UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

"AUTOMATIZACION DE PLANTA DE PRODUCTOS CLORADOS"

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO MECATRONICO

RICARDO MARTIN ESPINOZA SALAZAR

PROMOCION 2001-II

LIMA-PERU

2006

ÍNDICE

Prologo			1
1	Introducción		3
	1.1	Descripción del proceso	4
		1.1.1 Reacción primaria de hidróxido de calcio	4
		1.1.2 Reacción secundaria de licor filtrado	4
		1.1.3 Control de nivel de filtrado	5
		1.1.4 Control de temperatura de secador final	5
2	Análisis del proceso a controlar		6
	2.1	Reacción primaria de hidróxido de calcio	6
		2.1.1 Potencial de oxido reducción	7
		2.1.2 PH de la reacción	7
		2.1.3 Temperatura de la reacción	7
		2.1.4 Flujo volumétrico de cloro	7
		2.1.5 Presión en la línea de cloro	7
		2.1.6 Control de flujo	7
	2.2	Reacción secundaria de licor filtrado	8
		2.2.1 Medición de potencial de oxido reducción y PH	8
		2.2.2 Temperatura de la reacción	9
		2.2.3 Flujo volumétrico de cloro	9
		2.2.4 Presión manométrica en la línea de cloro	9
		2.2.5 Control de flujo	9
	2.3	Control de nivel de filtrado	10
	2.4	Control de temperatura de secador final	11
3	Selección de la instrumentación inteligente		12
	3.1	Medición del potencial de oxido reducción	12
	3.2	Medición del PH	15

3.3 Medición de flujo de cloro 23
3.3.1 Placa orificio y su transmisor de presión diferencial 26
3.3.2 Dimensionamiento de la placa orificio 27
3.3.3 Transmisor de presión diferencial 29
3.4 Medición de presión manométrica 30
3.5 Válvula de control de flujo para cloro gas 33
3.6 Switch de nivel alto y bajo 36
4 Selección del sistema de control 39
4.1 El PLC como alternativa de automatismo 41
4.1.1 Ventajas del uso de PLCs 41
4.1.1.1 Reducción de costos de cableado 41
4.1.1.2 Ahorro de espacio 42
4.1.1.3 Flexibilidad 42
4.1.1.4 Confiabilidad 42
4.1.1.5 Facilidad en la prueba y puesta en marcha 42
4.1.1.6 Rápida de detección de fallas y averías 42
4.1.1.7 Menor consumo de energía 42
4.2 Paneles de operador (OP) 43
4.3 PCs industriales 43
4.4 Controlador de campo 44
4.5 Conceptos básicos sobre comunicaciones digitales 46
4.5.1 Topología de redes 46
4.5.1.1 Topología tipo estrella 46
4.5.1.2 Topología tipo anillo 47
4.5.1.3 Topología tipo bus 47
4.6 Interfaces 48
4.6.1 Interfaces RS-232C 48
4.6.2 Interfaces RS-422 49
4.6.3 Interfase RS-485 49

4.6.4 TTY (lazo de corriente de 20mA) 50
4.7 Protocolos 51
4.7.1 Modelo OSI 51
4.8 Buses de campo 53
4.9 Sistema de control distribuido con "Field Bus" 56
4.9.1 Control centralizado 57
4.9.2 Control distribuido 57
4.10 Niveles de integración 58
4.10.1 Nivel actuador sensor o de mando y regulación 58
4.10.2 Nivel de campo o control de grupos de automatización 59
4.10.3 Nivel de célula o control de la producción y proceso 60
4.10.4 Nivel administrativo o de gestión 60
4.11 Redes mas utilizadas en la industria 61
4.11.1 Foundation field bus 61
4.11.2 Profibus 64
4.11.3 Industrial Ethernet 67
4.11.4 Industrial modbus plus 69
4.12 Perspectiva del futuro de las redes 70
4.12.1 Ethernet inalámbrica 70
4.12.1.1 Factores que afectan las transmisiones de radio 71
4.12.1.2 802.3 versus 802.11 71
4.12.1.3 Instalaciones de ethernet inalámbrica 72
4.12.2 Tecnología OPC 73
4.13 Arquitectura del proyecto 76
4.13.1 Características del sistema 77
5 Estrategias de control a utilizar 82
5.1 Reacción primaria de hidróxido de calcio 82
5.2 Reacción secundaria de licor filtrado 83
5.3 Control de nivel de filtrado 85

	5.4	Control de temperatura de secador final	86
6	Detalles de montaje, cableado del sistema y la instrumentación		87
	6.1	Montaje y cableado de transmisores de PH y ORP	87
	6.2	Montaje y cableado del sensor de PH y ORP	89
	6.3	Montaje y cableado de transmisores de flujo	89
	6.4	Montaje y cableado de transmisores de presión manométrica	91
	6.5	Montaje y cableado de la válvula de control	91
	6.6	Montaje de los tableros de los 2500	91
7	Conclusiones, observaciones y recomendaciones		92
	7.1	Observaciones	92
	7.2	Conclusiones	92
	7.3	Recomendaciones	93
Apéndices			95
	Anexo A.1	Capacidad de ampliación del sistema	94
	Anexo A.2	Fotos de la planta, el sistema y la instrumentación	95
	Anexo A.3	Costo de los equipos utilizados	105
	Anexo A.4	Plano de la planta de hidróxido de calcio	
	Anexo A.5	Diagramas de cableado	
Bibliografía			106

PROLOGO

Siempre es una grata satisfacción prologar el trabajo producto del esfuerzo y dedicación que ponemos en esta interesante profesión que ejercemos.

A lo largo de los siete capítulos que integran este informe, abordo el proceso de automatización de una planta de hipoclorito de calcio con cuatro principales procesos de producción, con capítulos en donde se señalan conceptos básicos de medición de variables y de protocolos de comunicación industrial, para presentar un sistema de control de última generación que permite el control, adquisición de datos, monitoreo y seguridad de la planta.

Los dos primeros capítulos describen claramente los procesos y las variables que intervienen en cada etapa, de tal manera que nos permite tener la información necesaria para la selección de la instrumentación desde un punto de vista predominantemente técnico. En el capitulo 3 se detalla la selección de la instrumentación inteligente haciendo uso de la experiencia ganada en este campo y el conocimiento adquirido de las últimas tecnologías de equipos de medición.

Hoy en día, no se concibe un sistema de control sin protocolos de comunicación estandarizados; en el capitulo 4 se presenta conceptos de los principales protocolos de comunicación industriales con el fin de sustentar la selección de un protocolo de comunicación y un procesador de características técnicas especificas que permitan lograr el objetivo del proyecto.

El capitulo 6 presenta detalles de la programación y el capitulo 5 presenta estrategias de control usadas en este proyecto y brindan una idea del comportamiento de las reacciones químicas que intervienen en el proceso de fabricación de hipoclorito de calcio, no siendo el deseo mostrar complejas estrategias de control, sino mas bien, la simplicidad y vigencia de las clásicas para controlar procesos.

Finalmente, los anexos brindan una idea real de espacio y tamaño de la planta, así como de ubicación de tableros en campo, cableado, montaje de instrumentación y demás detalles que las fotos incluyen, de tal forma que sean de utilidad práctica a los lectores de este trabajo.

INTRODUCCION

La planta piloto de hipoclorito de calcio fue concebida por la necesidad de producir hipoclorito de calcio de alta calidad, en base a cloro gaseoso e hidróxido de calcio al 20%.

Este producto se utiliza en casos de tratamiento de aguas como: desinfección, esterilización, detoxificación, decoloración y desodorización de aguas industriales, potables y de piscinas.

También se utiliza como blanqueadores en procesos de pulpa de papel y textiles, y en procesos de desinfección tanto en ambientes domésticos como en plantas de conservas de pescado, mariscos y otros.

El proceso químico de elaboración del hipoclorito de calcio cuenta con etapas en donde se requiere un sistema de monitoreo, control y adquisición de datos, debido a lo crítico de las reacciones químicas que intervienen en su producción.

Este informe presenta el proceso de selección e implementación de la instrumentación y sistema de control capas de lograr la automatización de los principales procesos de producción, siendo los objetivos de cada proceso descritos mas adelante.

Descripción del proceso

El alcance del proyecto comprende la recomendación de la instrumentación necesaria para las mediciones de las variables del proceso, recomendación del sistema de monitoreo, control y adquisición de datos, recomendaciones de montaje, cableado de los equipos, programación de las estrategias de control, diseño de las pantallas de supervisión, y de las estrategias de seguridad.

Las etapas del proceso a automatizar son cuatro: reacción primaria de hidróxido de calcio, reacción secundaria de licor filtrado, control de nivel de filtrado, monitoreo y control de temperatura del secador final.

1.1.1 Reacción primaria de hidróxido de Calcio

En esta etapa se inicia el proceso de la reacción del hidróxido de calcio al 20% con flujo controlado de cloro en estado gaseoso. El control de la reacción requiere monitoreo de variables, tales como presión de cloro, flujo volumétrico de cloro, temperatura de la reacción, ph de la reacción y orp de la reacción.

El objetivo en este subproceso es el control de flujo de cloro gaseoso que ingresa al reactor mediante una válvula de control, de tal forma que la reacción se lleve a valores de ph de 10.5 y de orp a 980mV en un lapso de tiempo predeterminado por el operario de acuerdo a sus necesidades de porcentaje de cloro en la solución.

1.1.2 Reacción secundaria de licor filtrado

En esta etapa se realiza el control fino del proceso de cloración, se requiere un control fino de gas de cloro para lograr el hidróxido de calcio aproximadamente al 10%, en esta reacción también se realiza el monitoreo de presión de cloro, flujo volumétrico de cloro, temperatura de la reacción, ph de la reacción y orp de la reacción.

El objetivo en este subproceso es el control de flujo de cloro gaseoso que ingresa al reactor mediante una válvula de control, de tal forma que la reacción se lleve a valores de ph de 10 y de orp a 990mV en un lapso de tiempo predeterminado por el operario de acuerdo a sus necesidades de porcentaje de cloro en la solución.

1.1.3 **Control de nivel de filtrado**

En esta etapa del proceso se realiza un control on/off de nivel de licor filtrado para lograr un abastecimiento constante del filtro prensa encargado de la filtración para el posterior secado del producto, para esto se requiere monitoreo de nivel discreto en el tanque de abastecimiento, control de encendido de bomba neumática, apertura y cierre de válvula mariposa.

El objetivo en este subproceso es el trasiego en forma automática del tanque No.1002 al tanque No. 1002A, con control de encendido y apagado de bombas, agitadores y válvulas de control on/off, con visualización e historización de datos de tiempos de encendido de las bombas y agitadores.

1.1.4 **Control de temperatura de secador final**

La etapa de secado se caracteriza por el control de temperatura del secador, este control se realiza modulando la cantidad de flama del secador, y a la vez se requiere el monitoreo de 3 señales de temperatura ubicadas a lo largo del secador que tendrán la función de alarma en caso de calentamientos disparejos o ignición del producto, incluso cuando el secador se encuentra apagado.

El objetivo en este subproceso es el control de flama del secador, teniendo como variable del proceso sensada la temperatura interna, asimismo un programa de alarmas con activación de sirena acústica que indique un aumento de la temperatura anormal dentro del secador, cuando se encuentra en funcionamiento y cuando se encuentra apagado.

Asimismo la historización de datos de temperatura las 24 horas del día los 365 días del año.

CAPITULO 2

ANÁLISIS DEL PROCESO A CONTROLAR

El propósito de este capitulo es detallar la cantidad de señales análogas y discretas que intervienen en la automatización de los cuatro procesos de la planta.

La reacción primaria y secundaria se realiza en tanques de 25 metros cúbicos revestidos de fibra de vidrio, con agitadores y sistema de refrigeración mediante tuberías de titanium que recorren el interior de los tanques.

2.1 Reacción primaria de hidróxido de calcio

La reacción se inicia con el ingreso controlado de flujo de cloro gaseoso al reactor No. 1005A que contiene una suspensión de hidróxido de calcio al 20% de concentración.

En la Figura 2.1 se muestra el diagrama de bloques del control de orp en la reacción primaria de hidróxido de calcio.

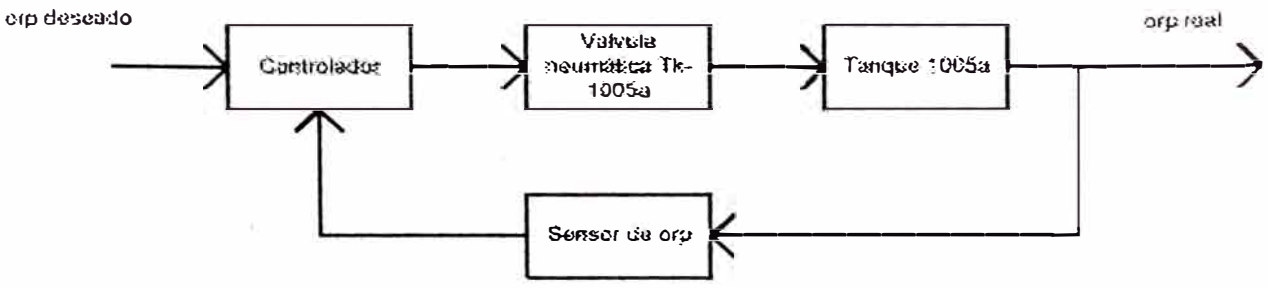


Figura 2.1: Diagrama de bloques de la reacción primaria.

Las variables y sus respectivos rangos de trabajo que se monitorean y controlan son las siguientes:

2.1.1 Potencial de oxido reducción (orp)

Las reacciones oxido-reducción son aquellas reacciones químicas en las cuales un átomo se oxida y otro se reduce. La cantidad de electrones perdidos (átomos que se oxidan) es igual a la cantidad de electrones ganados (átomos que se reducen). En esta reacción el potencial de oxido reducción tiene un rango de 900mV a 980mV.

Cuando se inicia la reacción el potencial se encuentra en 900mV aproximadamente, aumentando debido a la reacción con el cloro en un lapso de 4 horas hasta 980mV.

2.1.2 ph de la reacción

El grado de acides o basicidad (ph) de la reacción se inicia en 12 y conforme ingresa el cloro esta diminuye hasta 10.5 en el momento en que el potencial de oxido reducción llegue a 980mV.

2.1.3 Temperatura de la reacción

Esta debe iniciarse en no menos del 15 grados celsius y no debe exceder los 30 grados celsius, por ser una reacción exotérmica, el ingreso de cloro debe ser controlado, ya que de lo contrario se generaría la ignición del producto.

2.1.4 Flujo volumétrico de cloro

El rango de flujo de cloro nos da la medida del tiempo que durará la reacción, este flujo se encuentra entre 700 a 1000 Kg/Hr a 30 PSI y 28 grados Celsius.

2.1.5 Presión en la línea de cloro

La presión a la que ingresa el cloro se encuentra en un rango entre 1 a 2 bares de presión y su monitoreo nos ayuda a realizar la compensación del flujo volumétrico para obtener consumo másico en Kg/hr y totalizado.

2.1.6 Control de flujo

Para realizar el control de flujo se utiliza una válvula de control de 2", con actuador neumático de simple efecto, y posicionador electro neumático. Las características técnicas las definiremos en el siguiente capitulo.

En la Tabla 2.1 se muestran las variables del reactor primario 1005A.

Tabla 2.1: Tag de señales del reactor primario

Reactor primario de hidróxido de calcio			
Numero	**Tag**	**Tipo**	**Descripción**
1	AIT01	análoga de entrada	señal de ph del reactor 1005A
2	CIT01	análoga de entrada	señal de orp del reactor 1005A
3	TIT01	análoga de entrada	señal de temperatura del reactor 1005A
4	FIT01	análoga de entrada	señal de flujo volumétrico de cloro del reactor 1005A
5	PIT01	análoga de entrada	señal de presión manométrica del reactor 1005A
6	FCV01	análoga de salida	señal de válvula de control del reactor 1005A
7	SV003	discreta de salida	señal válvula solenoide de emergencia del reactor 1005A

2.2 Reacción Secundaria de Licor filtrado

La reacción secundaria nace a partir de una primera cloración del producto hidróxido de calcio y el paso por el filtro prensa, producto de este filtrado es un licor que contiene un 50% de concentración de cloro y se somete a un segundo proceso de reacción en el tanque 1005B para obtener hipoclorito de calcio húmedo que pasará luego al secador final para obtener el producto final.

En la Figura 2.2 se muestra el diagrama de bloques del control de orp en la reacción secundaria de licor filtrado.

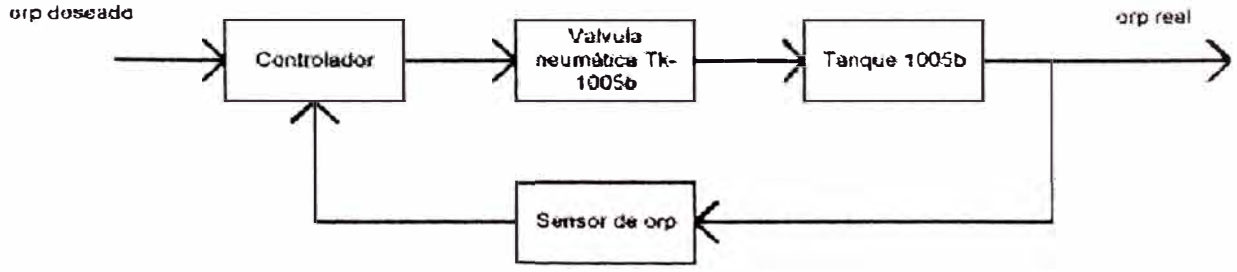


Figura 2.2: Diagrama de bloques de la reacción secundaria.

Las variables que se controlarán en esta reacción son las siguientes:

2.2.1 Medición de potencial de oxido reducción y ph

El rango del potencial en esta etapa se encuentra entre los 920mV al inicio y 990mV al final del proceso, el tiempo de duración del proceso es de 4 a 5 horas

aproximadamente, dependiendo de la velocidad de ingreso de cloro y de la concentración inicial de hidróxido de calcio.

El ph de la reacción se inicia en 11 y disminuye hasta alcanzar un valor de 10 al termino del proceso de cloración marcado siempre por el potencial de oxido reducción.

2.2.2 Temperatura de la reacción

Esta al inicio en los 18 grados celsius y en ningún caso debe exceder los 30 grados celsius, es también una reacción exotérmica y el flujo de cloro debe ser controlado.

2.2.3 Flujo volumétrico de cloro

Se encuentra en un rango de 700 a 1000 Kg/Hr, según el producto vaya reaccionando con el cloro y respondiendo al control automático de cloración por rampa de setpoint.

2.2.4 Presión manométrica en la línea de cloro

Se encuentra entre 1 a 2 bares de presión, debiendo ser monitoreada para fines de compensación de flujo en el cálculo del cloro consumido.

2.2.5 Control de flujo

Se utiliza una válvula de control de 2", con actuador neumático de simple efecto, y posicionador electro neumático, cuyas características técnicas se especifican en el siguiente capitulo.

En la Tabla 2.2 se muestran las variables del reactor 1005B.

Tabla 2.2: Tag de señales del reactor secundario

Reactor Secundario de Licor Filtrado			
Numero	**Tag**	**Tipo**	**Descripción**
1	AIT02	análoga de entrada	señal de ph del reactor 1005B
2	CIT02	análoga de entrada	señal de orp del reactor 1005B
3	TIT02	análoga de entrada	señal de temperatura del reactor 1005B
4	FIT02	análoga de entrada	señal de flujo volumétrico de cloro del reactor 1005B
5	PIT02	análoga de salida	señal de presión manométrica del reactor 1005B
6	FCV02	análoga de salida	señal de válvula de control del reactor 1005B
7	SV004	discreta de salida	señal válvula solenoide de emergencia del reactor 1005B

2.3 Control de nivel de filtrado

El filtrado del producto terminado del reactor primario requiere de un abastecimiento del filtro prensa de manera automática y constante, para esto se realiza el trasiego del tanque No. 1002 al tanque No.1002A mediante al accionamiento de una bomba neumática y la apertura de una válvula de control on/off tipo mariposa.

Asimismo se requiere el encendido automático de agitadores en ambos tanques para evitar que el producto se solidifique antes de ingresar al filtro prensa.

En la Figura 2.3 se muestra el diagrama de bloques del control de nivel del tanque No. 1002A.

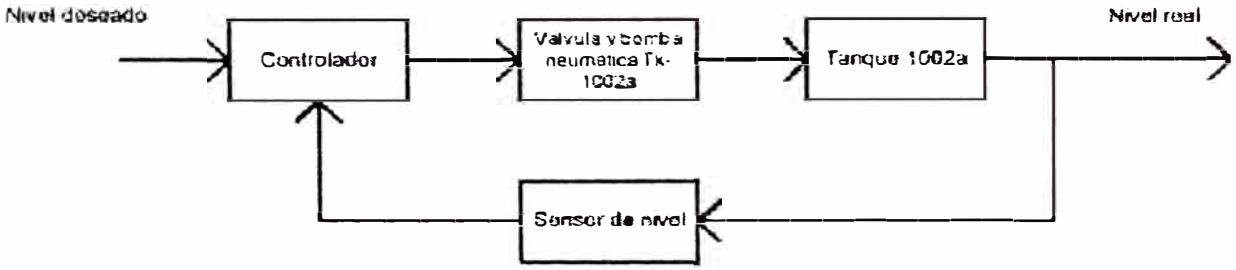


Figura 2.3: Diagrama de bloques del control de nivel del tanque no. 1002A.

En la Tabla 2.3 se muestran las señales discretas necesarias para tal fin.

Tabla 2.3: Tag de señales del sistema de control de nivel

Control de Nivel de Filtrado			
Numero	**Tag**	**Tipo**	**Descripción**
1	LSL01	discreta de entrada	señal de nivel bajo tanque 1002
2	LSL03	discreta de entrada	señal de nivel bajo tanque 1002A
3	LSH04	discreta de entrada	señal de nivel alto tanque 1002A
4	LRAG1004	discreta de entrada	selector en posición local-remoto de agitador de tanque 1002
5	LRAG1006	discreta de entrada	selector en posición local-remoto de agitador de tanque 1002A
6	LRP1004	discreta de entrada	selector en posición local-remoto bomba P-1004a y P-1004b

2.4 Control de temperatura de secador final

Para el control de temperatura se requiere de cuatro sensores de temperatura ubicados a lo largo del secador, uno de los cuales realizará el control de la temperatura del secador, siendo el resto de señales monitoreadas para realizar la estrategia de seguridad del secador.

El secador requiere de sensores de temperatura que trabajen en un rango de 0 a 250 grados celsius, con longitud de inserción de 12 pulgadas y protección externa del sensor, ya que estará en contacto con el producto terminado que es altamente corrosivo.

En la Figura 2.4 se muestra el diagrama de bloques del control de temperatura del secador final.

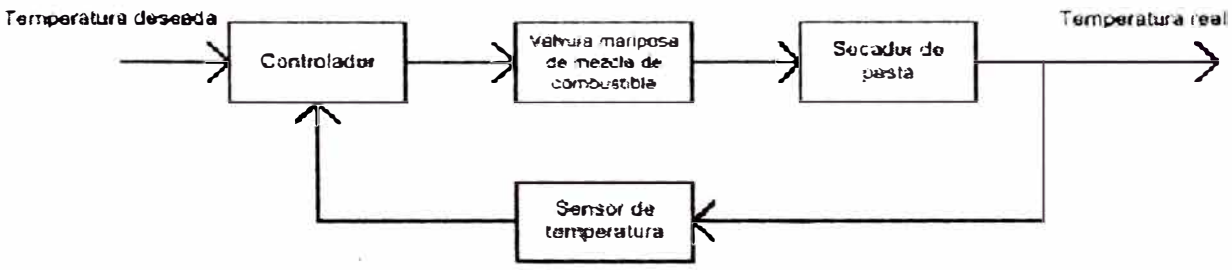


Figura 2.4: Diagrama de bloques del control de temperatura del secador final.

Las señales que se manejan en esta etapa se muestran en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4: Tag de señales del secador final

Control de Temperatura del Secador Final			
Numero	**Tag**	**Tipo**	**Descripción**
1	TIT03	Análoga de entrada	Señal de temperatura de flama del secador
2	TIT04	Análoga de entrada	Señal de temperatura del secador-zona1
3	TIT05	Análoga de entrada	Señal de temperatura del secador-zona2
4	TIT06	Análoga de entrada	Señal de temperatura del secador-zona3
5	FCV03	Análoga de salida	Señal de control de ingreso de combustible

CAPITULO 3

SELECCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN INTELIGENTE

Teniendo definidas todas las señales, procedemos a la selección de las características técnicas requeridas de la instrumentación necesaria para la medición de las variables de los cuatro procesos de trabajo.

3.1 Medición del potencial de oxido reducción

El potencial de oxido-reducción de materiales disueltos en agua se mide con un metal noble y un electrodo de referencia y es una medida de su potencial eléctrico de equilibrio y de su capacidad relativa para reaccionar con otros materiales oxidantes o reductores que puedan añadirse al agua.

Hay que señalar que en la medida del ph, el electrodo de vidrio capta los cambios en la concentración del ión hidrógeno activo mientras que en la medida del potencial de oxido-reducción el electrodo de metal noble (normalmente es platino) es sensible a los cambios en la relación entre el agente reductor y el agente oxidante. Así, pues, el electrodo de metal noble puede denominarse "electrodo sensible a los electrones" de forma paralela al electrodo de vidrio considerado como "elemento sensible al ión hidrógeno".

En la Figura 3.1 se muestran sensores de ph y orp que utilizan electrodos de medición y de referencia.

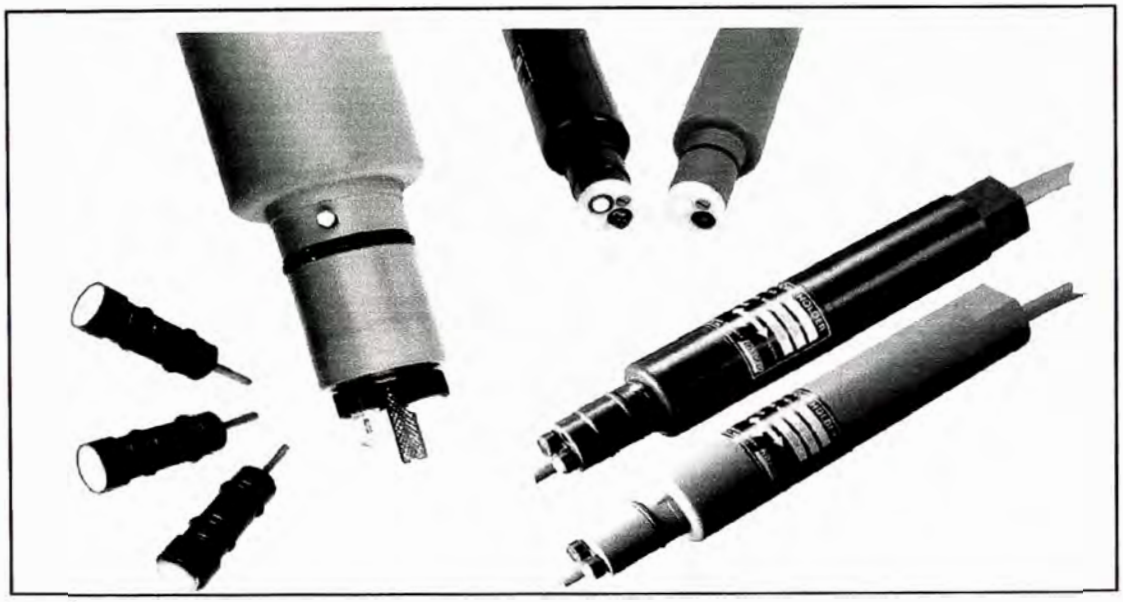


Figura 3.1: Electrodos de medición de orp y ph usados en la industria.

En la industria se utiliza, en la mayoría de las aplicaciones el platinum y el electrodo de oro se utiliza principalmente en soluciones cianuradas.

Entre los materiales resistentes al cloro se encuentra el Tantalum, Platinum, Teflón, Cerámico, Monel, Hastelloy, Kinar, Cobalto-Nikel-Cromo, Alloy, Ryton, y el PVC.

Las especificaciones técnicas del sensor y transmisor de orp deben ser las siguientes:

- Sensor para medición de orp en solución clorada.
- Cuerpo del sensor en PVC[1].
- Electrodo de medición de platinum, con cuerpo de teflón.[1]
- Partes húmedas del sensor de material tantalum.
- Configuración y calibración inteligente a dos puntos, permite la calibración mediante buffer patrones y linealiza la medición, mejorando la precisión.
- Electrodos de medición y de referencia reemplazables.
- Compensación de temperatura automática.
- Rango de medición -2000 a 2000mV.
- Con preamplificador y cable de 15 metros de longitud.
- Reproducibilidad= +-2mV dc a las condiciones de referencia.

[1] PVC.Cloruro de polivinilo. Polimero orgánico obtenido por polimerización del cloruro de vinilo. Sus propiedades de resistencia a ácidos y bases, estabilidad y plasticidad hacen que sea uno de los productos más utilizados de la industria del plástico, con numerosas aplicaciones.

- Rango de temperatura: -5 a 80 Celsius.
- Rango de presión hasta 150 PSI.
- Transmisor de orp con indicación de orp y temperatura en pantalla de cristal líquido con menú intuitivo de navegación, tal como se muestra en la Figura 3.2.
- Inteligente con capacidad de diagnostico de sensor roto, envejecimiento del sensor, filtración de líquido dentro del cuerpo del sensor, falla de la alta impedancia del preamplificador en el sensor, falla en el elemento de compensación de temperatura, sensor de referencia cubierto por suciedad.
- Calibración inteligente y manual a dos puntos.
- Doble salida de 4-20mA y dos aisladas salidas de relé configurables.
- Indicación de información como: Slope del sensor, valor del sensor de ORP absoluta sin compensación, salida análoga en miliamperios, resistencia del electrodo de referencia, resistencia del compensador de temperatura, fecha de última calibración.
- Interfase que permita la configuración, calibración, estado, y localización de fallas vía panel frontal.

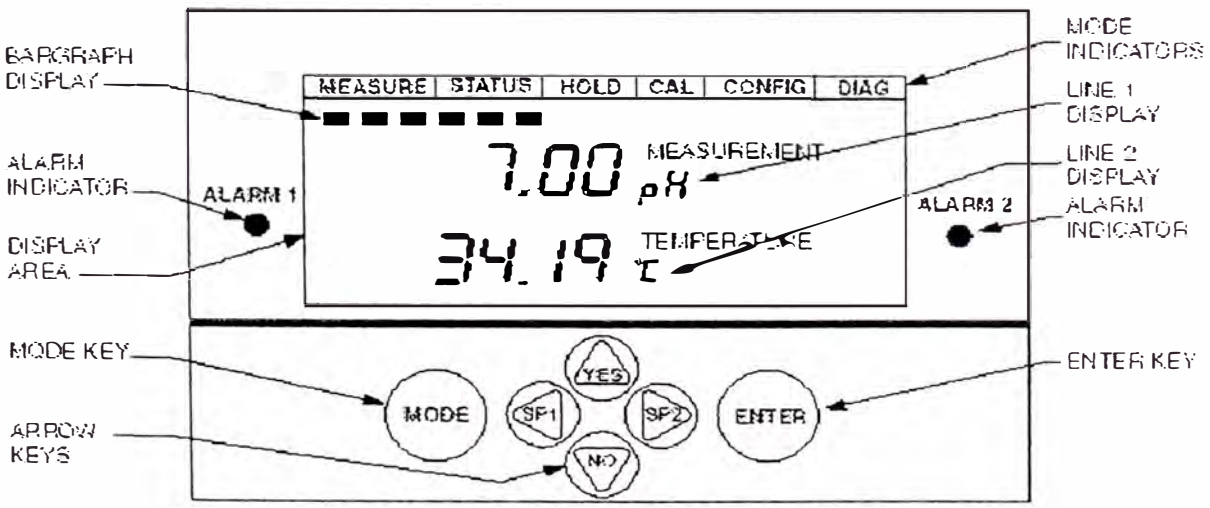


Figura 3.2: Ejemplo de interfase de transmisor de orp o ph.

- Límites operativos de temperatura entre -20 y 75 grados Celsius.
- Humedad relativa entre 5 y 95%.

- Capaz de soportar vibración hasta 1g (10m/s2) entre una frecuencia de 5 a 200 Hz.
- Alimentación eléctrica 220Vac, 60Hz.
- Precisión de salida digital +-0.1% de la escala completa.
- Precisión de la salida análoga +- 0.05% de la escala completa.
- Precisión del sensor de temperatura incluyendo repetibilidad de +-0.1 grados Celsius.
- Estabilidad de +-0.25% de la escala completa.
- Tiempo de respuesta de 3 segundos o mejor.
- Consumo de potencia de 15 Watts máximo.

3.2 Medición del ph

El ph es una medida de la acidez o alcalinidad del agua con compuestos químicos disueltos. Su expresión viene dada por el logaritmo de la inversa de la concentración del ión H expresada en moles por litro.

$$ph = \log \frac{1}{[H+]} \qquad (3.1)$$

Señalemos que el agua pura neutra tiene una concentración aproximada de ión hidrógeno de 10^{-7} moles por litro. Luego el ph será:

$$ph = \log \frac{1}{10^{-7}} = 7 \qquad (3.2)$$

Una disolución ácida tiene mayor concentración de ión hidrógeno que el agua pura y por lo tanto su ph será menor de 7. Una disolución básica le ocurre a la inversa y su ph será mayor de 7. Las medidas prácticas del ph se encuentran entre los valores 0 a 14. En la

Tabla 3.1 se indican las concentraciones de varios tipos de soluciones con su ph correspondiente.

Tabla 3.1: Valores de PH de varias soluciones

	pH	Concentración H^+ Mols/litro	Concentración OH^- Mols/litro	pH de productos alimenticios comunes		pH de varios productos químicos a 25° C
	0	1	0.000000000000001		0	← Ácido sulfúrico 4,9 % (1 N)
	1	0.1	0.0000000000001		1	← Ácido hidroclórico 0,37 % (0,1 N)
	2	0.01	0,000000000001	Jugo limón →	2	
	3	0.001	0,00000000001	Jugo naranja →	3	← Ácido acético 0,6 % (0,1 N)
Acido	4	0,0001	0.0000000001	Cerveza →	4	
	5	0.00001	0.000000001	Queso →	5	← Ácido hidrociánico 0,27 % (0,1 N)
	6	0.000001	0,00000001	Leche →	6	
Neutro →	7	0.0000001	0.0000001	Agua pura →	7	
	8	0.00000001	0,000001	Huevos blancos →	8	← Bicarbonato sódico 0,84 % (0,1 N)
	9	0.000000001	0,00001	Bórax →	9	← Acetato de potasio 0,98 % (0,1 N)
	10	0.0000000001	0,0001	Magnesia →	10	
Básico	11	0.00000000001	0,001		11	← Amoníaco 0,017 % (0,01 N) Amoníaco 1,7 % (1,0 N)
	12	0,000000000001	0,01		12	← Sosa cáustica 0,04 % (0,01 N)
	13	0,0000000000001	0.1		13	
	14	0,00000000000001	1		14	← Sosa cáustica 4 % (1,0 N)

En la medida de ph pueden utilizarse varios métodos, de entre los cuales los más exactos y versátiles de aplicación industrial son: el sistema de electrodo de vidrio y el de transistor (ISFET-Ión Sensitive Field Effect Transistor).

El electrodo de vidrio consiste en un tubo de vidrio cerrado en su parte inferior con una membrana de vidrio especialmente sensible a los iones hidrógeno del ph.

En la parte interna de esta membrana se encuentra una solución de cloruro tampón de ph constante dentro de la cual está inmerso un hilo de plata recubierto de cloruro de plata.

Aunque el mecanismo que permite que el electrodo de vidrio mida la concentración de ión hidrógeno no es exactamente conocido, está establecido que al introducir el electrodo en el líquido se desarrolla un potencial relacionado directamente con la concentración del ión hidrógeno del líquido. Es decir, si esta concentración es mayor que la interior del electrodo existe un potencial positivo a través de la punta del electrodo y si es inferior, el potencial es negativo.

Este potencial cambia con la temperatura, por ejemplo, pasa de 54,2 mV a 0° C a 74 mV a 100° C por unidad de ph. Para medir el potencial desarrollado en el electrodo de vidrio es necesario disponer en la solución de un segundo elemento o electrodo de referencia. Éste, aparte de cerrar el circuito, suministra un potencial constante que sirve de referencia para medir el potencial variable del electrodo de vidrio. El electrodo de referencia contiene una célula interna formada por un hilo de plata recubierto con cloruro de plata en contacto con un electrolito de cloruro de potasio tal como se muestra en la Figura 3.3. Este electrolito pasa a la solución muestra a través de una unión líquida. De este modo, la célula interna del electrodo permanece en contacto con una solución que no varía de concentración y que por lo tanto proporciona una referencia estable de potencial.

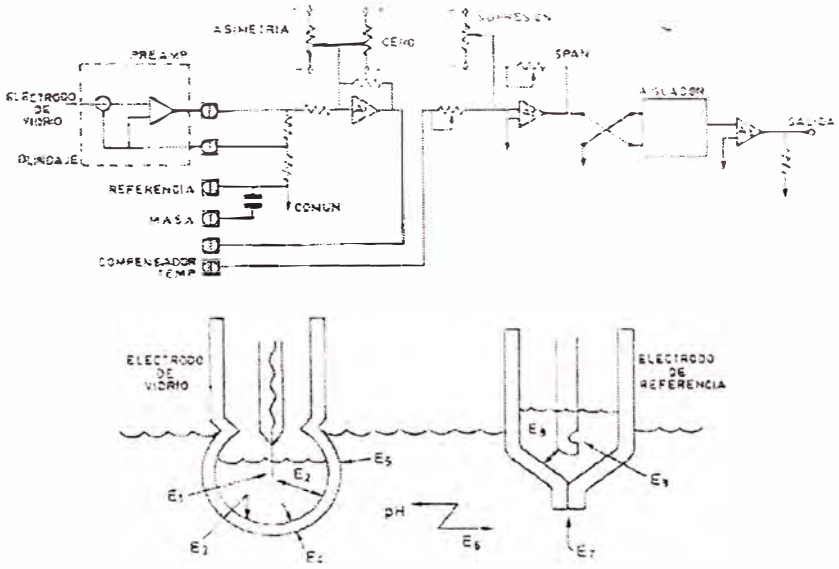


Figura 3.3: Disposición interna de los electrodos y los potenciales que miden.

Los potenciales existentes son los siguientes:

E1: Potencial entre el electrodo metálico interior y la solución tampón que se encuentra en forma constante para una temperatura dada. Las temperaturas extremadamente altas pueden dar lugar a la disolución del revestimiento de cloruro de plata del electrodo.

E2: Caída de potencial entre el electrodo interior y la cara interna de la membrana de cristal que puede considerarse despreciable.

E3: Potencial entre solución tampón y superficie de la membrana de cristal que es constante gracias a la estabilidad de la solución tampón y de la membrana de cristal.

E4: Caída de potencial a través de la membrana que se mantiene constante en cortos períodos mientras la membrana de cristal no sufra alteraciones de origen químico o mecánico. Si este potencial deriva, se calibra con una solución tampón de ph conocido.

E5: Potencial entre superficie exterior de la membrana de cristal y la solución ensayada que varía con la concentración de iones hidrógeno (ph) de la solución ensayada.

E6: Caída de potencial a través de la solución ensayada que se considera despreciable, salvo si se trata de agua poco conductora o de soluciones no acuosas.

E7: Representa el potencial de la unión líquida entre la solución ensayada y la de referencia. Su valor es despreciable, aunque un atascamiento o un exceso de presión externa contra la unión puede influir en la medición.

E8: La caída de potencial dentro del electrodo de referencia es despreciable.

E9: Potencial de contacto entre el electrodo de referencia y la solución que puede considerarse constante si dicha solución no está contaminada.

La ecuación de Nernst da la f.e.m. E5, desarrollada en el electrodo de referencia

$$E = \frac{RT}{F} \ln \frac{[H^+]\,exterior\ al\ electrodo}{[H^+]\,interior\ en\ el\ electrodo} = -\frac{RT}{F} ph \qquad (3.3)$$

en la que:

E = Potencial

R = Constante de los gases perfectos

F = Número de Faraday

T = Temperatura absoluta

$[H^+]$ = Concentración de iones hidrógeno

La medida del ph con el electrodo de vidrio se reduce a medir un potencial resultante entre los electrodos de E1-E9 con una resistencia interna considerable. En la medida pueden presentarse algunas dificultades. Las más comunes son:

a) Recubrimiento o abrasión de la membrana del electrodo de vidrio (influye en el potencial E4 y/o en el E5.

b) Soluciones no acuosas o de alta resistencia (influye en E6 y E5).

c) Taponamiento o fallo mecánico de la unión del líquido en el electrodo de referencia (influye en E7) que impide el paso de la solución, quedando el circuito abierto. Si el taponamiento es parcial se desarrolla un potencial indeterminado.

d) Entrada de la solución de ensayo dentro de la solución interna del electrodo de referencia (influye en E8 y de modo más importante en E9) con lo que se destruye el potencial constante deseado.

e) Variación con el tiempo del potencial de asimetría que depende de la naturaleza del vidrio, del tipo de fabricación, de las impurezas, de la disolución gradual del vidrio en la solución, del desgaste por erosión de la punta del vidrio, etcétera. Este potencial sólo es de unos pocos mV, pero se mantiene constante aunque existan las mismas soluciones a ambos lados del electrodo de vidrio. Los instrumentos de ph disponen de un ajuste para corregir este potencial.

La variación de temperatura influye en la medida del ph. A ph constante alcanza los 0,2 milivoltios por grado centígrado. En la figura 3.4 puede verse esta influencia. Como en el instrumento final de indicación o registro o control, la medida se realiza en unidades de ph en lugar de mV, es necesario compensar la influencia de las variaciones de temperatura de la solución de ensayo, dada en la ecuación 3.3. Hay que señalar que el termo compensador o sonda de resistencia compensa sólo la relación tensión-temperatura del electrodo de vidrio y que sólo asegura la medida del ph real de la solución a su temperatura real. No detecta las variaciones con la temperatura propias del ph de cada solución, que siguen una ley distinta de una solución a la otra y para las cuales habría que diseñar un compensador especial para cada una de ellas.

°C	mV/pH
0	54,2
5	57,2
20	58,2
25	59,2
30	60,2
35	61,1
50	64,1

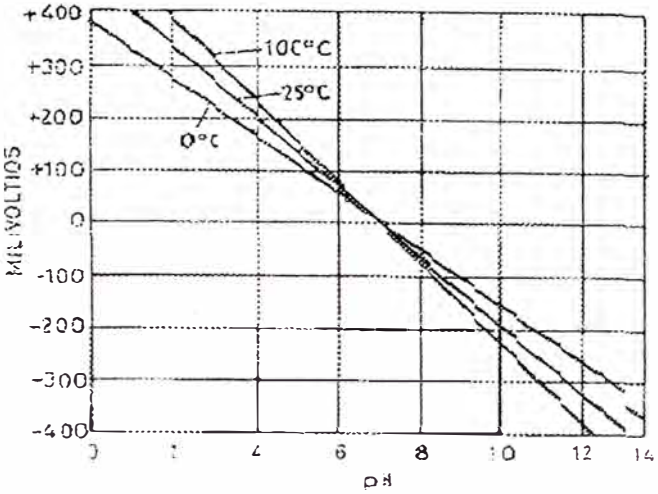


Figura 3.4: Relación mV-ph en función de la temperatura.

Así, pues, la medida del ph es sólo válida a la temperatura a que se encuentra la solución, aunque la variación de señal en mV por unidad de ph es relativamente grande (58,2 mV/ph a 20° C), la alta resistencia del circuito de los electrodos aconseja utilizar un amplificador de pH que por las características del circuito debe poseer una alta impedancia de entrada, un bajo nivel de ruido para disminuir los errores, y opcionalmente un aislamiento de señal entre la entrada y la salida para eliminar los bucles de masa ya que la unión de referencia está al potencial de masa. El registro o el control del ph una vez amplificada la señal se realiza en un instrumento potenciométrico.

En la medición del ph puede presentarse el recubrimiento de los electrodos, en cuyo caso el electrodo se comporta como si apreciara bajas concentraciones de ión H+ y, por tanto, el instrumento registrador leería altos valores de ph. En estos casos es, pues, necesario limpiar periódicamente el electrodo con una frecuencia que la experiencia determina en cada caso. Existen métodos automáticos de limpieza (ultrasonidos, chorro de limpieza, cepillo mecánicos) que todavía no han dado un resultado completamente satisfactorio y dispositivos de extracción manual o automática que permiten la extracción y limpieza del electrodo sin interrumpir el servicio.

El electrodo de transistor ISFET (Ion Sensitive Field Effect Transistor) es prácticamente irrompible, de estado sólido y proporciona una respuesta muy rápida. El sensor posee una señal de ph de baja impedancia, lo que le da una gran fiabilidad, y tiene una larga duración,

funcionando en los líquidos más sucios y con más impurezas. Incorpora un electrodo de referencia recambiable, los instrumentos de ph tienen una precisión de ± 0,25 a ± 1% o bien, ± 0,03 ph.

El microprocesador aporta "inteligencia" al transmisor de ph, proporcionando insensibilidad a vibraciones, compensación automática de temperatura, autodiagnóstico y una precisión de ± 0,1%.

Las especificaciones técnicas del sensor y transmisor de orp deben ser las siguientes:

- Sensor para medición de ph en solución clorada.
- Cuerpo del sensor en PVC.
- Electrodo de medición de vidrio chato, con cuerpo de teflón.
- Partes húmedas del sensor de material tantalum.
- Configuración y calibración inteligente a dos puntos, permite la calibración mediante buffer patrones y linealiza la medición, mejorando la precisión.
- Electrodos de medición y de referencia reemplazables.
- Compensación de temperatura automática.
- Rango de medición de 10 a 14 ph
- Con preamplificador y cable de 15 metros de longitud.
- Reproducibilidad= +-2mV dc a las condiciones de referencia.
- Rango de temperatura: -5 a 80 Celsius.
- Rango de presión hasta 150 PSI.
- Transmisor de PH con indicación de ph y temperatura en pantalla de cristal líquido con menú intuitivo de navegación.
- Inteligente con capacidad de diagnostico de sensor roto, envejecimiento del sensor, filtración de liquido dentro del cuerpo del sensor, falla de la alta impedancia del preamplificador en el sensor, falla en el elemento de compensación de temperatura, sensor de referencia cubierto por suciedad.
- Calibración Inteligente y manual a dos puntos.
- Doble salida de 4-20mA y dos aisladas salidas de relé configurables.

- Indicación de información como: Slope del sensor, valor del sensor de ph absoluta sin compensación, salida análoga en miliamperios, resistencia del electrodo de referencia, resistencia del compensador de temperatura, fecha de última calibración.
- Interfase que permita la configuración, calibración, estado, y localización de fallas vía panel frontal.
- Limites operativos de temperatura entre -20 y 75 grados Celsius.
- Humedad relativa entre 5 y 95%
- Capaz de soportar vibración hasta 1g (10m/s2) entre una frecuencia de 5 a 200 Hz.
- Alimentación eléctrica 220Vac, 60Hz.
- Precisión de salida digital +-0.1% de la escala completa.
- Precisión de la salida análoga +- 0.05% de la escala completa.
- Precisión del sensor de temperatura incluyendo repetibilidad de +-0.1 grados Celsius.
- Estabilidad de +-0.25% de la escala completa.
- Tiempo de respuesta de 3 segundos o mejor.
- Consumo de potencia de 15 Watts máximo.

3.3 Medición de flujo de cloro

La selección eficaz de un medidor de caudal exige un conocimiento práctico de la tecnología del medidor, además de un profundo conocimiento del proceso y del fluido que se quiere medir.

Para la medición de flujo volumétrico de cloro gaseoso en tubería de 2 pulgadas, en un rango de 21 a 48 pies cúbicos actuales por minuto, se tiene diferente tecnología de medición como son:

- Medidor del tipo placa orificio.- Utilizado en tuberías superiores a 1 pulgada, precisión de 0.5% a 3% dependiendo de la precisión en los calculo de la presión diferencial generada a las condiciones de proceso, rangeabilidad de 3:1 a 5:1, utilizado para números de reynold superiores a 1000, sensibilidad alta a los efectos de la instalación, presión y temperatura de compensación pueden ser requeridas para calculo de flujo másico, costo inicial bajo, costo de instalación bajo, costo de mantenimiento medio, costos operativos bajo, performance afectada por desgaste de bordes, estándares utilizados AGA3, ANSI/API 2530, ANSI/ASME MFC 3M, ISO5167, ASME Fluid meters.

  En la Figura 3.5 se muestra una placa orificio montada en forma compacta con un transmisor de presión diferencial y su válvula de aislamiento.

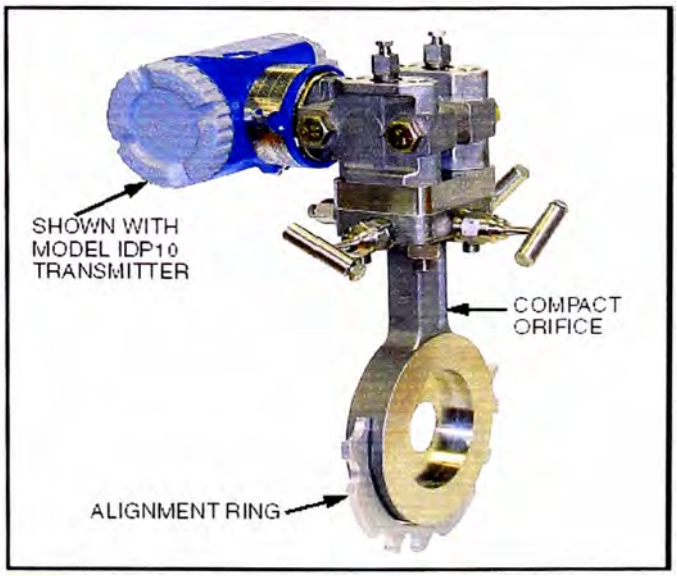


Figura 3.5: Placa orificio con transmisor de presión diferencial.

- Medidor de flujo tipo Área variable.- Utilizado en tuberías menores a 3 pulgadas, precisión entre 0.5% a 5%, rangeabilidad de 10:1, para fluidos con viscosidad superior a 3 Cp, no es sensible a efectos de la instalación, puede solo ser instalado en tuberías verticales con flujo ascendente, costo inicial alto, costo de instalación bajo, costo de mantenimiento bajo, costos operativos bajo.

  En la Figura 3.6 se muestra un flujometro de área variable con indicación de flujo de manera analógica.

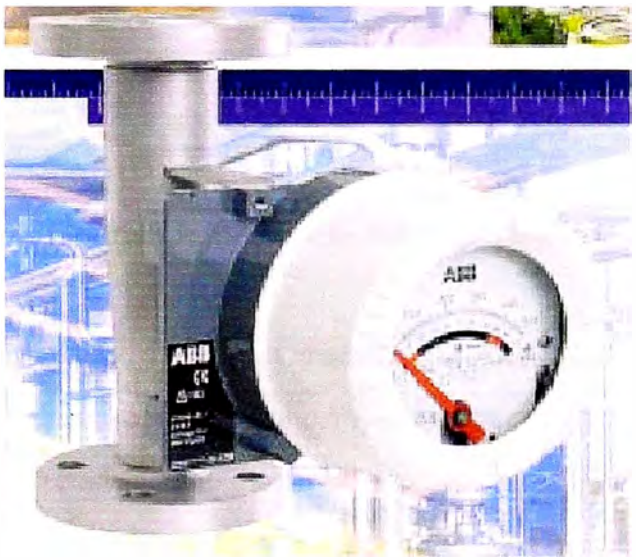


Figura 3.6: Medidor de área variable.

- Medidor de flujo tipo Vortex.- Utilizado en tuberías desde ½" a 12 pulgadas, precisión del 0.5% al 1.5%, rangeabilidad de 10:1 a 20:1, requiere números de reynold superiores a 20000, alta sensibilidad a los efectos de la instalación, la performance puede verse afectada por la viscosidad, indicación de cero por debajo del cut-off, costo inicial medio, costo de instalación medio, costo de mantenimiento medio, costo de operación medio, normas utilizadas en su fabricación ANSI, ASME MFC 6M.

  En la Figura 3.7 se muestra un medidor de flujo volumétrico con tecnología tipo vortex e indicador local.

Figura 3.7: Medidor de flujo tipo Vortex.

- Medidor de flujo tipo Turbina.- Utilizado para diámetros superiores a ¼ pulgada hasta 12 pulgadas, precisión del 0.1% a 1%, rangeabilidad de 10:1 a 50:1, para fluidos con viscosidad superior a 10 cst, alta sensibilidad a los efectos de la instalación, la viscosidad del fluido puede afectar la performance, costo inicial alto, costo de instalación medio, costo de mantenimiento alto, costos operativos medio, la performance se ve afectada por desgaste de los elementos mecánicos internos, los estándares usados en su fabricación son: AGA 7, API 2534, ISO 2715, ASME Fluid meters, API manual for Petroleum measurement Standards.
  En la Figura 3.8 se muestra medidores tipo turbina con conexión al proceso roscada y bridada.

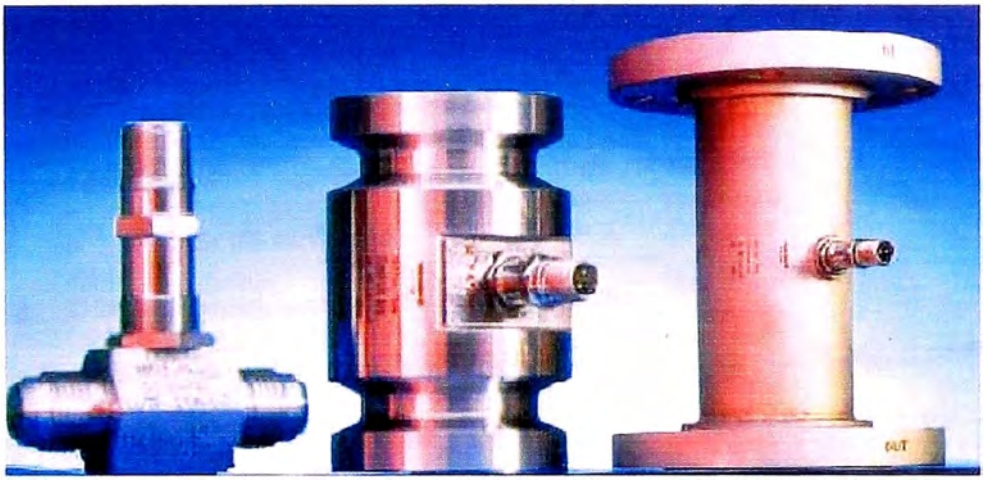


Figura 3.8: Medidor de flujo tipo turbina.

Entre todos los medidores de flujo descritos se requiere uno que cumpla con los materiales resistentes al cloro, los cuales pueden ser monel, tantalum, hastelloy C o alloy.

Los medidores de flujo tipo vortex, área variable y turbina son altamente costosos en estos tipos de materiales, siendo la placa orificio de Monel la más adecuada tanto técnica como económica para la medición de gas cloro en este proceso.

3.3.1 Placa orificio y su transmisor de presión diferencial

La placa orificio consiste en una placa perforada instalada en la tubería. Dos tomas conectadas en la parte anterior y posterior de la placa, captan esta presión diferencial la cual es proporcional al cuadrado del caudal.

Las especificaciones técnicas son las siguientes:

- Placa orificio de 2 pulgadas de Monel.
- Porta placas de 2 pulgadas de PVC con tomas en las bridas.
- Beta de la placa orificio = 0.5
- Transmisor de presión diferencial con salida análoga de 4-20 mA y protocolo de comunicación Hart para configuración vía hand held.
- Precisión de la salida lineal de +-0.075% del span calibrado.
- Damping configurable de 0 a 32 segundos.
- Span de 3.5 a 200 pulgadas de agua.
- Carcasa de aluminio cubierto con pintura epóxica.

- Encerramiento NEMA 4X (IEC IP66).
- Pantalla de LCD con indicación de presión en unidades de ingeniería.
- Materiales expuestos al proceso de monel.
- Sensor de tantalum.

3.3.2 **Dimensionamiento de la placa orificio**

Para el cálculo del orificio y las condiciones de operación de la placa orificio se hace uso de software que permite el ingreso de datos del proceso para obtener las condiciones de trabajo del flujometro.

Los datos del proceso requeridos por estos programas son los siguientes:

- Diámetro de la tubería = 2 pulgadas
- Beta deseado para la placa orificio = 0.5.
- Flujo máximo = 41.08 acfm[2]
- Flujo normal =28.75 acfm
- Presión barométrica = 14.7PSI
- Presión manométrica= 22.8 PSI
- Temperatura del fluido= 82 F
- Viscosidad del fluido = 0.018 cp
- Constante Cp/Cv del gas = 1.4
- Densidad del gas = 0.2797 Lb/ft3.

En la pagina 27 se muestran los resultados obtenidos del dimensionamiento de la placa orificio con los datos del proceso.

---

[2] acfm. actual cubic feet/minutes

Resultados Obtenidos:

September 11, 2005

ORIFICE SIZING RESULTS

VARIABLES

Fluid Name:	Cloro Gas
Tag Number:	CL2
Reference:	Gas Cloro Seco
Taps:	FLANGE
Material:	MONEL plate
Internal Pipe Diameter:	2
Beta:	0.5
Differential Pressure:	Not an input variable
Units:	ENGLISH
Temperature:	32 degrees F
Standard Temperature:	Not an input variable
Process Pressure:	22.8 psig
Barometric Pressure:	14.6960 psia
Standard Pressure:	14.696 psia
Fluid Type:	GAS
Maximum Flow Rate:	41.0800 acfm
Normal Flow Rate:	28.75 acfm
Standard Density:	Not an input variable
Flowing Density:	.2797 lb/ft3
Viscosity:	0.018 cp
Average Molecular Weight:	Not an input variable
Average Compressibility Factor:	Not an input variable
Specific Heat Ratio:	1.4 Cp/Cv

CALCULATED RESULTS

Average Compressibility Factor:	1.00
Gas Expansion Factor:	.9898
Reynold's Number at Maximum Flow:	120949.34
Reynold's Number at Normal Flow:	84645.0
Differential Pressure at Maximum Flow:	34.5403 in. WC
Differential Pressure at Normal Flow:	16.9166 in. WC
Discharge Coefficient C:	.6042
Thermal Correction Factor:	1.000210
Orifice Bore Diameter:	1.0 in
Unrecovered Head Loss:	.9095 psi

3.3.3 **Transmisor de presión diferencial**

Las especificaciones técnicas del transmisor de presión diferencial son las siguientes:

- Transmisor de presión diferencial con transmisión de 4-20mA proporcional a la raíz cuadrada de la presión diferencial.
- Con indicador local de LCD y botones de configuración.
- Rango de medición: 0 a 200 in agua.
- Precisión del 0.5% del span calibrado.
- Sensor de tantalum y bridas de kynar.
- Alimentación 24Vdc.
- Damping ajustable de 0 a 32 segundos.
- Zero y span ajustables.
- Capaz de soportar temperatura hasta 50 grados Celsius.
- Comunicación digital Hart para configuración mediante Hand held.
- Unidades de ingeniería configurables.
- Carcasa de aluminio protegido con pintura epóxica.
- Kit para montaje en tubería.
- Protección NEMA 4X
- Conexión eléctrica 3/4NPT.

3.4 Medición de presión manométrica

Para la medición de presión manométrica se requiere un medidor que soporte el contacto directo con cloro gaseoso, en un rango de 0 a 30PSIg, con capacidad de transmisión análoga básicamente.

La presión es una fuerza por unidad de superficie y puede expresarse en unidades tales como pascal, bar, atmósferas, kilogramos por centímetro cuadrado y psi (libras por pulgada cuadrada). En el Sistema Internacional (S.I.) está normalizada en pascal de acuerdo con las Conferencias Generales de Pesas y Medidas 13 y 14 que tuvieron lugar en París en octubre de los anos 1967 y 1971, y según la Recomendación Internacional número 17, ratificada en la III Conferencia General de la Organización Internacional de Metrología Legal. El pascal es 1 newton por metro cuadrado (1 N/m2), siendo el newton la fuerza que aplicada a un cuerpo de masa 1 kg, le comunica una aceleración de 1 m/s2. Como el pascal es una unidad muy pequeña, se emplean también el kilopascal (1 kPa = 10-2 bar), el megapascal (1 MPa = 10 bar) y el gigapascal (1 GPa = 10 000 bar). En la industria se utiliza también el bar (1 bar = 105 Pa = 1,02 kg/cm2) y el kg/cm2, si bien esta última unidad, a pesar de su uso todavía muy extendido, se emplea cada vez con menos frecuencia.

En la Tabla 3.2 se muestran factores de conversión de las principales unidades de presión.

Tabla 3.2: Unidades de presión

	Psi	Pulgada c. de agua	Pulgada c. de Hg	Atmósfera	Kg/cm^2	cm c. de a.	mm c. de Hg
Psi	1	27.68	2.036	0.0680	0.0703	70.31	51.72
Pulgada c.d.a.	0.0361	1	0.0735	0.0024	0.0025	2.540	1.868
Pulgada c.d.Hg.	0.1912	13.6	1	0.0334	0.0345	34.53	25.4
Atmósfera	14.7	406.79	29.92	1	1.033	1033	760
Kg/cm^2	14.22	393.7	28.96	0.9678	1	1000	735.6
cm c.d.a.	0.0142	3.3937	0.0289	0.00096	0.0010	1	0.7355
mm c. d.Hg.	0.0193	0.5353	0.0393	0.0013	0.0013	1.359	1

La presión puede medirse en valores absolutos o diferenciales. En la Figura 3.9 se indican las clases de presión que los instrumentos miden comúnmente en la industria.

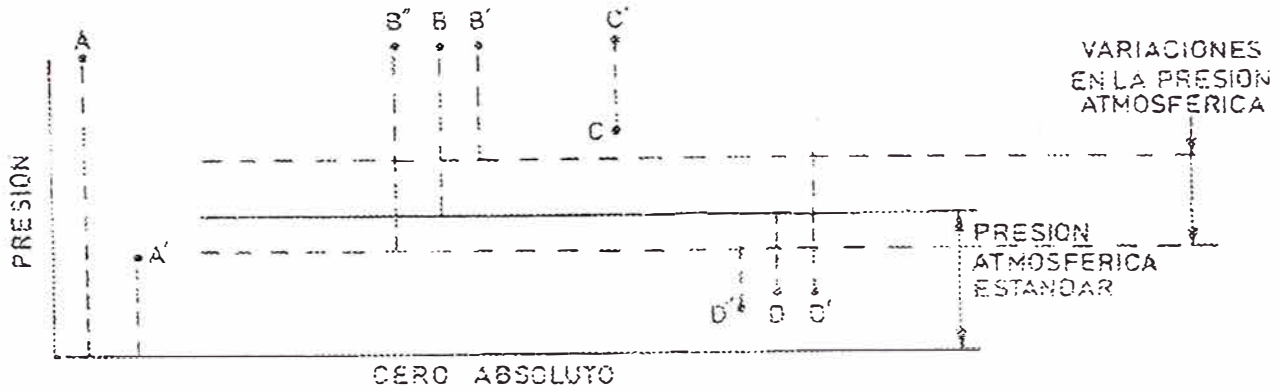


Figura 3.9: Clases de presión.

La presión absoluta se mide con relación al cero absoluto de presión (puntos A y A' de la Figura 3.9).

La presión atmosférica es la presión ejercida por la atmósfera terrestre medida mediante un barómetro. A nivel del mar, esta presión es próxima a 760 mm (29,9 pulgadas) de mercurio absolutos o 14,7 psia (libras por pulgada cuadrada absolutas) y estos valores definen la presión ejercida por la atmósfera estándar.

La presión relativa es la determinada por un elemento que mide la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica del lugar donde se efectúa la medición (punto B de la Figura 3.9). Hay que señalar que al aumentar o disminuir la presión atmosférica, disminuye o aumenta respectivamente la presión leída (puntos B' y B"), si bien ello es despreciable al medir presiones elevadas.

La presión diferencial es la diferencia entre dos presiones, puntos C y C'.

El vacío es la diferencia de presiones entre la presión atmosférica existente y la presión absoluta, es decir, es la presión medida por debajo de la atmosférica (puntos D, D' y D"). Viene expresado en mm columna de mercurio, mm columna de agua o pulgadas de columna de agua. Las variaciones de la presión atmosférica influyen considerablemente en las lecturas del vacío.

El campo de aplicación de los medidores de presión es amplio y abarca desde valores muy bajos (vacío) hasta presiones de miles de bar. En la Figura 3.10 pueden verse los tipos de instrumentos y su campo de aplicación.

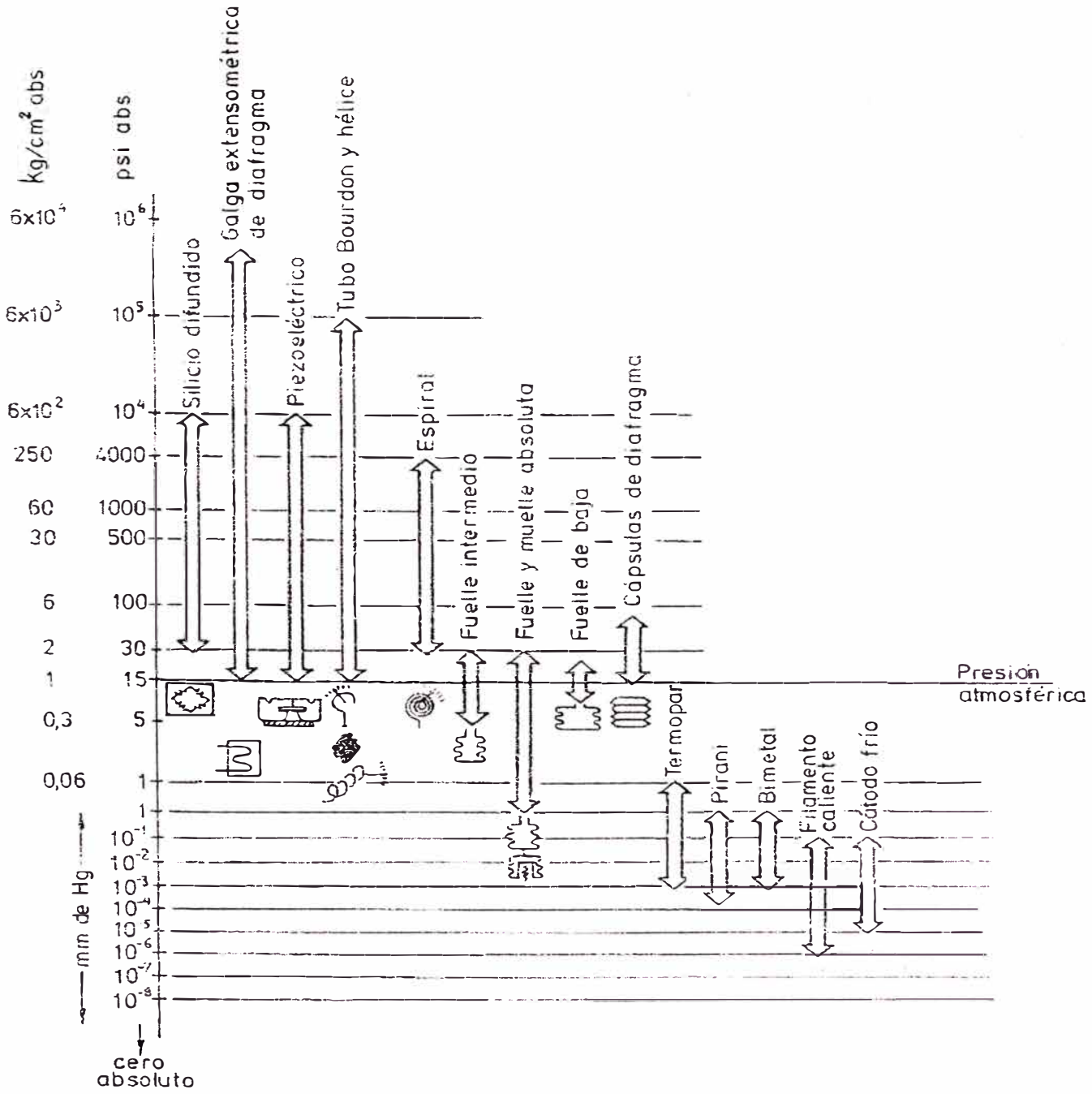


Figura 3.10: Instrumentos de presión y campos de aplicación.

Las especificaciones técnicas mínimas requeridas para nuestra aplicación son las siguientes:

- Transmisor de presión manométrica con transmisión de 4-20mA lineal.
- Con indicador local de LCD y botones de configuración.

- Rango de medición: 0 a 30 PSIg.
- Precisión del 0.5% del span calibrado.
- Sensor de tantalum.
- Alimentación 24Vdc.
- Damping ajustable de 0 a 32 segundos.
- Zero y span ajustables.
- Capaz de soportar temperatura hasta 50 grados Celsius.
- Comunicación digital Hart para configuración mediante Hand held.
- Unidades de ingeniería configurables.
- Carcasa de aluminio protegido con pintura epóxica.
- Kit para montaje en tubería.
- Protección NEMA 4X
- Conexión eléctrica 3/4NPT.

3.5 Válvula de control de flujo para cloro gas

Entre las principales válvulas para realizar control fino de gases se encuentran las válvulas tipo globo, tipo bola y tipo macho, estas últimas usadas con asiento caracterizado para mejorar el rango de control. La válvula tipo macho con interno de teflón y conexión bridada se muestra en la Figura 3.11, y en la Figura 3.12 y Figura 3.13 se muestra la válvula tipo globo y tipo bola respectivamente .

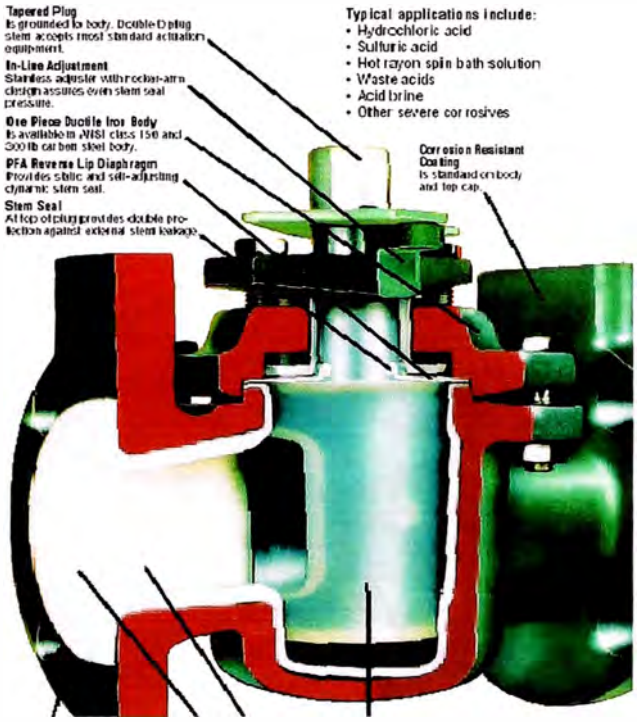


Figura 3.11: Válvula tipo macho con asiento de Teflón.

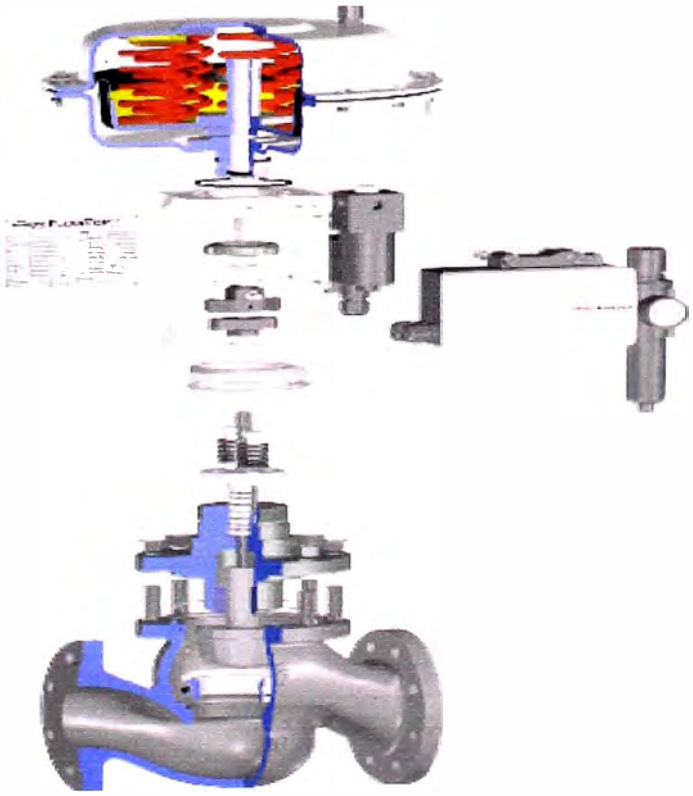


Figura 3.12: Válvula tipo globo.

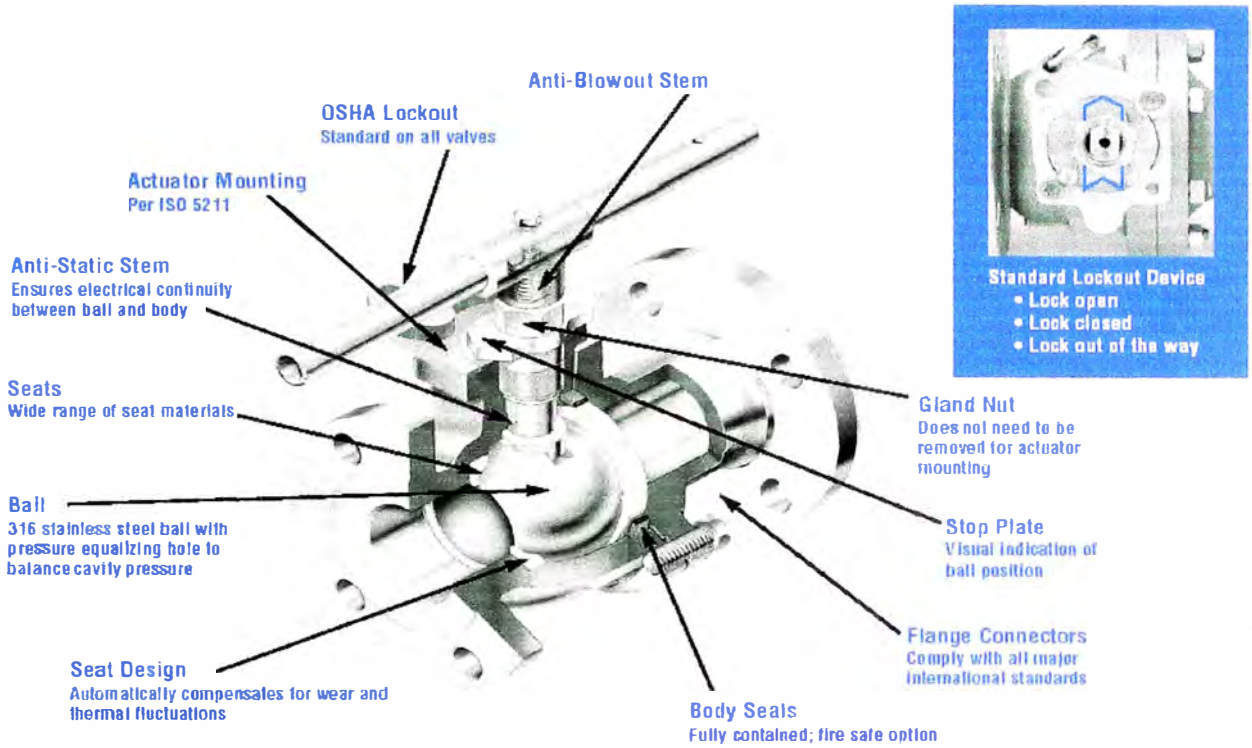


Figura 3.13: Válvula tipo bola.

Para el caso de control de un producto altamente corrosivo como es el cloro, se requiere de una válvula con materiales especiales capaces de soportar la corrosión y permitir un control de flujo fino.

Las especificaciones requeridas son las siguientes:

- Válvula de control de flujo tipo globo, tipo bola o tipo macho de 2 pulgadas, ANSI Class 150.
- Posición de falla cerrada.
- Fluido a controlar: cloro gaseoso seco.
- Presión de línea máxima 30 psig.
- Temperatura máxima: 50 grados Celsius.
- Flujo máximo 50 acfm
- Flujo nominal 30 acfm.
- Control de flujo entre el 30 y 70% de la carrera de la válvula.`
- Cuerpo de la válvula en acero al carbono.

- Liner de Teflón reforzado.
- Plug de acero ductil recubierta de teflón reforzado.
- Con actuador neumático de simple efecto, presión de aire 60 PSIg, válvula solenoide de 220Vac.
- Posicionador electroneumático inteligente, con auto configuración, e indicador de posición.
- Con capacidad de programación de curvas de respuesta.
- Máxima presión de aire 90PSIg.
- Filtro regulador y manómetros incorporados.

3.6 Switch de nivel alto y bajo

Entre los principales principios usados en la industria para la detección de nivel de punto fijo se tienen los switch de nivel tipo capacitivos y los switch de nivel tipo vibratorios.

Los switch de nivel tipo capacitivos miden la capacidad del condensador formado por el electrodo sumergido en el líquido y las paredes del tanque. La capacidad del conjunto depende linealmente del nivel del líquido.

En fluidos no conductores se emplea un electrodo conductivo y la capacidad total del sistema se compone de la del líquido, siendo el fluido el elemento dieléctrico.

En fluidos conductores, el electrodo esta aislado usualmente con teflón y el fluido interviene en la capacidad total del circuito, reduciendo la capacidad al contacto con este.

El principio es sencillo y apto para muchas clases de líquidos. Sin embargo, hay que señalar que en los fluidos conductores, los sólidos o líquidos conductores que se encuentran en suspensión o emulsión, y las burbujas de aire o de vapor existentes, aumentan y disminuyen respectivamente la constante dieléctrica del fluido dando lugar a un error máximo del 3%, por otro lado, al bajar el nivel la porción aislante del electrodo puede quedar recubierta de líquido y la capacidad adicional que ello representa da lugar a un error considerable.

En la Figura 3.14 se muestra un sensor tipo capacitivo para nivel de fluido conductivo.

Figura 3.14: Switch de nivel tipo capacitivo.

En el caso de los switch de vibración utilizan el principio de medición de la frecuencia de vibración de las orquillas en contacto con el fluido, siendo esta alterada por la presencia o ausencia de fluido. En la Figura 3.15 se muestra un sensor de nivel tipo horquilla vibratoria.

Se utilizan principalmente con líquidos, teniendo como limitación los fluidos de alta viscosidad.

Figura 3.15 Switch de nivel tipo Vibratorio.

En nuestro caso, para detectar nivel de líquido de solución de hipoclorito de calcio se requiere uno del tipo vibratorio, ya que en la solución estará presente vapor de gas y burbujas generadas por los agitadores en los tanques, que generarían perdida de precisión en un medidor del tipo capacitivo.

Las especificaciones técnicas son las siguientes:

- Switch de nivel tipo vibratorio.
- Fluido a medir: hipoclorito de calcio.
- Alimentación eléctrica 24Vdc.
- Montaje horizontal en tanque de fibra de vidrio.
- Conexión roscada de ½ NPT.
- Material de la horquilla en Hastelloy.
- Viscosidad del fluido máxima 5 cp.
- Con dos salidas de contacto, 5Amp.
- Cubierta del equipo en plástico con protección UV.
- Damping configurable de 0 a 10 segundos.

CAPITULO 4

SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

La selección del sistema de control supone el conocimiento de las diferentes redes de comunicación industriales a nivel de campo, para esto definiremos algunas de ellas.

Un proyecto de automatización exitoso depende de la calidad y rendimiento de la comunicación. Sistemas existentes provienen de diferentes fabricantes y funcionan en diferentes niveles de automatización; además, a menudo se encuentran distanciados entre sí; pero sin embargo, se desea que trabajen en forma coordinada para un resultado satisfactorio del proceso. El objetivo principal es la comunicación totalmente integrada en el sistema. Al usuario, esto le reporta la máxima flexibilidad ya que también puede integrar sin problemas productos de otros fabricantes a través de las interfaces (softwares) estandarizadas.

La Integración total en automatización supone un método revolucionario que con un sistema completo, integrado, coherente y homogéneo permite resolver todas las tareas de automatización desde el nivel de control central hasta el nivel de campo. Este sistema debe ofrecer, naturalmente, apertura a redes ofimáticas, tales como TCP/IP, así como la integración del nivel de actuadores y sensores.

En los últimos años, las aplicaciones industriales basadas en comunicación digital se han incrementado haciendo posible la conexión de sensores, actuadores y equipos de control en

una planta de procesamiento. De esta manera, la comunicación bi-direccional entre la sala de control y los instrumentos de campo se han convertido en realidad. La comunicación digital debe integrar la información provista por los elementos de campo en el sistema de control de procesos.

Algunas de las características más importantes de la comunicación digital son:

- Es posible gracias al rápido crecimiento de la tecnología de computadoras. Una PC puede ser utilizada como una poderosa estación de operador.
- El software no está necesariamente ligado a un equipo hardware en particular; gracias al desarrollo de las aplicaciones SCADA[3] y tecnología OPC[4].
- Hace posible la integración de diversos equipos de diversos fabricantes.
- Puede cubrir todas las áreas:
- Instrumentación de campo.
- Control de procesos.
- Manejo de producción.
- Nivel administrativo y logístico (oficina).
- Permite la comunicación entre diversos equipos de diversos fabricantes: "arquitectura abierta".

Esta integración de equipos en una planta se realiza generalmente mediante un "bus de campo" o red industrial. En la actualidad, las redes industriales son instaladas en grandes plantas químicas, refinerías, generación de energía, tratamiento de aguas, minería, etc. Debido a la disminución de costos de estas nuevas tecnologías, las plantas más pequeñas también se están viendo beneficiadas con el potencial que ofrecen las redes industriales.

---

[3] SCADA. Siglas que definen a un Sistema supervisado de control y adquisición de datos.

[4] OPC. Ole for process control.

4.1 El PLC como alternativa de automatismo

En más de una oportunidad hemos escuchado hablar de PLCs o lo que es lo mismo, el controlador lógico programable.

El PLC es un dispositivo electrónico digital con memoria programable para almacenar instrucciones que implementan funciones como: lógica secuencial, de tiempo y de cuenta, cálculos aritméticos, etc. Usado para el control de máquinas y procesos.

La unidad de control del PLC lee una tras otra las instrucciones almacenadas, interpreta su contenido y se encarga de su ejecución. Al hacerlo el controlador consulta los estados de los SENSORES y produce resultados a los ACTUADORES, tales como conexión o desconexión de bobinas, lámparas, etc.

Los PLCs fueron concebidos inicialmente como una alternativa más eficiente a la lógica de control en sistemas discretos; es decir, aquellos en los que las variables son variables discretas binarias (on/off); inclusive, de allí el origen del nombre "controlador lógico". Sin embargo, actualmente su campo de acción abarca el procesamiento, totalización o regulación de variables continuas y analógicas. Para esto, el PLC utiliza algoritmos de control como el PID (proporcional-integral-derivativo) o el control de lógica difusa ("fuzzy logic").

4.1.1 Ventajas del uso de PLCs

Son muchas las ventajas existentes dadas por el uso de los PLCs para la automatización de procesos industriales. En la actualidad, su uso es tan difundido que no se requiere analizar demasiado para decidir cuándo usarlo. Sin embargo, a continuación enumeraremos las principales ventajas, con el propósito que el lector reconozca mejor el panorama.

4.1.1.1 Reducción de costos de cableado

El uso de PLC como alternativa a la lógica de control convencional cableada, nos hace prescindir del uso de elementos electromecánicos y electrónicos, tales como: relés auxiliares, temporizadores y contadores, algunos controladores, etc, ya que

estos dispositivos simplemente deben ser programados en el PLC sin realizar inversión adicional.

4.1.1.2 **Ahorro de espacio**

Los diversos elementos del hardware que intervienen en la lógica cableada como relés auxiliares, temporizadores, contadores y otros son sustituidos por estructuras software dentro del PLC.

4.1.1.3 **Flexibilidad**

Un cambio en la lógica de control actual supone solamente un cambio en el programa y realizar mínimos cambios de cableado.

4.1.1.4 **Confiabilidad**

La probabilidad para que un PLC pueda fallar por razones constructivas es insignificante, exceptuando errores humanos que pueden surgir en algunas partes vulnerables (tarjetas de salida). Además, por su propia construcción, es decir, el uso de componentes integrados de estado sólido (carece de partes mecánicas y móviles), hacen que el equipo tenga una elevada confiabilidad.

4.1.1.5 **Facilidad en la prueba y puesta en marcha**

La lógica de control se prueba por secciones o en su totalidad con la ayuda del programador y ahí mismo se hacen las modificaciones necesarias. Los lenguajes de programación usados son familiares y siguen las normas industriales.

4.1.1.6 **Rápida detección de fallas y averías**

Existen utilerías software que facilitan la detección de fallas, tanto del programa de control, como del controlador.

4.1.1.7 **Menor consumo de energía**

Cualquier equipo electromecánico y electrónico requiere un consumo de energía para su funcionamiento, siendo dicho consumo representativo cuando se tiene una gran cantidad de ellos; sin embargo, el consumo de PLC es muy inferior, lo que se traduce en un ahorro sustancial.

4.2 Paneles de operador (OP)

Saber qué sucede, en dónde y poder reaccionar correctamente. En la producción automatizada, esta cuestión ha dado origen a una tecnología propia cuya importancia crece sin cesar: manejo y visualización significa dominar el proceso, significa mantener plenamente operativas las máquinas e instalaciones, significa disponibilidad, significa productividad.

Simplificar cada vez más lo cada vez más complejo es una cuestión de dos caras. Por un lado, los procesos se hacen cada vez más complejos y crecen las exigencias impuestas a la funcionabilidad de las máquinas e instalaciones. Naturalmente, el operador conoce su máquina como nadie, pero él también es "humano".

Como debe tener muchas cosas a la vista, en su cabeza y en sus manos, la interfaz hombre-máquina (HMI) deberá ofrecerle el máximo de transparencia. Simplificar cada vez lo más complejo, éste es el desafío que encaramos cada vez que iniciamos una innovación en este sector.

Un panel operador son dispositivos electrónicos diseñados para el manejo y la vigilancia de máquinas.

Los paneles de operador son apropiados para su montaje en armarios y pupitres de distribución al lado de la máquina. Gracias al elevado grado de protección (frontalmente IP65), los equipos resultan también apropiados para su aplicación en rudos ambientes industriales.

4.3 PCs industriales

En los tiempos actuales, la recolección y evaluación de datos de producción de una planta en tiempo real es muy importante para la optimización de la producción. El sistema nace de la necesidad de adaptarse a los cambios modernos, tal como evaluar la data de interés en tiempo real y tomar medidas correctivas en el menor tiempo posible; estos datos manejados adecuadamente llevan a elaborar planes de producción eficiente y mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos involucrados.

Las computadoras personales son herramientas muy versátiles para aplicaciones de control y automatización, tanto el hardware como el software de soporte son variados, por lo que es

posible una cantidad muy grande de aplicaciones diferentes. Se han convertido en una herramienta importante de adquisición de datos, supervisión y control de procesos en las que el uso de hardware especializado contribuye a solucionar problemas en la industria y actividades económicas conexas.

Las microcomputadoras personales han incursionado con bastante éxito en el área productiva, tanto en los laboratorios como en la planta misma. La razón fundamental del éxito de las PC's es su versatilidad, capacidad para ser programadas de acuerdo a necesidades particulares y su capacidad de presentación gráfica.

Las aplicaciones utilizando PC's tienen múltiples matices en cuanto a temas, arquitectura y forma de implementarse. En cuanto a dichos matices tenemos: (1) supervisión de procesos, en el que se utilizan, fundamentalmente, los recursos del procesador para mostrar dinámicamente el funcionamiento de un proceso, (2) El control en el que el procesador, a través de interfaces de control específicas permite manipular directamente el proceso y (3) el sistema SCADA, en el que se realizan las dos funciones anteriores para sistemas relativamente complejos en los que, generalmente, están involucradas las comunicaciones. Cada una de estas tres categorías puede aplicarse en cualquier actividad, sea manufacturera o no, tanto en el laboratorio como en la planta o el taller.

Su construcción compacta y robusta, además de su elevado grado de protección IP65, los convierten en auxiliares ejemplares para la visualización y el tratamiento de las operaciones de producción. Esto permite utilizarlos en entornos industriales rudos con alto nivel de suciedad, polvo y vibraciones, pudiendo instalarse directamente en la máquina si hay poco espacio libre.

- Potentes, robustos y compactos.
- Utilizables en rudas condiciones de ambiente.
- Funcionabilidad y prestaciones escalables.

4.4 Controlador de campo

Los controladores de campo son instrumentos digitales diseñados para resolver tareas medianas y complejas de un sistema de automatización. Son usados en procesos industriales como:

- Industria del alimento y bebidas.
- Industria química.
- Industria petroquímica.
- Industria del acero.
- Industria del vidrio.
- Entre otras.

La gran flexibilidad que tienen significa que los controladores pueden ser usados para procesos de control simple y complejo, las variables podemos dividirlas en tres grupos:

- Variables controladas: Todo parámetro que indica la calidad de un producto o las condiciones de operación de un proceso son llamadas variables controladas, como la presión, nivel, temperatura, pH, gravedad específica o densidad, composición, contenido de humedad, peso y velocidad y otras variables, dependiendo del proceso.

- Variables manipuladas: Incluyen la posición de una válvula, la posición de un dámper o la velocidad de un motor; un lazo de control es usualmente manipulado para controlar una variable en esquemas de control más complicados. Por ejemplo, la variable flujo es manipulada para controlar temperatura o nivel.

- Cargas: Denominadas así a todas las otras variables que afectan a la variable controlada, diferente de las variables manipuladas. Ambas, las variables de carga y las manipuladas, pueden influenciar a la controlada desde el lado del suministro o demanda del proceso.

La relación entre las diferentes variables: controladas, manipuladas y de carga hacen necesario el control del proceso. Generalmente, el problema del control es determinar cuál

es el valor de la variable manipulada que establece un balance entre todas las influencias sobre la variable controlada y mantiene a esta última estable en un determinado valor. Otros factores como la velocidad de respuesta, forma de la respuesta y la interfase con el operador son también importantes en el diseño de un sistema de control.

4.5 Conceptos básicos sobre comunicaciones digitales

Actualmente se vienen usando cada vez más equipos con capacidad de comunicación y estos a la vez se comunican con algún otro dispositivo, es por ello, la importancia de conocer el principio de funcionamiento de las redes para estar en condiciones de identificar las posibles averías.

Para poder comprender cómo funcionan estas redes, es necesario tener una precisión conceptual sobre aspectos relacionados a éstas, de allí que la presente unidad trata de definir conceptos usados y necesarios para comprender cómo funcionan las redes, no solamente para la comunicación industrial, sino también las ofimáticas.

Una red es la conexión de dos o más elementos a través de algún medio de transmisión. Cuando hablamos de un conjunto de elementos nos referimos a computadoras, PLCs u otros dispositivos conectados para compartir recursos. La forma cómo estos dispositivos son conectados es lo que denominamos "topología de redes".

4.5.1 Topología de redes

La topología de redes describe la forma en que varios equipos son conectados a la red. Las topologías básicas son: estrella, anillo y bus. A continuación se describirá cada una de ellas:

4.5.1.1 Topología tipo estrella

En este tipo de conexión todos los nodos están conectados a un nodo central y a través del cual pasan todos los datos. El nodo central es común para todos y que normalmente posee mayor capacidad de proceso.

En algunos casos, tiene únicamente la función de conmutación y diagnóstico.

Las características principales son:

- Tipo de control: control centralizado, acceso regulado por control central.

- Redundancia: si falla la inteligencia central, la red falla.
- Expandibilidad limitado al número de conexiones del controlador central.
- Requerimiento de cableado: cable apantallado.
- Requerimiento de interfase: es suficiente con RS-232C.

4.5.1.2 **Topología tipo anillo**

Este tipo de red está constituida por un conjunto de estaciones conectadas en serie y formando un anillo cerrado. Cada estación está conectada a la red a través de una interfase que tiene la función de retransmitir datos que no están destinados a ese nodo, leer los datos destinados a ese nodo e insertar los datos enviados por él.

Las características principales son:

- Tipo de control: control descentralizado, acceso pasa de equipo a equipo.
- Redundancia: si falla la línea, la red falla.
- Expandibilidad limitada, pero el tiempo de rotación define un límite práctico pues este gobierna al tiempo de respuesta.
- Requerimiento de cableado: cable coaxial.
- Requerimiento de Interfase: La interfase debe proveer inmunidad a interferencias en la transmisión.

4.5.1.3 **Topología tipo Bus**

En esta distribución todas las estaciones se conectan a un medio de transmisión común a través de interfases pasivas. Su alta fiabilidad radica en que las interfases de enlace son pasivas, no afectando el funcionamiento global de la red en caso de falla. Cuando se desea insertar más estaciones es necesario tener presente las características físicas del medio de transmisión.

Las características principales son:

- Tipo de control: control centralizado y descentralizado, acceso pasa de equipo a equipo.
- Redundancia: si falla algún equipo (nodo) esto no afecta el funcionamiento de la red.

- Expandibilidad limitada, pero el tiempo para acceder secuencialmente a todos los nodos es un límite práctico.
- Requerimiento de cableado: cable apantallado de par trenzado.
- Requerimiento de interfase: La interfase debe proveer inmunidad a interferencias en la transmisión.

4.6 Interfaces

Las interfaces de comunicación serial son elementos que permiten la transmisión de información de un equipo de datos (DTE) hacia un MÓDEM o hacia el medio de transmisión por el cual va a comunicarse con otro equipo de datos (DTE).

La transmisión de datos vía este medio, están sujetos a estándares internacionales para asegurar la compatibilidad entre equipos de diferentes fabricantes.

Una consideración primaria a nivel de campo es que las líneas de transmisión de datos son económicas y sencillas. El tipo de interfase estándar en el nivel de campo industrial es serial. Los bajos costos de instalación (cables y conectores), grandes longitudes de los cables y la seguridad de la información compensan las bajas velocidades transmisión que la caracterizan.

Las siguientes interfases seriales son las de mayor aplicación industrial:

4.6.1 Interfaces RS-232C

Es una interfase muy común en la actualidad, sobre todo, en aplicaciones informáticas. La interfase RS-232C es una interfase de tensión ± 12V definida para las transmisiones seriales.

Esta interfase es usada cuando se desea conectar a dos equipos mediante cable multipar, usualmente una computadora a un servicio periférico o módem.

Características:

- La distancia entre estaciones a transmitir deberá ser menor a 15m.
- La velocidad de transmisión puede ser menor o igual a 19 200 bps.
- Usando MÓDEM permite la comunicación mediante línea telefónica.
- El conector utilizado consta de 9 a 25 pines.

- Sólo permite tener un transmisor y un receptor.
- El modo de comunicación permitida es "dúplex".
- Existe dos hilos para la comunicación de datos (pin 2) para la transmisión y (pin 3) para la recepción. El retorno, tanto para las señales de datos como para el control, se da a través del hilo conectado al pin 7.

4.6.2 **Interfase RS-422**

La interfase RS-422 cubre solamente los requerimientos físicos y eléctricos para la transmisión. Emplea señales diferenciales que permiten elevadas velocidades de transmisión de hasta 10 Mbit/s.

Características:

- La velocidad de transmisión puede ser menor o igual a 10 Mbps.
- En el terminal de recepción la diferencia entre los niveles de voltaje es utilizada para descodificación de señales, lo que permite que la transmisión de información sea inmune a las señales de ruido o campos externos a las líneas de transmisión.
- De esta manera es posible emplear línea de mayor longitud que para la interfase RS-232C, es decir hasta 1 220 metros.
- Es posible que un transmisor pueda operar sobre un máximo de 16 receptores.
- El modo de comunicación permitida es dúplex.

4.6.3 **Interfase RS-485**

Esta interfase a diferencia de la RS232C se define como interfaces del tipo balanceada y con transmisión diferencial. Una interfase balanceada consiste en que la transmisión de cada señal se realiza a través de un circuito exclusivo de dos hilos. Una transmisión diferencial consiste en que la información está representada por la diferencia de potencial existente entre los dos hilos del circuito comprendido desde la salida del transmisor hasta la entrada al receptor.

Características:

- Con cable de par trenzado se puede transmitir a velocidades de hasta 100 Kbps a una distancia de 1 000 m.
- Son interfaces de tensión con corriente elevada:
  - Tensión de señal <6V
  - Estado lógico 1 = diferencia de potencial <200 mV
  - Estado lógico 0 = diferencia de potencial >200 mV
- Alta calidad en la transmisión.
- Permiten enlaces multipunto.
- Hasta un máximo de 32 servicios actuando como transmisores o receptores pueden ser conectados a un cable de dos hilos (en operación tipo bus).
- La longitud máxima de la línea de transmisión varía desde 1,2 Km. (a 93,75 Kbit/s) hasta 200 m (a 500 Kbit/s).
- Utiliza el modo de comunicación half-dúplex.
- Esta interfase goza de gran popularidad en aplicaciones industriales. Principalmente emplea cables de par trenzado y apantallados de bajo costo.

4.6.4 TTY[5] (Lazo de corriente de 20 mA)

El lazo de 20 mA es usado como alternativo a la interfase RS-232C. Su principal ventaja radica en su insensibilidad a la interferencia de modo que se puede cubrir grandes distancias. TTY también es utilizado cuando existen grandes fuentes de campo electromagnético cerca de las líneas de transmisión.

Esta interfase tiene sus orígenes en aplicaciones de telegrafía, donde son importantes las comunicaciones a grandes distancias. Trabaja con una corriente de 20 mA que es activada y desactivada ("1" y "0") en el tiempo durante la transmisión. Así, cada terminal tiene dos lazos; uno para transmisión y otro para recepción.

[5] TTY. Transfer type writer

Características:

- El tipo de transmisión es por corriente, permitiendo solamente la conexión de un transmisor y un receptor.
- Permite líneas de conexión de hasta 100 m con velocidades de transmisión de 19 200 bps.
- El modo de comunicación utilizado es dúplex.

4.7 Protocolos

El protocolo es el lenguaje con que se comunican los dispositivos en la red. Es la forma en la que los dispositivos de una red intercambian información.

Entonces podríamos definirlo como un conjunto de convenciones relacionados al formato de datos, métodos de transmisión, topología de red, accesos de bus y procedimientos de control en general necesarios para la comunicación entre dos o más equipos o servicios.

4.7.1 Modelo OSI

En los años 70s, La Organización Internacional de Estandarización (ISO) inició un trabajo sobre un modelo para un Sistema Abierto de Interconexión (OSI).

El modelo fue diseñado originalmente para la comunicación entre computadoras, pero hoy en día su uso es más común en los sistemas de comunicación de datos.

Su intención es de proveer un protocolo único para la interconexión de computadoras de diferentes marcas y proveedores.

El objetivo original no fue cumplido, sin embargo el modelo OSI fue utilizado por los vendedores para diseñar sus propios sistemas de comunicaciones de datos. En la actualidad, gracias a este modelo, los principales fabricantes de tecnología a nivel mundial han desarrollado protocolos de gran aceptación entre la mayoría de usuarios.

El modelo OSI describe las funciones de comunicación entre aplicaciones por medio de siete capas de funciones estructuradas jerárquicamente. Forma el marco para la clasificación de estándares y las bases para la creación de nuevos estándares de

comunicación. La Tabla 4.1 muestra los niveles del modelo OSI del proceso de comunicación.

Tabla 4.1: Niveles modelo OSI

El principio está basado en separar el proceso de comunicación en siete tareas definidas por niveles:

NIVEL	FUNCIÓN	TAREA
7	Aplicación	• El contenido actual, la idea o instrucción en forma de mensaje es enviado al recipiente.
6	Presentación	• Conversión del formato, compresión de datos, encripción y autentificación.
5	Sesión	• Sesión de control, mensajes simples y mensajes de sincronismo.
4	Transporte	• Control de flujo de datos punto a punto, secuencias de los paquetes, aceptación de los datos, múltiples canales lógicos.
3	Red	• Ruta de los datos, manejo de las fallas de comunicación.
2	Enlace	• Secuencia de paquetes, reconocimientos de destino y fuente de paquetes y sincronismo de paquetes.
1	Físico	• Codificación y decodificación o nivel de bit/byte, CRC, acceso al canal, canales de interfaz (Radio, RS 232, RS 485 LAN etc.).

Los protocolos en forma de niveles separan la comunicación de datos, de la aplicación. No hay que preocuparse por la comunicación de los datos; el sistema se hace cargo de esa función. Su interés será sólo en la aplicación. El nivel de aplicación es solamente uno. Todos los otros niveles operan independientemente a la aplicación.

Los protocolos en forma de niveles permiten también futuras migraciones y mejoras de los productos sin perder la inversión en su hardware inicial. Las mejoras pueden ser implementadas dentro de un nivel.

La mayoría de los protocolos implementan sólo tres niveles: físico, enlace, y aplicación. Estos protocolos no incluyen una de las más importantes funciones de

los datos de comunicación, RED (Networking). Sin un protocolo de comunicación de siete niveles, no es posible enviar mensajes entre varios medios de comunicación de una forma fácil o económica.

Los protocolos de siete niveles soportan entornos de tareas múltiples, debido a los niveles de transporte y sesión. En la Tabla 4.2 se muestra el resumen de las tareas realizadas en cada uno de los niveles OSI. Sin estos niveles de transporte y sesión las computadoras de tareas múltiples, sólo pueden hacer tareas individuales.

Tabla 4.2: Resumen de tareas realizadas en cada uno de los niveles OSI

NIVEL	FUNCIÓN	TAREA
7	Aplicación	• Ofrece al usuario aplicaciones de funciones específicas.
6	Presentación	• Convierte la codificación de dato local en un código comprendido por el otro Terminal.
5	Sesión	• Sincronizar las sesiones de comunicación entre dos aplicaciones.
4	Transporte	• Asegura la correcta transferencia de la información.
3	Red	• Controla el intercambio de datos entre sistemas terminales.
2	Enlace	• Asegura que el dato pueda ser intercambiado entre dos sistemas.
1	Físico	• Responsable de la transmisión de datos en el medio físico.

4.8 Buses de campo

En la actualidad existen muchas opciones de bus de campo. Algunos fabricantes han desarrollado sistemas basados en la tecnología disponible (como la interfaz RS-232 ó el protocolo MODBUS) con las limitaciones existentes. Otras compañías, sin embargo, han desarrollado nuevos y más poderosos estándares que ofrecen el manejo de mayores cantidades de información a mayor velocidad que MODBUS. Un ejemplo de ellos, es PROFIBUS.

Podemos listar aquellas que son de gran popularidad. Algunas de ellas son bus de campo completamente definidos, otras son solamente tecnologías básicas. Algunos son sistemas propietarios y otros son de arquitectura abierta.

Los siguientes buses de campo son considerados obsoletos; con un buen pasado, pero sin mucho futuro:

- Modbus.
- HART.
- Data Highway.
- Data Highway Plus.

Algunos sistemas con mejor rendimiento:

- Profibus DP.
- Modbus Plus.
- FIPIO.
- SINEC.
- Omron Sysmac.
- Profibus FMS.
- Allen-Bradley Remote I/O.
- DeviceNet.
- AS-I.
- FIP.
- Smart Distribuited System.

En la Tabla 4.3 se muestran características de los principales buses de campo.

Tabla 4.3: Características de los principales buses de campo

CARACTERISTICA	MODBUS	PROFIBUS	FIP-BUS
Fundadores.	• Gould-Modicon. • Could, AEG.	• Profibus User Group. • SIEMENS.	• FIP-Club. • Telemecanique • Peugeot.
Referencia o estándar.	• Gould reference manual.	• DIN 19245, parte 1, 2 y 3.	• UTE 46 (Francia)
Grupo de usuarios.	• No definido.	• IEC estándar.	• IEC estándar.
Definición.	• Protocolo.	• Interfase, protocolo y aplicación.	• Interfase, protocolo y aplicación.
Cable.	• No definido.	• Apantallado, par trenzado fibra óptica.	• Par trenzado, coaxial, fibra óptica.
Topología.	• Bus.	• Bus.	• Bus.
Longitud.	• 15 m - RS232. • 1200 m - RS • 422. • 1000 m -TTY.	• 0,2 a 9,6 Km con cable par trenzado. • Hasta 100 Km con fibra óptica.	• Máximo 2Km.
Interfase.	• RS 232. • RS 422. • TTY.	• RS 485.	• Propio de FIP.
Velocidad (Kbps).	• 0,6 a 19,2 Kb.	• 9.6Kb hasta 12 Mbps dependiendo de la distancia.	• 35 hasta 1000 dependiendo de la distancia.
Número de servicios.	• 1 máster máximo 247 esclavos	• Máximo 2 máster y 125 esclavos.	• Máximo 256.
Codificación.	• Configurable, ASCII o RTU	• No retomo a cero	• Propio de FIP.
Rango de dirección.	• 247.	• Máximo 2 máster y 125 esclavos.	• 256
Método de transmisión.	• No especificado.	• Half dúplex.	• Propio de FIP.
Acceso de bus.	• Maestro-esclavo	• Centralizado/descentralizado. • Maestro-esclavo. • Token ring.	• Centralizado.
Servicios, nivel de aplicación.	• Control discreto. • Manejo de registro.	• Control discreto y de proceso. • Acceso de variable. • Acceso a programa. • Eventos y alarmas. • Manejo de datos.	• Control discreto. • Acceso a programa. • Sincronización de comandos y muestreo. • Manejo de objetos.

Servicios, redes.	• Programación. • Diagnóstico y reportes. • Polling.	• Programación. • Diagnósticos y reportes. • Funciones Send/Receive.	• Programación • Polling. • Diagnósticos.

4.9 Sistema de control distribuido con "Fieldbus"

Sabemos que un bus de campo debe cumplir con ciertas características especiales, tales como flexibilidad, resistencia a la interferencia electromagnética, facilidad de instalación, mantenimiento y programación. Sus principales ventajas sobre la técnica convencional del cableado hacia un control central son:

- Facilidad y menor cantidad de cableado.
- Rutas cortas para señales críticas como las analógicas.
- Facilidad para instalación.
- Facilidad para implementar modificaciones.
- Facilidad de expansión.
- Facilidad de mantenimiento.
- Reducción de interfaces y terminales.
- Menor costo por suministros de montaje (canaletas, tuberías conduit, etc.).
- Alta velocidad de procesamiento de señales.
- Alta confiabilidad de operación.

Los actuales esfuerzos de automatización son enfocados hacia la solución de problemas complejos y esto generalmente implica mayor uso de programas de usuario, tiempos de reacción menores y el procesamiento de un número cada vez mayor de entradas y salidas.

Estudios de comparación de costos han demostrado que la instalación de un sistema de bus de campo puede representar ahorros de hasta 35% respecto de un sistema centralizado.

Cuando se considera la aplicación de una solución con sistemas distribuidos se debe diferenciar las siguientes posibilidades:

4.9.1 **Control centralizado**

Se denomina así a la conexión directa en módulos I/O, de las señales de entradas y salidas cerca del proceso o máquinas a controlar. Las estaciones I/O son conectadas vía el bus de campo al sistema de control central.

Al proyectar una instalación automatizada, los módulos o tarjetas de entrada/salida suelen colocarse en los autómatas centrales. Ello exige que cada instrumento de campo, como por ejemplo sensores, transmisores de medida y actuadores, se conecte mediante un cable de 2 ó 4 hilos a la entrada o salida prevista para él en dichos módulos o tarjetas.

Esta forma de cableado puede llegar a ser muy voluminosa y poca clara. Además, generalmente se requerirá montar estructuras de soporte mecánico como canaletas, tubos conduit, etc. Por otro lado, las interferencias electromagnéticas afectan seriamente a la fiabilidad de la instalación y las grandes distancias por salvar hacen inviables económicamente estas soluciones convencionales de cableado. Además, el sistema de automatización resulta muy caro de mantener y rígido ante cualquier ampliación o modificación.

Por ello, para instalaciones geográficamente dispersas y con una estructura flexible, la solución ideal es el sistema de periferia descentralizada.

4.9.2 **Control distribuido**

Se denomina control distribuido a la asignación de tareas a varios controladores (ej. PLC) más pequeños instalados en ubicaciones estratégicas en la planta. En vez de instalar un controlador central de gran capacidad, los pequeños controladores son interconectados vía un sistema de bus de campo.

Esta solución presenta las siguientes ventajas:

- Programación más sencilla con programas más pequeños.
- Un arreglo más confiable de la estructura del sistema.
- Facilidad para ampliar o modificar el sistema.
- Mayor disponibilidad de información en el sistema debido a la presencia de controladores autónomos.

- Tiempos de reacción muy cortos, independientes de los tiempos de operación de bus.
- Ventajas del Control Distribuido:
- Reducción de costos por cableado eléctrico.
- Reducción de costos por disminución de accesorios de montaje.
- Reducción de costos de mantenimiento.
- Calibración y diagnósticos remotos.
- Interoperabilidad.
- Interfaz directa con sistemas abiertos.
- Alta velocidad en procesamiento de información.
- Comportamiento similar al de sistemas centralizados.
- Mejoras en la calidad del producto final.
- Capacidad de comunicación en todos los niveles de la planta.

4.10 Niveles de integración

Existen cuatro principales niveles de integración, los cuales definimos a continuación.

4.10.1 Nivel actuador sensor o de mando y regulación

Integra los equipos situados a pie del proceso. Los aparatos de este nivel consultan a los finales de carrera y emisores de señal del proceso y controlan, siguiendo el programa establecido, los actuadores y señalizadores. A este nivel es donde se produce el control de la secuencia de conexión de los contactores y válvulas, los enclavamientos y las vigilancias para la protección del personal y de las máquinas, así como el registro de los avisos operativos y de perturbación.

Características:

- La tendencia actual sugiere el uso de sensores con capacidad de comunicación para reemplazar las señales de 0/4 a 20 mA.
- Uso de interfaces RS-485, RS-422, RS-232 y TTY.
- Estos sensores y equipos periféricos se conectan a un "bus de campo" para llevar información al controlador (ej. PLC).

- Se caracteriza por procesar la información en forma muy segura, tiempos muy cortos, alto tráfico en el bus y mensajes cortos.
- La transparencia en el bus para comunicar equipos de diversos fabricantes se asegura adoptando normas estándar de comunicación.
- Esta nueva serie de "sensores inteligentes" tenía inicialmente un costo elevado comparado con equipos analógicos. Hoy en día, la diferencia de precios no es muy significativa.

4.10.2 **Nivel de campo o control de grupos de automatización**

Contiene PLC que gestionan las áreas del proceso interrelacionadas tecnológicamente (por ejemplo: las líneas de montaje, líneas de transporte, máquinas complejas y otros). Los datos procedentes de los PLC y equipos de los niveles de automatización superiores se distribuyen, acondicionan y transmiten oportunamente, en función de eventos, a los autómatas del nivel de mando y regulación. Los PLC del nivel de control de grupos recolectan datos y los comprimen para entregarlos a los autómatas y equipos de nivel superior. Así es posible recolectar, por ejemplo, datos para un listado de operación, a fin de registrar dicha información al final de un turno o para entregarlos a los niveles superiores de automatización para su evaluación estadística.

Características:

- Existe uno o mas controladores principales llamados "máster".
- El máster regula el intercambio de información del bus de campo y contiene el programa de control de la planta.
- El máster puede ser un PLC o un computador industrial.
- El máster debe tener una alta velocidad de procesamiento de información y memoria.

- Debe contar con interfaces o módulos de comunicación que permita la comunicación con otros equipos o redes industriales de otros fabricantes.
- Se recomienda tener capacidad "redundante" para los procesos críticos.

4.10.3 **Nivel de célula o control de la producción y proceso**

Se gobierna la totalidad del proceso. En él se recolectan los datos adquiridos en los niveles inferiores, se memorizan y se acondicionan para su procesamiento en las computadoras del nivel de gestión de la empresa.

En este nivel de automatización se visualizan todas las operaciones del proceso y se puede intervenir manualmente en el mismo. Se visualizan, listan y evalúan mensajes de operación y de perturbación.

Características:

- Se basa en el uso del computador (para usarlo como estación de operador) con un "software" tipo SCADA.
- Se representa en forma gráfica y dinámica el comportamiento de la planta.
- La estación de operador se conecta al controlador.
- SCADA es un "software" de "arquitectura abierta".
- Ahorro de costos de instalación de quipos periféricos.
- Permite la comunicación al nivel superior, ejemplo redes de administración tipo Ethernet, Novell, etc.

4.10.4 **Nivel administrativo o de gestión**

En este nivel, las computadoras se encargan de funciones administrativas Y comerciales para todo el proceso. Estos entregan datos primarios (por ejemplo cantidad y tipo de productos a fabricar) a los equipos en los niveles inferiores y, partiendo de los datos adquiridos en dichos niveles, confeccionan estadísticas para los encargados de dirigir el proceso (por ejemplo, relaciones de productos fabricados, tasa de productos defectuosos, carga de máquinas, etc.).

El intercambio de datos entre los diferentes PLC y equipos de los niveles más bajos de automatización pueden hacerse a través de la red local en bus (Modbus, Profibus, etc.).

Ethernet es recomendable en los niveles superiores donde se intercambian grandes cantidades de datos.

Una red industrial debe cumplir con las siguientes características básicas:

- Optimizado: Alternativas de implementación para cada aplicación.
- Estandarizado: Ethernet, Modbus, Profibus, AS-Interface.
- Abierto: Independencia del origen de tecnologías para los clientes.
- Aceptado: Aplicaciones implementadas y probadas.
- Orientado al futuro: Innovaciones permanentes y soportes.

4.11 Redes mas utilizadas en la industria

Actualmente existe una gran cantidad de fabricantes y organizaciones que ofrecen productos para redes de comunicaciones.

Lamentablemente no existe una norma única que describa o parametrice a los protocolos. Cada proveedor clama ser la mejor solución a los problemas de comunicación; sin embargo, siempre surgen problemas de integración ya que muchas veces los protocolos se excluyen mutuamente creando la necesidad de utilizar convertidores de protocolos o comprar solamente productos de un determinado proveedor.

4.11.1 Foundation Field Bus

Es un sistema de comunicación serial bidireccional completamente digital que trabaja a una velocidad de 31,25 kbits/s que interconecta dispositivos de campo como sensores, actuadores y controladores.

Fieldbus es una red de área local (LAN) de instrumentos usados en automatización de procesos y manufactura con la capacidad de distribuir las aplicaciones de control a través de la red.

Este bus de campo retiene las características del sistema analógico 4 a 20 mA tales como:

- Interfaz física normalizada de dos hilos.
- Dispositivos alimentados a través del bus.
- Operación intrínsicamente segura.

Adicionalmente Foundation FieldBus permite:

- Mayor capacidad debido a la comunicación completamente digital.
- Reducción del costo de cableado y terminaciones debido a la conexión de los dispositivos a un único bus.
- Selección de proveedores de equipos debido a la interoperatibilidad.
- Reducción de la cantidad de equipos en la sala de control debido a la capacidad de distribuir ciertas tareas de regulación y de I/O en los dispositivos de la red.
- Conexión a Ethernet de alta velocidad en sistemas mas grandes.

Beneficios de Fieldbus:

- Mayor disponibilidad de la información.- Fieldbus permite que múltiples variables de un dispositivo puedan ser llevadas al sistema de control para ser archivadas, análisis de tendencias, estudios de optimización del proceso y generación de reportes. Las características de alta resolución y libre de errores de la comunicación digital permite mejorar la capacidad de control.
- Visión expandida del proceso.- Las capacidades de autodiagnóstico y comunicación de los dispositivos de campo basados en microprocesador ayudan a reducir los tiempos de parada y mejorar la seguridad de la planta.
- Ante la detección de condiciones anormales o necesidad de mantenimiento preventivo, personal de operaciones y mantenimiento

pueden ser notificados. Esto permite iniciar las acciones correctivas de una manera rápida y segura.

- Reducción de la cantidad de equipos.- Foundation fieldbus utiliza "Bloques de Funciones" para implementar la estrategia de control. Estos bloques son funciones de automatización normalizadas. Muchas funciones del sistema de control como entrada analógica (AI), salida analógica (AO) y control Proporcional / Integral / Derivativo (PID) pueden ser ejecutados por el propio dispositivo de campo.
- La distribución del control en los dispositivos de campo reduce la cantidad de equipos de entrada/salida y control necesitados, incluyendo gabinetes y fuentes de alimentación.
- Reducción del cableado, Fieldbus permite que muchos dispositivos se conecten a un único par de hilos. Esto resulta en un menor cableado, menor cantidad de barreras intrínsecas y gabinetes.

Tabla 4.4: Algunas características técnicas de la capa física de "Foundation Fieldbus"

VELOCIDAD DE TRANSMISION 31,25 kbit/s (H1)			
Tipo	Voltaje	Voltaje	Voltaje
Topología	Bus/árbol	Bus/árbol	Bus/árbol
Clasificación del bus	-	DC Intrínsicamente seguro	DC
Número de dispositivos	2 a 32	2 a 32	2 a 32
Longitud del cable	1 900 m	1 900 m	1 900 m
VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN 100 Mbit/s (HSE)			
Tipo	Voltaje	Corriente	Voltaje
Topología	Bus	Bus	Bus
Clasificación del bus	-	AC intrínsicamente seguro	
Número de dispositivos	2 a 32	2 a 32	2 a 32
Longitud del cable	750 m	750 m	750 m

4.11.2 **Profibus**

A nivel de campo los periféricos distribuidos, como módulos I/O, transductores de medición, variadores de velocidad, servo actuadores, válvulas y terminales de operación se comunican con los sistemas de automatización a través de un sistema eficiente de comunicación en tiempo real.

La transmisión de la información del proceso es efectuada cíclicamente, mientras las alarmas, parámetros e información de diagnóstico también tienen que ser transmitidas acíclicamente en caso de ser necesarias. profibus cumple con estos requerimientos y ofrece una solución transparente para la manufactura lo mismo que para procesos de automatización.

Profibus es un bus estándar de campo abierto e independiente del vendedor para un amplio rango de aplicaciones en manufactura y automatización de procesos.

Profibus permite la comunicación entre dispositivos de diferentes fabricantes sin la necesidad de una interfaz especial.

Profibus puede ser usado tanto en aplicaciones de tiempo crítico y alta velocidad como en tareas complejas de comunicación.

Profibus ofrece diferentes perfiles del protocolo dependiendo de la aplicación:

- PROFIBUS DP (Periferia Distribuida): comunicación de alta velocidad para transferencia de poca información. Permite la conexión de dispositivos de campo, accionamientos paneles de operador, PLCs y PCs.

- PROFIBUS PA (Automatización de Procesos): comunicación en la industria de procesos. Alimentación y datos a través del mismo cable. Puede ser utilizado en aplicaciones en atmósferas potencialmente explosivas (EExi-protección intrínseca).

- PROFIBUS FMS (Fieldbus Message Specification): utilizada a nivel de célula en tareas complejas de comunicación. Sin embargo, el uso de TCP/IP en este nivel hará que disminuya su significancia en el futuro.

En la Tabla 4.5 y 4.6 se muestran el resumen de características técnicas del protocolo de comunicación profibus.

Tabla 4.5: Resumen

	PROFIBUS-FMS	PROFIBUS-DP	PROFIBUS-PA
Aplicación	Célula	Campo	Campo
Norma	EN 50 170	EN 50 170	IEC 1158-2
Dispositivos	PLC, PG/PC	PLC, PC, dispositivos de campo analógicos y digitales, válvulas, accionamientos	PLC, PC, dispositivos de campo analógicos y digitales, paneles, accionamientos
Tiempo reacc.	< 60 ms	1 – 5 ms	< 60 ms
Distancias	> 100 km	> 100 km	Max. 1.9 km
Índice de transmisión	9,6 Kbps 12 Mbps	9.6 Kbps 12 Mbps	31.25 Kbps

Tabla 4.6: Características técnicas

Norma	PROFIBUS, EN 50 170.
Método de acceso	Híbrido: paso de testigo con maestro-esclavo en las capas inferiores (determinístico).
Índice de transmisión	9,6 kbps a 12 Mbps.
Medio de transmisión	Eléctrica: par trenzado apantallado. Óptica: FO (vidrio o plástico).
Máximo número estaciones	127
Amplitud de la red	Eléctrica: máx. 9,6 Km (depende de la velocidad). Óptica: más de 100 Km (depende de la velocidad).
Topología	Bus, anillo, estrella, árbol.

4.11.3 **Industrial Ethernet**

La conexión en red de millones de PC's en oficinas y la proliferación del Internet alrededor del mundo ha hecho de Ethernet una norma universal en las redes.

Los dispositivos utilizados en Ethernet así como el software asociado han evolucionado hasta el punto que incluso los usuarios inexperimentados pueden configurar redes y conectar computadoras entre sí.

Los dispositivos Ethernet son relativamente baratos y pueden ser comprados en cualquier tienda de equipos para oficina, tiendas de computadoras y a través de Internet.

En contraste con la percepción que los buses de campo son costosos, difíciles de usar y que hay varios disputándose el dominio del mercado, Ethernet aparece como la panacea.

Además, un estudio realizado por uno de los grandes de la industria automovilística mostró que Ethernet puede potencialmente ser útil en el 100% de la automatización utilizando redes a nivel de campo.

Industrial Ethernet es una red estándar basada en la norma IEEE802.3 especialmente diseñada para la industria: equipos robustos e instalaciones inmunes al ruido. Diseñada para trabajar a nivel de célula, pero con una enorme potencialidad para entrar al nivel de los buses de campo utilizando protocolos normalizados como ISO y TCP/IP.

Ethernet es solamente una norma para la capa física, muy similar a RS-232, de la misma manera que lo es una línea telefónica. Tener una conexión física significa que los mensajes pueden ser transmitidos, pero no se garantiza que la comunicación (intercambio de información) sea exitosa. Solamente porque pueda hacer una llamada en Shangai no significa que pueda hablar Mandarín.

Hay muchos protocolos de transmisión que pueden ser utilizados sobre Ethernet, el más popular y utilizado en World Wide Web, es TCP/IP, que significa Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo Internet.

Cuando uno descarga un archivo de la red, puede verse cómo la velocidad de transmisión disminuye conforme aumenta el tráfico. TCP/IP es el mecanismo que parte el archivo a descargar en paquetes de bits y lo reconstruye en el otro extremo. TCP/IP fue desarrollado con el objetivo de garantizar que los mensajes siempre lleguen a su destino. Para llevar el ejemplo de la Web un poco mas allá, todos hemos experimentado que después de descargar un extenso archivo descubrimos que en nuestra PC no tenemos la aplicación asociada para abrirlo. Así que terminamos descargando también un RealAudio o un Winamp o Adobe Acrobat Reader de modo que podamos abrir el archivo.

Exactamente el mismo problema se aplica a los controles industriales. Uno puede enviar un archivo o parte de la información que desea a través de Ethernet o Internet, pero el terminal receptor debe saber qué hacer con la información. TCP/IP no te garantiza que puedas abrir el archivo, solamente te garantiza que llegue a su destino.

Tabla 4.7: Características técnicas

Norma	IEEE802.3
Método de acceso	CSMA/ CD (Estocástico).
Índice de transmisión	10 a 100 Mbps.
Medio de transmisión	Eléctrica: par trenzado apantallado o coaxial. Óptica: FO (vidrio o plástico).
Máximo número estaciones	1 024, ampliable con enrutadores (Routers).
Amplitud de la red	Eléctrica: máx. 1,5 Km. Óptica: más de 50 Km. LAN: hasta 150 Km con tecnología de conmutación. WAN: en todo el mundo.
Topología	Bus, anillo, anillo redundante, estrella, árbol.

Beneficios:

- Ethernet es una norma internacional aceptada prácticamente en todo el mundo.
- Puede manejar gran cantidad de información a alta velocidad.
- Sirve a las necesidades de grandes instalaciones.
- Transmisión de datos confiable incluso en ambientes con gran interferencia.

4.11.4 **Industrial Modbus Plus**

Por supuesto, Modbus fue desarrollado por MODICOM, ahora como parte del grupo Schneider Electric. El protocolo fue ampliamente utilizado con algunas adaptaciones por muchas compañías. Hay una gran cantidad de sistemas instalados en U.S.A. como en Europa y muchas compañías aplican DCS (sistemas de control distribuido) usando Modbus como protocolo para su comunicación.

Durante la comunicación en una red Modbus, el protocolo asigna una dirección a cada controlador, reconociendo el mensaje direccionado para él, determina la clase de acción a tomar y extrae cualquier dato de otra información contenido en un mensaje. Si una respuesta es requerida, el controlador debería construir el mensaje de respuesta y enviarlo usando el mismo protocolo.

En otras redes, el mensaje contenido en el protocolo Modbus son etiquetados dentro de un paquete estructurado, que es usado en la red.

Los puertos de los controladores Modbus son estándar y usan: la interfaz serial RS-232C, niveles de señal, valores de transmisión en baudios y chequeo de la paridad. Los controladores pueden conectarse directamente a la red o vía módems.

Los controladores se comunican usando la tecnología maestro-esclavo (master-slave), en las cuales solamente un dispositivo (máster) puede iniciar la transacción. Los otros dispositivos (slaves) responde a solicitud del máster. Los masters típicos incluyen un procesador central y paneles de programación. Los slaves típicos incluyen controladores programables. Modbus Plus es una versión de alta velocidad de Modbus con soporte de multimáster.

El máster puede direccionar los slaves individuales o puede iniciar un bradcast de mensajes a todos los slaves. Los slaves retornan un mensaje de respuesta.

Características:

- Velocidad de 1 Mbits/s.
- Permite 64 nodos de conexión.
- La distancia máxima permitida es 450 m.
- El tipo de comunicación utilizado es Multi-Máster.

4.12 Perspectiva a futuro de las redes

A pesar de todas las ventajas ofrecidas por las redes Ethernet, comparten una desventaja: es necesario tender cable en toda la planta. En una instalación típica, el costo del tendido del cable excederá el costo del resto del equipo, y cuando los equipos necesiten ser trasladados, se incurrirán en gastos adicionales de cableado. Este inconveniente nos hace pensar en alternativas de solución con el fin de reducir o suprimir los gastos ocasionados por cableado físico.

Afortunadamente en la actualidad existe una solución: Ethernet Inalámbrica, que provee de los beneficios de Ethernet sin la necesidad de cables. Las tecnologías inalámbricas tienen un pasado algo manchado. Algunos vendedores prometieron mucho pero cumplieron poco. Sin embargo, cuando son adecuadamente entendidos e instalados, los dispositivos inalámbricos pueden proveer de una comunicación robusta y confiable.

4.12.1 Ethernet inalámbrica

Ethernet es un protocolo promisorio en lo que a independencia del fabricante se refiere, pero no elimina la necesidad del cableado.

Las ventajas de Ethernet son muchas: los componentes de red tienen una fuerte tendencia al bajo costo; Ethernet puede ser utilizado como un medio de transporte independiente del protocolo de comunicación de los PLC's encapsulando el Modbus o el Profibus dentro del paquete TCP/IP; la característica natural de ser multienlace de Ethernet proveen de un vía muy fuerte para posteriores expansiones; y los

dispositivos hacia los cuales la información es enviada ya están integrados en redes Ethernet.

Pero a pesar de estas ventajas Ethernet comparte la desventaja de necesidad de tender cable en toda la planta. Está demostrado que en una instalación típica, el costo del tendido del cable excederá el costo del resto del equipo.

Ahora hay una solución: Ethernet inalámbrica, que provee de los beneficios de Ethernet sin la necesidad de cables, dando una comunicación robusta y confiable.

4.12.1.1 **Factores que afectan las transmisiones de radio**

Para decidir qué tecnología inalámbrica es la mejor para una aplicación, es de gran ayuda entender los factores que afectan a una transmisión de radio.

En aplicaciones dentro de un edificio, incluidas las fábricas, dos factores primordiales pueden interferir y originar desvanecimiento de la señal por multitrayectoria. Esta última ocurre cuando múltiples copias de la señal arriban a la radio al mismo tiempo, pero con diferente fase. Esto causa que las señales se cancelen mutuamente unas a otras en algún grado, esto da como resultado un desvanecimiento o reducción en la intensidad de la señal.

La interferencia ocurre cuando otra fuente de radio frecuencia genera una señal a una frecuencia de interés que tiene una intensidad de campo superior a la de la señal de interés. El dispositivo que interfiere no tiene que ser necesariamente otro radio. En las bandas utilizadas, los hornos de microondas o los equipos de soldadura pueden ser fuentes de interferencia.

Un tercer factor que afecta el rendimiento es la sensibilidad de recepción de los radios, la cual es definida como la mínima intensidad de señal requerida para recibir señales a una determinada tasa de error. Por esto, los radios de una mejor sensibilidad de recepción lograrán un mejor rango.

4.12.1.2 **802.3 versus 802.11**

802.11 (y más recientemente 802,11b es una norma para Ethernet inalámbrica diseñada para promover la interoperabilidad entre los vendedores de productos para redes de oficinas, con el fin de promover la competencia - resultando en menores

costos. Mientras que el objetivo de esta norma es valioso, el progreso alcanzado en la interoperabilidad ha sido limitado.

802.3 es la norma que define 10BaseT Ethernet (802.3u define 100BaseT) y se refiere a la Ethernet cableada.

Los dispositivos inalámbricos que cumplen con 802.11, cumplen con 802.3 en el punto de conexión a la red y cumplen con todo lo relacionado con el protocolo en el aire con 802.11. El punto importante es que mientras que un dispositivo inalámbrico debe cumplir con 802.3 para conectarse a la Ethernet cableado, no necesita cumplir 802.11.

4.12.1.3 **Instalaciones de Ethernet Inalámbrica**

EL primer paso es definir la cantidad de datos a ser transmitida y la velocidad a la que debe ser transmitida. También, el periodo de inactividad (latencia) que puede ser tolerado. El primer punto determinará la potencia o ganancia requerida mientras que lo segundo determinará la cantidad de información que puede ser enviada por vez. Ambos son inversamente proporcionales. No importa qué tan robusto sea el enlace de radio, habrán oportunidades en que la transmisión no será exitosa y necesite ser retransmitida. Esta retransmisión es automática y no es percibida por la red, pero introduce latencia adicional. Así, mientras una mayor transmisión de información aumenta la potencia, cuando se requiere una retransmisión, una mayor cantidad de información aumenta la latencia.

Seguidamente, es necesario determinar la arquitectura de la red inalámbrica. La cantidad de dispositivos remotos que estarán conectados figurará en la decisión de operar en una red punto a multipunto, múltiples enlaces multipunto o una combinación de ambos.

Esto impactará en la capacidad necesaria de cada dispositivo. Si se emplean multienlaces, cada enlace necesitará menor capacidad.

La ubicación de los dispositivos inalámbricos también merece atención, ya que la ubicación del dispositivo de campo determinará la ubicación general del dispositivo

remoto así como del punto más cercano de interconexión a la red cableada. Como una regla general, las antenas de los dispositivos deben ser instaladas lo más alto posible sin colocar entre ellas ningún obstáculo.

Ethernet está ingresando con mucha fuerza a nivel de campo. Ethernet inalámbrica nos ofrece todas las ventajas del Ethernet, pero sin necesidad de tender cables.

4.12.2 **Tecnología OPC (OLE PARA CONTROL DE PROCESOS)**

En un mundo ideal, la integración del control de procesos sería muy simple.Uno podría comprar todas las computadoras, instrumentación y equipo eléctrico de campo de un único proveedor y conectarlo, utilizando una única red normalizada. Pero en la vida real no es tan simple, raramente los PLCs, DCSs, accionamientos, control de motores, instrumentos de campo y computadoras son comprados a un único proveedor. Es más, cuando los son, el proveedor tiene equipos en los cuales la interconexión no es tan limpia.

Ya dijimos que la tan promocionada Ethernet y el TCP/IP no resuelven el problema. Ellos necesitan protocolos adicionales en la capa de aplicación para llevar a cabo sobre la red tareas útiles, como leer información desde un registro específico de un PLC. Claro está, que cada proveedor tiene su propia idea del mejor protocolo en la capa de aplicación que usará.

Por ejemplo, un PLC Modicon y uno Allen Bradley podrían poseer ambos Ethernet--TCP/IP pero tienen diferente protocolo de aplicación. Si tratamos de conectarlos, descubriremos que no podremos comunicarlos.

En el control de procesos, se ha necesitado un lenguaje común desde hace buen tiempo, este es OLE para Control de Procesos (OPC) que es uno de los más promisorios. OPC es un conjunto normalizado de interfases, propiedades y métodos que definen cómo componentes individuales de programa pueden interactuar y compartir información.

No significa que espontáneamente los PLCs Allen Bradley "conversan" utilizando Modbus (Modicon), pero se crea un lenguaje común entre ambos sistemas. Cada proveedor crea programas OPC que "hablan" su lenguaje nativo más OPC; luego,

se cargan ambos programas en una PC y se utiliza OPC para que las dos porciones de programa interactúen.

OPC está basado en OLE de Microsoft (OLE llamado ahora ActiveX). Muchas personas han oído de OLE y lo han utilizado cada vez que utilizamos la capacidad de "pegar" una hoja de cálculo Excel en un documento de texto Word.

OLE permite que la hoja de cálculo actualice dinámicamente la información contenida en el documento. Es más, típicamente el usuario no requiere realizar ninguna configuración más allá de hacer un click con el ratón. La especificación OLE define completamente como la hoja de cálculo (en este caso, el servidor OLE) da formato y envía la información al documento de texto (en este caso, el cliente OLE).

OPC le agrega algunas características a la especificación OLE para los requisitos de direccionamiento en el control de procesos. Por ejemplo, un servidor OLE no verifica si el cliente recibió la información; solamente la envía y se olvida del resto. Justamente debido a que esto es poco adecuado para las aplicaciones de control de procesos, OPC, agrega esta habilidad para acusar y validar las transacciones cliente/servidor.

Una de las ventajas de OPC es que provee una interfase común para la comunicación de diversos dispositivos, a pesar de los protocolos o programas de control utilizados en el proceso. Antes que OPC existiera, los desarrolladores de aplicaciones tenían que preparar "drivers" específicos para cada sistema de control con el que se quisieran conectar. Un proveedor de HMI tenía que desarrollar mas de 200 "drivers" para diferentes PLCs y DCSs.

Con OPC, los proveedores de aplicaciones no necesitan desarrollar "drivers" por separado para cada red o procesador; solamente necesitan crear un "driver" OPC optimizado para su producto. Este se comunica con otros

servidores OPC diseñados y vendidos por los fabricantes de otras redes y controladores.

Es importante entender que OPC no elimina la necesidad de los "drivers", ninguno de los PLC existentes en la actualidad "hablan" OPC; cada fabricante desarrollará el driver OPC para un producto específico. Una vez que existe el driver OPC para una parte del equipo o una aplicación, es muy simple integrar esa información con los dispositivos que cumplen con OPC.

Para el usuario final, la configuración del OPC es significativamente más simple que configurar diferentes drivers:

- OPC no necesita un mapa intermedio para la información, además del respectivo mantenimiento.
- OPC provee información en formato y sintaxis nativos.
- OPC provee de una navegador para facilitar la configuración.

OLE for Process Control (OPC) ha sido diseñado como un método para permitir que aplicaciones de negocios (comerciales en general) puedan acceder a datos de Planta de manera consistente.

La aceptación de OPC en la industria proveerá muchos beneficios:

- Los fabricantes de hardware solamente tienen que hacer un set de componentes software para que los clientes lo utilicen en sus aplicaciones.
- Los desarrolladores de software no tendrán que re-escribir "drivers" cada vez que hay alguna actualización o cambios hardware.
- Los clientes tendrán más opciones para desarrollar sistemas de manufactura e información integrados.

Con OPC, la integración de sistemas y equipos será una tarea simple. Ethernet y TCP/IP están logrando gran aceptación en la automatización industrial. Fast Ethernet, Conmutación (Switching) y Full Duplex han convertido a Ethernet en un poderoso sistema de comunicación con una especial atracción para usuarios industriales y fabricantes. Sin embargo, al

menos se necesita un paso más: lograr un protocolo estándar para una transmisión en tiempo real.

Muchas organizaciones están trabajando intensamente en un protocolo de aplicación para Ethernet Industrial. Las diferentes aproximaciones como Ethernet/IP, ProfiNet, IDA, Foundation Fieldbus HSE e Interbus son incompatibles y no interoperables.

IAONA (Alianza para una Red Abierta de Automatización Industrial, por sus siglas en inglés) recientemente se han reunido con ODVA (Ehternet/IP) e IDA acordando mutuamente para el común avance de una tecnología de comunicación basada en Ethernet TCP/IP.

Las partes aceptaron estar desarrollando diferentes protocolos de comunicación en tiempo real, pero acordaron estudiar y especificar futuras extensiones para unir estas dos normas.

Especificaciones comunes permitirán la interoperabilidad de las soluciones para la tecnología de conmutación, componentes comunes para el medio de transmisión y lineamientos para la instalación y el cableado.

4.13 Arquitectura del proyecto

La distribución física de las señales en este proyecto están en un radio de 50 metros, se requiere una interfase hombre-maquina en sala de control, y por la criticidad de los procesos necesitamos seleccionar un sistema de control con las cualidades de un DCS, de tal manera que el control este distribuido y la seguridad este garantizada.

En la Figura 4.1 se muestra la arquitectura del sistema de control implementado.

La arquitectura planteada sería de la siguiente manera:

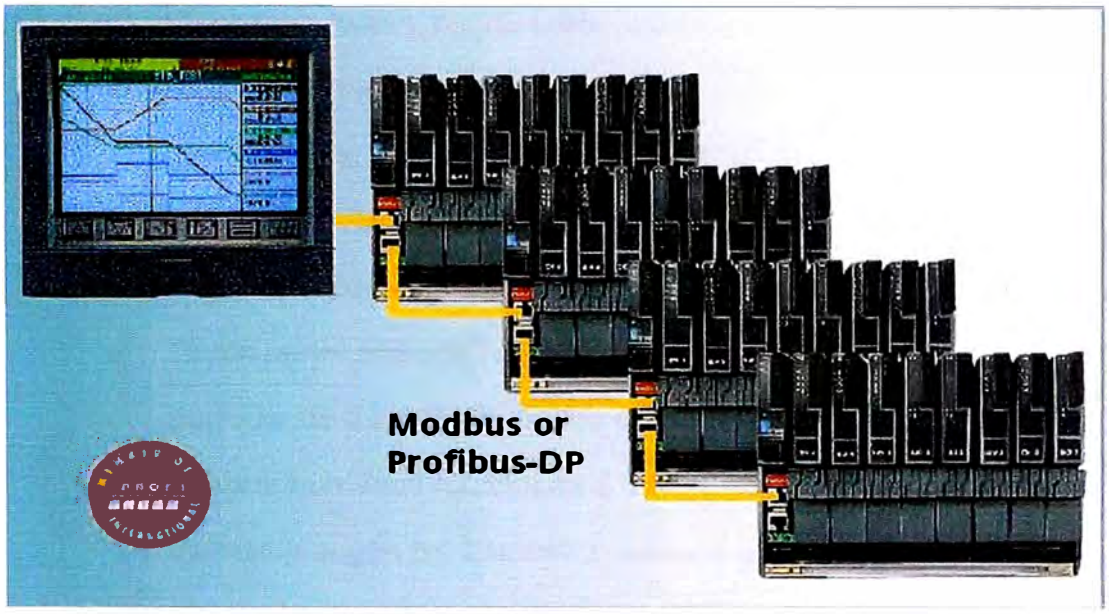


Figura 4.1: Arquitectura del sistema de control implementado.

4.13.1 **Características del sistema**

El sistema de control elegido consta de un procesador de aplicaciones, procesador de control central, base de datos e interfase hombre-maquina en un solo equipo, sus características principales son las siguientes:

- T800 Foxboro es una integrada interfase operador con un procesador para control continuo, secuencial, y sistema de adquisición de datos, que permite una arquitectura abierta y conectividad con los módulos de entrada y salida T2500.
- T800 es un mini sistema DCS con capacidad de comunicación en protocolos de comunicación abierta tales como profibus DP y DPV1, Modbus RTU y LIN over arcnet o Ethernet.
- Cuenta con un avanzado programa de recetas.
- Puerto para impresora, e impresión de reportes, eventos y alarmas.
- Puerto para teclado externo, pantalla touchscreen.
- Avanzado control continuo y secuencial.
- Lector de barra y puerto para scanner.

- Programación batch.
- Discketera local y puerto UBS.
- Paginas de históricos y alarmas.
- Dimensiones: 288 x 288 mm de pantalla.
- Peso: 6.12 kilogramos
- Pantalla super VGATFT color.
- Touch panel análogo resistivo
- Soporta de 0 hasta 50 grados Celsius de temperatura ambiente.
- Soporta humedad relativa de 5 a 95% no condensada.
- Vibración según BS EN60873, sección 9.18
- Protección IP54
- Procesador AMD 520, 133 Mhz
- SRAM 512 Kbyte.
- Alimentación 220 Vac; 60 Hz
- Consumo de 30 watts o 65 VA
- Conector de alimentación Standard IEC fixed plug.
- Control secuencial, programas de set point, y base de datos.
- Soporta hasta 4 programas de set point de 4 señales análogas y 8 discretas con un número máximo de 334 segmentos.
- Numero de registro en histórico: 500 líneas
- Soporta hasta 250 recetas.
- Soporta hasta 16 grupos de tendencias y 16 puntos por grupos.
- Comunicación Arc Net a 2.5Mb/seg., conector RJ45 y con un numero máximo de nodos de 8.
- Comunicación Modbus (RS232/RS485) Slave, conexión RJ45, protocolo MODBUS/JBUS RTU master, data rate selecionable entre 1200 y 38400, en formato de 8 bit con 1 o 2 bit de parada y paridad seleccionable.

- Comunicación profibus, conexión mediante par de RJ45 o DB9, protocolo profibus DP/DPV1, soporta hasta 16 nodos, data rate seleccionable entre 9600 y 12 Mbaud.
- RS232 Serial comms, tipos de conectores: DB9, RS232 3 cables, longitud de linea de 15 metros.
- Puerto paralelo DB25.
- Puerto PS2 AT101/102

Los procesadores de comunicación, procesadores de control distribuido y módulos de entrada y salida es un sistema de alta performance y alta precisión que permite obtener un sistema de automatización basado en una solución total DCS. En la Figura 4.2 se muestra el procesador de control T800.

Figura 4.2: Procesador T800.

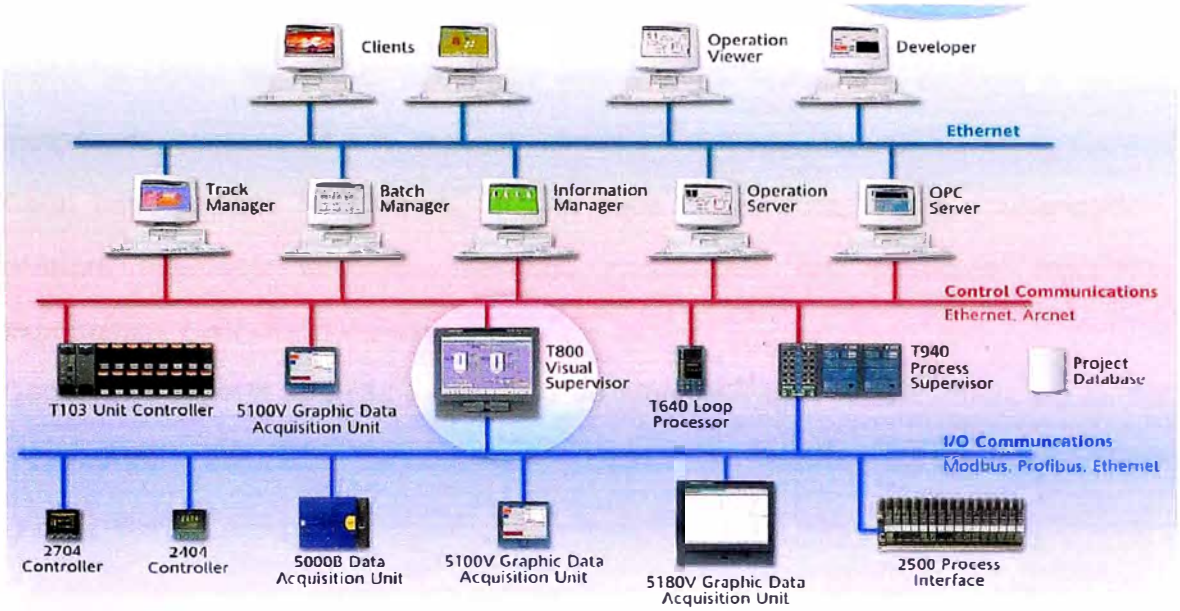


Figura 4.3: Ejemplo de arquitectura y ubicación del procesador T800 en una red industrial.

El modelo T2500 es un base expandible hasta 16 módulos de entrada y control, todas las bases cuentan con un procesador de comunicación que soporta Modbus RTU o profibus DP, soporta hasta 16 bases conectadas en daisy chained juntas usando cables Standard RJ45, además Device net.

En la Figura 4.3 se muestra un ejemplo de arquitectura donde se muestra el lugar del procesador T800

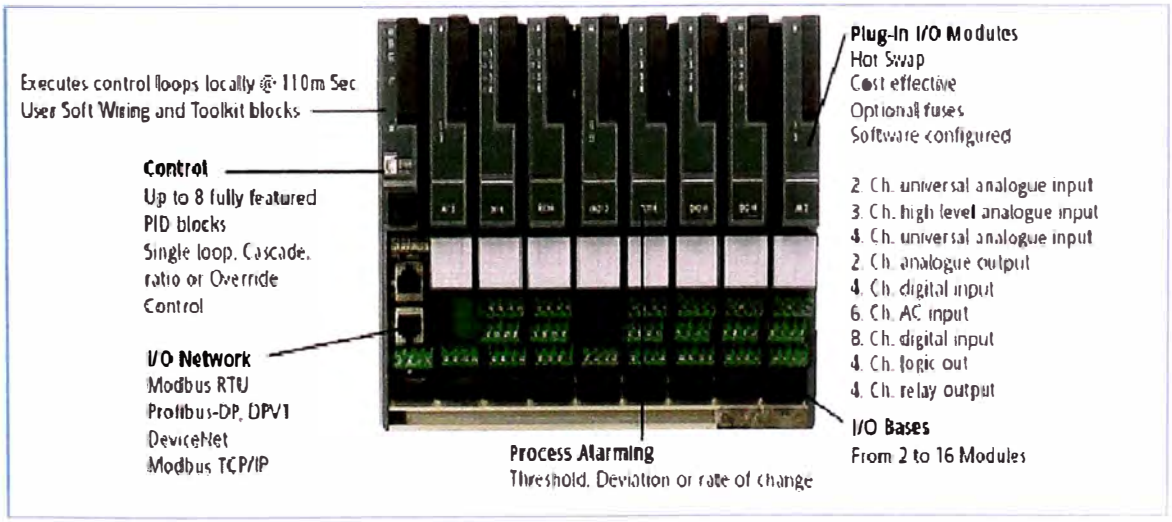


Figura 4.4: Base de módulos I/O.

Cada base soporta hasta 16 lazos PID que pueden ser simples, cascada, y de razón, la salida de control puede ser análoga, de tiempo proporcional o válvula motorizada, contiene un one-shot auto sintonía o sintonía manual.

Cada base soporta 32 bloques de funciones, sean, suma, resta, multiplicación, división, diferencia absoluta, máximos y mínimos, raíz cuadrada, logaritmo, exponencial y selección lógica.

Cada base soporta además 32 bloques de funciones and, or, xor, latch, equal, not equal, greater than, less than, greater than o equal to, less than o equal to.

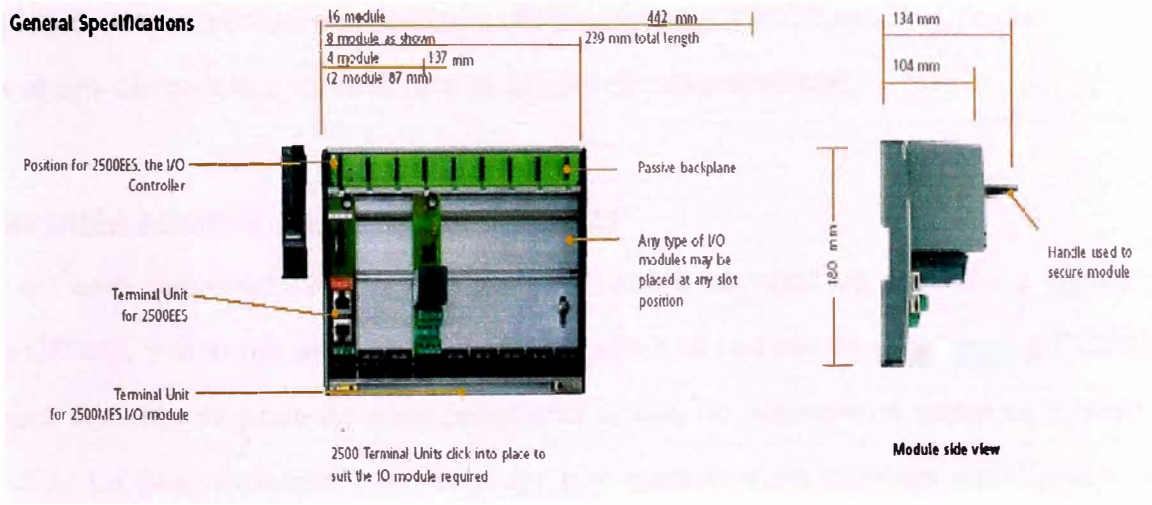


Figura 4.5: Características de módulos I/O.

CAPITULO 5

ESTRATEGIAS DE CONTROL A UTILIZAR

La programación de las estrategias de control se realiza mediante una programación en bloques a través de un software propietario del procesador T800 llamado i-Tools.

En cada etapa del proceso se realizara la siguiente programación:

5.1 Reacción primaria de hidróxido de calcio

Se utiliza en esta etapa un bloque PID teniendo como variable de proceso a controlar el ORP (Tag CIT01), y la señal de control será aplicada a la válvula de control (Tag FCV01), el setpoint será variable de acuerdo a un programa rampa de setpoint tal como se muestra en la Figura 5.1. La programación con lenguaje por diagrama de bloques se muestra en la Figura 5.2.

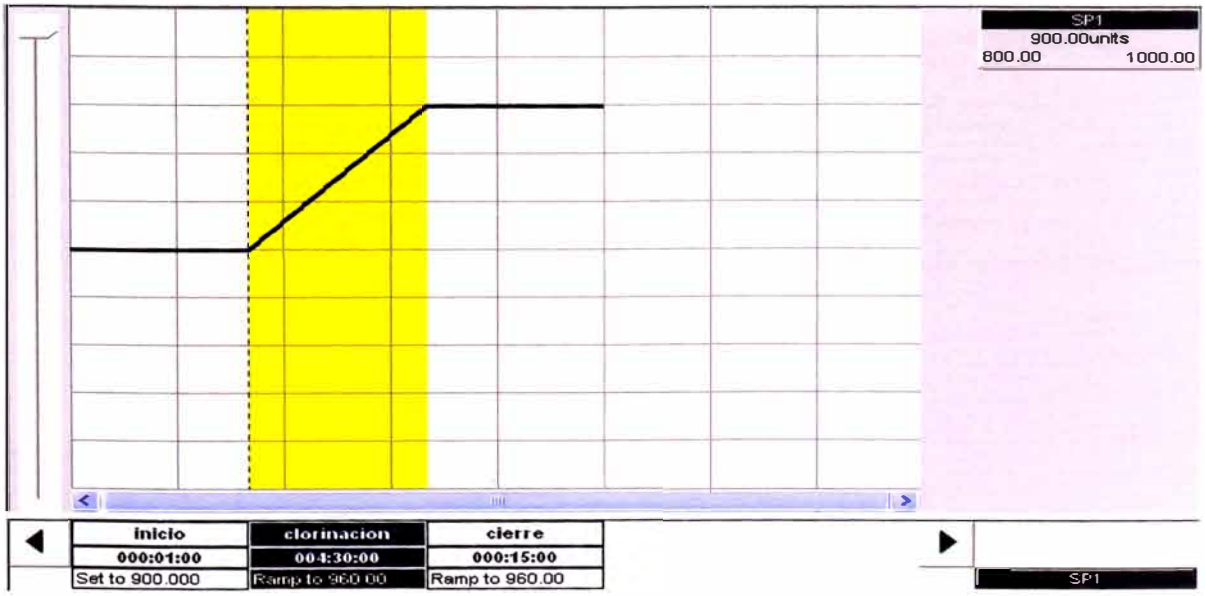


Figura 5.1: Rampa de setpoint SP1.

Figura 5.1: Rampa de setpoint SP1.

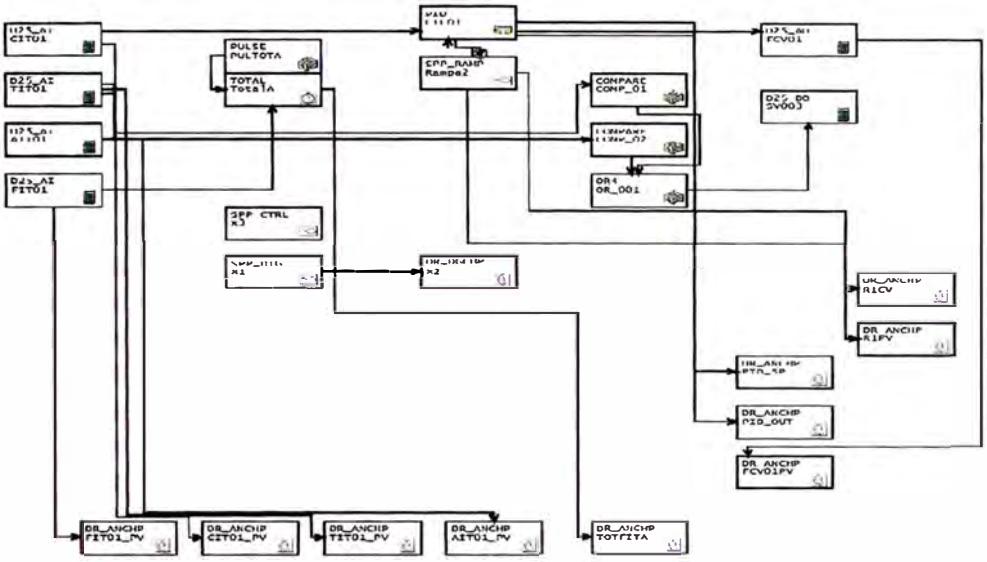


Figura 5.2: Programación de la reacción primaria.

5.2 Reacción secundaria de licor filtrado

En esta etapa se realiza el control fino del proceso de cloración, se utiliza en esta etapa un bloque PID teniendo como variable de proceso a controlar el ORP (Tag CIT02), y la señal de control será aplicada a la válvula de control (Tag FCV02), el setpoint será variable de acuerdo a un programa rampa tal como se muestra en la Figura 5.3. La programación por diagrama de bloques del reactor secundario se muestra en la Figura 5.4.

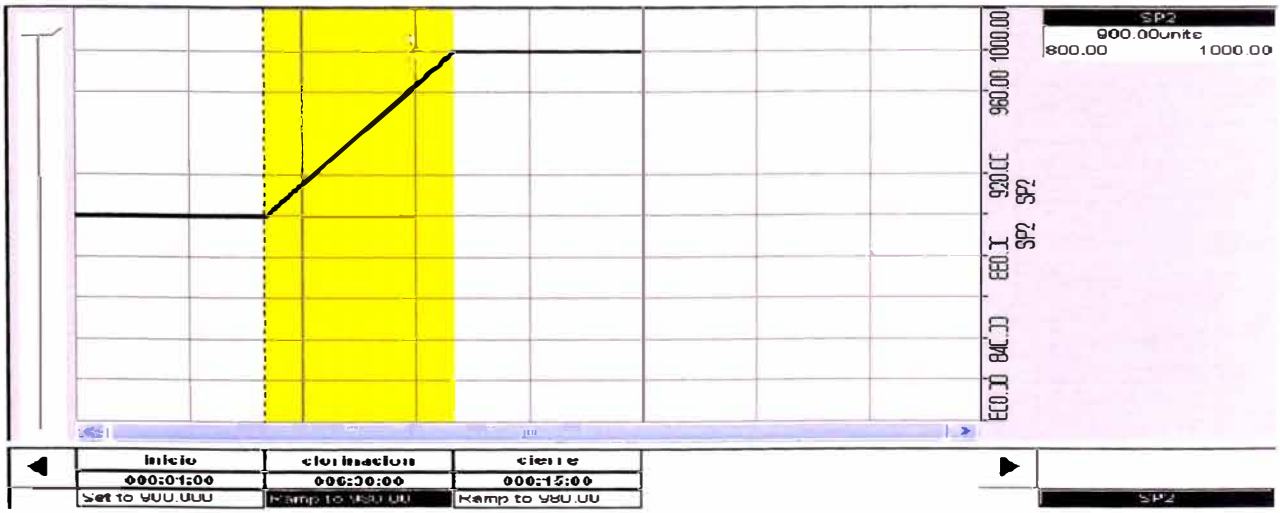


Figura 5.3: Rampa de setpoint SP2

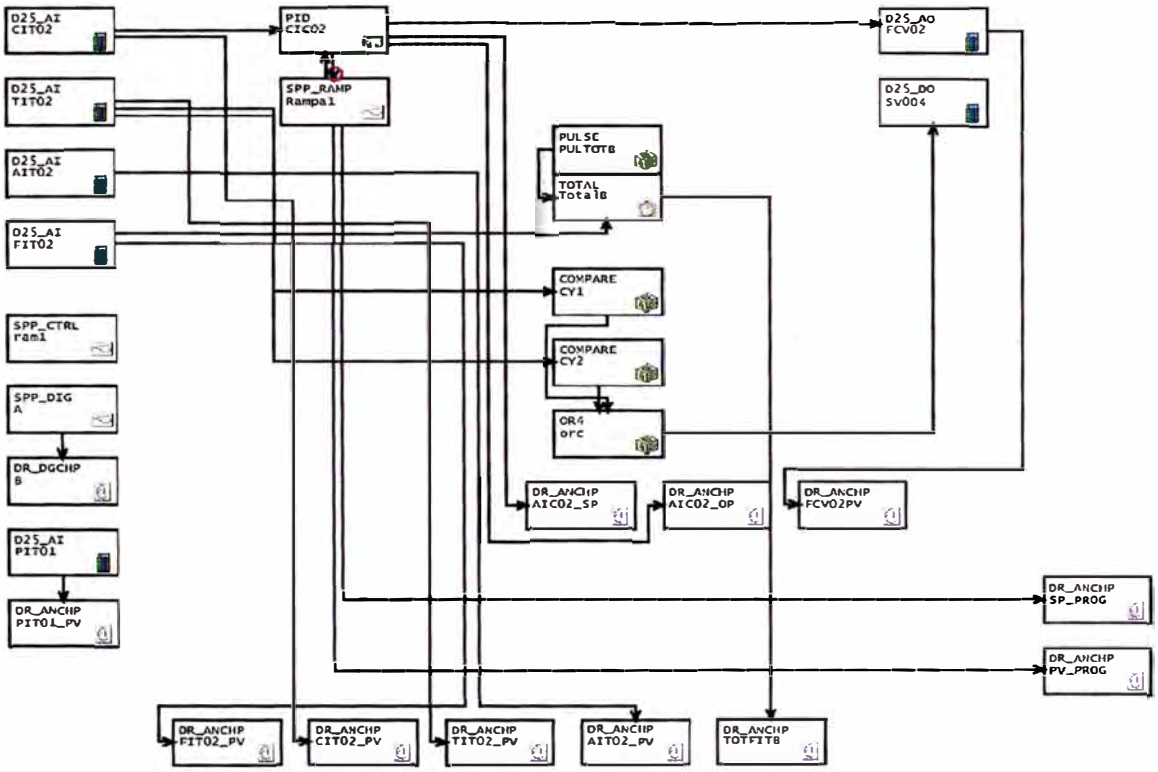


Figura 5.4: Programación reacción secundaria.

Ambos reactores se operan desde la siguiente pantalla de operación:

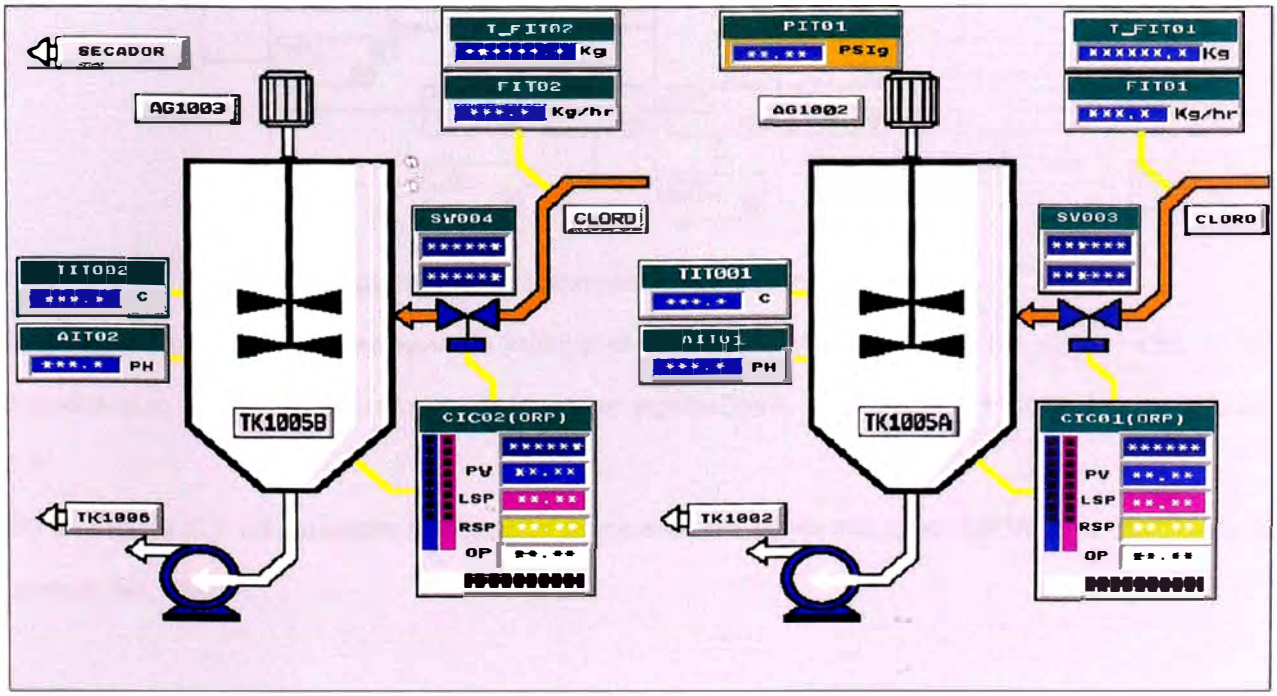


Figura 5.5: Pantalla de operación de reactores 1005A-1005B.

5.3 **Control de Nivel de Filtrado**

Para realizar un control on/off de nivel de licor filtrado y lograr un abastecimiento constante del filtro prensa se utiliza la programación en bloques de los parámetros discretos descritos en la Tabla 2.3.

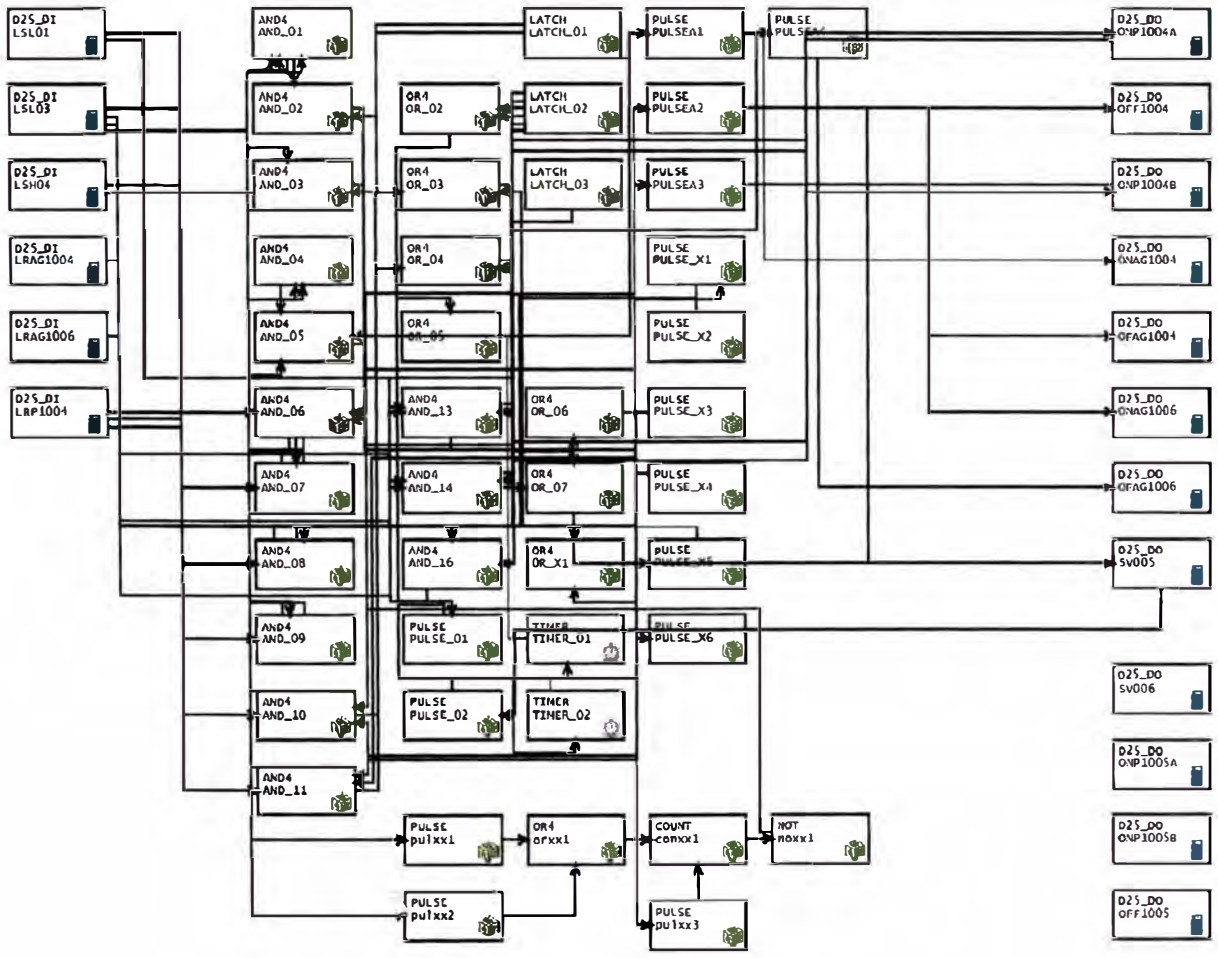


Figura 5.6: Programación de control de nivel.

La programación de esta secuencia incluye el encendido y apagado de los agitadores, de tal manera que el producto siempre debe estar agitándose, tal como se muestra en la Figura 5.6.

En la Figura 5.7 se muestra la pantalla de operación en el trasiego del tanque No. 1002 al tanque No. 1002A.

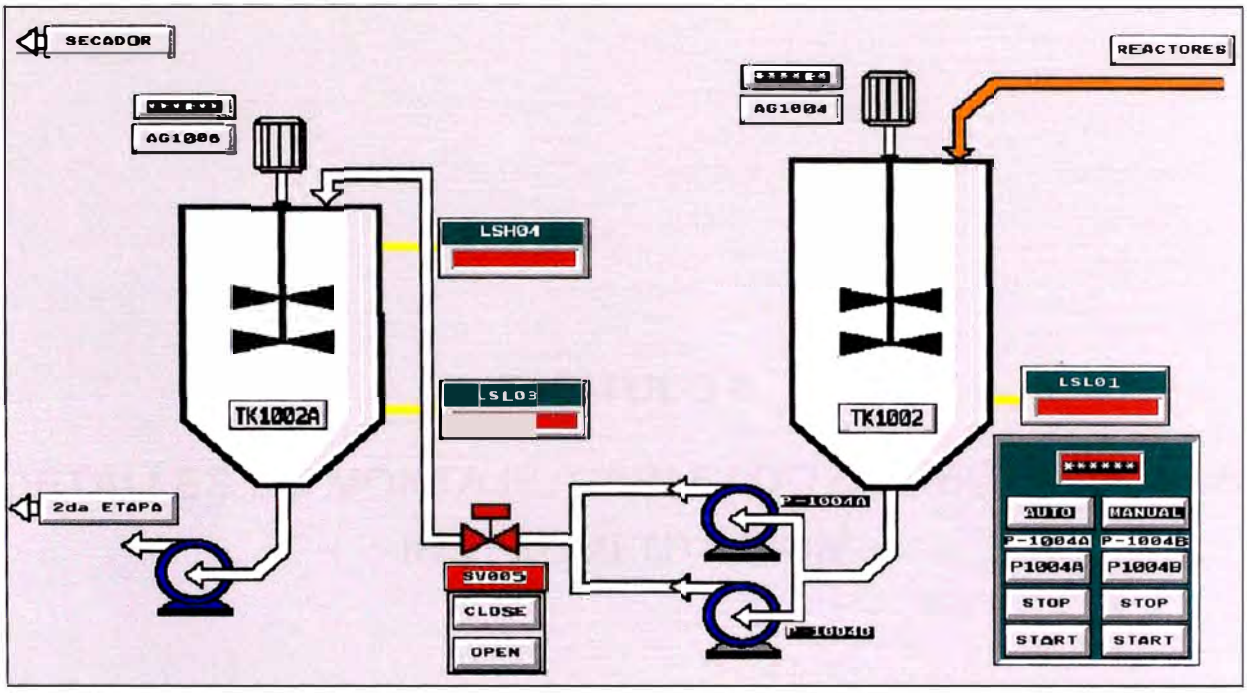


Figura 5.7: Pantalla del control de nivel de filtrado.

5.4 Control de temperatura de secador final

El control de temperatura del secador se realiza a través de un bloque PID que actúa sobre el ingreso de mezcla aire-combustible, el monitoreo se realiza a través de bloques de entrada análoga.

La Figura 5.8 muestra la pantalla de operación del secador.

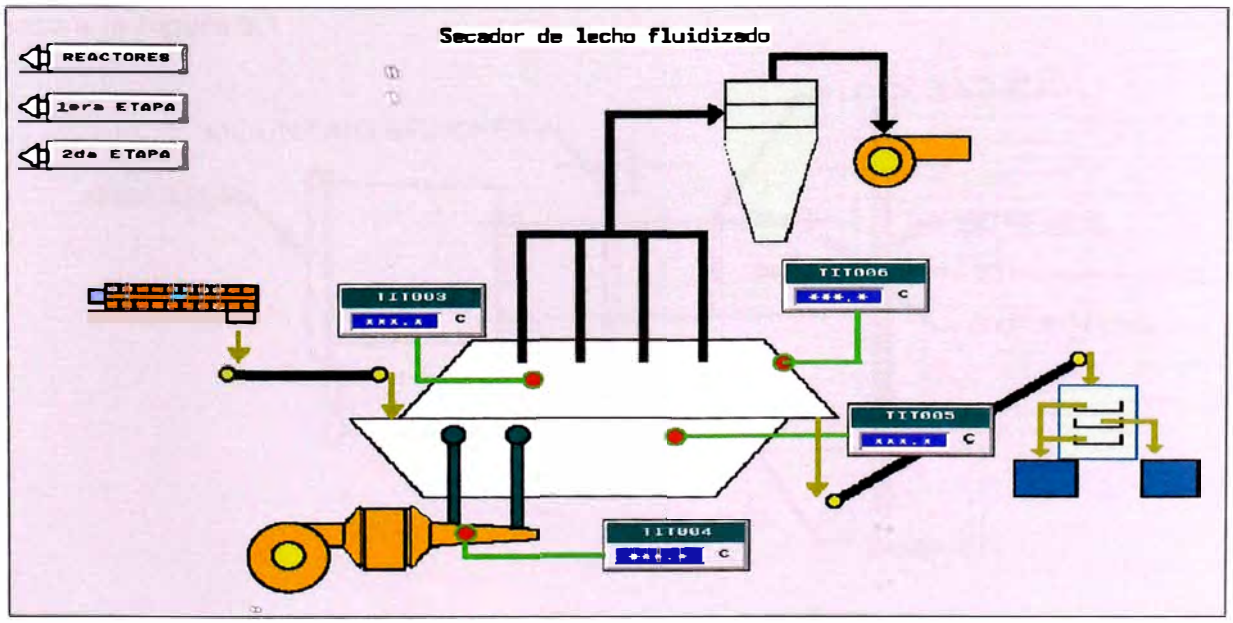


Figura 5.8: Pantalla de control de temperatura.

CAPITULO 6

DETALLES DE MONTAJE, CABLEADO DEL SISTEMA Y LA INSTRUMENTACION

El montaje mecánico de los equipos en campo se realizo de acuerdo a las recomendaciones de montaje de sus manuales técnicos, eligiendo entre sus opciones la mas adecuada.

6.1 Montaje y cableado de transmisores de PH y ORP

El montaje de los transmisores será en superficie metálica al pie del tanque reactor, de acuerdo a la Figura 6.1.

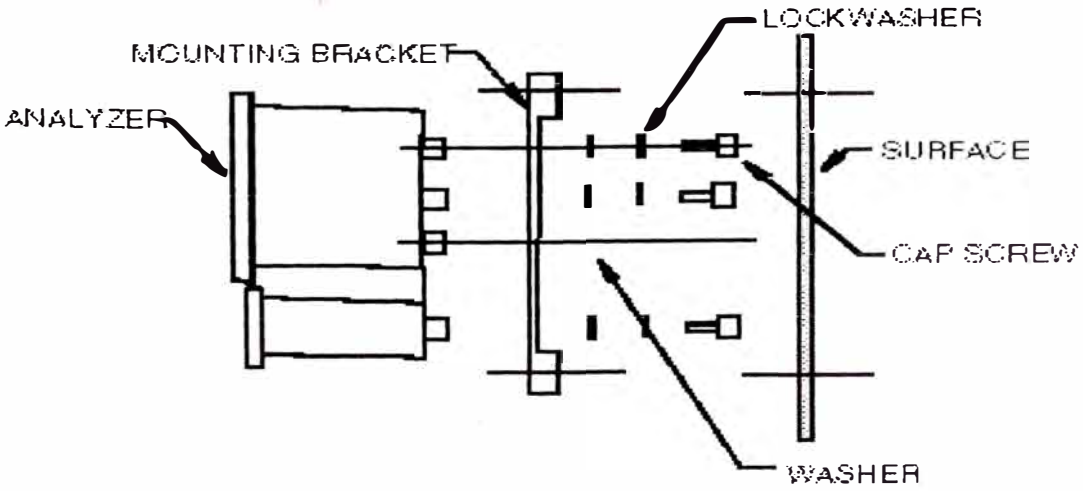


Figura 6.1: Montaje en superficie.

El cableado de las señales análogas tales como temperatura, PH y ORP hacia los tableros de control en campo se realizará a través de cable par trenzado apantallado con shield y tierra AWG14, entubado en tubo de PVC y sobre canaleta metálica.

Un grafico del montaje del transmisor montado en superficie se muestra en la Figura 6.2 y en la Figura 6.3 se muestran las dimensiones del transmisor de ph.

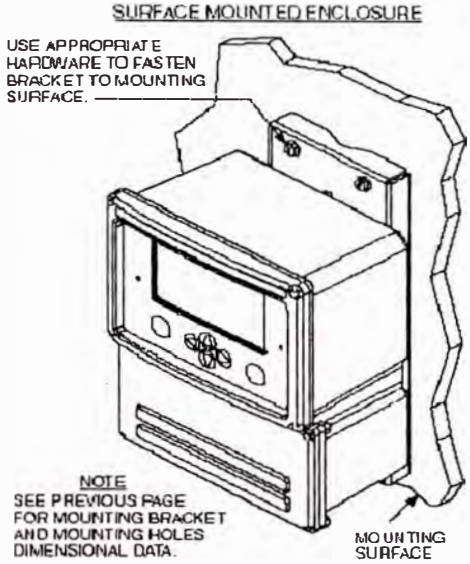


Figura 6.2: Diagrama de montaje en superficie.

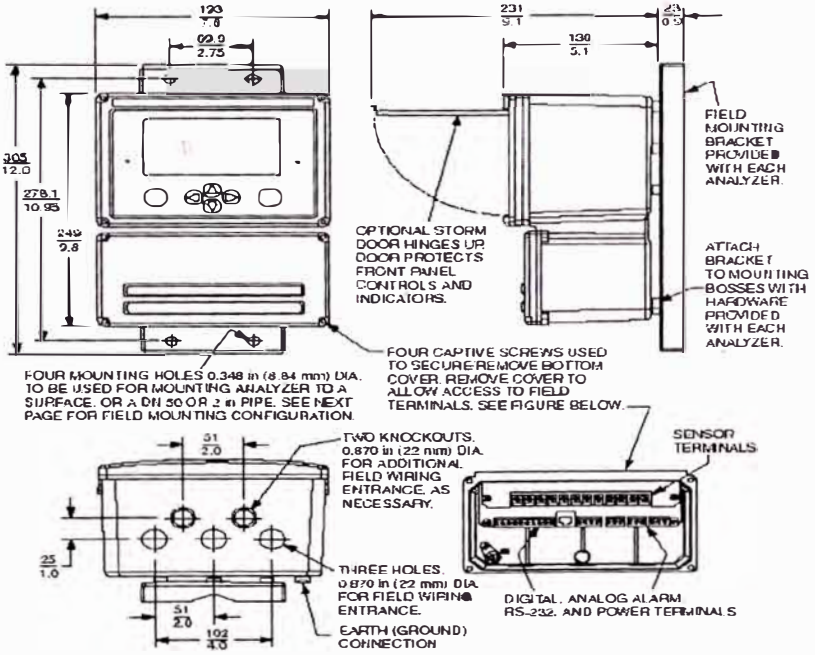


Figura 6.3: Dimensiones y detalles de la acometida.

6.2 Montaje y cableado del sensor de PH y ORP

El montaje de los sensores de PH se realizará directamente sobre la superficie cilíndrica de los reactores, en la parte central, y mediante la válvula de aislamiento, especialmente diseñada retirar el sensor en cualquier momento y realizar el mantenimiento y/o reemplazo de los electrodos. Esta válvula es de titanium para resistir la corrosión producida por el hipoclorito de calcio tal como se muestra en la Figura 6.4.

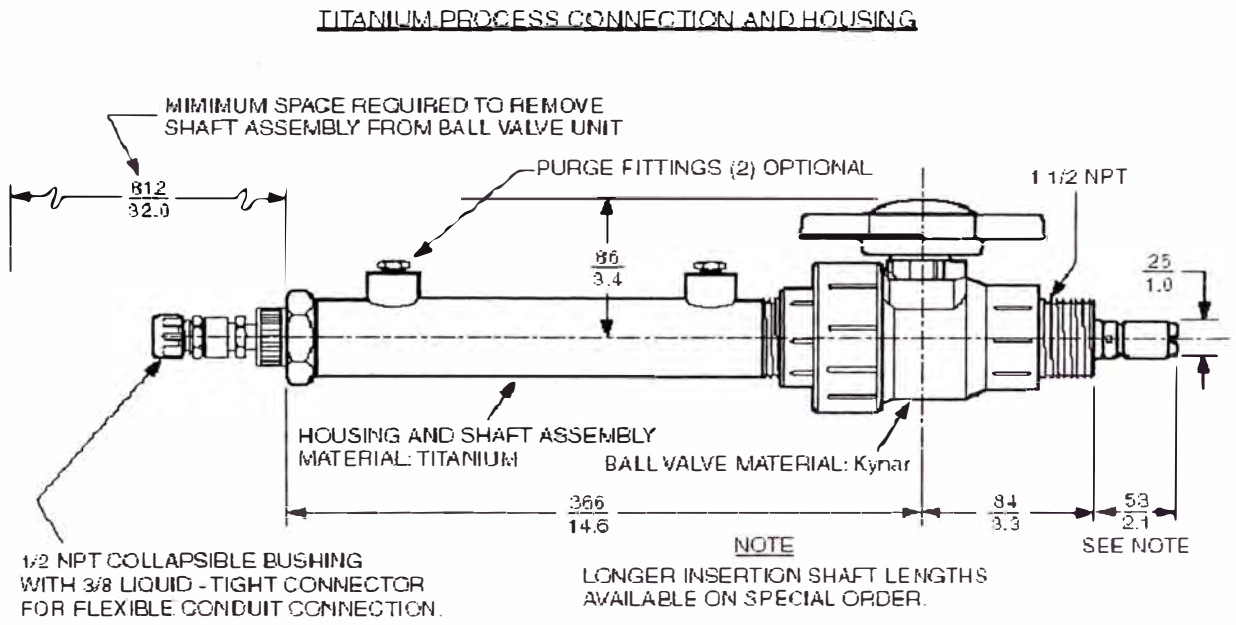


Figura 6.4: Válvula de aislamiento para montaje de sensor de PH.

6.3 Montaje y cableado de transmisores de Flujo

El montaje de la placa orificio compacta con transmisor de presión diferencial se monta entre bridas ANSI 150 de PVC 2" y con la orientación recomendada por el fabricante.

El transmisor de presión diferencial cuenta con válvula de aislamiento de tres vías de monel, esta válvula permite el retiro del equipo para su mantenimiento y calibración tal como se muestra en la Figura 6.5.

El montaje de este equipo puede tener diferentes orientaciones en el plano perpendicular de la tubería tal como se muestra en la Figura 6.6.

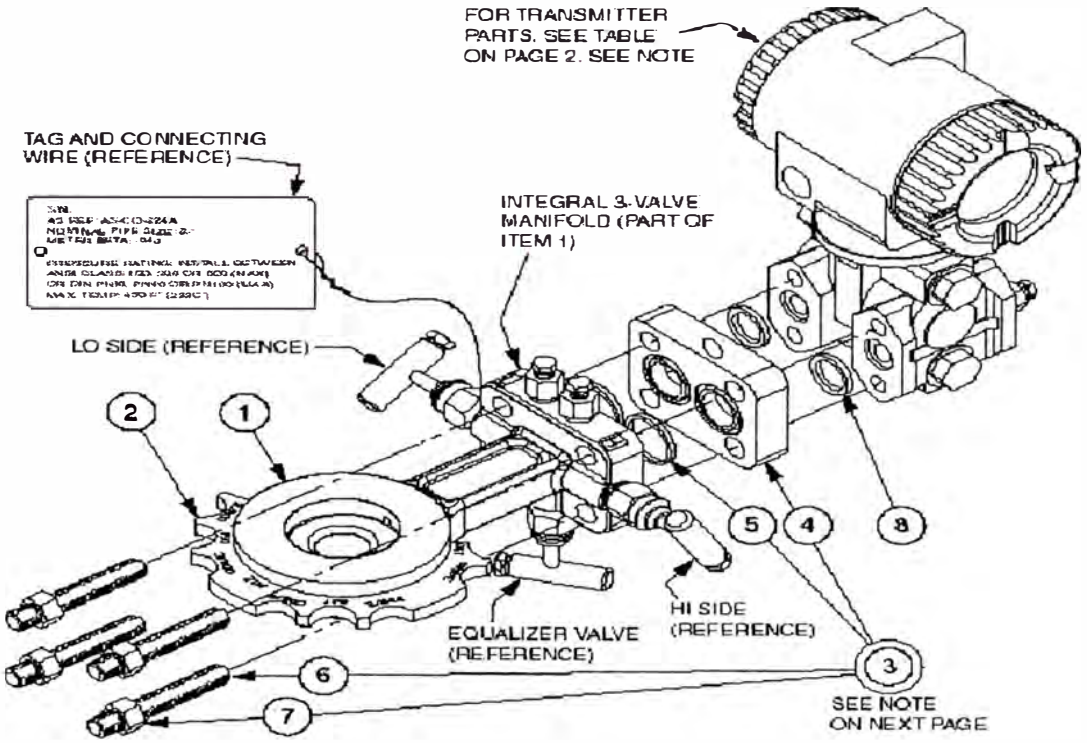


Figura 6.5: Partes del medidor de flujo de cloro.

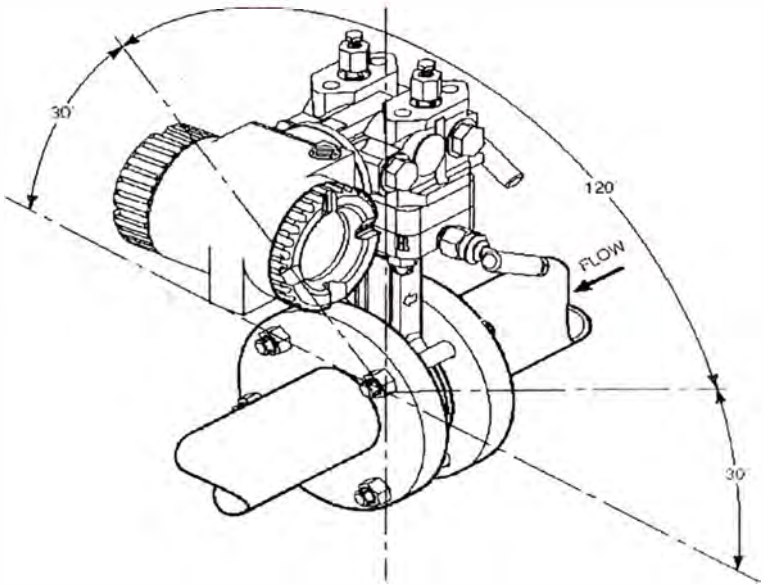


Figura 6.6: Orientación de montaje en tubería horizontal.

El cableado de la señal análoga de flujo hacia su modulo de entrada ubicada en los tableros de control en campo se realizará a través de cable par trenzado apantallado con shield y tierra AWG14, entubado en tubo de PVC y sobre canaleta metálica.

6.4 Montaje y cableado de transmisores de presión manométrica

El transmisor de presión manométrica será montado el la línea principal de distribución de gas, el montaje es directo sobre la tubería mediante conexión roscada de ½ NPT. Las dimensiones del transmisor se muestra en la Figura 6.7.

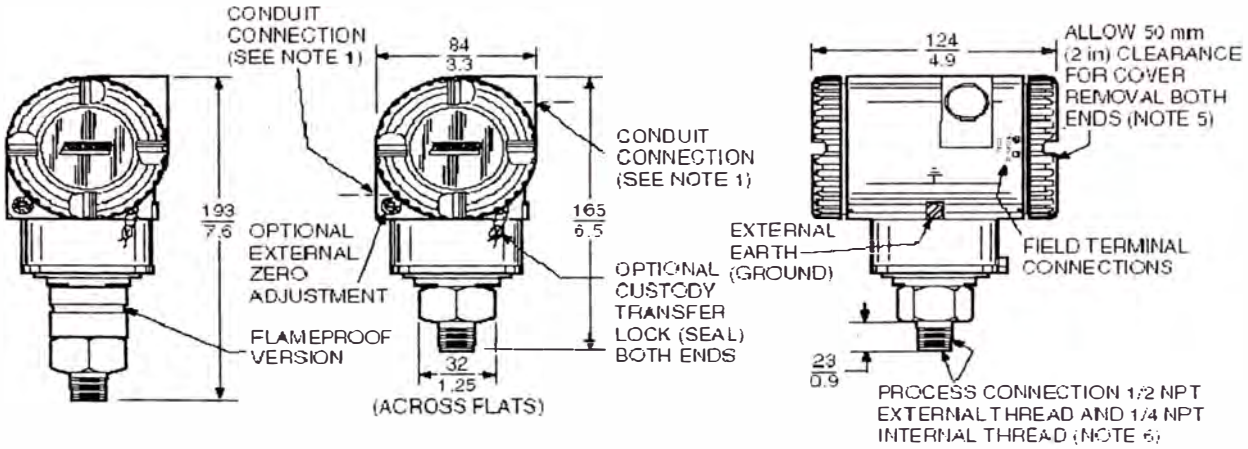


Figura 6.7: Dimensiones transmisor de presión.

6.5 Montaje y cableado de válvula de control

Las válvulas de control serán montadas en la tubería vertical de entrada a los reactores y conectadas mediante bridas ANSI 150 2" de PVC, el cableado de la señal de control hacia el posicionador será llevada mediante cable de instrumentación apantallado con shield y tierra AWG14, entubado en tubería de PVC y sobre canaleta metálica.

6.6 Montaje de los tableros de los 2500

Los tableros que alojarán las bases de módulos I/O serán de poliéster con protección NEMA 4X y serán ubicados en campo soportados en tubería metálica a una altura del suelo de 1.80 metros

Estos tableros alojarán los módulos I/O, la fuente de 24Vdc, brakers de protección eléctrica y borneras numeradas sobre riel DIN, guardando orden y fácil acceso a todas las borneras.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES, OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Observaciones

- La automatización de la planta de hipoclorito de calcio significo una reducción de personal de 70% en los 3 turnos de operación, lo que significó a una reducción de los costos de producción.

- La generación de históricos de información de planta permitió reducir los tiempos de preparación de hipoclorito de calcio en sus dos etapas, debido al mejoramiento del ingreso de cloro a los reactores y el ahorro en tiempo de análisis de PH de las muestras.

7.2 Conclusiones

- Los sistema de control distribuido para procesos con cantidad de señales inferiores a 80, están reemplazando los sistemas de control centralizado, superándolos técnicamente por su propia naturaleza y a un menor costo.

- Las plantas con niveles de automatización incipiente empiezan a demandar sistema de control de arquitectura abierta que permitan la integración total de sus islas de automatización.

- En los cuatro procesos se logró la supervisión, adquisición de datos y control de las variables de campo, en tiempo real incluso ante perdida de energía, con baterías de respaldo de hasta 4 horas de autonomía a plena carga.

7.3 Recomendaciones

- Se recomienda el mantenimiento de toda la instrumentación de campo cada 6 meses para evitar la corrosión de las tarjetas electrónicas por parte del cloro en polvo que cubre la planta.

- El sistema de control requiere que la sala de control sea un ambiente sellado al polvo de cloro y con un sistema de aire acondicionado, manteniendo la temperatura a 18 grados Celsius.

- Se recomienda mantener stock del 10% de los módulos I/O así como las partes recomendadas por los catálogos de la instrumentación de campo crítica.

- Entrenar a su personal en las acciones a tomar en caso de presentar el sistema señales de alarma de temperatura y presión en cualquier punto de la planta.

ANEXO A.1

CAPACIDAD DE AMPLIACION DEL SISTEMA

El Sistema mini DCS T800 con módulos I/O 2500 puede ser soportar una arquitectura de hasta 16 bases 2500 conectadas a un procesador T800, cada base con capacidad de 8 lazos de control locales y 16 módulos que pueden ser AI, AO, DI, DO, esto significa un mínimo de 768 señales de campo.

La Capacidad del procesador T800 es de 40 lazos PID y la integración con otros sistemas es totalmente abierta, debido a sus protocolos de comunicación abiertos y estandarizados. Un ejemplo de arquitectura distribuida es mostrada en la Figura A1.1.

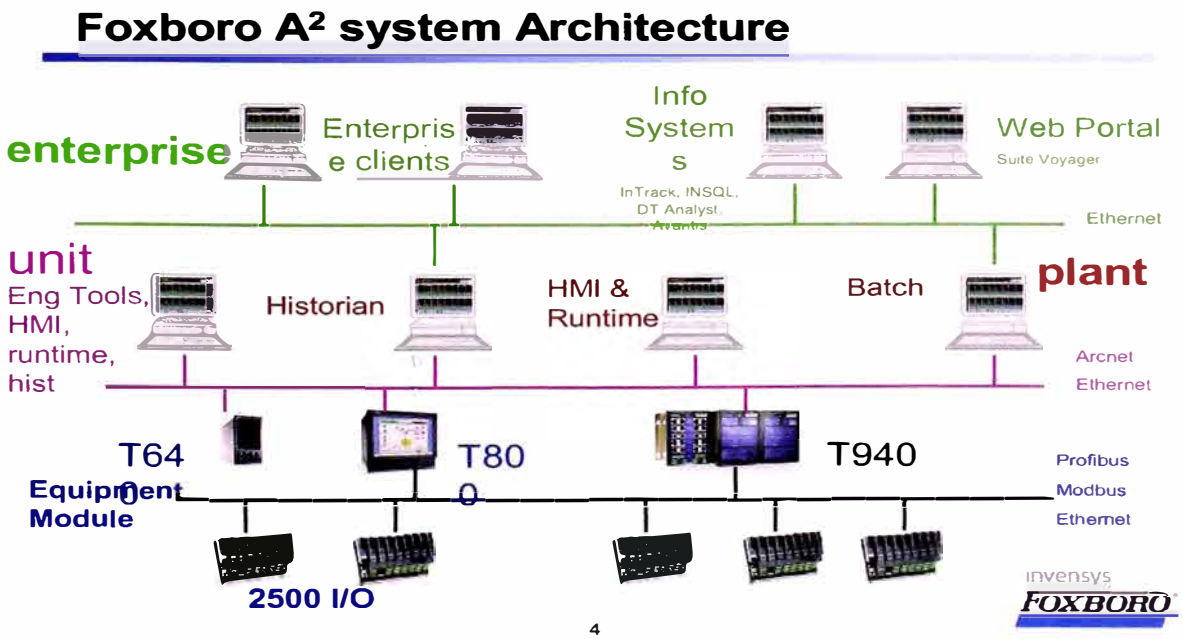


Figura A1.1: Arquitectura distribuida.

ANEXO A.2

FOTOS DE LA PLANTA, EL SISTEMA Y LA INSTRUMENTACION

A continuación presento algunas fotografías de la planta y el sistema de control implementado:

Foto A2.1: Vista de la planta desde sala de control.

Foto A2.2: Vista de los tanques de almacenamiento de licor.

Foto A2.3: Vista de los tanques reactores de hidróxido de calcio.

Foto A2.4: Tablero con el procesador T800 en sala de control.

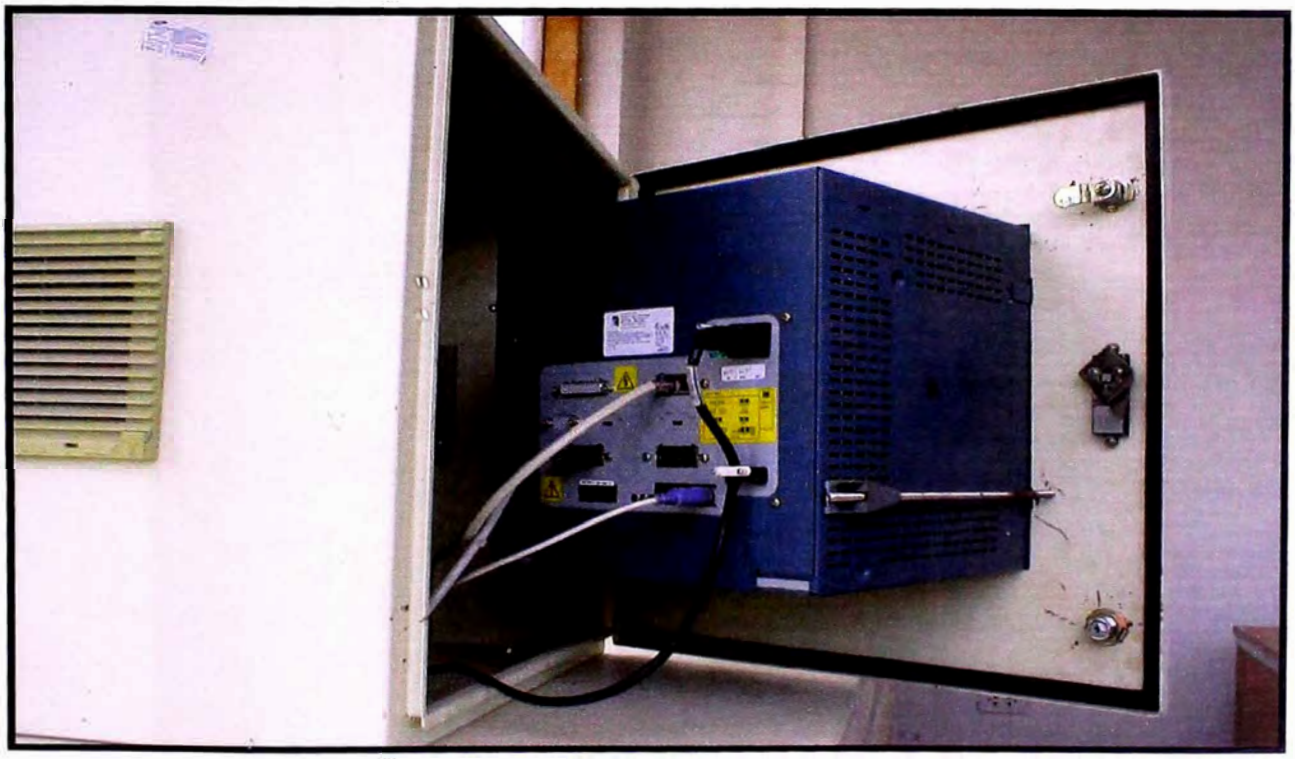


Foto A2.6: Vista posterior del procesador T800.

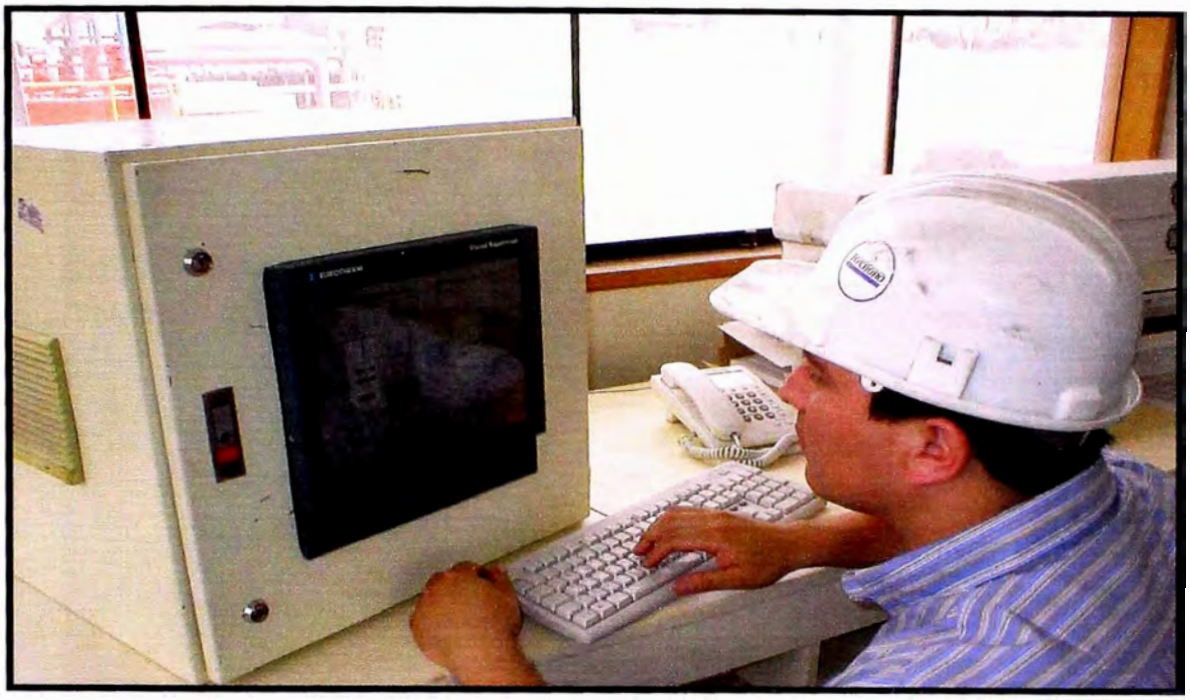


Foto A2.7: Operación de la planta.

Foto A2.8: Pantalla touchscreen.

Foto A2.9: Tableros en campo donde se alojan los módulos 2500.

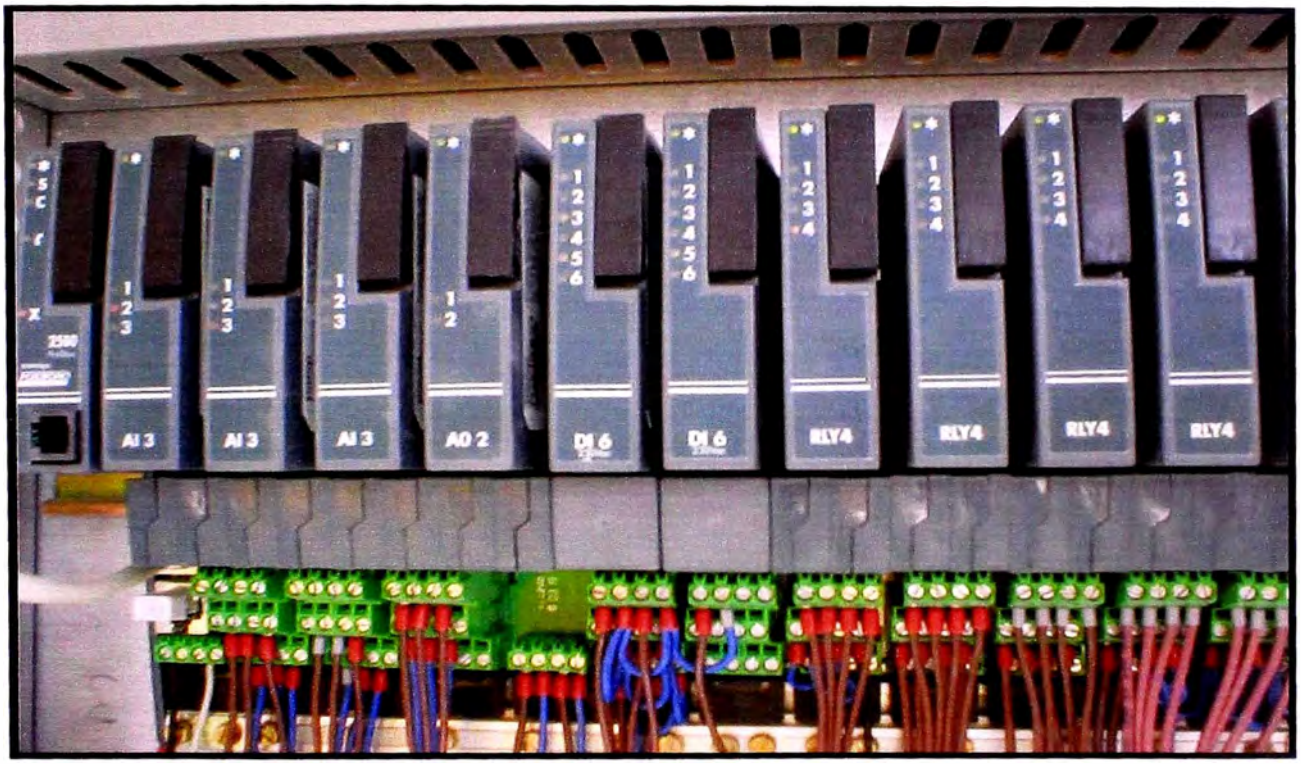


Foto A2.10: Módulos I/O en campo.

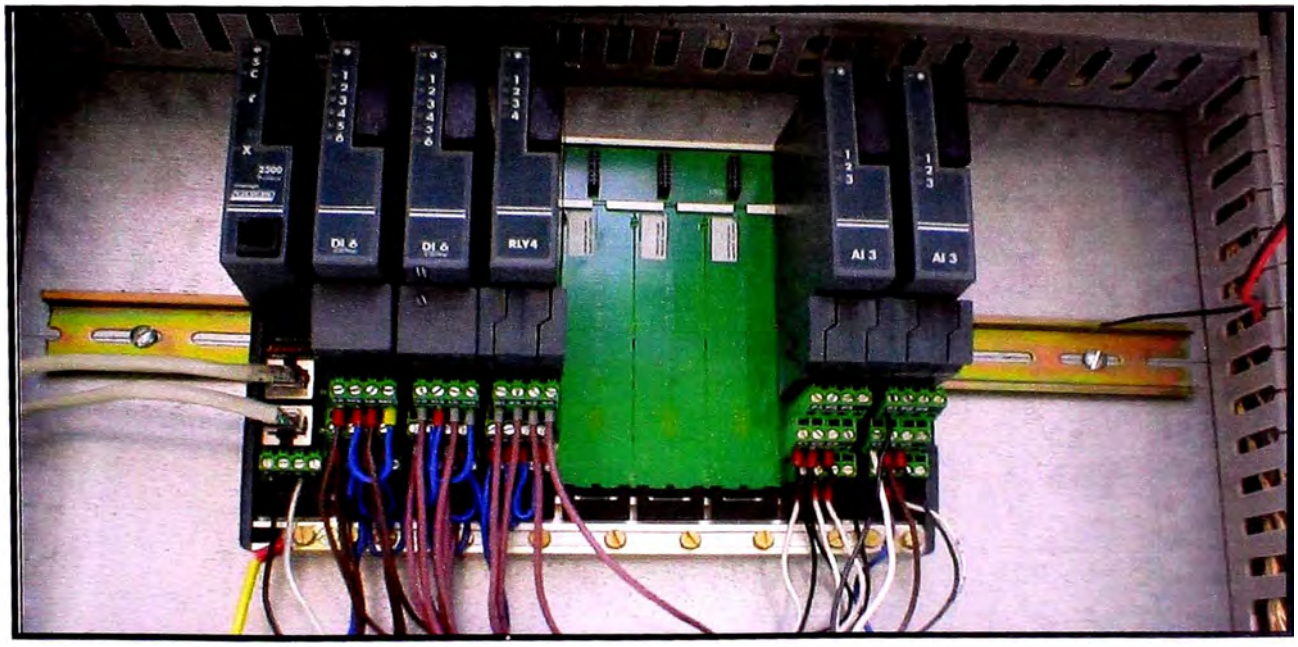


Foto A2.11: Módulos I/O en campo.

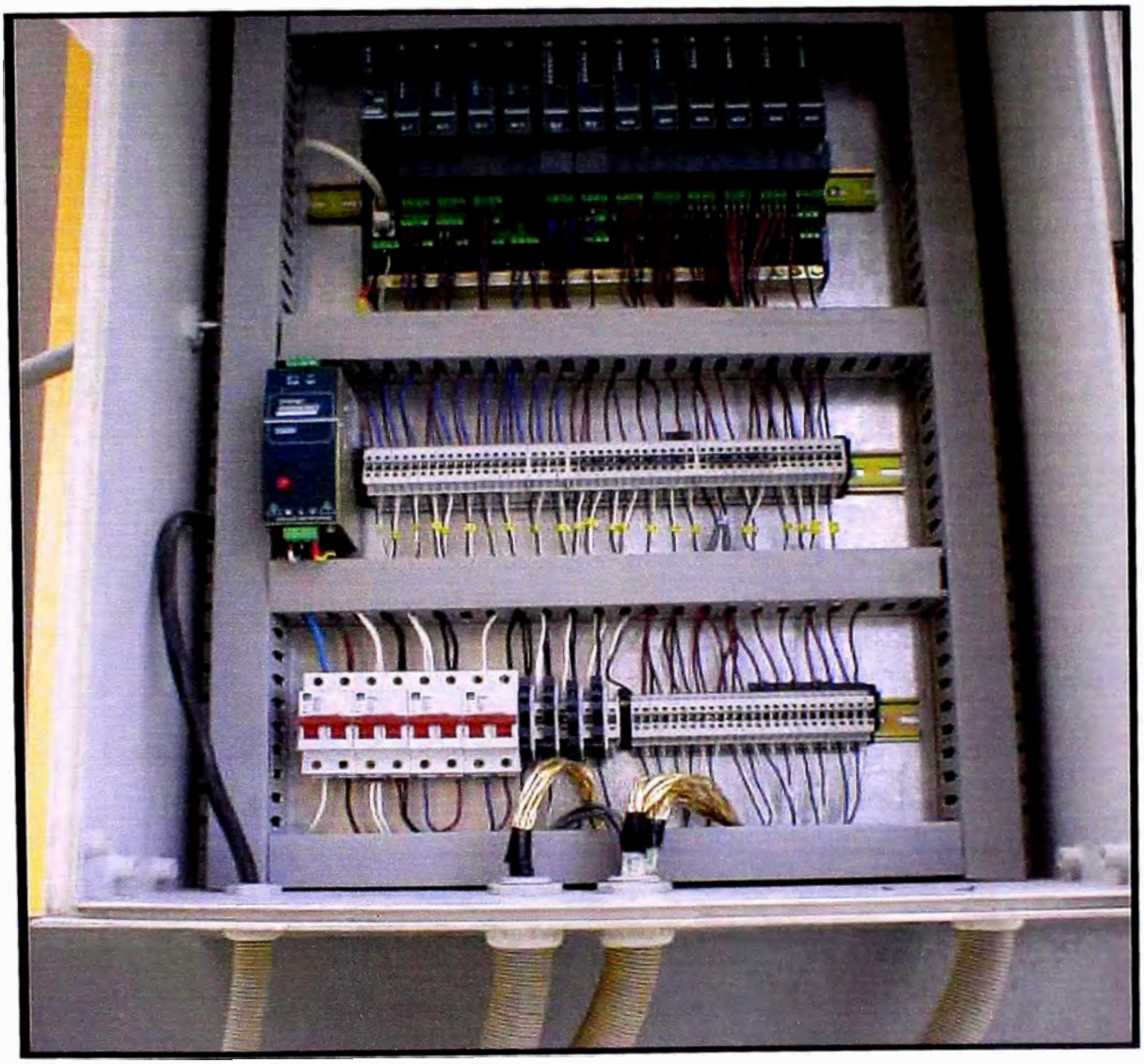


Foto A2.12: Vista interior completa del tablero.

Foto A2.13: Foto de la válvula de control de cloro.

Foto A2.14: Foto de la válvula de control de cloro.

Foto A2.15: Reemplazo de electrodo de PH.

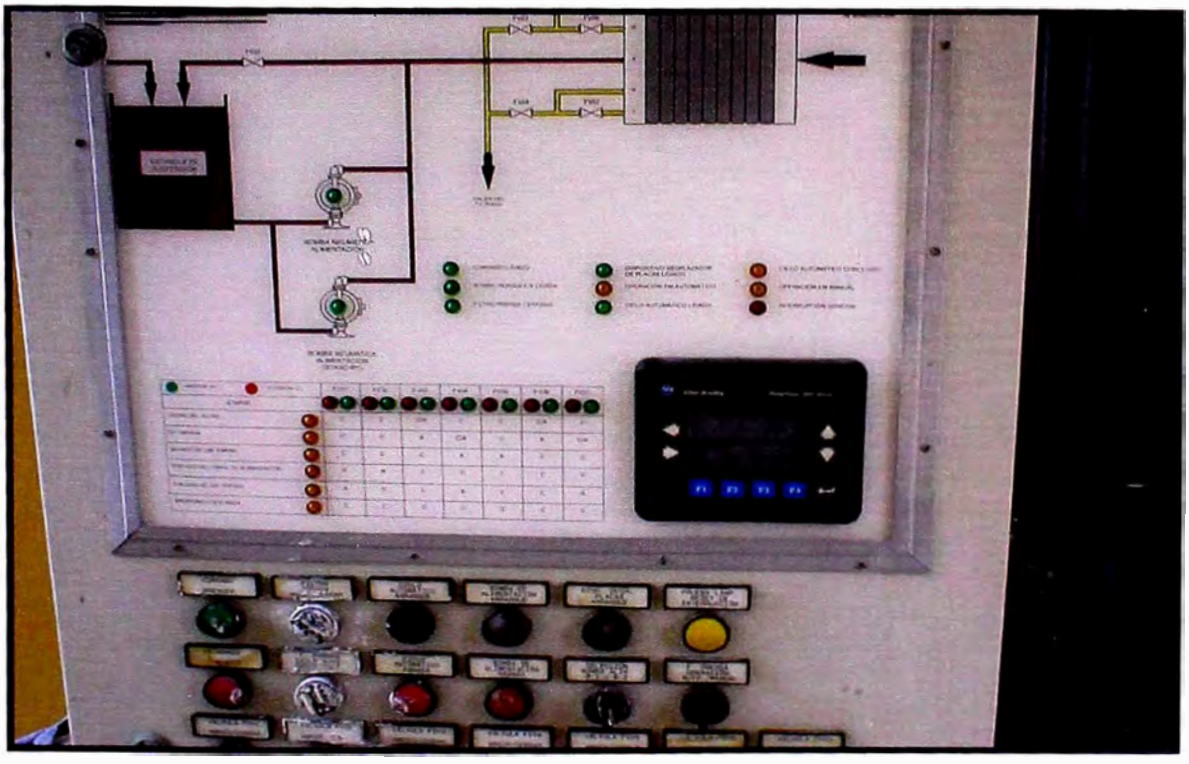


Foto A2.16: Tablero de mando del filtro prensa.

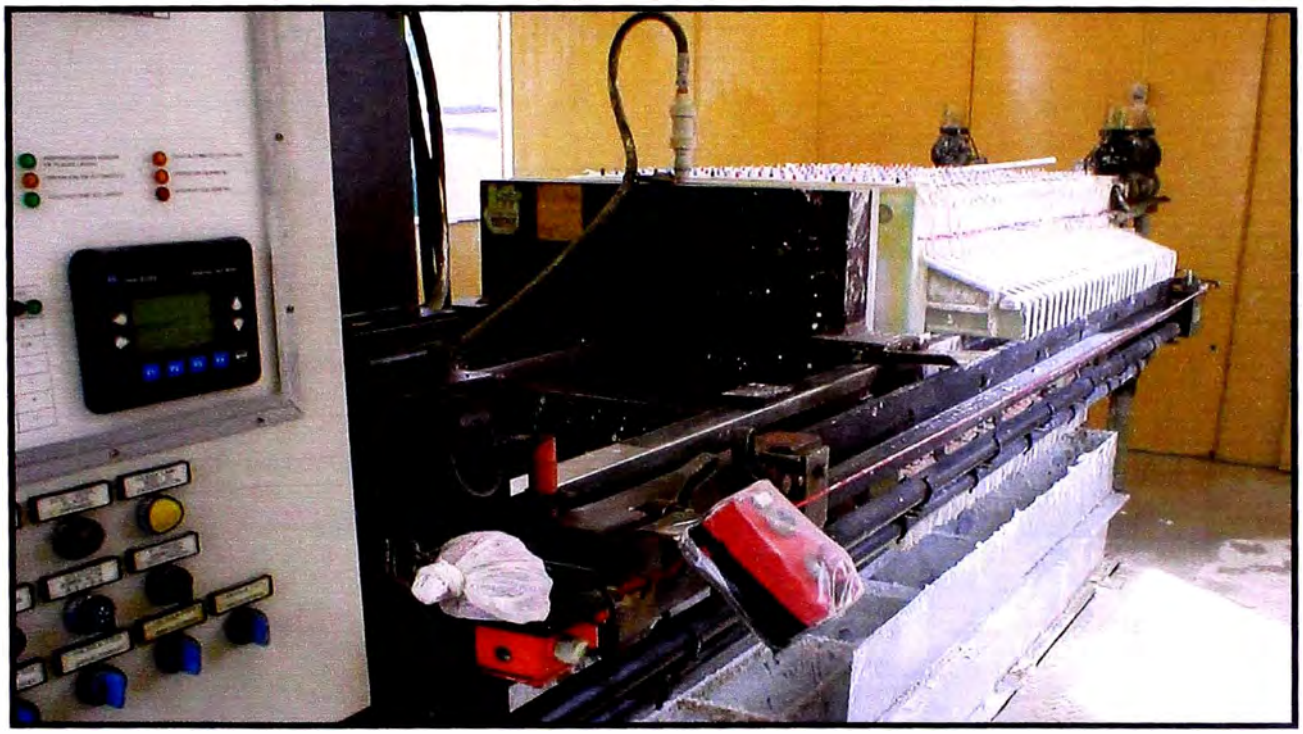


Foto A2.17: Filtro prensa.

Foto A2.18: Tableros de los filtros prensa.

ANEXO A.3

COSTO DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS

Items	Qty	Modelo	Descripción	Precio unitario	Precio Total
1.00	1	T8F-504BAB44PAPLEGF000R2B00	Foxboro A² T800 Controller	$4,474.66	$4,474.66
2.00	1	2500F-F75C10FFFLLPPPPYYY0000	FoxboroA² Multi-Loop DIN Rail PID Controller. Base con 12 módulos de entradas/salidas.	$1,607.77	$1,607.77
3.00	1	875PH-B3F-AC	Intelligent pH/ORP/ISE Analyzer. Transmisor de ph y orp.	$849.85	$849.85
4.00	1	871PH-4F1A	Analytical pH Sensors. Sensor de ph.	$440.00	$440.00
5.00	1	871PH-4R1A	Analytical ORP Sensors. Sensor de orp.	$518.00	$518.00
6.00	1	IDP10-T78B71F-M1L1	Intel Elec d/p Cell Transmitter. Transmisor de presión diferencial.	$998.50	$998.50
7.00	1	IGP10-TC1MF23	Intel Elec gauge Cell Transmitter. Transmisor de presión manométrica.	$550.00	$550.00
8.00	1	710D-39115	1/8 DIN Digital Indicador. Indicador de temperatura con retransmisión.	$207.00	$207.00
9.00	1	V741-v port	Válvula de control tipo macho teflonada.	$5,450.00	$5,450.00
10.00	1	L51-Level switch	Siwtch de nivel por horquillas vibratorias.	$650.00	$650.00
11.00	1	PR-13UBSS.012	RTD de simple elemento con 12 pulgadas de inserción.	$225.00	$225.00
12.00	1	Series 120 orifice plate 2".	Placa orificio de 2 pulgadas de monel.	$268.00	$268.00

Neto Total: $16,238.78

BIBLIOGRAFIA

- The Foxboro Company." Presentaciones técnicas DCS vs. PLC". Año 2005
- Tecsup (Manuales de programas de capacitación continua). "Mantenimiento de instalaciones y equipos eléctricos industriales". Edición 2003.
- Tecsup (Manuales de programas de capacitación continua). "Controladores lógicos programables I". Edición 2003.
- Tecsup (Manuales de programas de capacitación continua). "Controladores lógicos programables II". Edición 2003.
- Tecsup (Manuales de programas de capacitación continua). "Integración de sistemas industriales con PLC". Edición 2003.
- The Foxboro Company. " Technical Information Manual". Año 2000
- The Foxboro Company. " Master Instruction Manual". Año 2000
- Project Management Institute. "PMBOK Guide". 2000 Edition
- Creus Solé, Antonio. "Instrumentación Industrial". 1997. 6ta edición-Editorial marcombo 1997
- Szklanny, Sergio. "Sistemas Digitales de control de Procesos". 1994. 2da Edición

CAMPO

TABLERO 2500-3

MODULO 2500

2 x 3 - 18 AWG

Phmetro TK1005A		3	3	3	3	P1	TAG: AIT01 AI3 SLOT1
Phmetro TK1005B		3	3	3	3	C1	
		3	3	3	3	P2	TAG: AIT02 AI3 SLOT1
		3	3	3	3	C2	
ORP TK1005A		5	5	5	5	P3	TAG: CT01 AI3 SLOT1
		5	5	5	5	C3	

2 x 3 - 18 AWG

ORP TK1005B		5	5	5	5	P1	TAG: CT02 AI3 SLOT2
		5	5	5	5	C1	
Temperatura TK1005A		4	4	4	4	P2	TAG: TIT01 AI3 SLOT2
		4	4	4	4	C2	
Temperatura TK1005A		4	4	4	4	P3	TAG: TIT02 AI3 SLOT2
		4	4	4	4	C3	

2 x 2 - 18 AWG

Flujometro TK1005A		8	8	8	P1	TAG: FIT01 AI3 SLOT3
		8	8	8	C1	
Flujometro TK1005B		8	8	8	P2	TAG: FIT02 AI3 SLOT3
		8	8	8	C2	

2 x 2 - 18 AWG

Posicionador Flujo de cloro 1005A		7	7	7	1+	TAG: FCV01 AO2 SLOT4
		7	7	7	1-	
Posicionador Flujo de cloro 1005B		7	7	7	2+	TAG: FCV02 AO2 SLOT4
		7	7	7	2-	

2 x 6 - 18 AWG

L1

N1

Local - Remoto Bomba 1004		1	1	1	L1	TAG: LRP1004 DI6 SLOT5
		S	S		N1	
Local - Remoto Bomba 1005		2	2	2	L2	TAG: LRP1005 DI6 SLOT5
		S	S		N2	
Local - Remoto Bomba 1011		3	3	3	L3	TAG: LRP1011 DI6 SLOT5
		S	S		N3	
Local - Remoto Agitador 1005A		4	4	4	L4	TAG: LRAG1004 DI6 SLOT5
		S	S		N4	
Local - Remoto Agitador 1005		5	5	5	L5	TAG: LRAG1005 AI3 SLOT2
		S	S		N5	
Local - Remoto Agitador 1005B		6	6	6	L6	TAG: LRAG1006 AI3 SLOT2
		S	S		N6	

	DESCRIPCION
L INPUT	Llave termomagnetica INPUT linea
N INPUT	Llave termomagnetica INPUT Netro
L OUTPUT	Llave termomagnetica OUTPUT Linea
N OUTPUT	Llave termomagnetica OUTPUT Neutro

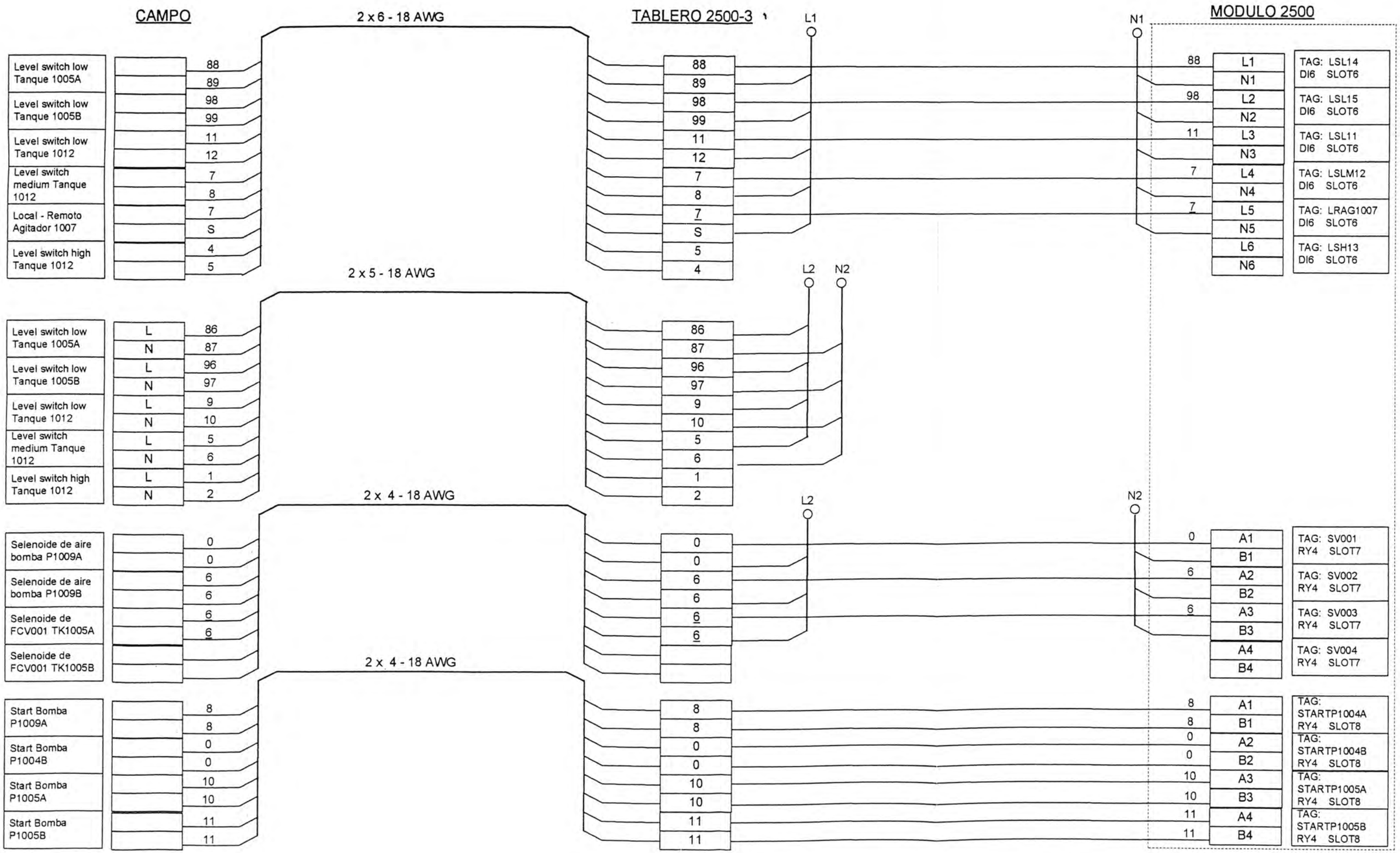
invensys

QUIMPAC S.A. - LIMA

PROYECTO: SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO DE HTH

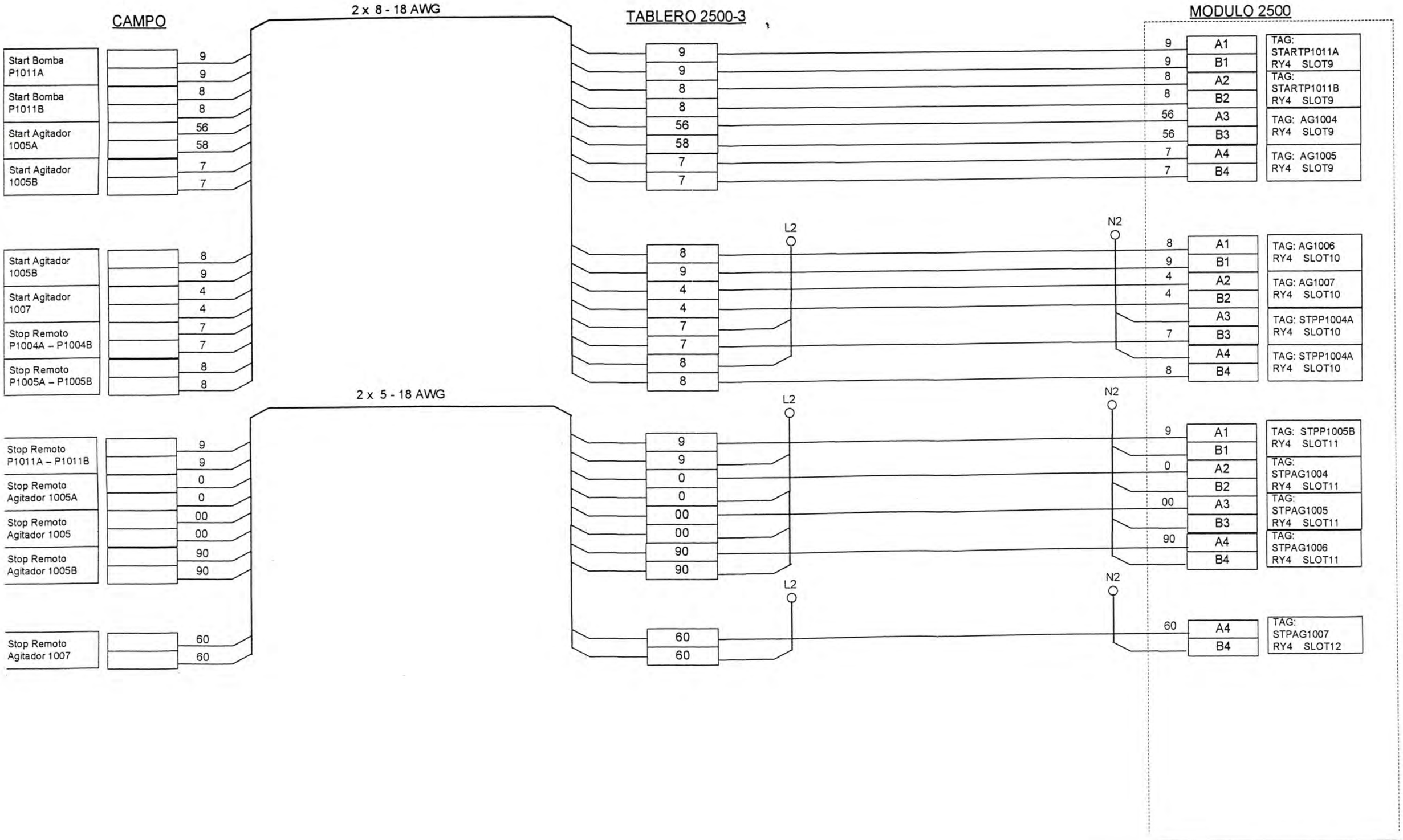
DIAGRAMAS DE CABLEADO Y CONTROL DE HTH

DISEÑADO	G.O.R.	FECHA JUNIO	Orden de Compra # :
DIBUJADO	G.O.R.	Page:	Sales Order # :
REVISADO	J.U.S.	1 / 1	Revisión # : 1



	DESCRIPCION
L INPUT	Llave termomagnetica INPUT linea
N INPUT	Llave termomagnetica INPUT Netro
L OUTPUT	Llave termomagnetica OUTPUT Linea
N OUTPUT	Llave termomagnetica OUTPUT Neutro

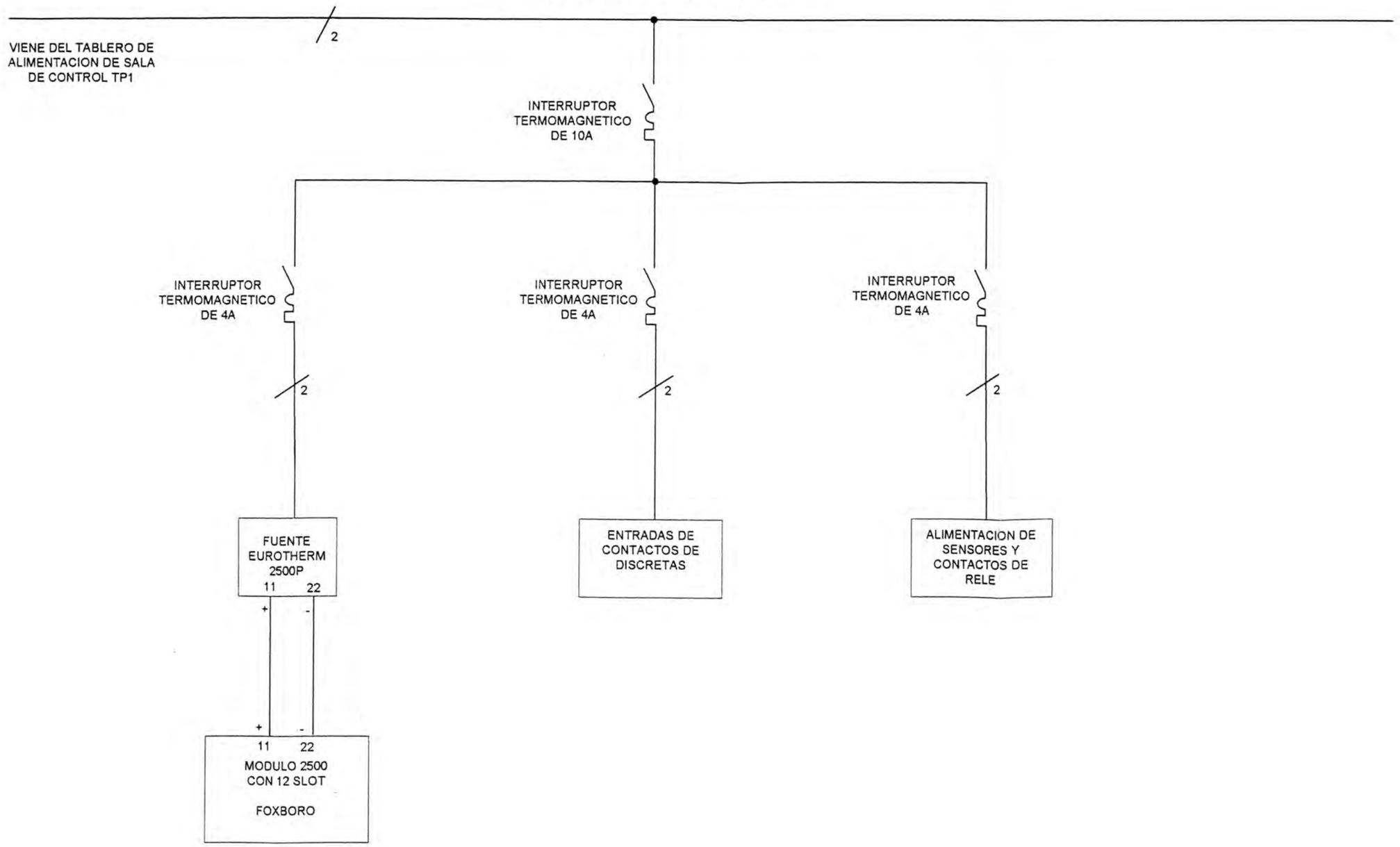
invensys		QUIMPAC S.A. - LIMA	
		PROYECTO: SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO DE HTH	
		DIAGRAMAS DE CABLEADO Y CONTROL DE HTH	
DISEÑADO	G.O.R.	FECHA: JUNIO	Orden de Compra # :
DIBUJADO	G.O.R.	Page	Sales Order # :
REVISADO	J.U.S.	1 / 2	Revisión # : 1



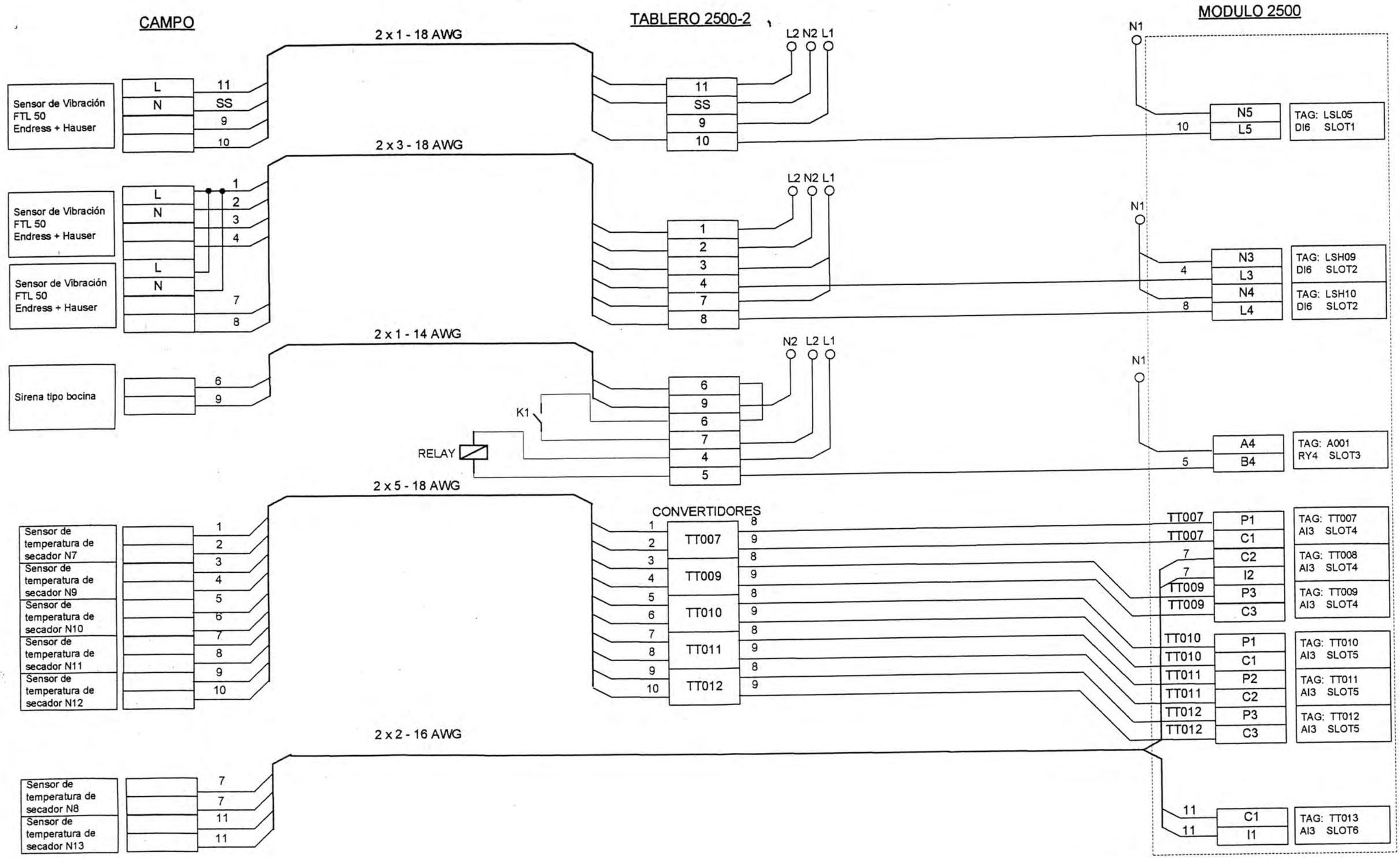
	DESCRIPCION
L 1	Entrada de contacto Discreto
N 1	Entrada de contacto Discreto
L 2	Alimentación de sensores y contactos de relé
N 2	Alimentación de sensores y contactos de relé

invensys		QUIMPAC S.A. - LIMA	
		PROYECTO: SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO DE HTH	
		DIAGRAMAS DE CABLEADO Y CONTROL DE HTH	
DISEÑADO	G.O.R.	FECHA: JUNIO	Orden de Compra #:
DIBUJADO	G.O.R.	Page:	Sales Order #:
REVISADO	J.U.S.	1 / 3	Revisión #: 1

TABLERO ELÉCTRICO DEL 2500 - 3



invensys		QUIMPAC S.A. - LIMA	
		PROYECTO: SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO DE HTH	
		DIAGRAMAS DE CABLEADO Y CONTROL DE HTH	
DISEÑADO	G.O.R.	FECHA: JUNIO	Orden de Compra # :
DIBUJADO	G.O.R.	Page: 1 / 4	Sales Order # :
REVISADO	J.U.S.		Revisión # : 1



	DESCRIPCION
L 1	Entrada de contacto Discreto
N 1	Entrada de contacto Discreto
L 2	Alimentación de sensores y contactos de relé
N 2	Alimentación de sensores y contactos de relé

invensys

QUIMPAC S.A. - LIMA

PROYECTO: SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO DE HTH

DIAGRAMAS DE CABLEADO Y CONTROL DE HTH

DISEÑADO	G.O.R.	FECHA JUNIO	Orden de Compra # :
DIBUJADO	G.O.R.	Page:	Sales Order # :
REVISADO	J.U.S.	1 / 5	Revisión # : 1

CAMPO

TABLERO 2500-2

MODULO 2500

2 x 4 - 18 AWG

Sensor de temperatura de secador N3		1
		2
		3
Sensor de temperatura de secador N4		4
		5
Sensor de temperatura de secador N5		6
		7
Sensor de temperatura de secador N6		8

1	C1	TAG: TT003 AI3 SLOT7
2	I1	
3	C2	TAG: TT004 AI3 SLOT7
4	I2	
5	C3	TAG: TT005 AI3 SLOT7
6	I3	

2 x 1 - 16 AWG

Transmisor indicador de línea de presión de Cloro	TIP	4
	TIP	4

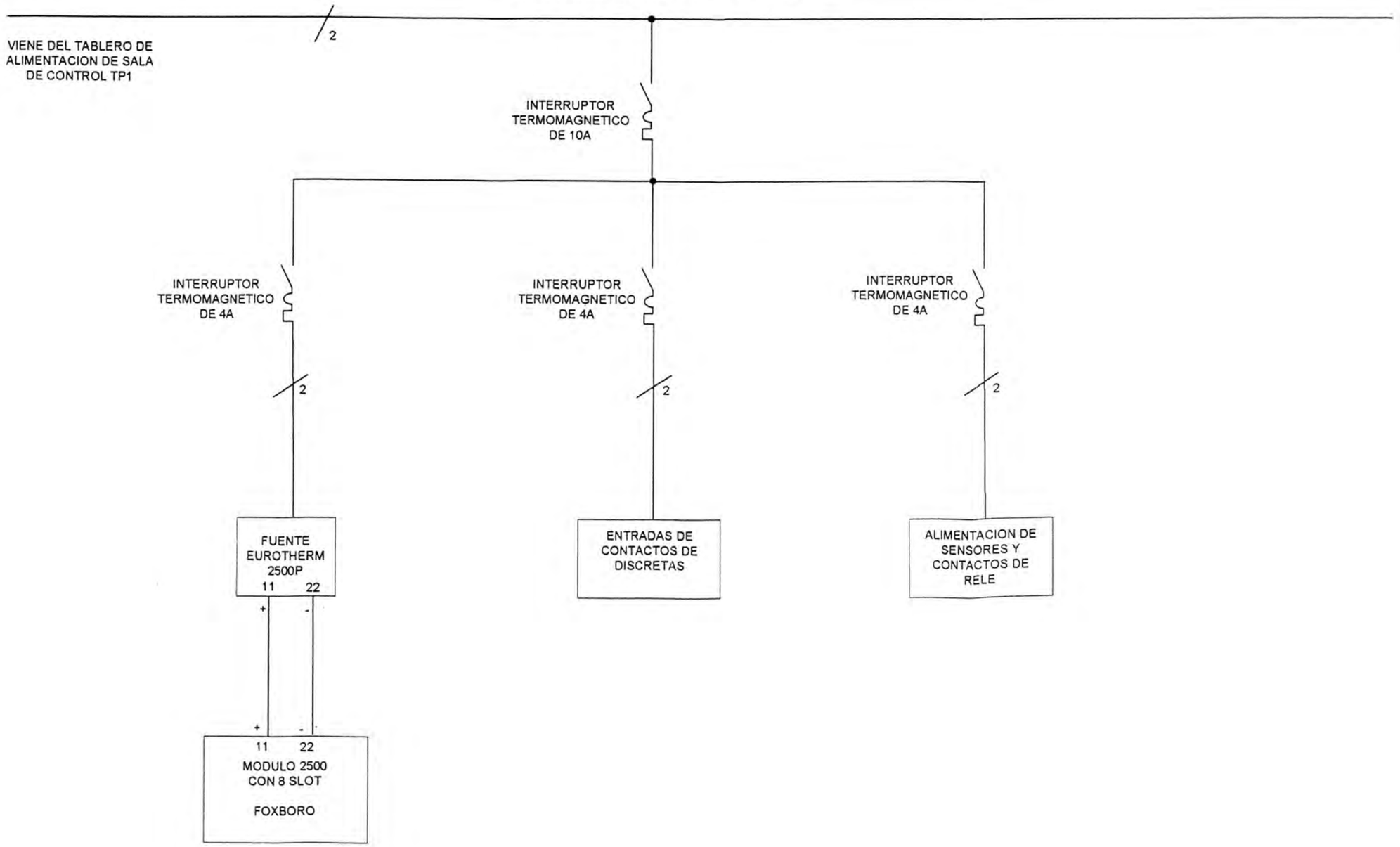
7	C1	TAG: TIP AI3 SLOT8
8	I1	
4	C3	TAG: TT006 AI3 SLOT8
4	I3	

	DESCRIPCION
L 1	Entrada de contacto Discreto
N 1	Entrada de contacto Discreto
L 2	Alimentación de sensores y contactos de relé
N 2	Alimentación de sensores y contactos de relé

invensys

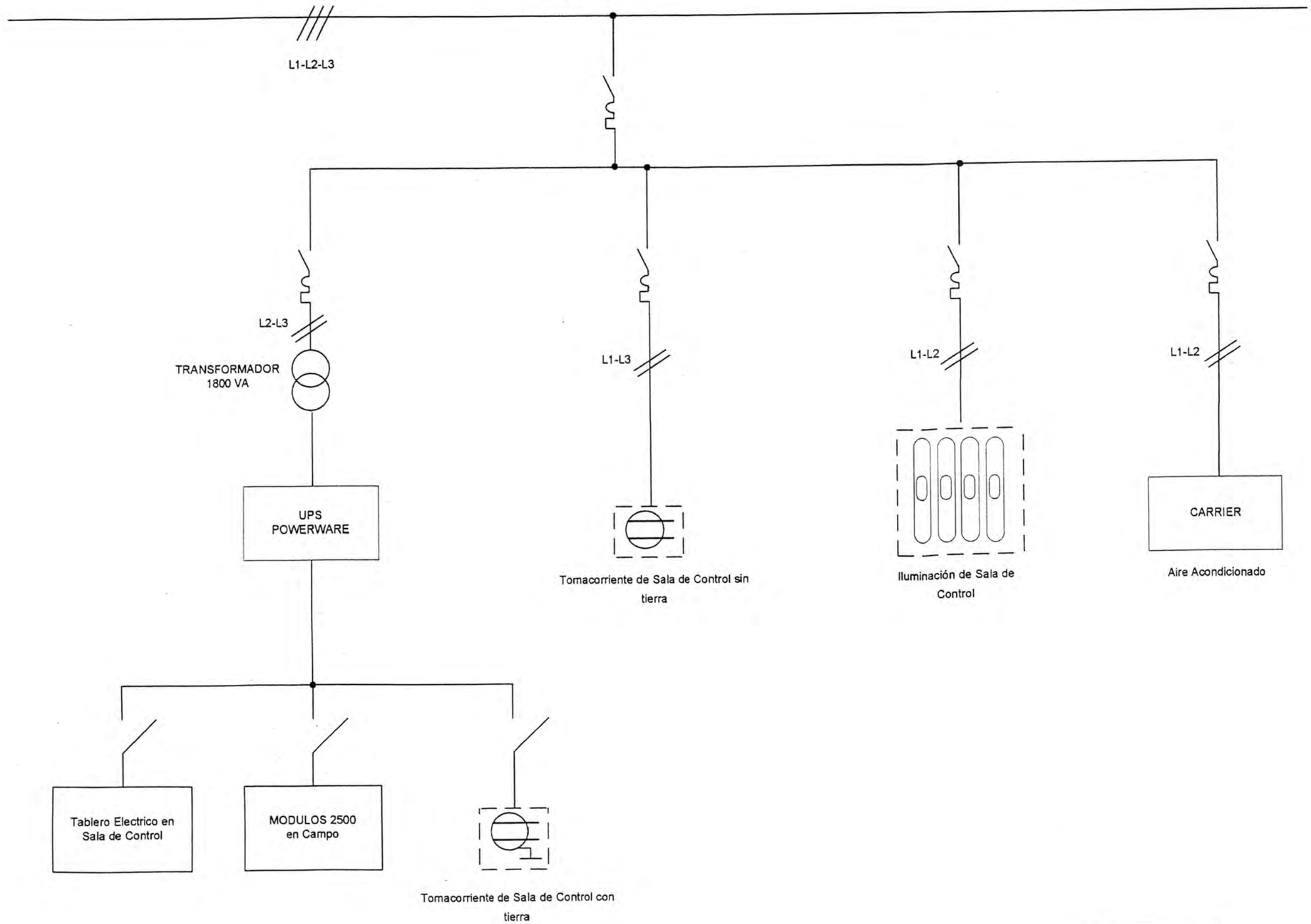
DISEÑADO	G.O.R
DIBUJADO	G.O.R

TABLERO ELÉCTRICO DEL 2500 - 2

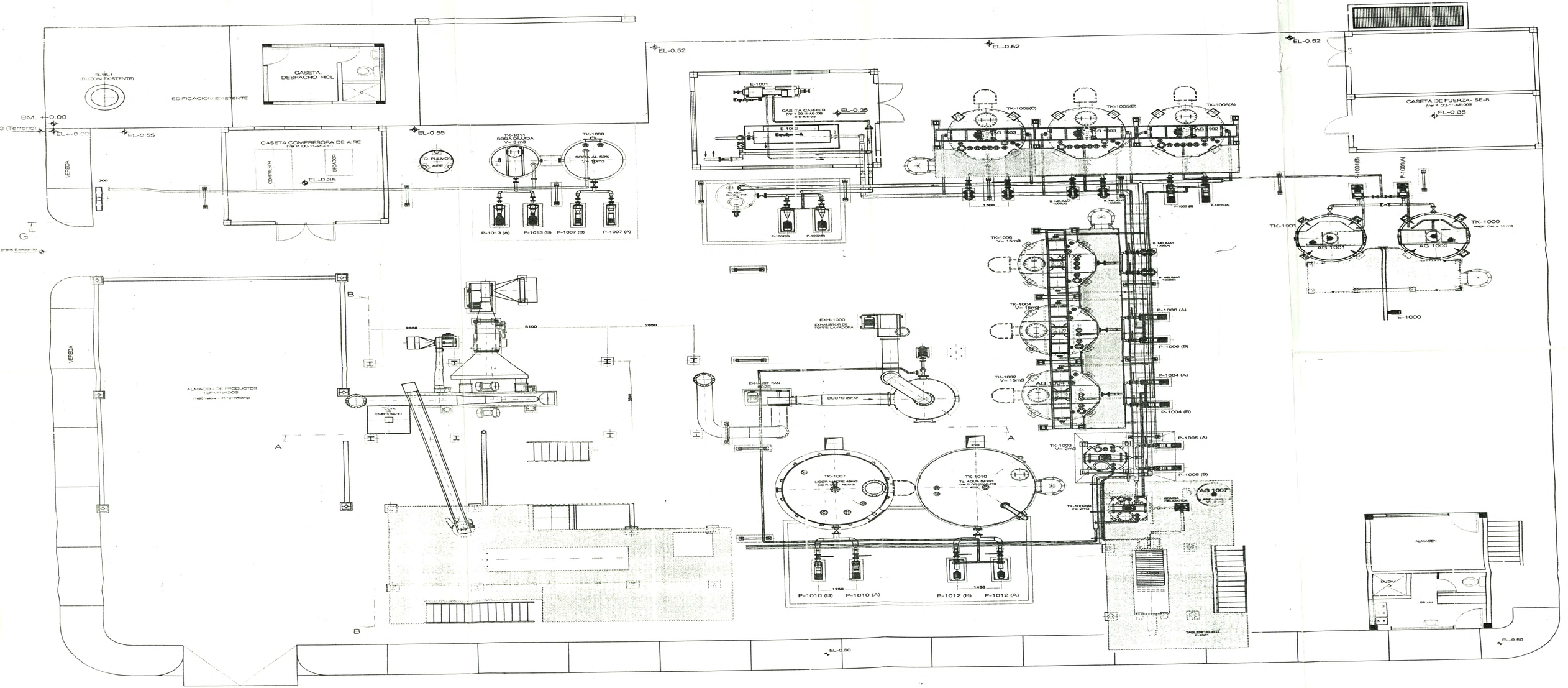


invensys		QUIMPAC S.A. - LIMA	
		PROYECTO: SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO DE HTH	
		DIAGRAMAS DE CABLEADO Y CONTROL DE HTH	
DISEÑADO	G.O.R.	FECHA: JUNIO	Orden de Compra # :
DIBUJADO	G.O.R.	Page:	Sales Order # :
REVISADO	J.U.S.	1 / 7	Revisión # : 1

TABLERO ELÉCTRICO DE SALA DE CONTROL TP1



invensys	DIAGRAMAS DE CABLEADO Y C HTH		
DISEÑADO	G.O.R.	FECHA JUNIO	Orden de Compra
DIBUJADO	G.O.R.	Page:	Sales Order #
REVISADO	J.U.S.	1 / 8	Revisión #: 1


EDIFICACION EXISTENTE
CASETA DESPACHO HCL
CASETA COMPRESORA DE AIRE
COMPRESOR
SECADOR
EL-0.55
EL-0.35
EL-0.52
EL-0.50
TK-1011
SODA DILUIDA
TK-1008
SODA AL 50%
P-1013 (A)
P-1013 (B)
P-1007 (B)
P-1007 (A)
E-1001
CASETA CARRIER
E-102
Equipo -A
TK-1006(C)
TK-1005(B)
TK-1005(A)
TK-1006
TK-1004
TK-1002
TK-1003
TK-1007
TK-1010
P-1010 (B)
P-1010 (A)
P-1012 (B)
P-1012 (A)
EXH-1000
EXHAUSTER DE TORRE LAVADORA
EXHAUST FAN
DUCTO 20" Ø
CASETA DE FUERZA- SE-8
TK-1001
TK-1000
E-1000
P-1006 (A)
P-1006 (B)
P-1004 (A)
P-1004 (B)
P-1005 (A)
P-1005 (B)
ALMACEN DE PRODUCTOS TERMINADOS
VEREDA
TOLVA DE ENSACADO
TABLERO ELECT. F-1001
ALMACEN
SECCION A-A
Esc: 1:50
SECCION B-B
Esc: 1:50