir en la configuración física del actuador dos componentes claramente diferenciados.

- **Accionador:** Que se encarga de aportar la "energía" (luminica, calorífica, etc.) necesaria al sistema, para modificar los valores de la magnitud física a controlar. Una bomba, un radiador, un motor, etc. son ejemplos claros de accionadores.

- **Preaccionador:** Que permite de manera intermedia, la amplificación y/o conversión de la señal de control proporcionada por el controlador para el gobierno de la instalación: relé de maniobra o contactor, electroválvula, etc.

La siguiente es la clasificación atendiendo al tipo de energía empleada en el accionamiento:

- Accionamientos eléctricos
- Accionamientos hidráulicos
- Accionamientos neumáticos
- Accionamientos térmicos

Dentro de cada una de estas tecnologías se encuentran accionamientos de dos tipos:

- Accionamientos todo-nada
- Accionamientos de tipo continuo

#### **a.(Pre)Accionamientos eléctricos**

Se tienen a los:

- Relés y contactores. Dispositivos electromagnéticos que conectan o desconectan un circuito eléctrico de potencia al excitar un electroimán o bobina de mando. Los relés están previstos para accionar pequeñas potencias (del orden de 1kW)
- Servomotores. Pequeñas máquinas especialmente diseñadas para el control de posicionamiento.

#### **b. (Pre)Accionamientos hidráulicos y neumáticos**

Se tiene los siguientes:

- Válvulas distribuidoras. Dispositivos que permiten establecer o cortar la conexión hidráulica o neumática entre dos o más vías. Ya estudiadas.
- Servo válvulas. Válvulas proporcionales capaces de regular la presión o el caudal siguiendo una cierta magnitud de consigna de tipo eléctrico.
- Cilindros. Permiten obtener un movimiento aplicando una presión hidráulica o neumática a uno u otro lado del émbolo. Ya estudiados.

### **2.2 Controladores Lógicos Programables**

Un controlador lógico programable (PLC) es una forma especial de control basado en microprocesador que usa memoria programable para almacenar instrucciones y para implementar funciones tales como la lógica, secuencial, de tiempo, conteo y aritméticas

para controlar máquinas y procesos [6].

Está diseñado para ser operado por ingenieros con un conocimiento mínimo de computadoras y de lenguajes de computación. No están diseñados para que sólo los programadores pueda configurar o cambiar los programas. Por lo tanto, los diseñadores del PLC han diseñado para que el programa de control se pueda introducir mediante una forma simple e intuitiva.

La lógica se utiliza el término para que la programación se centre principalmente en la aplicación de la lógica y las operaciones de conmutación. (es decir, sensores, tales como interruptores ) y los dispositivos de salida (motores, válvulas, etc.) en el sistema a controlar se conectan al PLC. El operador entra entonces en una secuencia de instrucciones, un programa, en la memoria del PLC. El controlador vigila las entradas y salidas de acuerdo con este programa y lleva a cabo las normas de control para el que ha sido programado.

### 2.2.1 Hardware

Normalmente, un sistema de PLC tiene los componentes funcionales básicos de la unidad de procesador, memoria, fuente de alimentación, entrada / salida de la sección de interfaz, la interfaz de comunicaciones, y el dispositivo de programación. La Figura 2.14 ilustra la disposición básica.

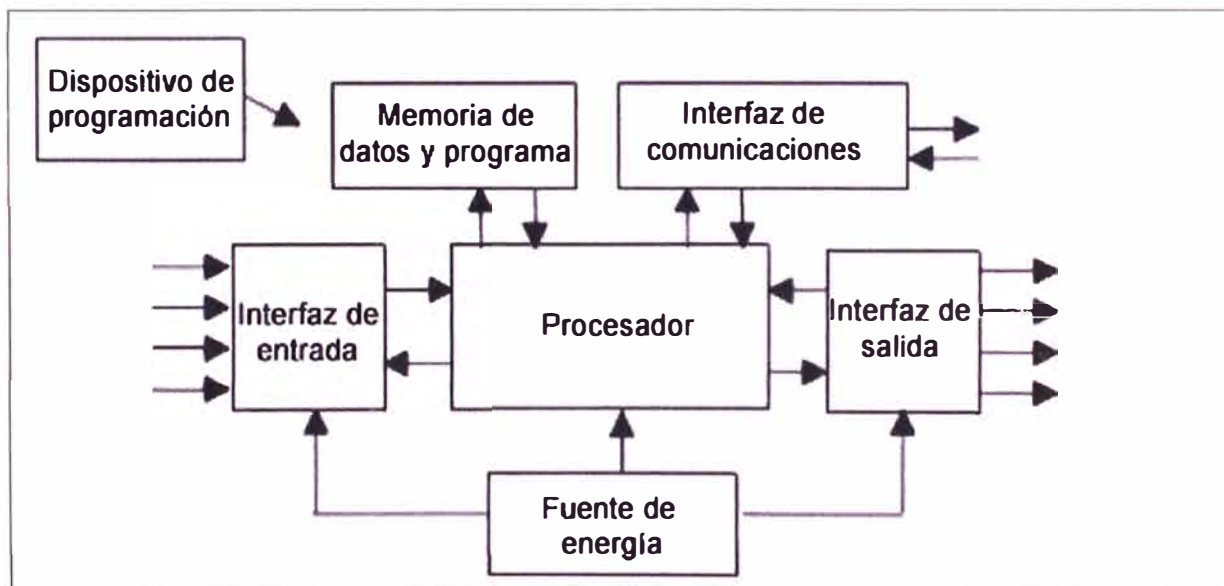
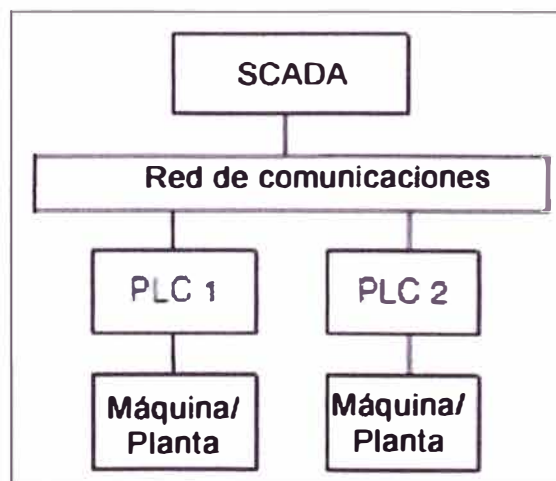


Figura 2.14 Sistema PLC.

- La unidad de procesador o unidad central de procesamiento (CPU) es la unidad que contiene el microprocesador. Esta unidad interpreta las señales de entrada y lleva a cabo las acciones de control de acuerdo con el programa almacenado en su memoria.
- La fuente de alimentación es necesaria para convertir la tensión de alimentación de CA a la CC de baja tensión (5 V) necesario para el procesador y los circuitos en los módulos de entrada y salida de la interfaz.

- La unidad de programación se utiliza para introducir el programa requerido en la memoria del procesador. El programa se desarrolla en el dispositivo y luego es trasladado a la unidad de memoria del PLC.
- La unidad de memoria es donde el programa que contiene las acciones de control que se ejerce por el microprocesador se almacenan y donde se almacenan los datos de la entrada para su procesamiento y para la salida.
- Las secciones de entrada y de salida son donde el procesador recibe la información desde dispositivos externos y comunica la información a los dispositivos externos. Las entradas por lo tanto podría ser de switches u otros sensores, tales como células fotoeléctricas, sensores de temperatura, sensores de flujo, o similares. Las salidas pueden ser un motor bobinas de arranque, válvulas de solenoide, o cosas similares. Los dispositivos de entrada y salida pueden ser clasificados como señales discretas, analógicas o digitales. Los dispositivos digitales pueden ser considerados esencialmente como dispositivos discretos que dan una secuencia de encendido/apagado de señales. Los dispositivos analógicos dan señales del tamaño que es proporcional al tamaño de la variable que se controla. Por ejemplo, un sensor de temperatura puede dar una tensión proporcional a la temperatura.
- El interfaz de comunicación se utiliza para recibir y transmitir datos en redes de comunicación desde o hacia otros PLC remoto (Figura 2.14). Tiene que ver con acciones como la verificación de dispositivos de adquisición de datos, la sincronización entre las aplicaciones de usuario y administración de la conexión.



**Figura 2.15** Modelo básico de comunicación.

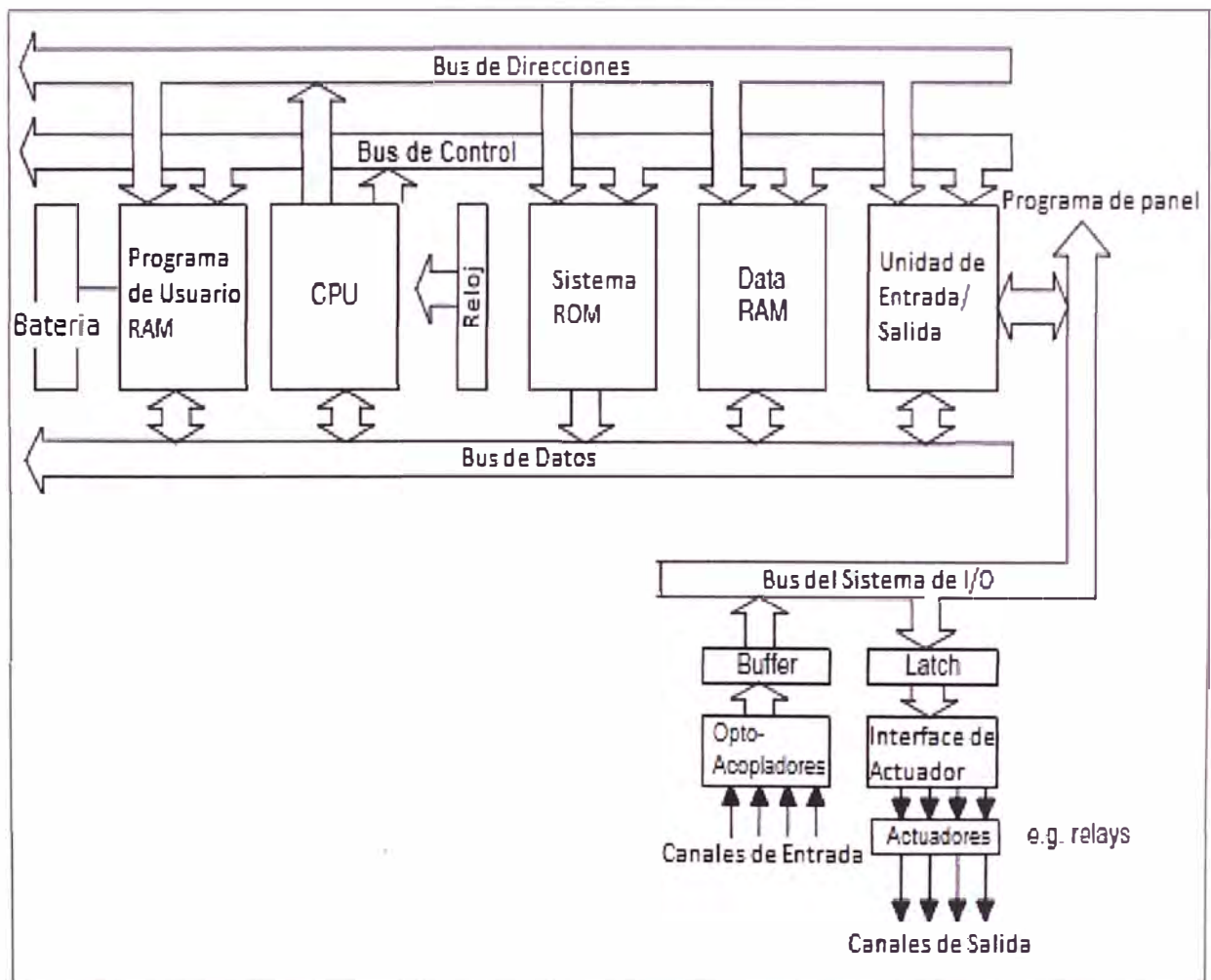
### 2.2.2 Arquitectura interna

La Figura 2.16 ilustra la arquitectura interna básica de un PLC. Se compone de una unidad de procesamiento central (CPU) que contiene el microprocesador del sistema, la memoria y entrada / salida de los circuitos. La CPU controla y procesa todas las



operaciones dentro del PLC. Se suministra con un reloj que tiene una frecuencia de por lo general entre 1 a 8 MHz. Esta frecuencia determina la velocidad de funcionamiento del PLC y proporciona el tiempo y la sincronización de todos los elementos del sistema. La información en el PLC se realiza por medio de señales digitales. Los caminos internos a lo largo de la cual el flujo de las señales digitales son llamados buses.

En el sentido físico, un bus es sólo el número de conductores a lo largo de la cual las señales eléctricas pueden fluir. Podrían ser las pistas de un circuito impreso o alambres en un cable plano (Flat Cable). La CPU usa el bus de datos para el envío de datos entre los elementos constitutivos, el bus de direcciones para enviar las direcciones de los lugares de acceso a los datos almacenados, y el bus de control de las señales correspondientes a las acciones de control interno. El bus de sistema se utiliza para las comunicaciones entre la entrada / salida y la unidad de entrada / salida.



**Figura 2.16** Arquitectura de un PLC.

### 2.3 Sistemas de supervisión, monitoreo y control

En esta sección se desarrollan los siguientes temas: conceptos básicos del sistema SCADA, funciones principales del sistema, transmisión de la información, comunicaciones y elementos del sistema

### **2.3.1 Conceptos básicos del sistema SCADA**

Los sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) son aplicaciones de software, diseñadas con la finalidad de controlar y supervisar procesos a distancia. Se basan en la adquisición de datos de los procesos remotos [7].

Se trata de una aplicación de software, especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde una computadora. Además, envía la información generada en el proceso productivo a los diversos usuarios, tanto del mismo nivel como hacia otros supervisores dentro de la empresa, es decir, que permite la participación de otras áreas como por ejemplo: control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc.

Las tareas de Supervisión y Control generalmente están más relacionadas con el software SCADA, en él, el operador puede visualizar en la pantalla del computador cada una de las estaciones remotas que conforman el sistema, los estados de ésta, las situaciones de alarma y tomar acciones físicas sobre algún equipo lejano.

La comunicación se realiza mediante buses especiales o redes LAN. Todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real, y están diseñados para dar al operador de la planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos.

Estos sistemas actúan sobre los dispositivos instalados en la planta, como son los controladores, autómatas, sensores, actuadores, registradores, etc. Además permiten controlar el proceso desde una estación remota, para ello el software brinda una interfaz gráfica que muestra el comportamiento del proceso en tiempo real.

Un software SCADA debe ser capaz de ofrecer al sistema:

- 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 datos históricos de las señales de la planta, que pueden ser volcados para su proceso sobre una hoja de cálculo.
- Ejecución de programas, que modifican el algoritmo de control, o incluso anular o modificar las tareas asociadas al automatismo, bajo ciertas condiciones.
- Posibilidad de programación numérica, que permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre el CPU del ordenador.

### **2.3.2 Funciones principales del sistema**

Se puede mencionar que su función principal es la supervisión remota de instalaciones y equipos, además del control remoto de instalaciones y equipos, siendo capaz de ajustar parámetros, valores de referencia, algoritmos de control, etc.

En resumen, realiza un procesamiento de datos y visualización gráfica dinámica. También la generación de reportes, representación de señales de alarmas, además del almacenamiento de información histórica y la programación de eventos.

### **2.3.3 Transmisión de la información**

Los sistemas SCADA necesitan comunicarse vía red, puertos GPIB, telefónica o satélite, es necesario contar con computadoras remotas que realicen el envío de datos hacia una computadora central, ésta a su vez será parte de un centro de control y gestión de información.

Para realizar el intercambio de datos entre los dispositivos de campo y la estación central de control y gestión, se requiere un medio de comunicación, existen diversos medios que pueden ser cableados (cable coaxial, fibra óptica, cable telefónico) o no cableados (microondas, ondas de radio, comunicación satelital).

Cada fabricante de equipos para sistemas SCADA emplean diferentes protocolos de comunicación y no existe un estándar para la estructura de los mensajes, sin embargo existen estándares internacionales que regulan el diseño de las interfaces de comunicación entre los equipos del sistema SCADA y equipos de transmisión de datos.

Un protocolo de comunicación es un conjunto de reglas y procedimientos que permite a las unidades remotas y central, el intercambio de información. Los sistemas SCADA hacen uso de los protocolos de las redes industriales.

La comunicación entre los dispositivos generalmente se realiza utilizando dos medios físicos: cable tendido, en la forma de fibra óptica o cable eléctrico, o radio. En cualquiera de los casos se requiere un MODEM, el cual modula y demodula la señal. Algunos sistemas grandes usan una combinación de radio y líneas telefónicas para su comunicación.

### **2.3.4 Comunicaciones**

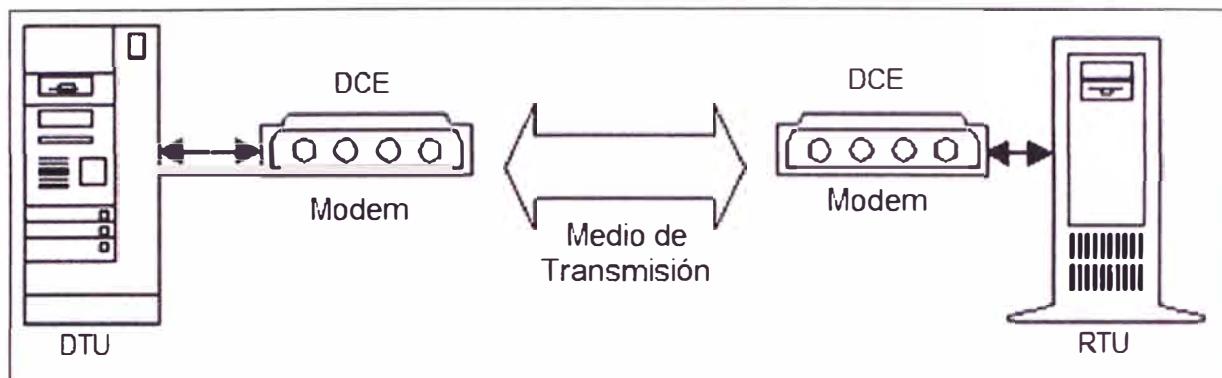
En una comunicación deben existir tres elementos necesariamente:

- Un medio de transmisión, sobre el cual se envían los mensajes.
- Un equipo emisor que puede ser el MTU.
- Un equipo receptor que se puede asociar a los RTU.

En telecomunicaciones, el MTU y el RTU son también llamados Equipos terminales de datos (DTE, Data Terminal Equipments). Cada uno de ellos tiene la habilidad de generar una señal que contiene la información a ser enviada. Asimismo, tienen la habilidad para descifrar la señal recibida y extraer la información, pero carecen de una interfaz con el medio de comunicación. Mayor detalle sobre el MTU y el RTU puede verse en la siguiente sección.

La Figura 2.17 ilustra la conexión de los equipos con las interfaces para el medio de

comunicación. Los modems, llamados también Equipo de Comunicación de Datos (DCE, Data Communication Equipment), son capaces de recibir la información de los DTE, hacer los cambios necesarios en la forma de la información, y enviarla por el medio de comunicación hacia el otro DCE, el cual recibe la información y la vuelve a transformar para que pueda ser leído por el DTE.



**Figura 2.17** Esquema de conexión de equipos e interfaces de comunicación

### 2.3.5 Elementos del sistema

Un sistema SCADA está conformado por:

- Interfaz Operador Máquinas: Es el entorno visual que brinda el sistema para que el operador se adapte al proceso desarrollado por la planta.
- Unidad Central (MTU): Conocido como Unidad Maestra. Ejecuta las acciones de mando (programadas) en base a los valores actuales de las variables medidas. La programación se realiza por medio de bloques de programa en lenguaje de alto nivel (como C, Basic, etc.). También se encarga del almacenamiento y procesado ordenado de los datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.
- Unidad Remota (RTU): Lo constituye todo elemento que envía algún tipo de información a la unidad central. Es parte del proceso productivo y necesariamente se encuentra ubicada en la planta.
- Sistema de Comunicaciones: Se encarga de la transferencia de información del punto donde se realizan las operaciones, hasta el punto donde se supervisa y controla el proceso. Lo conforman los transmisores, receptores y medios de comunicación.
- Transductores: Son los elementos que permiten la conversión de una señal física en una señal eléctrica (y viceversa) y su calibración es muy importante.

Un sistema puede contener varios RTU; siendo capaz de captar un mensaje direccionado hacia él, decodificando lo actuando, respondiendo si es necesario, y esperar por un nuevo mensaje.

La MTU, bajo un software de control, permite la adquisición de la data a través de todas las RTU ubicadas remotamente y brinda la capacidad de ejecutar comandos de control remoto cuando es requerido por el operador.

Normalmente el MTU cuenta con equipos auxiliares como impresoras y memorias de almacenamiento, las cuales son también parte del conjunto MTU.

La conexión entre el RTU y los dispositivos de campo es muchas veces realizado vía un conductor eléctrico. Usualmente, el RTU provee la potencia para los actuadores y sensores, y algunas veces éstos vienen con un equipo de soporte ante falla en la alimentación de energía (UPS, Uninterruptible Power Supply).

La data adquirida por la MTU se presenta a través de una interfaz gráfica en forma comprensible y utilizable, y más aun esta información puede ser impresa en un reporte.

#### **2.4 Redes de datos industriales**

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 [8].

Un importante número de empresas presentan la islas automatizadas (células de trabajo sin comunicación entre sí), siendo en estos casos las redes y los protocolos de comunicación Industrial indispensables para realizar un enlace entre las distintas etapas que conforman el proceso.

La llegada de los microprocesadores en la industria han posibilitado su integración a redes de comunicación con importantes ventajas, entre las cuales figuran:

- Mayor precisión derivada de la integración de tecnología digital en las mediciones.
- Mayor y mejor disponibilidad de información de los dispositivos de campo.
- Diagnóstico remoto de componentes.

La integración de las mencionadas islas automatizadas suele hacerse dividiendo las tareas entre grupos de procesadores jerárquicamente anidados. Esto da lugar a una estructura de redes Industriales, las cuales es posible agrupar en tres categorías:

- Buses de campo
- Redes LAN
- Redes LAN-WAN

En esta sección se tratará acerca de los protocolos de comunicación más usados en la industria.

Los buses de datos que permiten la integración de equipos para la medición y control de variables de proceso, reciben la denominación genérica de buses de campo.

Un bus de campo es un sistema de transmisión de información (datos) que simplifica enormemente la instalación y operación de máquinas y equipamientos industriales utilizados en procesos de producción.

El objetivo de un bus de campo es sustituir las conexiones punto a punto entre los

elementos de campo y el equipo de control a través del tradicional lazo de corriente de 4 - 20mA o 0 a 10V DC, según corresponda. Generalmente son redes digitales, bidireccionales, multipunto, montadas sobre un bus serie, que conectan dispositivos de campo como PLC, transductores, actuadores, sensores y equipos de supervisión.

Varios grupos han intentado generar e imponer una norma que permita la integración de equipos de distintos proveedores. Sin embargo, hasta la fecha no existe un bus de campo universal.

Los buses de campo con mayor presencia en el área de control y automatización de procesos son: HART, Profibus, Fieldbus Foundation, Modbus, DeviceNet. La Tabla 2.2 muestra las características de los protocolos tratados en esta sección, haciendo una comparación entre ellas.

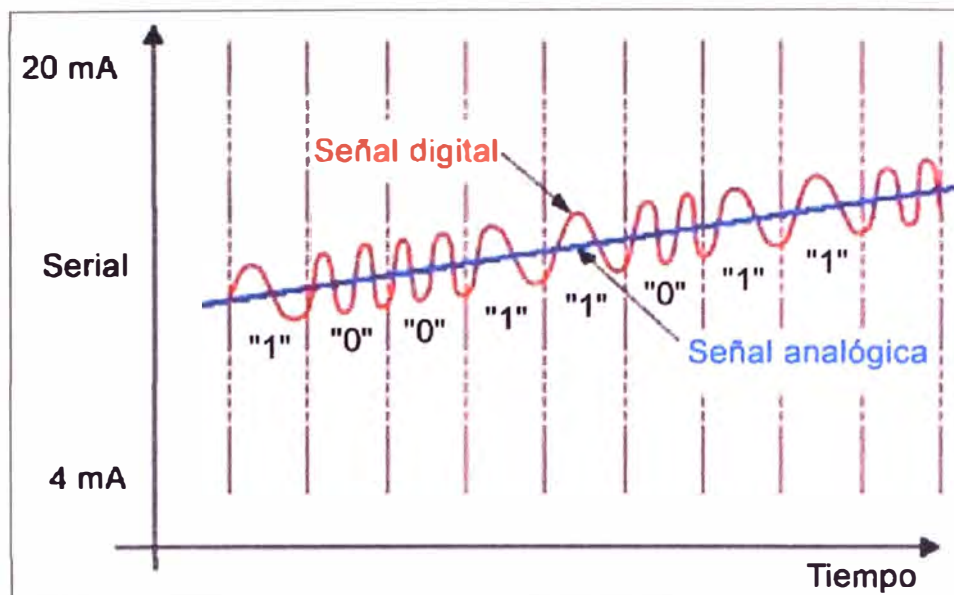
**Tabla 2.2** Comparación entre algunos buses y protocolos

Nombre	Topología	Soporte	Mas Dispositivos	RateTrans m. bps	Distancia máx Km	Comunicación
Profibus DP	Línea, estrella y anillo	Par trenzado fibra óptica	127/segm	Hasta 1.5M y 12M	0.1 seg 24 fibra	Master/Slave peer to peer
ProfibusPa	Línea, estrella y anillo	Par trenzado fibra óptica	14400/segm	31.5K	0.1 seg 24 fibra	Master/Slave peer to peer
Profibus FMS		Par trenzado fibra óptica	127/segm	500K		Master/Slave peer to peer
FoundationFieldbus HSE	estrella	Par trenzado fibra óptica	240 p/segm 32.768 sist	100M	0.1 seg 2 fibra	Single/multi master
FoundationFieldbus HI	Estrella o bus	Par trenzado fibra óptica	240 p/segm 32.768 sist	31.25K	1.9 cable	Single/multi master
LonWorks	Bus, anillo, lazo, estrella	Par trenzado fibra óptica coaxial, radio	32768 /dom	500K	2	Master/Slave peer to peer
Interbus-S	segmentado	Par trenzado fibra óptica	256 nodos	500K	400/segm 12.8 total	Master/Slave
DeviceNet	Troncal/puntual c/bifurcación	Par trenzado fibra óptica	2048 nodos	500K	0.5 6c/repetid	Master/Slave, multi-master, peer to peer
AS-I	Bus, anillo, árbol, estrella	Par trenzado	31 p/segm	167K	0.1,0.35c/rep	Master/Slave
Modbus RTU	Línea, estrella, árbol, red con segmentos	Par trenzado coaxial, radio	250p/segm	1.2 a 115.2K	0.35	Master/Slave
Ethernet Industrial	Bus, anillo, malla-cadena	Coaxial Par trenzado fibra óptica	400p/segm	10, 100M	0.1	Master/Slave peer to peer
HART		Par trenzado	15 p/segm	1.2 K		Master/Slave

#### 2.4.1 HART

El protocolo HART (Highway Addressable Remote Transducer) agrupa la información

digital sobre la señal analógica típica de 4 a 20 mA DC. La señal digital usa dos frecuencias individuales de 1200 y 2200 Hz, que representan los dígitos 1 y 0 respectivamente y que en conjunto forman una onda sinusoidal que se superpone al lazo de corriente de 4-20 mA, (Figura 2.187).



**Figura 2.18** Señal de transmisión con Protocolo Hart

Como la señal promedio de una onda sinusoidal es cero, no se añade ninguna componente DC a la señal analógica de 4-20 mA., lo que permite continuar utilizando la variación analógica para el control del proceso.

#### 2.4.2 PROFIBUS

(Process Field Bus) Norma internacional de bus de campo de alta velocidad para control de procesos normalizada en Europa por EN 50170. Existen tres perfiles:

- Profibus DP (Decentralized Periphery). Orientado a sensores/actuadores enlazados a procesadores (PLCs) o terminales.
- Profibus PA (Process Automation). Para control de proceso, cumple normas especiales de seguridad para la industria química (IEC 11158-2, seguridad intrínseca).
- Profibus FMS (Fieldbus Message Specification). Para comunicación entre células de proceso o equipos de automatización.

#### 2.4.3 FOUNDATION FIELDBUS

Foundation Fieldbus (FF) es un protocolo de comunicación digital para redes industriales, es específicamente utilizado en aplicaciones de control distribuido. Puede comunicar grandes volúmenes de información, es ideal para aplicaciones con varios lazos complejos de control de procesos y automatización.

Está orientado principalmente a la interconexión de dispositivos en industrias de proceso continuo. Los dispositivos de campo son alimentados a través del bus Fieldbus cuando la potencia requerida para el funcionamiento lo permite.

#### **2.4.4 MODBUS**

Modbus es un protocolo de transmisión para sistemas de control y supervisión de procesos(SCADA) con control centralizado, puede comunicarse con una o varias Estaciones Remotas(RTU) con la finalidad de obtener datos de campo para la supervisión y control de un proceso. La Interfaces de Capa Física puede estar configurada en:: RS-232, RS-422, RS-485.En Modbus los datos pueden intercambiarse en dos modos de transmisión:

- Modo RTU
- Modo ASCII

#### **2.4.5 DEVICENET**

Red de bajo nivel adecuada para conectar dispositivos simples como sensores fotoeléctricos, sensores magnéticos, pulsadores, etc. y dispositivos de alto nivel (PLC, controladores, computadores, HMI, entre otros). Provee información adicional sobre el estado de la red, cuyos datos serán desplegados en la interfaz del usuario.



## **CAPÍTULO III METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA**

En el presente capítulo se describe la ingeniería del proyecto considerando los aspectos de análisis situacional, formulación de requerimientos e implementación de la solución.

### **3.1 Planta de tratamiento de aguas residuales**

Se define una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales como el conjunto de reservorios y estructuras a donde fluyen las aguas residuales para su tratamiento [1].

Cuando las aguas negras son conducidas hasta estas instalaciones especiales, a veces mezcladas con aguas fluviales, son tratadas mediante diferentes procedimientos físicos, químicos y biotecnológicos, consiguiendo así un agua efluente de mejores características de calidad y cantidad, tomando como base ciertos parámetros normalizados.

A continuación se describen los componentes de una planta de tratamiento de Aguas Residuales y su funcionamiento

#### **3.1.1 Procesos SBR y ICEAS**

El proceso SBR (reactor discontinuo secuencial) es una modificación de una planta convencional de lodos activados. El proceso SBR permite a los fluidos del tratamiento de aguas residuales de la unidad de reacción se asienten, y la descarga se produce de forma secuencial en una cuenca.

Como resultado, la "huella ecológica" de un SBR es generalmente mucho menor que el de una planta convencional de lodos activados [2].

EL proceso ICEAS (sistema de ciclo intermitente de aireación prolongada) es una modificación de un SBR convencional. El proceso ICEAS permite flujo continuo de aguas residuales en las cuencas del tratamiento durante todas las fases del ciclo.

El flujo continuo es una ventaja sobre los SBR convencional, ya que optimiza el tratamiento biológico mediante el suministro de una fuente de alimento constante para el proceso y equilibra las cargas de flujo en múltiples sistemas de la cuenca.

Un ciclo se compone de diferentes fases (reacción, asentamiento, y decantación) durante el cual el tratamiento se lleva a cabo. Los ciclos funcionan de forma continua en cada cuenca para cumplir con los objetivos del tratamiento de la planta.

### 3.1.2 Diseño de cuenca

Una cuenca ICEAS tiene dos compartimentos: una zona de pre-reacción y una zona principal de reacción. La zona de pre-reacción actúa como un selector biológico y recibe el flujo del afluente continuo. Los dos compartimentos están separados por un muro deflector que se extiende por el ancho del tanque y tiene aberturas en el suelo de la cuenca.

El muro deflector evita cortocircuitos y permite que las dos zonas se vean conectados hidráulicamente, ya que dirige el flujo al entrar en la zona principal de una reacción en la parte inferior de la cuenca.

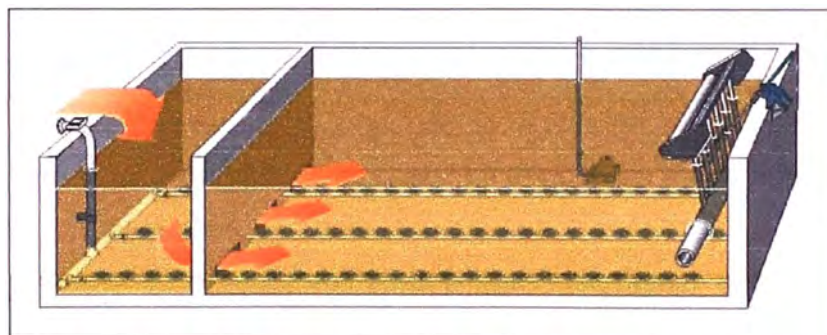
### 3.1.3 Descripción general del proceso

A continuación se realiza una breve descripción de las tres fases comunes a todos los ciclos: a) Reacción, b) Asentamiento, y c) Decantación

#### a. Fase de reacción

La Figura 3.1 ilustra esta fase. Durante la fase de reacción, las aguas residuales sin tratar desembocan en la zona de pre-reacción continuamente para reaccionar con los sólidos suspendidos del líquido mezclado.

En función de los objetivos del proceso, el contenido de cuenca se airea, mezclado sin oxidación o se hace reaccionar anaeróbica, o también una combinación de ambos. Como la cuenca continúa siendo llenando, entonces se producen oxidaciones biológicas / reducción de forma simultánea para tratar las aguas residuales.



**Figura 3.1** Fase de reacción

#### b. Fase asentamiento

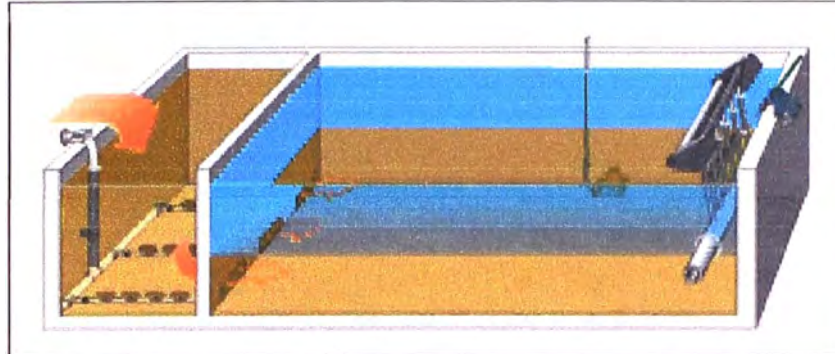
La Figura 3.2 ilustra esta fase asentamiento. Durante esta fase de detiene la agitación de la cuenca (es decir, la aireación o mezcla) se detiene para permitir que los sólidos se sedimenten en el fondo de la cuenca.

Las Aguas residuales crudas sigue fluyendo en la zona de pre-reaccionar como la principal zona de reacción que se asienta. Como los sólidos se asienten, entonces una capa de agua clara se mantendrá en la parte superior de la cuenca.

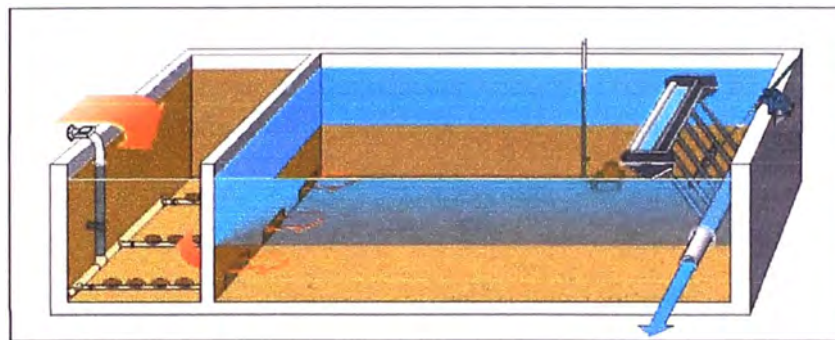
#### c. Fase decantación

La Figura 3.3 ilustra esta fase. Durante la fase de decantación, el recipiente drenara

hacia abajo para extraer el efluente clarificado para la descarga. Las aguas residuales crudas sigue fluyendo en la zona de pre-reaccionar como la principal zona de reacción de decantación. El fango se suele perder de la cuenca durante la fase de decantación en el ciclo.



**Figura 3.2 Fase Asentamiento**

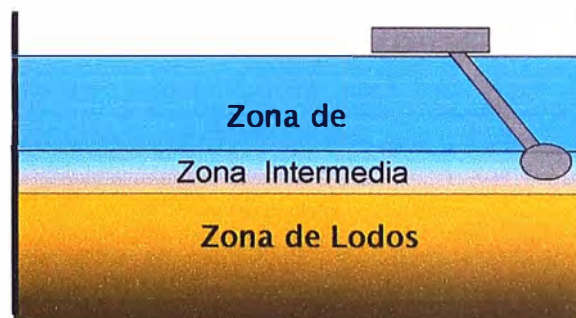


**Figura 3.3 Fase decantación**

#### 3.1.4 Capas de la cuenca

La Figura 3.4 ilustra las tres capas estratificadas que se forman en cada cuenca, al final de la fase de Asentamiento y el comienzo de la fase de decantación. Se formara un manto de lodos en la parte inferior de la cuenca y los sólidos suspendidos de la solución mezclada (MLSS) se asentarán.

Una zona de amortiguamiento se formara para amortiguar el manto de lodos del volumen que se elimina durante la fase de decantación. La reducción es la capa superior de un líquido claro que queda después de que el MTSS resolver y es el volumen máximo que se extrae durante la fase de decantación.



**Figura 3.4 Capas de la cuenca**

### 3.1.5 La cuenca hidráulica y carga

Durante todas las fases del ciclo de ICEAS, afluentes correlativas (por lo general seleccionados y desgranados) fluye en las cuencas. Para permitir la igualdad de la carga, el flujo se divide por igual a todas las cuencas de una caja de distribución. Dado que el flujo del afluente es continuo, el proceso de ICEAS puede ser operado en una cuenca única, permitiendo a las cuencas de ser puesto fuera de servicio por mantenimiento o durante la baja de flujo/condiciones de carga.

Las cuencas ICEAS están diseñadas para manejar el caudal medio tiempo seco (ADWF), el flujo máximo tiempo seco (PDWF), y el flujo máximo de lluvia (PWWF) como se especifica en los parámetros de diseño. El flujo entra en las cuencas de forma continua y el efluente tratado deja las cuencas de forma intermitente (sólo durante la fase de decantación).

Los dos ciclos basados en el tiempo se utilizan para procesar el flujo hidráulico (El ciclo normal del proceso de ADWF y la PDWF). El llamado ciclo de tormentas cuenta con períodos de tiempo que son un 25 por ciento más corto que el ciclo normal de los flujos de proceso por encima de la PDWF hasta el PWWF.

## 3.2 Análisis de la solución

El objetivo es desarrollar una ingeniería que comprenda, no solo los diseños de los despliegues requeridos en el Sistema SCADA por La Empresa de Agua Potable así como la provisión de la aplicación de reportes, sino que además se identifique los circuitos de medición y se diseñen los circuitos de toma de señales de corriente eléctrica y se definan los dispositivos, para permitir la captura de las señales y sean llevadas al nuevo controlador de procesos de la planta, a fin que sean integrados al Sistema SCADA de la misma, y por ende su visualización en los despliegues que se construirán para tal propósito en dicho sistema.

### 3.2.1 Situación previa a la solución

Previa a la solución la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Manchay trabajaba según los procesos que se describen a continuación (Figura 3.5):

- Tratamiento Primario: Reja mecánica, Tornillo desarenador y Separador de grasas y aceites
- Tratamiento secundario: Sistema de Aireación Extendida por Ciclos Intermitentes (ICEAS)
- Tratamiento terciario: Filtración en arena por gravedad y Desinfección por Cloro o UV
- Tratamiento de lodos: Espesador, Digestor aeróbico, Centrifuga de lodos y Sistema de mezcla de lodos y cal para su estabilización.
- Sistema de Control SCADA

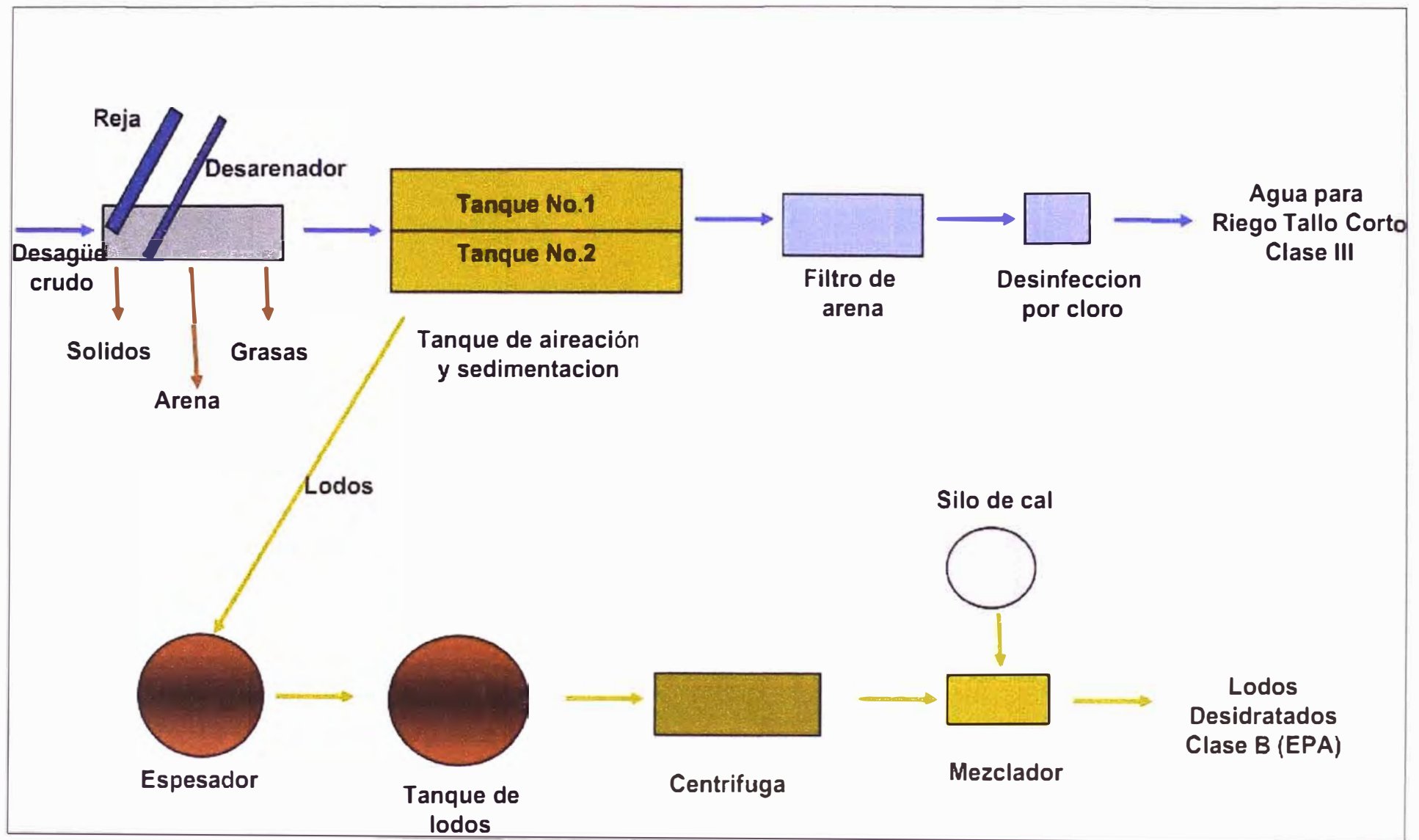


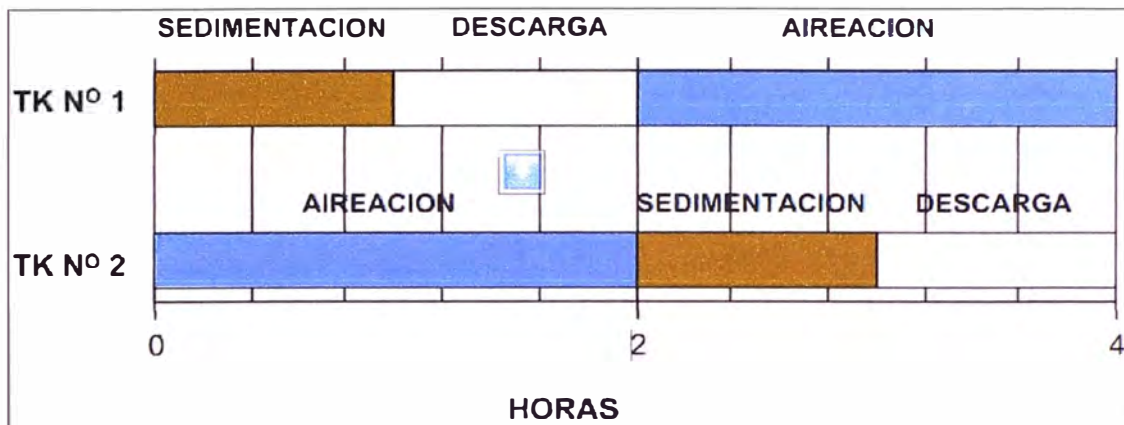
Figura 3.5 Esquema de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

La planta tiene un caudal promedio de 90 l/s, su caudal máximo es de 160 l/s

La Figura 3.5 ilustra el esquema de la PTAR. Los líquidos a tratar ingresan y previamente son filtrados, se separan los sólidos y grasas, luego pasan a los Tanques No.1 y Tanque No.2 para su tratamiento, donde se separa el lodo y el agua tratada es filtrada y desinfectada con cloro para luego salir como agua para riego.

En el proceso se ha observado que falta medir a la salida la calidad de agua por lo que se sugiere una mejora en su diseño.

En la Figura 3.6 se ilustra el ciclo de operación normal de Tratamiento Secundario: Lodos Activados de aireación Extendida (ICEAS)



**Figura 3.6** Tratamiento Secundario de Lodos

El sistema de control está basado en tiempos de operación, se caracteriza por:

- Tener control efectivo de los ciclos de operación
- Permite operar con altos flujos sin arrastre de sólidos
- Es simple de operar

Estas especificaciones de control pueden plasmarse en un sistema de control especificado en lo siguiente:

**Sistema de Controles:**

- Panel de control con PLC y HMI Local
- Centro de control de motores
- Sistema SCADA basado en PC
- Modem para acceso remoto
- Lógica de Control del proceso ICEAS
- Variadores de frecuencia

**Sistema de Control y Ahorro de Energía:**

- Sensor de Oxígeno disuelto en línea.
- Sistema de regulación de caudal de aire para los sopladores
- PLC para programar la velocidad de los sopladores según el nivel de O<sub>2</sub>.

En la Figura 3.7 se ilustra el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas

residuales de Manchay. Este se puede detallar de la siguiente manera:

- Los líquidos entran a través del Seleccionado y Filtrado de flujo, en el cual se produce el filtro de lodos y sedimentos y luego el resultante es redistribuido, hacia los dos pozos de tratamiento.

- Por los sopladores ICEAS ingresa el aire, el cual es controlado mediante la válvula de control de aire, los fluidos que ingresan a la poza de pre-reacción son tratados para luego ingresar a zona principal donde los líquidos resultantes son extraídos mediante el decantador y actuador, donde son filtrados y tratados para luego salir como efluentes.

Como parte del proceso se tiene el nivel de altura flotante el cual controla el nivel de los fluidos, y las Instalaciones de manejo de lodos, el cual permite medir y tratar los sedimentos y lodos.

Estos procesos son analizados, controlados y visualizados mediante un sistema SCADA el cual se puede apreciar en la Figura 3.8 en el cual se muestran los dos pozos, al igual que un detalle del proceso de tratamiento de aguas y sus fases, cada uno de los pozos tiene un proceso muy independiente uno del otro, por lo que los sensores y actuadores para cada uno de los pozos son independientes, las alarmas se muestran en pantalla y se obtiene mayor detalle de las mismas dando un click sobre la alarma el cual muestra un detalle del problema y el proceso correctivo tomado o a tomar

En la Figura 3.9 se puede apreciar que el sistema de comunicaciones industrial está basado en el protocolo Ethernet, que es uno de los más usados actualmente, se tiene un Sistema SCADA el cual sirve para monitorear el funcionamiento, obtener un reporte del sistema, y efectuar las medidas correctivas del caso; la visualización de los procesos se puede apreciar en mejor detalle a través de LOCAL HMI; el sistema de control y adquisición de datos está dado por un PLC, el cual recoge las señales análogas y digitales para luego tomar las medidas correctivas del caso.

Se puede mostrar que, para el caso de los sopladores ICEAS, los motores se controlan mediante dos variadores de velocidad, estos parámetros son visualizados por 1 PLC Micrologic 1500, al igual que los decantadores, estos son controlados mediante 2 variadores de velocidad que al igual que los sopladores, los parámetros son adquiridos mediante el PLC.

### **3.2.2 Requerimientos para el mejoramiento del sistema**

La Empresa de Agua Potable planteó observaciones a los despliegues del Sistema SCADA de la PTAR Manchay. De estas observaciones algunas son de forma (mejora de los dibujos de los procesos) y otras demandan implementar nuevos despliegues (unifilares eléctricos y comunicaciones), y la provisión de la aplicación de reportes en el SCADA citado.

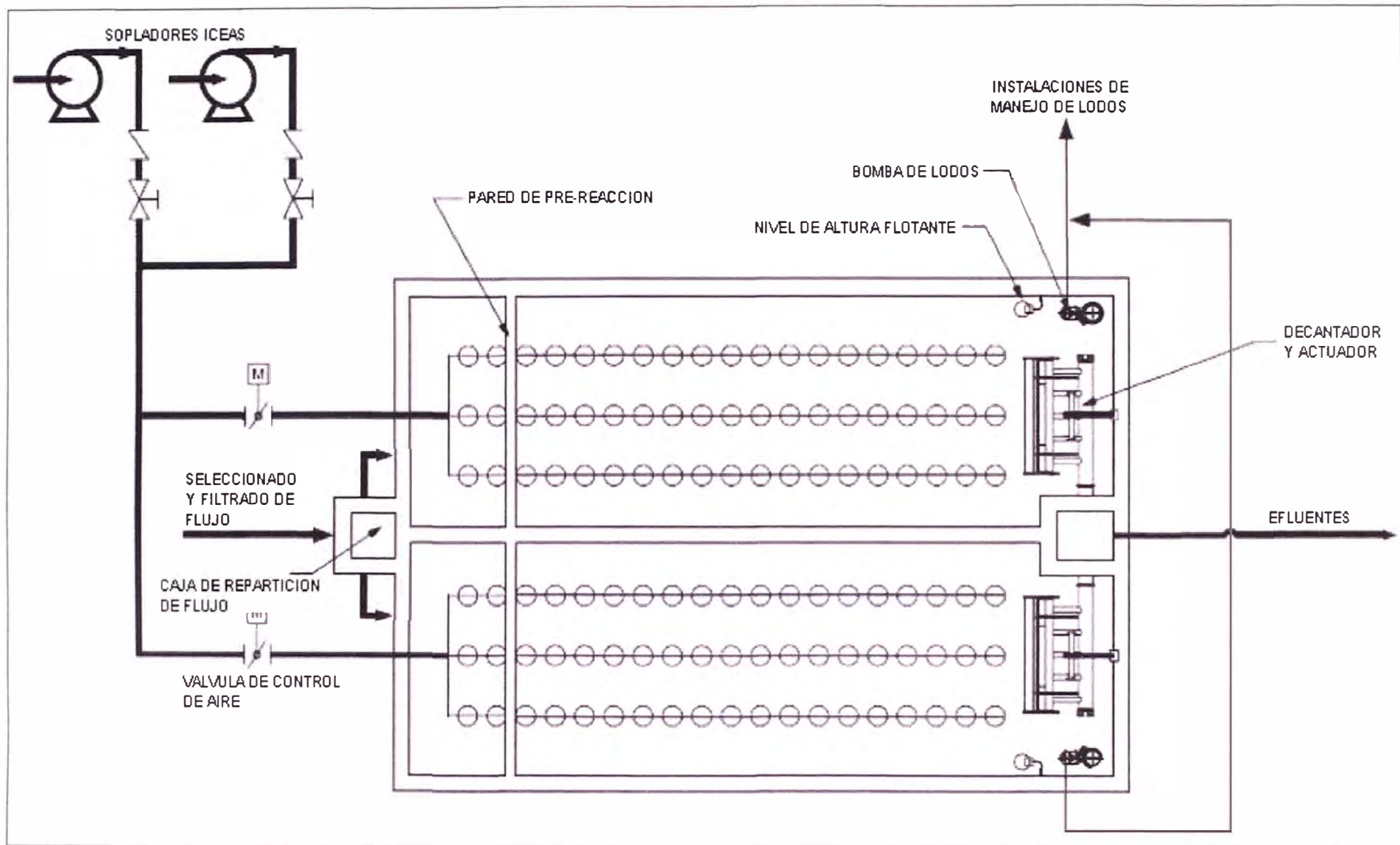


Figura 3.7 Diagrama de Flujo de PTAR



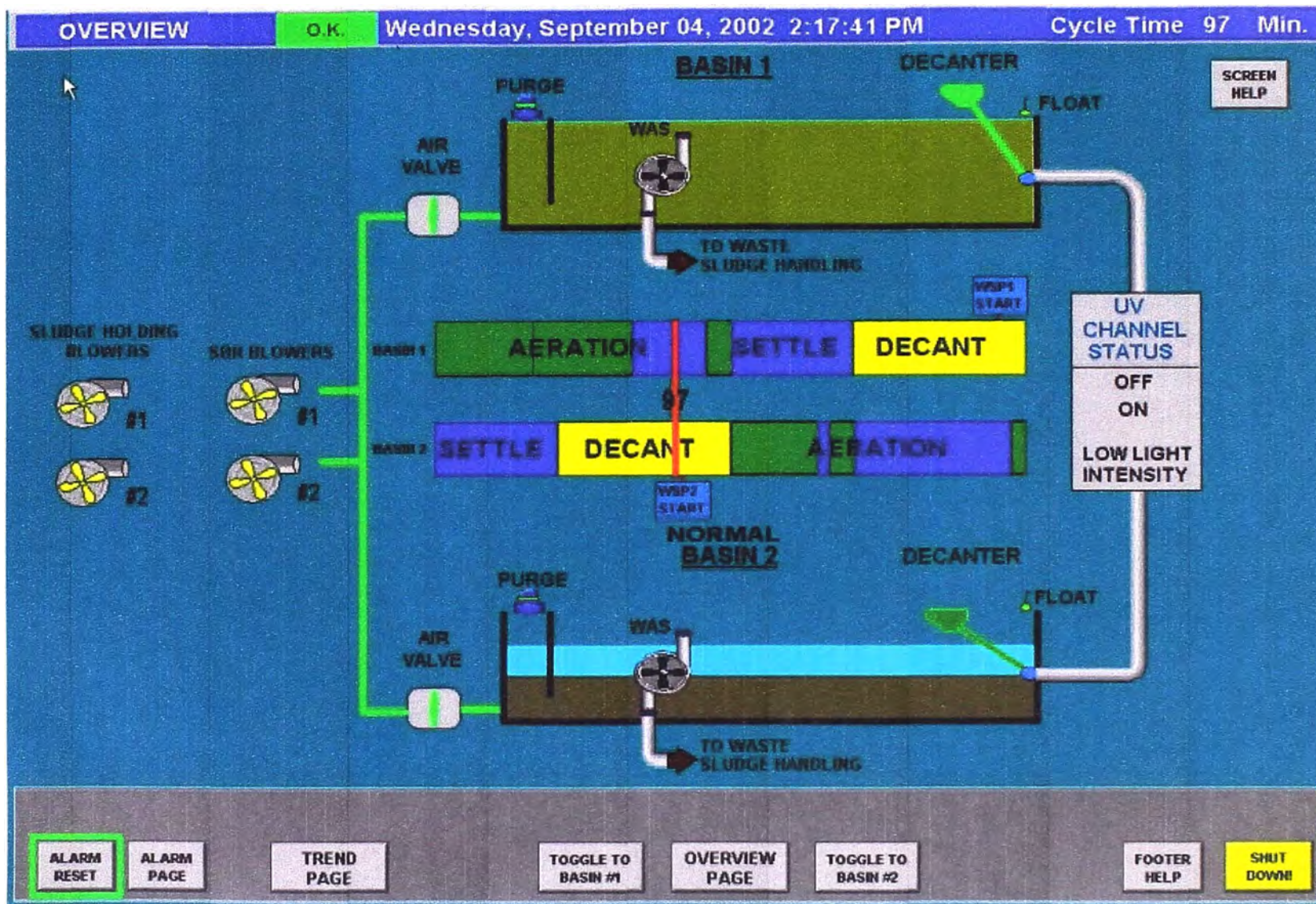


Figura 3.8 Sistema SCADA



Figura 3.9 Sistema de Control y Comunicación

Con la finalidad de dar por aprobado dicho sistema SCADA se requiere levantar las observaciones planteadas por La Empresa de Agua Potable. Esta sección se divide en:

- Consideraciones específicas.
- Equipos sistema de control y automatización.
- Terminales de dialogo hombre maquina.
- Equipos de Medición (instrumentación).

#### **a. Consideraciones específicas**

Se agrupan en tres tipos:

- Para equipamiento electro-mecánico.
- Instalación eléctrica.
- Sistema de automatización.

##### **a.1 Para equipamiento electro-mecánico**

El suministro de equipos de bombeo para aguas servidas, equipos de aireación, equipos de clorinación, grupos electrógenos, tableros eléctricos de mando, tableros de control, válvulas, medidores u otros elementos, deben estar de acuerdo a las especificaciones técnicas aprobadas por La Empresa de Agua Potable y/o las que hayan sido elaboradas como complemento; asimismo para su adquisición, deberán contar con la aprobación del Ing. Inspector o Supervisor de la Obra.

Los equipos electromecánicos a instalar, deberán de alcanzar un bajo nivel de ruido el cual no debe superar los 60 decibeles (dB), medidos en el interior de la caseta y cumpliendo la eficiencia indicada en las especificaciones técnicas.

Los accesorios a usar en las estaciones de bombeo, rebombeo y/o cámaras serán de hierro dúctil (nodular) ó acero con tratamiento anticorrosivo.

Los montajes o instalación de equipos mecánicos, válvulas especiales y tableros eléctricos deberán ser efectuados por los mismos proveedores, a fin de asegurar su correcta selección, funcionamiento y garantía operativa. Asimismo, las piezas de cada uno de los elementos del equipamiento serán de marca reconocida, la misma que debe estar impresa en alto o bajo relieve para garantizar su legitimidad.

##### **a.2 Instalación eléctrica**

Los cables de suministro eléctrico deberán ser resistentes al agua conectada a la caja de paso pero pasando a la laguna por encima del nivel del agua y el cable irá apoyado sobre el cable de anclaje de acero.

Cada equipo respectivo debe ser probado en el agua bajo carga. El fabricante deberá entregarlos datos completos de las pruebas eléctricas. La velocidad de vibración radial no debe de exceder de 0.3 pulgadas/segundo al rodaje superior del motor o en el tubo de la válvula debajo del flotador.

### a.3 Sistema de automatización

Implementar un sistema de automatización. Dado esto, La Empresa de Agua Potable exige que se adjunte una memoria descriptiva y esquemas ó diagramas de funcionamiento y operatividad, indicando las cualidades, características y parámetros de control.

### b. Equipos sistema de control y automatización

Este es agrupado de la siguiente manera:

- PLC.
- Características eléctricas.
- Características del procesador.
- Características de entradas y salidas.
- Características de comunicaciones.

#### b.1 PLC

Los PLC a utilizar serán totalmente modulares, y con la posibilidad de conectar racks de expansión.

Conformidad a Normas	IEC/EN 61131-2CE y UL 508
Temperatura	Funcionamiento 0 a.60°C. Almacenamiento - 25.+ 70°C.
Higronométrica	-10% a 95% sin condensación en operación-5% a 95% sin condensación en almacenamiento
Altitud	0 a 4000msnm
Resistencia a los choques	Conforme con IEC68-2-27. Pruebas Ea.
Resistencia a las vibraciones	Conforme con IEC68-2-6.Pruebas Fc. .

#### b.2 Características eléctricas

Alimentación	100 a 240VAC Auto-Voltaje
Límites	85 a 264VAC
Frecuencia	47 a 63 Hz
Corriente Primario	<=0.7A (100VAC), <=0.3A (240VAC)
Potencia Secundario	- Nominal: 24W- Pico: 32W.
Protección integrada contra	Sobrecarga, cortocircuito y sobre voltaje.
Aislamiento primario/secundario	2000 Vrms – 50/60Hz

#### b.3 Características del procesador

Sistema operativo (Firmware)	Actualizable por descarga por el software de programación en forma local ó remota desde Terminal de programación.
Programa de aplicación	Tipo tele cargable por el software de

	programación en forma local ó remota desde Terminal de programación.
Memoria RAM	2 MB.
Memoria de Programa	35 Kinstrucciones.
Datos	128 KB
Respaldo de aplicación	16MB
Tiempo de ejecución	0.14 micro seg/instrucción
Lenguaje de programación	De acuerdo a Norma IEC 61131-3, Gráfico Funcional Secuencial (SFC), Lista de instrucciones (IL), Texto estructurado (ST), Diagrama de bloques funcionales (FBD) y, Diagrama de contactos (LD)
Ambiente	Windows
Estructura del programa	Multitarea.

#### **b.4 Características de entradas y salidas**

Deberá estar ubicadas en módulos extraíbles con capacidad de reemplazo en caliente (Hot Swap)

Entradas discretas	Tipo DC, Tensión 24 VDC, Canal aislado y 8 canales mínimo
Salidas discretas	Tipo DC/AC relé aislado, 24..240VAC y 24VDC, corriente 3A., 8 canales mínimo, 2000 Vrms – 50/60HZ aislamiento por 1 minuto.
Entradas análogas	Tipo canales multi-rango tensión (+/- 10V, 0..10V, 0..5V, 1..5V) corriente (0..20mA, 4..20 mA), resolución 1.4 iA , aislamiento: +/-300 VDC entre canales, 2000Vdc entre bus y canales, 2000Vdc entre canales y tierra.
Salidas análogas	Tipo canales multi-rango tensión (+/- 10V), corriente (0..20mA, 4..20 mA), resolución 16 bits , aislamiento: 1400 VDC entre canales, 2000Vdc entre bus y canales, 2000Vdc entre canales y tierra.

#### **b.5 Características de comunicaciones**

Puerto Ethernet 10/100 Base-TX integrado al procesador ó en módulo de comunicación dedicado instalado en slot del rack base con protocolo Modbus TCP/IP.

Puerto RS485 / RS232 integrado con protocolos: Modbus Maestro, Esclavo, RTU / ASCII.  
Puerto RS 485 ó USB. Integrado.

El número de entradas y salidas, tanto analógicas como discretas dependerá del número de I/O necesarias.

La marca del PLC a utilizar deberá ser reconocida en el mercado nacional e internacional, deberá contar con una filial de la casa matriz instalada en el Perú durante más de 5 años, la que deberá garantizar la instalación y los equipos, así como asegurar un stock mínimo de productos de la marca que brinde y garantice el soporte técnico y la continuidad de servicio.

### **c. Terminales de diálogo hombre máquina (HMI)**

Los terminales de dialogo a utilizar deberán tener las siguientes características:

Conformidad con las normas	IEC 1131-2, IEC 68-2-6, EN61131-2
Temperatura de trabajo	0.a 45°C
Grado de protección	IP65 de acuerdo a IEC ó Nema 4 (polvo y agua)
Alimentación	24VCC
Puerto Ethernet	10/100BaseT (Deseable)

Además contar con puertos seriales RS 232/RS422/RS485/USB para programación, descarga de la aplicación, para comunicación con el PLC y otros dispositivos electrónicos. También una ranura para memoria Compact Flash.

Para la comunicación entre PLC en red Ethernet con protocolo Modbus TCP/IP es necesario Switches, con puertos RJ45, los mismos que servirán para la posterior integración con el Sistema SCADA. Este deberá tener las siguientes características:

- 2puertosRJ45
- Leds de comunicación
- Leds de estado
- Alimentación 220Vac, 60Hz
- Ventilación forzada (ventilador)

### **d. Equipos de Medición (Instrumentación)**

Constan de dos:

- Medidor de Oxigeno Disuelto
- Medidor de Cloro Residual

#### **d.1 Medidor de Oxigeno Disuelto**

- Rango 0-25 PPM
- Sensor libre de mantenimiento
- Display retro iluminado LCD
- Relés de estado y/o alarma

- Salidas analógicas de 4-20mA, representativa del valor de censado.
- Alimentación 220Vac, 60Hz
- Exactitud 0.05% del Span.
- Protección IP65

#### **d.2 Medidor de Cloro Residual**

- Rango Cloro Residual 0.00-5.00 ppm, ácido hipocloroso 0.00-5.00ppm
- (rangos configurables)
- Membrana de sensor reemplazable
- Salidas relé de estado y/o alarma
- Display retro iluminado LCD
- Salidas analógicas de 4-20mA
- Alimentación 220Vac, 60Hz
- Exactitud 0.1 ppm
- Protección IP65

#### **3.2.3 Dimensionamiento de la solución**

El dimensionamiento de la solución se enfoca en el análisis de la parte de la instrumentación y de la parte de control, dado que es la parte que compete al informe de suficiencia.

##### **a. Instrumentación**

En un proyecto en el que la mayoría de las instalaciones se automatizan y se controlan remotamente, los sensores encargados de la adquisición de datos tienen una importancia clara. Por ello, tanto el tipo de sensor, como la fiabilidad del equipo elegido, así como la facilidad de instalación y mantenimiento, deben ser examinados a detalle. Por tanto, para la solución se propone la instalación de captadores de la máxima calidad, cuya fiabilidad está ampliamente contrastada en numerosas instalaciones y se adaptan con exactitud a las necesidades del proyecto.

##### **a.1 Obra de llegada/cámara de floculación**

Se determina adicionar un analizador de pH el cual se conectará al decantador y que proporcionará una señal de 4 a 20 mA, que pueda conectarse directamente al controlador de proceso de la planta, a su tarjeta de Entrada/Salida de señales analógicas.

##### **a.2 Depósito de agua tratada/salida**

Se ha determina colocar un analizador de pH el cual el cual irá colocado a la salida de las aguas para riego que salen de la planta de tratamiento y que proporcionará una señal de 4 a 20 mA, que puede conectarse directamente al controlador de proceso de la planta, a su tarjeta de Entrada/Salida de señales analógicas.

También se decide incluir un medidor de caudal ultrasónico en tubería DN 1200, el

cual proporcionará una medición de la salida de líquidos y que a su vez estos darán una señal de 4 a 20 mA, que puede conectarse directamente al controlador de proceso de la planta, a su tarjeta de Entrada/Salida de señales analógicas.

### **a.3 Balsas de fango/rebose**

Para la parte de rebose se ha determina incluir un medidor de caudal ultrasónico en tubería DN 1200, el cual proporcionará una medición de la salida de líquidos y que a su vez proporcionará una señal de 4 a 20 mA, que puede conectarse directamente al controlador de proceso de la planta, a su tarjeta de Entrada/Salida de señales analógicas.

### **a.4 Tensión de equipos de fuerza**

Para la medición de los equipos de fuerza, se determina implementar la toma de señales de corriente eléctrica y llevarlas al sistema SCADA de la planta. Este circuito se basa en el empleo de transformadores de corriente toroidales, que llevan incorporados convertidores de corriente alterna a continua y que a su vez la salida es de 4 a 20 mA, que puede conectarse directamente al controlador de proceso de la planta, a su tarjeta de Entrada/Salida de señales analógicas.

Los cables de control para señales analógicas deben tener una tensión de servicio de 0.3 Kv, para una temperatura de operación de 90°C, fabricados según la norma ICEA S-82-552. Se determina que los conductores deben ser de cobre electrolítico recocido, estañado o sin estañar, aislamiento de polietileno reticulado (XLPE) coloreado según el número de pares.

## **b. Automatismo y control**

La solución propuesta está basada en una arquitectura jerarquizada en tres niveles de Control: supervisión proceso, control de proceso y niveles de campo.

El sistema de control permitirá el funcionamiento automático de la estación de tratamiento con la máxima fiabilidad, facilitará al personal encargado de la explotación y gestión de la planta toda la información precisa para conocer el estado de la misma y permitirá que se pueda actuar sobre el proceso.

Se determina colocar un PLC adicional de del tipo Allen Bradley de la serie Control Logix para mantener la compatibilidad con los demás equipos y el cual deberá conectarse al sistema SCADA existente y que este a su vez contara con una red de cuadros de entradas/salidas distribuidas que recogerán el estado de las señales digitales y analógicas procedentes de los equipos adicionales de medición para el monitores de los equipos de fuerza y Control , y que estos a su vez sea parte del sistema SCADA existente.

El seguimiento, control y proceso de las instalaciones estará gobernado por un autómatas programable del tipo Allen Bradley de la serie ControlLogix, (con procesador



redundante) el cual se encontraba instalado y una red de cuadros de entradas/salidas distribuidas que recogerán el estado de las señales digitales y analógicas procedentes de los equipos e instrumentos de la planta, procesarán las instrucciones de acuerdo con lo establecido en el programa de usuario y generarán las salidas de proceso, procesando la información obtenida sobre todo el sistema con el fin de coordinar los automatismos de la planta y permitir el seguimiento del proceso.

El sistema de automatización de procesos proporcionará flexibilidad, escalabilidad y expansibilidad, es decir el sistema permitirá a los usuarios implementar gradualmente la automatización de la planta usando sólo los componentes necesarios. Cuando se requiere una actualización o una adición al sistema, los componentes se deben agregar fácilmente.

El sistema de automatización de procesos incluirá las siguientes características asociadas tanto a un controlador lógico programable, tales como programación de lógica en escalera y arquitecturas remotas de E/S, como a un sistema de control distribuido (tales como control complejo y continuo, interfaces del operador avanzadas y redundancia sofisticada). Estas capacidades deberán residir perfectamente integradas en el sistema de control sin el uso de puertas de acceso o interfaces especiales.

El sistema será un sistema abierto compuesto de tecnología basada en estándares, incluyendo plataformas PC con un sistema operativo Windows (que soporta XP, Vista, Servidor 2003 y Servidor 2008), comunicaciones Ethernet/IP, TCP/IP, OPC para interconectividad de múltiples sistemas de diferentes proveedores, sistema de control montable en campo, subsistema remoto de E/S y comunicación en serie basada en bus con dispositivos de campo inteligentes con capacidad para trabajar sobre uno de los protocolos siguientes HART, Profibus, Device Net, ó Modbus.

### **3.3 Planteamiento de caso de estudio**

Para el caso de estudio de las mejoras en la planta de tratamiento de Aguas Residuales (PTAR Manchay), el informe se centrará en el análisis de los equipos de instrumentación, dado que analizar toda la solución implementada sería muy extenso.

La descripción se enfoca en los equipos que son de importancia para el correcto funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, además se analizará el criterio de selección de los instrumentos sus especificaciones técnicas y la adecuación de los mismos a la planta en mención, también se tomará en consideración los criterios para la selección da adecuación de los instrumentos.

Parte del análisis es el funcionamiento de los instrumentos con respecto a la red industrial, como se ha acondicionado al sistema y como estos interactúan con el sistema SCADA en mención

## **CAPÍTULO IV**

### **DESCRIPCION DE LA SOLUCION Y ADECUACION DE INSTRUMENTACIÓN**

En el presente capítulo se tocan los temas involucrados ala solución . Se desarrollan los siguientes ítems.

- Análisis de los procesos a mejorar en la PTAR.
- Descripción de la solución.
- Costos y cronograma.

#### **4.1 Planteamiento de la solución**

Como se analizó, la planta de tratamiento de Aguas residuales de Manchay viene trabajando en condiciones normales de funcionamiento, entonces se propone una solución para las mejoras en su diseño para optimizar el desempeño de funcionamiento de la planta, por tal motivo analizaremos los puntos críticos en donde se van a hacer las mejoras.

Estas mejoras incluyen tanto la parte de procesos como en el funcionamiento de la planta. El análisis se centra en la instrumentación y la adecuación de los instrumentos, además de la integración de los instrumentos a la planta de tratamiento de Aguas residuales en Manchay.

El dimensionamiento de la solución se enfoca en el análisis de la parte de la instrumentación y de la parte de control, dado que es la parte que compete al informe de suficiencia.

##### **4.1.1 Instrumentación**

En un proyecto en el que la mayoría de las instalaciones se automatizan y se controlan remotamente, los sensores encargados de la adquisición de datos tienen una importancia clara.

Por ello, tanto el tipo de sensor, como la fiabilidad del equipo elegido, así como la facilidad de instalación y mantenimiento, deben ser examinados a detalle.

Por tanto, para la solución se propone la instalación de captadores de la máxima calidad, cuya fiabilidad está ampliamente contrastada en numerosas instalaciones y se adaptan con exactitud a las necesidades del proyecto.

##### **a. Obra de llegada/cámara de floculación**

Se determina adicionar un analizador de pH el cual se conectará al decantador y que proporcionará una señal de 4 a 20 mA, que pueda conectarse directamente al controlador

de proceso de la planta, a su tarjeta de Entrada/Salida de señales analógicas.

Consideraciones de diseño:

Se ha establecido que para mejorar y poder tener un mejor control de los líquidos que ingresan se adicione un medidor de pH en la zona de ingreso de líquidos/cámara de floculación, la zona donde se colocara el medidor será a la salida de la cámara de floculación e ingreso de la pozas de limpieza, como se muestra en la Figura 4.1.

#### **b. Depósito de agua tratada/salida**

Se ha determina colocar un analizador de pH el cual el cual irá colocado a la salida de las aguas para riego que salen de la planta de tratamiento y que proporcionará una señal de 4 a 20 mA, que puede conectarse directamente al controlador de proceso de la planta, a su tarjeta de Entrada/Salida de señales analógicas.

Como se aprecia en la Figura 4.2, se tiene la zona de salida de aguas tratadas, para poder tener respuesta de las condiciones de la salida de aguas tratadas se ha dispuesto colocar un analizador de pH esto con el propósito de tener información de las condiciones de salida de los líquidos y que se dirigen hacia los reservorios de distribución.

También se decide incluir un Medidor de flujomagnético en tubería DN 1200, el cual proporcionará una medición de la salida de líquidos y que a su vez estos darán una señal de 4 a 20 mA, que puede conectarse directamente al controlador de proceso de la planta, a su tarjeta de Entrada/Salida de señales analógicas.

#### **c. Balsas de fango/rebose**

Para la parte de rebose se ha determina incluir un Medidor de flujomagnético en tubería DN 1200, el cual proporcionará una medición de la salida de líquidos y que a su vez proporcionará una señal de 4 a 20 mA, que puede conectarse directamente al controlador de proceso de la planta, a su tarjeta de Entrada/Salida de señales analógicas.

#### **d. Tensión de equipos de fuerza**

Para la medición de los equipos de fuerza, se determina implementar la toma de señales de corriente eléctrica y llevarlas al sistema SCADA de la planta. Este circuito se basa en el empleo de transformadores de corriente toroidales, que llevan incorporados convertidores de corriente alterna a continua y que a su vez la salida es de 4 a 20 mA, que puede conectarse directamente al controlador de proceso de la planta, a su tarjeta de Entrada/Salida de señales analógicas. Los cables de control para señales analógicas deben tener una tensión de servicio de 0.3 Kv, para una temperatura de operación de 90°C, fabricados según la norma ICEA S-82-552. Los cables de control para señales analógicas deben tener una tensión de servicio de 0.3 Kv, para una temperatura de operación de 90°C, fabricados según la norma ICEA S-82-552.

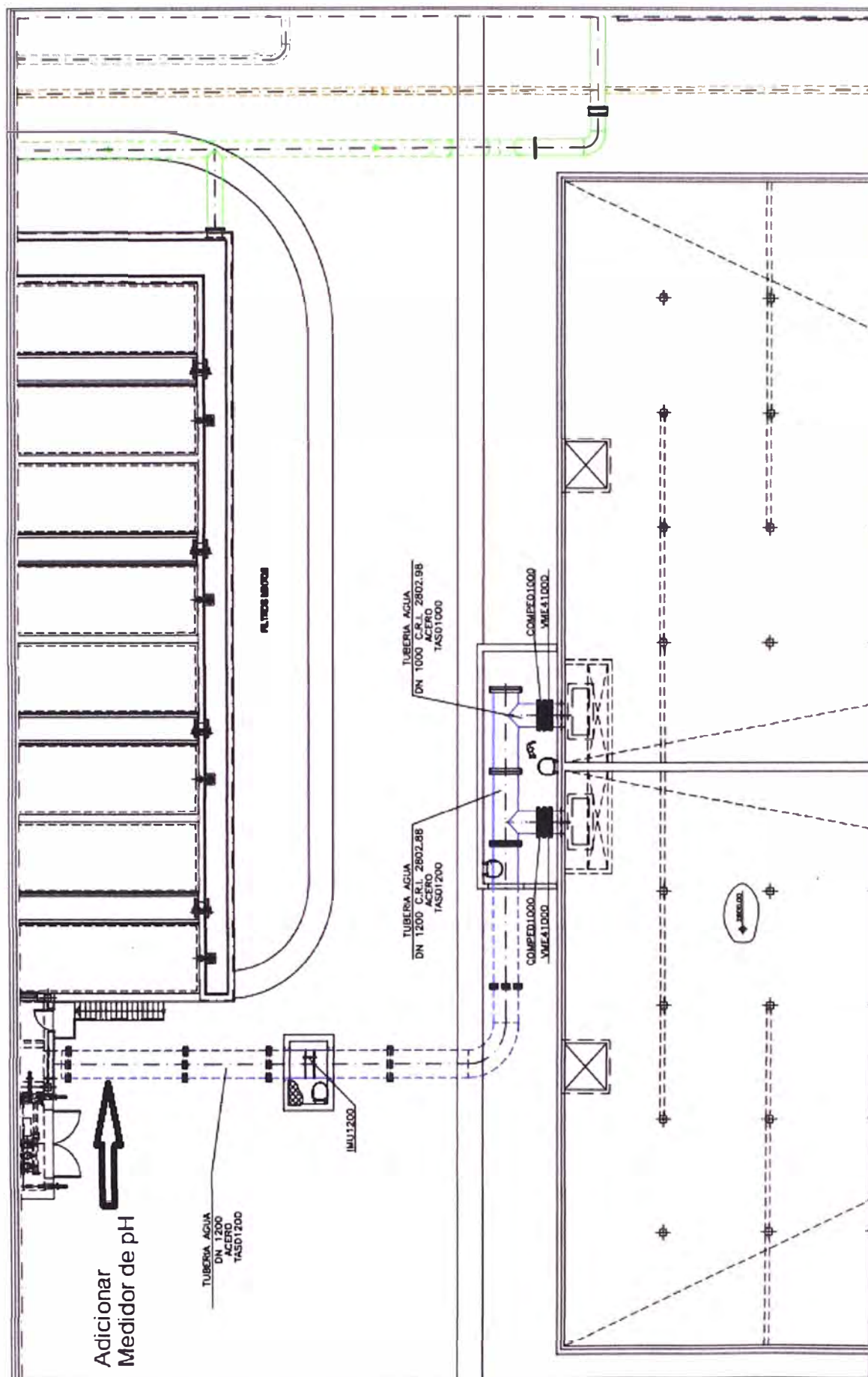


Figura 4.1 Zona de llegada/cámara de floculación

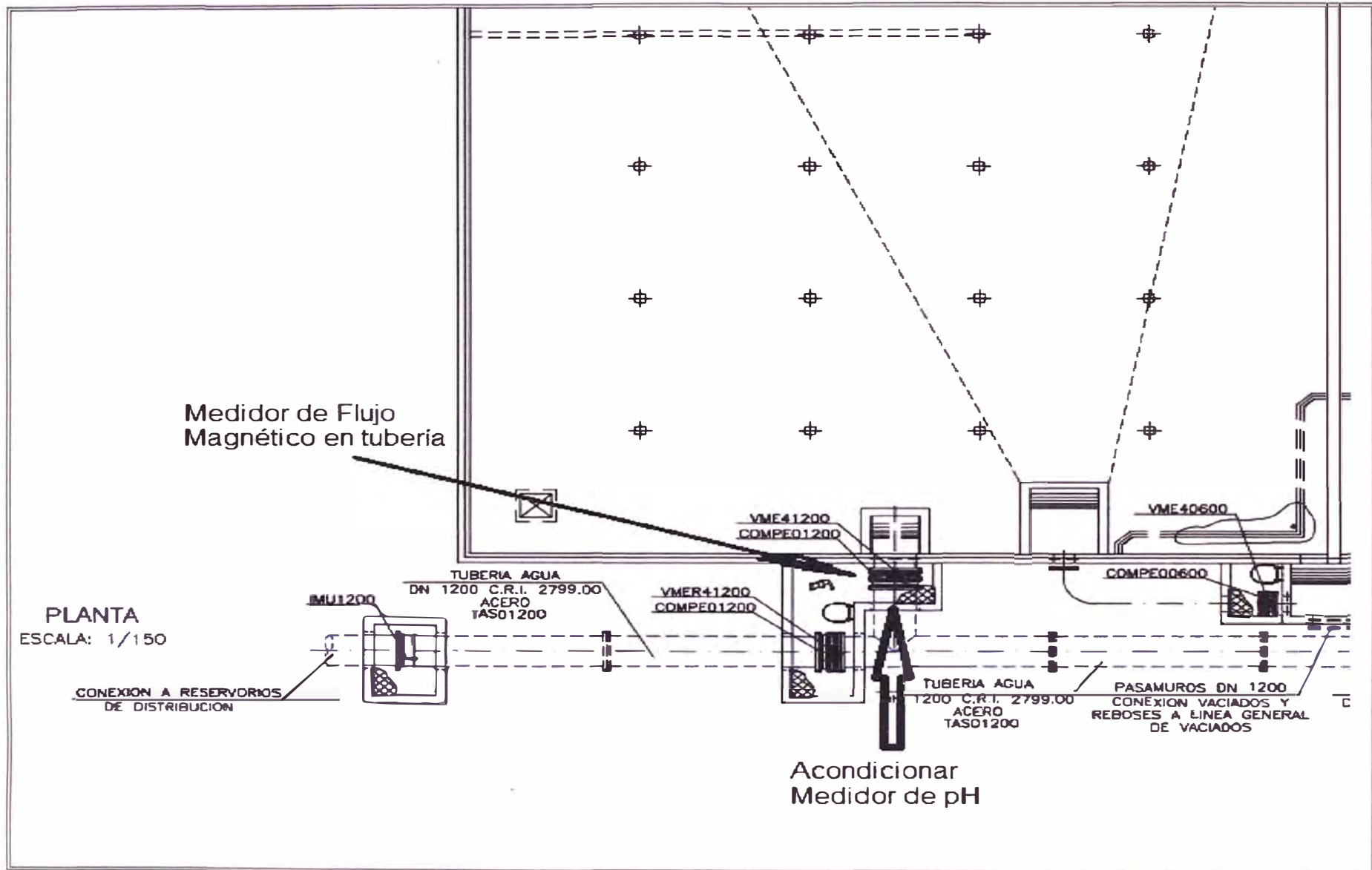


Figura 4.2 Zona de depósito de agua tratada/salida

Se determina que los conductores deben ser de cobre electrolítico recocido, estañado o sin estañar, aislamiento de polietileno reticulado (XLPE) coloreado según el número de pares.

Se ha dispuesto colocar un medidor en los siguientes puntos que se detallan en la Tabla 4.1

**Tabla 4.1** Detalle de adecuación de transductores de corriente según procesos

Descripción Proceso	Descripción Equipo	Transform. de Corriente
Tratamiento Primario 1	Motor Reja Fina	5A/4-20mA
	Tornillo Horizontal Extraccion Arena	5A/4-20mA
	Tornillo Vertical Extraccion Arena	5A/4-20mA
Tratamiento Primario 1	Bomba Grasa	5A/4-20mA
	Motor Aireacion	5A/4-20mA
	Motor Paleta Retiro de Grasa	5A/4-20mA
	Bomba Booster	5A/4-20mA
Tratamiento Primario 2	Motor Reja Fina	5A/4-20mA
	Tornillo Horizontal Extraccion Arena	5A/4-20mA
	Tornillo Vertical Extraccion Arena	5A/4-20mA
	Bomba Grasa	5A/4-20mA
	Motor Aireacion	5A/4-20mA
	Motor Paleta Retiro de Grasa	5A/4-20mA
	Bomba Booster	5A/4-20mA
	Bomba Elevadora 1	10A/4-20mA
Bomba Elevadora 2	10A/4-20mA	
Ecuación	Bomba 1 Ecuación	30A/4-20mA
	Bomba 2 Ecuación	30A/4-20mA
Espesador y Bombeo de Lodos	Barredor de lodos	5A/4-20mA
	Bomba Mono 1 Lodos a Est. Mezcla	10A/4-20mA
	Bomba Mono 2 Lodos a Est. Mezcla	10A/4-20mA
Espesador y Bombeo de Lodos	Bomba Mono 1 Lodos a Centrífuga	10A/4-20mA
	Bomba Mono 2 Lodos a Centrífuga	10A/4-20mA
	Soplador de Lodos 1	32A/4-20mA
Sodimate	Soplador de Lodos 2	32A/4-20mA
	Motor Pivote	5A/4-20mA
	Motor Espira Pivote	5A/4-20mA
Sodimate	Motor filtro	5A/4-20mA
	Motor Rompebovedas	5A/4-20mA
	Motor Dosificador	5A/4-20mA
	Motor Mezclador	5A/4-20mA
Bomba de Lodos iceas	Bomba Lodos 1	7A/4-20mA

Descripción Proceso	Descripción Equipo	Transform. de Corriente
	Bomba Lodos 2	7A/4-20mA
Filtros Leopold	Soplador 1	33A/4-20mA
	Soplador 2	33A/4-20mA
	Bomba de Retrolavado 1	7A/4-20mA
	Bomba de Retrolavado 2	7A/4-20mA
Cloración	Bomba Booster	10A/4-20mA
	Bomba Booster	5A/4-20mA

Seguidamente se presentan modelos de despliegues eléctricos unifilares de la planta (Figura 4.3 a 4.7). En general estos despliegues comprenden el esquema unifilar principal de la planta que muestra el circuito de transferencia entre la alimentación principal y el grupo generador de emergencia, así como los alimentadores principales a cada tablero del proceso, en los cuales se va a implementar la colocación de un medidor toroidal para propósitos de medición de la señal eléctrica de fuerza.

#### 4.1.2 Automatismo y control

La solución propuesta está basada en una arquitectura jerarquizada en tres niveles de Control: supervisión proceso, control de proceso y niveles de campo.

El sistema de control permitirá el funcionamiento automático de la estación de tratamiento con la máxima fiabilidad, facilitará al personal encargado de la explotación y gestión de la planta toda la información precisa para conocer el estado de la misma y permitirá que se pueda actuar sobre el proceso.

Se determina colocar un PLC adicional del tipo Allen Bradley de la serie ControlLogix para mantener la compatibilidad con los demás equipos y el cual deberá conectarse al sistema SCADA existente y que este a su vez contara con una red de cuadros de entradas/salidas distribuidas que recogerán el estado de las señales digitales y analógicas procedentes de los equipos adicionales de medición para el monitoreo de los equipos de fuerza y Control, y que estos a su vez sea parte del sistema SCADA existente.

El seguimiento, control y proceso de las instalaciones estará gobernado por un autómatas programable del tipo Allen Bradley de la serie ControlLogix, (con procesador redundante) el cual se encontraba instalado y una red de cuadros de entradas/salidas distribuidas que recogerán el estado de las señales digitales y analógicas procedentes de los equipos e instrumentos de la planta, procesarán las instrucciones de acuerdo con lo establecido en el programa de usuario y generarán las salidas de proceso, procesando la información obtenida sobre todo el sistema con el fin de coordinar los automatismos de la planta y permitir el seguimiento del proceso.

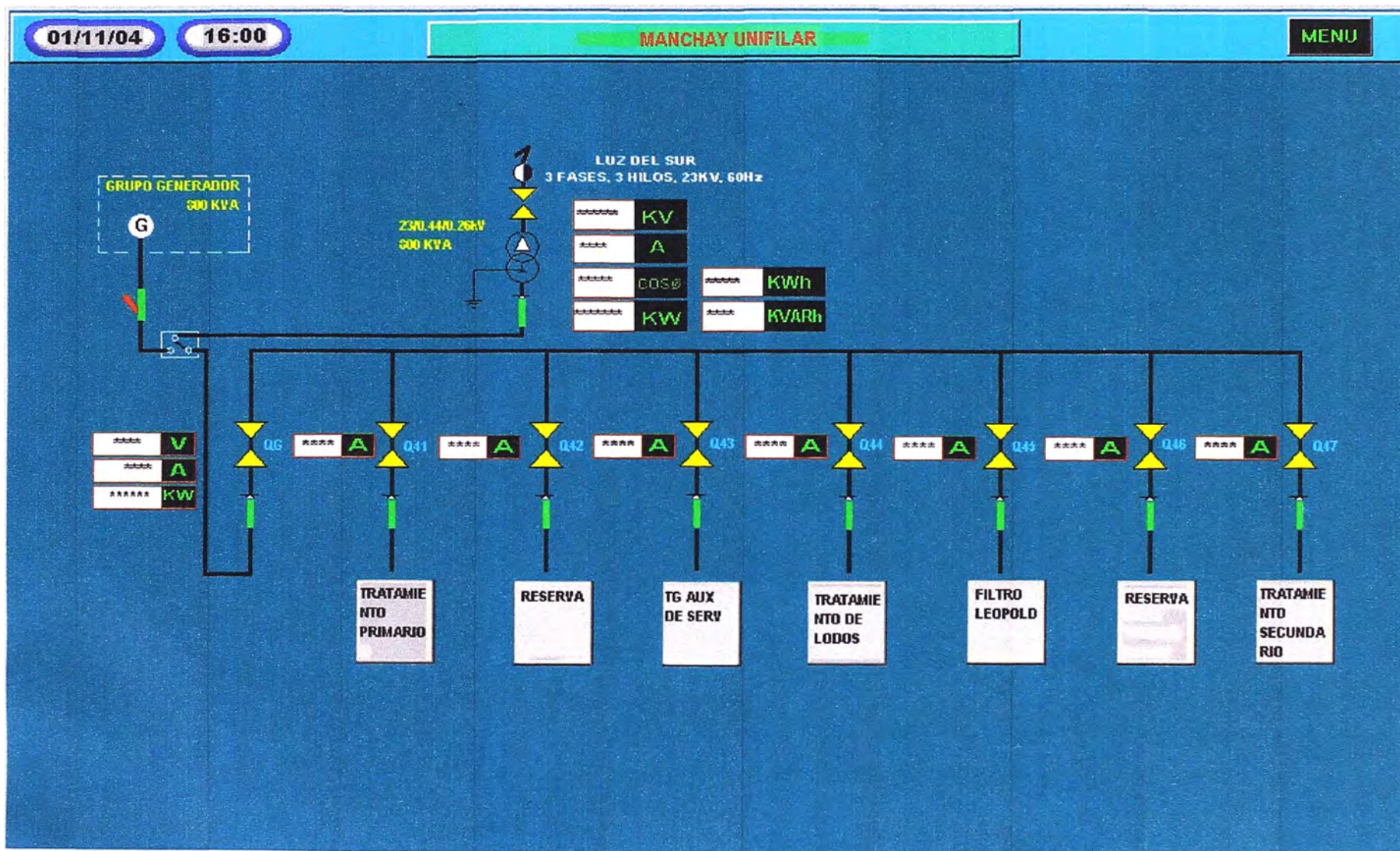


Figura 4.3 Diagrama unifilar de la planta



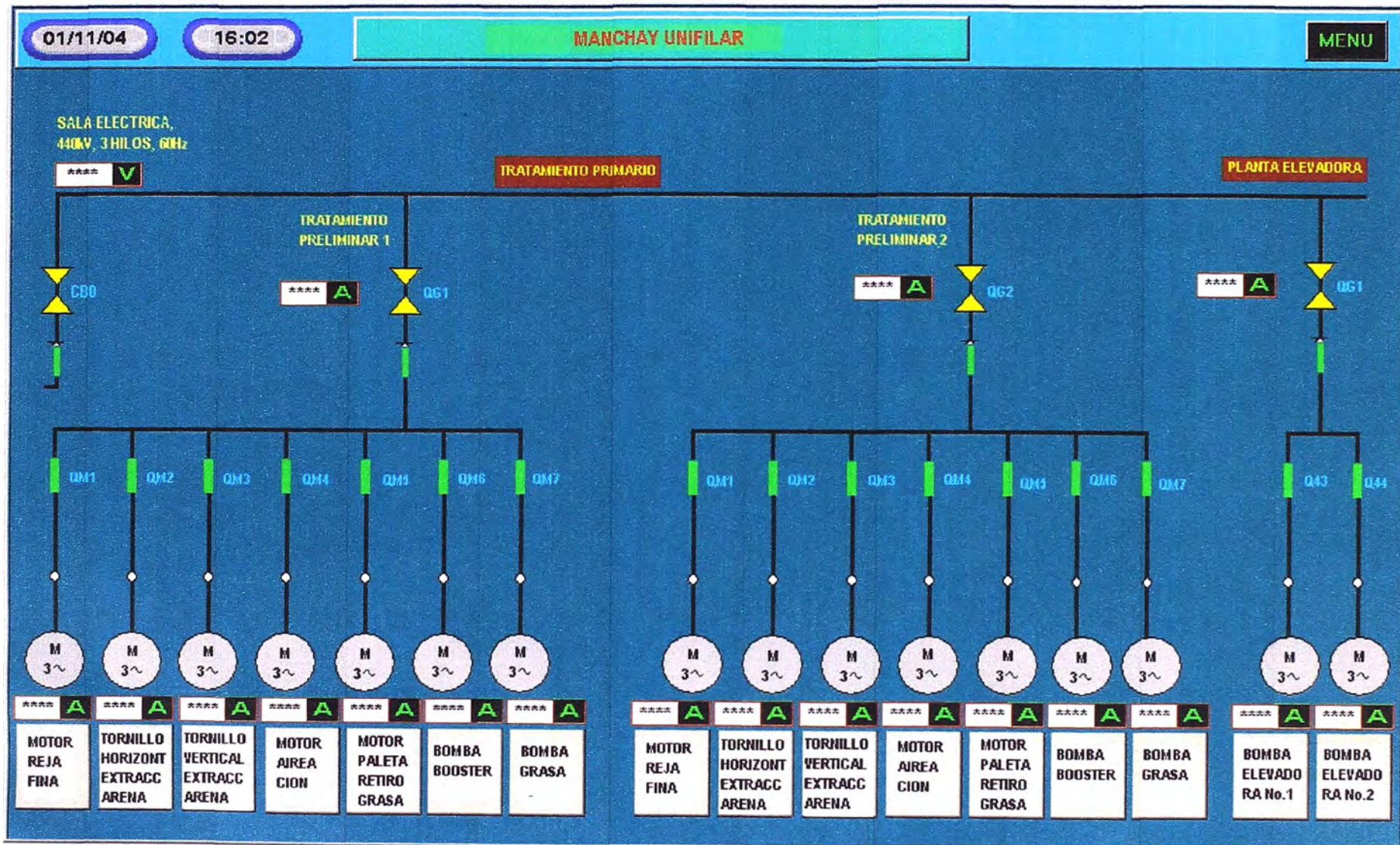


Figura4.4 Diagrama unifilar de la planta



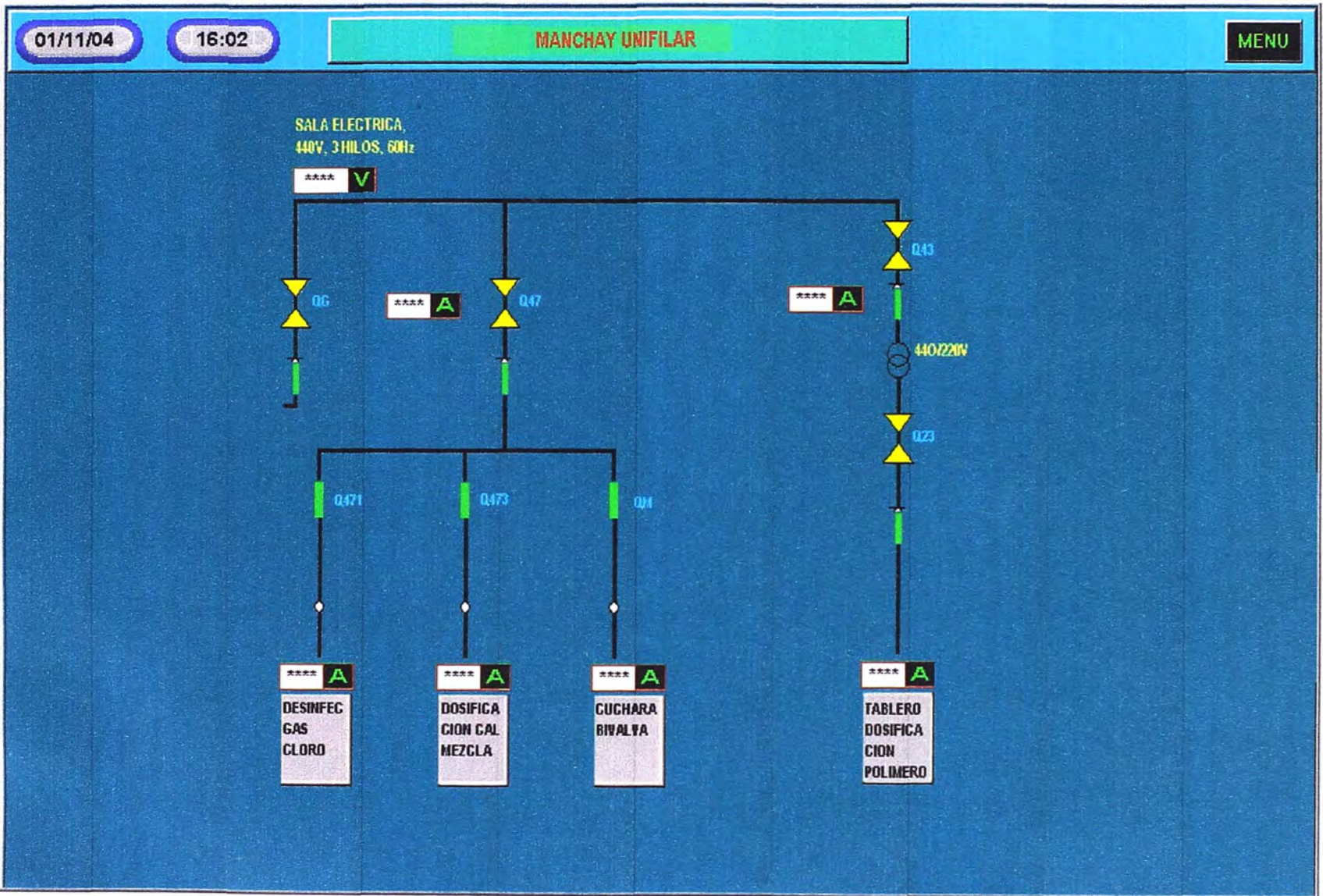


Figura 4.6 Diagrama unifilar de la planta

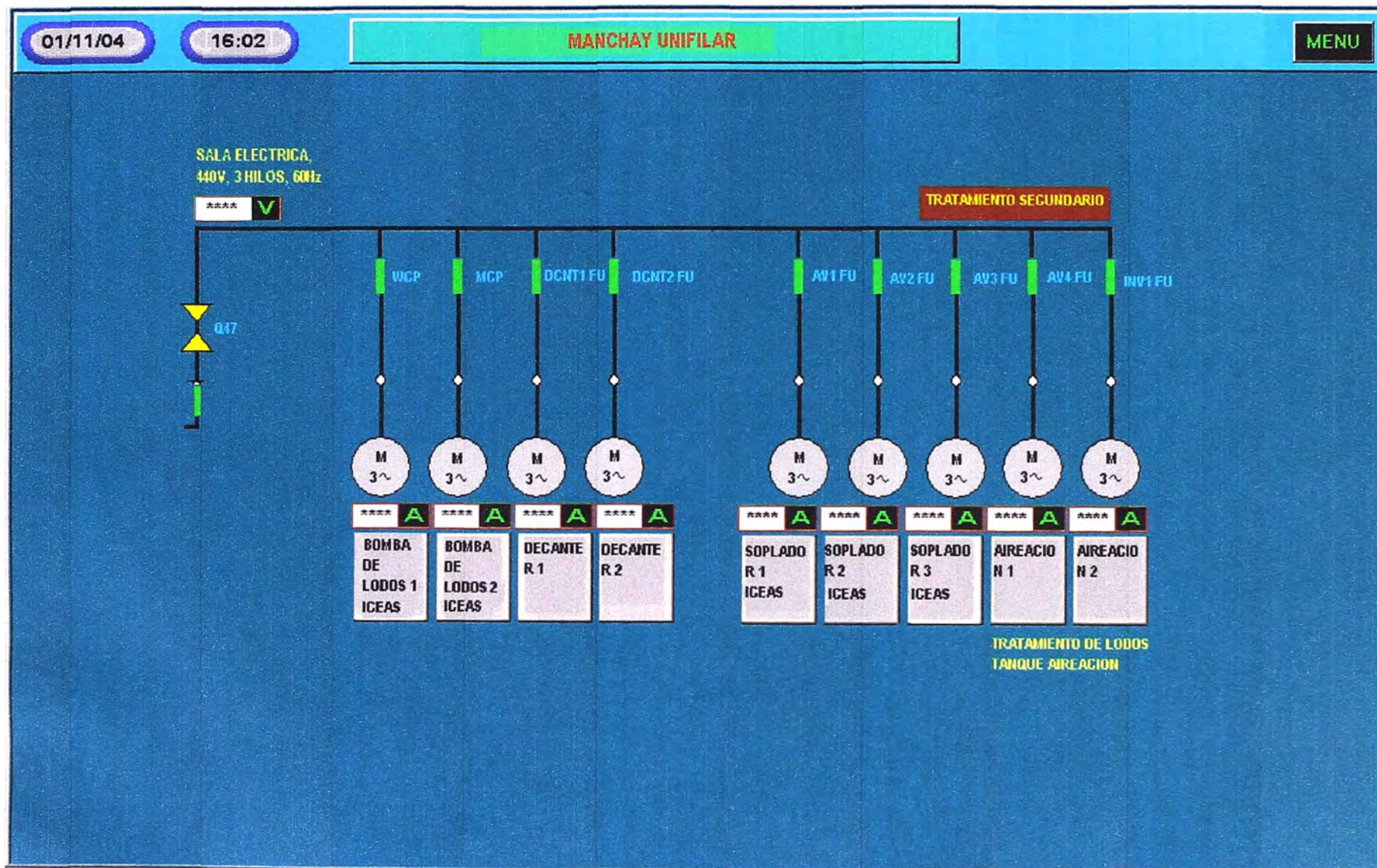


Figura 4.7 Diagrama unifilar de la planta

El sistema de automatización de procesos proporcionará flexibilidad, escalabilidad y expansibilidad, es decir el sistema permitirá a los usuarios implementar gradualmente la automatización de la planta usando sólo los componentes necesarios. Cuando se requiere una actualización o una adición al sistema, los componentes se deben agregar fácilmente.

El sistema de automatización de procesos incluirá las siguientes características asociadas tanto a un controlador lógico programable, tales como programación de lógica en escalera y arquitecturas remotas de E/S, como a un sistema de control distribuido (tales como control complejo y continuo, interfaces del operador avanzadas y redundancia sofisticada). Estas capacidades deberán residir perfectamente integradas en el sistema de control sin el uso de puertas de acceso o interfaces especiales.

El sistema será un sistema abierto compuesto de tecnología basada en estándares, incluyendo plataformas PC con un sistema operativo Windows (que soporta XP, Vista, Servidor 2003 y Servidor 2008), comunicaciones Ethernet/IP, TCP/IP, OPC para inter conectividad de múltiples sistemas de diferentes proveedores, sistema de control montable en campo, subsistema remoto de E/S y comunicación en serie basada en bus con dispositivos de campo inteligentes con capacidad para trabajar sobre uno de los protocolos siguientes HART, Profibus, DeviceNet, ó Modbus.

## **4.2 Descripción de la solución**

Esta sección se divide en dos sub secciones principales:

- Dimensionamiento y adecuación de instrumentación
- Integración de Instrumentación en el SCADA.

### **4.2.1 Dimensionamiento y adecuación de instrumentación**

Se desarrollan los siguientes aspectos:

- Medidor de pH
- Medidor de flujo magnético
- Transductores de corriente toroidales

#### **a. Medidor de pH**

La descripción se divide en: Selección de medidor y adecuación de instalación

##### **a.1 Selección de medidor**

Se debía elegir un medidor que pueda ser usado en condiciones ambientales de alta contaminación, además que pueda ser usado o que esté expuestos a fluidos por muchos periodos de tiempo. Otro punto importante es el tema de la temperatura, para nuestro caso el tema de la temperatura no es preponderante dado que la temperatura en una PTAR no tiene variaciones extremas.

Dadas estas consideraciones se ha seleccionado el modelo pH/Redox AX4664 –

polipropileno con accesorios opcionales de tubo y de brida el cual es apropiado para medir soluciones acuosas en movimiento y en aguas residuales. Este medidor es usado en la Obra de Llegada/Cámara de Floculación y también en el Depósito de agua tratada/salida.

Para la elección del Electrodo se ha analizado las características del electrodo de medición de pH. Considerando que para el análisis de la muestra debe estar alrededor de pH = 7, la temperatura no sufrirá grandes cambios.

De cual se deduce la elección del **Electrodo 1720-051** (para medidor Redox), indicado para la mayoría de las aplicaciones industriales. Funciona de pH 0 a 14, de 0 a 100°C (32 a 212°F) y se debe utilizar cuando el limpiador mecánico está equipado.

## **a.2 Adecuación de instalación**

Para la instalación del Medidor de pH se ha dispuesto colocar el electrodo de medición directamente en la entrada de aguas residuales y salida de líquidos tratados, donde se aprecia que el electrodo de medición está suspendido y en medio de los líquidos de la planta, para adecuar el medidor este se encuentra suspendido de un armazón de acero acondicionado especialmente para el caso, las dimensiones y características de la instalación se detallan en la Figura 4.8.

Para la adecuación de los equipos se ha dispuesto colocar el medidor dentro de una tablero de control o caseta de control como se ilustra en la Figura 4.9, esta caseta cumplirá la norma IP65 y que además deberá estar debidamente hermetizado y con conexiones a tierra debidamente acondicionadas, dentro de la caseta se ubicara el medidor de pH empotrado dentro del tablero, este medidor captura las señales de medición del electrodo de pH, el tipo de cable tiene que ser un cable este cable con cobertura de PVC, irán dentro de un ducto acondicionado para uso de cables de control.

El medidor de pH se alimenta mediante una fuente Alterna de 220Vac, 60 Hz, y las señales de salida oscila en un rango de 4 a 20 mA, como se puede apreciar en la Figura 4.10, las señal que sale del medidor de pH ira hacia las bornes de entradas análogas del PLC, para protección se sugiere que todos los equipos deben de tener una conexión a tierra de al menos 10Ω o menos, según normas de conexiones de instrumentación, luego estas señales se verán reflejadas en el sistema SCADA, para ello se tiene que realizar la calibración y adecuación de las señales de campo.

## **b. Medidor de flujo magnético**

La descripción se divide en: Selección de medidor y adecuación de instalación.

### **b.1 Selección de medidor**

Para la selección del medidor analizaremos las variantes de medidores de caudal que tenemos en el mercado así como sus ventajas y desventajas de cada uno

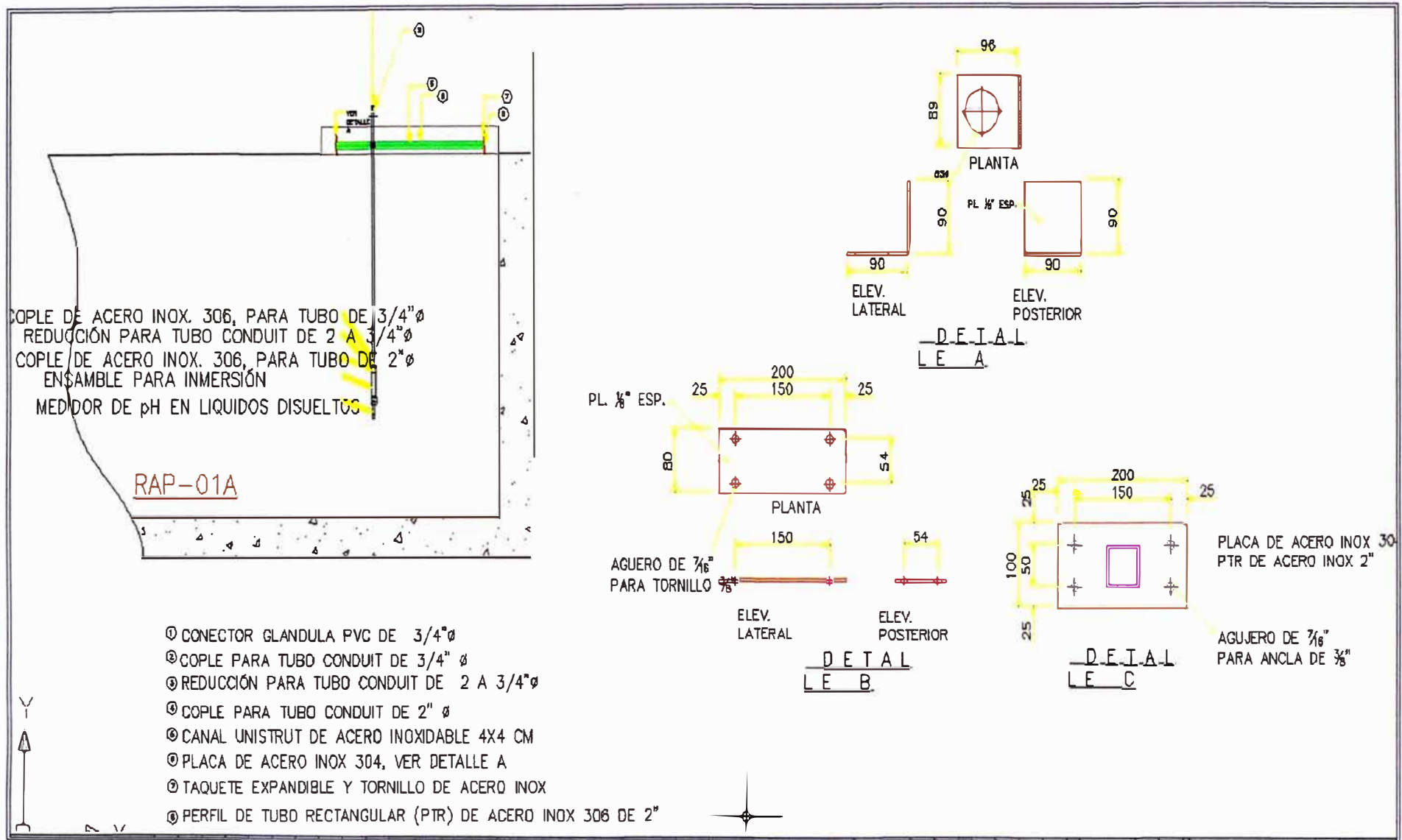


Figura 4.8 Adecuación del electrodo de medición de pH

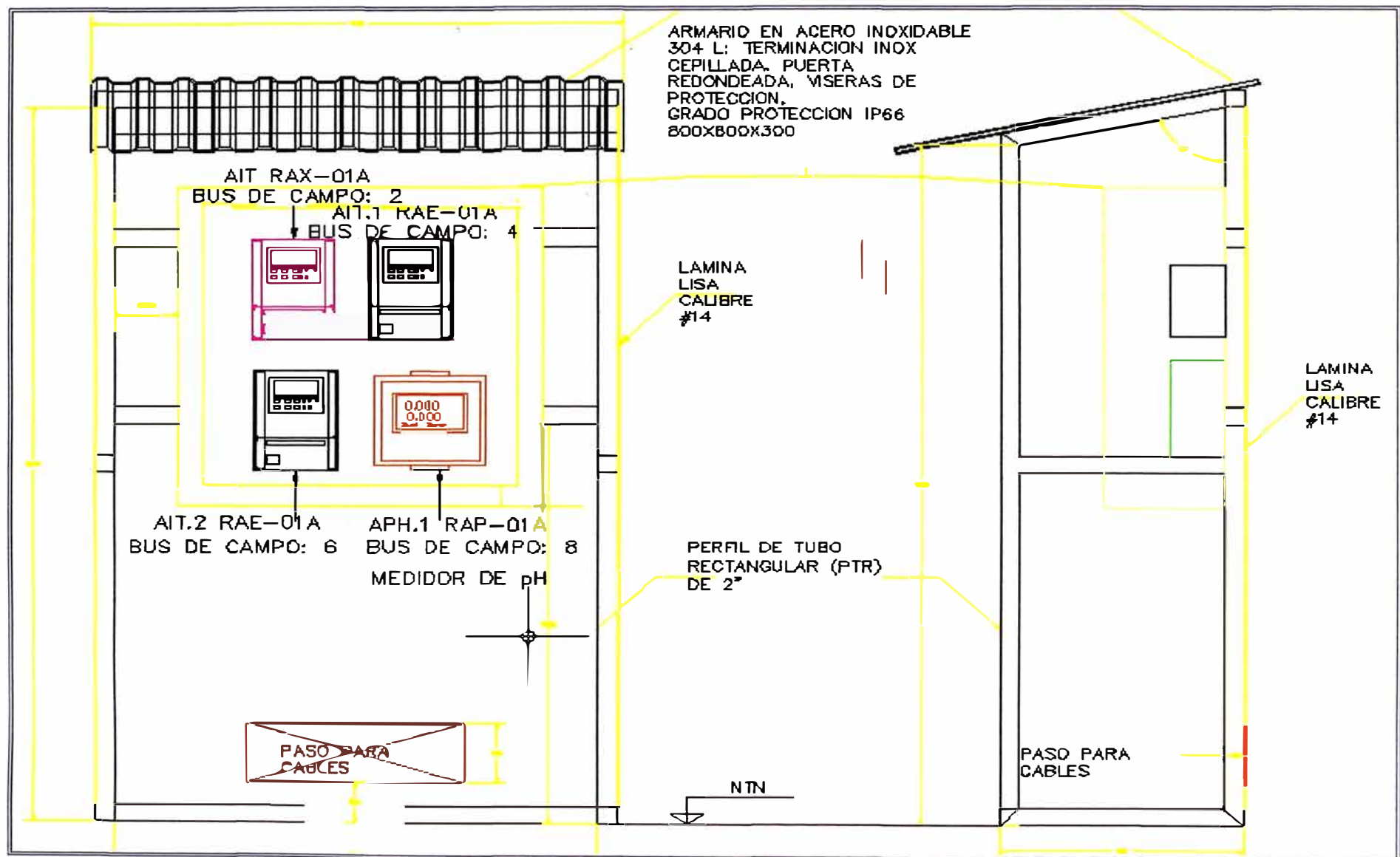


Figura 4.9 Tablero de Campo-Medidor de pH



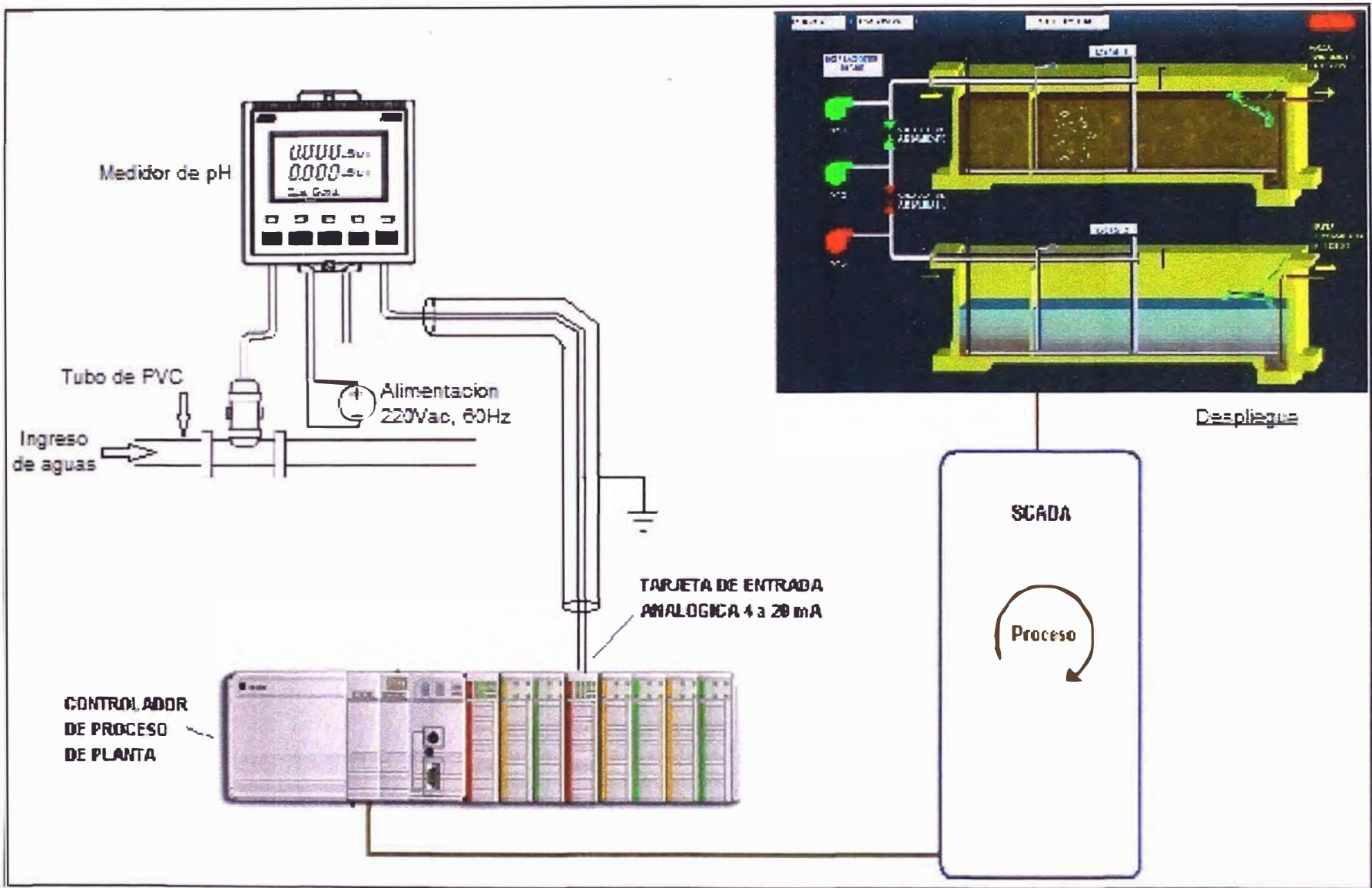


Figura 4.10 Esquema de toma de señales y conexión del medidor de pH

Se analiza el funcionamiento del Medidor de flujo magnético del Medidor de flujo magnético.

Se basan en la ley de inducción electromagnética de Faraday. "el voltaje inducido en un conductor que se mueve en un campo magnético, es proporcional a la velocidad del conductor, dimensión del conductor, y fuerza del campo magnético", como se muestra en la Figura 4.11

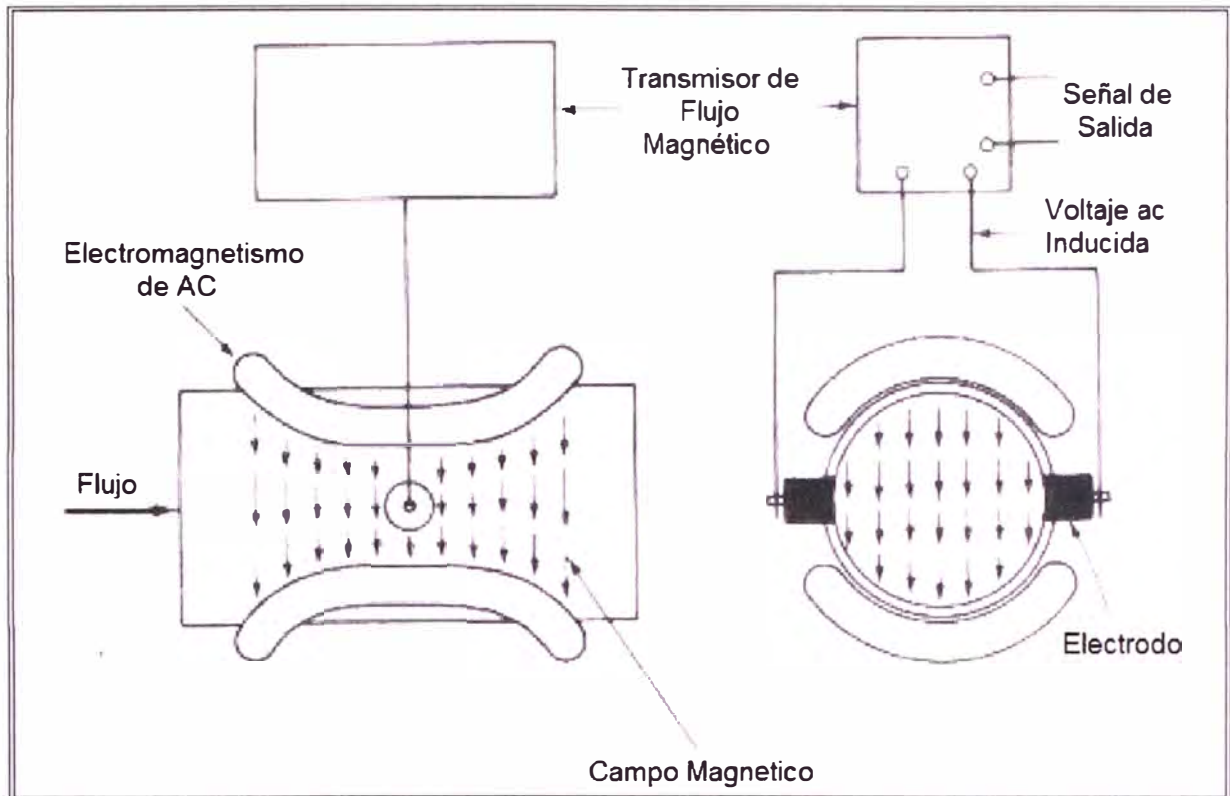


Figura 4.11 Medidor de Flujo magnético

El medidor consta de

- El propio tubo (de materia no magnético p.e.: teflón) recubierto de material no conductor (para no cortocircuitar el voltaje inducido).
- Bobina generadoras de campo magnético.
- Electrodo detectores de voltaje inducido en el fluido.
- Transmisor: Alimenta eléctricamente (C.A. para evitar fenómeno de polarización) a las bobinas. Elimina el ruido del voltaje inducido. Convierte la señal (mV) a la adecuada a los equipos de indicación y control (mA, frecuencia, digitales). Es poco sensible a los perfiles de velocidad y exigen conductividad de 5  $\mu\text{s/cm}$ . No originan caída de presión.

Se usan para líquido sucios, viscosos y contaminados (efluentes).

Por Faraday:

$$E = K \cdot B \cdot l \cdot v \quad (4.1)$$

Donde

E: tensión inducida en el conductor.

K: cte.

B: densidad de campo magnético.

l: longitud del conductor (aquí, el conductor es el líquido y l viene a ser el diámetro de la tubería).

V: velocidad del fluido.

Como:

$$Q = (\pi D^2) \cdot v / 4 \quad (4.2)$$

$$Q = K \cdot D \cdot E / B \quad (4.3)$$

La fórmula anterior, indica que Q depende, no solo de la v del fluido, sino que también de B, la cual a su vez está influida por la tensión de la línea y por la  $t_{\text{fluido}}$ .

Es obvio que, para obtener una señal que dependa únicamente de la velocidad, debe eliminarse la influencia de estos tres factores, y por otro lado, es muy difícil mantenerlos constantes.

De ahí, que la señal de voltaje del medidor se compara en el receptor con otra tensión dominada tensión de referencia  $E_{\text{ref}}$ . Como las dos señales derivan a la vez del campo magnético B, la tensión de la línea y las variaciones de temperatura y de conductividad no influyen en la precisión de la medida. Precisión: 0.25 – 1%

Dado que queremos medir Aguas residuales que contiene desechos y son turbias, además que el fluido a medir es continuo, de mucha turbulencia, así como el diámetro del tubo de brida es relativamente muy grande, el medidor que más se acondiciona a nuestros requerimientos es el Caudalímetro Magnético por sus características de funcionamiento, el modelo que se ha seleccionado para este caso es el Conversor/medidor de flujo magnético Modelo: AXFA11G, Marca Yokogawa.

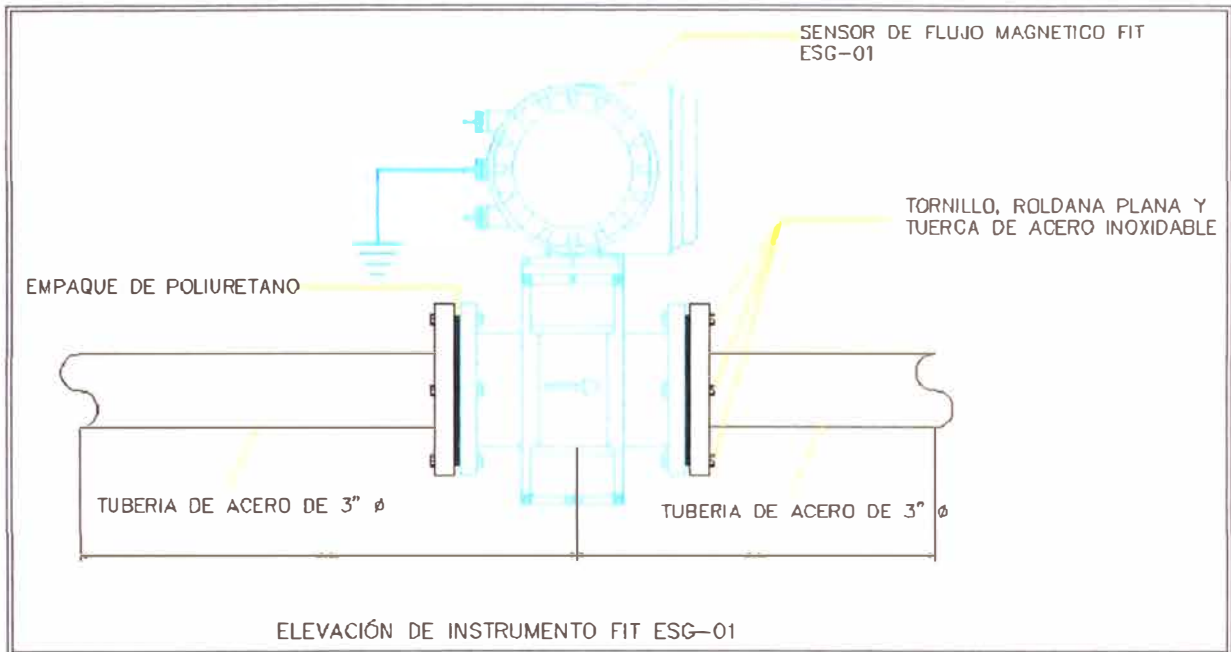
## b.2 Adecuación de instalación

Se ha dispuesto la instalación del medidor (Figura 4.12) de flujo conectado a la tubería de salida de fluidos (tubo de caudal) tanto en la zona de Depósito de agua tratada/salida y Balsas de fango/rebose, para la conexión de este medidor se ha acondicionado una tubo de acero de 3" ( 76 mm) para un flujo promedio de 50lts/seg que es el flujo promedio de uno de los tanques , dado que el medidor de flujo está en contacto directo a el paso del fluido se tiene que tener una conexión a tierra, la conexión a tierra no ha de ser mayor a  $10\Omega$ .

El medidor de flujo requerirá utilizar una alimentación de 24 V, la especificación de la tensión de alimentación de 24 V debe de estar entre -15% a +20%.

Para la adecuación del la instalación eléctrica se ha considerado el uso de cables de control con aislamiento de cloruro de polivinilo de diámetro exterior: 6 a 12 mm.

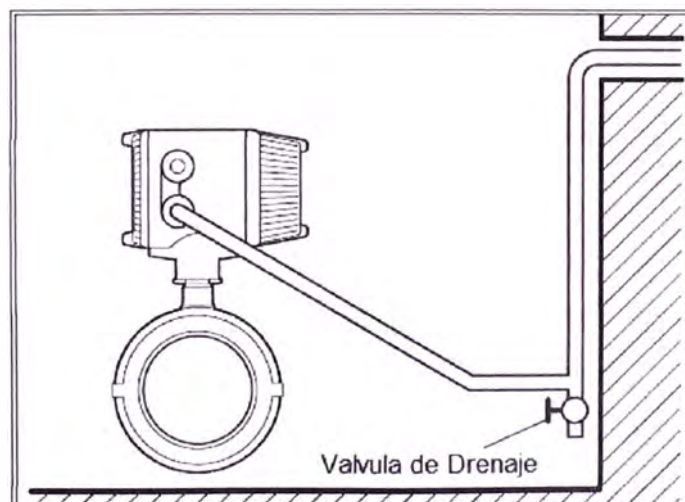
Sección transversal nominal (un solo cable): 0,5 a 2,5 mm<sup>2</sup>



**Figura 4.12** Conexión de medidor de flujo

En el caso del cable de alimentación, debe ser utilizado un conductor cubierta verde / amarillo sólo para la conexión a TERMINALES conductor de protección.

- El puerto de cableado está sellado con una tapa (a prueba de agua) que se deben quitar antes del cableado.
- Para trabajar en los tubos de cables eléctricos o de los tubos flexibles (PF1 / 2), extirpar la glándula impermeable y unirlos directamente al puerto de cableado.
- Cuando realice el cableado, pasar el conducto a través del puerto de conexión y utilizar la glándula impermeable para evitar que el agua que fluye dentro, Coloque el tubo del conductor en un ángulo como se muestra en la Figura 4.13. Instalar una válvula de drenaje en el extremo inferior del tubo vertical y abra la válvula de forma regular.



**Figura 4.13** Cableado del conductor

Los cables que llegan a la caseta de control no ha de exceder mas de 200 mts para que la señal no se deteriore y pierda intensidad.

Si se diera el caso de longitudes mayores tendremos que calibrar la señal para poder tener una medición correcta.

La caseta de control (Figura 4.14) tiene que ser una armario hermetizado, que cumpla la norma PI65, además el tablero tiene que estar aterrado

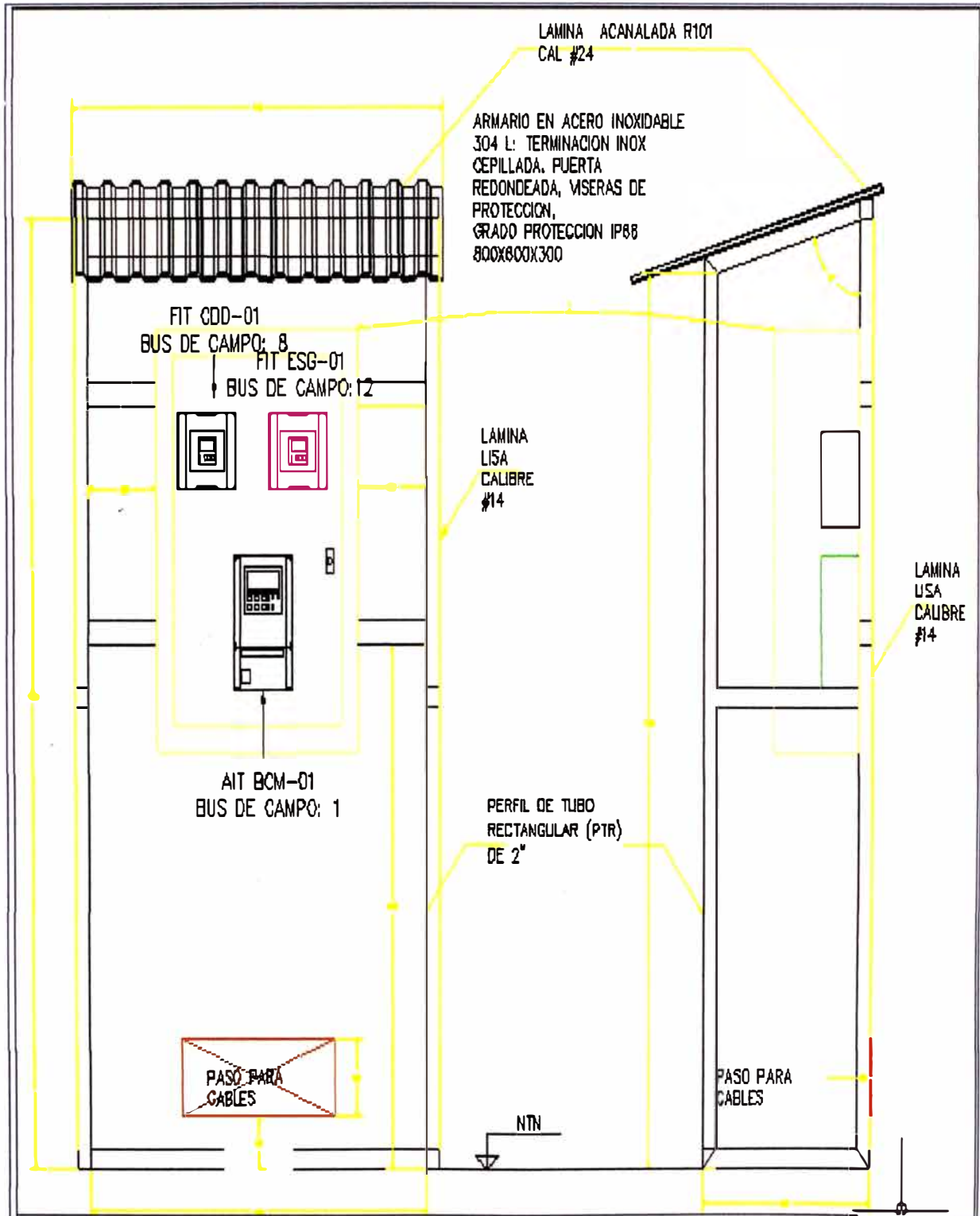


Figura 4.14 Caseta de control de medidor de Flujo

### b.3 Adecuación de conexión del medidor al sistema SCADA

Para la conexión hacia los terminales de las borneras análogas se ha tomado en consideración que la señal que obtenemos del medidor de flujo varía entre 5 a 200 m Amp, además esta salida requiera una impedancia de adecuación que varíe entre  $250\Omega$  a  $600\Omega$ , estos parámetros son tomados en cuenta a la hora de la calibración del instrumento y su adecuación hacia las borneras de señales análogas, además se considerara que el cable que va hacia las borneras de entradas análogas está blindado con una conexión a tierra previendo posibles interferencias no deseadas.

Para la adecuación del medidor de Flujo a nuestro sistema SCADA como se muestra en la Figura 4.15, se ha previsto llevar las señales análogas mediante un par de cables debidamente apantallados hacia el ingreso de los terminales análogos o borneras de entradas analógicas, los cables irán en un tubo de PVC debidamente hermetizado, una vez en las borneras, la señal análoga es procesada por el PLC y reflejada en el sistema SCADA como una variable de flujo.

### c. Transductores de corriente toroidales

Se describe: la selección del medidor y la adecuación de instalación

#### c.1 Selección de medidor

El principio de funcionamiento de un Transductores de corriente toroidales se basa en los medidores de corriente lineales:

La bobina de Rogowski es un inductor con núcleo de aire de tipo toroidal ubicado perpendicularmente alrededor de un conductor con la corriente a medir, y cuyo campo magnético circular, atraviesa todas las espiras induciendo una tensión proporcional a la inductancia mutua y la derivada de la corriente primaria. Se puede tener una idea más precisa del sensor basado en la bobina de Rogowski si observamos el esquema de la Figura 4.16. Si una corriente  $i(t)$  pasa a través de un largo conductor en el eje Z, el campo magnético en un punto aleatorio p tiene las coordenadas  $(r,q,z)$  en coordenadas cilíndricas es:

$$\beta = \frac{\mu}{2\pi} \otimes \frac{i(t)}{\rho} \theta \quad 4.4$$

La fuerza electromotriz generada por el campo magnético en cualquier área del espacio puede ser calculada usando la ecuación de Maxwell

$$f_{em} = \frac{dB}{dt} \otimes dS \quad 4.5$$

Asumiendo que hay N vueltas en la bobina con núcleo de aire dispuestas en sentido perpendicular al campo B, la Fem. de la bobina en esta disposición es

$$f_{em} = \frac{\mu_{atr} NL}{2\pi} \ln\left(\frac{c}{b}\right) \frac{di}{dt} = M \frac{di}{dt} \quad 4.6$$

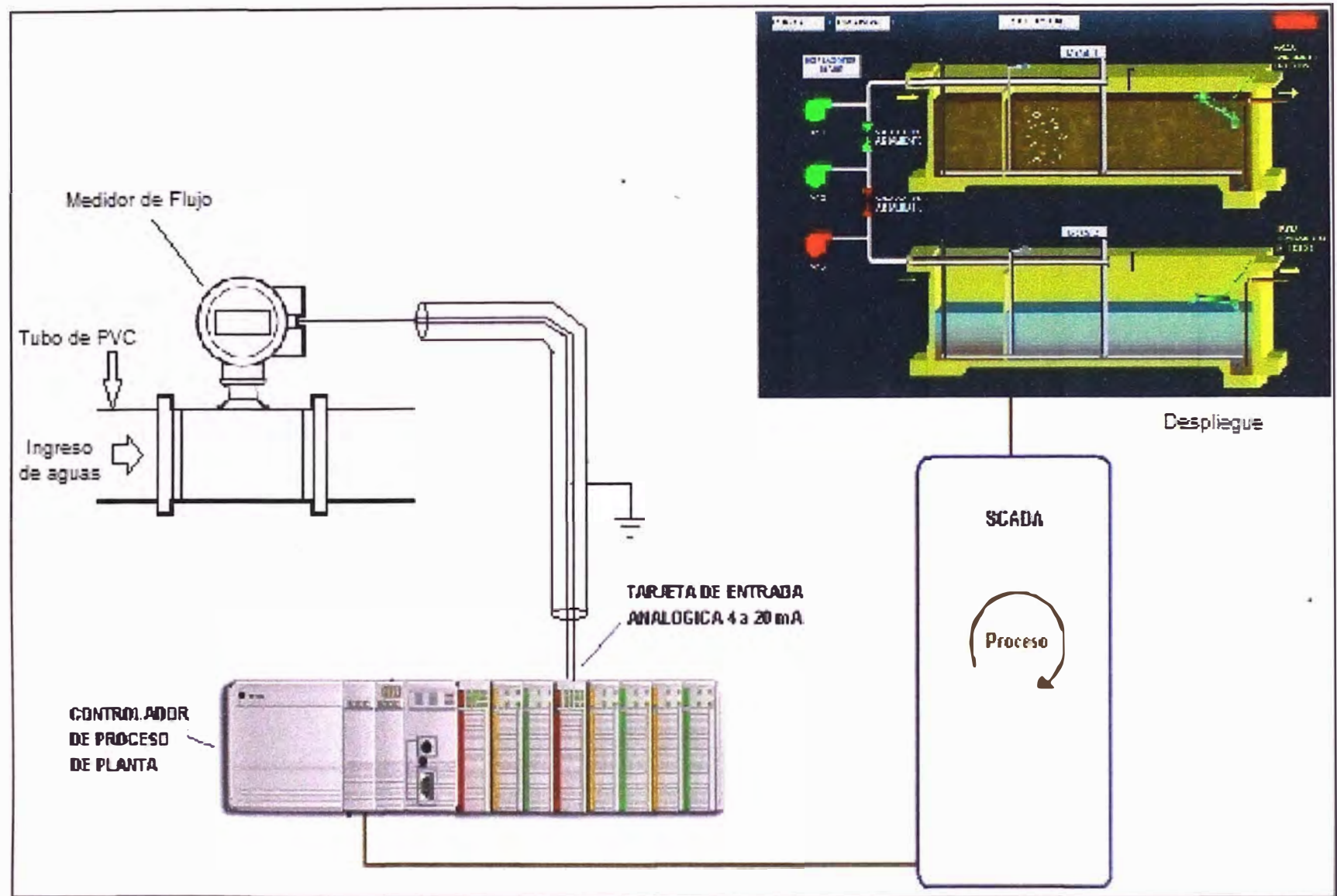
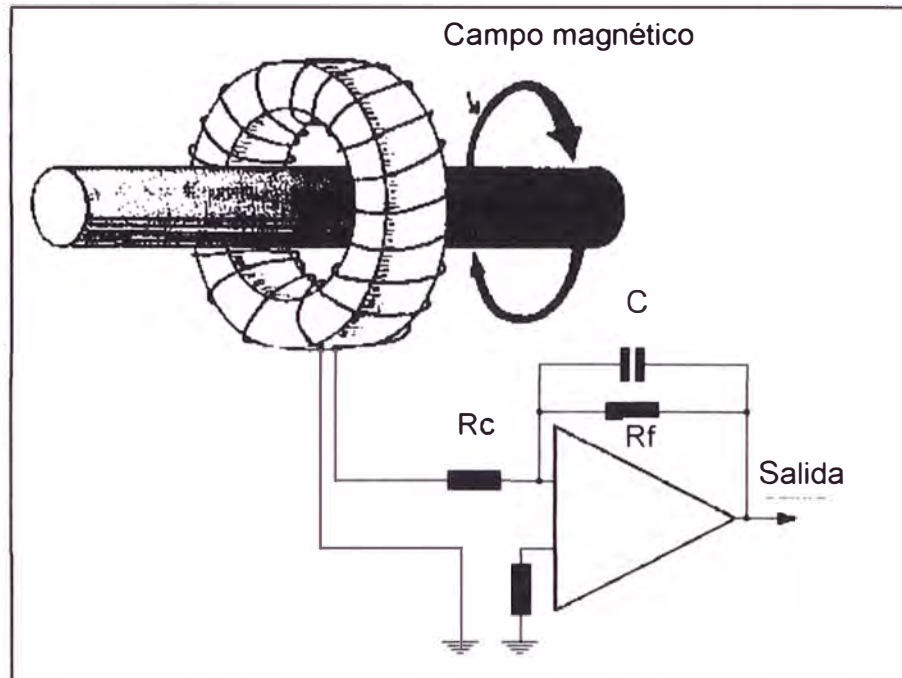


Figura 4.15 Esquema de integración del medidor al sistema SCADA

Donde  $M$  es la inductancia mutua de la bobina de Rogowski. La tensión en el secundario es proporcional a las variaciones de la corriente. Al tener núcleo de aire no posee histéresis, saturación o problemas de no linealidad, pudiendo manejar altas corrientes, sin incremento de temperatura.



**Figura 4.16** Esquema del sistema basado en la bobina de Rogowski

Dada su funcionalidad, linealidad y precisión que se maneja con estos instrumentos son los más adecuados para realizar mediciones de corriente sin alterar el normal desempeño de los sistemas a medir.

Para la medición de Corriente ( potencia ) de equipos de Fuerza se ha dispuesto el uso de un medidor marca HUNTINGTON ELECTRIC, serie CR4200 el cual es apropiado para medir Corriente Alterna y traducirla en Corriente DC de 0 a 20ma

### **c.2 Adecuación de instalación**

Este medidor se usará en las zonas especificadas de medición de corriente de Fuerza. A continuación se analiza el funcionamiento del transductor analógico el cual proporciona una corriente de 4 a 20 mA para comunicar los valores detectados.

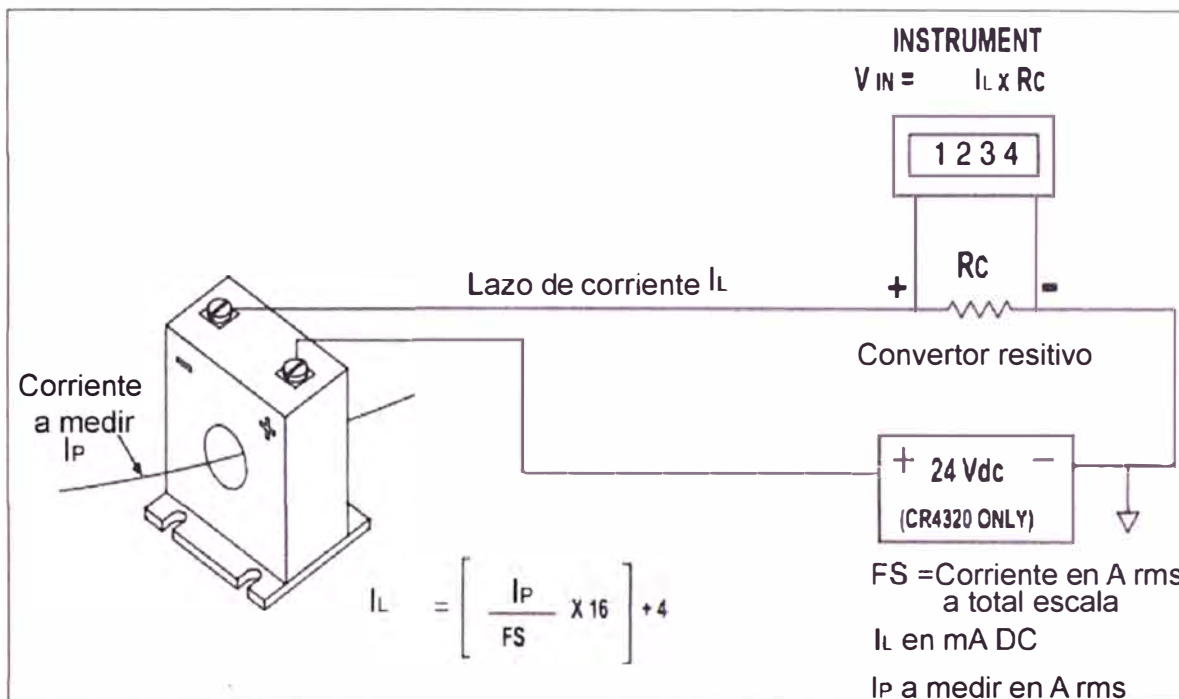
Estos lazos se pueden convertir en un voltaje de entrada a una amplia variedad de dispositivos, incluidos los equipos medidores de panel además los sistemas de adquisición de datos y sistemas de automatización. Mediante la adición de una resistencia de precisión en serie con el circuito podemos obtener la tensión que se desarrolla, que pueden ser introducido a la instrumentación. La Figura 4.17 ilustra un transductor de corriente que es utilizado para mostrar este concepto.

La tolerancia de la resistencia es fundamental. Las Tolerancias del sistema son aditivos mediante un transductor de 0,5 por ciento% junto con una resistencia de 1% los



resultados en un sistema de tolerancia de 1,5%.

El coeficiente de temperatura de la resistencia es un factor clave. Todos los dispositivos electrónicos presentan algunas variaciones con la temperatura. Si la resistencia tiene una gran variación con la temperatura, la exactitud del sistema también variará con la temperatura.



**Figura 4.17** Instalación de transductor de corriente.

El auto-calentamiento de la resistencia también debe ser considerado. Un diseño típico de 5 VDC a gran escala (20 mA) requiere una resistencia nominal de 250 ohmios (5/.020). La energía generada en esta resistencia a escala completa es voltios, amperios o  $5 \times 0.020 = 0.100$  vatios.

La elección de un 1/8 vatio (0.125) para la resistencia, proporciona seguridad razonable contra su destrucción, pero causa un aumento significativo de la temperatura en la resistencia. Este aumento de la temperatura puede resultar en cambios significativos en el valor de la resistencia. Para la instrumentación, una resistencia con una potencia de al menos 10 veces la potencia esperada es recomendable.

La resistencia debe montarse lo más cerca posible a la instrumentación. Una vez que la señal se convierte de corriente a voltaje, las caídas de tensión de la resistencia del cable podrían dar errores en la señal.

Siempre que sea posible, se debe utilizar materiales similares para todas las conexiones de los cables. Las reacciones galvánicas de metales diferentes pueden introducir errores en las lecturas. Una reacción galvánica extremadamente baja, como 5 mV introduce un error de 0,1% a escala completa 5VDC. Menores niveles de lectura de los resultados de este error son más significativos.

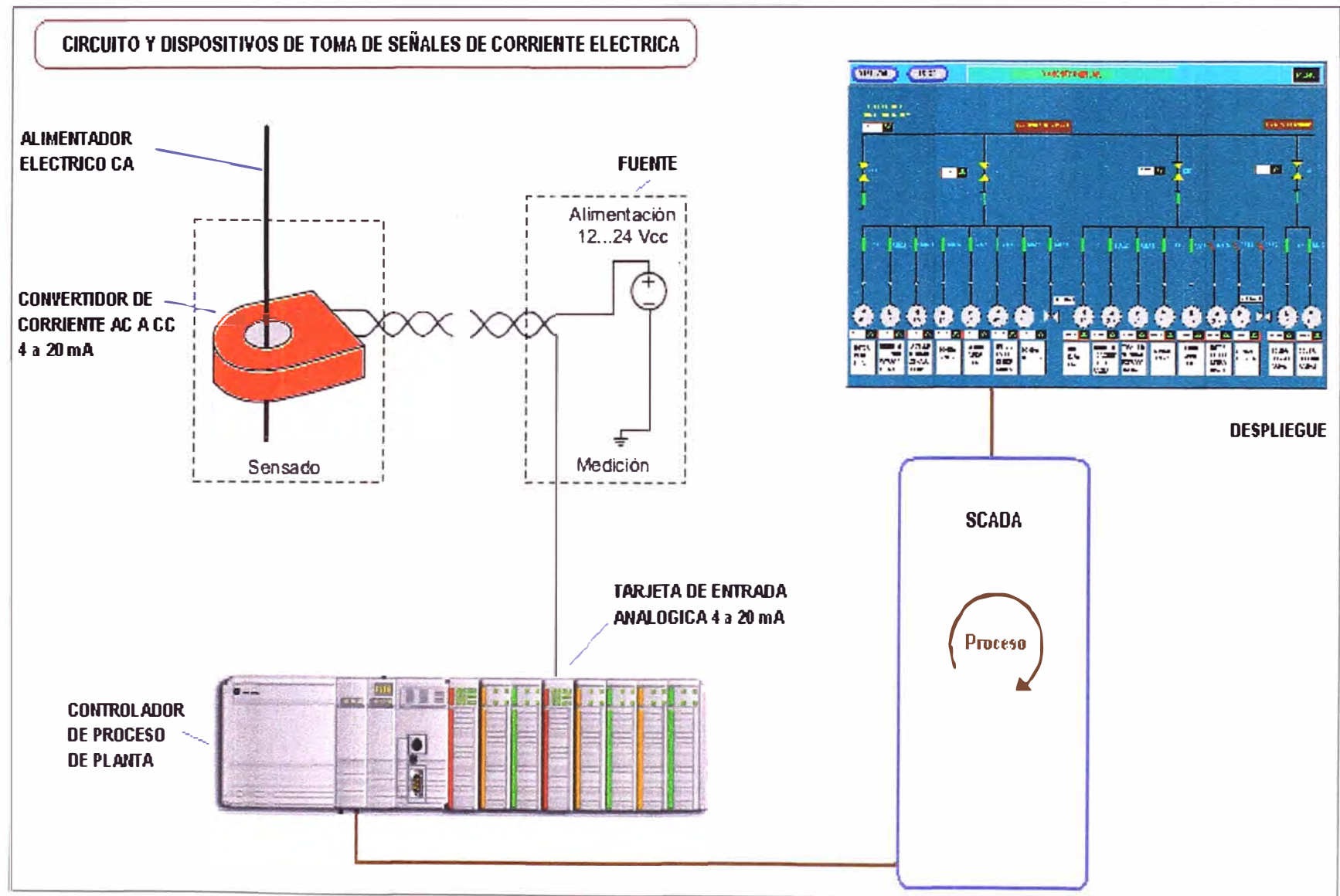


Figura 4.18 Adecuación de Instrumento al sistema SCADA

Las consideraciones de montaje y adecuación para una óptima conexión se detalla en la Figura 4.18, el cual se ilustra que la señal medida irá directamente conectada a las borneras del PLC, previamente a la calibración de las señales, la señales se enviarán mediante 2 pares de hilos de campo, estos estarán dentro de un tubo de acero que cumpla las normas de hermetización para conexiones con riesgo de humedad.

Todos los cables irán dentro de tuberías de acero herméticamente selladas y en la sala de control se ha dispuesto el uso de Mangas de Hermetización para los Tableros de control, para evitar posibles filtraciones de humedad, polvo y/o algún elemento extraño.

Las señales de los instrumentos de medición se adecuan de tal forma que se obtenga una corriente entre 4 a 20 mA. Estas señales se conectan directamente al controlador de proceso de la planta, a su tarjeta de Entrada/Salida de señales analógicas, estas a su vez son conectadas al PLC e integradas al sistema SCADA.

### c.3 Consideraciones de diseño del Tablero de Control y Telemetría

Para el dimensionamiento del tablero a usar se tendrá en consideración las dimensiones de los equipos que se está usando, entre los equipos que se están usando tenemos los que se muestran en la Tabla 4.2

**Tabla 4.2** Detalle de equipos del Tablero de Control y supervisión

Cantidad	Detalle	Marca
1	Controlador Lógico Programable MICROLOGIX 1500	Allen Bradley
3	Modulo De Entradas Analogicas, 8 Señales De CorrientE	Allen Bradley
1	MODULO DE INTERFACE ETHERNET	Allen Bradley
1	INT. AUT. 2x10A, ,220VAC, Umax=	Schneider
1	INT. AUT. 2x4A, ,220VAC, Umax=	Schneider
1	INT. AUT. 2x6A, ,220VAC, Umax=	Schneider
1	INT. AUT. 2x1A, ,220VAC, Umax=	Schneider
1	FUENTE DE ALIMENTACION 24VDC, 5A	Schneider
81	BORNERA PORTAFUSIBLE DE 2.5 mm <sup>2</sup>	FenicContact
44	BORNERA DE 2.5 mm <sup>2</sup>	FenicContact

Otra consideración muy importante es tratar de separar los cables de datos de los cables de energía, para prevenir las interferencias, esto influirá en la disposición de equipos y canaletas.

Se ha considerado 3 módulos de entradas analógicas por que se tendrá un total 48 entradas analógicas, en total cada módulo de entradas analógicas tiene 16 Borneras.

La separación de PLC y las zonas de Canaletas tendrán que ser aproximadamente 50 mm, así como los demás equipos a conectar, además tendrá que contar con bornes a tierra, y el tablero debe de estar debidamente aterrado con Barra a tierra de 5x15mm color amarillo.

Se ha dispuesto que todos los equipos tendrán que ser conectados a un riel DIN y

podrán ser desmontados sin ir atornillados. En cuanto a las canaletas, tendrán que ser de tipo industrial y de 40x60 mm.

En el Anexo C "Esquemas de Tableros" se adjuntan dos figuras:

- La primera (C.1) muestra el detalle de conexión del sistema de comunicación de los medidores toroides y el sistema de control que se montó en el sistema SCADA del cual se puede sacar la disposición de equipos y la lógica del esquema del circuito y a la vez nos sirve para hacer un desglose de equipos en el tablero.
- La segunda (C.2) muestra el detalle de conexión de equipos, la disposición de los mismos, el tablero es un Tablero Mural de 1200x800x300 mm Color RAL7032 con Grado de protección IP54, en el cual se aprecia la disposición de equipos, PLC, Módulos de entradas analógicas, Borneras de entrada y Salidas, así como los fusibles y conexiones a tierra.

#### 4.2.2 Desarrollo del sistema de comunicaciones y SCADA

Como parte del estudio aludido se diseña, con Factory Talk el sistema de control, supervisión y monitoreo SCADA de la PTAR Manchay. Los despliegues de video a color son presentados en la pantalla del operador de la planta y le permite supervisar la operación de los procesos de la misma. Para ilustrar su funcionalidad, a continuación se describen los despliegues más importantes

##### a. Despliegue General de la Planta

El modelo de despliegue general de la planta es mostrado en la Figura 4.19. Este despliegue es la pantalla principal del SCADA. Desde allí el operador selecciona los siguientes despliegues o pantallas, mediante los botones mostrados.

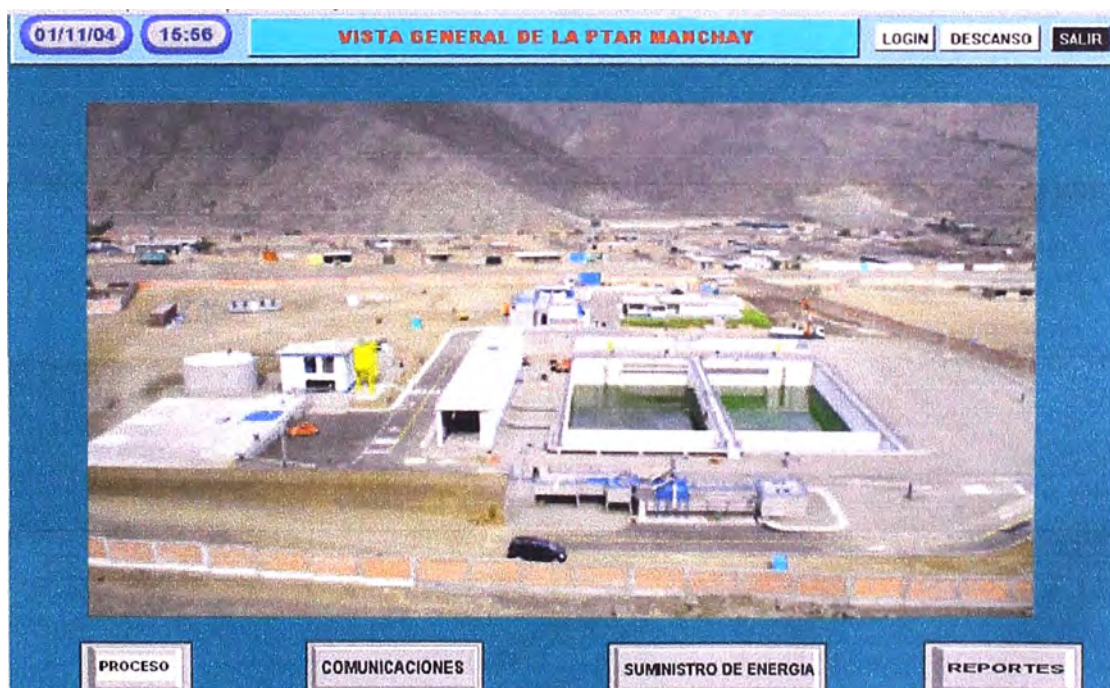


Figura 4.19 Despliegue general del sistema

### **b. Despliegues de Proceso**

Estos despliegues se refieren principalmente a la visualización del proceso ICEAS y otros que ya están construidos e integrados actualmente.

### **c. Despliegues unifilares eléctricos**

Proceden del menú del principal Suministro de Energía, y representan todo el sistema eléctrico de la planta, incluyendo los alimentadores principales de cada tablero eléctrico y la representación de cada uno de los dispositivos (electrobombas) que alimentan, con el consumo de corriente eléctrica que demanda cada uno de ellos; se emplea para propósitos de operación y mantenimiento.

### **d. Despliegue de comunicaciones**

El despliegue de comunicaciones (Figura 4.20) ilustra la arquitectura del sistema de control y supervisión SCADA de la planta Manchay en términos de la configuración procesador principal y procesador de respaldo; este último toma el control del sistema en caso de que el principal falle. En el procesador operan las aplicaciones del Sistema SCADA, así como el procesador Web, para publicar por Internet la visualización de los procesos de la referida planta.

Todos estos componentes están interconectados por una red de comunicaciones LAN Ethernet, mediante un switch administrable, que a su vez se conecta con la red de controladores de proceso de la planta.

### **e. Reportes**

La aplicación Reportes permite mostrar periódicamente la magnitud de las principales variables del proceso que sean consideradas en el sistema SCADA de la planta. Poseen las siguientes características:

- Muestra las magnitudes de las variables de los procesos.
- La frecuencia de generación de los reportes es diaria.

Este despliegue muestra las variables del proceso de la planta, con sus valores cada hora, durante las 24 horas del día, valores máximos y mínimos diariamente. Estos reportes se emplean para auditoria y presentación a SUNASS. La Figura 4.21 es un ejemplo de la aplicación de reportes.

### **f. Arquitectura de Control y Cómputo**

La solución planteada está basada en el uso de la tecnología de Arquitectura Integrada Logix, consecuente con el planteamiento efectuado por su proveedor Rockwell, que provee el SCADA Factory Talk (reemplazando RS View 32) que permite una configuración dual y redundante de los nuevos servidores SCADA, y servicios Web de la planta, dando debido cumplimiento a los requerimientos técnicos para levantar las observaciones de Empresa de Agua Potable, según se muestra en la Figura 4.22.

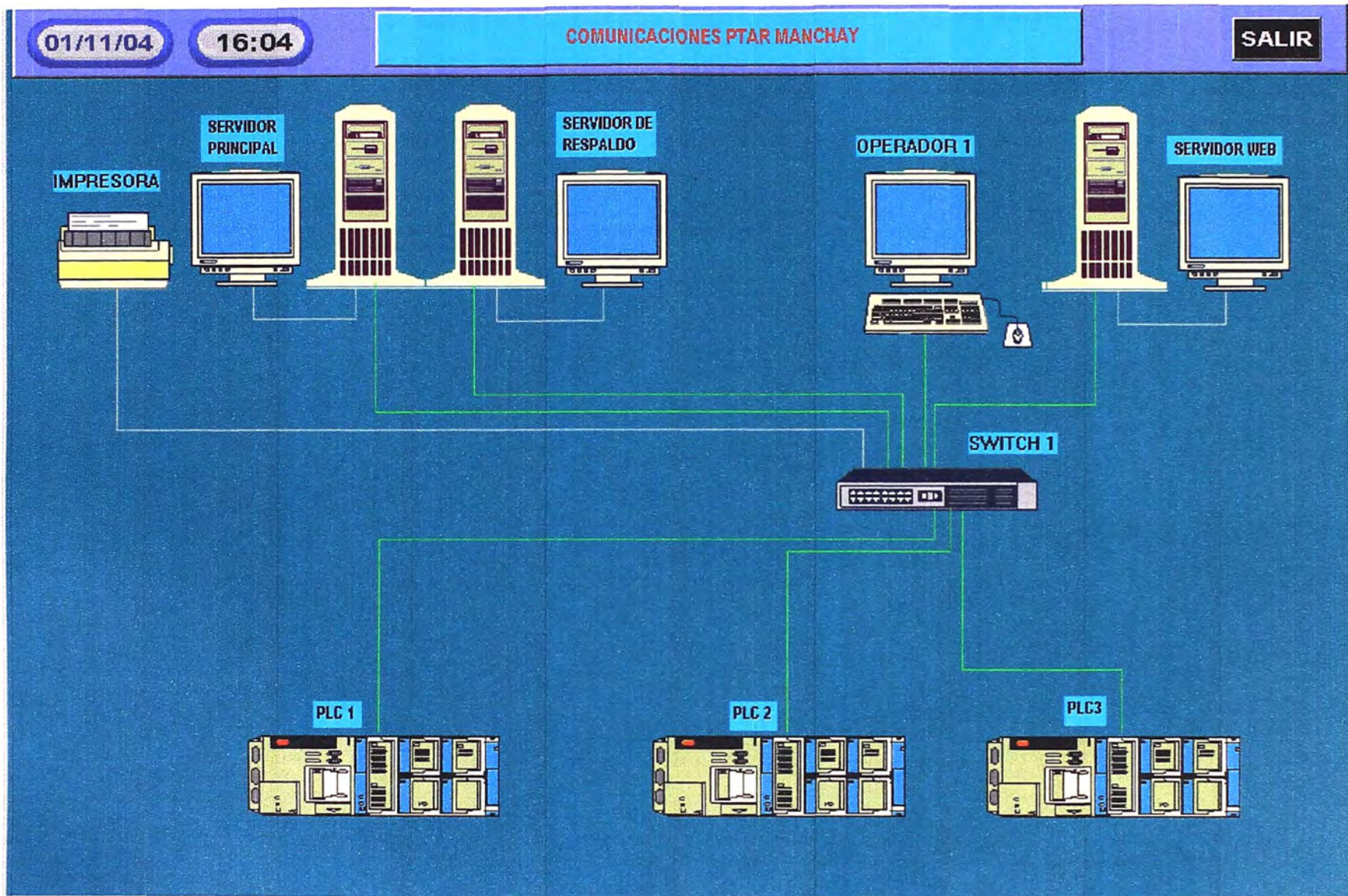


Figura 4.20 Despliegue de Comunicaciones

TIME - Microsoft Internet Explorer

File Edit View Favorites Tools Help

Address: \\Vh\C\Scada San Bartolo\Bartolo Master\DOPHD.HTML

### REPORTE DIARIO DE LAS VARIABLES DE PROCESO

FECHA REPORTE : 17/12/00

NORA	DO (Oxigeno Disuelto) ingreso planta (mg/2t)	DO (Oxigeno Disuelto) LBMC-Zona Norte (mg/2t)	pH LBMC-Zona Norte	DO (Oxigeno Disuelto) LBMC-Zona Sur (mg/2t)	pH LBMC-Zona sur	DO (Oxigeno Disuelto) LBMC-Zona Norte (mg/2t)	pH LBMC-Zona Norte	DO (Oxigeno Disuelto) LBMC-Zona Sur (mg/2t)	pH LBMC-Zona sur	Caudal de Afluyente Norte (2t/s)	Caudal de Efluyente Norte (2t/s)	Caudal de Afluyente Sur (2t/s)	Caudal de Efluyente Sur (2t/s)
1:00	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????
2:00	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????
3:00	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????
4:00	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????
5:00	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????
6:00	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????
7:00	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????
8:00	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????
9:00	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????
10:00	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????
11:00	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????
12:00	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????
13:00	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????
14:00	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????
15:00	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????
16:00	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????
17:00	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????
18:00	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????
19:00	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????
20:00	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????
21:00	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????
22:00	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????
23:00	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????
0:00	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????
MAXIMO	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????
MINIMO	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????
PROMEDIO	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????	??????

FECHA IMPRESION : 18/12/00  
HORA DE IMPRESION : 18:36

Figura 4.21 Reporte del sistema SCADA

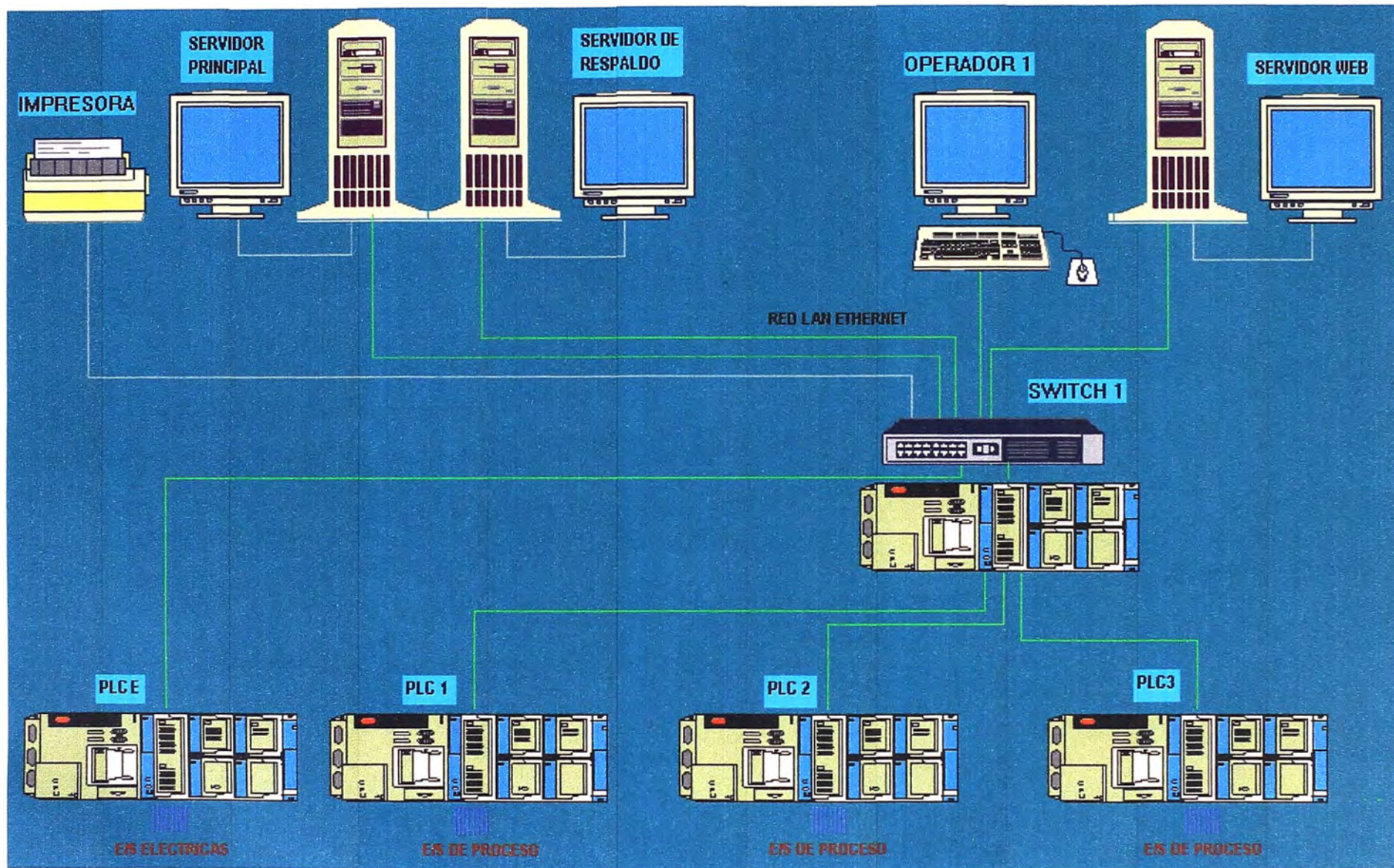


Figura 4.22 Esquema de comunicaciones y control



Bajo este esquema, se añade, a la red de PLC existentes que recogen las señales de los procesos (PLC1, PLC2, PLC3, etc.) de la PTAR, un nuevo PLCE para coleccionar las medidas de corriente eléctrica de los equipos de fuerza de la planta Manchay.

Este PLCE propuesto se sustenta en el empleo de la plataforma MicroLogix 1500 de Rockwell y se conecta al nuevo switch administrable para posibilitar la configuración del Factory Talk, con módulos de E/S, fuentes de alimentación y otros componentes necesarios para que el sistema de control y supervisión que se integrara al nuevo software SCADA, funcione satisfactoriamente.

### 4.3 Costos y cronograma

En esta sección se describen los costos y cronograma del proyecto

#### 4.3.1 Costos del proyecto

El proyecto se denominó "Suministro, Montaje y Puesta en Marcha de Control, Instrumentación Y Telecomunicaciones PTAR Manchay". La Tabla 4.3 muestra el resumen de los materiales, mano de obra, EQ.

**Tabla 4.3** Resumen de los materiales, mano de obra, equipos y servicios y ganancias y utilidad

Mano obra	Material	Eq. yserv:	G.g. yutil.	Total
179,464.79	760,901.16	70,450.86	44,081.47	1,054,898.28

Debido a lo extenso del proyecto, el cual está contiene una enorme cantidad de componentes, mecánicos, eléctricos y electrónicos, a continuación se muestra (Tabla 4.4) los costos de materiales y de mano de obra de cada sector de la PTAR..

**Tabla 4.4** Costos de materiales y de mano de obra por sectores

	Materiales	Mano de obra
<b>Obra de Llegada</b>	35056.7	7012.90
<b>Camaras de Floculacion</b>	23670.89	6341.00
<b>Deposito de Agua Tratada</b>	48971.76	6709.50
<b>Edificio de Control</b>	340890.45	96054.09
<b>Balsas de Recuperacion de Agua de Lavado</b>	23800.34	5769.30
<b>Sistema de Tratamiento de Lodos</b>	64700.80	8769.50
<b>Deposito de Agua Tratada</b>	32437.84	4769.50
<b>Obras Civiles</b>	156737.84	26069.50
<b>Servicios Auxiliares</b>	34634.54	17969.50

#### 4.3.2 Cronograma

La Figura 4.23 proporciona el esquema de tiempo para la implementación del proyecto

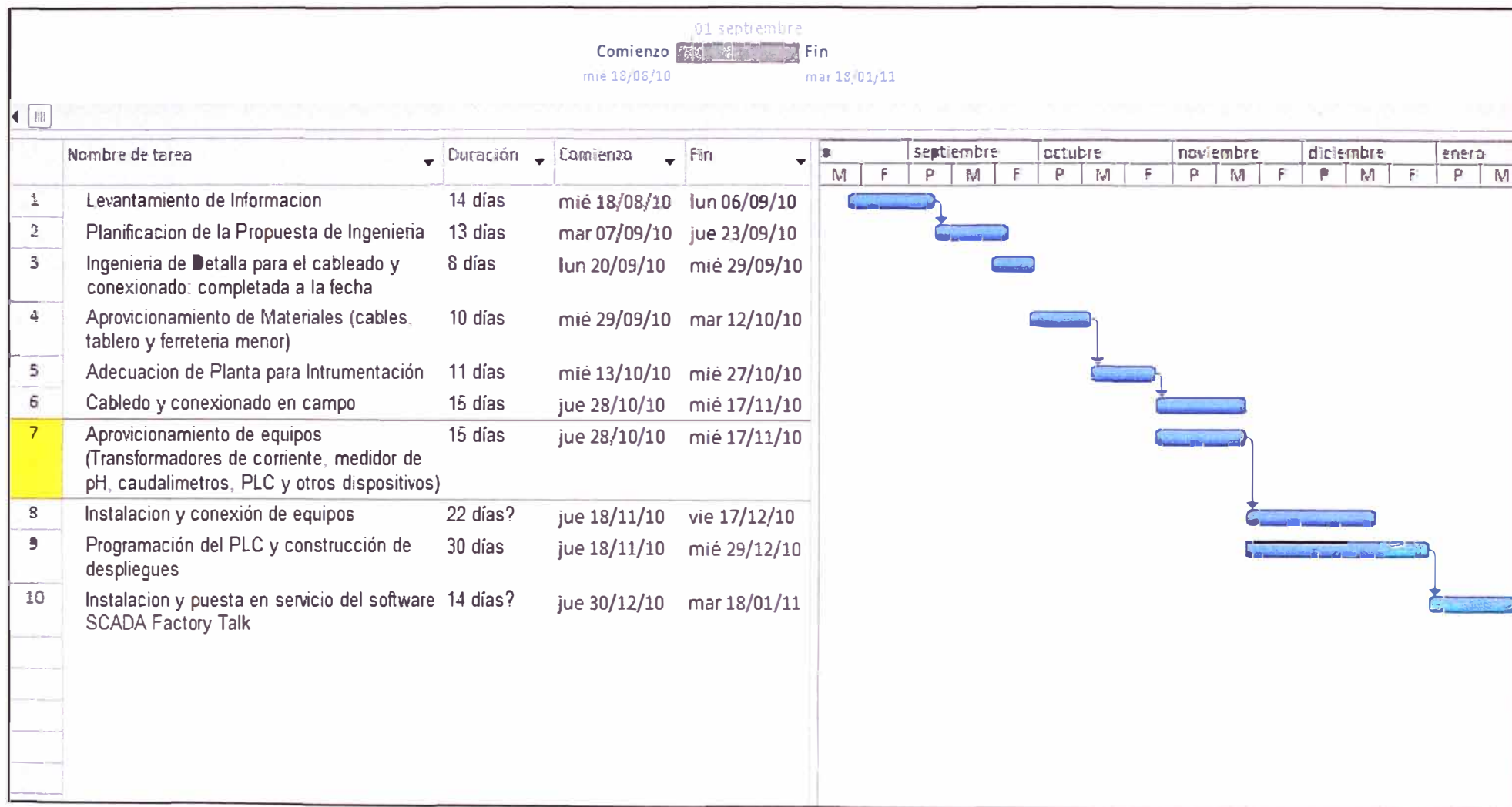


Figura4.23 Cronograma de actividades

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **Conclusiones**

1. Los equipos de instrumentación usados para una Planta de Tratamientos de aguas Residuales son muy especializados y cumplen las consideraciones de funcionamiento en ambientes corrosivos y de alta contaminación, por lo que se ha hecho uso de tableros con grado de protección IP65 de acuerdo a IEC ó Nema 4.
2. Se ha hecho uso de 2 tableros adicionales TCI (Tableros de Control e Instrumentación) así como de 1 TFD (Tablero de Fuerza y Distribución) y el re acondicionamiento de los tableros existentes para cumplir con los requerimientos de ampliación de la planta.
3. Los instrumentos acondicionados al sistema se han integrado al sistema con éxito tal que permite el monitoreo de los procesos de la planta, así como la parte de fuerza para tener un mejor desempeño de la planta.
4. El sistema de automatización de procesos implementado proporciona flexibilidad, escalabilidad y expansibilidad, es decir el sistema permitirá a los usuarios implementar gradualmente la automatización de la planta usando sólo los componentes necesarios. Cuando se requiere una actualización o una adición al sistema, los componentes se podrán agregar fácilmente.
5. Para el sistema SCADA se han usado los protocolos de comunicación MODBUS TCP/IP o MODBUS RTU. Estos permiten el monitoreo de las señales eléctricas del sistema de distribución eléctrica, así mismo cumple los requerimientos de captura de eventos en la supervisión en tiempo real.

### **Recomendaciones**

1. Realizar el mantenimiento preventivo y correctivo. Éste debe ser periódico para garantizar un óptimo desempeño de los instrumentos de adquisición de datos.
2. Realizar una limpieza a los equipos de adquisición de datos, así como calibrar y contrastarlos periódicamente para no perder exactitud en el sistema de adquisición de datos.
3. Para el caso del sistema de comunicación MODBUS TCP/IP, es recomendable

mantener la transmisión de los protocolos dentro de una velocidad media/baja para evitar colapsar la red.

4. Mantener un inventario actualizado de motores, equipos e instrumentos, así como tener los manuales y planos de equipamiento a la mano y en lugares de fácil acceso para los técnicos e ingenieros de planta.

**ANEXO A**  
**GLOSARIO DE TÉRMINOS**

ADWF	Caudal medio tiempo seco
CA	Corriente Alterna
CC	Corriente Continua
CPU	Unidad Central de Procesamiento
DCE	Data Communication Equipment
DTE	Data Terminal Equipment
FF	Foundation Fieldbus
HART	Highway Addressable Remote Transducer
ICEAS	Sistema de ciclo intermitente de aireación prolongada
IEC	International Electrotechnical Commission
IP	Protocolo de Internet
MLSS	Mixed Liquor Suspended Solids
MTU	Unidad Central
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
PDWF	Flujo máximo tiempo seco
PLC	Controlador Lógico Programable
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
PWWF	Flujo máximo de lluvia
RTU	Unidad Remota
SBR	Reactor discontinuo secuencial
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
UPS	Uninterruptible Power Supply.
UL	Underwriter Laboratories

**ANEXO B**  
**DETALLES TECNICOS DE EQUIPAMIENTO**

En este anexo se ve el detalle técnico de:

- Los dispositivos de Instrumentación.
- Los equipos de control y comunicaciones.

### B.1 Detalle los dispositivos de Instrumentación

Se detallan a continuación:

- Los transmisores de nivel ultrasónicos Serie Rosemount 3100
- El sistema de Medición de pH Marca ABB, modelo pH/Redox AX4664
- Los transductores de corriente HUNTINGTON ELECTRIC, serie CR4200

#### B.1.1 Sistema de Medición de pH Marca ABB, modelo pH/Redox AX4664

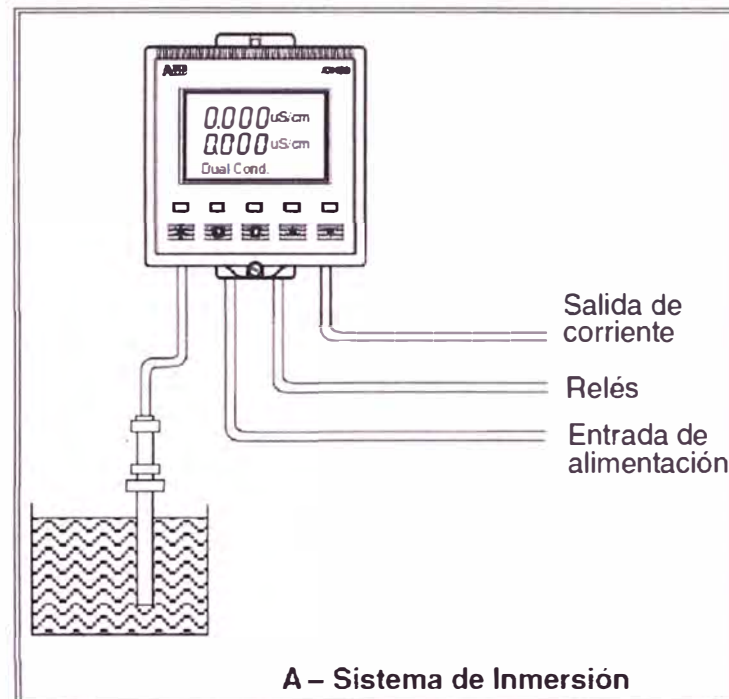


Figura A.1 Sistema de Medición de pH Marca ABB, modelo pH/Redox AX4664

#### Especificaciones

**pH/Redox (ORP): AX460 y AX466 [9]**

#### Entradas

Una o dos\* entradas de pH o mV y conexión de la solución a tierra

Uno o dos\* sensores de temperatura

Permite la conexión a los sensores de pH y referencia de vidrio o esmalte y los sensores de Redox (ORP).

\*Sólo AX466

#### Resistencia de entrada

Vidrio  $>1 \times 10^{13} \Omega$

Referencia  $1 \times 10^{13} \Omega$

#### Intervalo

pH  $-2$  a  $16$  o  $-1200$  mV a  $+1200$  mV



**Rango mínimo**

Cualquiera de pH 2 o 100 mV

**Resolución**

pH 0,01

**Precisión**

pH 0,01

**Modos de compensación de temperatura**

Compensación nernstiana automática o manual Intervalo:  $-10\text{ °C}$  a  $200\text{ °C}$

Compensación de la solución del proceso con un coeficiente configurable

Intervalo:  $-10\text{ °C}$  a  $200\text{ °C}$

ajustable entre  $-0,05$  y  $+0,02\%/^{\circ}\text{C}$

**Sensor de temperatura**

Pt100, Pt1000 y Banco 3 k $\Omega$  programables

**Intervalos de calibración****Valor de verificación (punto cero)**

pH 0 a 14

**Pendiente**

Entre 40% y 105% (límite inferior configurable por el usuario)

**Modos de calibración de electrodos****Calibración con verificación de auto estabilidad**

Calibración automática de 1 o 2 puntos que puede seleccionarse de

ABB

DIN

Merck

NIST

US Tech

2 tablas de soluciones tampón definidas por el usuario (entrada manual), calibración de 2 puntos o calibración de proceso de un solo punto

**B.1.2 Medidor de Caudal magnético modelo: AXFA11G, Marca Yokogawa****Datos técnicos**

\* AXF002C - AXF400C [10]

Norma aplicable:

FM3600, FM3610, FM3615,

FM3810, ANSI / NEMA 250

(Medidor de flujo Integral)

A prueba de explosión para clase I, división 1, grupos A,

B, C y D.

Polvo a prueba de ignición de la categoría II / III, Division1,

Grupos E, F y G.

Seguridad intrínseca (electrodos) para la Clase I, División 1,

Grupos A, B, C y D.

"Sellar todos los conductos dentro de 18 pulgadas"

"Cuando se instala en DIV. 2, los sellos no REQUERIDO "

Un electrodo del circuito: 250 Vac / dc

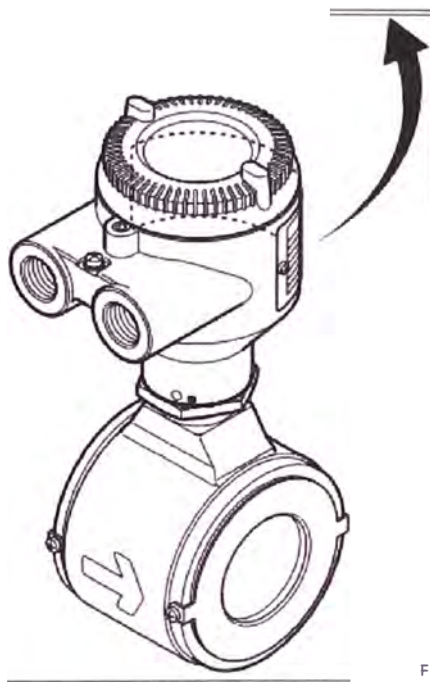
La potencia máxima tensión de alimentación: 250 VccVac/130

Circuito de excitación: 140V máx

Caja: NEMA 4X

Código de temperatura: T6

Consultar la tabla 4.3



**Figura A.2** Medidor de Caudal magnético modelo: AXFA11G

**Tabla A.1** Temperatura de funcionamiento de medidor de flujo

Código de temperatura	Temperatura máxima del proceso	Mínima temperatura del proceso
T6	+70°C (+158°F)	-40°C (-40°F)
T5	+85°C (+185°F)	-40°C (-40°F)
T4	+120°C (+248°F)	-40°C (-40°F)
T3	+130°C (+266°F)	-40°C (-40°F)

Temperatura ambiente: -40 ° C a+60 ° C(-40 ° Fa 140° F)

(Distancia del tubo de caudal)

A prueba de explosión para clase I, división 1, grupos A, B, C y D.

Polvo a prueba de ignición de la categoría II/III, Division1, grupos E, F y G.

Seguridad intrínseca (electrodos) para la Clase I, División 1, Grupos A, B, C y D.

"Sellar todos los conductos dentro de 18 pulgadas"

"Cuando se instala en DIV. 2, NO sellos requeridos"

Um electrodo del circuito: 250 Vac / dc

Circuito de excitación: 170V máx

Caja: NEMA 4X

### B.1.3 Transductores de corriente HUNTINGTON ELECTRIC, serie CR4200

La serie CR4200 Series (Figura 4.25), produce una señal calibrada 4-20 mA DC que es proporcional a la corriente entrada RMS [11].



**Figura A.3** Transductor de corriente HUNTINGTON ELECTRIC, serie CR4200

Sus características son:

- Precisión básica : 0,5%
- Deriva térmica : 500 ppm / ° C
- Temperatura de funcionamiento : 0 ° C a +60 ° C
- Categoría de instalación : CAT II
- Grado de contaminación : 2
- MTBF (mínimo tiempo entre fallas) : Superior a 100 K horas
- Altitud: 2000 metros max.
- Tiempo de respuesta : 250 ms máx., 0-90% FS.
- Calibración: Promedio de detección, RMS calibrado.
- Tensión de aislamiento: 2500 VDC.
- Lazo Mayor : 24 VDC

- Rango de frecuencia: 50Hz-400Hz
- Tensión de cumplimiento: 16 a 28 VDC
- Carga típica : 0 a 300  $\Omega$  @ 24 VDC
- Limpieza : Paño humedecido en agua
- Tiempo de respuesta : 250 ms máx., 0-90% FS
- Humedad relativa : 80% para temperaturas de hasta 31 ° C y disminuyendo linealmente hasta el 50% a 40 ° C
- Peso : 0.5 lbs.

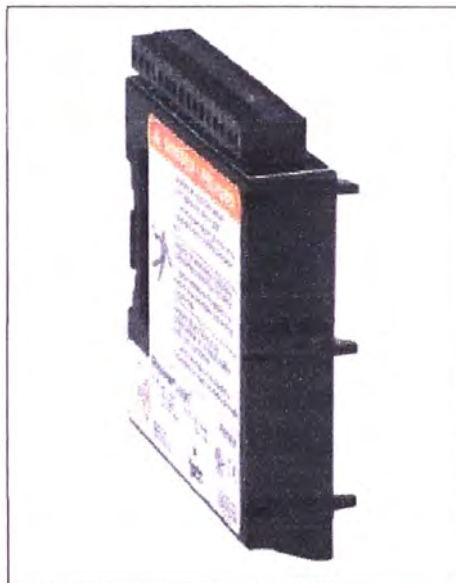
## B.2 Detalle de equipos de control y comunicaciones

Se detalla a continuación:

- El módulo de entrada/salida del medidor de potencia PM800 marca Schneider Electric
- La interfaz avanzada Converter (AIC +) e Interface DeviceNet (DNI) Allen Bradley
- La interfaz MicroLogix™ Ethernet - Allen Bradley
- El controlador programable MicroLogix™ 1500 – Allen Bradley

### B.2.1 Módulo de entrada / salida del medidor de potencia PM800 marca Schneider Electric

El medidor PowerLogic PM8M2222 (Figura A.4) tiene entrada/salida (E/S) está equipado con dos salidas digitales, dos entradas digitales, dos salidas analógicas y dos entradas analógicas.



**Figura A.4** Módulo E/S del medidor de potencia PM800 marca Schneider Electric

Sus características son:

- Temperatura de Operación  $-25^{\circ}\text{C}$  a  $+70^{\circ}\text{C}$
- Temperaturas Extremas  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+85^{\circ}\text{C}$
- Rango de Humedad 5–95% (Humedad relativa, sin condensación a  $40^{\circ}\text{C}$ )
- Rango de altura 0–3000 metros

- Alimentación Digital AC/DC para el 2222 y 26
- Rango de Voltaje de ingreso 20–150 VAC/DC
- Entrada de corriente (Máxima) 2 mA
- Tiempo de encendido (Max.) 1 mseg
- Tiempo de apagado (Max.) 1 mseg
- Voltaje de encendido 20 V
- Voltaje de apagado 5 V
- Frecuencia máxima de entrada 25 Hz de trabajo del 50% del ciclo (20msON, OFF20 ms)
- Rango de voltaje de 0 a 240Vac, de 0 a 30 Vcc
- Corriente de carga 2 A RMS , 5 A de pico durante 10s, una vez cada hora
- Frecuencia máxima de salida de 1 Hz 50% ciclo de trabajo (500ms en adelante, 500 ms apagado).
- Vida útil esperada de 15 millones de operaciones mecánicas
- Precisión 0,2% de escala completa
- Máximo voltaje de entrada 5,1VCC
- Temperatura de la deriva 50 ppm/° C típico
- Rango de salida de corriente 4-20 mA (20 mA máximo en 600ohms.)
- Precisión 1% de escala completa
- Tensión en circuito abierto de 15 V
- Voltage Range 0 to 240 VAC, 0 to 30 VDC.

### B.2.2 Interfaz avanzada Converter (AIC +) e Interface DeviceNet (DNI) Allen Bradley

Las especificaciones técnicas de estas interfaces (Figura A.5) [12] se muestran en la Tabla A.2.

**Tabla A.2** Especificaciones de la interfaces AIC+ y DNI

Descripción	Especificación (AIC+)	Especificación (DNI)
Alimentación	20,4 a 28,8 V dc	11 a 25 V cc
24 VCC Corriente	120 mA típico 200 mA de corriente máxima de irrupción	200 mA típico 400 mA de corriente máxima de irrupción
Aislamiento interno	500 VCC durante un minuto	500 VCC durante un minuto
Ambiente de funcionamiento temperatura	0 a +60 ° C (32 ° F a 140 ° F)	0 a +60 ° C
Temperatura de almacenamiento	-40 a +85 ° C (-40 ° F a 185 ° F)	-40 a +85 ° C

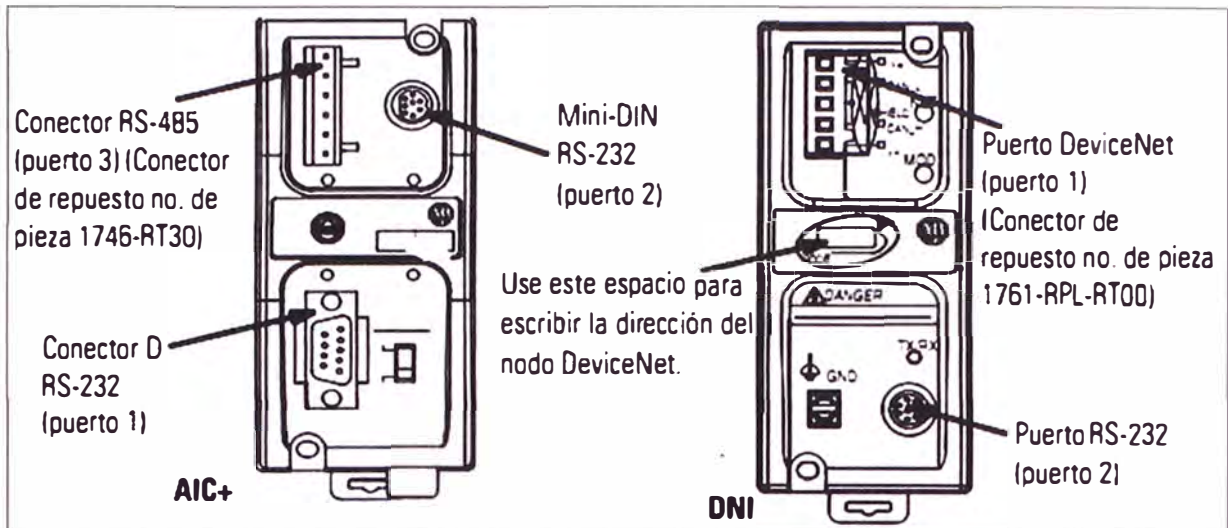


Figura A.5 Vista de interfaces AIC+ y DNI

### B.2.3 Interfaz MicroLogix™ Ethernet - Allen Bradley

Las especificaciones técnicas de esta interfaz (Figura A.68) se muestran en la Tabla A.3. Esta interfaz [13] permite conectar fácilmente los controladores de Ethernet en redes Ethernet nuevas o existentes y cargar/descargar programas, comunicarse entre controladores y generar mensajes de correo electrónico a través de SMTP (protocolo simple de transferencia de correo).

Tabla A.3 Especificaciones técnicas de la Interfaz MicroLogix

<b>Requisito de fuente de alimentación eléctrica de 24 VCC</b>	20.4 a 26.4 VCC
<b>Consumo de corriente de 24 VCC</b>	50 mA típico, 100 mA máximo
<b>Corriente máxima de entrada al momento del arranque</b>	200 mA
<b>Aislamiento interno</b>	710 VCC durante un minuto
<b>Temperatura ambiental de operación</b>	0 ° C a +60 ° C (+32 ° F a +140 ° F)
<b>Temperatura de almacenamiento</b>	-40 ° C a +85 ° C (-40 ° F a +175 ° F)
<b>Choque</b>	En funcionamiento: 30 g, ±3 veces cada eje Fuera de operación: 35 g (montado en riel DIN) 50 g (montado en panel), ±3 veces cada eje
<b>Vibración</b>	En funcionamiento: 10 a 500 Hz, 5.0 g, 0.030 pulg. pico a pico, 2 horas cada eje
<b>Certificaciones(1)</b>	UL 1604 C-UL C22.2 No. 213 Clase I División 2 Grupos A, B, C, D Cumplimiento CE para todas las directivas vigentes C-Tick para todos los protocolos aplicables

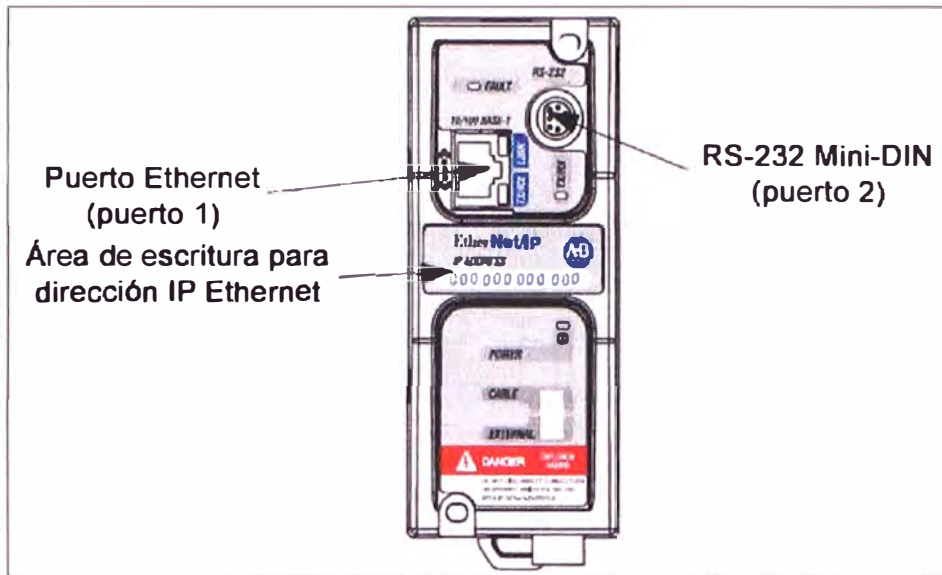


Figura A.6 Interfaz MicroLogix Ethernet

### B.2.4 Controlador programable MicroLogix™ 1500 – Allen Bradley

El controlador programable MicroLogix 1500 (Figura A.7) [14] se compone de una unidad de base, que contiene una fuente de alimentación, circuitos de entrada y salida, y un procesador. El controlador está disponible con 24 o 28 puntos de integrados de E/S.

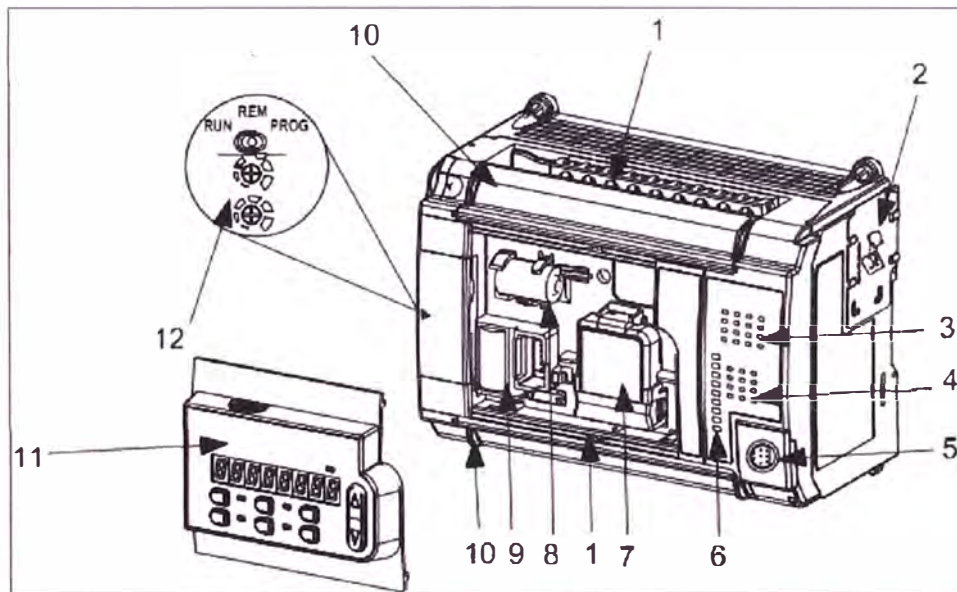


Figura A.7 Partes del Microcontrolador

**Nota:**

(1) Bloques de terminales extraíble, (2) Interfaz de expansión de E/S, Barrera extraíble ESD, (3) LEDs de entrada, (4) LEDs de salida, (5) Puerto de comunicación, (6) LEDs de estado, (7) Módulos de memoria / reloj en tiempo real, (8) Reemplazo de la batería, (9) batería, (10) Puertas terminal y la etiqueta, (11) Herramienta de acceso a datos, (12) Switch de cambio, mandos de retoque

A este controlador se pueden colocar hasta un máximo de 16 módulos E/S Compact™ E/S (Figura A.8) al riel DIN. Las especificaciones del MicroLogix 1500 se muestran en la Tabla A.4.

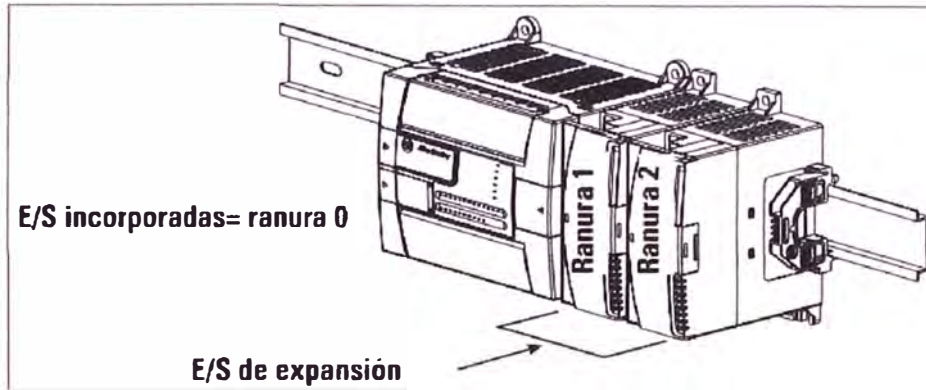


Figura A.8 Módulos Compact™ E/S

Tabla A.4 Especificaciones del controlador

Descripción	Modelo 1764-28BXB
Número de E / S	16 entradas 12 salidas
línea eléctrica	20,4 a 30 VCC
Fuente de alimentación de uso	30 W (2)
Fuente de alimentación de ruptura	24 Vcc = 4A para 150 ms
Potencia de salida de usuario	ninguno
Tipo de entrada del circuito	24 VCC, drenador / surtidor
Circuito de salida tipo relé	6 salidas de relé, 6 transistor FET (24V fuente de cc)
CPU típico Tiempo de retención	del 10 a 3000 ms
Temperatura de funcionamiento.	0 ° C a +55 ° C (32 ° F a 131 ° F) ambiente
Temperatura de almacenamiento. -40 ° C a +85 ° C (-40 ° F a 185 ° F) ambiente (1)	-40 ° C a +85 ° C (-40 ° F a 185 ° F) ambiente (1)
Humedad en el entorno	del 5% al 95% de humedad relativa (sin condensación)
Vibración de funcionamiento:	de 10 a 500 Hz, 5 G, 0.030 pulgadas máximo. de pico a pico de funcionamiento de relé: 2 G
Organismo de Certificación	• C-UL bajo CSA C22.2 n.º. 142 • Clase I, División. 2, Grupos A, B, C, D (UL 1604, C-UL bajo CSA C22.2 n.º. 213) • Cumple con CE para todas las directivas aplicables • C-Tick para todas las leyes aplicables



**ANEXO C**  
**ESQUEMAS DE TABLEROS**

ALIMENTACIÓN PRINCIPAL  
VIENE DE Q2 T.C.P.

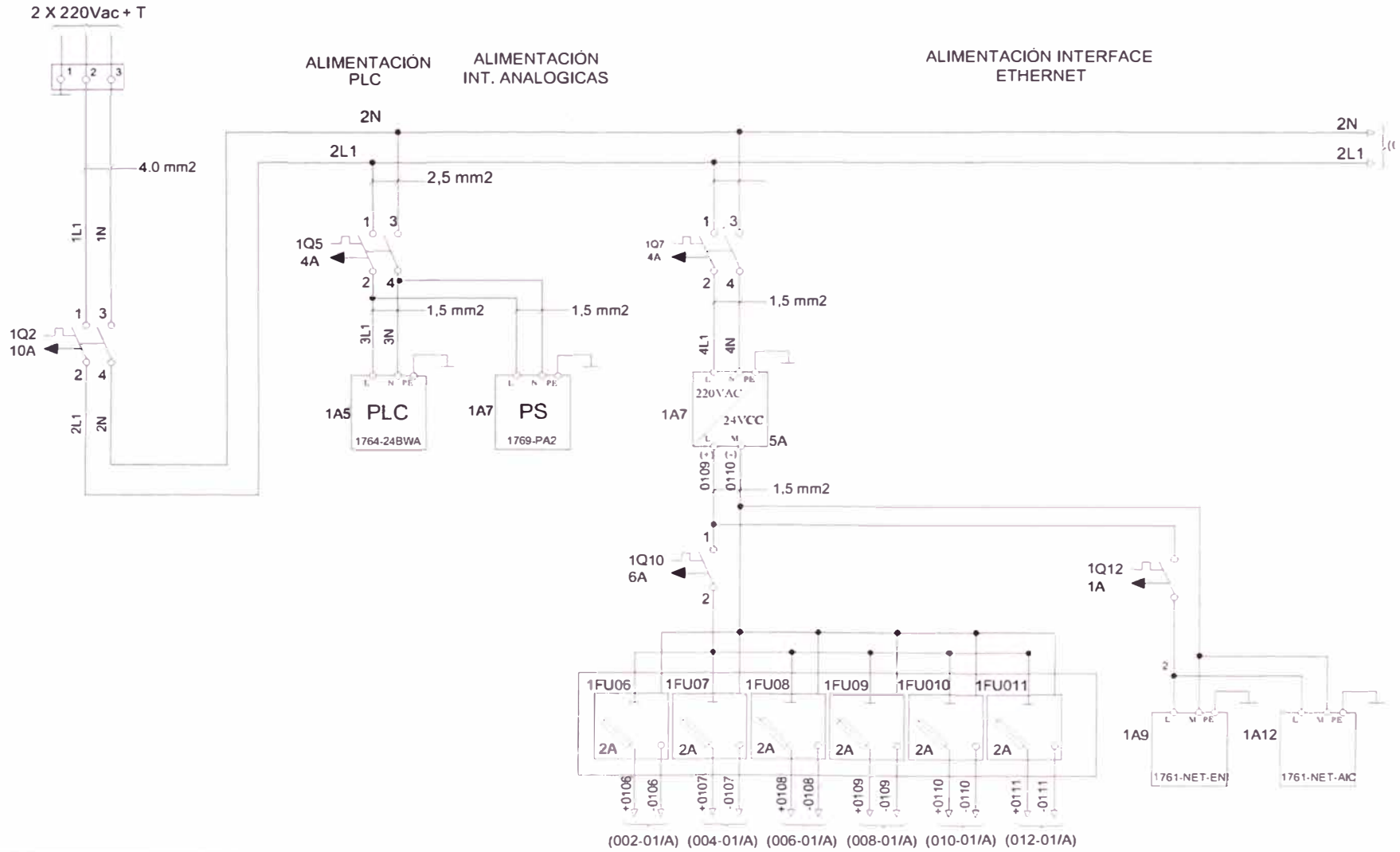


Figura C.1 Detalle de conexionado de equipos del tablero de

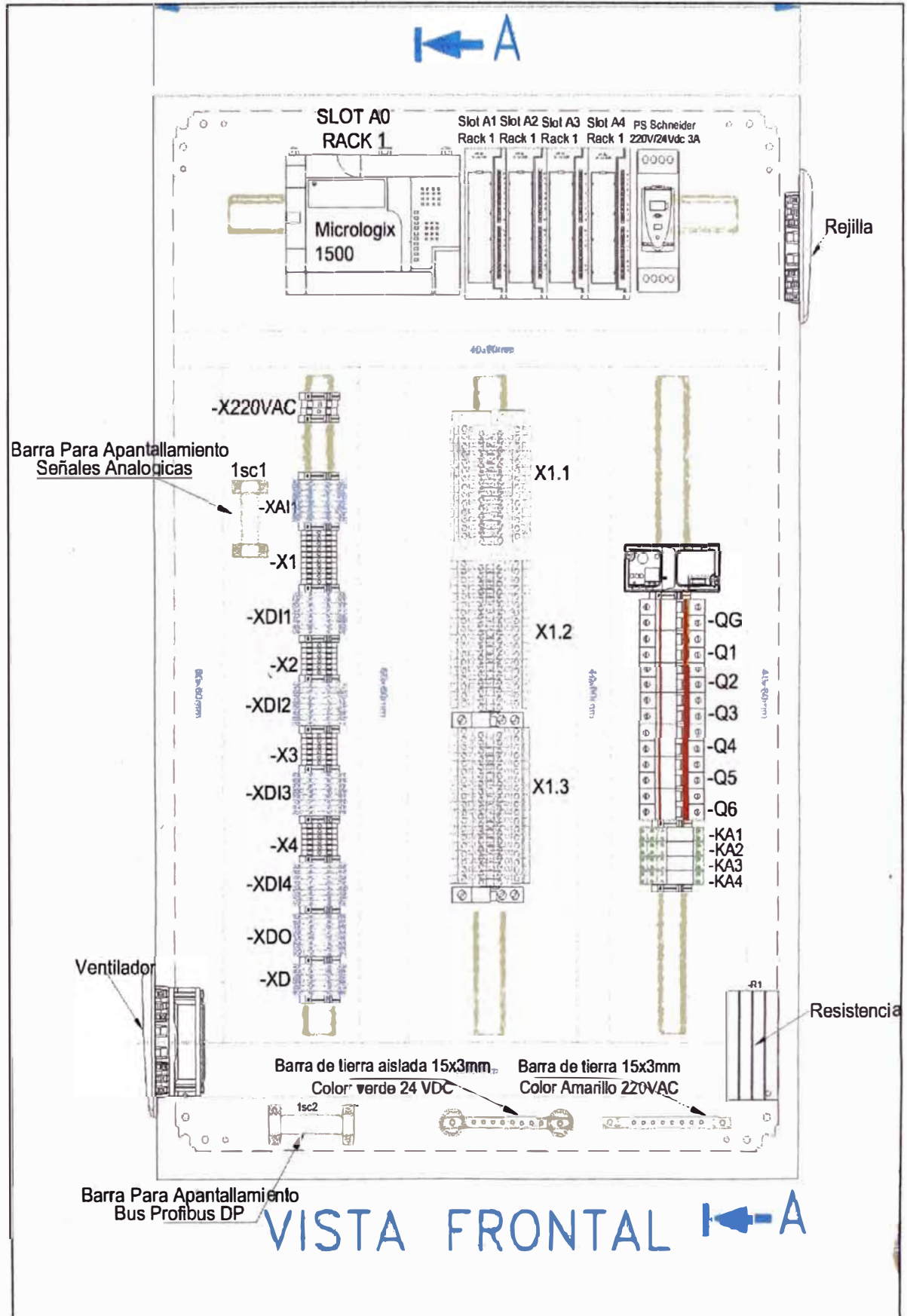


Figura C.2 Tablero de Control y Telemetría

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Lesly Da Camara, "Manual de Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales". Departamento de fenómenos de transporte., Universidad Tecnológica Nacional
- [2] Sanitaire, "ICEAS® Advanced SBR Technology - Cost-Effective Wastewater Treatment", <http://www.itttreatment.com/>
- [3] William Dunn, "Fundamentals of Industrial Instrumentation and Process Control", McGraw-Hill Education, 2005
- [4] Balcel s J., Romeral, J.L.; "Autómatas programables", Marcombo, 2002.
- [5] Peng Zhang, "Industrial Control Technology: A Handbook for Engineers and Researchers", Ed. William Andrew, 2008.
- [6] W. Bolton, "Programmable Logic Controllers", Ed. Newnes, 2009.
- [7] Antonio Rodriguez Penin, "Sistemas SCADA", MACOMBO EDICIONES TÉCNICAS 2007/MACOMBO, S.A.
- [8] Bogdan M. Wilamowski, J. David Irwin, "Industrial Communication Systems-The Industrial Electronics Handbook", CRC Press, 2011.
- [9] Emerson Process Management, "Hoja de datos del producto00813-0109-4840, Rev. AB", RosemountInc, 2007.
- [10] ASEA BROWN BOVERI S.A. "Sistema de electrodos pH/ORPSerie 7600" , Stonehouse, 2007.
- [11] CR Magnetics, 2010, "Loop-Powered AC Current Transmitter", [http://elcodis.com/datasheet.php?c=5641708&c\\_name=CR4220-20&doc=655393](http://elcodis.com/datasheet.php?c=5641708&c_name=CR4220-20&doc=655393)
- [12] Schneider Electric, "Power Meter PM800Input/Output Module" Editado por: Square D Company PMO, 2004.
- [13] Rockwell Automation, "Instrucciones de instalación Interface MicroLogix™ Ethernet", Super sedes Publication, 2005.
- [14] Rockwell Automation, "MicroLogix™ 1500ProgrammableControllers", Supersedes Publication, 2002.