

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO

ABAD DEL CUSCO

***FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,
INFORMÁTICA Y MECÁNICA.***

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



**“DISEÑO DEL SISTEMA SCADA PARA EL ÁREA DE RECEPCIÓN,
ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE HIDROCARBUROS LÍQUIDOS
EN LA PLANTA PETROPERÚ - CUSCO.”**

**TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**ASESOR:
ING. COAQUIRA CASTILLO, ROGER**

**PRESENTADO POR:
Bach. QUISPE GONZÁLES, RONALD ALEX**

**CUSCO-PERÚ
2019**

PRESENTACIÓN

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Informática y Mecánica M.Sc. Vladimiro Canal Bravo.

Distinguidos señores miembros del jurado, al término de mi estudio profesional, de conformidad con el reglamento de Grados y Títulos de la Facultad, con el fin de optar al Título Profesional de Ingeniero Electrónico, y con la seguridad de que la investigación, servirá más adelante como referencia y aporte a futuras investigaciones sobre el tema. Pongo a vuestra consideración la presente tesis intitulada *“Diseño del sistema SCADA para el área de recepción, almacenamiento y distribución de hidrocarburos líquidos en la planta PETROPERÚ - CUSCO”*.

Atentamente.

Ronald Alex Quispe Gonzáles.

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos, por el constante apoyo durante cada etapa de mi vida. Y gracias a ellos soy lo que soy.

Ronald Alex Quispe Gonzáles.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a todas aquellas personas que directa o indirectamente apoyaron la realización y conclusión de la tesis.

Agradezco a mi familia por ser la principal motivación, por darme ánimos para seguir adelante y por confiar siempre en mí.

Agradezco a CIENCIA ACTIVA de CONCYTEC por el Programa de Pre-grado para la obtención del Título Profesional, mediante el convenio con FONDECYT, por el apoyo brindado mediante el financiamiento para la conclusión de la tesis.

Agradecimiento especial al asesor de tesis Ing. Roger Jesús Coaquira Castillo, quien contribuyó para que este trabajo pueda finalizar en el menor tiempo posible.

Al M.Sc. Limberg Walter Utrilla Mego e Ing. Alex Jhon Quispe Mescco, por compartir sus conocimientos y por dar las facilidades para la revisión del trabajo de tesis.

A mis amigos por el constante apoyo, por sus consejos, sugerencias y momentos compartidos.

INTRODUCCIÓN

La supervisión y control a distancia es un proceso que se ejecuta mediante instrumentos o herramientas computarizadas para realizar tareas sin la intervención directa de personas. Con los años se ha convertido en la solución perfecta de muchas empresas del área industrial, generando seguridad en el trabajo, calidad de producción, rapidez en la ejecución de tareas y a su vez reducción de costos.

Actualmente los procesos industriales utilizan sistemas automatizados capaces de controlar procesos desde los más simples hasta los más complejos, uno de ellos es el sistema usado para la medición y control de tanques donde se almacena diferentes líquidos en su gran mayoría los derivados del petróleo (diésel, gasolina, GLP, entre otros), que requieren un control de nivel de alta precisión especialmente cuando son utilizados dentro del proceso de producción de una empresa. Para la automatización a distancia de los procesos industriales se han implementado los sistemas SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) con el propósito de controlar, monitorear y procesar la información de los datos adquiridos en tiempo real y con un mínimo porcentaje de error.

El presente trabajo propone el diseño de un sistema de monitoreo, adquisición de datos y control a distancia para la planta de PETROPERÚ, operada por Consorcio Terminales Oiltanking-GMP.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo el diseño de un sistema de supervisión y control a distancia para la planta de almacenamiento de hidrocarburos líquidos Petroperú ubicado en Oscollopampa s/n - San Jerónimo de la ciudad del Cusco.

Actualmente la planta es operada por el Consorcio terminales GMP – OILTANKING, la planta almacena 3 tipos de combustibles: GAS 84 (gasolina), DB5 S50 (petróleo) y alcohol carburante, que luego son distribuidas entre los consumidores. En tal sentido la empresa requiere mejorar el sistema de supervisión y control en las operaciones de planta, las cuales necesitan de nuevos equipos acordes a tecnología actual, esto permitirá tener un manejo eficiente del producto y facilitar las operaciones principales de la empresa.

El presente trabajo de investigación fue desarrollado teniendo en cuenta los problemas y los requerimientos planteados por la empresa, para lo cual se utilizó las normas y estándares para el manejo de hidrocarburos y los diversos conocimientos sobre instrumentación.

También se procedió con el diseño y construcción de un prototipo, cuya utilidad es comprobar el funcionamiento del sistema SCADA.

En el primer capítulo se presenta una descripción de la situación actual de la planta de almacenamiento y despacho de hidrocarburos líquidos, planteándose así la hipótesis, objetivos y limitaciones.

En el segundo capítulo se muestra el marco teórico sobre la medición de tanques de almacenamiento, instrumentación, sistema SCADA y protocolos de comunicación que se plantean como solución en el desarrollo de este trabajo.

En el tercer capítulo se plantea los requerimientos de la empresa, además se hace la caracterización y elección de los equipos e instrumentación necesarios para el sistema SCADA y para el módulo de pruebas.

En el cuarto capítulo se diseña las arquitecturas para los niveles de automatización, además se desarrolla las filosofías de control para el sistema SCADA y finalmente se diseña las dimensiones y la arquitectura de las conexiones de los equipos para la construcción del prototipo de pruebas.

En el quinto capítulo, se realiza la comprobación del sistema SCADA, tras la programación y configuración tanto del controlador como de los demás equipos que intervienen en el sistema de supervisión y control.

Finalmente, en el último capítulo se detalla los instrumentos y equipos elegidos en el diseño del sistema SCADA, con finalidad de obtener el presupuesto total de los instrumentos y equipos del sistema SCADA. Por último se indica los costos de la construcción del prototipo de pruebas.

ABSTRACT

The objective of this paper is the design of the remote control and supervision system for the Petroperú hydrocarbon storage plant located in Ocollopampa s / n - San Jerónimo in the city of Cusco.

Currently, the plant is operated by the Consortium GMP - OILTANKING, the plant stores 3 types of fuel: GAS 84 (gasoline), DB5 S50 (petroleum) and fuel alcohol, which are then distributed to consumers. In this sense, the company needs to improve the supervision system and control in the operations of the plant, the services of the new equipment according to the current technology, this is due to an efficient management of the products and the main operations of the company.

The present research work has been developed. The problems and requirements for the company have been taken into account, for which the norms and standards for the handling of hydrocarbons and the diverse knowledge on the instrumentation are fulfilled.

It also describes the design and construction of a prototype, whose function is the operation of the SCADA system.

The first chapter presents a description of the current situation of the liquid hydrocarbon storage and dispatch plant, thus raising the hypothesis, objectives and limitations.

The second chapter shows the theoretical framework on the management of storage tanks, instrumentation, SCADA system and communication protocols that are proposed as a solution in the development of this work.

The third chapter presents the requirements of the company, as well as the characterization and choice of equipment and the necessary instrumentation for the SCADA system and for the test module.

In the fourth chapter the architectures for the levels of automation are designed, in addition to the philosophical control networks for the SCADA system and finally the dimensions and the architecture of the equipment connections for the construction of the test prototype are shown.

In the fifth chapter, the SCADA system is checked, after programming and configuration, as well as the controller and the other equipment involved in the supervision and control system.

Finally, in the last chapter the instruments and equipment chosen in the design of the SCADA system are detailed, with the purpose of obtaining the total budget of the instruments and equipment of the SCADA system. Finally, the costs of the construction of the test prototype are indicated.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|-------|
| INTRODUCCIÓN..... | v |
| RESUMEN | vi |
| ABSTRACT | viii |
| ÍNDICE DE CUADROS | xvi |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS..... | xix |
| ABREVIATURAS..... | xxiii |
| CAPÍTULO I: GENERALIDADES | 1 |
| 1.1 Ámbito Geográfico..... | 1 |
| 1.2 El Problema..... | 1 |
| 1.2.1 Descripción del problema | 1 |
| 1.2.2 Formulación de problema | 5 |
| 1.2.3 Antecedentes del problema | 6 |
| 1.3 Objetivos | 7 |
| 1.3.1 Objetivo general..... | 7 |
| 1.3.2 Objetivos específicos..... | 7 |
| 1.4 Justificación..... | 8 |
| 1.5 Alcances..... | 8 |
| 1.6 Limitaciones | 9 |
| CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO | 10 |
| 2.1 Medición de Tanques de Combustibles | 10 |
| 2.1.1 Medición estática de combustibles | 11 |

| | | |
|-------|---|----|
| 2.2 | Ingeniería del Proyecto | 16 |
| 2.3 | Elementos que Intervienen en el Control y Supervisión de Tanques de Almacenamiento..... | 17 |
| 2.3.1 | Elemento primario de medición | 17 |
| 2.3.2 | Transmisores..... | 21 |
| 2.3.3 | Elemento final de control | 22 |
| 2.3.4 | Controladores | 25 |
| 2.4 | Sistema SCADA..... | 26 |
| 2.4.1 | Prestaciones..... | 28 |
| 2.4.2 | Funcionalidad | 28 |
| 2.4.3 | Elementos..... | 30 |
| 2.5 | Redes Industriales..... | 33 |
| 2.5.1 | Introducción a las comunicaciones industriales | 33 |
| 2.5.2 | Tipos de redes industriales | 33 |
| 2.5.3 | Arquitecturas de comunicación..... | 34 |
| 2.6 | Buses de Campo..... | 36 |
| 2.6.1 | DeviceNet | 38 |
| 2.6.2 | Modbus..... | 39 |
| 2.6.3 | Profibus..... | 41 |
| 2.6.4 | Hart..... | 43 |
| 2.6.5 | Foundation Fieldbus | 44 |
| 2.7 | Áreas Clasificadas o Peligrosas | 45 |

| | |
|--|-----|
| CAPÍTULO III: REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA | 48 |
| 3.1 Levantamiento de Información y Requerimientos de los Procesos | 48 |
| 3.1.1 Elementos a controlar | 56 |
| 3.1.2 Variables a monitorear | 57 |
| 3.1.3 Clasificación de las áreas peligrosas de la planta | 58 |
| 3.2 Selección de Equipos e Instrumentos para la Solución | 59 |
| 3.2.2 Normas aplicables para la elección de equipos | 60 |
| 3.2.3 Equipos e instrumentación (sensores - actuadores) | 61 |
| 3.2.4 Selección de equipos y especificaciones para el sistema SCADA | 94 |
| 3.3 Elección de Equipos e Instrumentación del Módulo de Pruebas | 112 |
| 3.3.1 Equipos e instrumentos para la estructura | 113 |
| 3.3.2 Equipos para el tablero de control | 117 |
| CAPÍTULO IV: DISEÑO DEL SISTEMA SCADA DE LA PLANTA PETROPERÚ | 120 |
| 4.1 Terminología y Simbología de los Instrumentos | 120 |
| 4.2 Arquitectura del Sistema | 124 |
| 4.2.1 Arquitectura del nivel de campo | 124 |
| 4.2.2 Arquitectura del nivel de control y supervisión | 132 |
| 4.2.3 Arquitectura general de las redes de instrumentación, control y supervisión. | 135 |
| 4.3 Filosofía para el Funcionamiento del Sistema | 136 |
| 4.3.1 Monitorización de las variables y alarmas en cada tanque | 136 |

| | | |
|-------|--|------------|
| 4.3.2 | Lógica de control para actuadores motorizados para el llenado de tanques | 143 |
| 4.3.3 | Lógica de control de actuadores motorizados para descarga de tanques | 144 |
| 4.3.4 | Lógica de control y monitorización de variadores de velocidad | 145 |
| 4.4 | Diseño del Entorno HMI | 149 |
| 4.5 | Construcción del Módulo de Pruebas y Diseño del Sistema SCADA..... | 153 |
| 4.5.1 | Diseño y construcción de la estructura | 153 |
| 4.5.2 | Diseño de la arquitectura de las conexiones | 156 |
| 4.5.3 | Diseño y montaje de tablero de control | 161 |
| 4.6 | Diseño del Entorno HMI del Módulo de Pruebas..... | 164 |
| | CAPÍTULO V: COMPROBACIÓN DEL SISTEMA SCADA..... | 165 |
| 5.1 | Programación del Controlador..... | 165 |
| 5.1.1 | Lectura de los instrumentos de medida. | 165 |
| 5.1.2 | Lógica de control | 170 |
| 5.1.3 | Protección contra modificación o escritura de programa | 172 |
| 5.2 | Configuración de Redes..... | 172 |
| 5.2.1 | Configuración de parámetros para la comunicación | 173 |
| 5.3 | Comprobación de Sistema SCADA..... | 175 |
| | CAPÍTULO VI: PRESUPUESTO Y COSTOS | 181 |
| 6.1 | Metodología de la Propuesta Económica..... | 181 |
| 6.2 | Listado de los Equipos | 181 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 6.2.1 | Nivel de campo..... | 181 |
| 6.2.2 | Sistema de adquisición de datos | 182 |
| 6.2.3 | Sistema de comunicaciones | 183 |
| 6.2.4 | Hardware y software del SCADA..... | 183 |
| 6.3 | .Presupuesto de los Instrumentos y Equipos para el Proyecto | 184 |
| 6.4 | Costo de la Construcción del Prototipo de Pruebas | 185 |
| | CONCLUSIONES | 186 |
| | RECOMENDACIONES..... | 190 |
| | BIBLIOGRAFÍA..... | 192 |
| | ANÉXOS..... | 195 |
| | ANEXO A. | 196 |
| | ANEXO B. | 198 |
| | ANEXO C. | 200 |
| | ANEXO D. | 202 |
| | ANEXO E. | 204 |
| | ANEXO F. | 206 |
| | ANEXO G..... | 208 |
| | ANEXO H..... | 210 |
| | ANEXO I..... | 212 |
| | ANEXO J..... | 221 |
| | ANEXO K..... | 226 |

| | |
|--------------|-----|
| ANEXO L..... | 232 |
| ANEXO M..... | 237 |
| ANEXO N..... | 245 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro 2.1 - Estándares para la operación de equipos electrónicos en áreas peligrosas. | 46 |
| Cuadro 2.2 - Clasificación áreas peligrosas. | 47 |
| Cuadro 3.1 – Detalle de los tanques de almacenamiento. | 50 |
| Cuadro 3.2 – Detalle de las bombas de recepción y despacho. | 51 |
| Cuadro 3.3 - Detalle de los variadores de velocidad existentes en planta. | 51 |
| Cuadro 3.4 - Diámetro de válvulas de los tanques de almacenamiento. | 57 |
| Cuadro 3.5 - Instrumentos usados en diferentes métodos para la determinación de nivel. | 62 |
| Cuadro 3.6 - Comparativa de instrumentos de nivel. | 63 |
| Cuadro 3.7 - Cuadro de tanques de almacenamiento. | 64 |
| Cuadro 3.8 - Comparación de instrumentos para medición de nivel. | 69 |
| Cuadro 3.9 - Especificaciones Rosemount 5900S. | 70 |
| Cuadro 3.10 - Características de los instrumentos para medición de temperatura. . | 72 |
| Cuadro 3.11 - Número mínimo de sensores de temperatura. | 74 |
| Cuadro 3.12 - Posición de los sensores PT-100 en los tanques de almacenamiento. | 75 |
| Cuadro 3.13 - Tolerancia de termorresistencias PT100. | 77 |
| Cuadro 3.14 – Comparación de transmisores para la medición de temperatura. | 77 |
| Cuadro 3.15 - Especificaciones técnicas ROSEMOUNT 2240S. | 78 |
| Cuadro 3.16 - Especificaciones técnicas ROSEMOUNT 565. | 78 |
| Cuadro 3.17 – Comparación de los tipos para detección de nivel. | 81 |
| Cuadro 3.18 - Alturas de sobrellenado en los tanques de almacenamiento. | 82 |

| | |
|--|-----|
| Cuadro 3.19 – Comparación de detectores de nivel para la detección de sobrellenado. | 83 |
| Cuadro 3.20 - Especificaciones técnicas ROSEMOUNT 2120..... | 84 |
| Cuadro 3.21 - Número de válvulas por etapa..... | 85 |
| Cuadro 3.22 - Especificaciones de válvulas..... | 85 |
| Cuadro 3.23 - Comparación de actuadores motorizados | 87 |
| Cuadro 3.24 - Datos técnicos para conexión mecánica del actuador eléctrico AUMA..... | 88 |
| Cuadro 3.25 - Placa de características del motor de recepción GAS84..... | 91 |
| Cuadro 3.26 - Placa de características del motor de recepción Diésel DB5..... | 92 |
| Cuadro 3.27 - Placa de características del motor de recepción alcohol carburante. | 92 |
| Cuadro 3.28 – Especificaciones del variador de velocidad gama ATV630..... | 93 |
| Cuadro 3.29 - Especificaciones de fuente de poder intrínsecamente seguro..... | 96 |
| Cuadro 3.30 - Características generales de los cables para los buses de campo. .. | 97 |
| Cuadro 3.31 - Características físicas del cable de instrumentación | 98 |
| Cuadro 3.32 - Especificaciones del concentrador de datos Rosemount 2410..... | 99 |
| Cuadro 3.33 - Número de terminales a leer y controlar por etapas..... | 100 |
| Cuadro 3.34 - Comparación de controladores básicos..... | 102 |
| Cuadro 3.35 - Características controlador TM221 | 103 |
| Cuadro 3.36 - Comparación de controladores de gama media..... | 104 |
| Cuadro 3.37 - Características controlador M340 | 105 |
| Cuadro 3.38 – Comparación de switches industriales..... | 107 |
| Cuadro 3.39 - Comparación de terminales táctiles HMI..... | 108 |
| Cuadro 3.40 - Características del sensor de nivel tipo ultrasónico del prototipo. ... | 114 |

| | |
|---|-----|
| Cuadro 3.41 - Características del sensor de temperatura tipo termorresistencia del prototipo..... | 114 |
| Cuadro 3.42 - Características del interruptor de nivel del prototipo. | 115 |
| Cuadro 3.43 - Características de electroválvula del prototipo. | 116 |
| Cuadro 3.44 - Características de las electrobombas del prototipo. | 116 |
| Cuadro 3.45 - Características del controlador del módulo de pruebas del prototipo..... | 117 |
| Cuadro 3.46 - Características del módulo de entradas analógicas del prototipo. | 118 |
| Cuadro 3.47 - Características del panel táctil del prototipo. | 118 |
| Cuadro 3.48 - Características del variador de velocidad del prototipo..... | 119 |
| Cuadro 4.1 - Lista de instrumentos..... | 123 |
| Cuadro 4.2 - Cuadro de estados de las válvulas motorizadas para la recepción de productos..... | 143 |
| Cuadro 4.3 - Cuadro de estados de las válvulas motorizadas para la descarga de productos..... | 144 |
| Cuadro 4.4 - Detalle de las dimensiones de los reservorios..... | 154 |
| Cuadro 5.1 - Comparación de medidas en la lectura de temperatura. | 168 |
| Cuadro 5.2 - Comparación de medidas en la lectura de nivel. | 169 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Figura 1.1 - Ubicación de las operaciones dentro de la planta PETROPERÚ..... | 1 |
| Figura 1.2 - Recepción de productos vía terrestre..... | 3 |
| Figura 1.3 - Recepción de producto vía férrea. | 3 |
| Figura 1.4 -Tanques de almacenamiento de combustible. | 4 |
| Figura 1.5 - Distribución de combustible en islas de despacho. | 5 |
| Figura 2.1 - Medición manual del nivel de combustible. | 13 |
| Figura 2.2 - Sistema electrónico de medición estática..... | 15 |
| Figura 2.3 - Medidores de presión..... | 19 |
| Figura 2.4 - Sensor de nivel tipo radar..... | 20 |
| Figura 2.5 - Detector de temperatura RTD. | 21 |
| Figura 2.6- Pirámide del sistema SCADA..... | 28 |
| Figura 2.7 - Esquema de los elementos de un Sistema SCADA | 30 |
| Figura 2.8 – Comunicaciones de la MTU y RTU..... | 31 |
| Figura 2.9 - Conexión de elementos de un sistema SCADA. | 32 |
| Figura 2.10 - Esquema de conexiones de la RTU. | 32 |
| Figura 2.11 - Sistema de cableado tradicional..... | 34 |
| Figura 2.12 - Sistema cableado con red de supervisión. | 35 |
| Figura 2.13 - Sistema de control en red NCS. | 35 |
| Figura 2.14 - Fieldbus..... | 35 |
| Figura 2.15 - Estructura general de una red DeviceNet..... | 39 |
| Figura 3.1 - Servicios que presta Consorcio terminales GMP – Oiltanking. | 48 |
| Figura 3.2 - Áreas de trabajo de la planta PETROPERÚ. | 49 |
| Figura 3.3 - Válvulas de control a la entrada y salida del tanque. | 52 |
| Figura 3.4 - Diagrama de líneas de recepción..... | 53 |

| | |
|--|-----|
| Figura 3.5 - Variadores de velocidad de las bombas de despacho. | 54 |
| Figura 3.6 - Diagrama de líneas de despacho. | 55 |
| Figura 3.7 - Patio de bombas para la recepción y distribución de producto. | 55 |
| Figura 3.8 - Oficinas administrativas de la planta PETROPERÚ | 56 |
| Figura 3.9 - División de áreas clasificadas para un tanque de almacenamiento de combustible..... | 58 |
| Figura 3.10 - Radares con haz ancho (antena pequeña) y haz estrecho (antena grande). | 65 |
| Figura 3.11 - Acceso a la sonda manual en un tubo tranquilizador. | 66 |
| Figura 3.12 - Instrumentos de temperatura y su rango de medida. | 71 |
| Figura 3.13 - Curvas características de los RTD's..... | 72 |
| Figura 3.14 – Distancias entre los elementos de punto de temperatura..... | 73 |
| Figura 3.15 - Esquema de instalación de la sonda multipunto. | 75 |
| Figura 3.16 - Cableado de las interfaces RS 485. | 100 |
| Figura 4.1 - Puerto de conexión 4-20mA del transmisor de temperatura. | 125 |
| Figura 4.2 - Distancias aproximadas a recorrer por el bus de instrumentación. | 126 |
| Figura 4.3 - Arquitectura de conexiones para 4 tanques con un concentrador de señal. | 126 |
| Figura 4.4 - Arquitectura de conexiones para concentrador de datos – RTU..... | 130 |
| Figura 4.5 - Arquitectura de las válvulas motorizadas - RTU..... | 131 |
| Figura 4.6 - Arquitectura de los variadores de velocidad - RTU. | 132 |
| Figura 4.7 - Arquitectura de la red de control y supervisión..... | 134 |
| Figura 4.8 – Arquitectura general de las redes para el sistema SCADA. | 135 |
| Figura 4.9 - Diagrama de flujo para lectura de variables y visualización de alarmas en cada tanque. | 142 |

| | |
|--|-----|
| Figura 4.10 - Diagrama de flujo para detección del alineamiento en la etapa de recepción..... | 143 |
| Figura 4.11 - Diagrama de flujo para detección del alineamiento en la etapa de despacho..... | 145 |
| Figura 4.12 - Diagrama de flujo para los variadores de velocidad en la etapa de recepción..... | 148 |
| Figura 4.13 - Diagrama de flujo para los variadores de velocidad en la etapa de despacho..... | 149 |
| Figura 4.14 - Secuencia de las pantallas del sistema SCADA. | 153 |
| Figura 4.15 – Diagrama P&ID del prototipo de pruebas. | 155 |
| Figura 4.16 - Prototipo de pruebas. | 156 |
| Figura 4.17 - Características de la laptop. | 160 |
| Figura 4.18 - Arquitectura del sistema SCADA aplicado al módulo de pruebas. | 161 |
| Figura 4.19 - Vista frontal del tablero de control. | 163 |
| Figura 4.20 - Interior del tablero de control..... | 164 |
| Figura 5.1 - Configuración de entradas analógicas. | 165 |
| Figura 5.2 - Cálculo de valores de configuración para la medición de nivel. | 167 |
| Figura 5.3 - Operación de escritura de los datos en memorias accesibles..... | 167 |
| Figura 5.4 - Muestra tomada del valor de temperatura (HMI-multímetro Fluke). | 168 |
| Figura 5.5 - Muestra tomada del valor de nivel (HMI-cinta métrica) | 169 |
| Figura 5.6 – Detección del modo automático. | 170 |
| Figura 5.7 - Detección de límites de nivel - órdenes de parada para las bombas. . | 171 |
| Figura 5.8 - Comprobación del alineamiento de válvulas. | 171 |
| Figura 5.9 - Escritura en el arreglo de alarmas..... | 172 |
| Figura 5.10 - Habilitación de protección contra escritura..... | 172 |

| | |
|--|-----|
| Figura 5.11 - Configuración de comunicación MODBUS para los variadores de velocidad | 173 |
| Figura 5.12 - Acceso directo a la aplicación. | 175 |
| Figura 5.13 - Pantallas de inicio del sistema de la laptop y del panel táctil. | 176 |
| Figura 5.14 - Ventanas con supervisión de los tanques y control en las etapas de recepción y despacho (Sistema HMI de la laptop)..... | 176 |
| Figura 5.15 - Ventanas de las etapas de recepción, despacho con supervisión individual del almacenamiento de los tanques (Panel táctil)..... | 177 |
| Figura 5.16 - Ventanas emergentes con aviso de emergencia..... | 177 |
| Figura 5.17 - Generación del informe de reportes, alarmas y eventos. | 178 |
| Figura 5.18 - Ventana de tendencias o históricos de nivel para la laptop y el panel táctil. | 178 |
| Figura 5.19 - Ventana de tendencias o históricos de temperatura para la laptop y el panel táctil. | 179 |
| Figura 5.20 - Visualización de datos de los históricos en Excel. | 179 |
| Figura 5.21 - Protección contra uso de personas no autorizadas, con niveles de seguridad..... | 180 |
| Figura 6.1 - Costo total de los instrumentos y equipos | 184 |
| Figura 6.2 - Costos para la construcción de prototipo de pruebas..... | 185 |

ABREVIATURAS

| | |
|----------|---|
| %IW | Dirección de la Entrada Analógica tipo Palabra. |
| %MW | Memoria interna tipo palabra. |
| °C | Grados Centígrados. |
| °F | Grados Fahrenheit. |
| ANSI | Instituto Nacional Estadounidense de Estándares. |
| AOPS | Sistema Automático de Prevención de Sobrellenado. |
| API | Instituto Americano del Petróleo. |
| ASME | Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos. |
| ASTM | Sociedad Americana para la Prueba de Materiales. |
| ATEX | Atmosferas Explosivas. |
| ATG | Medición Automática de Tanques. |
| BAR | Unidad de presión. |
| CIM | Fabricación Integrada por Ordenador. |
| Cu | Cobre. |
| DB5- s50 | Petróleo Diésel S50. |
| DC | Corriente Directa. |
| DPN | Protocolo de red Distribuido. |
| EMC | Compatibilidad Electromagnética. |
| FEM | Fuerza Electro-Motriz. |
| FMCW | Onda Continua de Frecuencia Modulada. |
| GAS84 | Gasolina 84. |
| GPM | Galones por minuto. |
| HMI | Interfaz Hombre Maquina. |
| HP | Caballos fuerza (unidad de potencia). |

| | |
|------------|--|
| Hz | Herzt |
| IEC | Comisión Electrotécnica Internacional. |
| IEEE | Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. |
| INDECI | Instituto Nacional de Defensa Civil. |
| IP | Grado de Protección Internacional. |
| IP | Protocolo de Internet. |
| ISA | Sociedad Americana de Instrumentacion. |
| KW | KiloWatts (unidad de potencia). |
| LI | Indicador de Nivel. |
| LSHH | Interruptor de Nivel muy Alto. |
| LT | Transmisor de nivel. |
| Mbps | Mega bits por segundo |
| MPMS | Manual Estandarizado para la medición de Petróleo. |
| MTU | Unidad Terminal Maestra. |
| MV | Válvula Motorizada. |
| NEMA | Asociación de Nacional de Fabricantes Eléctricos. |
| Ni | Níquel. |
| NIM | Instituto Nacional de metrología (Holanda) |
| NIST | Instituto Nacional de Patrones y Tecnología. |
| NPFA | Asociación Nacional de Protección contra el Fuego. |
| NTP | Notas Técnicas de Prevención. |
| OEFA | Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. |
| OIML | Organización Internacional de Metrología Legal. |
| OSINERGMIN | Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. |
| P&ID | Diagrama de Instrumentación y –tuberías. |

| | |
|-------|--|
| PC | Computadora Personal. |
| PLC | Controlador Lógico Programable. |
| PSI | Pounds-force per Square Inch. |
| Pt | Platino. |
| PTB | Instituto Nacional de Metrología (Alemania). |
| RTD | Detector de Temperatura Resistivo. |
| RTU | Unidad Terminal Remota. |
| SCADA | Supervisión Control y Adquisición de Datos. |
| SIM | Sistema Interamericano de Metrología. |
| TCP | Protocolo de Control de Transmisión. |
| TI | Indicador de Temperatura. |
| TQ | Abreviatura de Tanque |
| TT | Transmisor de Temperatura. |
| VAC | Voltaje de Corriente Alterna |
| VDC | Voltaje de Corriente Directa |
| XV | Variador de Velocidad. |

CAPÍTULO I:

GENERALIDADES

1.1 Ámbito Geográfico

La planta de almacenamiento de hidrocarburos líquidos PETROPERÚ está ubicado en Oscollopampa s/n - San Jerónimo, dentro de la planta existen tres operaciones importantes las cuales son: recepción a través de ductos, almacenamiento en tanques y distribución (despacho) a través de un sistema de descarga automatizado.



*Figura 1.1 - Ubicación de las operaciones dentro de la planta PETROPERÚ.
Fuente: Elaboración propia.*

1.2 El Problema

1.2.1 Descripción del problema

La planta de almacenamiento y distribución de hidrocarburos de PETROPERÚ-Cusco actualmente es operada por el Consorcio Terminales OILTANKING-GMP. La planta cuenta con 12 tanques de almacenamiento de hidrocarburos líquidos, de los cuales 10 tanques son dedicados al almacenamiento de petróleo (DIESEL DB5), 1 tanque para el almacenamiento de gasolina (GAS 84) y por último 1 tanque para almacenamiento de alcohol carburante.

En planta existen tres operaciones bien definidas (recepción, almacenamiento y despacho del producto). A continuación se describen y se hacen observaciones de cada una de ellas:

- La **recepción** de producto se efectúa por vía terrestre, los medios por los cuales llega el producto pueden ser: camiones cisterna o vagones tanque. Los sistemas de recepción están compuestos por bombas y tuberías independientes por producto, además como control final existe un análisis de la sustancia en laboratorio. La cantidad de producto recibido por cada camión o vagón tanque se obtiene por:
 - Medida en los tanques de recepción
 - Medida en cisterna por cada descarga.

Durante la recepción se sigue diferentes procedimientos:

- El operario realiza las siguientes operaciones: medición de nivel de producto y temperatura, registro de datos en formato preestablecido por la empresa, comunicar los detalles al supervisor de terminal, encendido y apagado de electrobombas, acoplamiento de conductos, apertura y cierre de válvulas. Se pudo observar que el encendido de motores, apertura y cierre de válvulas es de manera presencial y manual, y éstas se encuentran a una gran distancia de la sala de operaciones, existe una pérdida de tiempo considerable para completar el proceso de recepción.
- El supervisor de planta verifica que el procedimiento se cumpla y realiza observaciones en caso existieran, también supervisa el trabajo y otorga autorizaciones al operador. Muchas veces el supervisor de planta no puede observar los procesos directamente

por el cumplimiento de otras tareas o por las distancias existentes entre los procesos.



Figura 1.2-Recepción de productos vía terrestre.

Fuente: Propia



Figura 1.3-Recepción de producto vía férrea.

Fuente: Propia

- Las operaciones de **almacenamiento** se realizan en: tanques con cubierta flotante (para almacenamiento de gasolina y alcohol carburante) y tanques de techo fijo (para almacenamiento de petróleo). Los tanques y sistemas de tuberías son totalmente independientes por producto, las válvulas del tanque están permanentemente cerradas (candado) cuando no están en servicio. Al término de la recepción y antes de ser puesto en despacho existe un análisis de laboratorio para la obtención de valores que ayudan a la obtención del volumen real de cada tanque.

El operador realiza mediciones de los parámetros más importantes (temperatura y nivel) de manera manual y presencial, corriendo el riesgo de sufrir accidentes al momento de ascender y/o descender del tanque. Las mediciones realizadas tienden a ser erróneas ya sea por error humano o instrumental, estas mediciones son entregadas al auxiliar de operaciones para su ingreso manual al sistema FULL DANTAS (encargado de hacer el cálculo de inventariado al final del día).

Se observó que el sistema FULL DANTAS no cuenta con un sistema de alarma que ayude a prevenir un rebalse de combustible, por otro lado los datos no se obtienen de manera directa e inmediata.

En el caso que el jefe de terminales o el supervisor encargado necesite la medida de algún parámetro de un tanque determinado lo solicita mediante radio o personalmente a un operador, el operador a su vez realiza lo encomendado de forma presencial. Generalmente para obtener la medida de un parámetro o el estado de un tanque se demora un tiempo considerable.



*Figura 1.4 -Tanques de almacenamiento de combustible.
Fuente: Elaboración propia.*

- El **despacho** se realiza de acuerdo a las instrucciones de las empresas mayoristas, propietarios de los productos, supervisado por OSINERGMIN. Existe un sistema de bombas y tuberías de despacho independiente por cada producto, con un sistema de despacho y medición automática controlada por el sistema Danload 6000, este sistema es el encargado de encender las bombas y de medir la cantidad de producto que se va a despachar, además de introducir agregados (aditivos) al producto.

El trabajo del operador es abrir y cerrar las válvulas que encaminan el producto desde los tanques hacia las islas de despacho, esto toma mucho tiempo debido a la distancia entre válvulas.



*Figura 1.5 - Distribución de combustible en islas de despacho.
Fuente: Elaboración Propia.*

El jefe de terminales y/o los supervisores, cada uno desde sus puestos de trabajo necesitan tener conocimiento del estado de las operaciones en todo momento para así actuar frente a cualquier evento que se presente. Además es necesario que estos datos estén centralizados con disposición inmediata y ubicada en la sala de operaciones.

El operario al igual que los supervisores no cuenta con una acción inmediata sobre las operaciones, específicamente sobre las válvulas y electrobombas debido a las distancias entre estas.

1.2.2 Formulación de problema

El control manual, la incertidumbre en la medición de los parámetros del tanque y la falta de capacidad para supervisar y controlar desde una sala de control el estado de las operaciones que ocurren en planta, conlleva a retrasos, pérdidas de producto y errores en las actividades diarias de la empresa. Dicho de otra manera reduce la productividad y eficiencia de la empresa, esto se podría mejorar aplicando una solución tecnológica que otorgue el control y supervisión a distancia.

1.2.3 Antecedentes del problema

En la tesis: “DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA LA LECTURA Y MONITOREO EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE ACPM UTILIZANDO PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN MODBUS PARA LA EMPRESA ELECTRIFICADORA SOPESA SA ESP”, desarrollado por ALEJANDRO HERNÁNDEZ SÁNCHEZ, diseña el prototipo de un sistema electrónico que sea capaz de leer el nivel de combustible almacenado en varios tanques de almacenamiento, también diseña una red de comunicación utilizando el protocolo MODBUS (sugerido por la empresa) y monitorearlos de manera remota.

En la tesis: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN INDUSTRIAL EN ORDENADORES Y CELULARES PARA UNA LÍNEA DE ENVASADO DE CERVEZA”, desarrollado por MELVIN ACUÑA CHÁVEZ, diseña e implementa un sistema de supervisión (en el software Wincc Flexible 2008 de la empresa Siemens) y se establece una red de comunicación industrial y que en conjunto forman un sistema SCADA, para una línea de envasado de cerveza. Adicionalmente se diseñó una librería animada de las diferentes máquinas como también herramientas para cálculos estadísticos adicionales.

En el tema de tesis: “IMPLEMENTACIÓN DE SCADA EN EL ÁREA DE MERRILL CROWE Y FUNDICIÓN”, elaborado por CERF VALDIVIA, LUIS CARLOS, da a conocer la implementación del sistema SCADA. Se describe el proceso de implementación de este sistema SCADA cuyo objetivo principal fue mejorar el control operacional de la planta a través de la generación de reportes, control de alarma, control de eventos, generación de datos históricos y monitoreo de los equipos y parámetros de medición de forma que se pueda mejorar el proceso productivo a través de la gestión de la información generada por el sistema.

En la hoja de datos: “SISTEMA DE MEDICION DE TANQUES ROSEMOUNT”, elaborado por ROSEMONT INC, da a conocer soluciones para la lectura de datos de tanques, para transferencia de custodia, gestión de inventario, movimiento de petróleo/productos, equilibrio de masa y control de pérdidas, control operativo y de mezclas, detección de fugas y prevención de sobrellenado.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar un sistema SCADA para mejorar las operaciones de recepción, almacenamiento y distribución para la planta de hidrocarburos PETROPERÚ-Cusco.

1.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar el plano de instrumentación y tuberías para una futura implementación del sistema SCADA en la planta de almacenamiento y distribución de hidrocarburos.
- Elegir los diferentes equipos de medición y equipos a controlar necesarios para el sistema SCADA.
- Diseñar la red de comunicación entre dispositivos de control y campo.
- Elaborar el presupuesto de la instrumentación y equipamiento necesario para una futura ejecución del proyecto.
- Desarrollar algoritmos para el control operacional de los procesos de recepción y despacho, para la generación de alarmas, para el monitoreo de variables, entorno HMI y terminal del sistema SCADA.
- Construir un prototipo con sensores y actuadores para simular el control a distancia y supervisión de un tanque de almacenamiento.

1.4 Justificación

Como la manipulación de hidrocarburos es uno de los trabajos con mayor índice de riesgo laboral y ambiental, no puede estar aislada de las tecnologías modernas, las cuales ofrecen menor margen de error en las mediciones, incremento en la productividad, calidad del producto y seguridad del personal. Es por esta razón que el sistema SCADA es la solución al problema planteado.

Debido a los métodos tradicionales que utilizan para medición y supervisión del estado de los tanques, el proyecto otorgará muchos beneficios en lectura y supervisión de las variables más importantes, además tanto el operador como el supervisor desde sus puestos de trabajo dentro de la red local tendrán pleno control de los actuadores.

El proyecto de tesis beneficiará de manera económica, operativa y productiva a las diversas plantas de distribución de hidrocarburos ya que al tener valores exactos y la rápida obtención de estos, se reducirán las pérdidas en el productos, se actuará de manera oportuna frente a cualquier evento y las operaciones se desarrollarán fácilmente y en menor tiempo en comparación al actual modo de operación.

El aumento de precisión en un sistema de medición reduce el margen de error lo que a su vez disminuye la incertidumbre durante la verificación, la gestión del inventario y el control de pérdidas.

1.5 Alcances

Este trabajo de tesis ofrece el diseño del sistema SCADA de la planta de almacenamiento y distribución de hidrocarburos, el cual contará con los requerimientos y sugerencias necesarias para una futura implementación del sistema de supervisión y control. Este diseño también puede ser usado para las distintas plantas del país que tengan similitud con la planta de PETROPERÚ - Cusco.

El proyecto otorgará el control de elementos finales y monitorización de variables dentro de la red local. Así obtendremos mayor eficiencia y operatividad.

Los planos de instrumentación del trabajo de tesis podrán ser utilizados para mejorar procesos similares en los que involucre tanques de almacenamiento.

El módulo de pruebas a construir permitirá la simulación del sistema SCADA, ofreciendo una mejor comprensión de las etapas existentes en la planta de hidrocarburos líquidos, por otro lado se aplicará de forma empírica el diseño desarrollado en este trabajo.

1.6 Limitaciones

El diseño propuesto en la tesis solo se centrará en los niveles de campo (sensado y accionamiento), control y supervisión de la pirámide de la automatización más no se diseñará para los niveles superiores de la pirámide. Cabe resaltar que el diseño para el área de despacho solo considerará control a distancia de electroválvulas y monitorización del estado de las electrobombas, más no se intervendrá sobre el sistema automático Danload 6000.

El módulo sólo nos permitirá simular la carga de combustible, supervisión de los parámetros (temperatura, nivel y alarmas de sobrellenado) de un solo tanque de almacenamiento y finalmente la descarga de combustible dirigidas hacia las islas de despacho.

El proyecto realizará el control manual a distancia, considerando la protección de recepción y despacho de motores más no contará con ningún tipo de control automático.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Medición de Tanques de Combustibles

El objetivo que persigue la medición de combustible es determinar la cantidad de combustible existente o consumido. “Un sistema de medición de combustible determina mediante instrumentos a fines, la cantidad de un fluido hidrocarburífero expresado en volumen o masa. Los instrumentos asociados al sistema de medición de combustible dependen de la forma y método de medición.” (Sánchez Albán, 2010, pág. 16)

Dependiendo de la mecánica del fluido, existen dos formas de medición de combustible:

- Estática (medición de nivel en tanques).
- Dinámica (medición de flujo en tuberías).

Los organismos involucrados a la medición de combustible han optado por normalizar las mediciones de combustible expresándolas en volumen por lo tanto se considera la propiedad de compresibilidad de los fluidos.

“La compresibilidad de los fluidos es la capacidad que posee todo fluido de cambiar su volumen ante cambios de presión y/o temperatura. Es decir si se realiza una medición de fluido en dos lugares diferentes donde existen diferentes condiciones de presión y temperatura, la medición de volumen en ambos lugares será distinta. Para evitar discrepancias de medición se debe utilizar condiciones base o estándar en la medición, esto es 14,7 psi y 60 °F (15.5°C), de acuerdo a lo expresado por el **Instituto Americano de Petróleos API**” (Sánchez Albán, 2010, pág. 17). Una vez determinado el volumen de combustible a condiciones normales, se hace uso de tablas para establecer la equivalencia de la medición realizada a condiciones estándar (14.7 psi

y 60°F). De esta manera, a través de la conversión del fluido medido se obtiene un mismo valor de volumen, sin importar las condiciones de presión y temperatura.

Como los tanques de almacenamiento mantienen el combustible en reposo, nos centraremos a la medición estática, a continuación daremos una descripción de esta.

2.1.1 Medición estática de combustibles

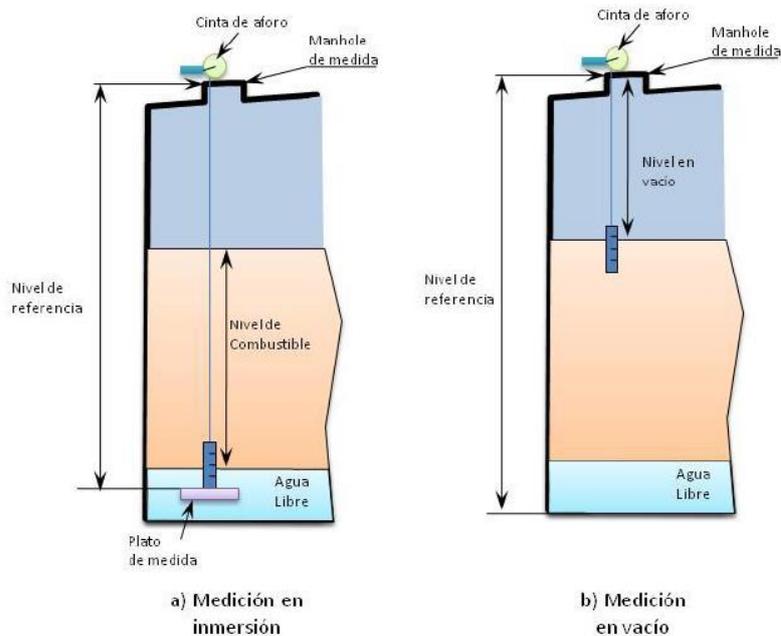
La medición estática de combustibles es el proceso que determina la cantidad de combustible en los tanques de almacenamiento. Este proceso puede ser llevado a cabo de forma manual o automática.

2.1.1.1 Medición estática manual

Es la determinación del nivel de combustible a través del uso de cintas de medición. Las definiciones y elementos intervinientes en el proceso de medición son expuestos a continuación:

- **Aforo:** Proceso para determinar la capacidad total del tanque, o la correspondencia de cantidad de volumen para diferentes niveles en el tanque.
- **Cinta de aforo.** Cinta graduada y certificada que se utiliza para medir el nivel de líquido en un tanque.
- **Plomada.** Es una pesa graduada anexa a la cinta de aforo, de suficiente peso que garantice mantener la cinta tensa para efectuar una correcta medición de nivel, esta puede ser de sumersión en el fluido o flotante en la superficie del líquido.
- **Agua libre:** Es el volumen de agua que contiene un recipiente con hidrocarburos, que no se ha disuelto en el hidrocarburo.
- **Indicador de agua.** Pasta que, aplicada a la plomada indica el nivel de agua libre existente en la parte inferior del tanque.

- **Indicador de producto.** Pasta que, aplicada a la cinta de aforo indica el nivel en el que se encuentra la superficie del producto medido.
- **Tomador de muestra (ladrón).** Dispositivo para extraer un volumen representativo del producto almacenado en el tanque para analizar sus características químicas.
- **Plato de medida:** Es el punto situado en el fondo del tanque, directamente debajo del punto de referencia y que provee una superficie de contacto firme para la determinación exacta del nivel del producto almacenado.
- **Tabla de aforo.** Es una tabla que contiene la correspondencia entre el nivel del líquido y su volumen correspondiente en el tanque.
- **Nivel de referencia.** Es la cota definida en la construcción del tanque y es utilizada para cualquier operación de medición con cinta (véase Figura 2.1). Como se observa en la Figura 2.1 existen dos maneras de obtener el nivel del producto contenido en el tanque:
 - a. **Medición en inmersión.** Se realiza a través de una cinta de aforo la misma que está sujeta a una plomada de sumersión, esta plomada llega hasta el plato de medida y mediante el nivel de referencia, el uso de pasta indicadora de producto, de agua y la tabla de aforo, se determina el nivel de combustible almacenado.
 - b. **Medición en vacío.** Se realiza a través de una cinta de aforo la misma que está sujeta a una plomada flotante, esta plomada llega a la superficie del líquido y mediante la cinta se procede a tomar su medida de nivel.



*Figura 2.1 - Medición manual del nivel de combustible.
Fuente: Medición estática de tanques de combustible (Sánchez Albán, 2010).*

Se debe tener en cuenta que la medición en vacío permite determinar el nivel de producto más el nivel de agua libre, es decir, a diferencia de la medición en sumersión no se tiene la medida exclusiva de nivel de combustible. La medición en vacío es preferible para productos muy viscosos.

Una vez determinado el nivel de producto ya sea por cualquiera de las dos formas vistas (véase Figura 2.1), se procede a obtener una muestra del combustible almacenado, para determinar sus características y hallar los factores de corrección de volumen para determinar el volumen estándar almacenado. El procedimiento para realizar estas mediciones y las características que deben cumplir los instrumentos de medida están descritos en la norma API MPMS 3.1.A (“Standard Practice for the Manual Gauging of Petroleum and Petroleum Products”).

2.1.1.2 Medición estática automática

Es la determinación del nivel de combustible a través del uso de medidores electrónicos. Una vez determinado el nivel de combustible, temperatura y presión a la que se encuentra el combustible, un computador determina mediante la tabla de aforo

y factores de corrección el volumen estándar contenido en el tanque. Los sistemas electrónicos de medición estática son conocidos también como “**Automatic Tank Gauging**” (ATG). La instrumentación electrónica de estos sistemas brindan las siguientes ventajas:

- Automatización de la toma de datos en campo.
- Menor error de transmisión de datos de las medidas.
- Mayor precisión de las medidas debido al uso de microprocesadores en los transmisores
- Bajo costo de mantenimiento
- Compensación de fenómenos físicos no deseados (ruido, interferencia, efectos de temperatura, etc.)

Existen dos maneras de definir la cantidad de fluido en tanques a través de medición estática automática:

- a) Sistema basado en volumen. Se basa en la medición de nivel, temperatura y presión para determinar la cantidad de fluido almacenado.
- b) Sistema basado en masa. Para determinar la cantidad de fluido almacenado además de la medida de nivel, temperatura y presión, se realiza corrección de la densidad a través del peso de la columna hidrostática que genera el combustible almacenado.

2.1.1.2.1 Elementos del sistema de medición estática

A continuación se muestra y explica el modelo de dicho sistema con sus partes constitutivas (véase Figura 2.2).

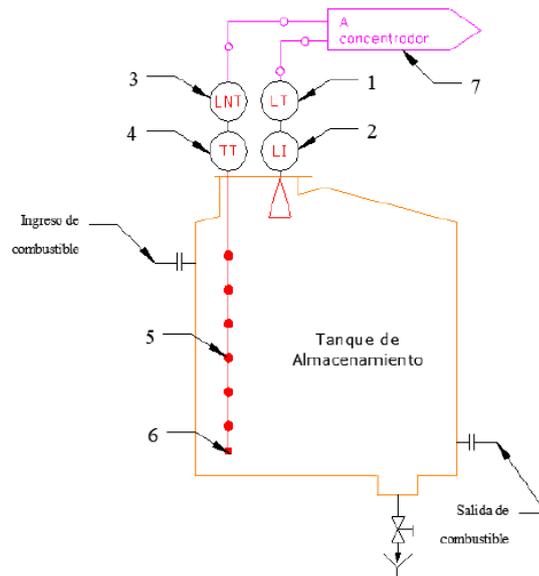


Figura 2.2 - Sistema electrónico de medición estática.

Fuente: Medición estática de tanques de combustible (Sánchez Albán, 2010).

1. Transmisor de nivel (**LT**). Transmite la medición de nivel de combustible obtenida por el elemento primario.
2. Indicador de nivel (**LI**). Indica la medición de nivel de combustible obtenida por el elemento primario.
3. Transmisor de nivel de agua libre (**LNT**). Transmite la medición de nivel de agua libre obtenida por un elemento primario de tipo capacitivo ubicado en el fondo del tanque.
4. Transmisor de temperatura (**TT**). Transmite la medida de temperatura del combustible almacenado obtenida por la sonda multipunto.
5. Sonda multipunto. Es un conjunto de termorresistencias (RTD's) ubicadas a diferentes niveles del tanque con el objetivo de poder determinar la temperatura promedio del combustible almacenado.
6. Elemento primario medidor de nivel de agua libre. Mide de manera continua el nivel de agua libre en el fondo del tanque por medios capacitivos, este

elemento puede ser instalado al final del termopozo de las termorresistencias de la sonda multipunto.

7. Concentrador de información. Para este diseño, es el dispositivo que se encarga de recibir las señales provenientes del medidor de nivel de combustible, nivel de agua libre y temperatura de combustible para determinar el volumen neto estándar almacenado.

2.2 Ingeniería del Proyecto

Para optimizar la elaboración de la Ingeniería de un proyecto se debe de seguir una serie de etapas y a su vez, se deben integrar todas las disciplinas involucradas, como por ejemplo, Instrumentación y Redes de comunicación, Mecánica, Electrónica, Civil, Eléctrica, Planificación y Control de Calidad.

Según (Visconti Stopello, 2005), las etapas de un proyecto de Ingeniería son los siguientes:

- **Ingeniería conceptual:** Dentro de esta etapa se realiza el análisis del problema por el cual se está desarrollando el proyecto y se describe la secuencia de actividades que intervienen en el diseño del proyecto. También se revisan los diferentes métodos y opciones, tomando parámetros de operación, con el fin de obtener el diseño más adecuado del proceso y a la vez el más económico.
- **Ingeniería básica:** en esta etapa se hace el estudio del problema de una manera general sin ir al detalle, se concretan las actividades, documentos o productos a realizarse en el proyecto y la metodología de ejecución bajo la cual se llevará a cabo; así como también la revisión de los documentos realizados en la fase anterior.

De igual forma se efectúa el levantamiento de información en campo cuando el proyecto involucre ampliación, remodelación, o adaptación de instalaciones existentes, se desarrolla la primera documentación como especificaciones y planos en forma general, y se realizan los diagramas de tubería e instrumentación que representan esquemáticamente el proceso, lo cual permitirá la elaboración del estimado de costo del Proyecto.

- **Ingeniería de detalle:** Aquí se realiza el estudio del proyecto con carácter específico apoyándose con los documentos generados en la fase anterior, además corrige los posibles errores que no se hayan detectado en las etapas preliminares y se puntualizan y especifican en sus respectivos documentos, todas las condiciones del proceso a utilizar, así como las conexiones, tuberías, equipos e instrumentos, etc.
- **Procura y construcción:** Es la última etapa la cual representa la culminación del desarrollo de la Ingeniería de Proyecto y su función es realizar todos los trámites necesarios para la compra de equipos e instrumentos, contratos y subcontratos para la construcción y desarrolla el seguimiento e inspección de los trabajos realizados, y de igual manera supervisa y coordina las instalaciones durante el periodo de construcción.

2.3 Elementos que Intervienen en el Control y Supervisión de Tanques de Almacenamiento

2.3.1 Elemento primario de medición

“Es un elemento que utiliza o transforma energía del medio controlado para producir una respuesta a un cambio en el valor de la variable controlada. Esta respuesta producido por el elemento primario puede ser un cambio de presión, fuerza, posición, potencial, eléctrico, resistencia, etc.” (Olazábal Trejo & Tejada Neira, 2014)

Los sensores pueden clasificarse de diferentes maneras por sus características o funcionamiento, a continuación se enumeran algunos tipos de clasificación:

- La primera clasificación se basa en si son capaces de dar una salida continua en función de la magnitud que miden o únicamente distinguen entre dos estados del sistema medido. Según esto los sensores pueden ser binarios (detectores) o continuos (transductores).
- En segundo lugar se pueden clasificar en función de la forma de alimentación, conexión y salida. Según esto pueden ser a 3 hilos, a 2 hilos, de corriente alterna, de corriente continua, de salida a transistor, de salida a relé, etc.
- En tercer lugar se pueden clasificar en función de la seguridad. Según esto los sensores pueden ser estándar o cumplir diversos grados de seguridad ante ambientes explosivos, o ante situaciones de riesgo para las personas.
- Otra forma de clasificar los sensores es en base a la variable que va a ser controlada, así se tienen por ejemplo:

2.3.1.1 Sensor de presión:

Los sensores de presión suelen estar basados en la deformación de un elemento elástico (membrana, tubo de Bourdon, etc), cuyo movimiento bajo la acción del fluido es detectado por un transductor de pequeños desplazamientos (galgas, transformador diferencial, piezoeléctrico, etc) del que se obtiene la señal eléctrica proporcional a la presión.

Los transductores más frecuentes son los de diafragma o membrana. El diafragma es una pared delgada que se deforma bajo el efecto de la presión, el fluido de proceso al ejercer presión sobre el diafragma del equipo esta se transfiere mediante el fluido

de relleno hacia un elemento piezorresistivo¹, generando una variación a la resistencia la cual permite un cambio en el valor medido. Algunas unidades de medición de presión son el psi, bar, pascal, atmosfera, etc.



*Figura 2.3 - Medidores de presión.
Fuente: (Rosemount, Febrero 2016).*

2.3.1.2 Sensor de nivel

Los sensores de nivel trabajan midiendo, bien directamente la altura del líquido sobre una línea de referencia, bien la presión hidrostática, bien el desplazamiento producido en un flotador por el propio líquido contenido en el tanque de proceso, o bien aprovechando características eléctricas del líquido.

Los sensores de nivel más comúnmente utilizados en la industria son los de presión hidrostática, ultrasónicos, radiación, desplazadores, conductivos, capacitivos, horquilla vibratoria y radares.

El sensor tipo radar funciona midiendo la distancia a la superficie por medio de pulsos cortos de radar, se transmiten desde la antena (parte superior del tanque). Cuando un pulso de radar alcanza un medio con una constante dieléctrica diferente, parte de la energía se refleja y vuelve al transmisor. La diferencia de tiempo entre el pulso transmitido y el reflejado es proporcional a la distancia de la superficie del

¹ Elemento de medición compuesto de materiales conductores y semiconductores, cuya resistencia eléctrica cambia cuando se los somete a un esfuerzo o estrés mecánico

producto, a partir de la cual se calculan el nivel, el volumen y la velocidad de variación del nivel.

El sensor de tipo horquilla vibratoria utiliza un cristal piezoeléctrico² que oscila en sus horquillas a una frecuencia natural, esta frecuencia se monitorea continuamente. La frecuencia de la horquilla cambia dependiendo del medio en el que está inmerso. Cuanto más denso es el líquido, menor será la frecuencia.



*Figura 2.4 - Sensor de nivel tipo radar.
Fuente: (EMERSON, La guía del ingeniero para medición de tanques., 2017)*

2.3.1.3 Sensor de temperatura

La medida de temperatura constituye una de las mediciones más comunes e importantes que se efectúan en los procesos industriales. Las limitaciones del sistema de medida quedan definidas en cada tipo de aplicación por la precisión, la velocidad de captación, la distancia entre el elemento de medida y el aparato receptor, etc.

Los instrumentos de temperatura utilizan diversos fenómenos que son influidos por la temperatura, entre los cuales figuran variaciones en volumen, variación de resistencia de un conductor o semiconductor, f.e.m. creada en la unión de dos metales distintos, intensidad de radiación total emitida por el cuerpo, etc.

² Elemento que al ser sometidos a tensiones mecánicas, en su masa adquiere una polarización eléctrica y aparece una diferencia de potencial y cargas eléctricas en su superficie.

De este modo se utilizan para la medición los termómetros de vidrio, termómetros bimetálicos, pirómetros de radiación, las termocuplas y las termorresistencias (RTD) entre otros.

Un RTD (del inglés: resistance temperature detector) es un detector de temperatura resistivo, es decir, un sensor de temperatura basado en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura (Véase Figura 2.5).

Al calentarse un metal habrá una mayor agitación térmica, dispersándose más los electrones y reduciéndose su velocidad media, aumentando la resistencia. A mayor temperatura, mayor agitación, y mayor resistencia.

Los RTD son más rápidos, precisos y de mejor linealidad. Este transductor es el preferido, y recomendado en normas de mayor énfasis en la medición de combustibles como la API 551, API MPMS 7.3.



*Figura 2.5 - Detector de temperatura RTD.
Fuente: (EMERSON, La guía del ingeniero para medición de tanques., 2017)*

2.3.2 Transmisores

Es aquel elemento que capta la variable de proceso a través del elemento primario y la transmite a distancia en forma de señal normalizada, como por ejemplo:

- Señal neumática de 3 a 15 psi
- Señal electrónica de 4-20 mA
- Señal electrónica (protocolo de comunicación, ejemplo: Hart, Profibus, etc.)
- Señal electrónica de 0-10 Vdc

En algunos casos el elemento primario puede formar parte integral del transmisor.

2.3.3 Elemento final de control

Un elemento final de control es un mecanismo que altera el valor de la variable manipulada en respuesta a una señal de salida desde el dispositivo de control; típicamente recibe una señal del controlador y manipula un flujo de material o energía para el proceso.

El elemento final de control consta generalmente de dos partes:

- Un actuador que convierte la señal del controlador en un comando para el dispositivo manipulador.
- Un mecanismo para ajustar la variable manipulada.

El elemento final de control puede ser una válvula de control, variadores de frecuencia, motores eléctricos, una servoválvula, un relé, elementos calefactores de carácter eléctrico o un amortiguador.

2.3.3.1 Válvulas de control

En el control de los procesos industriales la válvula de control juega un papel muy importante en el bucle de regulación. Realiza la función de variar el caudal del fluido de control que modifica a su vez el valor de la variable medida comportándose como un orificio de área variable.

El cuerpo de la válvula contiene en su interior el obturador y los asientos y está provisto de rosca o de bridas para conectar la válvula a la tubería. El obturador es quien realiza la función de control de paso del fluido y puede actuar en la dirección de su propio eje o bien tener un movimiento rotativo. Está unido a un vástago que pasa a través de la tapa del cuerpo y que es accionado por un elemento de mecánico o eléctrico.

Algunas de las válvulas más utilizadas en la industria son las de tipo globo, bola, mariposa, tres vías, de ángulo, compuerta, cuchilla, etc.

2.3.3.2 Actuador eléctrico motorizado

Un actuador es un dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” otro dispositivo mecánico. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles: Presión neumática, presión hidráulica, y fuerza motriz eléctrica (motor eléctrico o solenoide). Dependiendo del origen de la fuerza el actuador se denomina “neumático”, “hidráulico” o “eléctrico”.

El actuador más común es el actuador manual o humano. Es decir, una persona mueve o actúa un dispositivo para promover su funcionamiento. Con el tiempo, se hizo conveniente automatizar la actuación de dispositivos, por lo que diferentes dispositivos hicieron su aparición. Actualmente hay básicamente dos tipos de actuadores.

- Lineales
- Rotatorios

Los actuadores lineales generan una fuerza en línea recta, tal como haría un pistón.

Los actuadores rotatorios generan una fuerza rotatoria, como lo haría un motor eléctrico.

Como ya se mencionó, hay tres tipos de actuadores:

- Neumáticos
- Eléctricos
- Hidráulicos.

La planta de almacenamiento no cuenta con los sistemas hidráulicos o neumáticos es por ello que la opción elegida es el actuador eléctrico motorizado.

Para hacer funcionar el actuador eléctrico motorizado, se debe energizar los bornes correspondientes para que el motor actúe en la dirección apropiada. Usualmente vienen con un controlador local o botonera que hace este proceso sea más sencillo.

Sin embargo para la automatización remota del actuador, se debe considerar el diagrama de cableado que viene con el actuador. Las conexiones deben considerar fuerza, señales de límites de carrera y torque, señales análogas o digitales de posición y torque, etc. El torque generado por el motor eléctrico es aumentado por un reductor interno o externo para dar salida al torque final en el tiempo seleccionado. Esta es la razón por la que los actuadores eléctricos toman más tiempo en recorrer la carrera que los neumáticos o hidráulicos.

Los actuadores motorizados comúnmente tienen un volante, que forma parte del equipamiento y que permite operar manualmente la válvula en caso de que haya pérdida del fluido eléctrico.

Los actuadores tienen un control que suele estar integrado en el actuador e incorpora, además del interface eléctrico al sistema de automatización, una unidad de manejo local. Para la elección del actuador motorizado se deberá tener en cuenta lo siguiente:

- Se debe determinar el torque que se necesita para generar el movimiento rotatorio. Este torque puede ser expresada en: N-m, lb-in, lb-ft, etc. (Newton-metros, libras-pulgadas o libras-pié, etc.). O bien, se debe determinar la fuerza de tiro que deberá soportar el actuador, si la aplicación es multivueltas.
- Obtener el diámetro externo del tornillo.
- Establecer el porcentaje de sobredimensionamiento. Usualmente y dependiendo del tamaño y diseño de la válvula, entre 10% y 50% de sobredimensionamiento.
- Si es multivuelta, determinar el número de vueltas necesarias para cubrir el total de la carrera de la válvula.

- Obtener la disponibilidad de energía en el punto de instalación. Voltaje, frecuencia, número de fases.
- Con las torques ya determinadas, y recurriendo a las tablas de torque de los diferentes modelos, se puede escoger un modelo adecuado para la aplicación.
- Verificar el torque máximo admisible para el vástago de la válvula.
- Al escoger el actuador con su motor, tomar los datos de consumo y factor de potencia.

2.3.3.3 Bombas

La bomba es una máquina que absorbe energía mecánica que puede provenir de un motor eléctrico, térmico, etc., y la transforma en energía que la transfiere a un fluido como energía hidráulica la cual permite que el fluido pueda ser transportado de un lugar a otro, a un mismo nivel y/o a diferentes niveles y/o a diferentes velocidades. Las bombas más utilizadas en la industria son: centrífugas y desplazamiento positivo.

2.3.4 Controladores

Es el elemento más importante dentro de un sistema de control y tiene por finalidad, en base a la programación interna que lleva, generar señales que van hacia el elemento actuador.

2.3.4.1 Controlador lógico programable (PLC)

Es un dispositivo digital electrónico con una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones, permitiendo la implementación de funciones específicas como ser: lógicas, secuenciales, temporizadas, de conteo y aritméticas; con el objeto de controlar máquinas y procesos.

También se puede definir como un equipo electrónico, el cual realiza la ejecución de un programa de forma cíclica. La ejecución del programa puede ser interrumpida

momentáneamente para realizar otras tareas consideradas prioritarias, pero el aspecto más importante es la garantía de ejecución completa del programa principal. Estos controladores son utilizados en ambientes industriales donde la decisión y la acción deben ser tomadas en forma muy rápida, para responder en tiempo real.

2.3.4.2 Variador de frecuencia

Es un dispositivo utilizado para controlar la velocidad de rotación de un motor de corriente alterna o de inducción. Este tipo de motores también se conocen como motores asíncronos o jaula de ardilla.

El variador de velocidad se coloca entre la red y el motor. El variador recibe la tensión de red a la frecuencia de red y tras ondularla produce una tensión con frecuencia variable. La velocidad de un motor va prácticamente proporcional a la frecuencia.

Además de cambiar la frecuencia, el variador también varía el voltaje aplicado al motor para asegurar que existe el par necesario en el eje del motor sin que surjan problemas de sobrecalentamiento.

2.4 Sistema SCADA

“Los sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) son aplicaciones de software, diseñadas con la finalidad de controlar y supervisar procesos a distancia. Se basan en la adquisición de datos de los procesos remotos.” (Valencia Arías, 2013, pág. 58).

Se trata de una aplicación de software, especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde una computadora. Además, envía la información generada en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo

nivel como hacia otros supervisores dentro de la empresa, es decir, que permite la participación de otras áreas como por ejemplo: control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc.

Cada uno de los elementos de SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de datos) involucran muchos subsistemas, por ejemplo, la adquisición de los datos puede estar a cargo de un PLC (Controlador Lógico Programable) el cual toma las señales y las envía a las estaciones remotas usando un protocolo determinado, otra forma podría ser que una computadora realice la adquisición vía un hardware especializado y luego esa información la transmita hacia un equipo de radio vía su puerto serial, y así existen muchas otras alternativas.

Las tareas de Supervisión y Control generalmente están más relacionadas con el software SCADA, en él, el operador puede visualizar en la pantalla del computador cada una de las estaciones remotas que conforman el sistema, los estados de ésta, las situaciones de alarma y tomar acciones físicas sobre algún equipo lejano, la comunicación se realiza mediante buses especiales o redes LAN. Todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real, y están diseñados para dar al operador de planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos.

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

Generalmente se vincula el software al uso de una computadora o de un PLC, la acción de control es realizada por los controladores de campo, pero la comunicación del sistema con el operador es necesariamente vía computadora. Sin embargo el operador puede gobernar el proceso en un momento dado si es necesario.

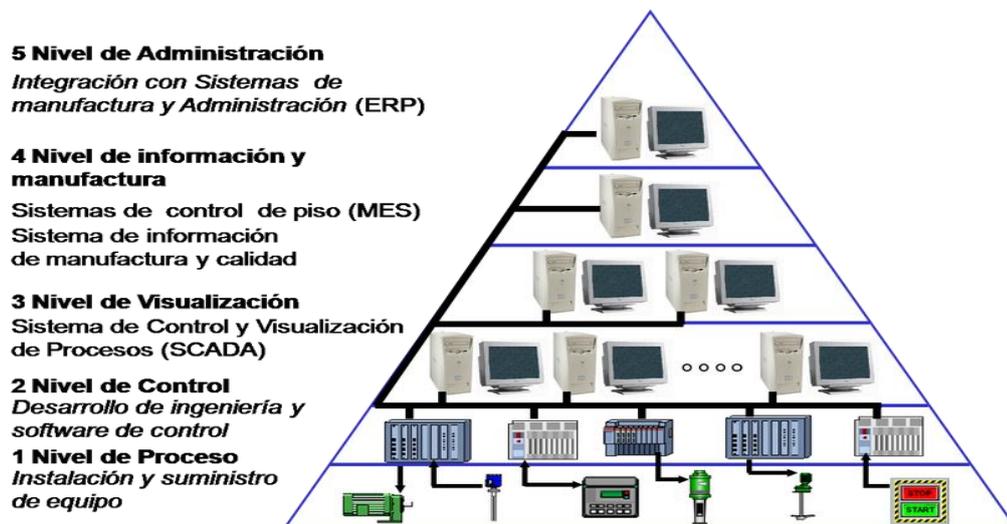


Figura 2.6- Pirámide del sistema SCADA.

Fuente: <https://ingenieriabjb.wordpress.com/2014/04/15/procesos-de-automatizacion-y-control/>

2.4.1 Prestaciones

- Posibilidad de crear paneles de alarma, que exigen la presencia del operador para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencias.
- Generación de datos históricos de las señales de planta, que pueden ser volcados para su proceso sobre una hoja de cálculo.
- Ejecución de programas, que modifican la ley de control, o incluso anular o modificar las tareas asociadas al autómatas, bajo ciertas condiciones.
- Posibilidad de programación numérica, que permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU del ordenador.

2.4.2 Funcionalidad

- *Supervisión remota de instalaciones y equipos:* Permite al operador conocer el estado de desempeño de las instalaciones y los equipos alojados en la planta, lo que permite dirigir las tareas de mantenimiento y estadística de fallas.

- *Control remoto de instalaciones y equipos:* Mediante el sistema se puede activar o desactivar los equipos remotamente (por ejemplo abrir válvulas, activar interruptores, prender motores, etc.), de manera automática y también manual.
- *Procesamiento de datos:* El conjunto de datos adquiridos conforman la información que alimenta el sistema, esta información es procesada, analizada, y comparada con datos anteriores, y con datos de otros puntos de referencia, dando como resultado una información confiable y veraz.
- *Visualización gráfica dinámica:* El sistema es capaz de brindar imágenes en movimiento que representen el comportamiento del proceso, dándole al operador la impresión de estar presente dentro de una planta real. Estos gráficos también pueden corresponder a curvas de las señales analizadas en el tiempo.
- *Generación de reportes:* El sistema permite generar informes con datos estadísticos del proceso en un tiempo determinado por el operador.
- *Representación de señales de alarma:* A través de las señales de alarma se logra alertar al operador frente a una falla o la presencia de una condición perjudicial o fuera de lo aceptable. Estas señales pueden ser tanto visuales como sonoras.
- *Almacenamiento de información histórica:* Se cuenta con la opción de almacenar los datos adquiridos, esta información puede analizarse posteriormente, el tiempo de almacenamiento dependerá del operador o del autor del programa.

- *Programación de eventos*: Esta referido a la posibilidad de programar subprogramas que brinden automáticamente reportes, estadísticas, gráfica de curvas, activación de tareas automáticas, etc.

2.4.3 Elementos

Un sistema SCADA está conformado por:

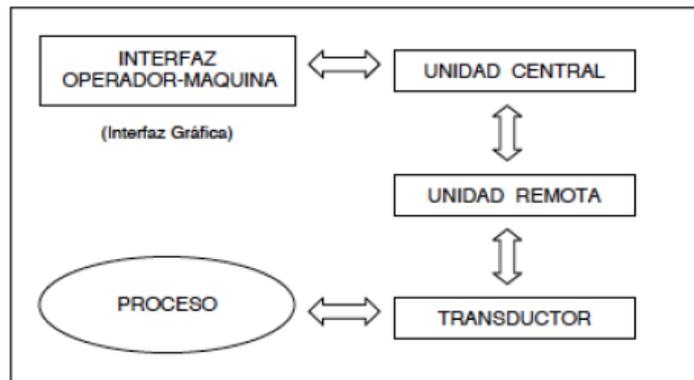
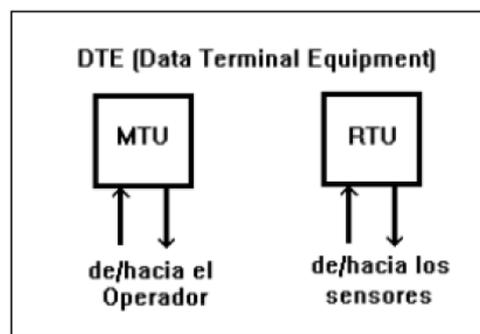


Figura 2.7 - Esquema de los elementos de un Sistema SCADA
Fuente: Elaboración propia

- *Interfaz Operador-Máquina*: Es el entorno visual que brinda el sistema para que el operador se adapte al proceso desarrollado por la planta. Permite la interacción del ser humano con los medios tecnológicos implementados.
- *Unidad Central (MTU)*: Conocido como Unidad Maestra. Ejecuta las acciones de mando (programadas) en base a los valores actuales de las variables medidas. La programación normalmente se realiza por medio de bloques de programa en lenguaje de alto nivel (como C, Basic, etc.). También se encarga del almacenamiento y procesado ordenado de los datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.
- *Unidad Remota (RTU)*: Lo constituye todo elemento que envía algún tipo de información a la unidad central. Es parte del proceso productivo y necesariamente se encuentra ubicada en la planta.

- *Sistema de Comunicaciones:* Se encarga de la transferencia de información del punto donde se realizan las operaciones, hasta el punto donde se supervisa y controla el proceso. Lo conforman los transmisores, receptores y medios de comunicación.
- *Transductores:* Son los elementos que permiten la conversión de una señal física en una señal eléctrica (y viceversa). Su calibración es muy importante para que no haya problema con la confusión de valores de los datos.



*Figura 2.8 – Comunicaciones de la MTU y RTU.
Fuente: <http://www.galeon.com/hamd/pdf/scada>*

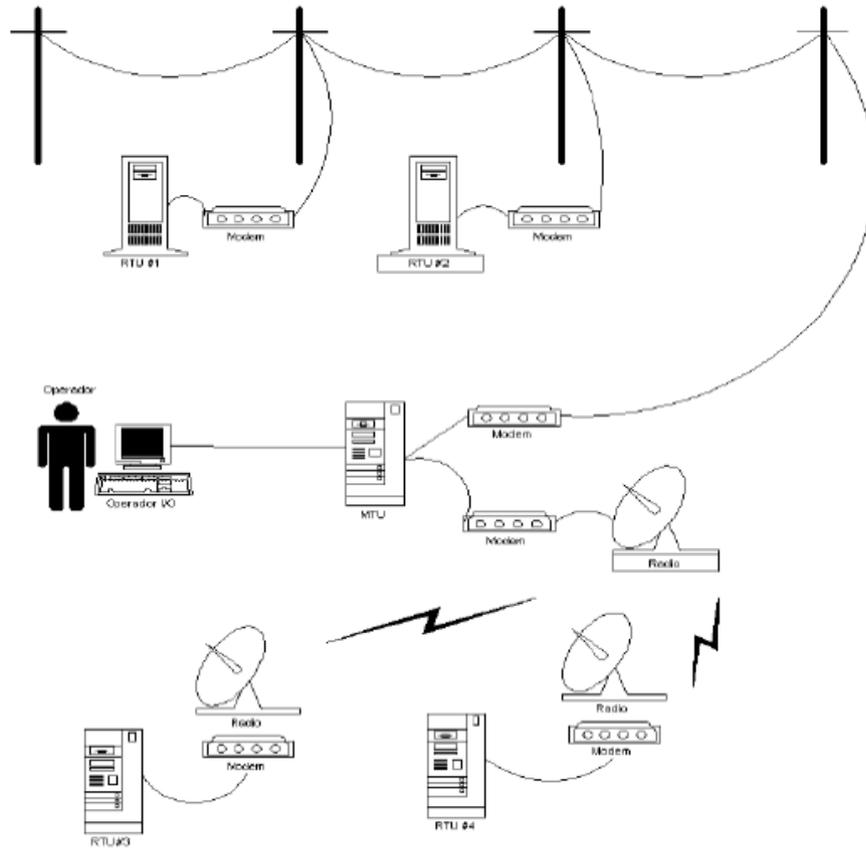


Figura 2.9 - Conexión de elementos de un sistema SCADA.
 Fuente: <http://www.galeon.com/hamd/pdf/scada>

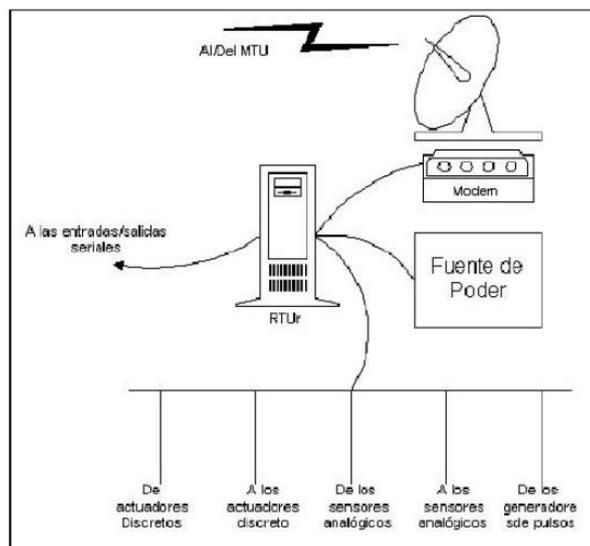


Figura 2.10 - Esquema de conexiones de la RTU.
 Fuente: <http://www.galeon.com/hamd/pdf/scada>

2.5 Redes Industriales

2.5.1 Introducción a las comunicaciones industriales

En cualquier industria es indispensable conocer el estado del proceso productivo, para lo cual se dispone en las distintas etapas del proceso una multitud de dispositivos de campo que permiten obtener información a los equipos de control y a los operadores de la planta. Por esta razón es necesario el uso de diferentes redes para la comunicación de los dispositivos ubicados en los distintos niveles de la automatización.

2.5.2 Tipos de redes industriales

2.5.2.1 Red de factoría:

Son redes que interconectan todos los sectores y servicios de la fábrica utilizando computadores: almacén, servicios generales, ingeniería, líneas de producción, etc. Esta red conecta a los dispositivos con funciones correspondientes al nivel de control de factoría.

2.5.2.2 Red de supervisión:

Transmite al operador los datos necesarios para conducir el proceso, y a su vez el operador envía al proceso cambios de consigna. Esta red conecta a los dispositivos con las funciones definidas en el nivel de control de planta.

2.5.2.3 Red de control:

Conecta entre sí los equipos de comando y control pertenecientes a una isla de producción. Los equipos conectados son controladores. Esta red conecta a los dispositivos con las funciones definidas en el nivel de control de célula

2.5.2.4 Red/bus de campo:

La idea es sustituir con este tipo de bus el cableado entre sensores-actuadores y los correspondientes elementos de control. Este tipo de buses son una red local

industrial que conecta dispositivos de campo tipo: actuadores, sensores, transductores, elementos HMI, etc, con equipos que soportan procesos de aplicación como PLC, CPU de DCS, Robot, Sistemas HMI, etc. que necesitan acceder a los dispositivos de campo. Son buses de bajo coste, tiempo real y permiten la transmisión serie sobre un bus digital de datos, además de gestionar mensajes cortos eficientemente, tener capacidad de manejar tráfico de eventos discretos, poseer mecanismos de control de error, transmitir mensajes prioritarios, poder recuperarse de eventos anormales en la red y responder rápidamente a los mensajes recibidos. Por regla general estos buses tienen un tamaño pequeño (5 a 50 nodos), utilizan tráfico de mensajes cortos para control y sincronización entre los dispositivos, y la transferencia de ficheros es ocasional o inexistente.

2.5.3 Arquitecturas de comunicación

La forma de interconectar los diferentes elementos de una red es muy variada, lo que da lugar a muy diversas arquitecturas de comunicación, pero las arquitecturas de comunicación más utilizadas en entornos industriales son las siguientes:

- a. **Sistema de control cableado:** los dispositivos de campo se cablean de forma individual a los controladores, comunicándose con las estaciones de supervisión a través de interfaces serie punto a punto o protocolos propietarios.

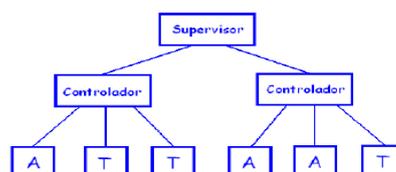


Figura 2.11 - Sistema de cableado tradicional.
Fuente: (Caler Rubio, 2015).

- b. **Sistemas de control cableados con red de supervisión:** ahora entre controladores y supervisores se establece una red propietaria o semiabierta a la que se define red de supervisión.

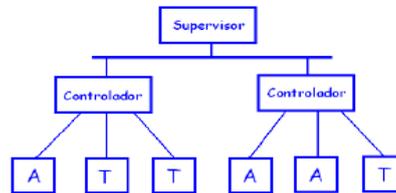


Figura 2.12 - Sistema cableado con red de supervisión.
Fuente: (Caler Rubio, 2015).

- c. **Sistemas de control en red (NCS):** Los dispositivos de campo se cablean formando un bus de campo, y entre controladores y supervisores se establece un bus de campo o red abierta o semi abierta.

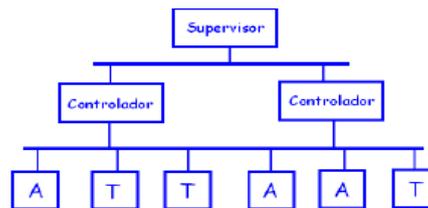


Figura 2.13 - Sistema de control en red NCS.
Fuente: (Caler Rubio, 2015).

- d. **Sistemas de control Fieldbus (FCS):** Existe una única red que es el bus de campo y se elimina el controlador. Ahora la supervisión se hace directamente sobre los dispositivos de campo lo que requiere que éstos sean inteligentes (smart devices).

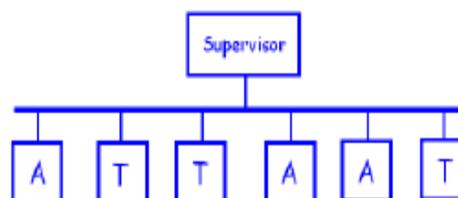


Figura 2.14 – Fieldbus.
Fuente: (Caler Rubio, 2015).

2.6 Buses de Campo

“Un bus de campo es un sistema de transmisión de datos con el objetivo de sustituir las conexiones punto a punto entre los elementos de campo y el equipo de control a través del tradicional lazo de corriente 4-20mA o 0-10VDC. Generalmente son redes digitales, bidireccionales o multipunto que van montadas sobre un bus serie y que conectan dispositivos de campo como: PLCs, transductores, actuadores, sensores, etc. Varios grupos han intentado generar e imponer una norma que permita la integración de equipos de distintos proveedores, sin embargo hasta la fecha no existe un bus de campo universal” (Caler Rubio, 2015)

En las redes de campo se pueden destacar las siguientes cuatro características principales:

- a. **Sustitución de la señal de 4-20mA por señales digitales:** La sustitución de las señales 4-20mA por señales digitales trae consigo sustanciales ventajas como son:
 - **Mayor exactitud y confiabilidad de datos:** Debido a la comunicación digital, por ejemplo en un transmisor y un controlador, pueden hablar directamente en lugar de pasar a través de conversiones D/A y A/D, de las cuales hay muchas en un lazo cerrado. El estado es enviado junto con los datos de medición y control. En consecuencia, es posible determinar si la información es confiable o no. Todos los datos son verificados y garantizados, libres de distorsión debido al ruido o a algún desajuste de impedancia, que en las señales analógicas no serían detectados.
 - **Acceso multivariable:** Esto significa que un transmisor de presión, por ejemplo, no está limitado a una sola salida para presión, sino que

también informa de la temperatura de proceso. Otro ejemplo es el acceso a la variable de setpoint y a la variable manipulada de un controlador en el mismo dispositivo, o los distintos canales de entrada en un transmisor de temperatura.

- **Configuración y diagnósticos remotos:** La comunicación digital permite modificar remotamente la configuración completa. La calibración se efectúa en funcionamiento sin tener que aplicar ninguna entrada o medir la salida. De manera similar se puede interrogar el estado de los autodiagnósticos.
- **Disminución y simplificación del cableado:** Se logra a través de la conexión de varios dispositivos sobre un solo par de cables. La conexión es una tarea sencilla, ya que todo se encuentra en paralelo y el número de terminales a utilizar es mínimo. Esto significa un bajo costo y un fácil reemplazo de viejos transmisores.

b. Aplicación a sistemas de control distribuido: Los buses de campo permiten un control distribuido al incorporar esta función en los propios dispositivos. Sin embargo, también es posible configurar una arquitectura de control centralizada.

c. Interoperabilidad de dispositivos: Los buses de campo tienen capacidad de interoperabilidad, que es la capacidad que tiene la red de reemplazar un dispositivo por otro del mismo tipo independientemente de la marca del fabricante.

d. Sistemas abiertos: La interoperabilidad es posible debido a que la mayoría de los buses industriales son de estándares abiertos que son administrados por asociaciones internacionales integradas por empresas

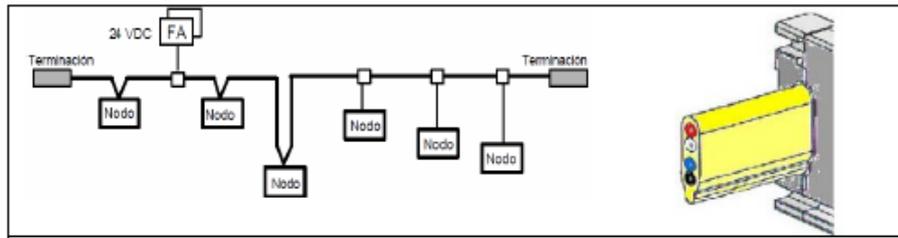
fabricantes. De esta manera, las especificaciones para producir hardware y software compatible con determinado bus, están disponibles para los desarrolladores de dispositivos.

2.6.1 DeviceNet

Desarrollado por Allen-Bradley en 1994 orientado a niveles de automatización medio-bajo, encuadrándose dentro de la pirámide de automatización en algunos casos en el Nivel de Planta y en otros en el Nivel de Célula. Es un sistema abierto y la ODVA (Open DeviceNet Vendor Association) es la encargada de gestionar y organizar la certificación de dispositivos DeviceNet e impulsar el empleo de esta tecnología dentro de la industria.

Las características principales de este bus son:

- Número máximo de nodos: 64.
- Distancia máxima entre 100 y 500 metros.
- Velocidad de transferencia de datos: 125, 250 y 500 Kbit/s. En función de la velocidad varía la distancia máxima.
- Estructura de comunicaciones en bus con línea principal y posibilidad de bifurcación de la línea hacia los nodos (a mayor número de bifurcaciones menor velocidad y distancia).
- Usa terminadores de línea con impedancia de 120 ohm aprox.
- Utiliza dos pares trenzados: uno es para alimentación y otro para datos.
- Tamaño máximo del mensaje 8 bytes para cada nodo.
- Topología lógica: basado en modelo productor/consumidor, por ello admite modelo maestro/esclavo, multimaestro, igual a igual, etc., que se traduce en la transmisión de mensajes mediante diferentes métodos: sondeo, envío cíclico, etc.



*Figura 2.15 - Estructura general de una red DeviceNet.
Fuente: (Caler Rubio, 2015).*

La principal ventaja de este protocolo es su bajo coste, alta fiabilidad, uso eficiente del ancho de anda e incorporación de tensión de alimentación de 24VDC en el mismo cable del bus. La desventaja más destacable es el ancho de banda limitado y el tamaño limitado de los mensajes.

DeviceNet usa las especificaciones del bus CAN, la capa 2 de DeviceNet es íntegramente CAN, por lo que son aplicables a este protocolo las características de robustez de CAN y añade las especificaciones eléctricas de RS-485. DeviceNet es un conjunto de funciones de alto nivel que incluyen mensajes CAN, donde dichas funciones están orientadas a facilitar las comunicaciones necesarias en procesos de automatización.

2.6.2 Modbus

Modbus es un protocolo de transmisión para sistemas de control y supervisión de procesos (SCADA) con control centralizado, que puede comunicarse con una o varias estaciones remotas (RTU), con la finalidad de obtener datos de campo para la supervisión y control de un proceso. La interfaces de capa física pueden estar configuradas en: RS-232, RS-422 o RS-485.

MODBUS es un protocolo de tipo Petición/Respuesta, por lo que en una transacción de datos se puede identificar al dispositivo que realiza una petición como el cliente o maestro, y al que devuelve la respuesta como el servidor o esclavo de la comunicación. En una red MODBUS se dispone de un equipo maestro que puede

acceder a varios equipos esclavos. Cada esclavo de la red se identifica con una dirección única de dispositivo. En Modbus los datos pueden intercambiarse en 3 modos de transmisión: RTU, ASCII y TCP.

Los dos primeros están pensados para ser utilizadas directamente sobre un medio físico serie asíncrono, como por ejemplo RS-232, RS-485 o RS-422. En cambio el modo TCP está desarrollado para funcionar sobre redes que utilizan la arquitectura TCP/IP, lo que permite usar MODBUS sobre redes como Ethernet o WiFi.

2.6.2.1 Modo RTU:

Desarrollado por Modicon para la comunicación de PLC, pero también se utiliza para el control básico de parámetros en las unidades, es uno de los estándares de bus de campo más utilizados y aceptados desde finales de 1970.

Modbus RTU funciona sobre RS-485 y está basado en un sistema maestro/esclavo, funcionando a velocidades de transmisión de hasta 115Kbit/s. Estaba inicialmente pensado para comunicaciones en bus serie y como ventaja principal tiene el buen aprovechamiento del canal de comunicación, mejorando la velocidad de la transmisión de los datos. El inconveniente es que requiere una gestión de tiempos entre bytes recibidos para saber cuándo empiezan y terminan las tramas.

Las principales características de este bus son:

- Velocidad: dependiendo de la velocidad de transmisión de enlace serie.
- Topología física: Punto a punto o bus.
- Topología lógica: centralizada maestro/esclavo, sobre RS-485.
- Número máximo de dispositivos: 247.
- Longitud máxima de red: se basa en estándares RS-485, que es 1200 metros.
- Se pueden lograr longitudes mayores mediante el empleo de repetidores.

- Número máximo de nodos es 247 en una sola red.
- Medio de transmisión: par trenzado.

2.6.2.2 Modo ASCII:

Los datos se codifican como caracteres ASCII entre el "0" (16#30) y el "9" (16#39) y entre "A" (16#41) y "F" (16#46), además de utilizar 3 caracteres especiales: carácter ":" (16#3^a) para marcar el comienzo de la trama y el par de caracteres no imprimibles "CRLF" (16#0D, retorno de carro, y 16#0A, salto de línea) como delimitadores de fin de la trama.

Este formato tiene dos grandes ventajas:

- Ofrece una facilidad de detección del principio y del fin de trama gracias a los campos de inicio y fin (caracteres ":" y "CRLF"), con independencia de los tiempos de la transmisión del canal de comunicación.
- Permite trabajar con equipos de procesamiento lento sin tener que bajar la velocidad de comunicación siempre que tengan buffers de almacenamiento de los datos recibidos.

Los inconvenientes son que requiere un mayor ancho banda que MODBUS RTU para el envío de la misma petición o respuesta, o visto de otra manera, para el mismo ancho de banda el envío de una trama con ASCII es más lento que con RTU.

2.6.3 Profibus

Desarrollada en el año 1987 por empresas alemanas (ABB, Bosch, Klöckner Möller, Siemens) y 5 institutos de investigación alemanes, es el bus de campo más usado con más de 20 millones de nodos instalados. En 2002 se añade PROFINET, que es la versión de PROFIBUS para Ethernet. Este tipo de bus trabaja con nodos maestros y nodos esclavos. Los nodos maestros se llaman también activos y los esclavos pasivos. Existen tres perfiles para este bus:

2.6.3.1 Profibus-DP:

- Orientado a sensores/actuadores enlazados a procesadores (PLC's) o terminales, por tanto es aplicable al nivel de campo.
- La capa física está basada en RS-485.
- Se distingue entre maestro clase 1 (monitorización y diagnóstico), maestro clase 2 (centralizadores de información) y esclavos (sensores y actuadores).
- El transporte se realiza mediante tramas, enviando datagramas en modo broadcast o multicast.
- Implementa las capas 1, 2 y 7 según niveles del modelo OSI. La capa de aplicación es compleja debido a la necesidad de mantener la integridad en el proceso de paso de testigo.

2.6.3.2 Profibus-PA:

- Para control de proceso y cumpliendo normas especiales de seguridad para la industria química (seguridad intrínseca). Este perfil está orientado para su aplicación al nivel de proceso del modelo CIM.
- Utiliza la norma IEC 11158-2 para la comunicación síncrona entre sensores de campo que utiliza modulación sobre la propia línea de alimentación de los dispositivos y puede utilizar los antiguos cableados de instrumentación 4-20mA, y para el nivel de proceso se tiende a la utilización de Ethernet.

2.6.3.3 Profibus-FMS:

- Para comunicación entre células de proceso o equipos de automatización. La evolución de PROFIBUS hacia la utilización de protocolo TCP/IP para enlace al nivel de proceso hace que este perfil

esté perdiendo importancia. Este perfil está dirigido a su aplicación en niveles de célula y planta del modelo CIM.

- Es una compleja capa de aplicación que permite la gestión distribuida de procesos al nivel de relación entre células con posibilidad de acceso a objetos, ejecución remota de procesos, etc.
- Los dispositivos se definen como dispositivos de campo virtuales (VFDs).
- Los servicios disponibles definidos en MMS (Manufacturing Message Specification ISO 9506).

Las características generales resumidas de este bus son:

- Velocidades de transmisión: Desde 9.6Kbit/s hasta 12 Mbit/s.
- Número máximo de estaciones: 127 (32 sin utilizar repetidores).
- Distancias máximas alcanzables (cable de 0.22 mm de diámetro) a 93.75 Kbit/s 1200 metros; a 187.5 Kbit/s 600 metros; a 500 Kbit/s 200 metros.
- Estaciones pueden ser activas (maestros) o pasivas (esclavos). Además, se pueden configurar sistemas multimaestro o más simples maestro-esclavo.
- Acceso al medio entre maestros se arbitra mediante paso por testigo.
- La comunicación maestro-esclavo se realiza mediante polling.

2.6.4 Hart

El protocolo Hart utiliza el estándar Bell 202 (MODEM), por los cambios de frecuencia de conmutación (FSK Frequency Shift Keying, modulación de frecuencia cuya señal modulante) para superponer las señales digitales de comunicación a una señal análoga convencional de 4 a 20mA. Como la señal digital FSK simétrica a cero, no existe un nivel de CC asociadas a la señal y por lo tanto no interfiere con la señal 4- 20mA. La lógica "1" es representada por una frecuencia de 1200Hz y la lógica "0"

es representada por una frecuencia de 2200Hz. El Hart de la señal FSK permite la comunicación digital de dos vías, lo que hace posible la transmisión y recepción de información, más allá de que es la variable del proceso normal de los dispositivos de campo inteligentes. El protocolo HART se extiende a una tasa de 1200 bits por segundo, sin interrumpir la señal 4-20mA.

Características del protocolo Hart:

- Transmisión Asíncrona FDX/HDX, punto a punto y Multipunto.
- Caracter Básico de 1 bit de arranque, 8 bits de información, 1 bit de paridad impar y 1 bit de pare.
- Una unidad maestra puede controlar hasta 15 unidades remotas.
- Operación en modo de respuesta normal
- Distancia máxima: hasta 3000 m con par trenzado apantallado calibre AWG 24, hasta 1500 m con cable par trenzado común apantallado calibre AWG 20
- Modulación FSK, 1200 bps, con Módems Tipo Bell 202
- Medio de transmisión: par trenzado y el lazo de corriente de 4-20 mA
- Interfaces asociadas: RS-232 y RS-485

2.6.5 Foundation Fieldbus

Fieldbus es un término que se usa para describir una red de comunicaciones digitales que será usada en la medición y control de procesos industriales para reemplazar la señal analógica existente de 4-20 mA. La red es bidireccional, multicaídas ("multidrop"), utilizada para enlazar dispositivos digitales de campo (transmisores, actuadores, sensores) y sistemas de automatización (Sistemas de Control Distribuido: DCS's y Controladores Lógicos Programables: PLC's). Existen varios buses de campo o Fieldbuses. Foundation Fieldbus habilita funciones básicas

de control en los dispositivos de campo, además de manejo de datos del dispositivo y su aplicación, puede ser utilizado en instalaciones con seguridad intrínseca en localizaciones peligrosas. Foundation Fieldbus permite mezclar productos y sistemas de diferentes proveedores, que manejen este mismo protocolo, sin perder la funcionalidad del sistema. Esta característica hace a los sistemas abiertos e interoperables. Las ventajas de un sistema abierto e interoperable son:

- Los dispositivos de diferentes proveedores puedan trabajar juntos en un sistema eliminando los protocolos propietarios y las interfaces especiales o a la medida del cliente (customizadas).
- Se puede sustituir un dispositivo de campo por uno similar de otro proveedor sin limitar la funcionalidad o la integración del sistema.
- El protocolo y la implementación de componentes no son controlados por un solo proveedor.

FOUNDATION Fieldbus y el Comité de normas ISA (Instrument Society of America: Sociedad de Instrumentistas de América) / IEC (International Electrotechnical Commission: Comisión Electrotécnica Internacional) trabajan en conjunto en el desarrollo de las reglas o normas que regirán esta tecnología.

2.7 Áreas Clasificadas o Peligrosas

La operación segura de equipos electrónicos en áreas peligrosas es una consideración y regulación importante en el diseño de sistemas involucrados con sustancias combustibles en cualquier estado de la materia. El incumplimiento de las mismas puede ocasionar pérdidas materiales y hasta humanas. En el Cuadro 2.1 se encuentran listados los estándares más importantes relacionados a la seguridad de equipos electrónicos en áreas peligrosas.

| Estándar | Descripción |
|---|---|
| EN ³ 1127-1 | Atmosferas explosivas: Prevención y protección. Conceptos básicos y metodología |
| IEC ⁴ 60079-14/ EN 60079-14 | Dispositivos electrónicos para atmósferas gaseosas explosivas – instalaciones eléctricas en áreas peligrosas |
| IEC 60079-17 | Dispositivos electrónicos para atmósferas gaseosas explosivas – inspección y mantenimiento de instalaciones en áreas peligrosas |
| IEC 60079-19 | Dispositivos electrónicos para atmósferas gaseosas explosivas – reparación de equipos utilizados en áreas peligrosas. |
| IEC 60364-1 | Instalaciones eléctricas de bajo voltaje |
| API ⁵ RP-540 | Recomendaciones prácticas para instalaciones prácticas en Plantas de procesamiento de petróleo |
| API RP-500 | Clasificación de áreas para instalaciones eléctricas en plantas de procesamiento de petróleo |

*Cuadro 2.1 - Estándares para la operación de equipos electrónicos en áreas peligrosas.
Fuente: Elaboración propia*

Se considera un área peligrosa aquel lugar en el que se encuentre sustancias combustibles en cualquier estado, en la cantidad necesaria de manera que pueda ocasionarse la ignición de los mismos.

Las áreas peligrosas están clasificadas en zonas de acuerdo con la posibilidad de formación de una *atmósfera potencialmente explosiva*⁶. En el Cuadro 2.2 se encuentra la clasificación de áreas peligrosas de acuerdo a la normativa Americana del código nacional eléctrico NEC 500.

³ Las normas europeas (EN) son estándares realizados por expertos de los diferentes estados, miembros, sectores industriales o tecnológicos implicados, reguladores, etc. Todo dentro de la estructura del Comité Europeo de Normalización (CEN).

⁴ La comisión electrotécnica internacional (IEC) es la organización líder a nivel mundial encargada de preparar y publicar normas internacionales para todas las tecnologías eléctricas, electrónicas y afines.

⁵ El instituto de petróleo americano (API) integrada por más de 400 miembros elabora normas técnicas para la industria del petróleo y gas las cuales abordan temas de exploración y producción, refinación, medición y finalmente protección y seguridad contra incendios.

⁶Es una mezcla constituida por aire y gases, vapores, nieblas o polvos inflamables bajo condiciones atmosféricas, en proporciones tales que una temperatura excesiva, arcos, o chispas produzcan su explosión.

| Clase | Descripción |
|-----------------------------|--|
| <i>Clase I, División I</i> | Localizaciones en las que existen concentraciones peligrosas de gases o vapores inflamables de manera continua, intermitente, o periódica, bajo condiciones normales de operación. |
| <i>Clase I, División II</i> | Localizaciones en las que combustibles inflamables volátiles son manejados, procesados o usados, pero que dichas sustancias podrían normalmente ser confinados dentro de contenedores o sistemas cerrados, y solamente estos podrían estar presentes en la ruptura accidental o avería de los sistemas (escapar), es decir, los materiales combustibles sólo pudieran estar presentes en condiciones no habituales de operación. |
| <i>Clase II</i> | Localizaciones que son peligrosas debido a la presencia de polvo combustible |
| <i>Clase III</i> | Localizaciones en las que se encuentran presentes fibras o materiales que floten en el aire y que son fácilmente inflamables. |
| Grupos | Descripción |
| <i>Grupo A</i> | Atmósferas que contienen acetileno |
| <i>Grupo B</i> | Atmósferas que contienen hidrógeno, gases o vapor de equivalente peligrosidad como la de un gas manufacturado. |
| <i>Grupo C</i> | Atmósferas que contienen etilo, vapores de éter, etileno, o ciclo-propano |
| <i>Grupo D</i> | Atmósferas que contienen gasolina, hexano, nafta, benceno, butano, alcohol, benzol, solvente de laca, vapor o gas natural. |
| <i>Grupo E</i> | Atmósferas que contienen polvo metálico, incluyendo aluminio, magnesio, y otras aleaciones comerciales, o cualquier metal del mismo nivel de peligrosidad |
| <i>Grupo F</i> | Atmósferas que contienen humo negro de carbón o polvo de coque |
| <i>Grupo G</i> | Atmósferas que contienen harina, almidón, o polvo de granos |

*Cuadro 2.2 - Clasificación áreas peligrosas.
Fuente: Norma americana NEC 500.*

CAPÍTULO III:

REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA

3.1 Levantamiento de Información y Requerimientos de los Procesos

Como ya se mencionó antes, la planta PETROPERÚ es operada por el Consorcio Terminales GMP – OILTANKING brindando servicios de recepción, almacenamiento y despacho de una amplia gama de hidrocarburos líquidos.



*Figura 3.1 - Servicios que presta Consorcio terminales GMP – Oiltanking.
Fuente: Página oficial GMP.*

La planta cuenta con 3 áreas donde se realizan las operaciones de recepción, almacenamiento y distribución de combustibles. Estas áreas cuentan con equipos destinados a cumplir con las operaciones predispuestas, en base a estos equipos que se proporcionará la elección de la red e instrumentos para dar solución a los requerimientos que plantea la empresa operadora.

A continuación se muestran las áreas donde se desarrollan las 3 operaciones antes mencionadas (véase Figura 3.2), por otro lado se muestran otras áreas que son de gran importancia y que se mencionarán más adelante durante el desarrollo del proyecto de tesis. Las dimensiones de la planta de almacenamiento se puede observar en el ANEXO A.

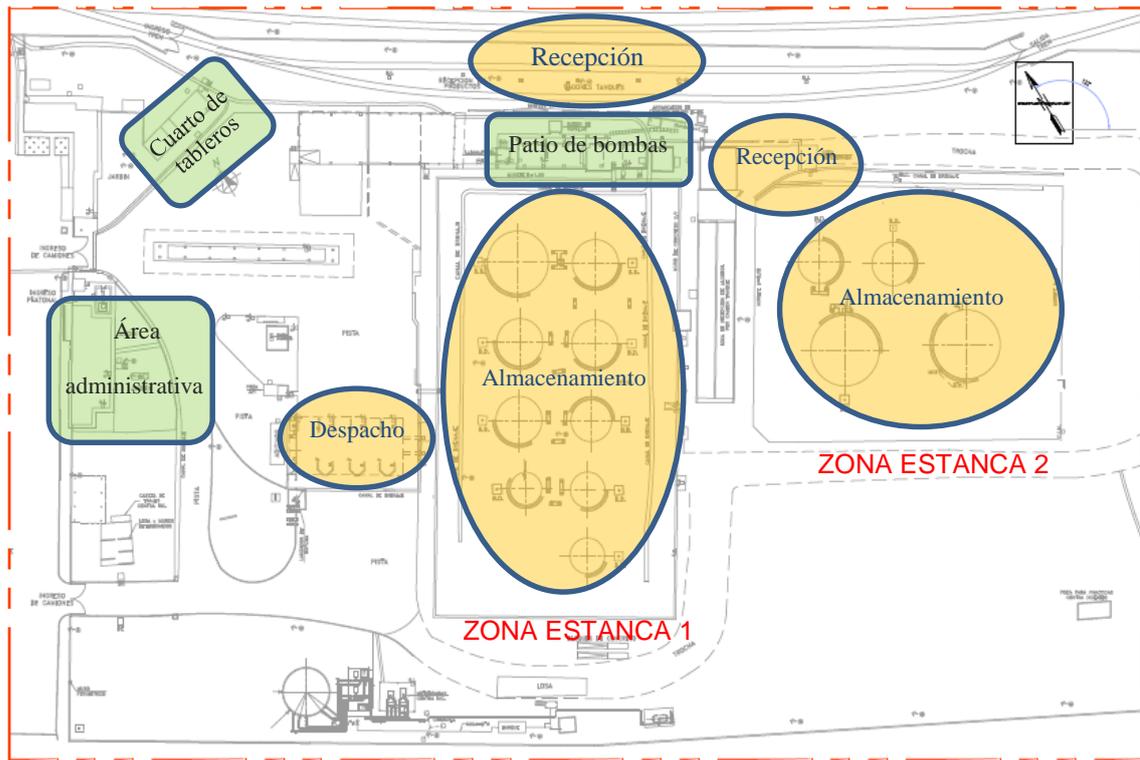


Figura 3.2 - Áreas de trabajo de la planta PETROPERÚ.
Fuente: Elaboración propia.

De la imagen anterior podemos observar que la planta cuenta con 2 zonas estancas, cada zona estanca agrupa cierto número de tanques y es la encargada de mantener el combustible dentro de su perímetro en caso exista rebalse o fugas de producto de alguno de los tanques. La zona estanca 1 cuenta con 9 tanques de almacenamiento, mientras la zona estanca 2 cuenta con 4 tanques de almacenamiento.

En el siguiente cuadro veremos el detalle de los tanques y el tipo de combustible que almacenan.

| N° TANQUE | TIPO DE TANQUE | CAP(BLS) | SERVICIO |
|-----------|----------------|----------|------------|
| TQ1 | TECHO FIJO | 4986 | DB5 S50 |
| TQ2 | TECHO FIJO | 993.2 | DB5 S50 |
| TQ3 | TECHO FIJO | 994 | DB5 S50 |
| TQ4 | TECHO FIJO | 1438.3 | DB5 S50 |
| TQ5 | TECHO FIJO | 5071.5 | DB5 S50 |
| TQ6 | TECHO FIJO | 3000.4 | DB5 S50 |
| TQ7 | TECHO FIJO | – | AGUA SCI |
| TQ8 | TECHO FIJO | 4765.4 | DB5 S50 |
| TQ9 | TECHO FIJO | 8039.2 | DB5 S50 |
| TQ10 | TECHO FIJO | 10305.1 | DB5 S50 |
| TQ11 | TECHO FIJO | 2970 | DB5 S50 |
| TQ12 | TECHO FLOTANTE | 3014 | ALC. CARB. |
| TQ13 | TECHO FIJO | – | AGUA SCI |
| TQ14 | TECHO FLOTANTE | 11704 | GAS84 |

*Cuadro 3.1 – Detalle de los tanques de almacenamiento.
Fuente: Consorcio Terminales.*

De acuerdo a cuadro anterior vemos que los tanques TQ1, TQ2, TQ3, TQ4, TQ5, TQ6, TQ8, TQ9, TQ10 y TQ11 se utilizan para el almacenamiento de petróleo (DB5-S50), el tanque TQ12 se usa para el almacenamiento de alcohol carburante y finalmente el tanque TQ14 para el almacenamiento de gasolina (GAS84). Por otro lado los tanques TQ7 y TQ13 sirven para el almacenamiento de agua del sistema contra incendio, como observación el tanque TQ13 está ubicado fuera de las zonas estancas, por lo que sus capacidades no se consideran en el Cuadro 3.1.

Una detalle importante es que los tanques que almacenan productos volátiles (alcohol carburante y GAS-84) son del tipo techo flotante, mientras que los tanques que almacenan petróleo son del tipo techo fijo.

Dentro del área del patio de bombas están ubicadas las bombas de recepción y las de despacho, el detalle de los servicios que prestan cada una de las bombas se muestran en el siguiente cuadro.

| CUADRO DE BOMBAS | | | | |
|------------------|----------|--------------|--------------|-----------|
| N° | SERVICIO | CAUDAL (GPM) | POTENCIA(HP) | NOTAS |
| 1 | GAS84 | 350 | 7.5 | RECEPCION |
| 2 | GAS84 | 350 | 10 | DESPACHO |
| 3 | F/S | – | – | F/S |

| | | | | |
|----|----------------|-----|----|-----------|
| 4 | GAS84 | 400 | 15 | DESPACHO |
| 5 | DB5 S50 | 400 | 15 | DESPACHO |
| 6 | DB5 S50 | 600 | 60 | RECEPCION |
| 7 | DB5 S50 | 450 | 20 | DESPACHO |
| 8 | ALC.CARBURANTE | 60 | 5 | DESPACHO |
| 9 | ALC.CARBURANTE | 60 | 5 | DESPACHO |
| 10 | ALC.CARBURANTE | 350 | 25 | RECEPCION |

*Cuadro 3.2 – Detalle de las bombas de recepción y despacho.
Fuente: Elaboración propia.*

En el área del cuarto de tableros se encuentran los tableros de control de las bombas, dentro de ellas están montadas los variadores de velocidad usados para el encendido y apagado de los motores que otorgan la fuerza de impulsión a las bombas, estas son controladas por el sistema automático de despacho de combustibles (DANLOAD 6000) y como característica principal es que estos variadores de velocidad cuentan con un puerto de comunicación MODBUS RTU (véase Cuadro 3.3).

| CUADRO DE VARIADORES DE VELOCIDAD | | | | |
|--|-----------------|---------------------|---------------------|--------------|
| ALIMENTACIÓN | SERVICIO | POTENCIA(HP) | COMUNICACIÓN | NOTAS |
| 440VAC | GAS84 | 10 | MODBUS-RTU | DESPACHO |
| 440VAC | GAS84 | 15 | MODBUS-RTU | DESPACHO |
| 440VAC | DB5 S50 | 15 | MODBUS-RTU | DESPACHO |
| 440VAC | DB5 S50 | 20 | MODBUS-RTU | DESPACHO |
| 440VAC | ALC.CARBURANTE | 5 | MODBUS-RTU | DESPACHO |
| 440VAC | ALC.CARBURANTE | 5 | MODBUS-RTU | DESPACHO |

*Cuadro 3.3 - Detalle de los variadores de velocidad existentes en planta.
Fuente: Elaboración Propia.*

El área administrativa es donde se encuentran las oficinas del jefe y los supervisores de planta, es aquí donde se realiza el inventariado de los productos almacenados con el uso del sistema FULL DANTAS, además se gestionan las notas de pedidos provenientes de los mayoristas y es donde se planifica todos los trabajos a realizar durante el día de trabajo. Las oficinas están implementadas con computadoras personales, usadas para los propósitos antes mencionados, todas

ellas cuentan con características similares, a continuación se muestra las características de una computadora:

- Procesador INTEL(R) Core(TM) i5-2400 CPU, 3.10 Ghz.
- Sistema operativo: Windows 7 profesional 64 bits, Memoria DIMM 4GB.
- Tarjeta de video integrada Intel GMA3100
- Disco duro 500 GB hard drive SATA de 3,5 “, 7200 RPM. DVD R/W: CD-RW/DVD-ROM IDE 48X
- Puertos Ethernet: Tarjeta de interfaz red Ethernet para puerto único Broadcom NetXtreme 5708 puerto Gigabit.
- Monitor plano de 21” SVGA,
- Teclado USB en español Latinoamérica
- Mouse óptico de dos botones con Scroll.
- Puertos: 8 USB, 1 conector serial, 1 conector paralelo.

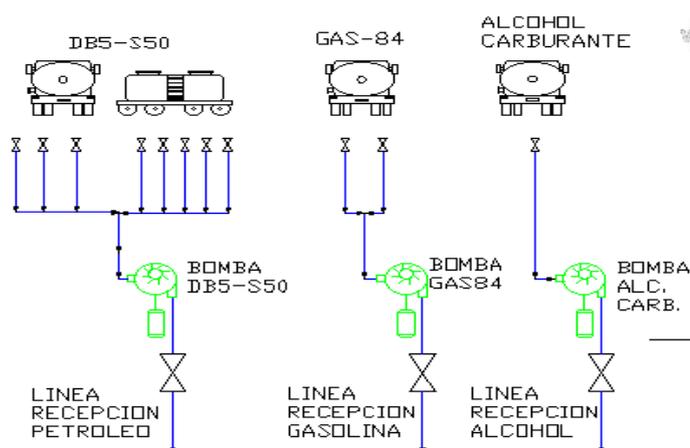
En la etapa de almacenamiento todos los tanques cuentan con entradas y salidas de tubería correspondientes a la recepción y despacho del elemento que almacenan, el paso del producto por las tuberías son controladas por válvulas tipo compuerta de 6 pulgadas y 4 pulgadas, que a su vez habilitan el encaminamiento hacia y fuera de los tanques, permitiendo efectuar las operaciones de recepción y despacho.



*Figura 3.3 - Válvulas de control a la entrada y salida del tanque.
Fuente: Fotografía tomada en planta.*

A petición de la empresa operadora (Consortio Terminales) es necesario la visualización y control de las válvulas de ingreso y salida de los tanques, así mismo el control y monitoreo de las bombas para ejecutar el encaminamiento del producto como corresponde. Por otro lado es necesario supervisar las variables (temperatura y nivel) de cada uno de los tanques y tener la capacidad de detectar el rebalse de producto hasta el nivel máximo permitido. Todo esto en un punto centralizado, de preferencia en las dos computadoras que están ubicadas en las oficinas administrativas.

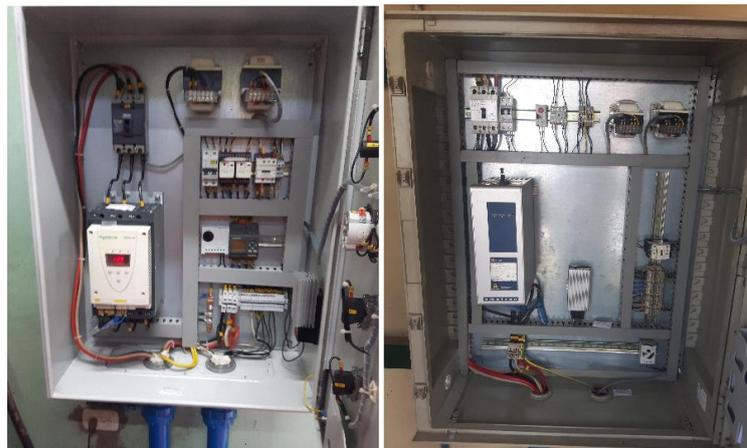
En la etapa de recepción se cuenta con distintos acopladores manuales por cada producto para realizar la conexión de las cisternas con el circuito de recepción. Ya fijado el acoplador con el cisterna, el producto se encamina por las tuberías hacia las bombas que al ser accionadas impulsan el mismo llegando finalmente a los tanques de almacenamiento. Es necesario recalcar que en el circuito de recepción, específicamente a continuación de las bombas de recepción, se tienen válvulas generales de 6 pulgadas que controlan el ingreso del producto hacia los diferentes circuitos de tubería que tiene cada tanque de almacenamiento (véase Figura 3.4).



*Figura 3.4 - Diagrama de líneas de recepción.
Fuente: Elaboración propia.*

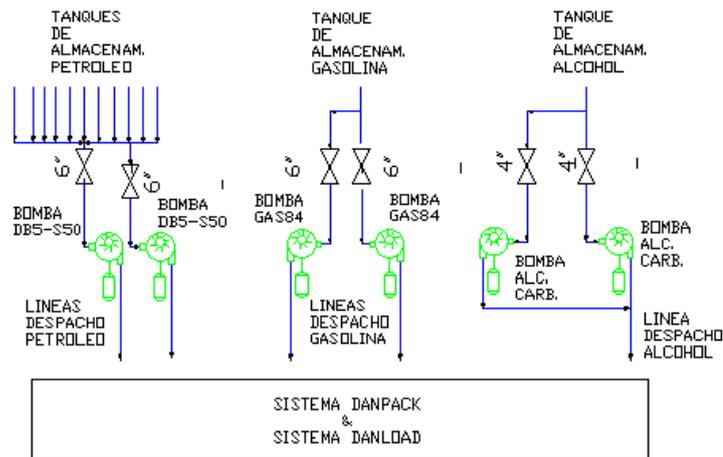
Es así que en esta etapa Consorcio terminales necesita controlar y monitorear el encendido y apagado de las bombas (DB5-S50, GAS84, ALC. CARB), de igual forma controlar y observar el estado de las 3 válvulas principales de cada una de las líneas de recepción que habilitan el paso de los combustibles hacia los tanques de almacenamiento.

La etapa de distribución (despacho) tiene gran similitud con la recepción, porque existen válvulas de 6 y 4 pulgadas que habilitan el paso de los combustibles provenientes de los diferentes tanques de almacenamiento hacia las bombas de descarga, para finalmente impulsar el producto hacia las islas de despacho. Como ya se mencionó antes las bombas de despacho ya cuentan con variadores de velocidad para su encendido y apagado, siendo estas de la marca Emotron y Schneider.



*Figura 3.5 - Variadores de velocidad de las bombas de despacho.
Fuente: Fotografía tomada en planta.*

El sistema automático de descarga que efectúa el despacho de combustibles es el llamado DANLOAD 6000, este sistema controla la cantidad y el tipo de combustible que se requiere, por otra parte controla el encendido de las bombas que impulsan el producto y finalmente realiza la inyección de aditivos, todo esto en coordinación con las notas de pedido generadas por las empresas mayoristas (PECSA, PETROPERÚ, REPSOL). La Figura 3.6 muestra el detalle del circuito de descarga



*Figura 3.6 - Diagrama de líneas de despacho.
Fuente: Elaboración Propia.*

Para esta etapa CONSORCIO TERMINALES requiere observar y controlar el estado de 4 válvulas de 6 pulgadas y 2 válvulas de 4 pulgadas, además requieren integrar al sistema las bombas y variadores ya existentes en planta, para monitorear y controlar desde las oficinas administrativas.



*Figura 3.7 - Patio de bombas para la recepción y distribución de producto.
Fuente: Fotografía tomada en planta.*

Adicionalmente, el área administrativa y el área de supervisión de la empresa operadora necesitan un punto de acceso para efectuar el control y supervisión de los procesos de la planta, de preferencia ubicada dentro de las oficinas administrativas, específicamente en las computadoras que utilizan los supervisores y jefe de planta (2

PC's). Por otro lado los operadores necesitan de un terminal táctil o un panel HMI para efectuar el control y monitoreo sobre los diversos actuadores (motores y válvulas), para verificar el estado de cada uno de los tanques y finalmente observar las alarmas en caso existiesen. Este panel táctil deberá contar con restricciones de acceso y deberá estar ubicado cerca al patio de bombas por ser el lugar más cercano a las zonas estancas.



*Figura 3.8 - Oficinas administrativas de la planta PETROPERÚ
Fuente: Foto tomada en planta*

Ya analizadas las exigencias de la empresa se llega a un resumen general que se dividirá en 2 partes: elementos a controlar y variables a monitorear.

3.1.1 Elementos a controlar

3.1.1.1 Etapa de recepción

- Apertura y cierre de 3 válvulas de tipo compuerta de 6 pulgadas.
- Encendido de 3 bombas eléctricas con alimentación de 440VAC de acuerdo a las potencias que manejan.
- Controlar la velocidad de las bombas eléctricas.

3.1.1.2 Etapa de almacenamiento

- Apertura y cierre de 24 válvulas tipo compuerta, el siguiente cuadro da el detalle de las válvulas por cada tanque.

| DIAMETRO DE VÁLVULAS DE CADA TANQUE | | |
|-------------------------------------|----------------------|---------------------|
| N° | VÁLVULA DE RECEPCIÓN | VÁLVULA DE DESPACHO |
| TQ1 | 6" | 4" |
| TQ2 | 6" | 4" |
| TQ3 | 6" | 4" |
| TQ4 | 4" | 4" |
| TQ5 | 6" | 4" |
| TQ6 | 6" | 4" |
| TQ8 | 4" | 4" |
| TQ9 | 6" | 4" |
| TQ10 | 6" | 6" |
| TQ11 | 6" | 6" |
| TQ12 | 6" | 6" |
| TQ14 | 6" | 6" |

*Cuadro 3.4 - Diámetro de válvulas de los tanques de almacenamiento.
Fuente: Elaboración propia.*

3.1.1.3 Etapa de despacho

- Apertura de 4 válvulas de tipo compuerta de 6 pulgadas y 2 válvulas de tipo compuerta de 4 pulgadas.
- Controlar la velocidad de las bombas que a su vez son encendidas por el sistema DANLOAD 6000.

3.1.2 Variables a monitorear

3.1.2.1 Etapa de recepción

- Estado de 3 válvulas (abierto - cerrado).
- Estado y velocidad de las 3 bombas (apagadas o en funcionamiento).

3.1.2.2 Etapa de almacenamiento

- Nivel del tanque de almacenamiento
- Temperatura del tanque de almacenamiento.
- Alarma del máximo nivel del tanque de almacenamiento.
- Estado de las 24 válvulas (abierto - cerrado)

3.1.2.3 Etapa de despacho

- Estado de las válvulas (abierto - cerrado).
- Estado y velocidad de las 6 bombas (apagadas o en funcionamiento).

3.1.3 Clasificación de las áreas peligrosas de la planta

Para la planta de almacenamiento y distribución de PETROPERÚ, la clasificación de peligrosidad está dada por los tipos de combustible y por el vapor existente en los diferentes sectores que se encuentran los derivados del petróleo. De tal manera, que la mayoría de los sectores que están fuera del área del tanque, que no tengan contacto directo con el combustible y donde se tendrán conexiones eléctricas de mayor carga serán clase 1 división 2, es decir alrededor del tanque o zonas fuera de la zona estanca. Solo en la parte más cercana al combustible donde serán instalados los sensores o transmisores que medirán las variables de campo (nivel, temperatura, sobre nivel) serán clase 1 división 1, es decir encima o dentro del tanque de almacenamiento. En la Figura 3.9 se muestra los detalles para la clasificación de peligrosidad de un tanque de almacenamiento.

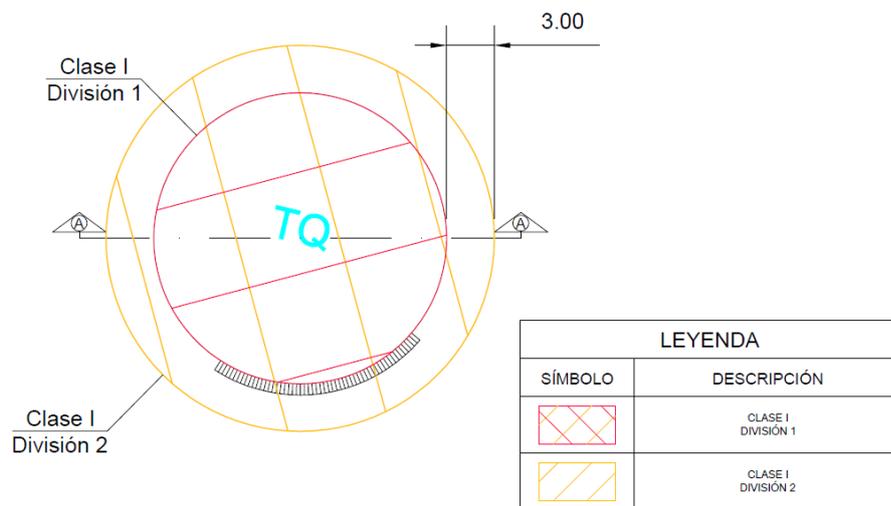


Figura 3.9 - División de áreas clasificadas para un tanque de almacenamiento de combustible.
Fuente: Elaboración propia.

3.2 Selección de Equipos e Instrumentos para la Solución

Como ya se determinó la clasificación de las áreas peligrosas en el terminal de almacenamiento y distribución de combustibles de PETROPERÚ, ahora describiremos las características que deben tener cada uno de los equipos e instrumentos, así como la cantidad de ellos por cada etapa, seguidamente seleccionaremos los equipos e instrumentos para el sistema supervisión, medición y control. Estos equipos deberán cumplir con los estándares relacionados a la seguridad de equipos electrónicos en áreas peligrosas, de esta manera se evitará correr riesgos en aquellos sitios donde se tiene contacto directo con los combustibles.

3.2.1.1 Consideraciones para los equipos en áreas peligrosas

Según la empresa operadora y los entes reguladores de la manipulación de combustibles consideran que los equipos que trabajan dentro de las áreas peligrosas deben contar con ciertas características que se describen a continuación:

- Protección contra el ingreso de cualquier partícula, líquido o sustancia que provoque algún daño o cortos circuitos. Los códigos que acompañan al instrumento indicando el cumplimiento de los grados de protección, están estandarizados por normativas de **protección internacional (IP)** y la **National Electrical Manufacturer Association (NEMA)** y esta dependerá de la aplicación o zona donde estará instalado el equipo.
- El equipo debe contar con un armazón capaz de resistir una explosión interna de gas o vapor y de impedir la ignición de una mezcla inflamable que se encuentre en la atmósfera circundante por la chispa o llama que provenga de su interior. Estos equipos normalmente cuentan con la certificación de la **Directiva ATEX** (atmósferas explosivas), ANSI/NPFA 496 y IEC 60079-15.

- El equipo debe contar con la protección de seguridad intrínseca dicho de otra manera debe ser capaz de trabajar en condiciones normales y anormales con un mínimo de energía eléctrica, de tal forma que no provoque ignición en un área peligrosa, de esta manera se asegura que existan niveles bajos de energía o tensiones bajas en el área peligrosa.

3.2.2 Normas aplicables para la elección de equipos

Los siguientes códigos y estándares generales serán utilizados durante la elección de los equipos:

Generales

| | |
|------|---|
| API | <i>American Petroleum Institute.</i> |
| ASTM | <i>American Society for Testing Materials.</i> |
| ASME | <i>American Society of Mechanical Engineers.</i> |
| NEMA | <i>National Electrical Manufacturer Association.</i> |
| NFPA | <i>National Fire Protection Associations.</i> |
| ISA | <i>The Instrumentation Systems and Automation Society.</i> |
| IEEE | <i>Institute of Electrical & Electronics Engineers.</i> |

Específicas

| | |
|------------|--|
| API MPMS | <i>Manual of Petroleum Measurement.</i> |
| ASME B31.4 | <i>Manual of Petroleum Measurement Standards, 4 y 5.</i> |
| API 2531 | <i>Mechanical displacement meter provers.</i> |
| API RP-500 | <i>Recommended Practice for Classification of Locations for Electrical Installations at Petroleum Facilities Classified as Class I, Division I and Division 2.</i> |
| API RP-551 | <i>Process Measurement Instrumentation.</i> |

IEEE 1100 *Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic.*

Estas normas y estándares se consideran complementarios entre sí. Sin embargo, en caso de presentarse diferencias o contradicciones, se debe considerar la más estricta o exigente desde el punto de vista de seguridad y operación, excepto si es sugerido de otra manera por la empresa operadora.

3.2.3 Equipos e instrumentación (sensores - actuadores)

3.2.3.1 Medición de nivel

El error de algunos milímetros en medición de nivel en tanques, produce errores en la medición de volumen, en el caso de tanques de almacenamiento de combustibles, este error puede llegar a producir en el tiempo diferencias de varios cientos e incluso miles de galones, debido al gran diámetro de los tanques que varían de 5 a 15 metros.

Como un ejemplo particular, en la medición de nivel de combustible de un tanque de 10 metros de diámetro, si se comete un error de $\pm 2\text{mm}$ en nivel, esto se traduce en un volumen de 41.5 galones.

$$Vol = \pi \cdot r^2 \cdot h = \pi \cdot 5^2 \cdot 0,002 = 0.1571 \text{ m}^3 = 157.1 \text{ litros} = 41.5 \text{ galones}$$

$$Vol = 0.988 \text{ barriles}$$

Con el cálculo anterior observamos que esta cantidad es considerable y muestra la importancia de la selección correcta de la tecnología para la medición de nivel. En el Cuadro 3.5 se muestra algunos de los instrumentos usados en los diferentes métodos para la determinación de nivel:

| MÉTODOS | | |
|---|--|---|
| Medición directa de nivel | Medición de nivel a través de la presión hidrostática | Medición de nivel a través de las características físico-químicas del líquido |
| <ul style="list-style-type: none"> • Sonda. • Cinta y plomada. • Instrumentos flotadores. • Flotador adaptado a servomotor. | <ul style="list-style-type: none"> • Medidores manométricos. • Medidores de membrana. • Medidores de tipo burbujeo. • Medidores de presión diferencial de diafragma. | <ul style="list-style-type: none"> • Medidor conductivo. • Medidor ultrasónico. • Medidor de radar. • Medidor de láser. |

*Cuadro 3.5 - Instrumentos usados en diferentes métodos para la determinación de nivel.
Fuente: Elaboración propia.*

La medición directa de nivel a través de sondas, cintas, plomadas o instrumentos flotadores son formas muy comunes de obtener el nivel en las plantas de almacenamiento de combustibles del territorio peruano. Estas mediciones manuales como ya sabemos carecen de transmisión de las medidas. Con este precedente se deberá acudir a otros métodos de medición de nivel que permitan la transmisión de datos. En el siguiente cuadro vemos una comparativa de los medidores de nivel usados en la medición de tanques de almacenamiento con un análisis de precisiones.

| Instrumento | Campo de medida | Precisión % escala | Presión Máx. [bar] | Temp. Máx. [°C] | Desventajas | Ventajas |
|---------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|-----------------|------------------------------------|---------------------------------|
| Sonda | Limitada al tamaño de la sonda | 0,5 mm | Atmosf. | 60 | Manual, sin olas, tanques abiertos | Barato, Preciso |
| Flotador | 0 – 10m | ± 1 – 2% | 400 | 250 | Posible agotamiento | Seguro, preciso, simple. |
| Manométrico | Alt. Del tanque | ± 1% | Atmosf. | 60 | Tanques abiertos, fluidos limpios | Preciso, versátil |
| Membrana | 0-25 m | ± 1% | Atmosf. | 60 | Tanques abiertos | Barato |
| Presión diferencial | 0 - 3m | ± 0,15% a 0,5% | 150 | 200 | Posible agotamiento | Interfase líquida |
| Desplazamiento | 0-25m | ± 0,5% | 100 | 170 | Expuesto a corrosión | Robusto |
| Conductivo | Ilimitado | ± 0,5% | 80 | 200 | Sólo líquido conductor | Versátil |
| Capacitivo | 0. 6m | ± 1% | 80-250 | 200-400 | Recubrimiento electrodo | Resistencia, corrosión |
| Ultrasónico | 0 - 30m | ± 1% | 400 | 200 | Sensible a densidad | Todo tipo de tanques y líquidos |

| | | | | | | |
|-------|---------|---------|------------------|-----|---|---|
| Radar | 0 – 30m | ± 0,5mm | Según el proceso | 400 | Sensible a la constante dieléctrica del líquido | Todo tipo de tanques y líquidos (y con espuma), sin contacto con el líquido |
|-------|---------|---------|------------------|-----|---|---|

*Cuadro 3.6 - Comparativa de instrumentos de nivel.
Fuente: Elaboración propia.*

Si comparamos los sensores por su modo de detección, encontraremos que los medidores que no tienen contacto directo con el elemento a medir (ultrasónico, radar, etc) poseen ciertas ventajas ante los medidores que si tienen contacto directo (desplazamiento, flotador, etc), por ejemplo el mantenimiento de los medidores tipo radar es más fácil y menos costoso, en cambio en los medidores de desplazamiento sus partes llegan a fatigarse lo que ocasiona un deterioro de la medición implicando un aumento del error.

Del Cuadro 3.6 observamos que los medidores de radar y tipo ultrasónicos son los que ofrecen una medición de nivel sin contacto directo con el producto, además otorgan una precisión aceptable y con un amplio rango de medida. Dentro del principio de funcionamiento ambas tecnologías (radar y ultrasónico) funcionan bajo el principio de tiempo de vuelo, lo que indica que para la determinación de nivel, se consigue emitiendo un pulso de sonido o pulso electromagnético (microondas) a la superficie del medio a medir, es aquí donde el medidor tipo radar al utilizar una emisión de pulsos electromagnéticos (microondas) tiene una gran ventaja sobre el medidor tipo ultrasónico, ya que esta emisión de microondas es insensible a los cambios de densidad de aire, condiciones de alta presión o vacío, presencia de vapores o polvo en suspensión. Aunque la tecnología radar es cara esta nos ofrece una instalación fácil, además que no requiere un mantenimiento constante.

En planta los tanques de almacenamiento tienen una altura que varía desde los 4m a 12m (véase Cuadro 3.7), por otro lado se observa que el alcance máximo de un medidor tipo radar cumple con este rango de medida requerido en la planta.

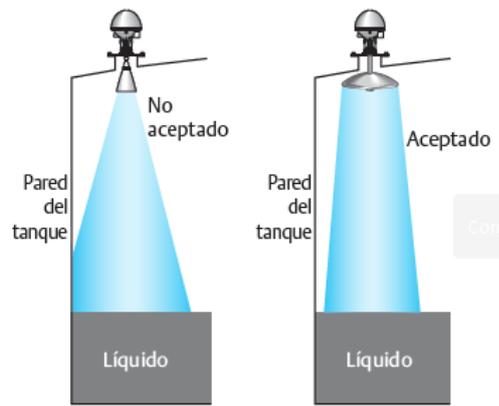
De esta manera se concluye que el medidor tipo radar es el más idóneo para nuestra aplicación.

| CUADRO DE TANQUES | | | | | | |
|--------------------------|----------------|-----------------|--------------|--------------------|------------------|--------------|
| N° TQ | TIPO | CAP(BLS) | SERV. | DIAMETRO(m) | ALTURA(m) | NOTAS |
| TQ-1 | TECHO FIJO | 4986.0 | DB5 S50 | 9.2 | 11.9 | |
| TQ-2 | TECHO FIJO | 993.2 | DB5 S50 | 6.9 | 4.2 | |
| TQ-3 | TECHO FIJO | 994.0 | DB5 S50 | 6.9 | 4.2 | |
| TQ-4 | TECHO FIJO | 1438.3 | DB5 S50 | 6.1 | 7.8 | |
| TQ-5 | TECHO FIJO | 5071.5 | DB5 S50 | 9.2 | 12.1 | |
| TQ-6 | TECHO FIJO | 3000.4 | DB5 S50 | 8.1 | 9.2 | |
| TQ-8 | TECHO FIJO | 4765.4 | DB5 S50 | 9.2 | 11.4 | |
| TQ-9 | TECHO FIJO | 8039.2 | DB5 S50 | 12.2 | 10.8 | |
| TQ-10 | TECHO FIJO | 10305.1 | DB5 S50 | 13.7 | 11 | |
| TQ-11 | TECHO FIJO | 2970.0 | DB5 S50 | 8.4 | 8.5 | |
| TQ-12 | TECHO FLOTANTE | 3014.0 | ALC. CARB. | 8.4 | los 8.6 | |
| TQ-14 | TECHO FLOTANTE | 11704.0 | GAS84 | 13.4 | 13.4 | |

*Cuadro 3.7 - Cuadro de tanques de almacenamiento.
Fuente: Elaboración propia*

Según el Cuadro 3.7 - Cuadro de tanques de almacenamiento, en planta se tienen 2 tipos de tanques (techo fijo y techo flotante).

En un tanque de techo fijo, las aberturas adecuadas para la medición del tanque se encuentran normalmente en el techo cerca de la pared del tanque ya que garantizan la estabilidad que proporciona la pared. Las antenas con haz de microonda estrecho son las más adecuadas para dichas ubicaciones de tanque muy próximas a la pared. Cuanto más grande sea la antena, más estrecho se torna el haz de microondas.



*Figura 3.10 - Radares con haz ancho (antena pequeña) y haz estrecho (antena grande).
Fuente: (EMERSON, La guía del ingeniero para medición de tanques., 2017).*

En un tanque de techo flotante, se deberá utilizar el tubo tranquilizador⁷ que estará ubicado donde ocurre la medición de nivel del líquido ya que el resto de la superficie líquida está cubierta por el techo flotante. Para este tipo de tanque se recomienda una antena de medidor de tanques por radar para tubos tranquilizadores que está diseñada para utilizar los tubos tranquilizadores existentes de varios tamaños y diseños. El tubo tranquilizador debe tener ranuras u orificios que permitan una buena mezcla del líquido entre el interior y el exterior del tubo. Un medidor de tanques por radar para aplicaciones de tubos tranquilizadores debe tener la capacidad de soportar un tubo tranquilizador con grandes ranuras/orificios y aun así proporcionar una alta precisión. Asimismo, debe funcionar con la más alta precisión incluso si el tubo tiene óxido y acumulación de suciedad en el interior.

Además, se debe confeccionar una antena de tubo tranquilizador para que se pueda acceder a este para otras tareas como muestreo y medición manual.

⁷ Tubo que desciende desde el techo del tanque hasta el fondo del mismo con el objetivo de aquietar el fluido dentro de sí y servir de guía de onda electromagnética.



*Figura 3.11 - Acceso a la sonda manual en un tubo tranquilizador.
Fuente: (EMERSON, La guía del ingeniero para medición de tanques., 2017)*

Dadas las recomendaciones para la selección del instrumento de medición de nivel y la teoría de mediciones en tanques de techo flotante y techo fijo, necesitaremos para el sistema propuesto 12 de estos instrumentos, uno por cada tanque. Estos instrumentos deberán contar con las siguientes características:

- El transmisor de nivel será del tipo radar basado en el método de ondas continuas de frecuencia modulada (FMCW), ya que es la tecnología más actual y comúnmente utilizada proporcionando un valor mínimo de error.
- El transmisor deberá ser capaz de trabajar en un medio con emisión de gases, ambientes con riesgo de explosión y ambientes con vibraciones y ruido
- Los cambios de temperatura no influirán en la parte electrónica del transmisor, esto con la finalidad de garantizar que la precisión del instrumento no se vea afectada.
- En ningún caso, ya sea en operación normal, de prueba o en momentos de falla, el equipo podrá generar microondas peligrosas para el ser humano.
- La precisión del instrumento deberá ser menor a +/- 1mm.

- Una condición indispensable es que el medidor tenga un puerto intrínsecamente seguro para realizar la configuración y/o calibración por medio de un terminal portátil, sin necesidad de abrir los compartimientos.
- El transmisor deberá contar con uno de los siguientes protocolos de comunicación: HART, PROFIBUS o FOUNDATION FIELDBUS, caso contrario se pueden utilizar instrumentos que trabajen con señales de 4-20mA.
- El diseño de la antena será tal que la influencia de las paredes del tanque será mínima y deberá estar instalado a una distancia mínima de 1.5m de la pared. La inclinación y orientación de la antena serán ajustables.
- El diseño de la antena para tanques de techo fijo será de antena grande (haz estrecho), en caso de no tener espacio se hará uso de tubos tranquilizadores. Para tanques de techo flotante deberá estar instalado un tubo tranquilizador y sobre esta se instalará una antena adecuada para tubos tranquilizadores.
- El diseño de la antena estará hecho con superficies inclinadas para asegurar la eliminación del goteo de vapores de hidrocarburo en caso de acumulación de agua.
- La antena debe ser de fácil instalación y remoción para que se haga posible su mantenimiento. La misma, deberá ser susceptible a verificación sin necesidad de desmontarla.
- El cuerpo del transmisor estará diseñado para trabajar en ambientes fríos, calientes y corrosivos (temperatura del proceso -25°C a 60°C), deberá

contar con aprobaciones para utilizarlas en áreas clasificadas como Clase 1 división 1 y con certificación de equipos intrínsecamente seguros⁸.

- Para evitar problemas por perturbaciones de objetos dentro del tanque se prefiere que el radar trabaje a frecuencias en el rango de 8- 12 Ghz.
- El transmisor de nivel de ser necesario deberá tener un certificado de calibración emitido por alguna de las organizaciones internacionales aprobadas (NIST EEUU, SIM Francia, NIM Holanda, PTB Alemania y OIML), con la finalidad de garantizar las aplicaciones de transferencia y custodia.

Un detalle importante a considerar es la utilización del espectro radioeléctrico (normado por el MTC) por parte del instrumento que trabajará sobre el rango de los 8 a 12 GHz, según “el plan nacional de atribución de frecuencias” este rango de frecuencias es usado para prestar servicios de radio navegación aeronáutica y marítima, es por ello que el instrumento deberá contar con alguna certificación de compatibilidad electromagnética (EMC⁹), para así evitar cualquier interferencia del equipo de medición con otros equipos que trabajen en el mismo rango de frecuencias.

En el medio industrial existen infinidad de instrumentos para la medición de nivel por radar, es por ello que se muestra Cuadro 3.8 con los modelos con mayor renombre para la elección del instrumento:

⁸ Los equipos con seguridad intrínseca deben ser capaces de trabajar en condiciones normales y anormales con un mínimo de energía eléctrica y termal, tal que no provoque ignición en un área peligrosa.

⁹ La compatibilidad electromagnética es la habilidad de un dispositivo, equipo, o sistema, de funcionar satisfactoriamente en su ambiente electromagnético sin producir perturbaciones electromagnéticas intolerables a cualquier objeto de ese ambiente.

| CARACTERÍSTICAS | MICROPILOT FMR60 | VEGAPULS 64 | ROSEMOUNT 5900S |
|-------------------------|---------------------|-----------------|-------------------------------------|
| COMUNICACIÓN | HART | HART | FOUNDATION FIELBUS |
| RANGO DE MEDICIÓN | 50m | 30m | 0.8 – 30m |
| PRECISIÓN | +/-1mm | +/-2mm | +/-0.5mm |
| FRECUENCIA DE EMISIÓN | 80GHz | 80GHz | 10GHz |
| CERTIFICACIONES | ATEX EMC SIL | ATEX EMC | ATEX EMC SIL Clase I div I |
| APLICACIÓN | General | General | Dirigido a petroquímica |
| VERSIONES | Para techo fijo | Para techo fijo | Para techo fijo y techo flotante |
| TEMPERATURA DEL PROCESO | -40 ... +130°C | -40 ... +200°C | -40 ... +70°C |

*Cuadro 3.8 - Comparación de instrumentos para medición de nivel.
Fuente: Elaboración propia.*

Tomando en cuenta todas las características mencionadas anteriormente el equipo elegido será ROSEMOUNT 5900S por presentar con una mejor precisión, por adecuarse a los diferentes tipos de tanques y porque su aplicación está dirigida al sector petroquímico. Además, al ser de una marca reconocida en aplicaciones de medición de tanques de almacenamiento de combustibles líquidos, cuenta con las certificaciones contra riesgo de explosión y seguridad intrínseca, por otro lado se acomoda para su uso con el rango de temperatura del proceso.

El número de instrumentos requeridos tomando en cuenta el Cuadro 3.7 son:

- Para tanques con techo flotante, 2 transmisores Rosemount 5900S con antena direccional para tubo tranquilizador.
- Para tanques con techo fijo, 10 transmisores Rosemount 5900S con antena parabólica.

A continuación se muestra algunas de las especificaciones con las que cuenta el equipo elegido.

| ESPECIFICACIONES ROSEMOUNT 5900S | |
|----------------------------------|--|
| Precisión | +/-0.5mm |
| Rango de medida | 0.8m a 30m |
| Temperatura de trabajo | -40 a +70°C |
| Bus de campo | Foundation Fieldbus |
| Principio de medición | FMCW 10GHz (<1mW) |
| Consumo | 51 mA |
| Voltaje alimentación | 9 17.5 VCC |
| Cableado | 0.5-1.5 mm ² (AWG 22-16) par trenzado apantallado |
| Protección | IP66/67 |
| Certificaciones | ATEX EMC SIL Clase I div I |

*Cuadro 3.9 - Especificaciones Rosemount 5900S.
Fuente: Elaboración propia.*

Para mayor detalle de las características de este instrumento Véase ANEXO I.

3.2.3.2 Medición de temperatura

La medición de la temperatura es una de las más usadas en la industria. Las limitaciones que se tengan al medir temperatura están directamente ligadas al tipo de proceso, la velocidad de lectura, la distancia entre el sensor y el receptor, y el tipo de instrumento indicador-registrador que va a soportar las temperaturas cercanas al lugar de medida. La medición de la temperatura de un producto es vital en un sistema de medición de tanques para el cálculo de masa y volumen estándar, y tiene mayor importancia de lo que creen algunos usuarios. Actualmente, se pueden ver tanques de almacenamiento con solo un sensor de temperatura montado en la pared del tanque, cerca del fondo del tanque. Este tipo de disposición no mostrará un valor representativo de la temperatura general del producto, ya que todos los tanques de almacenamiento mostrarán un gradiente de temperatura considerable desde la parte superior hasta el fondo o desde la pared del tanque hacia el centro del cilindro. Las cifras con respecto a qué diferencia de temperatura se puede esperar en un tanque

cilíndrico normal que ha sido asentado se encuentran en el rango de 1-4 °C en una dirección vertical.

Los instrumentos utilizados para la medición de temperatura son:

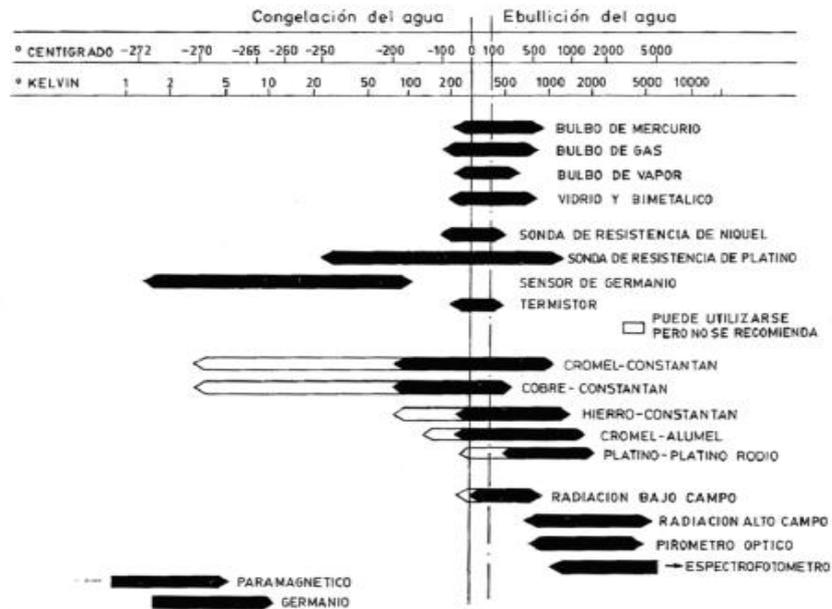


Figura 3.12 - Instrumentos de temperatura y su rango de medida.
Fuente: (Creus Solé, 2011).

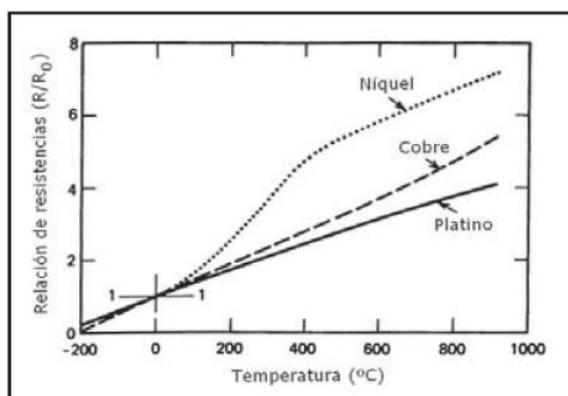
Para la elección del instrumento de medición de temperatura nos basaremos en la norma API 551 y la API MPMS 7.3¹⁰, ya que son normas recomendadas a nivel mundial para la medición de tanques de almacenamiento de combustibles y por qué Consorcio Terminales sigue todas las recomendaciones de la API. La norma indica que los sensores generalmente utilizados para la medición son los de tipo RTD y termopares, estos sensores generalmente están alojados en sondas metálicas o tubos de protección (acero inoxidable). A continuación se mostrará un cuadro comparativo de estos 2 sensores.

¹⁰ El propósito de esta norma es describir métodos y prácticas que se pueden usar para obtener una medición de temperatura precisa del petróleo y productos derivados del petróleo en tanques de almacenamiento, barcos y barcasas en condiciones estáticas para el uso de un método automático.

| SISTEMA | INTERVALO DE TEMPERATURA | EXACTITUD | LINEALIDAD | COSTE DEL SISTEMA | VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|--------------|--------------------------|----------------|------------|-------------------|---|--|
| RTD (Pt) | -200 a 500°C | +/-0.5° a 3 °C | Excelente | Moderado | Lineal, buena precisión, larga vida útil y estabilidad. | Se usan 3 o 4 cables |
| RTD (Ni) | -100 a 260°C | +/-0.5° a 3 °C | Excelente | Moderado | | |
| RTD (Cu) | -100 a 260°C | +/-0.5° a 3 °C | Excelente | Moderado | | |
| Termopar (J) | -200 a 1200°C | +/-1.5°C | Moderada | Moderado | Amplio margen de temperaturas, uso de 2 cables. | Sufren corrosión en el tiempo, sensible a interferencias eléctricas. |
| Termopar (K) | -40 a 1100°C | +/-1.5°C | Moderada | Moderado | | |

*Cuadro 3.10 - Características de los instrumentos para medición de temperatura.
Fuente: Elaboración propia.*

De los sensores expuestos en el cuadro anterior los RTD's que miden la temperatura de acuerdo a la variación de resistencia, son más precisos, mínimamente afectados por las interferencias eléctricas y cuentan con una buena linealidad.

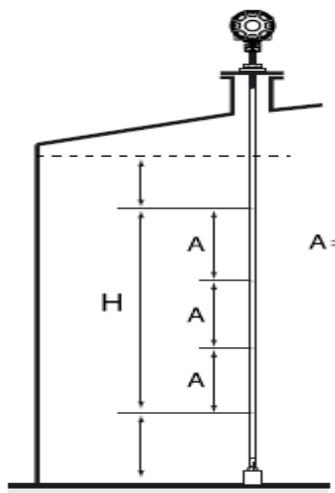


*Figura 3.13 - Curvas características de los RTD's.
(Creus Solé, 2011).*

Cabe resaltar que el sensor RTD (PT100) es el preferido y recomendado por la norma API MPMS 7.3.

Como las dimensiones de los tanques son considerables el transmisor de temperatura para este proyecto será del tipo punto múltiple o termómetro medio, el cual está diseñado para medir la temperatura de líquidos almacenados en grandes cantidades y proporcionar un perfil de temperatura promedio.

El termómetro de punto múltiple contiene un número de elementos medidores de temperatura colocados a diferentes alturas del tanque. Sólo algunos de estos elementos estarán sumergidos de forma tal de permitir la determinación de la temperatura del producto. Para determinar las alturas de los sensores de temperatura para los tanques de almacenamiento de la planta se sigue la norma API Capítulo 7.3. Se recomienda que para lograr una buena lectura de la temperatura promedio los puntos de colocación deben estar separados al menos de 2m a 3m. Así mismo para evitar la influencia de la temperatura de tierra el punto más bajo debe estar aproximadamente a 1m de altura. Además para evitar la influencia de la temperatura ambiente el sensor debe estar instalado por lo menos a 1m de la pared del tanque. La cantidad y las alturas de los sensores PT100 necesarios en el diseño de este proyecto se detallan en el Cuadro 3.12.



*Figura 3.14 – Distancias entre los elementos de punto de temperatura.
Fuente: (EMERSON, La guía del ingeniero para medición de tanques., 2017)*

Para la obtención del número de elementos y alturas a las que se colocarán los sensores PT100 se siguió las recomendaciones de la norma API MPMS 7.3, a continuación mostraremos el cuadro que indica el número mínimo de elementos a colocar:

| Maximum Filling Height | No. of Sensors ^{a, b} |
|-------------------------------|--------------------------------|
| < 9 m (30 ft) | 4 |
| 9 m (30 ft) to 15 m (50 ft) | 5 |
| 15 m (50 ft) to 23 m (75 ft) | 6 |
| 23 m (75 ft) to 30 m (100 ft) | 7 |

^a The number of temperature sensors and the locations shown are a suggested minimum.
^b Refer to 5.1.3.2 and 5.1.3.3 in case of tanks with large temp stratification.

Cuadro 3.11 - Número mínimo de sensores de temperatura.
Fuente: (American Petroleum Institute, 2011)

La siguiente formula es utilizada para la obtención de las alturas a las que se colocarán los sensores:

$$S = \left[\frac{(H - 1)}{(N - 0.5)} \right]$$

Dónde: S es el espacio entre sensores (m).

H es la máxima altura a medir en el tanque.

N es el número de sensores, mirar el Cuadro 3.11.

Tras la aplicación de la formula se obtiene el siguiente cuadro con las distancias, numero de sensores por tanque y número total de sensores a utilizar.

| N° TQ | ALTURA DEL TANQUE (m) | ALTURA MAX. A MEDIR (m) | N° SENSORES | POSICION DE LOS SENSORES DE TEMPERATURA (m) | | | | |
|-------|-----------------------|-------------------------|-------------|---|-----|-----|-----|------|
| | | | | H1 | H2 | H3 | H4 | H5 |
| 1 | 11.9 | 11.2 | 5 | 2.3 | 4.5 | 6.8 | 9.1 | 11.3 |
| 2 | 4.2 | 4 | 2 | 2.0 | 4.0 | - | - | - |
| 3 | 4.2 | 4 | 2 | 2.0 | 4.0 | - | - | - |
| 4 | 7.8 | 7.5 | 3 | 2.6 | 5.2 | 7.8 | - | - |
| 5 | 12.1 | 11.3 | 5 | 2.3 | 4.6 | 6.9 | 9.2 | 11.4 |
| 6 | 9.2 | 8.7 | 5 | 1.7 | 3.4 | 5.1 | 6.8 | 8.6 |
| 7 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 8 | 11.4 | 10.8 | 5 | 2.2 | 4.4 | 6.5 | 8.7 | 10.9 |
| 9 | 10.8 | 10.2 | 5 | 2.0 | 4.1 | 6.1 | 8.2 | 10.2 |
| 10 | 11 | 10.4 | 5 | 2.1 | 4.2 | 6.3 | 8.4 | 10.4 |
| 11 | 8.5 | 8.1 | 4 | 2.0 | 4.1 | 6.1 | 8.1 | - |
| 12 | 8.6 | 8.2 | 4 | 2.1 | 4.1 | 6.2 | 8.2 | - |
| 13 | - | - | - | - | - | - | - | - |

| | | | | | | | | |
|---------------------------|------|------|----|-----|-----|-----|------|------|
| 14 | 13.4 | 12.7 | 5 | 2.6 | 5.2 | 7.8 | 10.4 | 13.0 |
| TOTAL SENSORES | | | 50 | | | | | |

*Cuadro 3.12 - Posición de los sensores PT-100 en los tanques de almacenamiento.
Fuente: Elaboración propia.*

En conclusión para el diseño se necesitarán 12 transmisores de temperatura y 50 termorresistencias distribuidas como se indica en el cuadro anterior y para la elección de los equipos se debe considerar lo siguiente:

- El transmisor deberá contar con algún protocolo de comunicación: HART, PROFIBUS, FOUNDATION FIELDBUS, caso contrario la señal tradicional 4-20mA.
- El diseño de transmisor deberá ser robusto, resistente a impactos y a prueba de vibraciones, con aprobaciones para su utilización en áreas clasificadas como Clase 1, división 1.
- Cada una de las RTD serán para conexión a 3 hilos para longitudes menores a 20 metros, caso contrario serán de conexión a 4 hilos. El tercer y cuarto hilo de la RTD permite realizar la compensación del error provocado por la resistencia de los cables o conectores de la RTD. El esquema que se debe seguir para la conexión de RTD's de 3 hilos se muestra en la Figura 3.15.

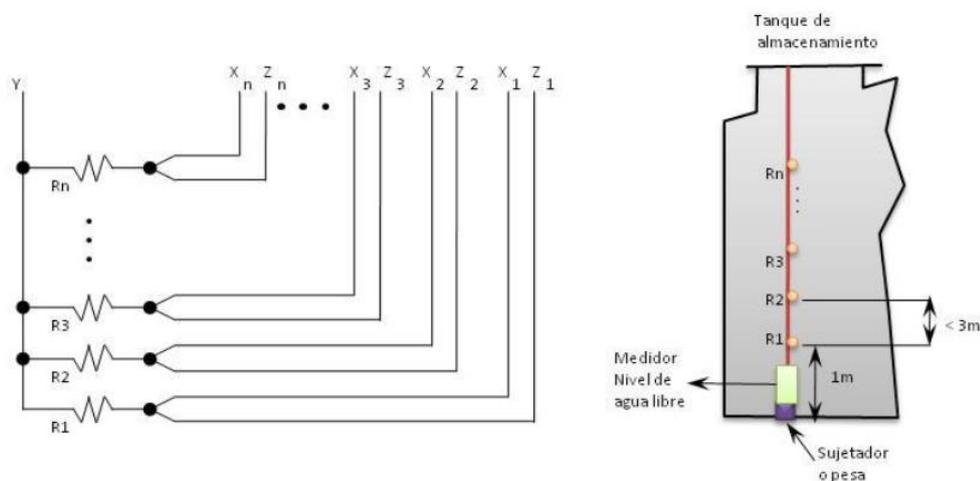


Figura 3.15 - Esquema de instalación de la sonda multipunto.

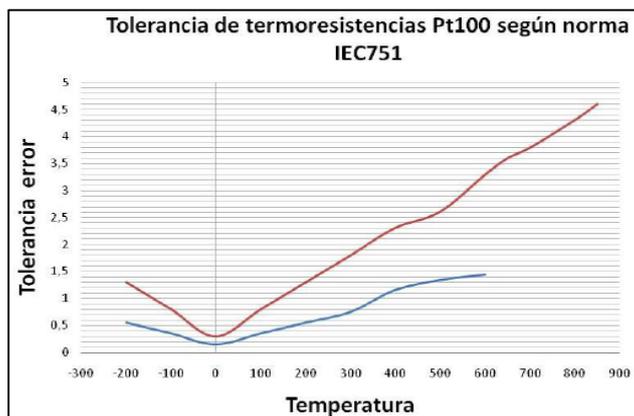
Fuente: (Sánchez Albán, 2010)

- Se realizará la conexión de todos los RTD's pertenecientes a un tanque a un solo transmisor para que entregue la medición de temperatura promedio al controlador.
- Los elementos puntuales RTD usados en aplicaciones de transferencia de datos deben ser de preferencia de clase A, por presentar un error mínimo. Caso contrario se utilizarán RTD's clase B (véase Cuadro 3.13).
- La instalación de la sonda ($\pm 0.1^{\circ}\text{C}$) con el transmisor ($\pm 0.15^{\circ}\text{C}$) debe asegurar tener la mejor precisión posible. Debe tener una precisión total instalada menor a $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$ para aplicación de transferencia de datos.
- El termopozo¹¹ debe ser capaz de transmitir la temperatura del fluido almacenado a la RTD, por lo que es necesario que entre el termopozo y la RTD exista una buena transferencia de calor.
- Los equipos deben permitir la medición del rango de temperatura del proceso que va desde los -20°C a 60°C
- Tanto los elementos de temperatura, así como los cables necesarios deberán estar herméticamente sellados.

| Temperatura (°C) | Resistencia (Ω) | Medición de Temperatura | Tolerancias | | | |
|------------------|-----------------|-------------------------|-------------|-------|---------|------|
| | | | Clase A | | Clase B | |
| | | | Ω | °C | Ω | °C |
| -60 | 69,5 | | | | | |
| -50 | 74,2 | | | | | |
| -40 | 79,1 | | | | | |
| -30 | 84,1 | | | | | |
| -20 | 89,3 | | | | | |
| -10 | 94,6 | | | | | |
| 0 | 100,0 | -200 | ±0,24 | ±0,55 | ±0,56 | ±1,3 |
| 10 | 105,6 | -100 | ±0,14 | ±0,35 | ±0,32 | ±0,8 |
| 20 | 111,3 | 0 | ±0,06 | ±0,15 | ±0,12 | ±0,3 |
| 30 | 117,1 | 100 | ±0,13 | ±0,35 | ±0,30 | ±0,8 |
| 40 | 123,0 | 200 | ±0,20 | ±0,55 | ±0,48 | ±1,3 |
| 50 | 129,1 | 300 | ±0,27 | ±0,75 | ±0,64 | ±1,8 |
| 60 | 135,3 | 400 | ±0,33 | ±1,15 | ±0,79 | ±2,3 |
| 70 | 141,5 | 500 | ±0,43 | ±1,35 | ±0,93 | ±2,6 |
| 80 | 146,2 | 600 | ±0,46 | ±1,45 | ±1,06 | ±3,3 |
| 90 | 154,9 | 650 | - | - | ±1,13 | ±3,6 |
| | | 700 | - | - | ±1,17 | ±3,8 |
| | | 800 | - | - | ±1,28 | ±4,3 |
| | | 850 | - | - | ±1,34 | ±4,6 |

¹¹ Los termopozos son elementos protectores/contenedores que se utilizan para resguardar al elemento primario de temperatura del proceso, son herméticos y flexibles hechos de acero inoxidable corrugado.

| | |
|-----|-------|
| 100 | 161,7 |
| 110 | 168,7 |
| 120 | 175,9 |
| 130 | 178,7 |
| 140 | 183,3 |
| 150 | 190,9 |
| 160 | 199,7 |
| 170 | 214,9 |
| 180 | 223,1 |



*Cuadro 3.13 - Tolerancia de termoresistencias PT100.
Fuente: Norma IEC/EN60751*

Para la elección del instrumento de medición se muestra el siguiente cuadro con los modelos con mayor renombre para la medición de temperatura:

| CARACTERÍSTICAS | ROSEMOUNT 2240S | PROTHERMO NMT 539 |
|-------------------|---|------------------------------------|
| COMUNICACIÓN | FOUNDATION FIELDBUS | HART |
| RANGO DE MEDICIÓN | -200 A 250°C | -40 a 100°C |
| PRECISIÓN | +/-0.05°C | +/-0.1°C |
| NUM. ELEMENTOS | 16-8-4 elementos | 16 elementos max. |
| RESOLUCION | 0.1°C | |
| CERTIFICACIONES | ATEX FM SIL Clase I div I | ATEX FM SIL Clase I div I |
| TIPO DE PT100 | PLATINO CLASE A, IEC 60751 (ROSEMOUNT 565) | PLATINO CLASE A, IEC 60751 |

*Cuadro 3.14 – Comparación de transmisores para la medición de temperatura.
Fuente: Elaboración propia.*

Del cuadro anterior vemos que el ROSEMOUNT 2240s tiene una mejor precisión en comparación al PROTHERMO NMT539, otra observación es que ambos manejan diferentes buses de comunicación. Como anteriormente se eligió para la medición de nivel un instrumento que maneja el bus FOUNDATION FIELDBUS, es conveniente usar el mismo bus de campo en todos los instrumentos, de esta forma se evitará el gasto en la implementación de otro bus para la comunicación de los instrumentos. Es así que el transmisor elegido para la medición de temperatura será el ROSEMOUNT

2240S y el sensor encargado de medir la temperatura será el ROSEMOUNT 565 (PT100).

Finalmente en base al Cuadro 3.12 en número de transmisores y sensores necesarios para la medición y transmisión de los datos de temperatura serán:

- 12 Transmisores de temperatura de múltiples entradas Rosemount 2240S.
- 50 Sensores de temperatura Rosemount 565.

A continuación se muestra algunas de las especificaciones con las que cuentan los equipos elegidos.

| ESPECIFICACIONES ROSEMOUNT 2240S | |
|----------------------------------|--|
| Precisión | +/-0.05°C |
| Rango de medida | -200 a 250 °C |
| Tipo de sensor | Pt100 (3 – 4 hilos) |
| Bus de campo | Foundation Fieldbus |
| Consumo | 30 mA |
| Voltaje alimentación | 9 17.5 VCC |
| Cableado | 0.5-1.5 mm2 (AWG 22-16) par trenzado apantallado |
| Protección | IP66/67 |

*Cuadro 3.15 - Especificaciones técnicas ROSEMOUNT 2240S.
Fuente: Elaboración propia.*

| ESPECIFICACIONES ROSEMOUNT 565 | |
|--------------------------------|---|
| Tipo | 3 hilos |
| Rango de temperatura | -50 a 120°C |
| Protección | IP68 |
| Clase de funcionamiento | 1/6 DIN clase B |
| Vaina protectora | Acero inoxidable, AISI 316. Espesor 0.3mm |

*Cuadro 3.16 - Especificaciones técnicas ROSEMOUNT 565.
Fuente: Elaboración propia.*

Para mayor detalle de los equipos, véase ANEXO K. y ANEXO L.

3.2.3.3 Prevención de sobrellenado

El sobrellenado de tanques puede resultar en pérdidas de vidas y miles de millones de dólares en daños a instalaciones petroleras y al medioambiente. Accidentes catastróficos en las últimas décadas han mostrado que las medidas preventivas son

necesarias. La prevención de sobrellenado protege las vidas humanas, bienes y nuestro medioambiente, reduce los costos de seguros, mejora la eficiencia y reduce los costos de limpieza y tiempos de inactividad.

API RP 2350 cuarta edición es el estándar de la industria para la prevención de sobrellenado de tanques de almacenamiento de petróleo. Reconoce que la prevención provee el nivel más básico de protección. El estándar se refiere a las prácticas preventivas necesarias para tanques de almacenamiento sobre la superficie con capacidades de más de cinco mil litros en instalaciones petroleras, incluyendo refinerías, terminales y plantas que reciben líquidos combustibles e inflamables. El estándar recomienda el uso de “Sistemas automáticos de prevención de sobrellenado” (AOPS, por sus siglas en inglés, ‘Automatic Overload Protection System’), como parte de las guías para reducir el riesgo.

AOPS son sensores de prevención de sobrellenado, solucionadores lógicos y válvulas de cierre automático. Los sensores (instalados en el tanque) detectan cuando el nivel llega al nivel AOPS, suena la alarma y se detiene la entrada de fluido al tanque antes de que ocurra un derrame. También pueden hacer sonar la alarma de muy alto nivel para un cierre manual. La norma API 2350 establece que un AOPS debe activarse en el nivel máximo permitido, un nivel que está lo suficientemente admisible como para poder realizar una detención automática del flujo ingresante al tanque antes de que ocurra un sobrellenado.

Anteriormente en el diseño se eligió el medidor tipo radar para la medición de nivel, este se podría utilizar como medio de protección de sobrellenado imponiendo un valor como límite superior y así realizar la detección, a esto faltaría agregar un sensor que respalde y detecte el sobrellenado. Este sensor de sobrellenado deberá enviar una señal continuamente, mostrando que el dispositivo está funcionando correctamente.

Para detección de nivel existen dispositivos con diferentes tipos de detección a continuación se detallan tipos de sensores utilizados para este propósito.

| DETECTORES DE NIVEL | DEFINICIÓN | CARACTERÍSTICAS | ÁREAS DE APLICACIÓN |
|----------------------------|---|---|---|
| Vibratorios | Los interruptores por vibración indican la presencia de líquidos o sólidos cuando el producto entra en contacto con las horquillas vibratorias y amortigua su oscilación. En el modo de nivel bajo, indican la ausencia de producto. | <ul style="list-style-type: none"> • No afectados por las condiciones de proceso. • Robusta horquilla oscilante, alta resistencia a la abrasión. • Auto-monitorización continua de la frecuencia correcta de oscilación. • Insensibles a adhesivos y formaciones. | <ul style="list-style-type: none"> • Aplicaciones con formación intensa de polvo y esfuerzos mecánicos. • Productos petroquímicos. • Protección para el funcionamiento en seco de bombas. • Detección de nivel y sobrellenado. • Detección de sólidos en agua. |
| Conductivos | Utilizadas como alarma para aplicaciones con líquidos, los interruptores conductivos detectan la resistencia de los productos de llenado cuando sus electrodos están cubiertos. | <ul style="list-style-type: none"> • Para una instalación higiénica. • Para productos cambiantes con grados de conductividad muy diferentes. • Las varillas de la sonda están disponibles de acero inoxidable o revestidas, insensibles a la espuma y a las adherencias | <ul style="list-style-type: none"> • Aplicaciones higiénicas en la industria de alimentos, bebidas y farmacéutica. |
| Electromagnéticos | Apto para la detección de nivel de líquidos y pastas, o como protección para el funcionamiento en seco, un sensor electromagnético utiliza el desfase que las ondas sufren al ser emitidas hacia un producto. También puede detectar superficies de contacto líquido. | <ul style="list-style-type: none"> • Insensibles a adhesivos y condensación. • No afectados por las vibraciones. | <ul style="list-style-type: none"> • Tanques pequeños y aplicaciones higiénicas. Productos duros, pastosos o muy adhesivos. |

| | | | |
|-------------|--|--|--|
| Capacitivos | Miden el nivel por cambio de capacidad usando un método exclusivo basado en las variaciones de frecuencia que ofrece resultados precisos, fiables y repetibles, incluso en presencia de polvo, turbulencia, vapor o acumulación de material. | <ul style="list-style-type: none"> • Tecnología capacitiva basada en frecuencia inversa. • Detección de nivel fiable, sin referencia (pared del tanque/tubo). • Apto para zonas con riesgo de explosión. • Múltiples salidas. • Histéresis ajustable. | <ul style="list-style-type: none"> • Ideal para detección de nivel, de interfaces, de sólidos, de líquidos, de lodos/lechadas y de espumas, en espacios limitados |
|-------------|--|--|--|

*Cuadro 3.17 – Comparación de los tipos para detección de nivel.
Fuente: Elaboración propia.*

Del cuadro anterior se observa que los detectores de nivel tipo electromagnético y conductivo son utilizados en aplicaciones higiénicas o limpias, en cambio los detectores de nivel tipo capacitivo y horquilla son ideales para aplicaciones donde existen concentraciones de polvo y suciedad, además realizan la detección de nivel sin tener contacto directo de la circuitería con el producto.

Como el almacenamiento de combustibles conlleva a trabajos en medios donde existen formaciones de espuma, turbulencias y vibración, es común que existan formaciones de sólidos o capas sobre las piezas que están en contacto con el combustible, el sensor tipo capacitivo es propenso a realizar una detección errónea del nivel si es que no se realiza un mantenimiento regular, en cambio el detector tipo horquilla vibratoria por su principio de funcionamiento que consiste en detectar las oscilaciones de un cristal piezoeléctrico, detecta una variación de la oscilación al momento de estar en contacto con un medio diferente; cuanto más denso sea el líquido, menor será la frecuencia.

De esta forma, el detector de nivel tipo vibratorio al no verse afectado por las turbulencias, espuma, vibración o revestimientos será el elegido para nuestra aplicación.

De acuerdo a la información proporcionada por Consorcio Terminales (empresa operadora de la planta PETROPERU), las alturas máximas para la ubicación del sensor de sobrellenado estarán dadas por el siguiente cuadro.

| N° TQ | ALTURA(m) | ALTURA DE SOBRELLENADO(m) |
|-------|-----------|---------------------------|
| TQ-1 | 11.9 | 11.3 |
| TQ-2 | 4.2 | 3.9 |
| TQ-3 | 4.2 | 3.9 |
| TQ-4 | 7.8 | 7.4 |
| TQ-5 | 12.1 | 11.5 |
| TQ-6 | 9.2 | 8.7 |
| TQ-8 | 11.4 | 10.8 |
| TQ-9 | 10.8 | 10.2 |
| TQ-10 | 11 | 10.4 |
| TQ-11 | 8.5 | 8.1 |
| TQ-12 | 8.6 | 8.2 |
| TQ-14 | 13.4 | 12.8 |

*Cuadro 3.18 - Alturas de sobrellenado en los tanques de almacenamiento.
Fuente: Elaboración propia.*

Del Cuadro 3.18 se concluye que serán necesarios 12 interruptores de nivel y deberán cumplir con las siguientes características.

- El sensor deberá ser del tipo horquilla vibratoria.
- Deberá contar con certificación de seguridad intrínseca y a prueba de explosiones.
- El sensor deberá estar equipado con un punto de prueba local o enviar una señal continua, mostrando que el dispositivo está funcionando correctamente.
- No debe ser afectado por el flujo, burbujas, turbulencia, espuma, vibración, contenido de sólidos, recubrimiento, propiedades del líquido y variaciones de producto.

- Deberá contar con salidas de tipo intrínsecamente seguras 4-20mA, por que no existen detectores de nivel tipo horquillas vibratorias con un bus de campo.
- Temperatura de trabajo en el rango de -20°C a 70°C.
- Apto para trabajos en zonas con peligro de explosión, Clase 1 División 1.

A continuación veremos el siguiente cuadro para la elección del instrumento:

| CARATERÍSTICAS | SITRANS LVS200 | ROSEMOUNT 2120 |
|-------------------------------|--|--|
| Salida | 8/16mA o 4-20mA Transistor PNP Relay | 8/16mA o 4-20mA con autocomprobación. Transistor PNP Relay |
| Temperatura del proceso | -40 a 150°C | -40 a 70°C |
| Densidad mínima del material. | 20Kg/m ³ | 600Kg/m ³ |
| Retardo a la conmutación | ----- | 0.3-1-3-10-30 seg |
| Conexión al proceso | Acero inoxidable | Acero inoxidable 316 |
| Certificaciones | ATEX Clase I div 1 | ATEX EMC SIL Clase I div I |

*Cuadro 3.19 – Comparación de detectores de nivel para la detección de sobrellenado.
Fuente: Elaboración propia.*

Como vemos ambos equipos cumplen con tener salidas de 4-20mA y están en el rango de temperatura del proceso, pero es el ROSEMOUNT 2120 el que tiene la capacidad de autocomprobación, además el ROSEMOUNT 2120 presenta mayores certificaciones y contiene una función de retardo para evitar errores en la detección por acumulación de gotas en la punta del sensor, de esta forma el equipo elegido para la detección de nivel será el ROSEMOUNT 2120.

| ESPECIFICACIONES ROSEMOUNT 2120 | |
|---------------------------------|---|
| Principio de medición | Horquilla vibratoria |
| Histéresis | +/-1mm |
| Punto de conmutación | 13mm |
| Salidas | 4-20mA con autocomprobación, transistor, relé |
| Temperatura del proceso | -40 a 70°C |
| Consumo | 30 mA |
| Voltaje alimentación | 24 VCC |

| | |
|------------|--|
| Cableado | 0.5-1.5 mm ² (AWG 22-16) par trenzado apantallado |
| Protección | IP66 |

*Cuadro 3.20 - Especificaciones técnicas ROSEMOUNT 2120.
Fuente: Elaboración propia.*

Para mayor detalle de las características de los equipos, véase ANEXO J.

3.2.3.4 Control de válvulas

En la actualidad, las válvulas son parte fundamental de varios sistemas de control de proceso, pues regulan el flujo, volumen, presión y dirección de los fluidos y otros tipos de materiales.

Algunas de las razones que pueden motivar la realización de mejoras son:

1. La necesidad de centralizar y controlar los procesos industriales.
2. Prevenir accidentes: Los actuadores se utilizan con frecuencia cuando hay un área de una planta peligrosa en donde el usuario debe estar protegido y proteger las instalaciones, debido al peligro que encontrará o causará.
3. Operar fácilmente una válvula: Se motorizan algunas válvulas porque su tamaño es demasiado grande o están trabajando a presiones muy altas.

Un actuador es un dispositivo que produce un movimiento lineal o rotativo por medio de la utilización de una fuente de energía bajo la acción de un elemento de control. Los actuadores son alimentados a través de electricidad o fluidos como aire, aceite, agua, convirtiéndolos a través de un mecanismo como un motor, pistón u otro dispositivo, en un desplazamiento físico. Entonces, de acuerdo al medio que utilizan reciben su nombre: Actuadores eléctricos, electrohidráulicos, neumáticos, etc.

Para realizar el control de las válvulas dentro de planta se utilizarán actuadores eléctricos motorizados, ya que la fuente de poder existente dentro de la planta de almacenamiento es la electricidad. Estos actuadores serán instalados en las válvulas de entrada y salida de los tanques de almacenamiento, cabezales de distribución y

en todas aquellas válvulas que tengan un papel crítico y relevante en la operación de despacho y recepción del terminal, ofreciendo ventajas de tiempos de respuesta, seguridad y confiabilidad. Como se detalló en el apartado de elementos a controlar se tienen un total de 33 válvulas (véase Cuadro 3.21), las especificaciones técnicas de estas válvulas se detallan en el Cuadro 3.22. Para mayor detalle de las válvulas ver ANEXO H.

| ETAPA | TIPO DE VAL. | DIAMETRO | N° DE VALVULAS | OBSERVACION |
|----------------|--------------|----------|----------------|----------------------------------|
| ALMACENAMIENTO | COMPUERTA | 6" | 10 | ENTRADA DE PRODUCTO AL TANQUE |
| | COMPUERTA | 4" | 2 | |
| | COMPUERTA | 6" | 4 | SALIDA DE PRODUCTO AL TANQUE |
| | COMPUERTA | 4" | 8 | |
| DESPACHO | COMPUERTA | 6" | 4 | SALIDA DE ZONA DE ALMACENAMIENTO |
| | COMPUERTA | 4" | 2 | |
| RECEPCIÓN | COMPUERTA | 6" | 3 | ENTRADA ZONA DE ALMACENAMIENTO |
| TOTAL | | | 33 | |

*Cuadro 3.21 - Número de válvulas por etapa.
Fuente: Elaboración Propia.*

| ESPECIFICACIONES | VÁLVULA 6" | VÁLVULA 4" |
|---------------------------|---|-----------------------------|
| SERIES | 47 | 47 |
| TEMPERATURE RATING | -20 to 100 deg F | -20 to 100 deg F |
| NOMINAL SIZE | 6 in | 4 in |
| END STYLE | Flanged | Flanged |
| PRESSURE RATING | 285 psi | 285 psi |
| BODY MATERIAL | Ac. A 216 WCB | Ac. A 216 WCB |
| HAND WHEEL DIAMETER | 12 in | 10 in |
| ACTUATOR TYPE | Hand Wheel | Hand Wheel |
| PRESSURE CLASS | 150 lb | 150 lb |
| TOP TO INLET CENTER | 31 in | 23 in |
| TRIM MATERIAL | 410 Stainless Steel Stem | 410 Stainless Steel Stem |
| EN ISO 5210 ¹² | F10 | F10 |
| NORMAS | Bridas Ansi B16.5, Distancia ANSI B16.10, Válv. Acero ASME B16.34, Pruebas API 598 | |

*Cuadro 3.22 - Especificaciones de válvulas.
Fuente: Hoja de datos, válvula Crane.*

¹² EN ISO5210 es la norma europea que especifica los requerimientos para el acoplamiento de actuadores tipo multi giro en válvulas industriales.

Para la elección de los actuadores eléctricos motorizados se deberá tomar en cuenta las siguientes características:

- El actuador motorizado tendrá una aplicación de multivuelas, ya que la válvula a controlar es de tipo compuerta.
- Todos los actuadores deberán contar con un eje abierto, para aplicaciones con válvulas con vástagos ascendentes.
- Los actuadores eléctricos deben contar con aplicaciones de tipo ON – OFF y regulación variable.
- Todos los actuadores tendrán interruptores de límite para la acción de abrir y cerrar. También deben tener un interruptor que determine el estado del actuador (abertura o cierre).
- Diseñados para trabajar con alimentación de 380v – 440v (60 Hz) trifásico.
- Accionamiento manual seguro, bloqueable con un embrague mecánico.
- Indicación continua de la posición de la válvula, incluso con pérdida de la alimentación.
- Todos los actuadores tendrán un manubrio para la abertura manual y la acción de cierre. La abertura y la dirección de cierre de la válvula serán indicadas claramente en el manubrio.
- Temperaturas de trabajo de -20 a 60°C.
- Protección contra operación no autorizada.
- Diseño robusto, resistente a impactos y a prueba de vibraciones.
- Diseñado para trabajos en zonas explosivas. Con aprobaciones para su utilización en áreas clasificadas como Clase 1, división 2.
- Protección IP 67, proporcionando protección ambiental contra el ingreso de polvo y gotas de lluvia.

- Conectividad con bus de campo: HART, PROFIBUS, MODBUS, FOUNDATION FIELDBUS.

A continuación se mostrará el cuadro donde se comparan actuadores de diferentes marcas para la elección del equipo que efectuará el control de las válvulas.

| CARACTERÍSTICAS | ACTUADOR MOTORIZADO AUMA SA-10.2 / AC0.1 | ACTUADOR MOTORIZADO ROTORK SERIE IQ |
|----------------------------|---|--|
| Campos de aplicación | Agua, energía, industria petróleo y gas. | Industria petróleo-gas, energía. |
| Modos de operación | Todo o nada Regulación. Manual segura. | Todo o nada. Regulación. Manual segura. |
| Rango de temperatura | -40 a 70°C | -30 a 70°C |
| Protección | Anti- corrosión (baja-muy fuerte). Protección contra pérdida de fase. ATEX – IECEx. Contra sobrecarga de la válvula, medición de torque. Protección térmica del motor. Seguridad SIL. IP68. | Protección contra pérdida de fase. Protección térmica del motor. ATEX, IECEx. IP68. Medición de torque |
| Interfaz mecánica | Diversas. | Diversas. |
| Bus de campo | Profibus DP Modbus RTU Foundation fieldbus HART | Profibus Modbus RTU Foundation fieldbus HART |
| Actuador y unidad de mando | Por separado | Integrado |

*Cuadro 3.23 - Comparación de actuadores motorizados
Fuente: Elaboración propia.*

Del Cuadro 3.23 vemos que ambos actuadores motorizados cumplen con los requisitos del sistema, pero el actuador motorizado AUMA tiene como ventaja que la unidad del actuador (motor) y la unidad de mando vienen por separado, esto es gran utilidad en caso de que cualquiera de las 2 unidades este defectuosa, solo se tendrá que reemplazar solo una de ellas, evitando así el gasto de reemplazar todo el conjunto. Es así que el actuador multivoltaje elegido será el SA-10.2 de la marca AUMA por tener diversas interfaces mecánicas de acoplamiento para la conexión a la

válvula y por tener gran variedad de tamaños y pares de ajuste que se acomodan a las dimensiones de las válvulas de 6 pulgadas y 4 pulgadas, (véase Cuadro 3.24).

| Tipo | Velocidades a 50 Hz ¹ | Rango de ajuste del par de desconexión | Número de arrancadas máximo admisible | Brida de conexión de la válvula | |
|---------|----------------------------------|--|---------------------------------------|---------------------------------|----------|
| | 1/min | [Nm] | [1/h] | EN ISO 5210 | DIN 3210 |
| SA 07.2 | 4 – 180 | 10 – 30 | 60 | F07 o F10 | G0 |
| SA 07.6 | 4 – 180 | 20 – 60 | 60 | F07 o F10 | G0 |
| SA 10.2 | 4 – 180 | 40 – 120 | 60 | F10 | G0 |
| SA 14.2 | 4 – 180 | 100 – 250 | 60 | F14 | G1/2 |
| SA 14.6 | 4 – 180 | 200 – 500 | 60 | F14 | G1/2 |
| SA 16.2 | 4 – 180 | 400 – 1 000 | 60 | F16 | G3 |
| SA 25.1 | 4 – 90 | 630 – 2 000 | 40 | F25 | G4 |
| SA 30.1 | 4 – 90 | 1 250 – 4 000 | 40 | F30 | G5 |
| SA 35.1 | 4 – 45 | 2 500 – 8 000 | 30 | F35 | G6 |
| SA 40.1 | 4 – 32 | 5 000 – 16 000 | 20 | F40 | G7 |
| SA 48.1 | 4 – 16 | 10 000 – 32 000 | 20 | F48 | – |

*Cuadro 3.24 - Datos técnicos para conexión mecánica del actuador eléctrico AUMA.
Fuente: (AUMA)*

Como se mencionó antes, es necesario la utilización de la unidad de mando AC 01.2 no intrusivo Modbus RTU, para la comunicación con el bus de campo.

En conclusión el número de equipos necesarios serán:

- 33 Actuadores multivoltas SA 10.2 AUMA.
- 33 Unidades de mando: electrónica (MWG) con control de actuador AUMA AC 01.2 No intrusivo (MODBUS RTU).

Para mayor detalle del equipo véase ANEXO M.

3.2.3.5 Control de bombas eléctricas

Dentro de las formas para efectuar el encendido de las bombas centrífugas, se tienen:

- a) **Arranque de motor directo:** El arranque de motor directo es el método más sencillo para arrancar un motor trifásico asíncrono. Los devanados del estator están conectados directamente a la red eléctrica por un proceso de conmutación simple. Y tienen las siguientes características:

- Altas corrientes de arranque que causa molestas caídas de tensión en la red.
- Es la más simple y económica.
- Crea estrés térmico en los devanados del motor, reduciendo la vida del motor.

b) **Arranque estrella-triángulo:** Con un arranque de motor estrella-triángulo, la puesta en marcha del motor trifásico asíncrono se realiza mediante una transición entre los devanados. Los puentes en el cajetín de bornes del motor se omiten, y las 6 conexiones de los devanados se conectarán a la red eléctrica mediante una conmutación llamada estrella-triángulo (conmutación manual o automática de los contactores). Este es el arranque que se utiliza actualmente en la planta almacenamiento para bombas de recepción. Las características de este tipo de arranque son las siguientes:

- Se necesitan más materiales en comparación al arranque directo
- Reducción en el par de arranque.
- Adecuada para equipos con par de carga bajo o un par de carga que aumenta con la velocidad, como es el caso de bombas y ventiladores.
- Se puede realizar el encendido – apagado a distancia y con opción de supervisión con pilotos pero no regular la velocidad.

c) **Arranque con arrancador suave:** Permite un aumento continuo y lineal del par y ofrece la posibilidad de una reducción selectiva de la corriente de arranque. La tensión del motor se incrementa a partir de una tensión inicial y un tiempo de rampa de aceleración, seleccionados mediante selectores hasta llegar a la tensión nominal del motor. El arrancador también puede

controlar la rampa de parada mediante la reducción de la tensión. Las características principales del arrancador suave son:

- Ideal para un arranque con carga
- Permite el aumento continuo y lineal del par, ofrece la posibilidad de una reducción selectiva de la corriente de arranque.
- Solo trabajan durante la fase de aceleración y desaceleración.
- Existe mayor ahorro de energía en comparación al anterior método.
- No permite regulación de velocidad.
- Se puede hacer supervisión y control a distancia.

d) **Arranque con variadores de frecuencia:** El convertidor de frecuencia es en última instancia, la mejor solución para un arranque continuo y sin escalones de motor asíncrono trifásico.

- La limitación de corriente ajustable evita los picos de corriente en el suministro de red eléctrica
- Además del arranque suave permite el control de la velocidad (frecuencia) del motor.
- Pueden ser utilizados en todo el rango de velocidades con el control de frecuencia, por ejemplo, desde 4V a 0,5Hz a 400V 50Hz.
- En comparación con las soluciones anteriormente descritas, los convertidores de frecuencia parecen ser la solución más costosa a primera vista. Pero durante una operación a largo plazo, el arranque suave del motor, además de la eficiencia energética y la optimización de procesos, muestra beneficios económicos.
- Estabilidad a altas velocidades y con opción de cambio de giro.

- La protección electrónica integrada en el convertidor asegura su funcionamiento sin la necesidad de medidas adicionales de seguridad.
- Control y supervisión a distancia del encendido del motor y regulación de la velocidad.

Visto todas las alternativas para el control del encendido y apagado de las bombas se eligió el variador de frecuencia, por dar un par constante a cualquier velocidad, además que ofrece protecciones para el motor y un ahorro energético, también ofrece la comunicación mediante bus de comunicación para la supervisión y control a distancia. Por otra parte dentro de la planta ya existen variadores de velocidad encargados del control de las bombas de despacho, de esta manera solo faltaría agregar el control sobre las bombas de recepción.

Por petición de la empresa operadora, los variadores de recepción y despacho tienen que ser integrados al sistema de supervisión y control. A continuación veremos las placas características de los motores para elegir el variador que se acomode a las necesidades.

| PLACA DE CARÁCTERÍSTICAS DEL MOTOR CU01G84R | | |
|--|------------------|-----------------|
| Marca: WESTHINGHOUSE | | |
| HP: 7.5 | RPM: 1150 | TIME Hrs: 24 |
| Phase: 3 | Cycles: 60 Hz | Kva Code: G |
| Serial: 7506 | Ins. Cl: B | Ser Fact:1.00 |
| Nema Des: B | Frame: 254 T | Max. Amb: 40° C |
| Model: TBEP | Volts: 230 / 460 | Amps: 22 / 11 |
| Motor Style: 680 B 105 G 32 | | |
| Drive or lower BRG: 45BCO31PP 3 | | |
| OPP Drive or Upper BRG: 35BCO2JPP3 | | |

*Cuadro 3.25 - Placa de características del motor de recepción GAS84.
Fuente: Área de mantenimiento Consorcio Terminales.*

| PLACA DE CARÁCTERÍSTICAS DEL MOTOR CU06D2R | | |
|---|---------------|-----------------|
| Marca: WESTINGHOUSE | | |
| HP: 60 | RPM: 3555 | TIME Hrs: 24 |
| Phase: 3 | Cycles: 60 Hz | Kva Code: H |
| Serial: 8208 | Ins. Cl: B | Ser Fact:1.00 |
| Nema Des: A | Frame: 364 TS | Max. Amb: 40° C |
| Model: TAEP | Volts: 460 | Amps: 68 |
| USER CATALOG NUMBER: 75° C RISE | | |
| NEMA NOM. EFF: 90.2 | | |
| Drive or Lower BRG: 55BCO3JPP3 | | |
| OPP Drive or Upper BRG 55BCO3JPP3 | | |
| MOTOR STYLE: 82C61283 | | |
| THERMAL PROT: P1 - P2 | | |

*Cuadro 3.26 - Placa de características del motor de recepción Diésel DB5
Fuente: Área de mantenimiento Consorcio Terminales*

| PLACA DE CARÁCTERÍSTICAS MOTOR CU10AR | | |
|--|----------------------------|-------------------|
| Marca: GENERAL ELECTRIC | | |
| HP: 25 | RPM: 3535 | TIME Hrs: CONT. |
| Phase: 3 | Cycles: 60 Hz | Kva Code: G |
| Serial: 35BCO2 N286588 | Ins. Cl: B | Ser Fact:1.00 |
| Nema Des: B | Frame: 256 t | Max. Amb: 40° C |
| Model: 5K256CN152OP | Volts: 240 / 480 | Amps: 46.8 / 23.4 |
| Temp. Code: T 3 B | Type: K | Code: G |
| NO: GL | Drive end BRGAFBMA: 45BCO3 | |
| OPP Drive end BRG AFBMA : 35BCO2 | | |
| FAN NOT GUARDED | | |

*Cuadro 3.27 - Placa de características del motor de recepción alcohol carburante.
Fuente: Área de mantenimiento Consorcio Terminales.*

Visto las placas de los motores, los variadores de velocidad deberán cumplir con las siguientes características:

- Dimensionados para trabajar con las potencias de los motores antes mencionados.
- Para motores con 440 VAC de alimentación.
- Entrada analógica de 0 a 10 VDC ó 4-20mA configurable.

- Protocolo de comunicación MODBUS, PROFIBUS u otro que cumpla los requisitos para establecer enlace de lectura/ escritura entre el PLC y el sistema de supervisión.
- Aplicación para bombeo de fluidos.
- Alojamiento IP 20 (NEMA/UL tipo 1).
- Configuración y programación mediante teclado integral.
- Fácil visualización de parámetros.
- Sencillo de programar.
- Que sea robusto.

En base a las características antes mencionadas, por contar con el protocolo MODBUS RTU nativo, por su robustez, por contar con una gama actual para su uso en aplicaciones donde existe manejo de petróleo y porque en planta ya se tienen instalados equipos de la misma marca, se eligió para este diseño equipos de la gama ATV630 marca Schneider.

El número de equipos y la gama de variadores se detalla a continuación:

- 1 Variable speed drive ATV630 - 5.5kW/7.5HP - 380...480V - IP21.
- 1 Variable speed drive ATV630 - 15kW/20HP - 380...480V - IP21.
- 1 Variable speed drive ATV630 - 45kW/60HP - 380...480V - IP21.

Las características que presentan esta gama de variadores son las siguientes:

| ESPECIFICACIONES ATV630 | |
|--------------------------------|--|
| Aplicación específica | Procesos mineros, petróleo, utilidades |
| Destino del producto | Motores asíncronos y síncronos |
| Protección | IP21 |
| Alimentación y fases | 380V..480V trifásico |
| Rango de frecuencias de salida | 0.1 599Hz |
| Frecuencia de conmutación | 2KHz a 12KHz (4KHz nominal) |
| Protocolo | Serie Modbus RTU |

Cuadro 3.28 – Especificaciones del variador de velocidad gama ATV630.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.4 Selección de equipos y especificaciones para el sistema SCADA

Después de haber explicado e identificado las áreas de interés proporcionadas por la empresa Consorcio Terminales para el presente proyecto, y luego de haber realizado las especificaciones y elección de los instrumentos y equipos necesarios para cumplir con los requerimientos planteados anteriormente, es necesario detallar las características técnicas del sistema de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA) y las interfaces hombre maquina (HMI) en las estaciones de operación de la planta de almacenamiento y distribución de hidrocarburos líquidos PETROPERU.

Las especificaciones deben estar en conformidad con las normas y estándares siguientes:

| | |
|-----------------|--|
| ANSI 37.90-1074 | Standard for Industrial Control Equipment. |
| NEMA ICS1-190 | Test And Procedures. |
| NEMA-ICS3-304 | Programmable Controllers. |
| ISA-S50.1 | Compatibility of Analog Signals for Electronic Industrial Process Instruments. |
| ISA-RP55.1 | Hardware Testing of Digital Process Computers. |
| API 550 | Process Instrumental and Control. |

El detalle de las características del sistema SCADA para el control a distancia y la supervisión de los equipos que serán distribuidos en las diferentes zonas de la planta de almacenamiento, estarán constituidos por los siguientes elementos:

- Nivel de campo.
- Sistema de adquisición de datos.
- Sistema de comunicaciones.
- Hardware y software del SCADA.

3.2.4.1 Nivel de campo

Para dar solución a las necesidades de la planta se requiere el diseño de un bus de campo para que los instrumentos y equipos que realizan las tareas de sensado, puedan comunicarse con el controlador y el sistema de supervisión, por otro lado se requiere que el bus de campo tenga comunicación plena con los actuadores de tal forma que puedan ser controlados y monitoreados. Es por ello que en el diseño de bus de campo se requiere de un protocolo actual para estos instrumentos de medición y los actuadores, que como característica principal es el de enviar y/o recibir datos de manera digital, lo que resulta mucho más versátil que si se recurre a métodos analógicos.

Debido a la gran cantidad de protocolos industriales existentes en el mercado es de suma importancia escoger aquella tecnología que va de la mano con las normas y estándares regulatorios, por esta razón el protocolo de campo deberá cumplir mínimamente con los siguientes requerimientos:

1. Deberá ser robusto y resistente al ambiente industrial.
2. Deberá tener altas prestaciones, ofreciendo así la ejecución remota de programas, transmisión de datos en tiempo real y determinista, facilidad de mantenimiento y reparación.
3. Para los instrumentos de medición deberá otorgar la seguridad intrínseca en la operación mediante la utilización de: fuentes, acopladores de segmentos, terminales y barreras intrínsecas, con aprobaciones para trabajar en áreas clasificadas como peligrosas, donde existe riesgo de explosión por la manipulación de combustibles.

4. Los dispositivos de medición requieren un certificado FISCO (concepto de un bus de campo intrínsecamente seguro) o similar, las características principales del modelo FISCO son:
- a. Cada segmento tiene sólo una fuente de energía.
 - b. Los instrumentos pueden ser alimentados a través del bus o a través de una fuente independiente (intrínsecamente segura).
 - c. Cada dispositivo consume una corriente constante de al menos 10 mA.
 - d. Existe un terminal del bus pasivo para cada final de la línea del bus. Es necesario utilizar un terminal al inicio del bus y otro al final.
 - e. Son posibles topologías en línea, árbol o estrella.

A continuación se muestran características técnicas de una fuente de alimentación.

| Parámetro | Valor requerido |
|---|---------------------|
| Localización del aparato | Zona 0 (División 1) |
| Grupo de gas | IIA(Grupos C y D) |
| Voltaje de salida en circuito abierto | 24 V máximo |
| Corriente de salida en circuito cerrado | 250 mA máximo |
| Potencia de salida | 1,2 W máximo |

*Cuadro 3.29 - Especificaciones de fuente de poder intrínsecamente seguro.
Fuente: Intrinsically Safe Systems, Fieldbus Foundation.*

El tipo de cable a utilizar para la interconexión de los instrumentos de campo puede ser de 2 tipos:

- Tipo A: Par trenzado simple, pantalla individual.
- Tipo B: Cable multipar trenzado, pantalla general.

| | Tipo A | Tipo B |
|---|--|--|
| Diseño del cable | Par trenzado simple pantalla individual | Multipar trenzado, pantalla general |
| Sección máxima del conductor | 0,8 mm ² (AWG 18) | 0,32 mm ² (AWG 22) |
| Resistencia de lazo (DC) | 44 Ω/km | 112 Ω/km |
| Impedancia (31,25 KHz) | 100 Ω ± 20% | 100 Ω ± 30% |
| Atenuación (39 KHz) | 3 dB/km | 5 dB/km |
| Capacitancia asimétrica | 2 nF/km | 2 nF/km |
| Retardo máximo de cambio en la propagación (7,9 a 39 KHz) | 1,7 us/km | No especificado |
| Cobertura máxima de la pantalla | 90% | No especificado |
| Extensión de red recomendada (Incluido derivaciones) | 1.900 m | 1.200 m |

*Cuadro 3.30 - Características generales de los cables para los buses de campo.
Fuente: Intrinsically Safe Systems, Fieldbus Foundation*

- El bus principal que conecta los acopladores de segmentos y la RTU puede utilizar la capa física RS-485 y por medios como conductores de cobre, Fibra Óptica, enlaces inalámbricos, etc. La empresa Consorcio Terminales plantea como medio de comunicación el uso del conductor de cobre para distancias cortas y la fibra óptica para distancias largas.

Es importante recordar que el número máximo de dispositivos especificado por la mayoría de fabricantes de buses de campo es de 32 por segmento sin repetidores, lo que no se indica es que mientras mayor es el número de dispositivos y la distancia de conexión las prestaciones de la red decaen; por lo tanto, es recomendable realizar el diseño de la red tomando en consideración: el número total de dispositivos y el consumo de energía de cada uno, la longitud del bus, el tipo de cable, nivel de pérdidas y atenuaciones de la señal.

- Las instalaciones eléctricas y de red se realizarán de acuerdo a la norma API RP540¹³: tubería conduit rígida, accesorios, cables y conectores necesarios para satisfacer la arquitectura del sistema propuesto.

¹³ Norma para la ejecución de instalaciones eléctricas en plantas de procesamiento de petróleo.

Ya con los equipos e instrumentos de medición elegidos y descritos previamente las características que debe tener el bus de campo, se eligió para la lectura de los instrumentos de medida el bus de comunicación Foundation Fieldbus, por ser un protocolo abierto, resistente a la zona industrial, garantiza su uso en zonas peligrosas mediante una alimentación intrínsecamente segura, y únicamente utiliza 2 pares de hilos blindados para la conexión y alimentación de los dispositivos, reduciendo drásticamente el uso de cables. Además los instrumentos de medición elegidos utilizan el Foundation Fieldbus para la transmisión de datos.

Las conexiones que se realizarán con Foundation Fieldbus utilizarán el cable STP 18 AWG que posee las siguientes características:

| Parámetro | Valor |
|----------------------|-------------------------------|
| Resistencia del lazo | 42 Ω /km |
| Inductancia | 0,65 mH/km |
| Capacidad eléctrica | 115 nF/km |
| Área transversal | 0,75 mm ² (18 AWG) |

*Cuadro 3.31 - Características físicas del cable de instrumentación
Fuente: Foundation Fieldbus.*

El protocolo Foundation Fieldbus indica que el voltaje mínimo para los dispositivos de campo debe de ser 9v, por esta razón se deberá tomar en cuenta la caída de voltaje en los cables Fieldbus, de la misma forma deberemos considerar que la corriente consumida por los dispositivos no exceda a la corriente proporcionada por la fuente.

Por la cantidad de instrumentos de medición a leer es conveniente hacer uso de un concentrador de datos, el cual reunirá la información de “n” tanques de almacenamiento mediante Foundation Fieldbus, para finalmente enviar toda la información hacia el nivel de control mediante el protocolo que maneje el concentrador. Este concentrador de datos aparte de reunir la información en un punto, otorgará la alimentación para los instrumentos mediante el bus de instrumentación. El

concentrador de datos elegido será el ROSEMOUNT 2410 por ser el único equipo en el mercado diseñado para este propósito, además al ser de uso netamente de la medición de tanques, ofrece un entorno de visualización de los parámetros deseados de cada tanque.

| ESPECIFICACIONES ROSEMOUNT 2410 | |
|---|---|
| Cantidad de tanques | Múltiple |
| Alimentación y comunicación | Foundation Fieldbus intrínsecamente segura. |
| Fieldbus primario (comunicación nivel de control) | Rs-485 Modbus, HART |
| Fieldbus secundario | TRL2 Modbus, HART |
| Alimentación | 48-240 VAC 50/60Hz y 24-48VCC |
| Certificación de áreas peligrosas | ATEX, FM |

*Cuadro 3.32 - Especificaciones del concentrador de datos Rosemount 2410
Fuente: Elaboración propia.*

En cambio para la comunicación entre los equipos actuadores (actuador motorizado y variadores de velocidad) se hará uso del protocolo Modbus RTU, ya que es un protocolo abierto de gran uso en el entorno industrial, es de configuración fácil para la comunicación entre dispositivos y principalmente por que los equipos elegidos para el control de válvulas (actuadores motorizados) y bombas (variadores de velocidad) manejan este protocolo de comunicación.

Las velocidades de transmisión en MODBUS RTU van desde los 75 baudios a 19200 baudios, la velocidad a utilizar dependerá de la cantidad de elementos por nodo y las distancias entre los equipos. Las conexiones con MODBUS RTU utilizarán el cable par trenzado balanceado, con sección de 0.5mm² (20 AWG) y de 120 ohm de impedancia. Y el modo de conexión que debe de existir entre dispositivos será tal como se muestra en la siguiente figura:

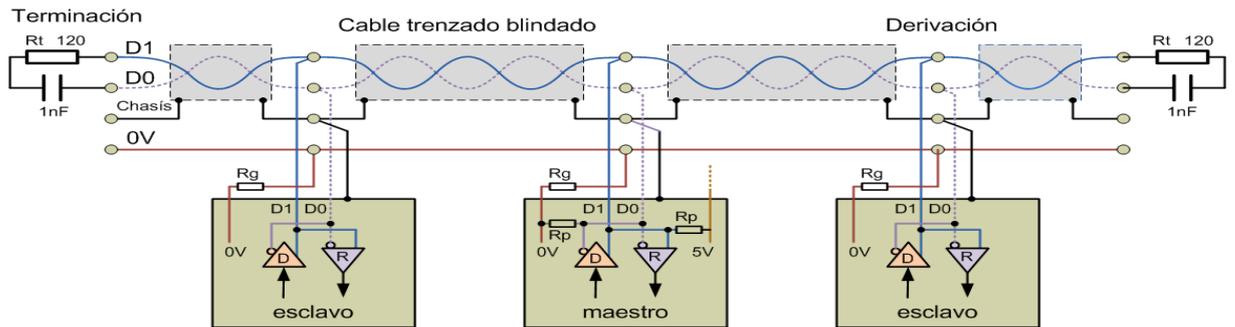


Figura 3.16 - Cableado de las interfaces RS 485.
Fuente: Interfaz de comunicación RS-485.

3.2.4.2 Sistema de adquisición de datos

Para que un sistema de supervisión y control tenga la capacidad de leer los datos de los transmisores, es importante tener los equipos de adquisición de datos o los llamados RTU's.

Dependiendo del tamaño de la planta de almacenamiento y el número de terminales a leer, será necesario el uso de una o varias RTU's enlazadas en una red corporativa, toda la información reunida por las RTU's serán enviadas mediante la utilización de una red suficientemente capaz de manejar tal volumen de datos hacia la MTU. La MTU ejecutará los algoritmos de control para el funcionamiento correcto de la planta, también enviará y recibirá los datos provenientes del nivel de supervisión donde se encuentran los sistemas HMI y SCADA

Para el caso de la planta de almacenamiento de combustibles de PETROPERU, el número de terminales a leer y controlar se muestra en el Cuadro 3.33.

| EQUIPOS E INSTRUMENTOS | RECEPCIÓN | ALMACENAMIENTO | DESPACHO | TOTAL |
|------------------------------|-----------|----------------|----------|-------|
| Transmisores de nivel | 0 | 12 | 0 | 12 |
| Transmisores de temperatura | 0 | 12 | 0 | 12 |
| Transmisores de sobrellenado | 0 | 12 | 0 | 12 |
| Actuadores motorizados | 3 | 24 | 6 | 33 |
| Variadores de velocidad | 3 | 0 | 6 | 9 |
| TOTAL DE TERMINALES | | | | 78 |

Cuadro 3.33 - Número de terminales a leer y controlar por etapas.
Fuente: Elaboración propia

Entonces se necesitará un equipo que haga la tarea de adquisición de datos para el envío de información hacia la unidad central de control, estos equipos podrían ser PLC's con las prestaciones adecuadas para la integración del nuevo sistema.

La RTU enlazará el nivel de campo y el nivel de control de la planta donde se encuentra la MTU.

La conexión con el nivel de campo se realizará mediante módulos de comunicación que soporten el protocolo industrial seleccionado para la implementación del bus de campo. La conexión con el nivel de control se realizará mediante un switch hacia la red Ethernet, utilizando los protocolos: DNP 3.0¹⁴ ó IEC 60870-5-101¹⁵ sobre TCP/IP.

Las RTU's y la MTU a utilizar deben tener las siguientes características:

- Deberá ser un equipo modular con facilidades de expansión, tales como los módulos para entradas análogas de 4-20 mA y digitales, salidas analógicas y discretas, módulos de comunicación para protocolos de redes industriales, módulos de salidas discretas y análogas.
- Deberá soportar el protocolo de comunicación industrial seleccionado para todos los PLC's y los equipos de campo.
- Una característica importante que deberán cumplir estos dispositivos será tener un nivel de seguridad por clave de acceso (password), tanto para la modificación del programa como para el acceso a sus funciones.
- Para la modificación del programa deberá permitir una sobre escritura en caliente, es decir sin detener la CPU.

¹⁴ Protocolo de red distribuida en su versión 3 utilizado en zonas industriales para comunicaciones entre equipos inteligentes (IED) y estaciones controladoras

¹⁵ Norma internacional para la monitorización de los sistemas de energía sistemas de control y sus comunicaciones asociadas.

- El sistema operativo incorporado en el equipo deberá poseer la capacidad de realizar funciones específicas como: funciones aritméticas, funciones lógicas, secuenciales, de temporización, de conteo, igualmente debe tener la capacidad de realizar algoritmos de control industrial programable como el caso de control de presión continua entre otros, pensando para una futura mejora del sistema.

Con la utilización del concentrador de datos ROSEMOUNT 2410 para la toma de datos de los instrumentos de medición, es necesario comunicar este equipo con el nivel de control haciendo uso de su puerto principal el cual maneja el protocolo MODBUS RTU; por esta razón se necesita un equipo (controlador) que maneje de forma nativa el protocolo mencionado, para no tener la complicación de comprar un dispositivo de comunicaciones complementario para el intercambio de datos. Además como la cantidad de elementos que conforman un nodo no excede a más de 16 dispositivos, para la recopilación de esa información solo será necesario un PLC de prestaciones básicas. A continuación se muestra un cuadro comparativo con las marcas de PLC más usadas en nuestro medio:

| CARACTERÍSTICAS | M221/SCHNEIDER | S7-1200/SIEMENS | Micrologix 1100/AB |
|------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|
| Serie Modbus RTU | Incorporado | Con módulo | Incorporado |
| Ethernet | Modbus TCP, UDP, TCP SNMP | Profinet, TCP/IP, UDP | Ethernet/IP, Modbus, DNP3 |
| Entradas digitales | 14 | 14 | 6 |
| Salidas digitales | 10 | 10 | 6 |
| Entradas analógicas | 2 (0-10v) | 2 (0-10v) | 2 (0-10v) |
| Tiempos de ejecución | 0.22us - inst bool | 85ns - inst. bool | |
| Costo | 1000 | 1300 | 1200 |

*Cuadro 3.34 - Comparación de controladores básicos.
Fuente: Elaboración propia.*

Como se puede ver en el cuadro el M221 y el Micrologix 1100 tienen el protocolo Modbus RTU incorporado, pero es el M221 el que tiene menor costo y cuenta con

mayores prestaciones en comparación al Micrologix 1100. De esta forma el RTU elegido para la adquisición de datos será el MODICON TM221CE16R de la marca Schneider, el cual presenta las siguientes características:

| Marca/Modelo | SCHNEIDER / TM221CE16R |
|----------------------------|---|
| Entradas digitales | 9 entrada discreta de acuerdo con IEC 61131-2 tipo 1 |
| Tensión de entrada digital | 24VDC |
| Salidas | 7 tipo relé(2A) |
| Entradas analógicas | 2 en el rango de 0-10V (RES. 10bits) |
| Comunicación | 1 puerto serie MODBUS RTU/ASCII 1 puerto ETHERNET BASE-T/100BASE-TX con 100 m cable cobre (MODBUS ETHERNET) Porta USB : USB protocolo - SoMachine-Red |
| Alimentación | 100-240VAC, 50/60Hz |
| Consumo de potencia | <= 49 VA en 100...240 V módulo de expansión con número máximo de E/S <= 33 VA en 100...240 V sin módulo de expansión E/S |
| Capacidad de memoria | 256 kB para aplicación de usuarios y datos RAM con 10000 instrucciones 256 kB para variables internas RAM |
| Expansión | 2 GB Tarjeta SD opcional |
| Grado de protección | IP20 |

*Cuadro 3.35 - Características controlador TM221
Fuente: Elaboración propia.*

Para el nivel de control se elegirá un controlador que tenga mayores prestaciones que el RTU, ya que en este nivel es donde se concentrará y manejará mayor cantidad de información proveniente de los instrumentos de campo y además es donde se ejecutarán los algoritmos de control que gobernarán el sistema. A continuación se muestra un cuadro comparativo de PLC'S de la misma gama.

| CARACTERÍSTICAS | M340/SCHNEIDER BMXP3420 | S7-300/SIEMENS CPU 315-2 PN/DP |
|---------------------------------------|--|---|
| Número de racks | 12 max. | 8 por bastidor |
| Total de entradas y salidas digitales | 1024/704 | NI/NI |
| Total entradas y salidas analógicas | 256/66 | NI/NI |
| Puertos de comunicación integrados | 100BASE-TX (Modbus Ethernet) Modbus maestro/esclavo RTU/ASCII Puerto USB de programación | 1x10BASE-T/100BASE-TX (Profinet) |

| | | |
|---------------------------|---|---|
| Capacidad memoria interna | 512KB (RAM usuario) 448KB (programa) 32KB (datos) | 384KB (mem. principal) |
| Tiempo de ejecución | Booleano:.....0.12us Palabra simple: 0.25us Palabra doble:....0.17us Flotantes: 1.16us | Booleano:.....0.05us Palabra simple: 0.09us Palabra doble:....0.12us Flotantes: 0.45us |
| Costo | 7500 | 15000 |

*Cuadro 3.36 - Comparación de controladores de gama media.
Fuente: Elaboración propia.*

Para la elección del equipo hay que tomar en cuenta que tanto la MTU como la RTU tengan la capacidad de comunicarse mediante un protocolo conocido por ambos, es por ello que la mejor elección para ejecutar las tareas de la MTU será el PLC M340 de Schneider, que tal como se observa en el cuadro cuenta con el puerto MODBUS ETHERNET para la comunicación con las RTU's, además si comparamos la memoria interna y los tiempos de ejecución de los equipos estos se diferencian en la razón de 2 a 1, esta diferencia no genera gran impacto en la aplicación.

Tras el análisis anterior elegiremos el M340 BMXP3420 como equipo que hará las funciones de una MTU, este equipo al ser un controlador de gama media ofrece gran capacidad en el tratamiento de datos, con puerto de comunicación Ethernet incorporado, con capacidad de ampliación de puertos I/O analógicas como digitales y al ser de la misma marca que la RTU ofrece diversas posibilidades de comunicación.

| ESPECIFICACIONES M340 BMXP3420 | |
|---------------------------------------|--|
| Número de racks 4,6,8,12 | 1 |
| Máx. entradas y salidas digitales | 1024/704 |
| Máx. Entrada y salidas analógicas | 256/66 |
| Comunicación | 1 puerto serie MODBUS RTU/ASCII- Esc/Mast 1 puerto ETHERNET BASE-T/100BASE-TX Port USB 12Mbits/s |
| Memoria RAM: | Total: 4096Kb Programa: 3584Kb Datos: 256Kb |

| | |
|----------------------------------|---|
| Tiempo de ejecución de instrucc. | Booleano:.....0.12us Palabra simple: 0.25us Palabra doble:....0.17us Flotantes: 1.16us |
| Ejecución | Tarea maestra: 0.7ms Tarea rápida: 0.13ms |
| Consumo | 24V / 95mA |

*Cuadro 3.37 - Características controlador M340
Fuente: Elaboración propia*

Mínimamente para el correcto funcionamiento del MTU serán necesarios los siguientes equipos:

- Rack para fijado y distribución eléctrica. BMX XBP 0600, con 6 slot para ampliación de módulos
- Fuente de alimentación BMX CPS 2000 (100-240VAC), 20W.

Para mayor detalle de la MTU y los equipos que complementan su funcionamiento véase ANEXO N.

3.2.4.3 Sistema de comunicaciones

Las señales de campo provenientes de los instrumentos de medición serán recogidas por una o varias RTU's, mediante una red de campo soportada por cualquiera de los protocolos industriales existentes en el mercado. Las RTUs realizarán el procesamiento de la información para posteriormente transmitir a las estaciones de control mediante la utilización de una red de área local (LAN-Ethernet) de alto rendimiento soportada bajo los protocolos utilizados, permitiendo la optimización de los recursos al momento de la interconexión con los mismos.

El sistema de comunicaciones deberá tener la suficiente capacidad de red para el manejo del volumen de datos, características topológicas acordes a la necesidad, distancias máximas a transmitir y velocidad de transmisión de datos de acuerdo al

nivel de planta que se encuentre. Para observar las características de los protocolos que más se utilizan en el medio ver ANEXO G.

Como se mencionó antes el protocolo a usar en el nivel de campo será el FOUNDATION FIELDBUS (protocolo de comunicación entre sensores de campo que utiliza modulación sobre la propia línea de alimentación de los dispositivos y que puede utilizar los antiguos cableados de instrumentación 4-20mA) y para el nivel de control se hará uso del protocolo MODBUS ETHERNET que otorgará la comunicación de los controladores en una red de área local industrial.

Es importante recalcar que para la comunicación entre el nivel de proceso o control y el nivel de supervisión también se hará uso de una red Ethernet, en el caso de las computadoras de las oficinas se manejará el protocolo Ethernet TCP/IP y para la comunicación con el HMI se elegirá el protocolo que se adecue al sistema.

El sistema de comunicación deberá permitir comunicar el centro de monitorización y control con cualquiera de las unidades remotas todos los días de forma ininterrumpida, obteniendo la información en tiempo real y disponiendo de versatilidad para que las comunicaciones puedan ser efectuadas en forma alámbrica o inalámbrica según la necesidad.

En base a la elección de equipos vemos que existirán un equipo MTU y varias RTU's, de acuerdo al tamaño del tablero de control estos equipos estarán juntas o separadas pero no estarán distanciadas a más de 20m, debido a la ubicación y el área donde se desea instalar el tablero de control (patio de bombas), por esta razón para la comunicación de la MTU y las RTU's se usará como medio físico el estándar Ethernet (10BASE-T/100BASE -TX). En cambio por la distancia a la que se encuentran las computadoras donde se instalará el sistema SCADA (áreas administrativas y que a su vez llegará a ser el centro de monitorización)

aproximadamente 200mts del tablero de control, como medio físico se hará uso del estándar Ethernet 10BASE-FX. Por esta razón será necesario utilizar un equipo que permita la interconexión mediante las 2 variantes de Ethernet (RJ45 - Fibra óptica), que sea robusto, de uso industrial y maneje las velocidades de transmisión de datos de los equipos que se integrarán a la red.

| CARACTERÍSTICAS | CONNEXIUM ETHERNET TCSESPU093F2CU0 | SCALANCE XB004-1 |
|-------------------------------------|--|--|
| Tipo de producto | Switch TCP/IP no gestionado | Switch TCP/IP no gestionado |
| Puertos Ethernet | 100 BASE-FX – 2 puertos. 10BASE-T/100BASE-TX – 7 puertos. | 100 BASE-FX – 1 puertos. 10BASE-T/100BASE-TX – 4 puertos. |
| Diseño de conector eléctrico/óptico | RJ-45/SC multimodo | RJ-45/SC multimodo |
| Alimentación | 24VDC | 24VDC |

*Cuadro 3.38 – Comparación de switches industriales.
Fuente: Elaboración propia.*

Tal como se explicó el sistema necesita como mínimo 6 puertos RJ45 para la conexión de los controladores y HMI, por otro lado 1 puerto de fibra para la comunicación con la sala de control, tal como se muestra en el cuadro anterior el equipo que cumple con las exigencias es el Switch industrial ConneXium Ethernet TCSESPU093F2CU0 con 7 PUERTOS 10/100Mbps.y 2 puertos 100BASE-FX.

Para la interconexión de la red industrial con la red administrativa donde están conectados las estaciones PC se usará un convertidor de medios (Ethernet 10/100 a fibra) MCM110SC2EU STARTECH.

3.2.4.4 Hardware y software del SCADA

De manera general y por petición de Consorcio Terminales, es necesario disponer de por lo menos un terminal redundante para la gestión del nuevo sistema, es así que el diseño debe contar con 2 estaciones de ingeniería para la implantación del sistema SCADA encargada de la supervisión y mando a distancia, además de un panel táctil

cercano al proceso para el operador, específicamente estará situado junto o cerca del tablero de control (cerca de la zona de patio de bombas).

3.2.4.4.1 Hardware

- **Panel táctil:** Es necesario un panel de tamaño agradable para el operario de esta forma tener una visión y operatividad amplia del proceso. En el mercado existen infinidad de estos equipos, a continuación se mostrarán los detalles de HMI's de marcas reconocidas para su elección.

| CARACTERÍSTICAS | MAGELIS GTO HMIGTO6310 | SIMATIC HMI KTP1200 Basic Color PN |
|--------------------|--|--|
| Tamaño de pantalla | 12.1 pulgadas | 12 pulgadas |
| Tipo | Pantalla táctil. | Pantalla táctil. |
| Resolución | 800x600 pixels SVGA | 1280x800 |
| Memoria | 96MB memoria flash.(EPROM) 512KB RAM | Flash = SI RAM = SI 10MB datos |
| Protocolos | Modbus, Modbus TCP, Mitsubishi, Omron, Rockwell Allen-Bradley, Siemens Simatic | Ethernet IP, Modbus TCP/IP, Allen –Bradley, Mitsubishi, Omron, |
| Protección | IP20 posterior IP65 frontal | IP20 posterior IP65 frontal |
| Alimentación | 24VDC | 24VDC |

*Cuadro 3.39 - Comparación de terminales táctiles HMI.
Fuente: Elaboración propia.*

Se elegirá el KTP1200 Basic DP de 12” por tener mayor resolución y contar con los protocolos que necesitaremos para la toma de datos de la MTU y/o RTU’s.

- **2 Computadoras personales** (las computadoras son de características similares)
 - Procesadores INTEL(R) Core(TM) i5-2400 CPU, 3.10 Ghz.
 - Sistema operativo: Windows 7 profesional 64 bits, Memoria DIMM 4GB.
 - Tarjeta de video integrada Intel GMA3100.
 - Disco duro 500 GB hard drive SATA de 3,5 “, 7200 RPM. DVD R/W: CD-RW/DVD-ROM IDE 48X.

- Puertos Ethernet: Tarjeta de interfaz red Ethernet para puerto único Broadcom NetXtreme 5708 puerto Gigabit.
- Monitor plano de 21" SVGA.
- Teclado USB en español Latinoamérica.
- Mouse óptico de dos botones con Scroll.
- Puertos: 8 USB, 1 conector serial, 1 conector paralelo.

3.2.4.4.2 Software

- **Sistema SCADA:** Al necesitar un sistema con un entorno de programación amigable, con aplicaciones para la integración de marcas, reconocido y usado en aplicaciones industriales, y por contar con una librería amplia para la creación de ventanas y no tener que usar otro entorno de programación porque el terminal táctil ya trabaja con este software, se eligió:
 - WinCC Advance V14, 512 power tags.
 - WinCC Run time Advance V14.
- **Programadores de los controladores:** Elegidos porque son los programadores por defecto de los controladores seleccionados, incluye la protección contra copia de programa y es un software de programación fácil e intuitiva. Lo programas elegidos son:
 - Unity pro.
 - SoMachine Basic V1.6.

3.2.4.4.3 Interfaz Hombre Máquina (HMI)

El principal objetivo del desarrollo de una interfaz hombre-máquina para la supervisión y control a distancia es el permitir al operador y a los supervisores una visión amplia de los procesos que se realizan en planta. Facilitando un monitoreo en

tiempo real de las variables de los tanques, así como la gestión y procesamiento de la información recolectada desde los dispositivos de campo.

Para el desarrollo de las aplicaciones (HMI) en la planta de PETROPERU, se recomienda la utilización de un paquete computacional abierto, que permita la integración de equipos de varias marcas sin presentar restricciones de ningún tipo.

A continuación se realizará una descripción de los requerimientos mínimos que deben tenerse en cuenta en el desarrollo del programa de supervisión.

a) Características generales de las HMI.

- La interfaz hombre-máquina deberá presentar en tiempo real toda la información de la planta, es importante que la información presentada sea correcta, de modo que asegure una operación segura tanto para el personal como para los equipos.
- Se debe crear una aplicación capaz de correr en Windows XP, Windows 7, Windows 8, Windows 10 o Windows Server 2003.
- Deberá permitir la creación de datos históricos para puedan ser fácilmente transferidos a otras aplicaciones que manejan hojas de cálculo como EXCEL.
- La aplicación deberá permitir el almacenamiento de todos los reportes, datos históricos, alarmas y eventos de todo el sistema para poder ser vistos y revisados posteriormente.
- La ventana de tendencias deberá permitir manejar datos tanto en tiempo real como datos pasados.
- Ante cualquier suceso fuera de la operación normal de los procesos debe generarse una alarma, la cual se registra y muestra en un panel

de alarmas que permita al operador identificarlas, mostrando la hora y fecha en la que se generó así como la descripción de la falla.

- La distribución de combustibles es una actividad comercial, por lo que requiere la generación de reportes donde se incluyan los volúmenes y flujos consumidos de tal forma que esta información pueda ser usada por el área comercial para la toma de decisiones.
- El diseño del entorno HMI debe de ser de fácil uso para el usuario, que posibilite la comprensión por parte de personal de planta con conocimientos medios de programación.
- Las siguientes pantallas deberán estar implementadas en el sistema:
 - Visión general de la planta, visión de las diferentes áreas, el diagrama permitirá que el operador ubique rápidamente las distintas áreas.
 - Visión específica, de las medidas de cada uno de los tanques.
 - Pantalla de alarmas en tiempo real e histórico, con la posibilidad de generación de reportes.
 - Pantallas de generación de tendencias de las variables monitoreadas.

b) Seguridad del sistema SCADA

Los HMI's contarán con la opción de configurar usuarios con distintos niveles de acceso y acción sobre la supervisión y el control del proceso.

Como ejemplo se mostrarán los siguientes niveles de acceso y tendrán los siguientes privilegios:

- USUARIO:
 - Visualización total de pantallas.
 - Visualización total de alarmas.
- OPERADOR:
 - Visualización total de pantallas.
 - Visualización total de alarmas.
 - Configurar opciones de operador.
 - Ingreso a pantalla de Alarmas
- SUPERVISOR:
 - Visualización y modificación de parámetros previa autorización superior.
 - Visualización total de pantallas.
 - Privilegios de operador.
 - Forzar I/O.
- MANTENIMIENTO:
 - Visualización y modificación de parámetros previa autorización superior.
 - Visualización total de pantallas.
 - Privilegios de operador.
 - Forzar I/O.
 - Modificar base del historial (entradas o salidas al historial).

3.3 Elección de Equipos e Instrumentación del Módulo de Pruebas

Siguiendo como modelo la elección de equipos e instrumentos de medición realizada anteriormente, se optó que el prototipo de pruebas cuente con el equipamiento e instrumentación de forma que se asemeje a la solución planteada,

también se elegirán otros equipos para que el módulo de pruebas tenga similitud con procesos existentes en planta.

La elección de equipos se dividirá en dos partes:

- Equipos que irán montados sobre la estructura: Serán aquellos equipos que interactuarán directamente sobre el proceso.
- Equipos que irán montados en tablero de control: serán aquellos equipos que realizarán la toma de datos, el procesamiento de datos, la comunicación entre dispositivos y el control sobre aquellos equipos que están en campo.

A continuación se detallan los criterios de la elección de los equipos e instrumentos de medición que conformarán el prototipo de pruebas, además se mostrarán las características de cada uno de ellos.

3.3.1 Equipos e instrumentos para la estructura

3.3.1.1 Medición de nivel

Recordando que el instrumento elegido para la medición en tanques de combustible es de tipo RADAR, el sensor elegido para la utilización en el prototipo de pruebas será de tipo ULTRASÓNICO, esto ya que en el principio de funcionamiento tiene un gran parecido con el tipo radar por la emisión y recepción de ondas (para el cálculo de las distancias) y por no tener contacto directo con el elemento a medir. Otro factor para su elección es que en el mercado la medición por ultrasonido es comúnmente utilizado en aplicaciones generales. Este sensor tiene las siguientes características:

| Modelo | HSDZ-ES |
|-------------------------------|---|
| Rango | 1m |
| Ciegos | ≤100 ~ 150mm |
| Precisión | ±0. 5% F..S (Full Scale) = 0.5cm |
| Señal de salida | 4 ~ 20mA |
| Ángulo de haz | 15 ° |
| Temperatura de funcionamiento | 0 ~ 50 °C |
| Fuente de alimentación | DC24V/300mA |
| Tipo de cable | Conector a prueba de agua, 0,5m |
| Grado de protección | IP65 |
| Modelo de montaje | Tornillo o tamiz Tamaño de rosca: M49×1. 5mm |

*Cuadro 3.40 - Características del sensor de nivel tipo ultrasónico del prototipo.
Fuente: Elaboración propia.*

3.3.1.2 Medición de temperatura:

Tal y como se describió los sensores PT100 además de ser los más utilizados en la industria cuentan con una buena precisión y linealidad para la medición de temperatura, por estas razones el módulo contará con este sensor. El módulo de pruebas contará con un recipiente de dimensiones pequeñas que representará al tanque de almacenamiento, por esta razón bastará con la instalación de solo un sensor PT100 como punto de medida. Este sensor tiene las siguientes características:

| MARCA/MODELO | T-THERM / 231-5 |
|-----------------------|-------------------------------------|
| Tipo de sensor | Resistencia de platino 100ohm a 0°C |
| Rango operativo | -20 a 85°C |
| Exactitud | 0.2°C |
| Conexión | 3 hilos (RTD) |
| Dimensiones del bulbo | 6 x 152.4 mm |
| Material del bulbo | 316L acero inoxidable |
| Conexión a proceso | ½" NTP macho |

*Cuadro 3.41 - Características del sensor de temperatura tipo termorresistencia del prototipo.
Fuente: Elaboración propia.*

3.3.1.3 Prevención de sobrellenado:

Para el prototipo se optó por un equipo que al igual que el sensor tipo HORQUILLA VIBRATORIA elegido para la prevención de sobrellenado de tanques de almacenamiento de combustible, detecte el nivel al estar en contacto con el líquido. Por lo dicho anteriormente el interruptor de nivel eléctrico cumple con lo dispuesto, ya

que en el momento que el producto hace contacto con los electrodos del sensor, este envía una señal de detección de sobrellenado. Otra razón de su elección se debe a su gran uso en aplicaciones limpias y de bajo costo. El interruptor de nivel eléctrico utilizará al agua como medio de transporte por donde viajará la señal de detección, esto no representará ningún peligro para la aplicación, ya que no se trabajará con ningún elemento inflamable. Este sensor tiene las siguientes características:

| MARCA/MODELO | HANYOUNG-NUX / FS-3 |
|--|----------------------------|
| Alimentación | 220VAC +-10%, 60Hz |
| Consumo de potencia | 3.2VA |
| Tiempo de respuesta | Menos de 80ms |
| Resistencia de operación del electrodo | 0 – 27Kohm |
| Salida de control | 250VAC, 5A |
| Numero de conmutaciones | Más de 5000000 veces |
| Resistencia de aislamiento | Más de 100Mohm (500VDC) |
| Temperatura ambiente | -10 ~ +50°C |
| Humedad ambiental | 35 85 %RH |

*Cuadro 3.42 - Características del interruptor de nivel del prototipo.
Fuente: Elaboración propia.*

3.3.1.4 Electroválvulas

Al igual que en la solución planteada es necesario controlar el paso y el encaminamiento del producto por las tuberías, por esta razón en la entrada y salida del recipiente que actuará como tanque de almacenamiento, se instalará 2 electroválvulas que cumplirán con esta función.

Cada electroválvula será adecuada con un arreglo de puente de válvulas manuales, esto en caso de que exista alguna falla con el equipo o para dar paso al producto de forma manual. Las características principales de estos equipos son:

| MARCA/MODELO | RAINBIRD / 100PGA |
|---------------------------|---|
| Alimentación de solenoide | 24VAC, 50/60Hz |
| Consumo de corriente | 0.41A (9.8VA) corriente de arranque 0.28A (6.7VA) corriente de mantenimiento |
| Presión | 15 a 150 psi (1.0 a 10.4bar) |
| Caudal | 2 a 150 GPM (0.5 a 34m ³ /h; 0.13 a 9.44L/s) |
| Temperatura | Hasta 43°C |
| Resistencia de la bobina | 24ohm nominal |
| Conexión a proceso | 1" NTP hembra |

*Cuadro 3.43 - Características de electroválvula del prototipo.
Fuente: Elaboración propia.*

3.3.1.5 Bombas eléctricas

El prototipo de pruebas así como en planta debe permitir simular el bombeo del producto en las etapas de recepción y despacho para la entrada y salida de producto del recipiente de almacenamiento, por esta razón sobre el módulo de pruebas se instalarán 2 electrobombas trifásicas en los circuitos de entrada y salida del recipiente de almacenamiento, para así cuando se implante el sistema de supervisión y control nos permita tener acceso sobre los parámetros de ajuste de los variadores de velocidad encargados del funcionamiento de las bombas de recepción y despacho. Estas electrobombas tienen las siguientes características:

| MARCA/MODELO | PENTAX / U5-120 |
|------------------------------|---|
| Alimentación | 220V, 60Hz, conf. delta 380V, 60Hz, conf. estrella |
| Consumo de corriente | 4.6A, conf. delta 2.7A, conf. estrella |
| Potencia | 1.2 HP (1.3 KW) |
| Caudal | 30-150(l/min) |
| Altura | Max: 44m - Min: 11.3m |
| Temperatura máx. del líquido | Hasta 35°C |
| Grado de protección | IP 44 |

*Cuadro 3.44 - Características de las electrobombas del prototipo.
Fuente: Elaboración propia.*

3.3.2 Equipos para el tablero de control

3.3.2.1 Controlador

Este viene a ser el equipo más importante de todo tablero de control, ya que realizará la lectura de las variables de entrada sean analógicas o digitales, procesará la información y entregará una salida u órdenes a otros equipos, en base a la programación que previamente se ha transferido y que se ejecuta cíclicamente a lo largo del proceso. De forma general para la elección de este equipo se consideró la capacidad de leer las señales provenientes de los sensores mediante el uso de sus entradas digitales y analógicas, así mismo se consideró los protocolos de comunicación que maneja (MODBUS RTU Y MODBUS ETHERNET) para efectuar la comunicación con los equipos que realizarán el control de velocidad y los equipos encargados de interactuar con las personas. Las características de este equipo y el módulo de entradas analógicas son:

| Marca/Modelo | SCHNEIDER / TM221CE16R |
|----------------------------|---|
| Entradas digitales | 9 entrada discreta de acuerdo con IEC 61131-2 tipo 1 |
| Tensión de entrada digital | 24VDC |
| Salidas | 7 tipo relé(2A) |
| Entradas analógicas | 2 en el rango de 0-10V (Resolución 10bits) |
| Comunicación | 1 puerto serie MODBUS RTU/ASCII 1 puerto ETHERNET BASE-T/100BASE-TX con 100 m cable cobre Porta USB : USB protocolo - SoMachine-Red |
| Alimentación | 100-240VAC, 50/60Hz |
| Consumo de potencia | <= 49VA en 100...240V módulo de expansión con número máximo de E/S |
| Capacidad de memoria | 256 kB para aplicación de usuarios y datos RAM con 10000 instrucciones 256 kB para variables internas RAM |
| Expansión | 2 GB Tarjeta SD opcional |
| Grado de protección | IP20 |

*Cuadro 3.45 - Características del controlador del módulo de pruebas del prototipo.
Fuente: Elaboración propia.*

| Marca/Modelo | SCHNEIDER / TM3TI4 |
|------------------------------|--|
| Número de canales de entrada | 4 entradas |
| Fuente de alimentación | 24VDC |
| Tipo de señal | Tensión 0-10VDC / -10/+10VDC Corriente 0-20mA / 4-20mA Termoelemento tipo K,J,R,S,B,E,T,N,C RTD (3 hilos) PT100, PT1000, NI100, NI 1000 |
| Máxima resolución | 16 bits o 15 bits más signo (-32768 a 32767) |
| Tipo y longitud del cable | Par trenzado blindado, máx. 30m |

*Cuadro 3.46 - Características del módulo de entradas analógicas del prototipo.
Fuente: Elaboración propia.*

3.3.2.2 Interfaz hombre maquina

Dentro de los requerimientos de este proyecto se sugiere el uso de un panel HMI para el operador, por esta razón el tablero de control deberá incluir en la parte frontal un panel táctil el cual de acuerdo a la programación que se inserte dentro de este, nos proporcionará una visión y control general del proceso. El panel elegido será de la marca Schneider con tamaño de 5.7 pulgadas.

| Marca/Modelo | SCHNEIDER / HMI STU855 |
|----------------------------|---|
| Tamaño | 5.7" |
| Tipo de pantalla | Pantalla táctil a color QVGA TFT |
| Color de pantallas | 65536 colores |
| Resolución | 320 x 240 pixels QVGA |
| Panel táctil | Analógico |
| Alimentación | 24VDC (20.4-28.8V), <=30A |
| Consumo de potencia | 6.8W |
| Tipo de conexión integrada | 1 USB 2.0 type mini B ((*)) 1 USB 2.0 tipo A RJ45 hembra conector enlace serie COM1 con capacidad de sujeción: RS232C/RS485 interface en <= 115,2 kbits/s |
| Protocolos descargables | Modbus, Modbus TCP/IP, protocolos de terceros, Uni-TE |
| Grado de protección | IP20 panel trasero IP65 panel frontal |

*Cuadro 3.47 - Características del panel táctil del prototipo.
Fuente: Elaboración propia.*

3.3.2.3 Control de velocidad

Según el diseño de este proyecto las electrobombas deben ser monitoreadas y controladas de forma local y remota, de esta forma el equipo que ayudará a este

propósito es el variador de velocidad, que además de controlar la velocidad, proporciona a la electrobomba un arranque suave y una protección en caso exista una falla durante su funcionamiento. La elección de este equipo se determinó en base a las características que tiene la electrobomba y al protocolo de comunicación que maneja el controlador.

Las características de este equipo se muestran en el siguiente cuadro:

| Marca/Modelo | SCHNEIDER / altivar ATV320U07M2B |
|---------------------------------------|---|
| Tensión de alimentación. | 200-240V, 50..60Hz, monofásico |
| Potencia en el motor. | 0.75KW para carga pesada 1HP para carga pesada |
| Corriente de línea. | 7.5A a 240V |
| Potencia aparente | 1.8KVA a 240V |
| Corriente de salida continua. | 4.8 A en 4KHz para carga pesada |
| Rango de frecuencia de salida. | 0.1 – 599Hz |
| Frecuencia de conmutación nominal. | 4KHz |
| Frecuencia de conmutación. | 4 – 16 KHz desclasificación en corriente 2 – 16 KHz regulable. |
| Protocolo del puerto de comunicación. | CANopen Modbus (RJ45, RS485) |
| Velocidad de transmisión. | 4.8, 9.6, 19.2, 38.4 Kbits/s para modbus. |
| Numero de direcciones. | 1-247 para modbus y CANopen |
| Entradas digitales. | 7 |
| Salidas digitales. | 3(relé NA/NC, rele NA, logico) |
| Entradas analógicas. | 3 (0-10V, +-10V, 0-20mA) |
| Salidas analógicas. | 1 (0-20mA, 0-10V) |
| Grado de protección. | IP20 |

*Cuadro 3.48 - Características del variador de velocidad del prototipo.
Fuente: Elaboración propia.*

CAPÍTULO IV:

DISEÑO DEL SISTEMA SCADA DE LA PLANTA PETROPERÚ

En el capítulo anterior se eligió los instrumentos de medición y los equipos a controlar de acuerdo a las necesidades existentes en planta, también se determinó que redes de comunicación se usarán en base a los a los equipos e instrumentos elegidos y por último se detalló las características con las que debe de contar un sistema SCADA. En este capítulo se obtendrá la terminología de instrumentación en base a los equipos elegidos, se diseñará la arquitectura de comunicaciones desde el nivel de célula hasta el nivel de supervisión, elaboraremos las lógicas de control que gobernarán el sistema y se diseñarán la funcionalidad de las pantallas del entorno HMI con las que contará el sistema SCADA.

4.1 Terminología y Simbología de los Instrumentos

Siguiendo los estándares propuestos por Consorcio Terminales, la terminología estará conforme a la normativa ISA S51.1, "Terminología de Procesos de Instrumentación" y la simbología a la norma ISA S5.1 "Identificación y Simbología de Instrumentación".

La identificación de los instrumentos se presenta de la siguiente forma:

Tag N°: AAVFI-XXX

AA: Numero de Área,
Sección.

V: Variable Medida.

FI: Función del Instrumento.

XXX: Secuencia numérica.

Siguiendo la normativa y los instrumentos que se necesitarán, se muestra el siguiente cuadro de instrumentación:

| DATOS GENERALES | | | | PLANO DE SITUACIÓN | | TIPO DE SEÑAL | |
|-----------------|---------------------------|---------------------------------------|--------------|--------------------|-----------|---------------|--------------------|
| TAG | TIPO DE INSTRUMENTO | SERVICIO | UBICACIÓN | ELÉCTRICA | NEUMÁTICA | TIPO | PARTICULAR |
| 001-LSHH-01 | INTERRUPTOR DE NIVEL | MUY ALTO NIVEL EN TANQUE TQ-1 | TANQUE TQ-1 | ANEXO C | | AI_PLC | 4-20mA |
| 001-LT-01 | TRANSMISOR DE NIVEL | MEDIDA NIVEL EN TANQUE TQ-1 | TANQUE TQ-1 | ANEXO C | | BUS | FoundationFieldbus |
| 001-TT-01 | TRANSMISOR DE TEMPERATURA | TRANMISOR DE TEMPERATURA TANQUE TQ-1 | TANQUE TQ-1 | ANEXO C | | BUS | FoundationFieldbus |
| 001-LSHH-02 | INTERRUPTOR DE NIVEL | MUY ALTO NIVEL EN TANQUE TQ-2 | TANQUE TQ-2 | ANEXO C | | AI_PLC | 4-20mA |
| 001-LT-02 | TRANSMISOR DE NIVEL | MEDIDA NIVEL EN TANQUE TQ-2 | TANQUE TQ-2 | ANEXO C | | BUS | FoundationFieldbus |
| 001-TT-02 | TRANSMISOR DE TEMPERATURA | TRANMISOR DE TEMPERATURA TANQUE TQ-2 | TANQUE TQ-2 | ANEXO C | | BUS | FoundationFieldbus |
| 001-LSHH-03 | INTERRUPTOR DE NIVEL | MUY ALTO NIVEL EN TANQUE TQ-3 | TANQUE TQ-3 | ANEXO C | | AI_PLC | 4-20mA |
| 001-LT-03 | TRANSMISOR DE NIVEL | MEDIDA NIVEL EN TANQUE TQ-3 | TANQUE TQ-3 | ANEXO C | | BUS | FoundationFieldbus |
| 001-TT-03 | TRANSMISOR DE TEMPERATURA | TRANMISOR DE TEMPERATURA TANQUE TQ-3 | TANQUE TQ-3 | ANEXO C | | BUS | FoundationFieldbus |
| 001-LSHH-04 | INTERRUPTOR DE NIVEL | MUY ALTO NIVEL EN TANQUE TQ-4 | TANQUE TQ-4 | ANEXO C | | AI_PLC | 4-20mA |
| 001-LT-04 | TRANSMISOR DE NIVEL | MEDIDA NIVEL EN TANQUE TQ-4 | TANQUE TQ-4 | ANEXO C | | BUS | FoundationFieldbus |
| 001-TT-04 | TRANSMISOR DE TEMPERATURA | TRANMISOR DE TEMPERATURA TANQUE TQ-4 | TANQUE TQ-4 | ANEXO C | | BUS | FoundationFieldbus |
| 001-LSHH-05 | INTERRUPTOR DE NIVEL | MUY ALTO NIVEL EN TANQUE TQ-5 | TANQUE TQ-5 | ANEXO C | | AI_PLC | 4-20mA |
| 001-LT-05 | TRANSMISOR DE NIVEL | MEDIDA NIVEL EN TANQUE TQ-5 | TANQUE TQ-5 | ANEXO C | | BUS | FoundationFieldbus |
| 001-TT-05 | TRANSMISOR DE TEMPERATURA | TRANMISOR DE TEMPERATURA TANQUE TQ-5 | TANQUE TQ-5 | ANEXO C | | BUS | FoundationFieldbus |
| 001-LSHH-06 | INTERRUPTOR DE NIVEL | MUY ALTO NIVEL EN TANQUE TQ-6 | TANQUE TQ-6 | ANEXO C | | AI_PLC | 4-20mA |
| 001-LT-06 | TRANSMISOR DE NIVEL | MEDIDA NIVEL EN TANQUE TQ-6 | TANQUE TQ-6 | ANEXO C | | BUS | FoundationFieldbus |
| 001-TT-06 | TRANSMISOR DE TEMPERATURA | TRANMISOR DE TEMPERATURA TANQUE TQ-6 | TANQUE TQ-6 | ANEXO C | | BUS | FoundationFieldbus |
| 001-LSHH-08 | INTERRUPTOR DE NIVEL | MUY ALTO NIVEL EN TANQUE TQ-8 | TANQUE TQ-8 | ANEXO C | | AI_PLC | 4-20mA |
| 001-LT-08 | TRANSMISOR DE NIVEL | MEDIDA NIVEL EN TANQUE TQ-8 | TANQUE TQ-8 | ANEXO C | | BUS | FoundationFieldbus |
| 001-TT-08 | TRANSMISOR DE TEMPERATURA | TRANMISOR DE TEMPERATURA TANQUE TQ-8 | TANQUE TQ-8 | ANEXO C | | BUS | FoundationFieldbus |
| 001-LSHH-09 | INTERRUPTOR DE NIVEL | MUY ALTO NIVEL EN TANQUE TQ-9 | TANQUE TQ-9 | ANEXO C | | AI_PLC | 4-20mA |
| 001-LT-09 | TRANSMISOR DE NIVEL | MEDIDA NIVEL EN TANQUE TQ-9 | TANQUE TQ-9 | ANEXO C | | BUS | FoundationFieldbus |
| 001-TT-09 | TRANSMISOR DE TEMPERATURA | TRANMISOR DE TEMPERATURA TANQUE TQ-9 | TANQUE TQ-9 | ANEXO C | | BUS | FoundationFieldbus |
| 002-LSHH-10 | INTERRUPTOR DE NIVEL | MUY ALTO NIVEL EN TANQUE TQ-10 | TANQUE TQ-10 | ANEXO C | | AI_PLC | 4-20mA |
| 002-LT-10 | TRANSMISOR DE NIVEL | MEDIDA NIVEL EN TANQUE TQ-10 | TANQUE TQ-10 | ANEXO C | | BUS | FoundationFieldbus |
| 002-TT-10 | TRANSMISOR DE TEMPERATURA | TRANMISOR DE TEMPERATURA TANQUE TQ-10 | TANQUE TQ-10 | ANEXO C | | BUS | FoundationFieldbus |

| | | | | | | | |
|-------------|----------------------------|---------------------------------------|------------------|------------------|------------------|-------------|--------------------|
| 002-LSHH-11 | INTERRUPTOR DE NIVEL | MUY ALTO NIVEL EN TANQUE TQ-11 | TANQUE TQ-11 | ANEXO C | | AI_PLC | 4-20mA |
| 002-LT-11 | TRANSMISOR DE NIVEL | MEDIDA NIVEL EN TANQUE TQ-11 | TANQUE TQ-11 | ANEXO C | | BUS | FoundationFieldbus |
| TAG | TIPO DE INSTRUMENTO | SERVICIO | UBICACIÓN | ELÉCTRICA | NEUMÁTICA | TIPO | PARTICULAR |
| 002-TT-11 | TRANSMISOR DE TEMPERATURA | TRANMISOR DE TEMPERATURA TANQUE TQ-11 | TANQUE TQ-11 | ANEXO C | | BUS | FoundationFieldbus |
| 002-LSHH-12 | INTERRUPTOR DE NIVEL | MUY ALTO NIVEL EN TANQUE TQ-12 | TANQUE TQ-12 | ANEXO C | | AI_PLC | 4-20mA |
| 002-LT-12 | TRANSMISOR DE NIVEL | MEDIDA NIVEL EN TANQUE TQ-12 | TANQUE TQ-12 | ANEXO C | | BUS | FoundationFieldbus |
| 002-TT-12 | TRANSMISOR DE TEMPERATURA | TRANMISOR DE TEMPERATURA TANQUE TQ-12 | TANQUE TQ-12 | ANEXO C | | BUS | FoundationFieldbus |
| 002-LSHH-14 | INTERRUPTOR DE NIVEL | MUY ALTO NIVEL EN TANQUE TQ-14 | TANQUE TQ-14 | ANEXO C | | AI_PLC | 4-20mA |
| 002-LT-14 | TRANSMISOR DE NIVEL | MEDIDA NIVEL EN TANQUE TQ-14 | TANQUE TQ-14 | ANEXO C | | BUS | FoundationFieldbus |
| 002-TT-14 | TRANSMISOR DE TEMPERATURA | TRANMISOR DE TEMPERATURA TANQUE TQ-14 | TANQUE TQ-14 | ANEXO C | | BUS | FoundationFieldbus |
| 001-MV-101 | ACTUADOR MOTORIZADO | VALVULA ENTRADA AL TANQUE TQ-1 | TANQUE TQ-1 | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| 001-MV-201 | ACTUADOR MOTORIZADO | VALVULA SALIDA DEL TANQUE TQ-1 | TANQUE TQ-1 | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| 001-MV-102 | ACTUADOR MOTORIZADO | VALVULA ENTRADA AL TANQUE TQ-2 | TANQUE TQ-2 | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| 001-MV-202 | ACTUADOR MOTORIZADO | VALVULA SALIDA DEL TANQUE TQ-2 | TANQUE TQ-2 | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| 001-MV-103 | ACTUADOR MOTORIZADO | VALVULA ENTRADA AL TANQUE TQ-3 | TANQUE TQ-3 | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| 001-MV-203 | ACTUADOR MOTORIZADO | VALVULA SALIDA DEL TANQUE TQ-3 | TANQUE TQ-3 | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| 001-MV-104 | ACTUADOR MOTORIZADO | VALVULA ENTRADA AL TANQUE TQ-4 | TANQUE TQ-4 | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| 001-MV-204 | ACTUADOR MOTORIZADO | VALVULA SALIDA DEL TANQUE TQ-4 | TANQUE TQ-4 | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| 001-MV-105 | ACTUADOR MOTORIZADO | VALVULA ENTRADA AL TANQUE TQ-5 | TANQUE TQ-5 | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| 001-MV-205 | ACTUADOR MOTORIZADO | VALVULA SALIDA DEL TANQUE TQ-5 | TANQUE TQ-5 | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| 001-MV-106 | ACTUADOR MOTORIZADO | VALVULA ENTRADA AL TANQUE TQ-6 | TANQUE TQ-6 | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| 001-MV-206 | ACTUADOR MOTORIZADO | VALVULA SALIDA DEL TANQUE TQ-6 | TANQUE TQ-6 | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| 001-MV-107 | ACTUADOR MOTORIZADO | VALVULA ENTRADA AL TANQUE TQ-7 | TANQUE TQ-7 | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| 001-MV-207 | ACTUADOR MOTORIZADO | VALVULA SALIDA DEL TANQUE TQ-7 | TANQUE TQ-7 | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| 001-MV-108 | ACTUADOR MOTORIZADO | VALVULA ENTRADA AL TANQUE TQ-8 | TANQUE TQ-8 | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| 001-MV-208 | ACTUADOR MOTORIZADO | VALVULA SALIDA DEL TANQUE TQ-8 | TANQUE TQ-8 | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| 001-MV-109 | ACTUADOR MOTORIZADO | VALVULA ENTRADA AL TANQUE TQ-9 | TANQUE TQ-9 | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| 001-MV-209 | ACTUADOR MOTORIZADO | VALVULA SALIDA DEL TANQUE TQ-9 | TANQUE TQ-9 | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| 002-MV-110 | ACTUADOR MOTORIZADO | VALVULA ENTRADA AL TANQUE TQ-10 | TANQUE TQ-10 | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| 002-MV-210 | ACTUADOR MOTORIZADO | VALVULA SALIDA DEL TANQUE TQ-10 | TANQUE TQ-10 | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |

| | | | | | | | |
|------------|----------------------------|---|--------------------------|------------------|------------------|-------------|-------------------|
| 002-MV-111 | ACTUADOR MOTORIZADO | VALVULA ENTRADA AL TANQUE TQ-11 | TANQUE TQ-11 | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| 002-MV-211 | ACTUADOR MOTORIZADO | VALVULA SALIDA DEL TANQUE TQ-11 | TANQUE TQ-11 | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| TAG | TIPO DE INSTRUMENTO | SERVICIO | UBICACIÓN | ELÉCTRICA | NEUMÁTICA | TIPO | PARTICULAR |
| 002-MV-112 | ACTUADOR MOTORIZADO | VALVULA ENTRADA AL TANQUE TQ-12 | TANQUE TQ-12 | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| 002-MV-212 | ACTUADOR MOTORIZADO | VALVULA SALIDA DEL TANQUE TQ-12 | TANQUE TQ-12 | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| 002-MV-114 | ACTUADOR MOTORIZADO | VALVULA ENTRADA AL TANQUE TQ-14 | TANQUE TQ-14 | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| 002-MV-214 | ACTUADOR MOTORIZADO | VALVULA SALIDA DEL TANQUE TQ-14 | TANQUE TQ-14 | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| 003-MV-11 | ACTUADOR MOTORIZADO | VALVULA DEL CABEZAL DE RECEPCION DIESEL DB5 | VALVULA MV-11 | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| 003-MV-12 | ACTUADOR MOTORIZADO | VALVULA DEL CABEZAL DE RECEPCION ALCOHOL | VALVULA MV-12 | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| 003-MV-13 | ACTUADOR MOTORIZADO | VALVULA DEL CABEZAL DE RECEPCION GAS84 | VALVULA MV-13 | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| 003-MV-21 | ACTUADOR MOTORIZADO | VALVULA DEL CABEZAL DE DESPACHO DIESEL DB5 | VALVULA MV-21 | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| 003-MV-22 | ACTUADOR MOTORIZADO | VALVULA DEL CABEZAL DE DESPACHO DIESEL DB5 | VALVULA MV-22 | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| 003-MV-23 | ACTUADOR MOTORIZADO | VALVULA DEL CABEZAL DE DESPACHO GAS84 | VALVULA MV-23 | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| 003-MV-24 | ACTUADOR MOTORIZADO | VALVULA DEL CABEZAL DE DESPACHO GAS84 | VALVULA MV-24 | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| 003-MV-25 | ACTUADOR MOTORIZADO | VALVULA DEL CABEZAL DE DESPACHO ALCOHOL | VALVULA MV-25 | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| 003-MV-26 | ACTUADOR MOTORIZADO | VALVULA DEL CABEZAL DE DESPACHO ALCOHOL | VALVULA MV-26 | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| 003-XV-01 | VARIADOR DE VELOCIDAD | MOTOR RECEPCION DIESEL DB5 | MOTOR DB5 RECEPCION | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| 003-XV-02 | VARIADOR DE VELOCIDAD | MOTOR RECEPCION GASOLINA 84 | MOTOR GAS84 RECEPCION | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |
| 003-XV-03 | VARIADOR DE VELOCIDAD | MOTOR RECEPCION ALCOHOL CARBURANTE | MOTOR ALC. RECEPCION | ANEXO C | | BUS_PLC | MODBUS |

*Cuadro 4.1 - Lista de instrumentos.
Fuente: Elaboración propia.*

Tras la elaboración del cuadro de instrumentación, se diseñó el plano P&ID, véase ANEXO B.

4.2 Arquitectura del Sistema

Empezaremos por desarrollar una arquitectura del sistema en base a los niveles de la automatización, dando una visión global de cómo es que se realizarán las conexiones, así veremos la cantidad de elementos a utilizar, la red de campo - control elegidos y las agrupaciones de los equipos para su conexión.

4.2.1 Arquitectura del nivel de campo

4.2.1.1 Arquitectura de los instrumentos de medición

Dentro del nivel de campo todas las señales provenientes de los instrumentos de medición y detección se concentrarán en un solo punto, para realizar el detalle de conexión se tiene el siguiente listado de instrumentos con el detalle de consumo de corriente.

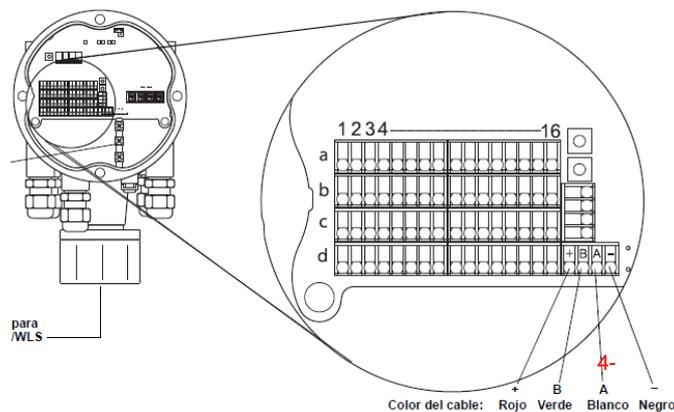
- 12 transmisores de nivel 5900S (un transmisor consume 50mA).
- 12 transmisores de temperatura 2440S con 50 sensores 565 (PT100) distribuidos por tanque (un transmisor consume 30mA).
- 12 detectores de nivel tipo horquilla vibratoria.

Todos los transmisores utilizan el Foundation Fieldbus como bus de campo, por esta razón se necesita un equipo con certificación FISCO (quiere decir que por el mismo par de cables viajará la información del proceso y la alimentación del equipo). Por esta razón el equipo encargado de proporcionar la alimentación a los dispositivos de campo (transmisores de temperatura y nivel) conectados será el concentrador de tanques Rosemount 2410, proporcionando 350mA al bus de campo.

En el apartado de elección de equipos SCADA para el nivel de campo ya indicamos, que el tipo de cable a usar será:

- Par trenzado simple de pantalla individual, sección 0.8mm², con resistencia de lazo 44- 42ohm/Km, véase Cuadro 3.30 - Características generales de los cables para los buses de campo.

Los detectores de nivel al manejar una señal de 4-20mA tendrán una alimentación independiente, pero la señal de información llegará al puerto de 4-20mA del transmisor de temperatura para que sean enviadas por el bus de campo, de esta manera garantizamos que las señales de los detectores de nivel llegaran a las unidades remotas y a la unidad maestra.



*Figura 4.1 - Puerto de conexión 4-20mA del transmisor de temperatura.
Fuente: Elaboración propia.*

Hay que tener en cuenta que el número de dispositivos que se conectarán al bus dependerá de las distancias a las que estarán montados tanto como del consumo de energía que tienen. Como el concentrador de señales proporciona 350mA y el consumo de energía los instrumentos para 4 tanques es de $80+80+80+80 = 320\text{mA}$, se utilizará esta configuración para el cálculo de voltaje mínimo que se analizará más adelante, en la Figura 4.2 se muestra las distancias que recorrerá el bus de campo hasta llegar al concentrador de señales y la posible conexión de un concentrador de señales para 4 tanques de almacenamiento:

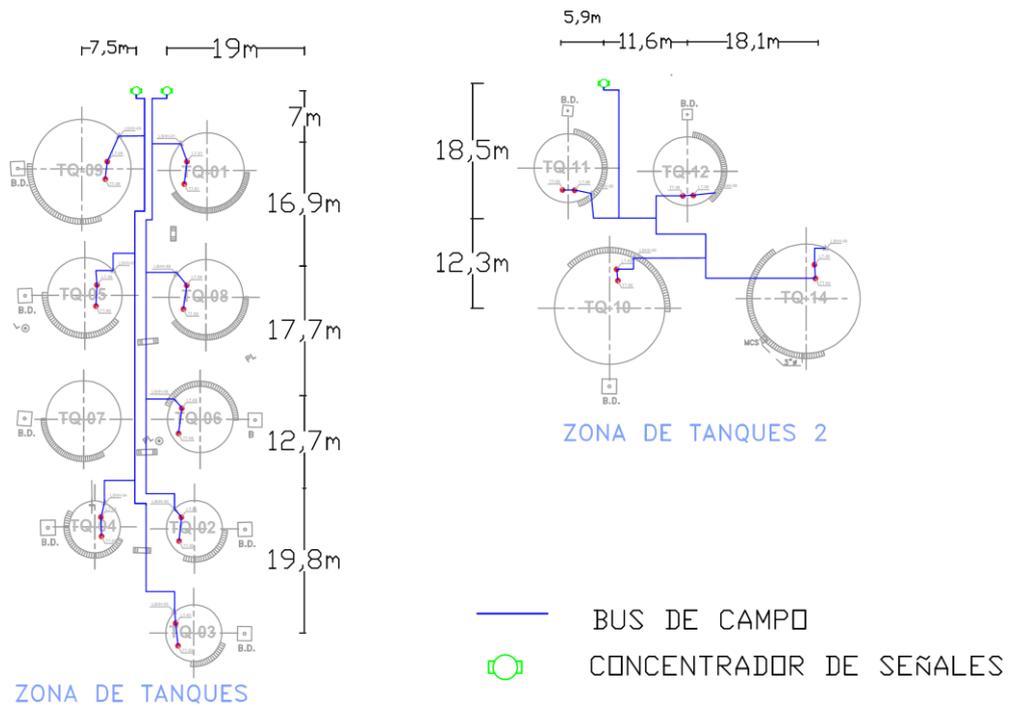


Figura 4.2 - Distancias aproximadas a recorrer por el bus de instrumentación.
 Fuente: Elaboración propia.

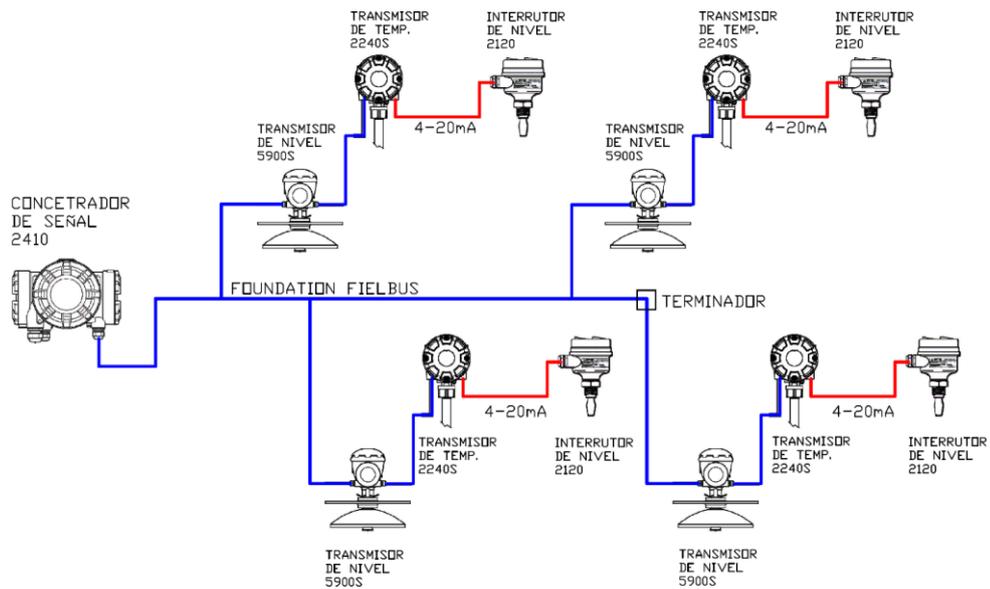


Figura 4.3 - Arquitectura de conexiones para 4 tanques con un concentrador de señal.
 Fuente: Elaboración propia.

Para el diseño y cálculo de voltajes mínimos, se analizará en la Figura 4.3 si la corriente administrada por el concentrador de señales (administra 350mA a 12.5V) es suficiente para la alimentación de los transmisores, recordar que el voltaje mínimo para un dispositivo debe de ser 9 voltios:

- Para el concentrador izquierdo de la zona estancia 1 (véase Figura 4.2), la corriente operativa total de los dispositivos conectados en los 4 tanques es de $80+80+80+80\text{mA} = 320\text{mA}$. Esto se sitúa dentro de la capacidad de salida del concentrador (350mA).

La caída de voltaje hacia el primer tanque:

$$320\text{mA} \times 0.007\text{Km} \times 44\text{ohm/Km} = 0.098\text{v}$$

$$\text{voltaje en el primer tanque} : 12.5 - 0.098\text{v} = 12.4\text{v}$$

La caída de voltaje entre el primer y segundo tanque:

$$240\text{mA} \times 0.0169\text{Km} \times 44\text{ohm/Km} = 0.17\text{v}$$

$$\text{voltaje en el segundo tanque: } 12.5\text{v} - 0.098\text{v} - 0.17\text{v} = 12.23\text{v}$$

La caída de voltaje entre el segundo y tercer tanque:

$$160\text{mA} \times 0.0304\text{Km} \times 44\text{ohm/Km} = 0.214\text{v}$$

$$\text{voltaje en el tercer tanque: } 12.5\text{v} - 0.098\text{v} - 0.17\text{v} - 0.214\text{v} = 12.018\text{v}$$

La caída de voltaje entre el tercer y cuarto tanque:

$$80\text{mA} \times 0.0198\text{ Km} \times 44\text{ohm/Km} = 0.0697\text{v}$$

$$\text{voltaje en el cuarto tanque: } 12.5\text{v} - 0.098\text{v} - 0.17\text{v} - 0.214\text{v} - 0.0697\text{v} = 11.95\text{v}$$

Para los 4 tanques, el voltaje de entrada de los dispositivos de campo es superior al requisito mínimo de 9v. Los ramales salientes del bus donde están conectados los instrumentos y considerando las alturas de los tanques no pasan de los 25m, cumpliendo así con el estándar FISCO (los ramales no deben exceder los 60m). Lo cual se concluye que la conexión con el concentrador de datos está correctamente dimensionada.

- Para el concentrador derecho de la zona estancia 1 (véase Figura 4.2), la corriente operativa total de los dispositivos conectados en los 4 tanques es

de $80+80+80+80\text{mA} = 320\text{mA}$. Esto se sitúa dentro de la capacidad de salida del concentrador (350mA).

La caída de voltaje hacia el primer tanque:

$$320\text{mA} \times 0.007\text{Km} \times 44\text{ohm/Km} = 0.098\text{v}$$

$$\text{voltaje en el primer tanque} : 12.5 - 0.098\text{v} = 12.4\text{v}$$

La caída de voltaje entre el primer y segundo tanque:

$$240\text{mA} \times 0.0169\text{Km} \times 44\text{ohm/Km} = 0.17\text{v}$$

$$\text{voltaje en el segundo tanque: } 12.5\text{v} - 0.098\text{v} - 0.17\text{v} = 12.23\text{v}$$

La caída de voltaje entre el segundo y tercer tanque:

$$160\text{mA} \times 0.0177\text{Km} \times 44\text{ohm/Km} = 0.124\text{v}$$

$$\text{voltaje en el tercer tanque: } 12.5\text{v} - 0.098\text{v} - 0.17\text{v} - 0.124\text{v} = 12.108\text{v}$$

La caída de voltaje entre el tercer y cuarto tanque:

$$80\text{mA} \times 0.0127\text{ Km} \times 44\text{ohm/Km} = 0.044\text{v}$$

$$\text{voltaje en el cuarto tanque: } 12.5\text{v} - 0.098\text{v} - 0.17\text{v} - 0.124\text{v} - 0.044\text{v} = 12.064\text{v}$$

Para los 4 tanques, el voltaje de entrada de los dispositivos de campo es superior al requisito mínimo de 9v . Los ramales salientes del bus donde están conectados los instrumentos y considerando las alturas de los tanques no pasan de los 25m , cumpliendo así con el estándar FISCO (los ramales no deben exceder los 60m). Lo cual se concluye que la conexión con el concentrador de datos está correctamente dimensionada.

- Para el concentrador de la zona estancia 2 (véase Figura 4.2), la corriente operativa total de los dispositivos conectados en los 4 tanques es de $80+80+80+80\text{mA} = 320\text{mA}$. Esto se sitúa dentro de la capacidad de salida del concentrador (350mA).

La caída de voltaje hacia el primer tanque:

$$320\text{mA} \times 0.0185\text{Km} \times 44\text{ohm/Km} = 0.26\text{v}$$

$$\text{voltaje en el primer tanque} : 12.5 - 0.26\text{v} = 12.24\text{v}$$

La caída de voltaje entre el primer y segundo tanque:

$$240\text{mA} \times 0.0116\text{Km} \times 44\text{ohm/Km} = 0.122\text{v}$$

$$\text{voltaje en el segundo tanque: } 12.5\text{v} - 0.26\text{v} - 0.122\text{v} = 12.118\text{v}$$

La caída de voltaje entre el segundo y tercer tanque:

$$160\text{mA} \times 0.0123\text{Km} \times 44\text{ohm/Km} = 0.086\text{v}$$

$$\text{voltaje en el tercer tanque: } 12.5\text{v} - 0.26\text{v} - 0.122\text{v} - 0.086\text{v} = 12.032\text{v}$$

La caída de voltaje entre el tercer y cuarto tanque:

$$80\text{mA} \times 0.018.1 \text{ Km} \times 44\text{ohm/Km} = 0.063\text{v}$$

$$\text{voltaje en el cuarto tanque: } 12.5\text{v} - 0.26\text{v} - 0.122\text{v} - 0.086\text{v} - 0.063\text{v} =$$

$$11.969\text{v}$$

Para los 4 tanques, el voltaje de entrada de los dispositivos de campo es superior al requisito mínimo de 9v. Los ramales salientes del bus donde están conectados los instrumentos y considerando las alturas de los tanques no pasan de los 25m, cumpliendo así con el estándar FISCO (los ramales no deben exceder los 60m). Lo cual se concluye que la conexión con el concentrador de datos está correctamente dimensionada.

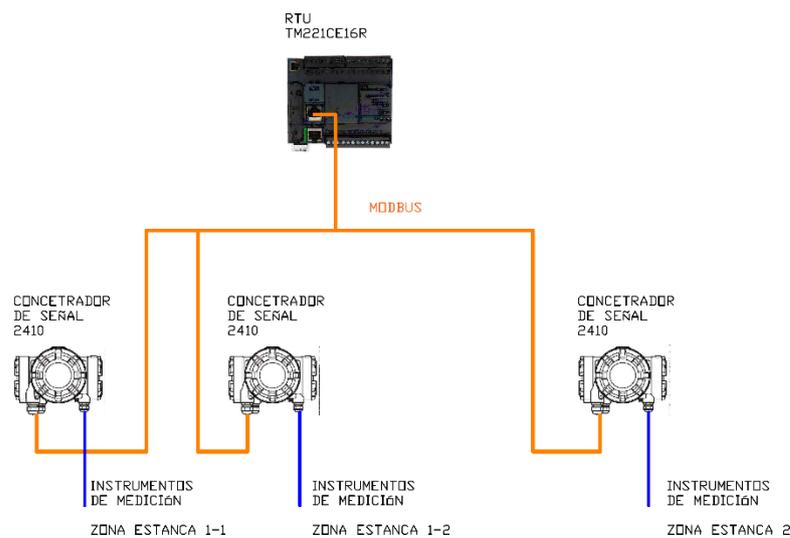
Por los cálculos anteriores concluimos que la configuración de conexiones para el concentrador de señales de 4 tanques de almacenamiento es correcta y no existirán inconvenientes en la comunicación por la falta de energía.

Ya agrupados las señales de los instrumentos en los concentradores de datos, para la comunicación desde los concentradores de señales hasta las unidades remotas, se utilizará el protocolo MODBUS RTU mediante interfaz físico RS-485.

Dado que el protocolo MODBUS RTU maneja hasta 32 unidades esclavas con una distancia de 1200m sin repetidores, la comunicación entre la RTU (unidad maestra en Modbus) y los concentradores de datos (3 unidades esclavas) no se verá afectada, ya que las distancias máximas entre estas unidades no sobrepasan los 80mts.

El cable a utilizar según norma RS-485, será el par trenzado industrial STP (blindado apantallado) de 2x2, de sección 0.5mm² y con 120 ohm de impedancia, la forma de conexión será tal y como se recomienda en el apartado de selección de equipos para el sistema SCADA - Nivel de campo del capítulo anterior.

La arquitectura de conexiones para los concentradores se muestra la siguiente figura:



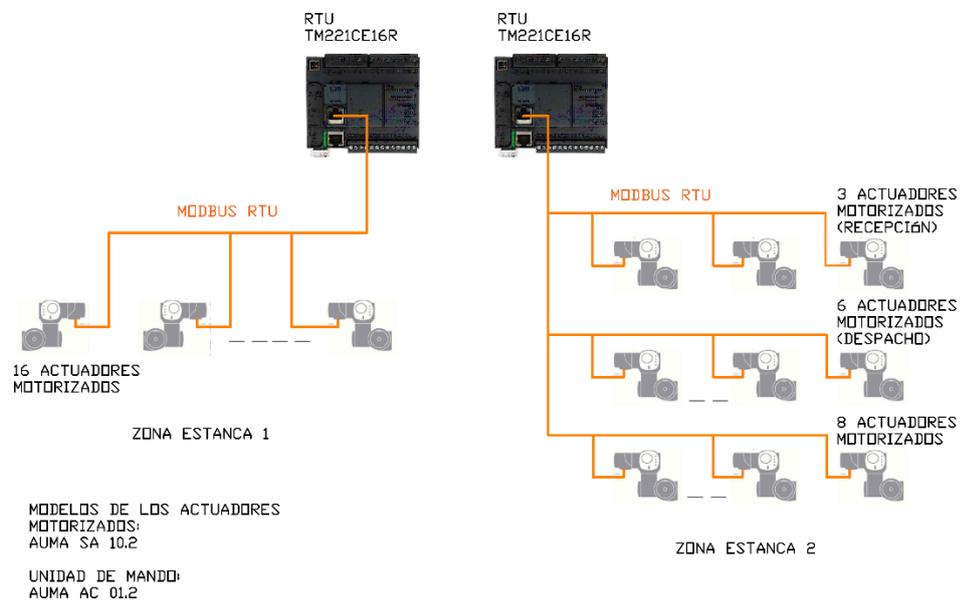
*Figura 4.4 - Arquitectura de conexiones para concentrador de datos – RTU.
Fuente: Elaboración propia.*

4.2.1.2 Arquitectura de los actuadores

El bus MODBUS RTU permite hasta 32 elementos esclavos sin repetidores y con una distancia máxima de 1200m.

El número total de actuadores motorizados a enlazar son 33, por ello, para no tener problemas de comunicación por la cantidad de elementos a enlazar que se dividirán en 2 grupos:

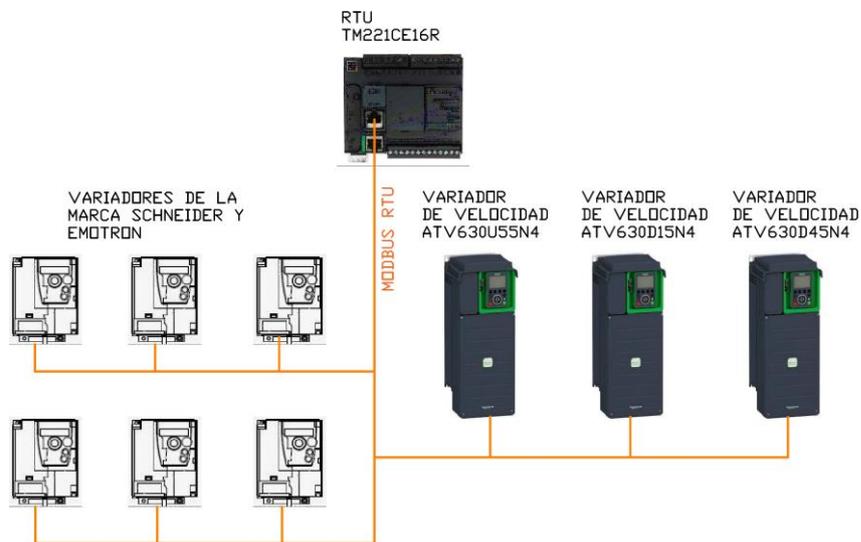
- 16 actuadores motorizados que controlarán las válvulas de entrada y salida de cada uno de los tanques de almacenamiento ubicados en la zona estanca 1.
- 17 actuadores motorizados que estarán conformados por: 8 actuadores motorizados para las válvulas de entrada y salida de los tanques de almacenamiento ubicados en la zona estanca 2, 6 actuadores motorizados para válvulas que realizan la descarga de producto y 3 actuadores motorizados para las válvulas que realizan la carga del producto.



*Figura 4.5 - Arquitectura de las válvulas motorizadas - RTU.
Fuente: Elaboración propia.*

Las distancias máximas de las válvulas hacia el tablero de control están alrededor de los 100mts, por esta razón es que la comunicación no se verá afectada por el factor distancia. El cable a utilizar según norma RS-485, será el par trenzado industrial STP (blindado apantallado) de 2x2 o 4x2, de sección 0.5mm² y con 120 ohm de impedancia, la forma de conexión será tal y como se recomienda en el apartado de selección de equipos para el sistema SCADA (Nivel de campo del capítulo anterior).

Tal como se mencionó dentro de la descripción de la planta, vimos que cuenta con variadores de velocidad ya instalados y a pleno funcionamiento, el diseño propuesto agrega 3 más de ellos para dar solución a los requerimientos de la empresa operadora. Según las características de los equipos todos los variadores de velocidad cuentan con el puerto MODBUS RTU, por esta razón en el diseño de redes se hará uso de este protocolo para efectuar la comunicación con las unidades remotas. Los variadores existentes están ubicados aproximadamente a 100mts de donde se ubicará el tablero de control (donde estarán montados los controladores) y los nuevos variadores estarán a 30mts aproximadamente, como la distancia oscila entre los 100mts no existirá problemas de comunicación por el factor distancia. Para la comunicación con el controlador principal se hará uso de una RTU maestra, que albergará los datos provenientes de las 9 unidades esclavas (variadores de velocidad).



*Figura 4.6 - Arquitectura de los variadores de velocidad - RTU.
Fuente: Elaboración propia.*

4.2.2 Arquitectura del nivel de control y supervisión

Dentro del nivel de control se tiene a las RTU's (controladores M221) y la MTU (controlador M340). Las RTU's son el medio por el cual se hace la adquisición de

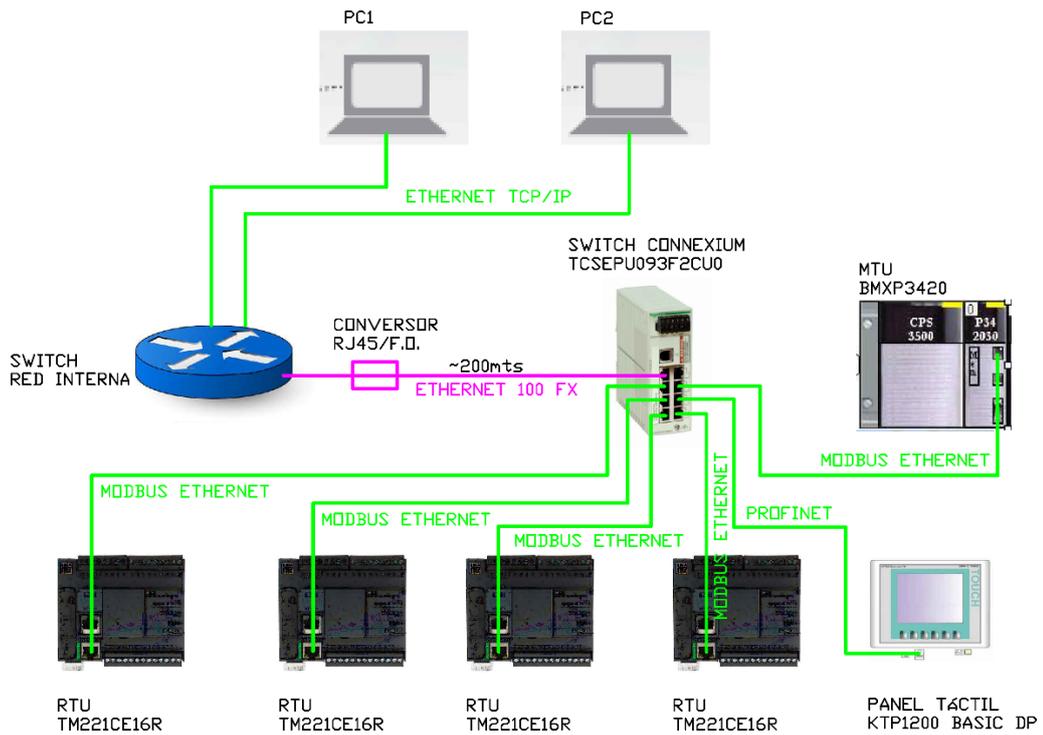
datos del proceso y es el puente para el envío de órdenes provenientes de la MTU hacia el nivel de instrumentación. La MTU será la encargada de ejecutar los algoritmos y lógicas de control para el correcto funcionamiento de la planta, además entregará información al nivel de supervisión para que el operador pueda decidir y tomar acción directa sobre el proceso en caso sea necesario.

Como las RTU's, la MTU y el panel táctil cuentan con la interfaz Ethernet, se hará uso de los puertos 10/100 BASE-Tx del switch industrial CONNEXIUM TCSESPU093F2CU0 para permitir la comunicación entre estos dispositivos tomando como medio de transmisión el cable STP CAT5.

Para la comunicación con la red de supervisión se hará uso del puerto 100 BASE-Fx del switch industrial CONNEXIUM TCSESPU093F2CU0 tomando como medio de comunicación la fibra óptica multimodo.

Ya en la red de supervisión se hará uso del conversor de medios Ethernet RJ45 a fibra óptica (MCM1105C2EU), para conectar la red de las estaciones PC con la red de célula proveniente del tablero de control (enlace por fibra óptica).

Es importante entender que los software utilizados para la creación de los HMI'S utilizan un paquete de protocolos abiertos para la integración de varias marcas al sistema, de esta forma es que 2 marcas (SIEMENS Y SCHNEIDER) pueden comunicarse.



*Figura 4.7 - Arquitectura de la red de control y supervisión.
Fuente: Elaboración propia*

Ya finalizado las arquitecturas con las que contará el sistema de supervisión y control, se elaboró el plano de planimetría de las redes de comunicación, donde se muestra aproximadamente como se desplazará los buses y redes de comunicación a largo de la planta (ver ANEXO D.).

La Figura 4.8 muestra la arquitectura general de las redes de comunicación, como resumen de las arquitecturas desarrolladas anteriormente.

4.2.3 Arquitectura general de las redes de instrumentación, control y supervisión.

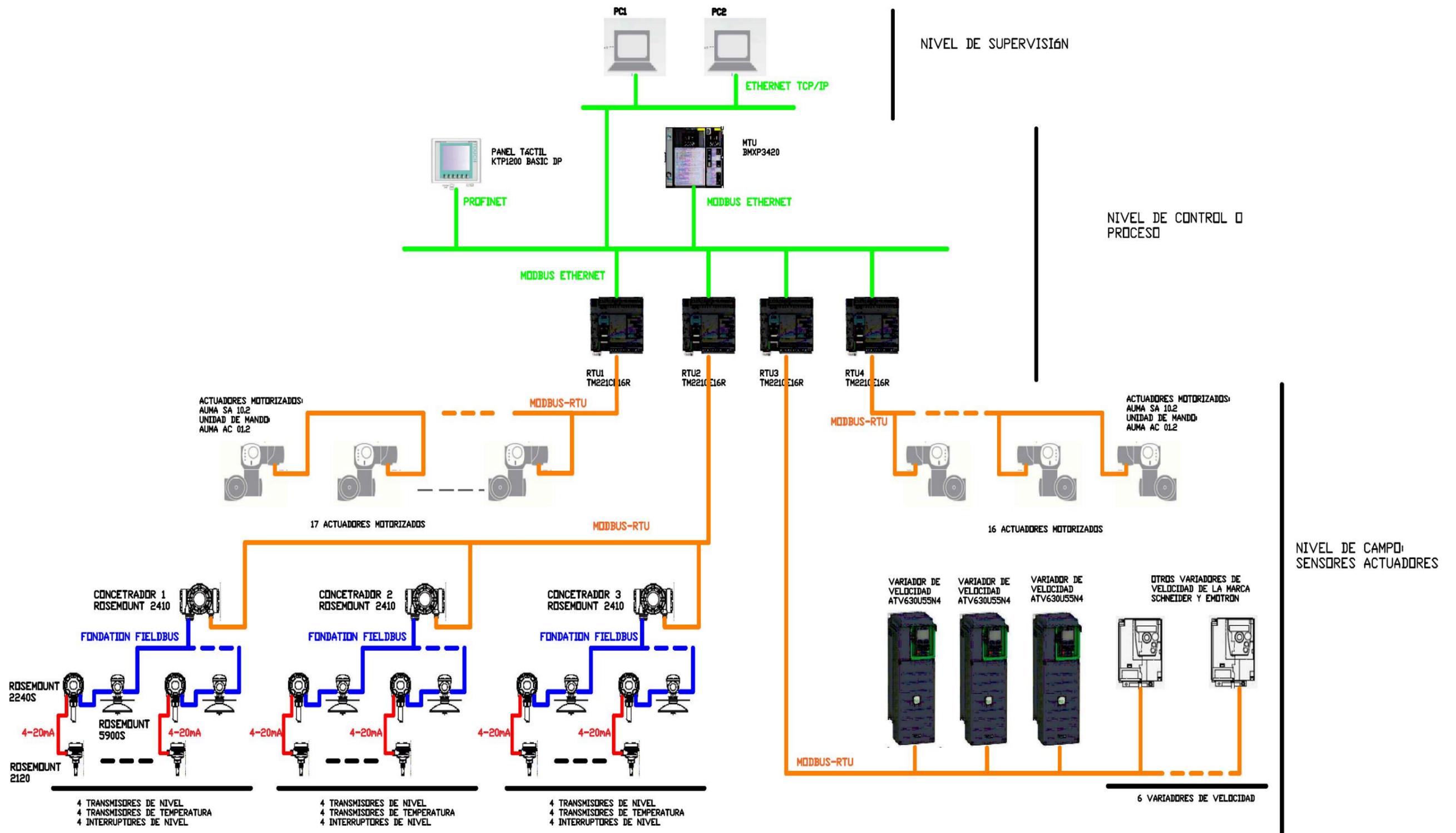


Figura 4.8 – Arquitectura general de las redes para el sistema SCADA.
Fuente: Elaboración propia

4.3 Filosofía para el Funcionamiento del Sistema.

Según el ANEXO B. y el Cuadro 4.1 - Lista de instrumentos., se explicará el funcionamiento y la lógica de control del sistema.

4.3.1 Monitorización de las variables y alarmas en cada tanque

- El tanque 1 (TQ-01) dispondrá de:
 - Un interruptor de muy alto nivel (001-LSHH-01), que mostrará en los monitores de la sala de control y en el panel táctil una alarma crítica cuando el tanque 1 este en el nivel máximo.
 - Un transmisor de nivel (001-LT-01), que enviará la medida de nivel del tanque 1 hacia los monitores de la sala de control y panel táctil, además que al llegar a un nivel máximo o mínimo se mostrará un aviso de alerta.
 - Un transmisor de temperatura (001-TT-01), que enviará la medida de temperatura del tanque 1 hacia los monitores de la sala de control y al panel táctil. Si el valor de temperatura sobre pasa la temperatura máxima permitida, se mostrará un aviso de alerta.
- El tanque 2 (TQ-02) dispondrá de:
 - Un interruptor de muy alto nivel (001-LSHH-02), que mostrará en los monitores de la sala de control y en el panel táctil una alarma crítica cuando el tanque 2 este en el nivel máximo.
 - Un transmisor de nivel (001-LT-02), que enviará la medida de nivel del tanque 2 hacia los monitores de la sala de control y panel táctil, además que al llegar a un nivel máximo o mínimo se mostrará un aviso de alerta.

- Un transmisor de temperatura (001-TT-02), que enviará la medida de temperatura del tanque 2 hacia los monitores de la sala de control y al panel táctil. Si el valor de temperatura sobre pasa la temperatura máxima permitida, se mostrará un aviso de alerta.
- El tanque 3 (TQ-03) dispondrá de:
 - Un interruptor de muy alto nivel (001-LSHH-03), que mostrará en los monitores de la sala de control y en el panel táctil una alarma crítica cuando el tanque 3 este en el nivel máximo.
 - Un transmisor de nivel (001-LT-03), que enviará la medida de nivel del tanque 3 hacia los monitores de la sala de control y panel táctil, además que al llegar a un nivel máximo o mínimo se mostrará un aviso de alerta.
 - Un transmisor de temperatura (001-TT-03), que enviará la medida de temperatura del tanque 3 hacia los monitores de la sala de control y al panel táctil. Si el valor de temperatura sobre pasa la temperatura máxima permitida, se mostrará un aviso de alerta.
- El tanque 4 (TQ-04) dispondrá de:
 - Un interruptor de muy alto nivel (001-LSHH-04), que mostrará en los monitores de la sala de control y en el panel táctil una alarma crítica cuando el tanque 4 este en el nivel máximo.
 - Un transmisor de nivel (001-LT-04), que enviará la medida de nivel del tanque 4 hacia los monitores de la sala de control y panel táctil, además que al llegar a un nivel máximo o mínimo se mostrará un aviso de alerta.

- Un transmisor de temperatura (001-TT-04), que enviará la medida de temperatura del tanque 4 hacia los monitores de la sala de control y al panel táctil. Si el valor de temperatura sobre pasa la temperatura máxima permitida, se mostrará un aviso de alerta.
- El tanque 5 (TQ-05) dispondrá de:
 - Un interruptor de muy alto nivel (001-LSHH-05), que mostrará en los monitores de la sala de control y en el panel táctil una alarma crítica cuando el tanque 5 este en el nivel máximo.
 - Un transmisor de nivel (001-LT-05), que enviará la medida de nivel del tanque 5 hacia los monitores de la sala de control y panel táctil, además que al llegar a un nivel máximo o mínimo se mostrará un aviso de alerta.
 - Un transmisor de temperatura (001-TT-05), que enviará la medida de temperatura del tanque 5 hacia los monitores de la sala de control y al panel táctil. Si el valor de temperatura sobre pasa la temperatura máxima permitida, se mostrará un aviso de alerta.
- El tanque 6 (TQ-06) dispondrá de:
 - Un interruptor de muy alto nivel (001-LSHH-06), que mostrará en los monitores de la sala de control y en el panel táctil una alarma crítica cuando el tanque 6 este en el nivel máximo.
 - Un transmisor de nivel (001-LT-06), que enviará la medida de nivel del tanque 6 hacia los monitores de la sala de control y panel táctil, además que al llegar a un nivel máximo o mínimo se mostrará un aviso de alerta.

- Un transmisor de temperatura (001-TT-06), que enviará la medida de temperatura del tanque 6 hacia los monitores de la sala de control y al panel táctil. Si el valor de temperatura sobre pasa la temperatura máxima permitida, se mostrará un aviso de alerta.
- El tanque 8 (TQ-08) dispondrá de:
 - Un interruptor de muy alto nivel (001-LSHH-08), que mostrará en los monitores de la sala de control y en el panel táctil una alarma crítica cuando el tanque 8 este en el nivel máximo.
 - Un transmisor de nivel (001-LT-08), que enviará la medida de nivel del tanque 8 hacia los monitores de la sala de control y panel táctil, además que al llegar a un nivel máximo o mínimo se mostrará un aviso de alerta.
 - Un transmisor de temperatura (001-TT-08), que enviará la medida de temperatura del tanque 8 hacia los monitores de la sala de control y al panel táctil. Si el valor de temperatura sobre pasa la temperatura máxima permitida, se mostrará un aviso de alerta.
- El tanque 9 (TQ-09) dispondrá de:
 - Un interruptor de muy alto nivel (001-LSHH-09), que mostrará en los monitores de la sala de control y en el panel táctil una alarma crítica cuando el tanque 9 este en el nivel máximo.
 - Un transmisor de nivel (001-LT-09), que enviará la medida de nivel del tanque 9 hacia los monitores de la sala de control y panel táctil, además que al llegar a un nivel máximo o mínimo se mostrará un aviso de alerta.

- Un transmisor de temperatura (001-TT-09), que enviará la medida de temperatura del tanque 9 hacia los monitores de la sala de control y al panel táctil. Si el valor de temperatura sobre pasa la temperatura máxima permitida, se mostrará un aviso de alerta.
- El tanque 10 (TQ-10) dispondrá de:
 - Un interruptor de muy alto nivel (002-LSHH-10), que mostrará en los monitores de la sala de control y en el panel táctil una alarma crítica cuando el tanque 10 este en el nivel máximo.
 - Un transmisor de nivel (002-LT-10), que enviará la medida de nivel del tanque 10 hacia los monitores de la sala de control y panel táctil, además que al llegar a un nivel máximo o mínimo se mostrará un aviso de alerta.
 - Un transmisor de temperatura (002-TT-10), que enviará la medida de temperatura del tanque 10 hacia los monitores de la sala de control y al panel táctil. Si el valor de temperatura sobre pasa la temperatura máxima permitida, se mostrará un aviso de alerta.
- El tanque 11 (TQ-11) dispondrá de:
 - Un interruptor de muy alto nivel (002-LSHH-11), que mostrará en los monitores de la sala de control y en el panel táctil una alarma crítica cuando el tanque 11 este en el nivel máximo.
 - Un transmisor de nivel (002-LT-11), que enviará la medida de nivel del tanque 11 hacia los monitores de la sala de control y panel táctil, además que al llegar a un nivel máximo o mínimo se mostrará un aviso de alerta.

- Un transmisor de temperatura (002-TT-11), que enviará la medida de temperatura del tanque 11 hacia los monitores de la sala de control y al panel táctil. Si el valor de temperatura sobre pasa la temperatura máxima permitida, se mostrará un aviso de alerta.
- El tanque 12 (TQ-12) dispondrá de:
 - Un interruptor de muy alto nivel (002-LSHH-12), que mostrará en los monitores de la sala de control y en el panel táctil una alarma crítica cuando el tanque 12 este en el nivel máximo.
 - Un transmisor de nivel (002-LT-12), que enviará la medida de nivel del tanque 12 hacia los monitores de la sala de control y panel táctil, además que al llegar a un nivel máximo o mínimo se mostrará un aviso de alerta.
 - Un transmisor de temperatura (002-TT-12), que enviará la medida de temperatura del tanque 12 hacia los monitores de la sala de control y al panel táctil. Si el valor de temperatura sobre pasa la temperatura máxima permitida, se mostrará un aviso de alerta.
- El tanque 14 (TQ-14) dispondrá de:
 - Un interruptor de muy alto nivel (002-LSHH-14), que mostrará en los monitores de la sala de control y en el panel táctil una alarma crítica cuando el tanque 14 este en el nivel máximo.
 - Un transmisor de nivel (002-LT-14), que enviará la medida de nivel del tanque 14 hacia los monitores de la sala de control y panel táctil, además que al llegar a un nivel máximo o mínimo se mostrará un aviso de alerta.

- Un transmisor de temperatura (002-TT-14), que enviará la medida de temperatura del tanque 14 hacia los monitores de la sala de control y al panel táctil. Si el valor de temperatura sobre pasa la temperatura máxima permitida, se mostrará un aviso de alerta.

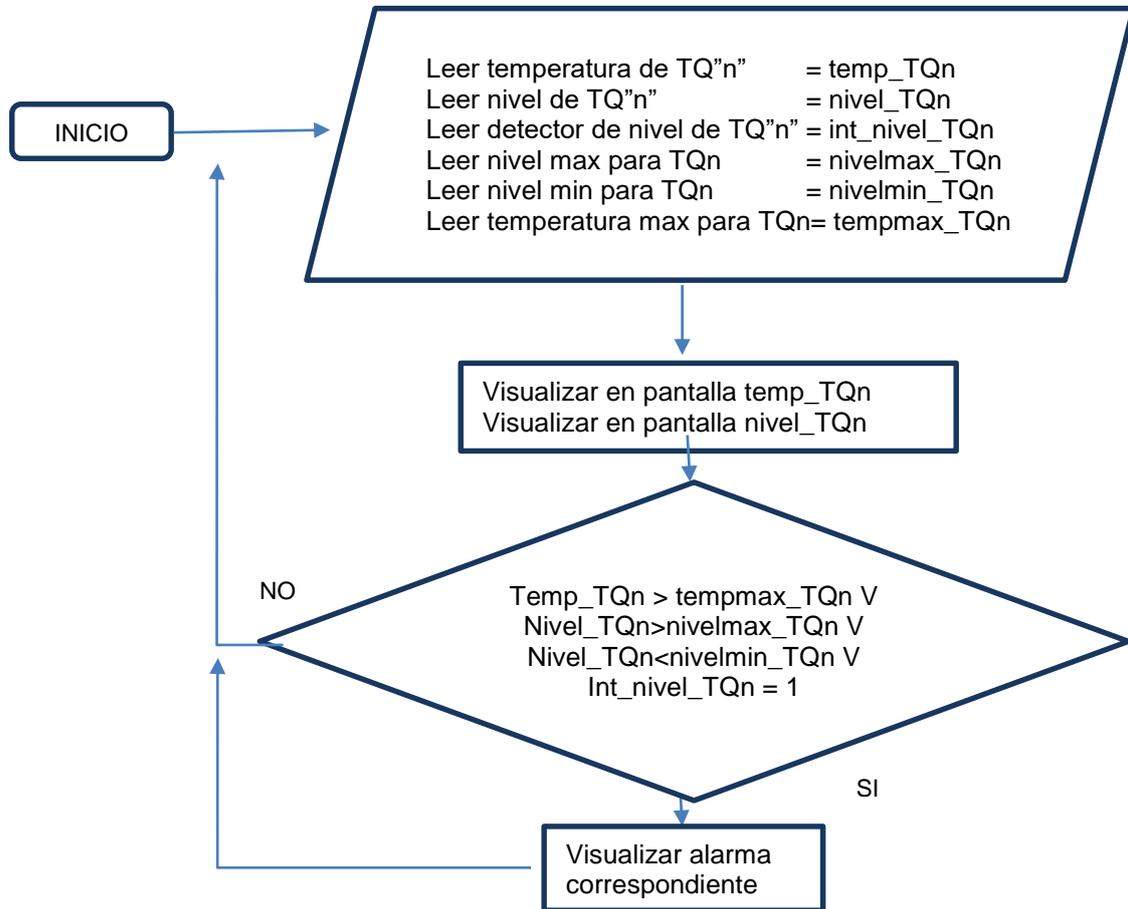


Figura 4.9 - Diagrama de flujo para lectura de variables y visualización de alarmas en cada tanque.
Fuente: Elaboración propia

4.3.2 Lógica de control para actuadores motorizados para el llenado de tanques

Para llevar a cabo el llenado de los tanques será necesario alinear (abrir o cerrar) las válvulas con los actuadores motorizados, según se muestra en el siguiente cuadro.

| | LLENADO DE TANQUES | | | | | | | | | | | |
|------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|--------------|
| | ALM. DIESEL | | | | | | | | | | ALM. ALC | ALM. GAS |
| | BOMBA DB5 | | | | | | | | | | BOMBA ALCOH | BOMBA GAS 84 |
| | TQ-1 | TQ-2 | TQ-3 | TQ-4 | TQ-5 | TQ-6 | TQ-8 | TQ-9 | TQ-10 | TQ-11 | TQ-12 | TQ-14 |
| 001-MV-101 | ABRIR | CERRA | | |
| 001-MV-102 | CERRA | ABRIR | CERRA | | |
| 001-MV-103 | CERRA | CERRA | ABRIR | CERRA | | |
| 001-MV-104 | CERRA | CERRA | CERRA | ABRIR | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | | |
| 001-MV-105 | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | ABRIR | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | | |
| 001-MV-106 | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | ABRIR | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | | |
| 001-MV-108 | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | ABRIR | CERRA | CERRA | CERRA | | |
| 001-MV-109 | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | ABRIR | CERRA | CERRA | | |
| 002-MV-110 | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | ABRIR | CERRA | | |
| 002-MV-111 | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | ABRIR | | |
| 002-MV-112 | | | | | | | | | | | ABRIR | |
| 002-MV-114 | | | | | | | | | | | | ABRIR |
| 003-MV-11 | ABRIR | ABRIR | ABRIR | ABRIR | ABRIR | ABRIR | ABRIR | ABRIR | ABRIR | ABRIR | | |
| 003-MV-12 | | | | | | | | | | | ABRIR | |
| 003-MV-13 | | | | | | | | | | | | ABRIR |

Cuadro 4.2 - Cuadro de estados de las válvulas motorizadas para la recepción de productos
Fuente: Elaboración propia.

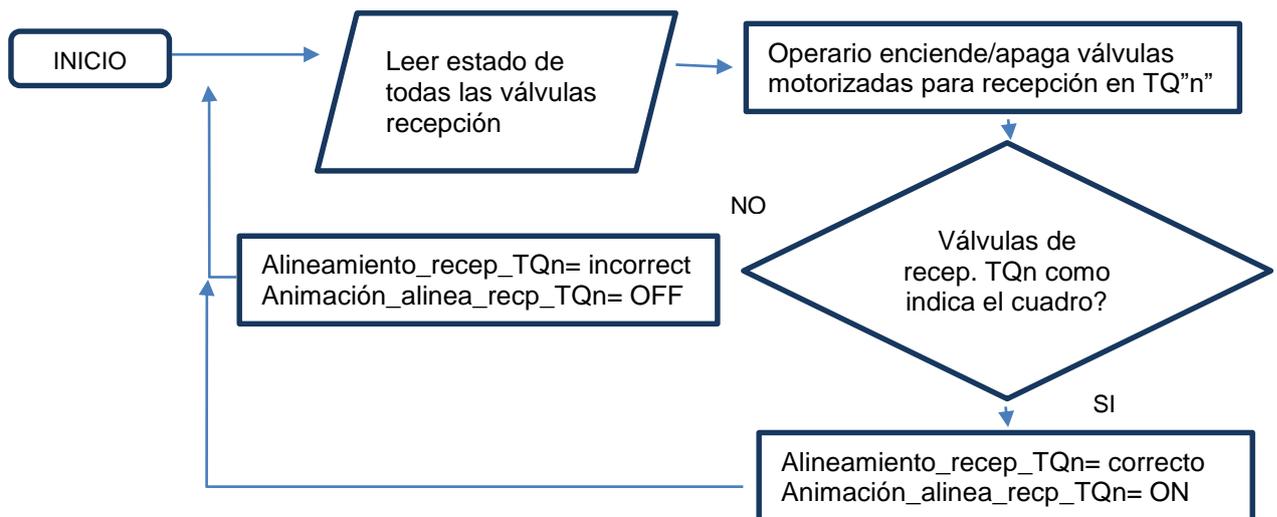


Figura 4.10 - Diagrama de flujo para detección del alineamiento en la etapa de recepción.
Fuente: Elaboración propia.

4.3.3 Lógica de control de actuadores motorizados para descarga de tanques

Para realizar la descarga de producto desde los tanques hacia las islas de despacho, será necesario alinear (abrir o cerrar) las válvulas con los actuadores motorizados, según se muestra en el siguiente cuadro:

| | DESCARGA DE TANQUES | | | | | | | | | | | |
|------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|--------------|
| | DES. DIESEL | | | | | | | | | | DES. ALC | DES. GAS |
| | BOMBAS DB5 | | | | | | | | | | BOMBAS ALC | BOMBAS GAS84 |
| | TQ-1 | TQ-2 | TQ-3 | TQ-4 | TQ-5 | TQ-6 | TQ-8 | TQ-9 | TQ-10 | TQ-11 | TQ-12 | TQ-14 |
| 001-MV-201 | ABRIR | CERRA | | |
| 001-MV-202 | CERRA | ABRIR | CERRA | | |
| 001-MV-203 | CERRA | CERRA | ABRIR | CERRA | | |
| 001-MV-204 | CERRA | CERRA | CERRA | ABRIR | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | | |
| 001-MV-205 | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | ABRIR | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | | |
| 001-MV-206 | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | ABRIR | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | | |
| 001-MV-208 | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | ABRIR | CERRA | CERRA | CERRA | | |
| 001-MV-209 | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | ABRIR | CERRA | CERRA | | |
| 002-MV-210 | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | ABRIR | CERRA | | |
| 002-MV-211 | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | CERRA | ABRIR | | |
| 002-MV-212 | | | | | | | | | | | ABRIR | |
| 002-MV-214 | | | | | | | | | | | | ABRIR |
| 003-MV-21 | ABRIR | ABRIR | ABRIR | ABRIR | ABRIR | ABRIR | ABRIR | ABRIR | ABRIR | ABRIR | | |
| 003-MV-22 | ABRIR | ABRIR | ABRIR | ABRIR | ABRIR | ABRIR | ABRIR | ABRIR | ABRIR | ABRIR | | |
| 003-MV-23 | | | | | | | | | | | ABRIR | |
| 003-MV-24 | | | | | | | | | | | ABRIR | |
| 003-MV-25 | | | | | | | | | | | | ABRIR |
| 003-MV-26 | | | | | | | | | | | | ABRIR |

Cuadro 4.3 - Cuadro de estados de las válvulas motorizadas para la descarga de productos.
Fuente: Elaboración propia.

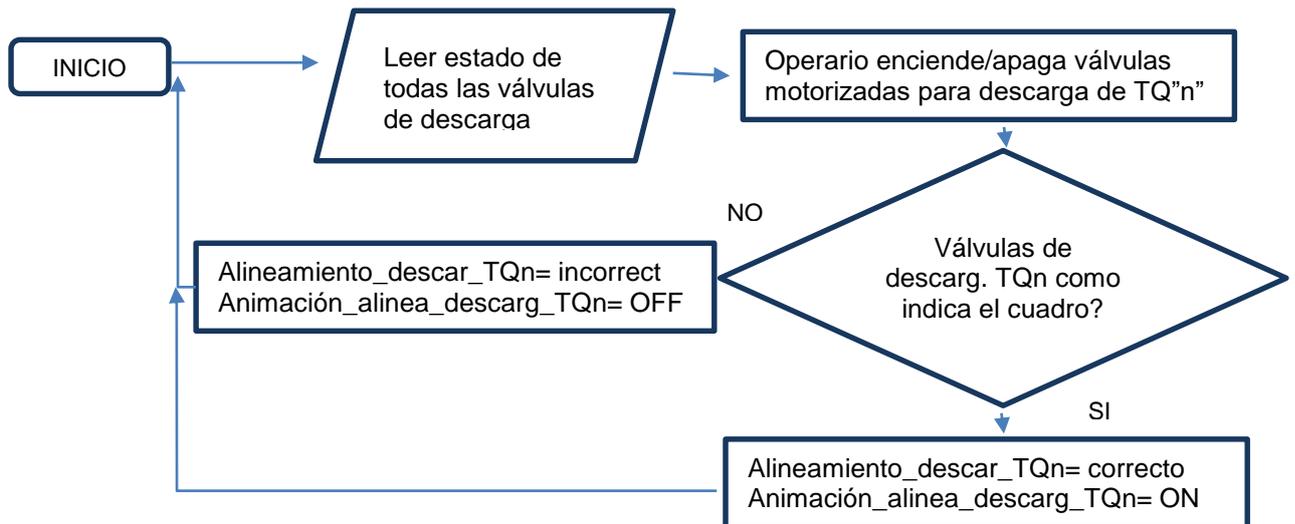


Figura 4.11 - Diagrama de flujo para detección del alineamiento en la etapa de despacho.
Fuente: Elaboración propia.

4.3.4 Lógica de control y monitorización de variadores de velocidad

Las bombas de recepción serán operadas a distancia tras el envío de la señal de mando por parte del operador que llegara finalmente a los variadores de velocidad correspondientes, las bombas también podrán ser operadas desde su tablero de control local en caso el sistema de control y supervisión este fuera de servicio.

Por otro lado las bombas de despacho serán controladas por el sistema automático DANLOAD 6000.

Es importante mencionar que todos los variadores de velocidad (recepción y descarga) serán monitoreados por el sistema de supervisión.

Según las condiciones que se describen a continuación, se actuarán sobre los variadores de velocidad efectuando así el encendido y apagado de las bombas.

- Bomba **CU06D2R** será controlada por el variador (003-XV-01)
 - Para encenderla será necesario:
 - Correcto alineamiento de las válvulas motorizadas.
 - Que no exista rebalse en el tanque que se está llenando.
 - El apagado se realizará cuando:

- Fin del proceso de recepción de DIESEL DB5.
- Cualquier condición que afecte el funcionamiento de la bomba.
- Alineamiento de válvulas motorizadas incorrecta.
- Condición de sobrellenado de tanque detectada.
- Bomba **CU01G84R** será controlada por el variador (003-XV-02)
 - Para encenderla será necesario:
 - Correcto alineamiento de las válvulas motorizadas.
 - Que no exista rebalse en el tanque que se está llenando.
 - El apagado se realizará cuando:
 - Fin del proceso de recepción GASOLINA GAS84.
 - Cualquier condición que afecte al funcionamiento de la bomba.
 - Alineamiento de válvulas motorizadas incorrectas.
 - Condición de sobrellenado de tanque detectada.
- Bomba **CU10AR** será controlada por el variador (003-XV-01)
 - Para encenderla será necesario:
 - Alineamiento de las válvulas motorizadas.
 - Que no exista rebalse en el tanque que se está llenado.
 - El apagado se realizará cuando:
 - Fin del proceso de recepción ALCOHOL CARBURANTE.
 - Cualquier condición que afecte al funcionamiento de la bomba.
 - Alineamiento de válvulas motorizadas incorrectas.
 - Condición de sobrellenado de tanque detectada.

- Las bombas **CU05D2D**, **CU07DB5D**, **CU08AD**, **CU09AD**, **CU02G84D** y **CU04G84D** son controladas por sus respectivos variadores y estas a su vez por el sistema DANLOAD.
 - Para encenderlas será necesario:
 - Correcto alineamiento de las válvulas motorizadas.
 - Nivel de producto mayor al valor mínimo permitido en los tanques.
 - Orden de encendido por parte del sistema DANLOAD
 - El apagado se realizará cuando:
 - Haya finalizado proceso de distribución en las islas de despacho, comandado por el sistema DANLOAD.
 - Cualquier condición que afecte al funcionamiento de la bomba.
 - Alineamiento de válvulas motorizadas incorrectas.

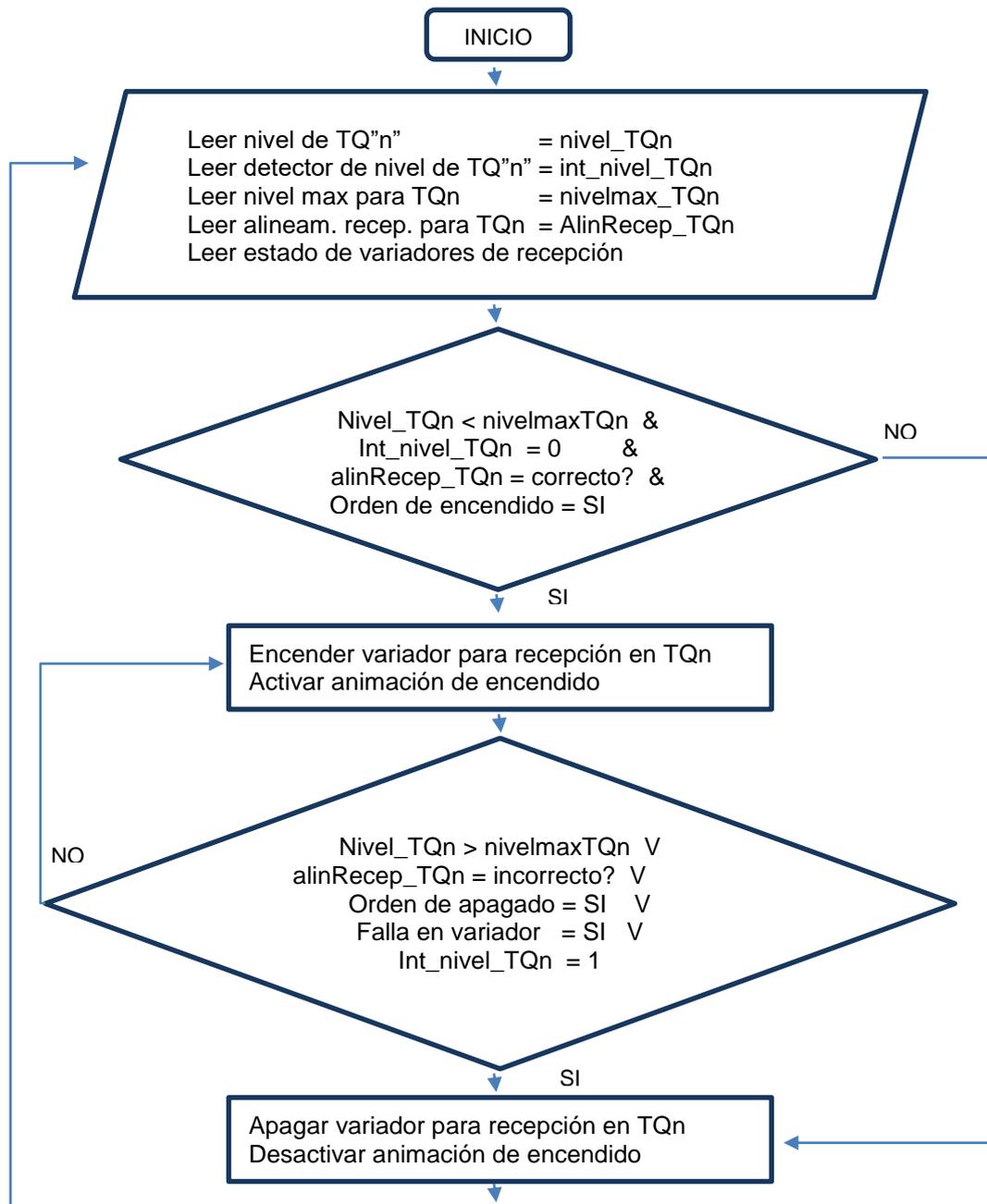


Figura 4.12 - Diagrama de flujo para los variadores de velocidad en la etapa de recepción.
Fuente: Elaboración propia.

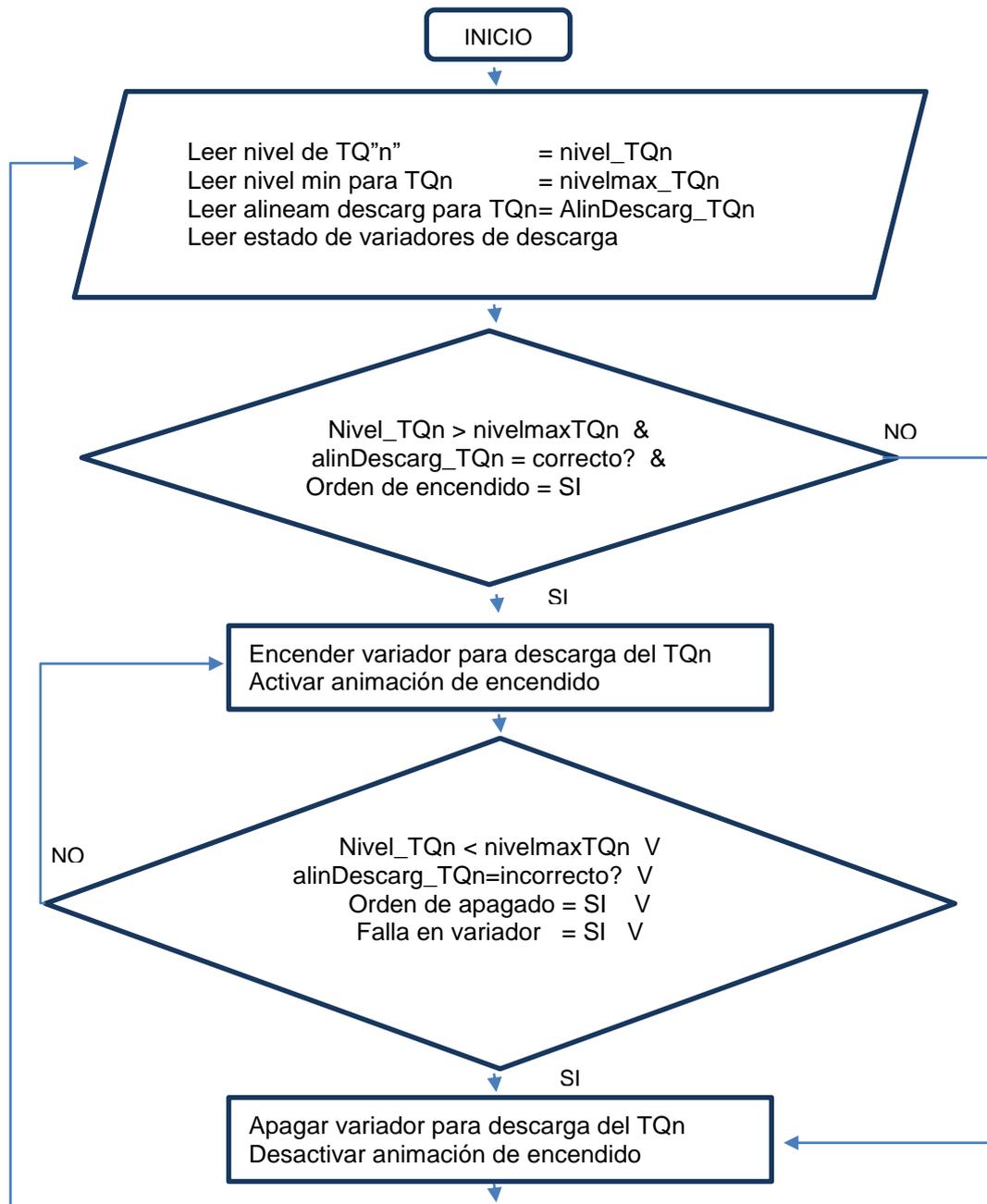


Figura 4.13 - Diagrama de flujo para los variadores de velocidad en la etapa de despacho.
Fuente: Elaboración propia.

4.4 Diseño del Entorno HMI

Tras la elección de equipos, elección de software a utilizar y ya efectuado el diseño de redes, solo falta elaborar el diseño de nuestro sistema de supervisión. El software elegido WINCC ADVANCED V14 contiene las herramientas para la elaboración de este sistema de supervisión, faltando solamente agregar y crear la apariencia de los procesos en las pantallas y determinar las secuencias de sus apariciones, tomando

en cuenta las especificaciones y recomendaciones ya vistas en el apartado de hardware y software SCADA del capítulo anterior.

De acuerdo al diseño de redes existen: 2 puntos de supervisión y control (computadoras personales) para los supervisores y 1 estación de supervisión y control (panel táctil) para los operadores. Tanto las estaciones PC como el panel táctil serán programadas por el mismo software SCADA, esto será de gran utilidad ya que todos los terminales tendrán el mismo entorno de visualización de los procesos pero contarán con funcionalidades diferentes.

Para el sistema de supervisión y control se contarán con las siguientes pantallas o ventanas:

1. Pantalla de inicio:

- Contará con un espacio para el acceso e ingreso de usuario y contraseña.
- Contará con un espacio para mostrar la hora y fecha.
- Contará con botones indicando los nombres de las demás pantallas, otorgando así el ingreso directo a esas pantallas.
- Contará con un botón extra para la impresión de informes (eventos, alarmas).

2. Pantalla del proceso de recepción

- Para acceder a esta pantalla se requerirá la identificación de usuario y contraseña.
- En esta pantalla se mostrará el estado de la temperatura y nivel de todos los tanques de almacenamiento.

- Para ejecutar la recepción del producto es posible el encendido y apagado de bombas con su respectiva animación, apertura y cierre de válvulas (alineamiento) con su respectiva animación.
- Será posible regular y monitorizar la velocidad de las bombas.
- En caso de la existencia de una alarma en un tanque, será posible su visualización mediante una animación, además proporcionará una ventana emergente informando el detalle de la falla.
- Existirá un botón para regresar al panel de inicio.

3. Pantalla del proceso de despacho.

- Para acceder a esta pantalla se requerirá la identificación de usuario y contraseña.
- En esta pantalla se mostrará el estado de la temperatura y nivel de todos los tanques de almacenamiento.
- Para ejecutar el despacho del producto es posible el encendido y apagado de bombas con su respectiva animación, apertura y cierre de válvulas (alineamiento) con su respectiva animación.
- Será posible regular y monitorizar la velocidad de las bombas de descarga.
- En caso de existir alguna alarma en un tanque, será posible su visualización mediante una animación, además proporcionará una ventana emergente informando el detalle de la falla.
- Existirá un botón para regresar al panel de inicio.

4. Pantalla de tendencias

- No requerirá identificación de usuario y contraseña

- Proporcionará información en tiempo real del proceso mediante gráfico de líneas
- Otorgará acceso a los gráficos de tendencias de temperaturas y niveles de los tanques.
- Existirá un botón para regresar al panel de inicio.

5. Pantalla de usuarios

- Para acceder a esta pantalla se requerirá la identificación de usuario y contraseña.
- Contará con visualización de todos los usuarios y sus respectivos permisos.
- Permitirá la creación y eliminación de usuarios.
- Existirá un botón para regresar al panel de inicio.

6. Pantalla de eventos y alarmas

- Para acceder a esta pantalla se requerirá la identificación de usuario y contraseña.
- Se visualizará los eventos y alarmas ocurridos en el transcurso del día con información de la hora y fecha.
- Existirá un botón para regresar al panel de inicio.

Como se mencionó en las características de la pantalla 1, existirá la opción de impresión de un informe de los eventos y alarmas, otorgando así al usuario un archivo de respaldo para una futura revisión y análisis.

El sistema estará programado para guardar los datos de los tanques (temperatura y nivel) en un archivo Excel, que podrá ser usado después como por ejemplo para la creación de una base de datos o como medio de respaldo ante una auditoría.

El terminal táctil dedicado a los operadores, no contará con las ventanas de creación de usuarios, ni con el botón de impresión de informes. El ajuste de valores como por ejemplo los parámetros del variador estará habilitado solo para usuarios autorizados, como modo de protección del sistema.

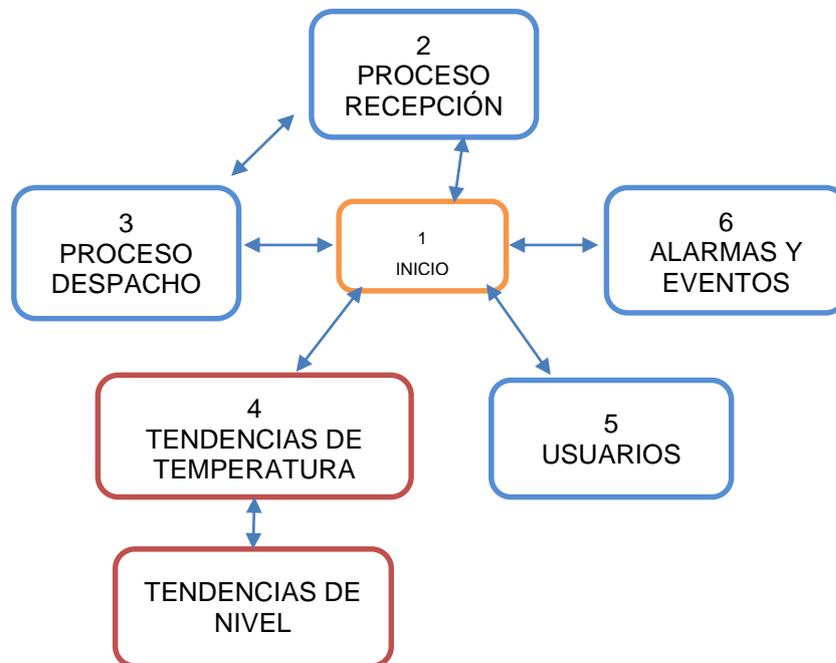


Figura 4.14 - Secuencia de las pantallas del sistema SCADA.
Fuente: Elaboración propia.

4.5 Construcción del Módulo de Pruebas y Diseño del Sistema SCADA

4.5.1 Diseño y construcción de la estructura

La estructura se construyó tomando en cuenta las tres etapas con las que cuenta la planta de distribución de hidrocarburos líquidos de PETROPERÚ (recepción, almacenamiento y despacho). Sobre la estructura se instaló tres recipientes, los cuales representan las operaciones de planta de la siguiente forma:

- Existe un recipiente en la parte superior que simula a un tanque de almacenamiento, es por ello que cuenta con diferentes instrumentos de medición para poder ser monitoreado.
- En la parte baja izquierda se tiene otro recipiente el cual deberá contar con algún tipo de producto (en nuestro caso agua), este recipiente simula la

llegada de un cisterna con producto que luego deberá ser impulsado por una bomba hacia el tanque superior para su respectivo almacenamiento, de esta manera se simula la recepción del producto.

- El último recipiente ubicado en la parte baja derecha recibirá el producto del tanque de almacenamiento, esto tras la orden y el accionamiento de la bomba de descarga, al realizar esta operación se simulará el despacho del producto.

Las dimensiones y detalle de los reservorios se observa en el siguiente cuadro:

| RESERVORIOS | | DIMENSIONES | | | | |
|----------------|----------|---------------|---------------|---------------|------------------------------|---------------------|
| USO | MATERIAL | LADO 1 (m) | LADO 2 (m) | ALTURA (m) | VOLUMEN (m ³) | VOLUMEN (Litros) |
| ALMACENAMIENTO | MICA | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.06 | 60 |
| RECEPCIÓN | MICA | 0.3 | 0.4 | 0.55 | 0.066 | 66 |
| DESPACHO | MICA | 0.3 | 0.4 | 0.55 | 0.066 | 66 |

*Cuadro 4.4 - Detalle de las dimensiones de los reservorios.
Fuente: Elaboración propia.*

Adicionalmente, se construyó una estructura metálica para soportar el tablero de control donde se montarán todos los equipos de control y protección del sistema, el detalle de los componentes que contiene el tablero de control se verá más adelante.

Para ver el detalle de las dimensiones de la estructura véase el ANEXO E.

Siguiendo como modelo el diseño realizado para el sistema SCADA del proyecto y ya habiendo elegido los equipos e instrumentos del módulo, se elaboró un plano P&ID (ver Figura 4.15) de tal manera que se pueda plasmar las ubicaciones y conexiones que tendrán los instrumentos de medición y equipos de control.

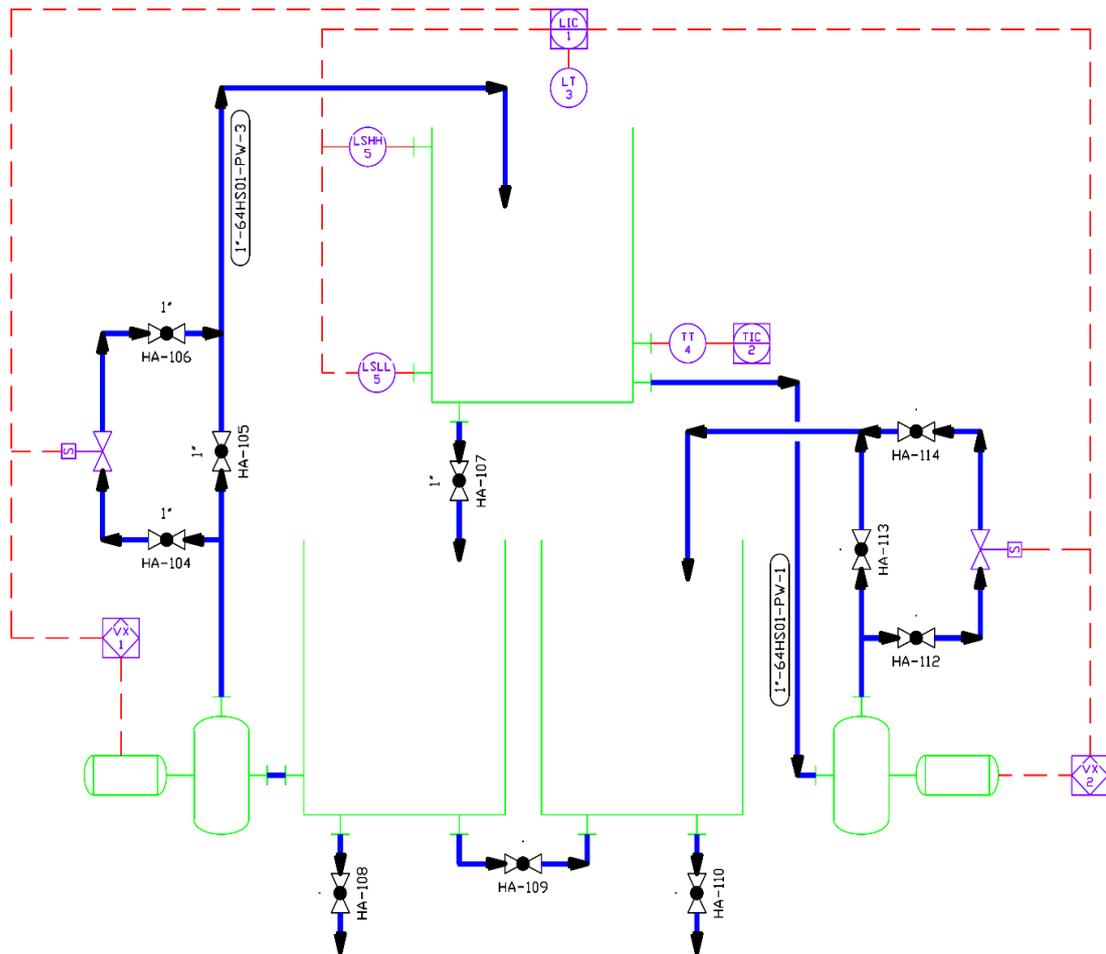


Figura 4.15 – Diagrama P&ID del prototipo de pruebas.
Fuente: Elaboración propia.

Tras la obtención del plano de instrumentación, se instaló los motores y sensores sobre la estructura y los recipientes, seguidamente se realizó las instalaciones de tubería con las válvulas y electroválvulas.

Finalmente el montaje de los accesorios, equipos e instrumentos sobre la estructura quedó tal como se muestra en la Figura 4.16.



*Figura 4.16 - Prototipo de pruebas.
Fuente: Elaboración propia.*

4.5.2 Diseño de la arquitectura de las conexiones

Para la comprobación del sistema SCADA, se siguió todas las recomendaciones y reglas propuestas en capítulos anteriores. De esta manera pasamos a detallar las características técnicas elegidas para el sistema.

4.5.2.1 Arquitectura del nivel de campo.

En este nivel de recomienda tener un bus de campo por el cual se comunicará el controlador con los equipos de campo, garantizando que siempre exista el flujo de información entre estos.

Tras el estudio de los instrumentos de medición del sistema supervisión y control para la planta PETROPERÚ, es lógico que el costo de los instrumentos y equipos industriales que manejan un protocolo de comunicación específico sean bastante elevados, por esta razón en la elección de los instrumentos de medición para el módulo de pruebas, se eligieron aquellos instrumentos que aunque no manejen un protocolo de comunicación específico estos si tienen la capacidad de comunicarse

con el controlador mediante métodos tradicionales y de menor costo (señales analógicas y digitales) comúnmente utilizados en la industria.

En conclusión, aunque los instrumentos y equipos del prototipo no cuenten con un protocolo de comunicación a excepción del variador de velocidad, si se garantiza la existencia de comunicación entre ellos, el detalle de estos métodos de comunicación para los equipos del nivel de campo se explica a continuación:

- El transductor de nivel ultrasónico HSDZ-ES utiliza el bucle de corriente (4-20mA) como medio para el envío de los datos del proceso al PLC, 4mA indican una distancia de 0 metros y 20mA indica una distancia de 1 metro, esto según las características del sensor. Una ventaja del bucle de corriente es que ofrece una comunicación casi sin errores debido a la caída de tensión que existe por la distancia del cableado, ya que la información depende de los niveles de corriente y no de los niveles de tensión
- El sensor de temperatura PT100 (T-THERM 231-5) ofrece una variación de resistencia dependiente de la temperatura, la información se encuentra en la variación de la resistencia y el método de adquisición del dato se da por inyección de corriente en uno de los terminales del PT100, para finalmente dar lectura a los niveles de tensión en los 2 terminales restantes por parte del módulo de entradas analógicas. El error por las longitudes del cableado influyen mínimamente, ya que el sensor al ser de 3 hilos resta el error del cableado.
- El relé de nivel HANYOUNG NUX FS-3 utiliza sus electrodos para la detección de nivel mediante el método de conducción, cuando el relé detecta dicha conducción de corriente entre los electrodos activa uno de

sus contactos normalmente abiertos que irán a uno de las entradas digitales del controlador, detectando así el sobre nivel.

- Las electroválvulas RAINBIRD 100PGA serán controladas directamente por el accionamiento de los contactos abiertos de las salidas digitales tipo relé del controlador. La señal de control será la alimentación directa de las bobinas con una fuente de 24VAC, y como la longitud del cable no es mayor a 5 metros, no existirá ningún problema debido a caídas de tensión que aparecerán en el cable.
- Las electrobombas PENTAX U5-120 al igual que en el diseño propuesto en este proyecto son controladas por los variadores de velocidad ATV320U07M2B, estos variadores de velocidad cuentan con un puerto de comunicación con protocolo MODBUS RTU mediante el cual tendrán una comunicación directa con el controlador y por lo tanto un intercambio de datos a través del bus de campo. Las señales de control y monitorización del estado del variador están almacenadas en memorias internas de este equipo y pueden ser escritas y/o leídas mediante comandos o instrucciones. El medio físico de este bus está dispuesto por la norma RS-485 y por lo tanto se usará cables tipo par trenzado con terminales RJ45.

En el prototipo de pruebas el tipo de cable a utilizar para las diversas conexiones de comunicación entre los equipos que van desde la estructura hasta el tablero de control a excepción del variador, será el cable automotriz GPT de calibre 18 AWG, con una resistencia máxima del conductor de 23 ohm/Km.

Es importante mencionar que todo el cableado que irá desde el tablero de control hacia el módulo y por el cual viajarán las señales de control y adquisición de datos, serán protegidas y cubiertas mediante una tubería Conduit flexible LIQUID de 3/4"

4.5.2.2 Arquitectura del nivel control

Para dar lectura de las señales que provendrán del nivel de campo, se hará uso del módulo de entradas analógicas TM3TI4 y las entradas digitales del controlador TM221CE16R. La disposición de las entradas del controlador serán las siguientes:

- 1 puerto de señal analógica de 4-20mA, para el sensor de nivel tipo ultrasonido.
- 1 puerto de señal analógica tipo resistivo, para el sensor de temperatura PT100.
- 1 puerto de señal digital, para la lectura del relé de nivel (contacto Normalmente Abierto).

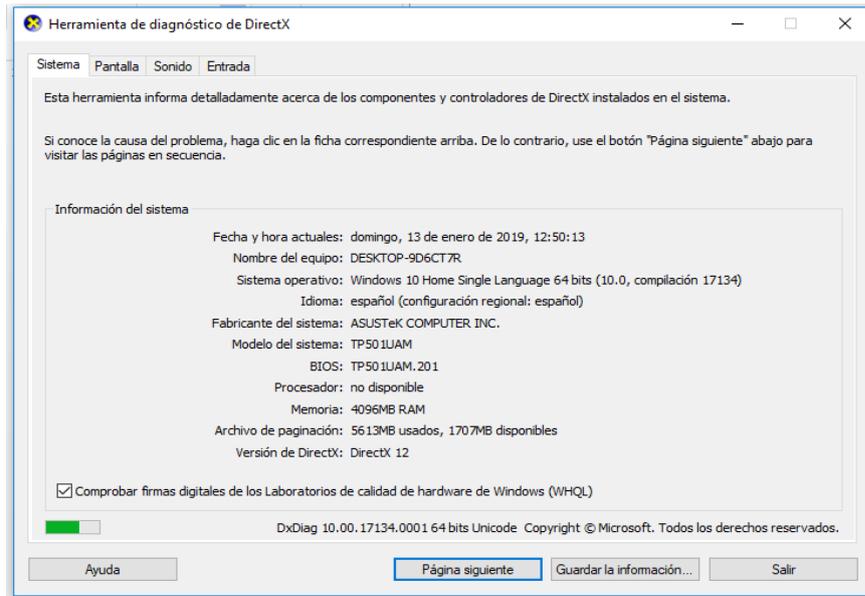
Para el control de las electroválvulas el controlador utilizará 2 salidas digitales tipo relé y es mediante sus contactos que otorgará alimentación directa de 24VAC a las bobinas de las electroválvulas.

El controlador se comunicará con los variadores mediante el protocolo MODBUS RTU, para la configuración de la comunicación, el controlador actuará como unidad maestra y los variadores actuarán como unidades esclavas.

4.5.2.3 Arquitectura del nivel de supervisión

El hardware a utilizar en este nivel es:

- 1 modem ADSL WIFI 802.11g (banda 2.4GHz) 54Mb/s y 4 puertos ETHERNET, marca ALCATEL, modelo ST585V6.
- Panel HMI táctil STU 855 de 5.7", para mayor detalle de las características de este equipo véase Cuadro 3.47.
- 1 laptop marca ASUS con las siguientes características:



*Figura 4.17 - Características de la laptop.
Fuente: Elaboración propia.*

Los sistemas HMI del panel táctil y de la laptop tomarán los datos del proceso al momento de establecer comunicación con el controlador. Para el establecimiento de la comunicación entre los equipos se utilizará el modem modelo ST585V6 y las conexiones serán como sigue:

- La comunicación entre el controlador TM221CE16R y el panel táctil STU 855, será mediante la utilización de los puertos Ethernet y por la corta distancia se hará uso del cable UTP con conectores RJ45.
- La comunicación del controlador con la estación HMI de la laptop se establecerá de forma inalámbrica con el uso del estándar WIFI 802.11g a una velocidad de 54Mbps

Para la configuración de la red se debe tener en cuenta que todos los dispositivos tengan la misma configuración de la máscara de subred y que cada uno tenga su propia dirección IP.

Como se mencionó anteriormente, los software utilizados para la creación de los HMI'S utilizan un paquete de protocolos abiertos para la integración de varias marcas

al sistema, es por esta razón que 2 marcas (SIEMENS Y SCHNEIDER) con diferentes protocolos pueden comunicarse.

4.5.2.4 Diagrama de conexiones para el módulo de pruebas

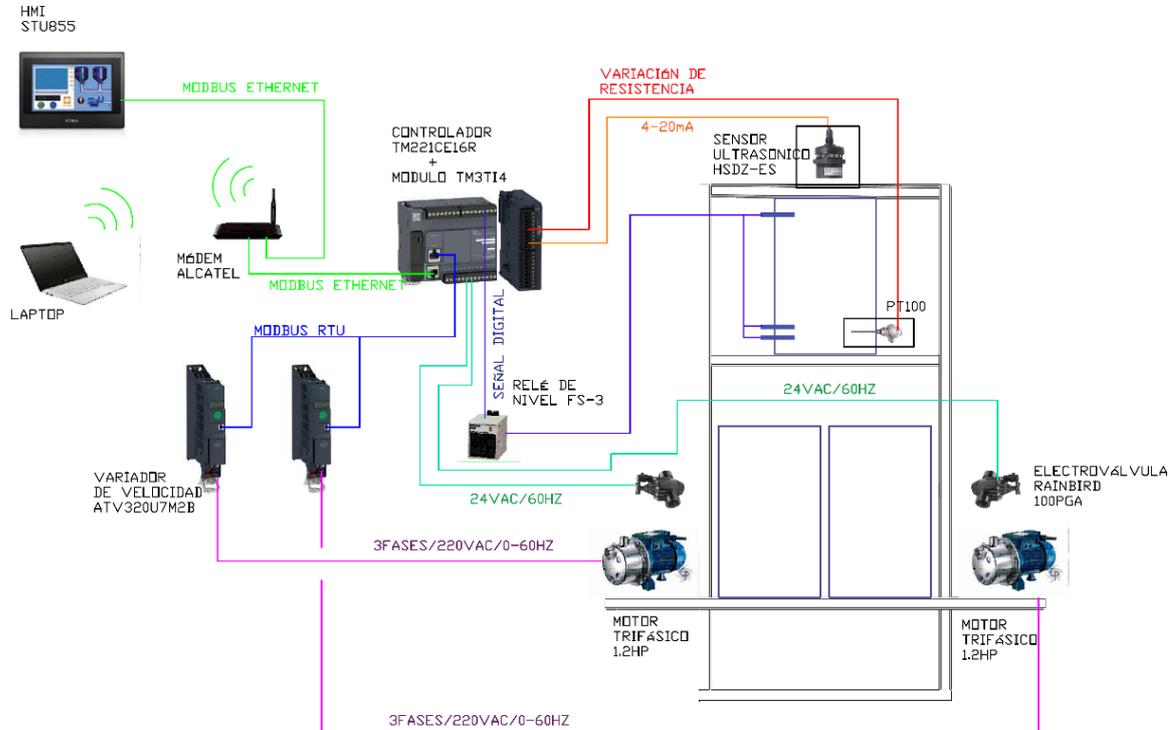


Figura 4.18 - Arquitectura del sistema SCADA aplicado al módulo de pruebas.
Fuente: Elaboración propia.

4.5.3 Diseño y montaje de tablero de control

El tablero de control es una de las partes principales de toda la implementación del módulo ya que dentro de esta se montarán los equipos de control, alimentación, visualización, comunicación y protección que permiten el funcionamiento de todo el prototipo de pruebas.

Ya con los equipos seleccionados, es necesario que el tablero de control cuente con otras características para el completo funcionamiento y estas son:

- **Fuentes de alimentación:** Según las especificaciones de los equipos e instrumentos serán necesarias tres tipos de fuente:

- 220VAC monofásica, para la alimentación general del tablero, fuente DC, variadores de velocidad, relé de nivel, controlador, relés y contactores.
- 24VAC proporcionadas por un transformador (220VAC/24VAC), para el funcionamiento de las electroválvulas.
- 24VDC, para el funcionamiento de relés, controlador, módem, HMI, sensor ultrasonido y pilotos.
- **Equipos de protección:** En caso exista algún corto circuito o un consumo excesivo, serán necesarios:
 - Interruptor termo magnético de 6A, utilizado como protección del circuito control o mando.
 - Portafusibles de 32A, utilizado como protección del circuito de fuerza.
- **Otros accesorios:**
 - Contactores (9A/bobina 220V), que habilitarán la alimentación para el encendido de los variadores de velocidad tras recibir la orden del controlador.
 - Relés (220v), se utilizarán para el aislamiento entre la etapa de mando y la etapa de fuerza. También proporcionarán contactos auxiliares para la lógica cableada.
 - Pilotos (220v), proporcionan avisos visuales del estado de los variadores de velocidad y del relé de nivel.
 - Selector, utilizado para la elección del modo manual o automático.

- Interruptor de parada de emergencia, utilizado para interrumpir y apagar a los equipos, en caso exista algún tipo de peligro o error en el funcionamiento del módulo.
- Borneras, usados para las conexiones entrantes y salientes el tablero de control.

Tras la elección de todo lo necesario para el montaje del tablero de control, se diseñó y dibujó el plano eléctrico (véase ANEXO F.). Después se hicieron las instalaciones de los equipos dentro del tablero, montando sobre la superficie del tablero los accesorios de visualización y de mando manual, finalmente se realizó todas las conexiones mediante cables con sus respectivos numeradores y terminales en base al plano eléctrico elaborado. El tablero de control finalmente quedó como muestra la Figura 4.19 y Figura 4.20.



*Figura 4.19 - Vista frontal del tablero de control.
Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 4.20 - Interior del tablero de control.
Fuente: Elaboración propia.*

4.6 Diseño del Entorno HMI del Módulo de Pruebas

Como existe la necesidad de comprobar el diseño del sistema SCADA realizado en este trabajo, todas las recomendaciones y diseños de las ventanas se plasmarán en el diseño del entorno HMI del prototipo de pruebas. De forma resumida la secuencia de ventanas será:

1. Panel de inicio:
2. Panel del proceso (recepción y despacho)
3. Panel de tendencias
4. Panel de usuarios
5. Panel de eventos y alarmas

Los resultados de este diseño se verán en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO V: COMPROBACIÓN DEL SISTEMA SCADA

En base a todo lo desarrollado en este trabajo y después de haber realizado la construcción del módulo, se puso a prueba el diseño del sistema SCADA de la planta de PETROPERÚ, considerando los diferentes requisitos de lo que conllevaría la implementación del sistema.

5.1 Programación del Controlador

Se utilizó el software de programación **SoMachine Basic v1.6** para desarrollar el programa mediante el uso de los bloques de programación y operaciones matemáticas, necesarios para la adquisición de datos y las lógicas de control.

5.1.1 Lectura de los instrumentos de medida.

Tras el envío de las señales analógicas por parte del sensor de ultrasonido HSDZ-ES y del PT100 T-THERM 231-5, el controlador TM221CE16R procesa la información con el uso de los convertidores analógicos/digitales que lleva internamente el módulo de entradas analógicas TM3AI4. Fue necesario efectuar la configuración del módulo TM3AI4 con el software de programación SoMachine Basic v1.6 para dar lectura a los valores medidos del proceso (véase Figura 5.1 - Configuración de entradas analógicas.).



Figura 5.1 - Configuración de entradas analógicas.
Fuente: Elaboración propia.

Como el rango de medición del módulo TM3A14 va desde -32768 a 32767 valores, dependerá de nosotros usar todo este rango para la medida de la temperatura y nivel. Como se observa en la Figura 5.1 se ajustó los parámetros para la medida de temperatura del PT100 con valores que van desde -2000 a 8500 enteros, estos valores son correspondientes al rango de medición del PT100 (-20°C y 85°C), si comparamos la cantidad de valores con el rango de medición obtendremos que la resolución del módulo TM3A14 para la medición de temperatura es de 0.01°C/bit, este es un valor más que aceptable para la aplicación.

Por otro lado para la medición de nivel se realizó la configuración de tal forma que el convertidor analógico digital entregue el valor directo de la altura a la que se encuentra el nivel de agua (sin efectuar los métodos de normalizado y escalado), para ingresar estos valores de configuración primero se hizo una medida con los ajustes por defecto en la medición de un sensor de 4-20mA, es decir 00000 a 10000 valores enteros correspondientes a 0 metros - 1 metros, en consecuencia con el tanque vacío se obtuvo el valor de 7170 que por la fórmula de la curva característica ($y=1/10000x$) corresponde a una valor de 0.717m, finalmente se procedió a calcular los nuevos valores de los extremos máximos y mínimos tomando en cuenta que si el tanque está vacío debemos obtener el valor de 00000 en la medición de nivel, resultando así - 7170 y 2830 como valores extremos a ingresar en la configuración del módulo de lectura de señales analógicas. Para mayor entendimiento de lo dicho anteriormente véase la Figura 5.2.

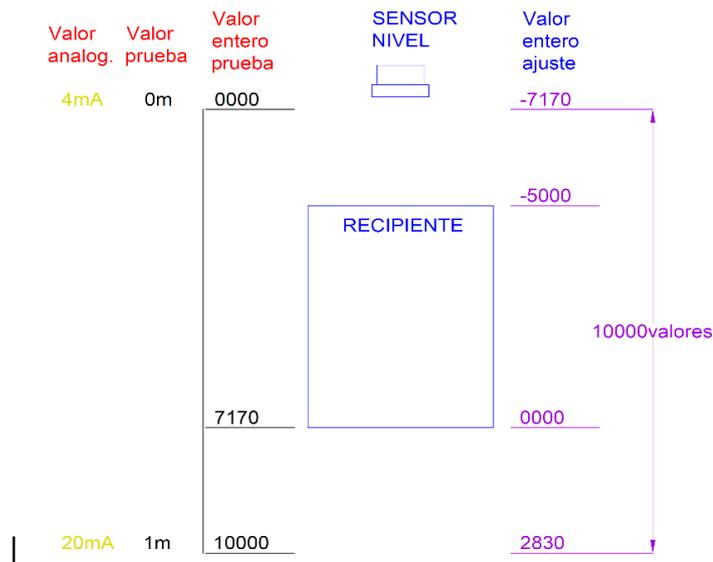


Figura 5.2 - Cálculo de valores de configuración para la medición de nivel.
Fuente: Elaboración propia.

Ya configurado los valores para la medición de los parámetros, estos datos representados como valores enteros son guardados en las direcciones de memoria pertenecientes a las entradas analógicas del PLC (%IW). Si deseamos usar este valor, tenemos que realizar la operación de escritura en las memorias (%MW), las cuales cuentan con permisos de acceso para la lectura/escritura de datos. Como se observa en la Figura 5.2, el dato del nivel que se escribe en la entrada analógica es guardada en la memoria (%IW1.0) y tiene un valor negativo del nivel, para cambiarlo a un valor positivo se ejecuta la siguiente operación:

$$\text{VAL_MEDIDO_POSIT.} = \text{VAL_MEDIDO_NEG} - 2(\text{VAL_MEDIDO_NEG.})$$

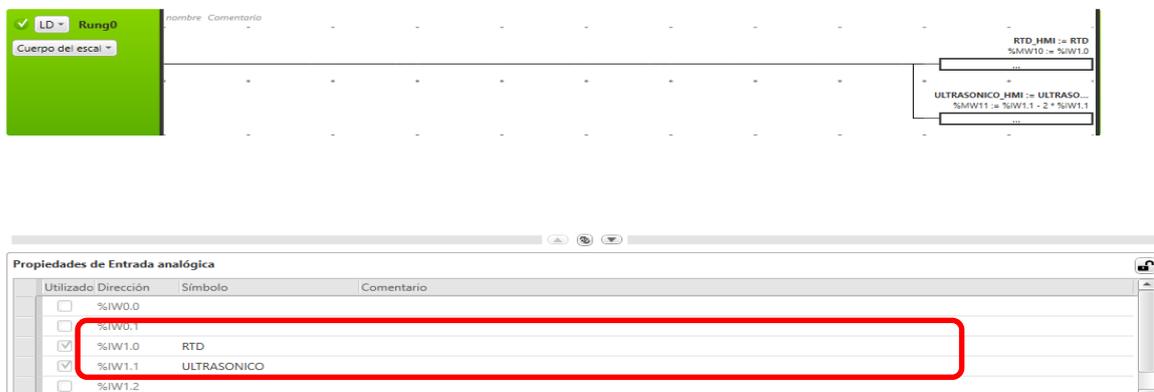


Figura 5.3 - Operación de escritura de los datos en memorias accesibles.
Fuente: Elaboración propia.

Para comprobar que la medida de temperatura realizada por el RTD del prototipo se aproxima al valor real, se desarrolló un cuadro (véase Cuadro 5.1) comparando las medidas hechas por un multímetro de instrumentación FLUKE con entrada de termocupla (se tomará como medida patrón) y las medidas proporcionadas por el RTD que fueron visualizadas en el HMI.

| MULTÍMETRO FLUKE (°C) | LECTURA DE TEMPERATURA EN EL HMI(°C) | ERROR ABSOLUTO (°C) | ERROR RELATIVO (%) |
|-----------------------|--------------------------------------|---------------------|--------------------|
| 12.3 | 12.2 | -0.1 | -0.81 |
| 12.6 | 12.5 | -0.1 | -0.79 |
| 13 | 12.9 | -0.1 | -0.77 |
| 13.5 | 13.7 | 0.2 | 1.48 |
| 13.9 | 14.1 | 0.2 | 1.44 |
| 14.4 | 14.4 | 0 | 0.00 |
| 14.8 | 14.9 | 0.1 | 0.68 |
| 15.3 | 15.5 | 0.2 | 1.31 |
| 15.6 | 15.5 | -0.1 | -0.64 |
| 16.2 | 16.0 | -0.2 | -1.85 |
| 16.4 | 16.5 | 0.1 | 0.61 |
| 16.7 | 16.8 | 0.1 | 0.60 |
| 17.1 | 17.3 | 0.2 | 1.17 |

*Cuadro 5.1 - Comparación de medidas en la lectura de temperatura.
Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 5.4 - Muestra tomada del valor de temperatura (HMI-multímetro Fluke).
Fuente: Elaboración propia.*

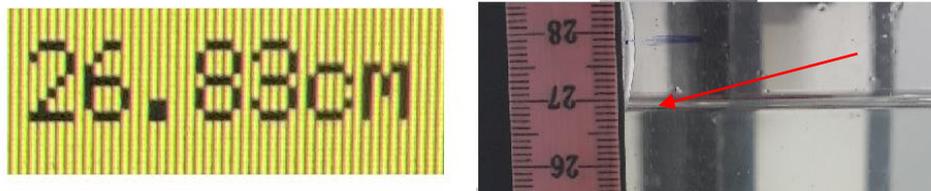
Los errores absolutos del Cuadro 5.1 indican que el PT100 del prototipo tiene un error de $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ tomando como referencia los valores del multímetro de instrumentación FLUKE, esto tiene lógica ya que según las características del PT100 (véase Cuadro 3.41) la precisión que maneja es de $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$. De esta forma concluimos que las medidas realizadas por el sensor de temperatura PT100 son

aceptables, ya que se aproximan a los valores reales y están dentro del rango de error instrumental.

Al igual que con la temperatura, se elaboró un cuadro (véase Cuadro 5.2) para verificar que la medida de nivel realizada por el sensor ultrasonido proporciona un valor aproximado al valor patrón del nivel (cinta métrica).

| CINTA MÉTRICA (cm) | MEDIDA DE NIVEL VISUALIZADO EN EL HMI (cm) | ERROR ABSOLUTO (cm) | ERROR RELATIVO (%) |
|--------------------|--|---------------------|--------------------|
| 43.3 | 43.69 | 0.39 | 0.90 |
| 39.3 | 39.24 | -0.06 | -0.15 |
| 36.85 | 36.69 | -0.16 | -0.43 |
| 33.5 | 33.29 | -0.21 | -0.63 |
| 30 | 29.82 | -0.18 | -0.60 |
| 26.9 | 26.83 | -0.07 | -0.26 |
| 22.8 | 22.62 | -0.18 | -0.79 |
| 19.4 | 19.25 | -0.15 | -0.77 |
| 15.73 | 15.54 | -0.19 | -1.21 |
| 10.64 | 10.5 | -0.14 | -1.32 |
| 7.23 | 7.37 | 0.14 | 1.94 |

*Cuadro 5.2 - Comparación de medidas en la lectura de nivel.
Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 5.5 - Muestra tomada del valor de nivel (HMI-cinta métrica)
Fuente: Elaboración propia.*

Siguiendo la lógica aplicada con el RTD para saber si las mediciones son correctas, el Cuadro 5.2 indica que el error en las medidas de nivel varían entre +0.39 y -0.06 cm, mientras que la precisión del sensor de ultrasonido es de +/-0.5cm (Véase Cuadro 3.40). Como los errores de las mediciones realizadas por el sensor ultrasonico están dentro del rango de precisión del instrumento, se concluye que las mediciones de nivel son aceptables.

5.1.2 Lógica de control

Para demostrar la lógica de control del sistema SCADA, se hizo la programación en base a las recomendaciones y condiciones especificadas en este trabajo.

Para permitir que el controlador realice o ejecute el programa tiene que recibir una señal proveniente del selector indicando que el tablero se encuentra en modo automático, tras esta acción se energiza a los variadores de velocidad y se envía una señal al variador indicándole que se ponga en modo READY (listo para ejecutar la orden de encendido para las bombas).



*Figura 5.6 – Detección del modo automático.
Fuente: Elaboración propia.*

Dentro de la programación se aplica las lógicas de control para el encendido y apagado de las bombas. El encendido de las bombas se efectuará tras confirmar que exista un alineamiento correcto, que no que se haya llegado a los límites superior o inferior de nivel o que el operador así lo desee. El apagado de bombas se efectuará en caso existiese un incorrecto alineamiento, peligro de rebalse, fallas en las bombas, por mando del operador o si se llegó a los límites superior o inferior de nivel.

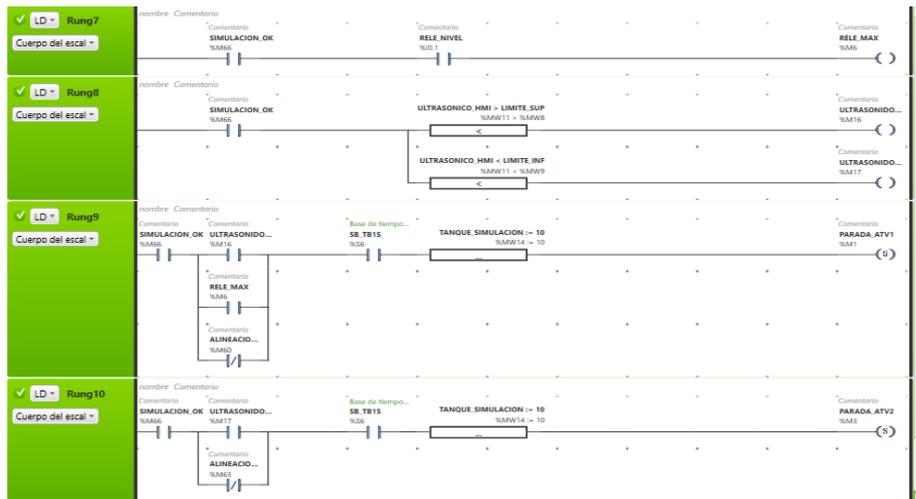


Figura 5.7 - Detección de límites de nivel - órdenes de parada para las bombas.
Fuente: Elaboración propia.

Se desarrolló la programación para detectar si existe o no el alineamiento de las válvulas para emplearlas como restricción en el encendido de las bombas.

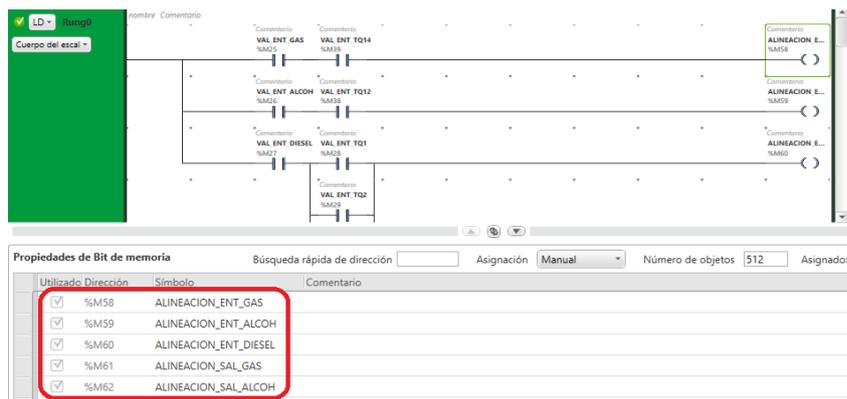


Figura 5.8 - Comprobación del alineamiento de válvulas.
Fuente: Elaboración propia.

La programación del controlador crea un arreglo de alarmas, justamente para tener agrupadas todas las alarmas que ocurren en el proceso. Estas alarmas son guardadas en la memoria %MW15 para su posterior lectura por parte de los terminales HMI. Tras la existencia de una falla en el proceso, la pantalla mostrará una animación de la misma y a la vez será registrada para la generación del informe de eventos y alarmas.

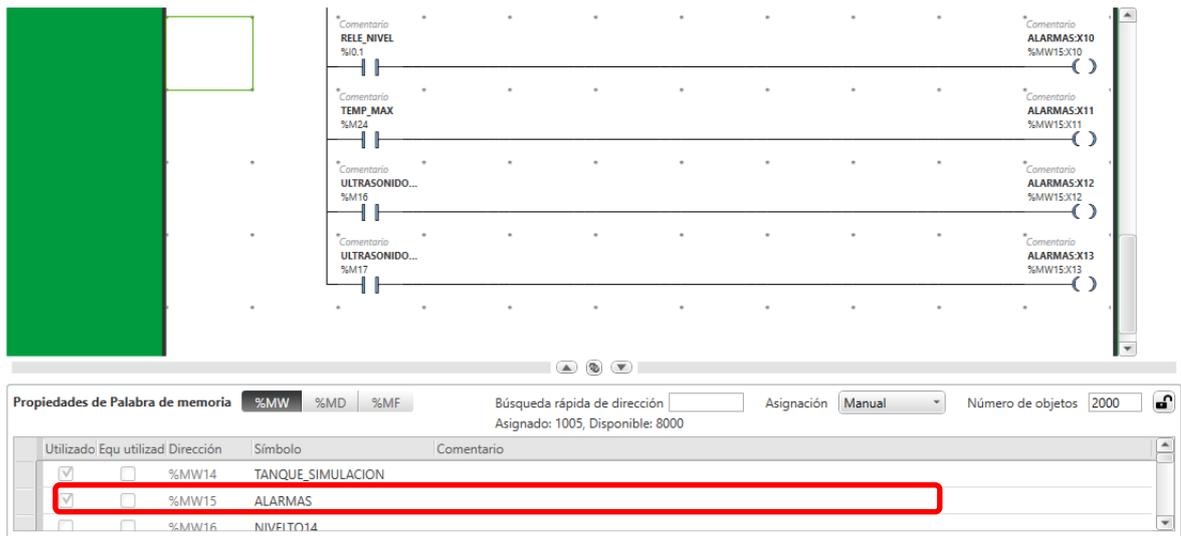


Figura 5.9 - Escritura en el arreglo de alarmas
Fuente: Elaboración propia.

5.1.3 Protección contra modificación o escritura de programa

Como recomendación del diseño propuesto en este trabajo para proporcionar la seguridad en la escritura y lectura del programa, es necesario activar la protección contra escritura con la que cuenta el programador.

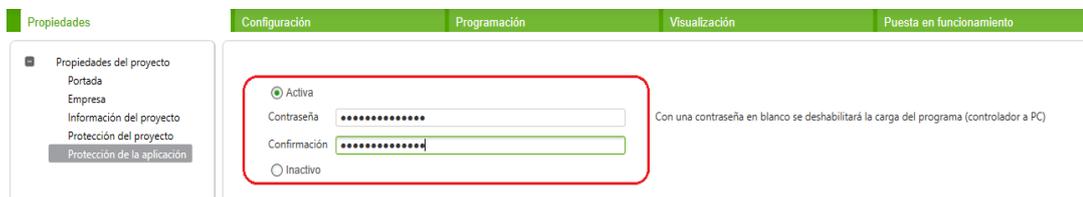


Figura 5.10 - Habilitación de protección contra escritura.
Fuente: Elaboración propia.

Ya con el programa puesto en funcionamiento se comprobó que toda la lógica de control, las protecciones para las operaciones y las configuraciones para la lectura de instrumentos, funcionan tal como se esperaba.

5.2 Configuración de Redes

Este sistema de comunicación nos ofrece una supervisión y control continuo de lo que va sucediendo en el proceso (prototipo de pruebas), además ofrece una comunicación constante y sin fallas tras el uso de los protocolos MODBUS y ETHERNET.

5.2.1 Configuración de parámetros para la comunicación

Para leer los datos de los instrumentos de medición, sólo es necesario indicar al módulo de entradas analógica TM3AI4 el tipo de señal que ingresará a sus puertos de entrada, tal como se ve en la Figura 5.1.

En cambio, para establecer la comunicación entre equipos que manejan protocolos de comunicación (MODBUS Y ETHERNET), se modificó en sus respectivas opciones de configuración los parámetros de comunicación de cada equipo. A continuación detallaremos las configuraciones realizadas:

- Variadores de velocidad

Mediante su teclado de configuración integrado se navegó, ingresó y configuró los siguientes parámetros MODBUS:

| Parameter description | Range or listed values | Default | Possible value | Modbus address |
|----------------------------|--|---------------------|--|----------------|
| [Modbus Address] (F d d) | 1 to 247 0:OFF (broadcast only) | [OFF] O F F | [OFF: 1 to 247] ATV1=10 ATV2=11 | 16#1771 = 6001 |
| [Modbus baud rate] (k b r) | 4.8 kbps 9.6 kbps 19.2 kbps 38.4 kbps | [19.2 kbps] 1 9 . 2 | [4.8] 4 . 8 [9.6] 9 . 6 [19.2] 1 9 . 2 [38.4] 3 8 . 4 | 16#1773 = 6003 |
| [Modbus format] (k F D) | 8 data bits, odd parity, 1 stop bit 8 data bits, even parity, 1 stop bit 8 data bits, no parity, 1 stop bit 8 data bits, no parity, 2 stop bits | [8E1] 8 E 1 | [801] 8 0 1 [8E1] 8 E 1 [8N1] 8 n 1 [8N2] 8 n 2 | 16#1774 = 6004 |
| [Modbus time out] (k k D) | Adjustable from 0.1 to 30 s | [10s] 1 0 | [0.1 to 30.0] 10 | 16#1775 = 6005 |

Figura 5.11 - Configuración de comunicación MODBUS para los variadores de velocidad
Fuente: Elaboración Propia

- Panel táctil

Mediante su programador (VIJEO Designer), se ingresó las opciones de comunicación y configuró los siguientes parámetros ETHERNET:

DIRECCION IP: 192.168.1.11
MASCARA DE SUBRED: 255.255.255.0
PUERTA DE ENLACE: 192.168.1.1

- Laptop (Estación PC)

Mediante el entorno Windows en configuraciones de red y mediante el software WINCC ADVANCE en configuraciones ETHERNET, se configuró lo siguiente:

| | |
|--------------------|---------------|
| DIRECCION IP: | 192.168.1.66 |
| MASCARA DE SUBRED: | 255.255.255.0 |
| PUERTA DE ENLACE: | 192.168.1.1 |

- Controlador

Mediante el software de programación SOMACHINE BASIC v1.6 en la pestaña de configuración se realizó dos ajustes, uno para la comunicación ETHERNET y otro para la comunicación MODBUS.

- Para la comunicación ETHERNET:

| | |
|--------------------|---------------|
| DIRECCION IP: | 192.168.1.10 |
| MASCARA DE SUBRED: | 255.255.255.0 |
| PUERTA DE ENLACE: | 192.168.1.1 |

- Para la comunicación MODBUS

| | |
|----------------------|---------------|
| PROTOCOLO: | MODBUS |
| VELOCIDAD TRANS: | 19200 baudios |
| PARIDAD: | Par |
| BIT DE DATOS: | 8 |
| BITS DE PARADA: | 1 |
| MEDIO FISICO: | RS485 |
| MODO DE TRANSMISION: | RTU |
| DIRECCIONAMIENTO: | Maestro |

5.3 Comprobación de Sistema SCADA

En base a lo que se indicó en el capítulo de diseño del sistema SCADA, se creó la aplicación de dicho sistema tanto para el panel táctil como para la laptop, con los software VIEJO DESIGNER y WINCC ADVANCE V14 correspondientes a cada una de las marcas de los sistemas HMI.

La aplicación de la estación de control y supervisión está diseñado para correr sobre la laptop en el entorno operativo Windows 10, en el escritorio se creó un acceso directo con el nombre SCADA PLANTA CUSCO (véase Figura 5.12), posteriormente si deseamos observar el entorno HMI del sistema, bastará con ejecutar dicha aplicación. Es preciso mencionar que la aplicación del panel táctil se ejecuta directamente al ser encendido.



*Figura 5.12 - Acceso directo a la aplicación.
Fuente: Elaboración propia.*

En ambas interfaces (PC – panel táctil) se presenta de forma general y en tiempo real los procesos existentes de la planta. Se desarrolló diversas ventanas entre ellas la ventana de inicio la cual nos ofrece la opción de imprimir un informe y de elegir a que ventanas de configuración ingresar (procesos, históricos o tendencias, alarmas o eventos y gestión de usuarios).



Figura 5.13 - Pantallas de inicio del sistema de la laptop y del panel táctil.
Fuente: Elaboración propia.

Si ingresamos a los procesos de la planta PETROPERÚ, nos encontraremos con ventanas donde se puede supervisar los estados de los tanques, controlar la apertura de válvulas, controlar el encendido de motores (control de velocidad, opción solo para el sistema de la computadora) y verificar el alineamiento de las los ductos que ingresan y salen de los tanques para la recepción y despacho del producto. Para comprobar el funcionamiento del sistema, el prototipo de pruebas simula a las válvulas, motores, variadores, medida de nivel, medida de temperatura y sensor de sobrellenado que actúan sobre el tanque número 10 (TQ10).

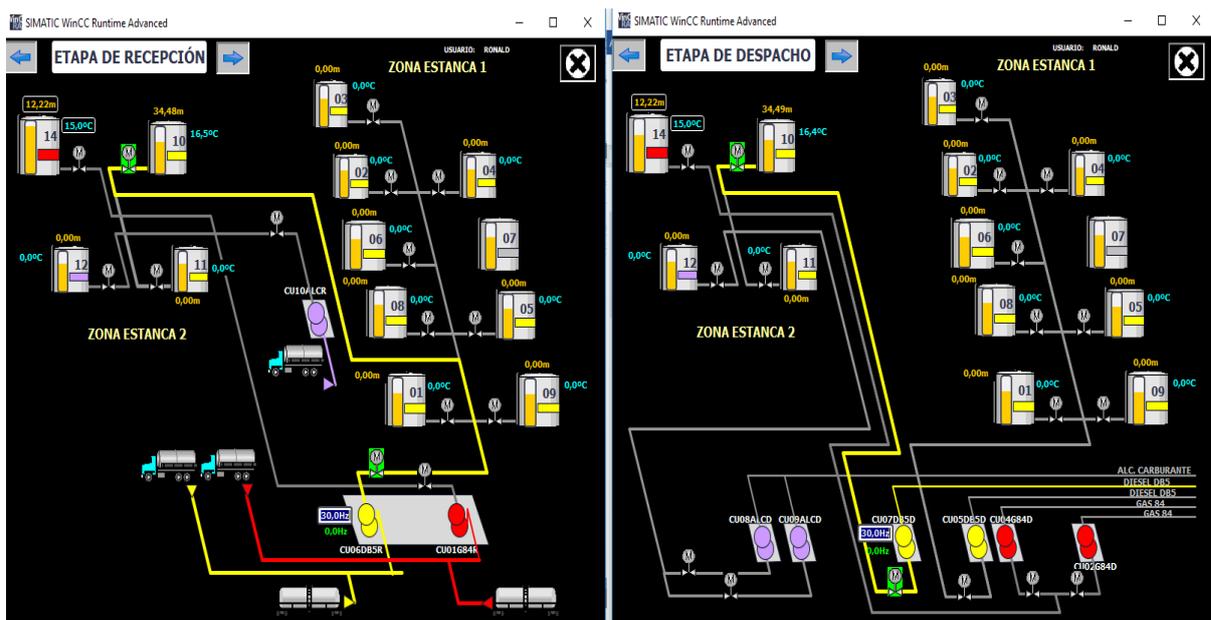


Figura 5.14 - Ventanas con supervisión de los tanques y control en las etapas de recepción y despacho (Sistema HMI de la laptop).

Fuente: Elaboración propia.



Figura 5.15 - Ventanas de las etapas de recepción, despacho con supervisión individual del almacenamiento de los tanques (Panel táctil).

Fuente: Elaboración propia.

En caso de existir algún tipo de error o peligro en uno de los tanques, emerge la pantalla de eventos y/o alarmas dando un aviso con la descripción de la alarma, a la vez aparece un icono de advertencia y el tanque resalta de manera intermitente para dar aviso visual de que está ocurriendo algo anormal. El cuadro emergente también nos indica la hora y fecha de la alarma.



Figura 5.16 - Ventanas emergentes con aviso de emergencia.

Fuente: Elaboración propia.

El sistema SCADA de la laptop permite el almacenamiento de los reportes, históricos, alarmas y eventos para su respectiva revisión con detalles de hora y fecha.

Existe un botón para la impresión de datos, el cual al ser presionado nos dirige hacia una ventana para indicar dónde deseamos guardar el archivo.

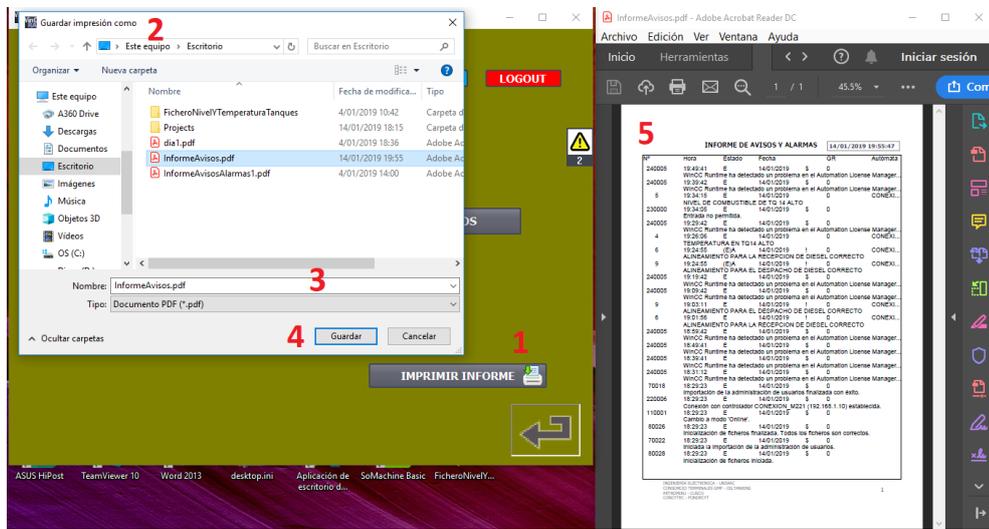


Figura 5.17 - Generación del informe de reportes, alarmas y eventos.
Fuente: Elaboración propia.

Dentro de la ventana de tendencias encontraremos una visualización mediante gráficas a través del tiempo, con la capacidad de observar cierto número de datos pasados y actuales de los valores de nivel y temperatura de cada uno de los tanques. Las curvas de cada tanque se pueden diferenciar por el color de línea trazado.

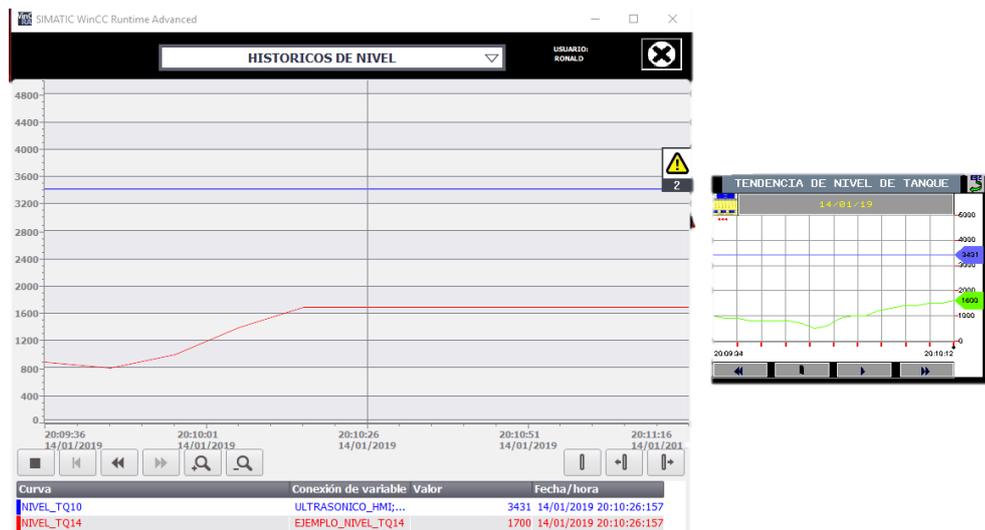


Figura 5.18 - Ventana de tendencias o históricos de nivel para la laptop y el panel táctil.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 5.19 - Ventana de tendencias o históricos de temperatura para la laptop y el panel táctil.
Fuente: Elaboración propia

El sistema SCADA tras su ejecución captura periódicamente todos los datos de nivel y temperatura de cada tanque, al mismo tiempo estos datos son guardados en un archivo EXCEL para un posterior tratamiento.

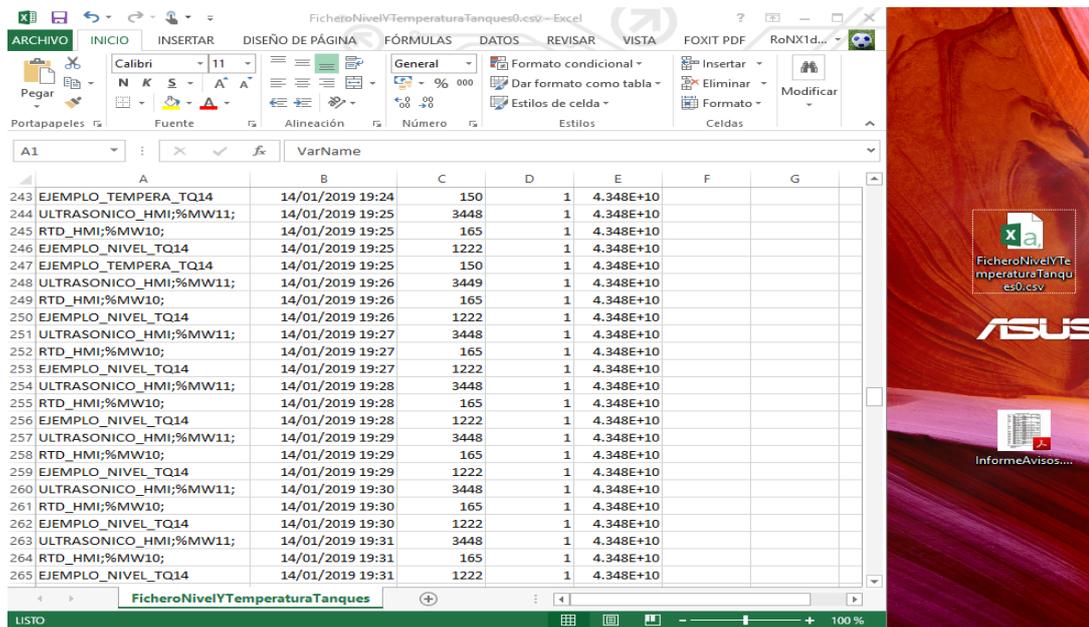


Figura 5.20 - Visualización de datos de los históricos en Excel.
Fuente: Elaboración propia.

El sistema otorga el acceso sólo a personas autorizadas mediante el uso de un usuario y contraseña, esta protección también permite accesos a ciertas operaciones de acuerdo al nivel de seguridad del usuario, por ejemplo un usuario con nivel de

administrador puede crear nuevos usuarios y variar los parámetros de velocidad del variador.



Figura 5.21 - Protección contra uso de personas no autorizadas, con niveles de seguridad.
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente tras la comprobación del sistema con el prototipo de pruebas, se observó que las lógicas de control para la protección de sobrellenado, la generación de alarmas e informes, las protecciones de usuario, la supervisión y control a distancia de los actuadores y por último la monitorización de las variables es satisfactoria. Además, durante la comprobación del sistema no existió alguna pérdida o falla en la comunicación, ya sea en la lectura de los instrumentos, en el envío de órdenes a los actuadores o la lectura-escritura de datos con los terminales HMI.

Por lo dicho en el párrafo anterior se concluye que el sistema SCADA diseñado funcionará correctamente.

CAPÍTULO VI:

PRESUPUESTO Y COSTOS

Para la propuesta económica se oferta sólo el suministro de los equipos y accesorios de acuerdo a los requerimientos establecidos en este proyecto de tesis y a petición de la empresa operadora Consorcio Terminales.

6.1 Metodología de la Propuesta Económica

De acuerdo a las tablas de instrumentación y equipos expuestos en capítulos pasados, primero se hace un listado de los instrumentos elegidos y a continuación se obtienen los precios unitario y total de cada equipo.

Es necesario recalcar que este presupuesto no contará con la oferta de:

- Suministro de cables, conduits y demás consumibles.
- Instalación y configuración de instrumentos.
- Instalación y programación de sistemas HMI.
- Obras civiles y demás.

6.2 Listado de los Equipos

6.2.1 Nivel de campo.

6.2.1.1 Instrumentos de campo:

- *Transmisor de nivel:*
 - 2 Transmisores para tanque con techo flotante, Rosemount 5900S con antena direccional de tubo tranquilizador.
 - 10 Transmisores para tanques con techo fijo, Rosemount 5900S con antena parabólica, (Véase ANÉXO I.).
- *Transmisor de temperatura puntos múltiples:*
 - 12 Transmisores de temperatura de múltiples entradas Rosemount 2240S (véase ANÉXO K.).

- 50 Sensores de temperatura de múltiples puntos Rosemount 565 (véase ANEXO L.).
- *Interruptor de nivel:*
 - 12 Interruptores de nivel tipo horquilla vibratoria Rosemount 2120 (Véase ANEXO J.).
- *Concentrador de datos:*
 - 3 Concentrador de tanques Rosemount 2410.

6.2.1.2 Equipos para el control de motores

- 1 Variador de velocidad ATV630 - 5.5kW/7.5HP - 380...480V.
- 1 Variador de velocidad ATV630 - 15kW/20HP - 380...480V.
- 1 Variador de velocidad ATV630 - 45kW/60HP - 380...480V

6.2.1.3 Equipos para el control de válvulas

- 33 Actuadores motorizados multivoltas SA 10.2 (véase ANEXO M.).
- 33 Unidades de mando AUMATIC AC 01.2 No intrusivo (MODBUS).

6.2.2 Sistema de adquisición de datos

6.2.2.1 Equipos para el procesamiento de datos:

- *Controlador principal:*
 - 1 Controlador Modicon M340 - BMXP342020 -- 1x10BASE-T/100BASE-TX (MODBUS TCP/IP, BOOTP/DHCP, FDR, servidor web clase B10) (Véase ANEXO N.).
 - 1 Rack para fijado y distribución eléctrica. BMX XBP 0600, con 6 slot para ampliación de módulos
 - 1 Fuente de alimentación BMX CPS 2000 (100-240VAC), 20W.

- *Unidades remotas:*
 - 4 Modicon M221 - TM221CE16R (100-240VAC)- 16 E/S – 1 puerto MODBUS RS485 – 1 puerto MODBUS ETHERNET.

6.2.3 Sistema de comunicaciones

6.2.3.1 Equipos de comunicación.

- 1 ConneXium Ethernet TCSESPU093F2CU0 – 7 puertos 10/100 BASE Tx y 2 puertos 100 BASE Fx.
- 1 Conversor de medios Ethernet RJ45 a fibra óptica multimodo MCM110SC2EU

6.2.4 Hardware y software del SCADA

6.2.4.1 Software

- *Sistema SCADA:*
 - WinCC Advance V14, 512 power tags.
 - WinCC Run time Advance V14.
- *Programadores de los controladores:*
 - Unity pro.
 - SoMachine Basic v1.6.

6.2.4.2 Hardware

- *Panel táctil:*
 - KTP1200 Basic DP, Profinet.

6.3 .Presupuesto de los Instrumentos y Equipos para el Proyecto

| MARCA | MODELO | DESCRIPCION | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | COSTO TOTAL |
|-----------|--------------------------|---|----------|-----------------|---------------|
| SCHNEIDER | BMX-CPS2000 | Fuente de alimentación de 24V, 5A | 1 | S/.1,392.00 | S/.1,392.00 |
| STARTECH | MCM110SC2EU | Convertor RJ45 a fibra óptica | 1 | S/.377.52 | S/.377.52 |
| SCHNEIDER | TCSesPU093F2CU0 | Switch industrial de 7 puertos 10/100BASE-TX, 2 puertos | 1 | S/.950.00 | S/.950.00 |
| SCHNEIDER | BMX XBP 0600 | Rack de controlador con 6 slot para módulos | 1 | S/.447.00 | S/.447.00 |
| SCHNEIDER | BMXP342020 | Controlador lógico programable M340 | 1 | S/.7,761.55 | S/.7,761.55 |
| SCHNEIDER | TM221CE16R | Controlador M221 (MODBUS, MODBUS TCP) + MODULO 8 ENTRADAS ANALOGICAS | 4 | S/.1,000.00 | S/.4,000.00 |
| SIEMENS | KTP1200 Basic DP | Panel táctil HMI | 1 | S/.5,092.73 | S/.5,092.73 |
| SIEMENS | WinCC RT Advanced V14 | Sistema SCADA con 512 PowerTags | 1 | S/.6,386.00 | S/.6,386.00 |
| SCHNEIDER | SoMachine Basic | Programador para controlador M221 | 1 | S/.0.00 | S/.0.00 |
| SCHNEIDER | Unity Pro | Programador para el controlador M340 | 1 | S/.5,955.00 | S/.5,955.00 |
| ROSEMOUNT | 5900S-antena direccional | Transmisor de nivel para tanques de techo flotante | 2 | S/.11,000.00 | S/.22,000.00 |
| ROSEMOUNT | 5900S-antena parabólica | Transmisor de nivel para tanques de techo fijo | 10 | S/.11,000.00 | S/.110,000.00 |
| ROSEMOUNT | 2240S | Transmisor de temperatura de puntos múltiples | 12 | S/.3,000.00 | S/.36,000.00 |
| ROSEMOUNT | 565_ | Sensores de temperatura pt100 | 50 | S/.500.00 | S/.25,000.00 |
| ROSEMOUNT | 2120_ | Interruptor de nivel vibratorio | 12 | S/.3,000.00 | S/.36,000.00 |
| ROSEMOUNT | 2410_ | Concentrador de tanques | 3 | S/.5,000.00 | S/.15,000.00 |
| SCHNEIDER | ATV630U55N4 | Variador de velocidad 7.5HP/5.5KW, 440V | 1 | S/.5,725.18 | S/.5,725.18 |
| SCHNEIDER | ATV630D15N4 | Variador de velocidad 20HP/15KW, 440V | 1 | S/.9,450.73 | S/.9,450.73 |
| SCHNEIDER | ATV630D45N4 | Variador de velocidad 60HP/45KW, 440V | 1 | S/.21,749.02 | S/.21,749.02 |
| AUMATIC | SA-07.6 + AC-01.2 | Actuador multivoltajes + Unidad de mando electrónico, no intrusivo MODBUS | 33 | S/.8,345.75 | S/.275,409.75 |
| | | | | TOTAL | S/.588,696.48 |

*Figura 6.1 - Costo total de los instrumentos y equipos
Fuente: Elaboración propia.*

6.4 Costo de la Construcción del Prototipo de Pruebas

En el siguiente cuadro se muestra los costos de los instrumentos, equipos, materiales y otros accesorios utilizados en la construcción del prototipo de pruebas. No se consideran los costos de los trabajos de instalación, programación, armado y montaje.

| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | COSTO TOTAL |
|---------------------------------------|----------|-----------------|-----------------|
| TABLERO DE CONTROL | | | |
| VARIADOR DE VELOCIDAD ATV320U07M2B | 2 | 860.00 | 1720.00 |
| TABLERO MURAL 600X600X300 IP66 | 1 | 550.00 | 550.00 |
| FUENTE DE ALIMENTACION 24V 1.2 A | 1 | 140.00 | 140.00 |
| CONTACTOR TRIPOLAR DE 9ª | 2 | 115.50 | 231.00 |
| INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO | 2 | 60.00 | 120.00 |
| CONTROLADOR TM221CE16R | 1 | 888.00 | 888.00 |
| MODULO DE ENTRADAS ANALOGICAS | 1 | 795.00 | 795.00 |
| TERMINAL TACTIL MAGENLIS STU855 | 1 | 1917.00 | 1917.00 |
| OTROS ACCESORIOS | 1 | 429.00 | 429.00 |
| EQUIPOS Y ESTRUCTURA DEL MODULO | | | |
| RELE DE NIVEL HANYOUNG NUX | 1 | 99.12 | 99.12 |
| SENSOR DE TEMPERATURA | 1 | 356.83 | 356.83 |
| SONDAS DE RELE DE NIVEL | 3 | 39.95 | 119.85 |
| SENSOR DE NIVEL ULTRASONICO | 1 | 424.20 | 424.20 |
| ELECTROBOMBA 1.2HP TRIFASICO 220/380V | 2 | 905.00 | 1810.00 |
| ELECTRVALVULA BOBINA DE 24V | 2 | 250.00 | 500.00 |
| ACCESORIOS E INSUMOS | 1 | 1300.00 | 1300.00 |
| TOTAL | | | 11400.00 |

*Figura 6.2 - Costos para la construcción de prototipo de pruebas.
Fuente: Elaboración propia.*

CONCLUSIONES

- El diseño del sistema de medición y control realizado para la planta PETROPERÚ otorga los equipos e instrumentos necesarios y el diseño de redes para su implementación futura, la cual posibilitará un mayor control sobre el manejo de los combustibles actuando directamente sobre las operaciones (recepción, almacenamiento y despacho), evitando así demoras en los trabajos programados, demoras y errores para las lecturas o registros de inventariado y posibles fallas de rebalse del producto almacenado. Con lo cual se alcanzaría a una mayor efectividad en las actividades y un ahorro económico notable tomando en cuenta que un pequeño error en la medición se traduce en pérdidas grandes de dinero. Todo lo mencionado anteriormente fue comprobado con el módulo de pruebas.
- Al tratarse de un estudio de instrumentación y redes industriales, en el cual se detallan los instrumentos, equipos y requerimientos mínimos para el establecimiento de la comunicación, se desarrolló el plano de instrumentación donde se muestra las etiquetas y funcionalidades de los instrumentos para una comprensión global del diseño, por otro lado se desarrolló el plano de planimetría de instrumentos para observar la ubicación referencial del instrumento dentro de la planta.
- En base a los planos de instrumentación y a los requerimientos del sistema presentado en esta tesis, se eligió los equipos de medición y control. La elección de estos equipos sirvió como base para el abastecimiento y selección de equipos del módulo de pruebas, por la similitud que existe en las variables a medir y elementos a controlar. Cabe mencionar que los

equipos seleccionados para el sistema de supervisión y control cuentan con las características de precisión en la toma de datos y respuesta en tiempo real, esto fue comprobado con el módulo de pruebas, tras las lecturas de los parámetros hechas por los instrumentos de medición con un mínimo error y por la rapidez con la que actúan o reaccionan los actuadores al detectar una señal de mando.

- Tras la elección de equipos para el sistema de control, supervisión y adquisición de datos diseñado en este trabajo, en la elección del sistema de comunicaciones se presentó una arquitectura con 2 niveles de control establecidos. El nivel de campo es soportado por 2 protocolos industriales (Foundation Fieldbus y MODBUS RTU) y el nivel de celda está soportado por el protocolo Ethernet. Para la evaluación de estos protocolos se utilizó el módulo de pruebas obteniéndose así con MODBUS una comunicación continua y sin errores entre los variadores como esclavos y el controlador como maestro, desde otro ángulo Ethernet realizó la comunicación de forma cableada (controlador y al panel táctil) y de forma inalámbrica (la estación PC), logrando una comunicación continua, rápida y sin fallas.
- Se elaboró un presupuesto detallando los costos de los equipos e instrumentos para una futura implementación de estos. Al presentar este presupuesto se obtuvo una aceptación favorable por parte de la empresa operadora de la planta de PETROPERÚ, ya que el coste de proyecto es razonable a comparación de otros sistemas de supervisión de tanques de almacenamiento, que anteriormente ellos habían solicitado.
- Con la construcción de módulo de pruebas se desarrolló y puso en práctica los algoritmos de control en los procesos de recepción y despacho de

combustibles, se desarrolló un entorno gráfico para la supervisión de variables y control a distancia de los actuadores con la creación de diversas ventanas para la navegación del operador y supervisores en el entorno HMI, se efectuó la programación para la generación de eventos y/o alarmas e históricos como requisito primordial de un sistema de supervisión y con lo dicho anteriormente se comprobó su funcionamiento correcto en ambos entornos HMI (panel táctil y COMPUTADORA) y el sistema SCADA.

- Se construyó el prototipo de pruebas implementado con los instrumentos y equipos necesarios para realizar la simulación de las operaciones de recepción, despacho y almacenamiento a escala de un solo tanque. Tras el uso de este módulo de pruebas se logró: la comprobación de la comunicación entre equipos del sistema SCADA, el establecimiento de un sistema de comunicaciones, el uso de un bus de campo, la elaboración de las ventanas para el sistema SCADA, la programación necesaria para el funcionamiento del sistema, la conexión de equipos de forma alámbrica e inalámbrica y por último la integración de marcas de uso industrial.
- Una futura implementación del sistema SCADA planteado en este proyecto otorgaría las siguientes ventajas:
 - Interacción directa entre los operadores y los procesos.
 - Optimización y confiabilidad en el manejo de la información,
 - Generación automática de reportes, e historiales de lo acontecido en el día de trabajo.
 - Seguridad para la manipulación del sistema por personas autorizadas.

- Seguridad en las operaciones al contar con avisos anticipados en caso de la existencia de algún peligro.

RECOMENDACIONES

- Para el diseño e implementación definitiva del proyecto se recomienda que sea desarrollado por un equipo técnico multidisciplinario que incluyan ingenieros mecánicos, eléctricos, civiles, instrumentistas, operadores y supervisores de planta, etc; pues de esta manera se asegura obtener un sistema que cumpla con todos los requerimientos solicitados por los entes reguladores como OSINERGMIN, OEFA, INDECI, NTP entre otros.
- Por tratarse de una planta en la cual se manipulan combustibles y cuyas instalaciones están clasificadas como peligrosas, es recomendable seguir las recomendaciones de seguridad y normas de este documento referido a la selección de instrumentos y equipos, evitando así problemas y accidentes posteriores.
- Por la similitud que presentan otras plantas de almacenamiento del país, se recomienda que acojan este diseño como modelo ya que proporciona grandes ventajas económicas, gran escalabilidad y seguridad. Ofreciendo además como una alternativa para competir con empresas grandes que se dedican al rubro supervisión y seguridad de tanques de almacenamiento.
- En el diagrama de red propuesto se contempla la implementación de un bus de campo industrial como medio de comunicación entre la RTU local y los instrumentos de campo, al ser un protocolo abierto y de amplia utilización en el entorno industrial es recomendable que la empresa operadora tome como primera elección al protocolo MODBUS.
- En un sistema SCADA local se debe tomar en consideración los requerimientos de seguridad en el tratamiento de información, así como la transferencia de información, recomendándose utilizar métodos de

protección y encriptación de los datos que eviten el acceso de personas no autorizadas hacia los mismos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] American Petroleum Institute. (2011). *Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 7.3 - Temperature Determination*.
- [2] AUMA. (s.f.). *Actuadores eléctricos para la automatización de válvulas industriales*.
- [3] Caler Rubio, R. (2015). *Análisis y estudio de comunicaciones industriales para implementar arquitectura de comunicaciones estándar en Planta Estándar de Ciclo Combinado*. Alcalá de Henares.
- [4] Cerf Valdivia, L. C. (2014). *Implementación de Scada en el área de Merrill Crowe y fundición*. Cusco-Perú.
- [5] Chamochubi Hinojosa, C. H., Torres Pellame, V. R., Rodas Ochoa, H. A., & Diaz Gherzi, O. E. (2015). *Propuesta de mejora del proceso de carga de combustibles líquidos en camiones cisterna en un terminal de almacenamiento de combustible*. Lima, Perú.
- [6] Creus Solé, A. (2011). *Instrumentación Industrial*. México: Alfa y Omega - MARCOMBO.
- [7] Durán Sal, R. D. (2015). *Metodología de Automatización de un sistema de descarga/carga de combustible buque/tanque mediante control por SCADA – Aplicación en el puerto de Ilo*. Lima, Peru.
- [8] EMERSON. (2017). *La guía del ingeniero para medición de tanques*.
- [9] EMERSON. (2018). *The Engineer's Guide to Overfill Prevention*.
- [10] Espinoza Hernández, J. C. (2006). *Automatización y control a distancia de reservorios de San Diego*. Lima, Perú.
- [11] Gil Trejos, O. F. (2012). *Diseño, construcción y control de un sistema de almacenamiento de líquidos de segundo orden*. Pereira.

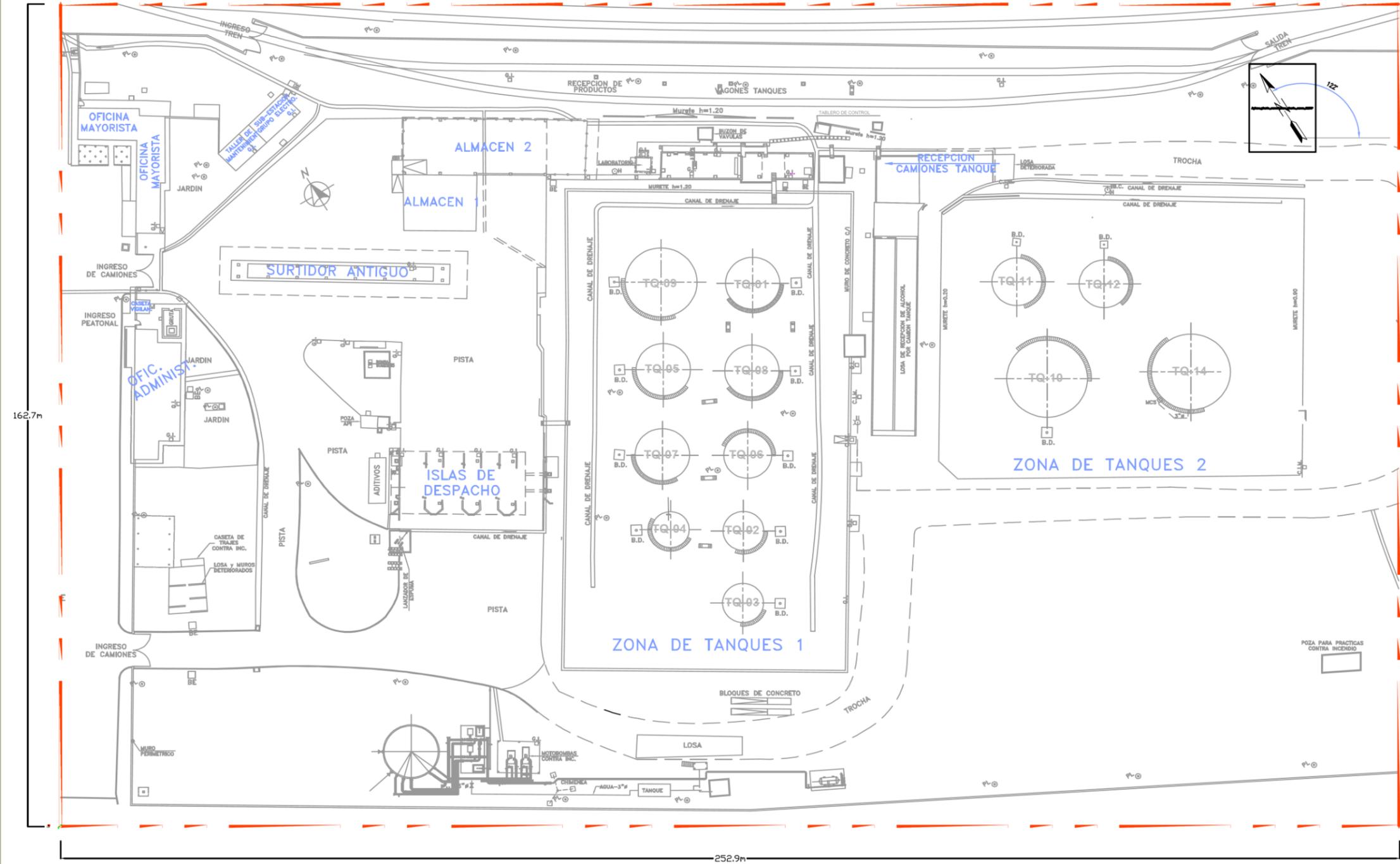
- [12]Hernández Sánchez, A. (2014). *Diseño de un prototipo para la lectura y monitoreo en tanques de almacenamiento de ACPM utilizando protocolo de comunicación Modbus para la empresa electrificadora Sopesa SA ESP*. Bogotá, Colombia.
- [13]Ingeniería de Sistemas y Automática. (2006). *Comunicaciones Industriales*. España.
- [14]Nicola Mesías, A. P. (2015). *Diseño de una arquitectura de red para la integración de bahías de carga con controlador híbrido programable HC900 para la Terminal Pascuales de PETROECUADOR*. Guayaquil, Ecuador.
- [15]Olazábal Trejo, S. V., & Tejada Neira, D. A. (2014). *Diseño de un sistema automático e instrumentación para la planta de almacenamiento y despacho de petróleo de la empresa Olympic Perú-Piura*. Trujillo, Perú.
- [16]Pérez Vidal, D. A. (2016). *Diseño y desarrollo de un sistema SCADA para el control de nivel en tanques de lubricantes, gasolina y diésel de una embalsadora de autos*. Quito, Ecuador.
- [17]Realpe Garcés, E. B., & Murillo Osorio, J. E. (2014). *Diseño y construcción para el sistema de medición en el despacho de crudo en la estación Coveñas hacia el puerto Bahía en Cartagena, perteneciente al oleoducto del caribe*. Bogotá, Colombia.
- [18]Rosemont tank gauging. (Junio de 2007). *Sistema de medición de tanques de alta precisión*.
- [19]Rosemount. (Febrero 2016). *Soluciones de medición de líquidos a granel de alto rendimiento y prevención de sobrellenado*.
- [20]Salazar Serna, C. A., & Correa Ortiz, L. C. (2011). *Buses de campo y protocolos en redes industriales*. Colombia.

- [21] Sánchez Albán, R. G. (2010). *Diseño de la automatización de los sistemas de medición estática y dinámica de combustible en el proceso de generación de una central termoeléctrica*. Sangoquí, Ecuador.
- [22] Ureña, J. (Enero 2007). *Diseño de un sistema de adquisición de datos para procedimientos de almacenamiento en tanques de combustible*. Ambáto, Ecuador.
- [23] Valencia Arías, C. D. (2013). *Diseño e implementación del sistema SCADA para la visualización de niveles de tanques diésel para el consumo de las turbinas de generación eléctrica de la refinería La Libertad de EP Petroecuador*. Sangolquí, Ecuador.
- [24] Vargas Álvarez, R. (23 Febrero de 2005). *Desarrollo tecnológico de sistemas de medición para modernización de estaciones de almacenamiento y distribución de turbosina*. Veracruz, México.
- [25] Visconti Stopello, G. V. (2005). *Desarrollo de la ingeniería de detalle en el área de instrumentación y control del patio de tanques del proyecto “tanques de almacenamiento de ORIMULSIÓN®”, ubicado en el “Complejo petrolero y petroquímico José Antonio Anzoátegui”, Edo Anzoátegui*. Caracas, Venezuela.

ANÉXOS

ANEXO A.

**PLANIMETRÍA GENERAL DE LA PLANTA DE
ALMACENAMIENTO PETROPERÚ – CUSCO.**

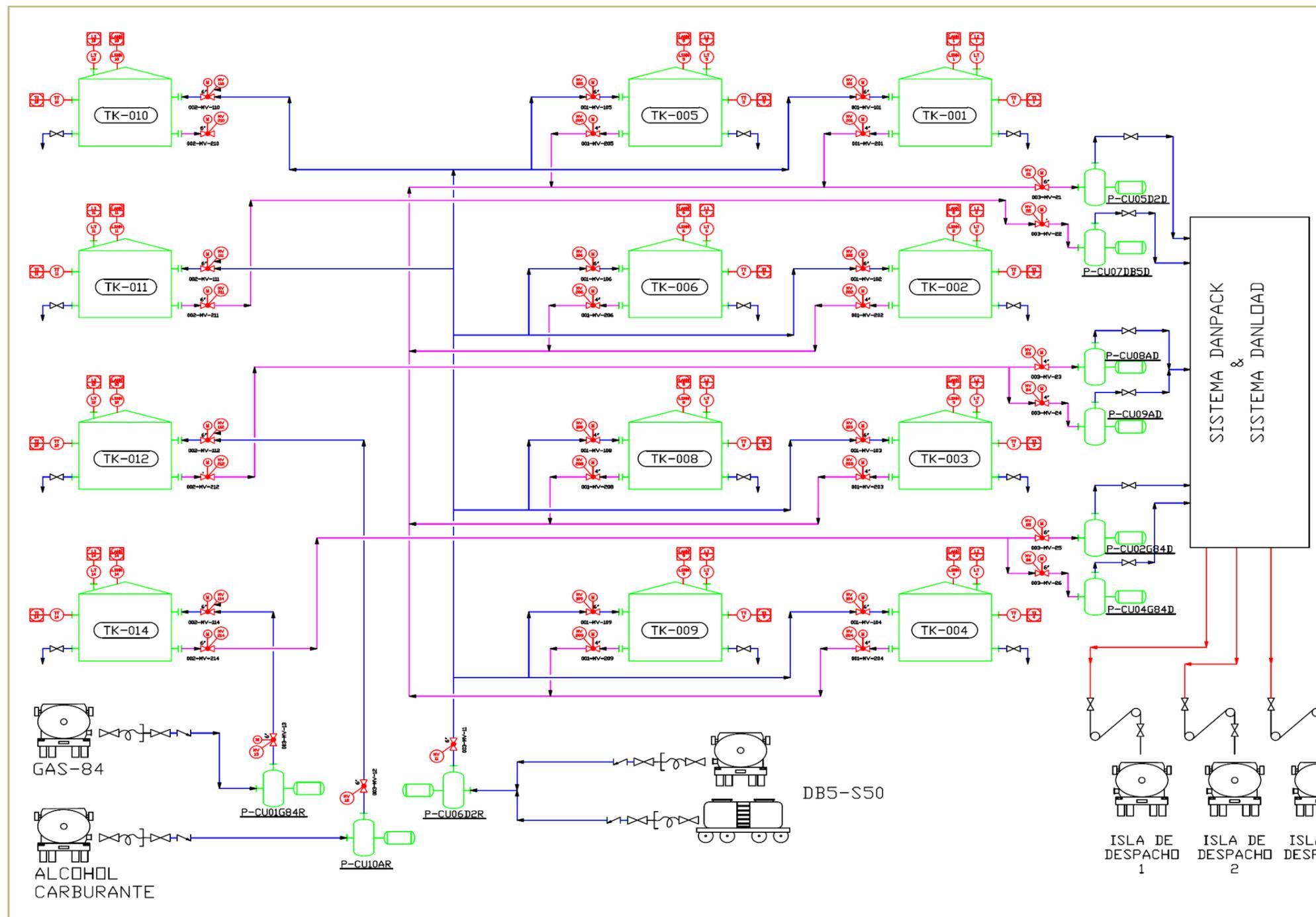


| N° | PRODUCTO |
|-------|--------------------|
| TQ-01 | DIESEL B5 |
| TQ-02 | DIESEL B5 |
| TQ-03 | DIESEL B5 |
| TQ-04 | DIESEL B5 |
| TQ-05 | DIESEL B5 |
| TQ-06 | DIESEL B5 |
| TQ-07 | |
| TQ-08 | DIESEL B5 |
| TQ-09 | DIESEL B5 |
| TQ-10 | DIESEL B5 |
| TQ-11 | DIESEL B5 |
| TQ-12 | ALCOHOL CARBURANTE |
| TQ-14 | GASOLINA 84 |

| INFORMACIÓN DEL CONTRATANTE | | REVISIONES | | | | | PLANOS DE REFERENCIA | | UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO | | INSTALACIÓN: TERMINAL DE ABASTECIMIENTO CUSCO | |
|---|-------------|------------|-----|-------|-------------|-----------------|----------------------|---------------|--|---------------|--|-----------------------|
| REV. | PROYECTISTA | APROBADO | CIP | FECHA | DESCRIPCIÓN | CÓDIGO DE PLANO | DESCRIPCIÓN | DIBUJADO POR: | DISEÑADO POR: | PROYECTO: | PROYECTO DE TESIS | |
| | | | | | | | | R. QUSIPE | R. QUSIPE | PLANO: | PLANIMETRÍA GENERAL DE LA PLANTA PETROPERÚ CUSCO | |
| DIRECCIÓN OPERATIVA: Quebrada Oscollopampa S/N, San Jerónimo Cusco, Cusco, Perú | | | | | | | | | REVISADO POR: | APROBADO POR: | ESCALA: | CÓDIGO DEL PLANO: 001 |
| COORDINADOR: | | | | | | | | | | | FECHA: | 25/10/2018 |
| N° DE CONTRATO: | | | | | | | | | | | REV: | 1 |

FORMAT. "A4"

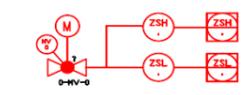
ANEXO B.
DIAGRAMA P&ID DE LA SOLUCIÓN.



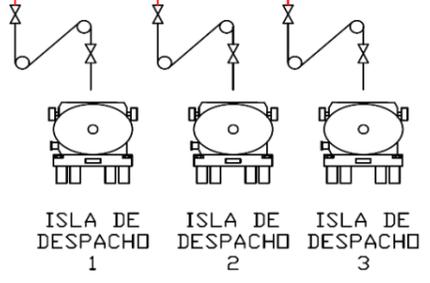
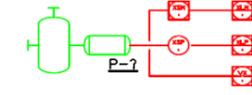
| CUADRO DE TANQUES | | | | |
|-------------------|----------|-----------|-------------|-----------|
| N° | CAP(BLS) | SERV. | DIAMETRO(m) | ALTURA(m) |
| 1 | 4986 | DB5 S50 | 9.2 | 11.9 |
| 2 | 993.2 | DB5 S50 | 6.9 | 4.2 |
| 3 | 994.0 | DB5 S50 | 6.9 | 4.2 |
| 4 | 1438.3 | DB5 S50 | 6.1 | 7.8 |
| 5 | 5071.5 | DB5 S50 | 9.2 | 12.1 |
| 6 | 3000.4 | DB5 S50 | 8.1 | 9.2 |
| 7 | - | AGUA C/I | - | 11.4 |
| 8 | 4765.4 | DB5 S50 | 9.2 | 11.4 |
| 9 | 8039.2 | DB5 S50 | 12.2 | 10.8 |
| 10 | 10305.1 | DB5 S50 | 13.7 | 11.0 |
| 11 | 2970.0 | DB5 S50 | 8.4 | 8.5 |
| 12 | 3014.0 | ALC. CAR. | 8.4 | 8.6 |
| 13 | - | AGUA C/I | - | - |
| 14 | 11704.0 | GB4 | 13.4 | 13.4 |

| CUADRO DE BOMBAS | | | | |
|------------------|------------|--------------|--------------|-----------|
| N° | SERV. | CAUDAL (GPM) | POTENCIA(HP) | NOTA |
| 01 | GB4 | 350 | 7.5 | RECEPCION |
| 02 | GB4 | 350 | 10 | DESPACHO |
| 04 | GB4 | 400 | 15 | DESPACHO |
| 05 | DB5 S50 | 400 | 15 | DESPACHO |
| 06 | DB5 S50 | 600 | 60 | RECEPCION |
| 07 | DB5 S50 | 450 | 20 | DESPACHO |
| 08 | ALC. CARB. | 60 | 5 | DESPACHO |
| 09 | ALC. CARB. | 60 | 5 | DESPACHO |
| 10 | ALC. CARB. | 350 | 25 | RECEPCION |

TIPICO EN VALVULAS MOTORIZADAS



TIPICO EN BOMBAS



| INFORMACIÓN DEL CONTRATANTE | |
|-----------------------------|---|
| DIRECCIÓN OPERATIVA: | Quebrada Osocoltopampa S/N, San Jerónimo Cusco, Cusco, Perú |
| COORDINADOR: | N° DE CONTRATO: |

| REVISIONES | | | | | |
|------------|-------------|----------|-----|-------|-------------|
| REV. | PROYECTISTA | APROBADO | CIP | FECHA | DESCRIPCIÓN |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

| PLANOS DE REFERENCIA | |
|----------------------|-------------|
| CÓDIGO DE PLANO | DESCRIPCIÓN |
| | |
| | |
| | |

| | |
|--|----------------------------|
| UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO | |
| DIBUJADO POR: R. QUISPE | DISEÑADO POR: R. QUISPE |
| REVISADO POR: | APROBADO POR: |

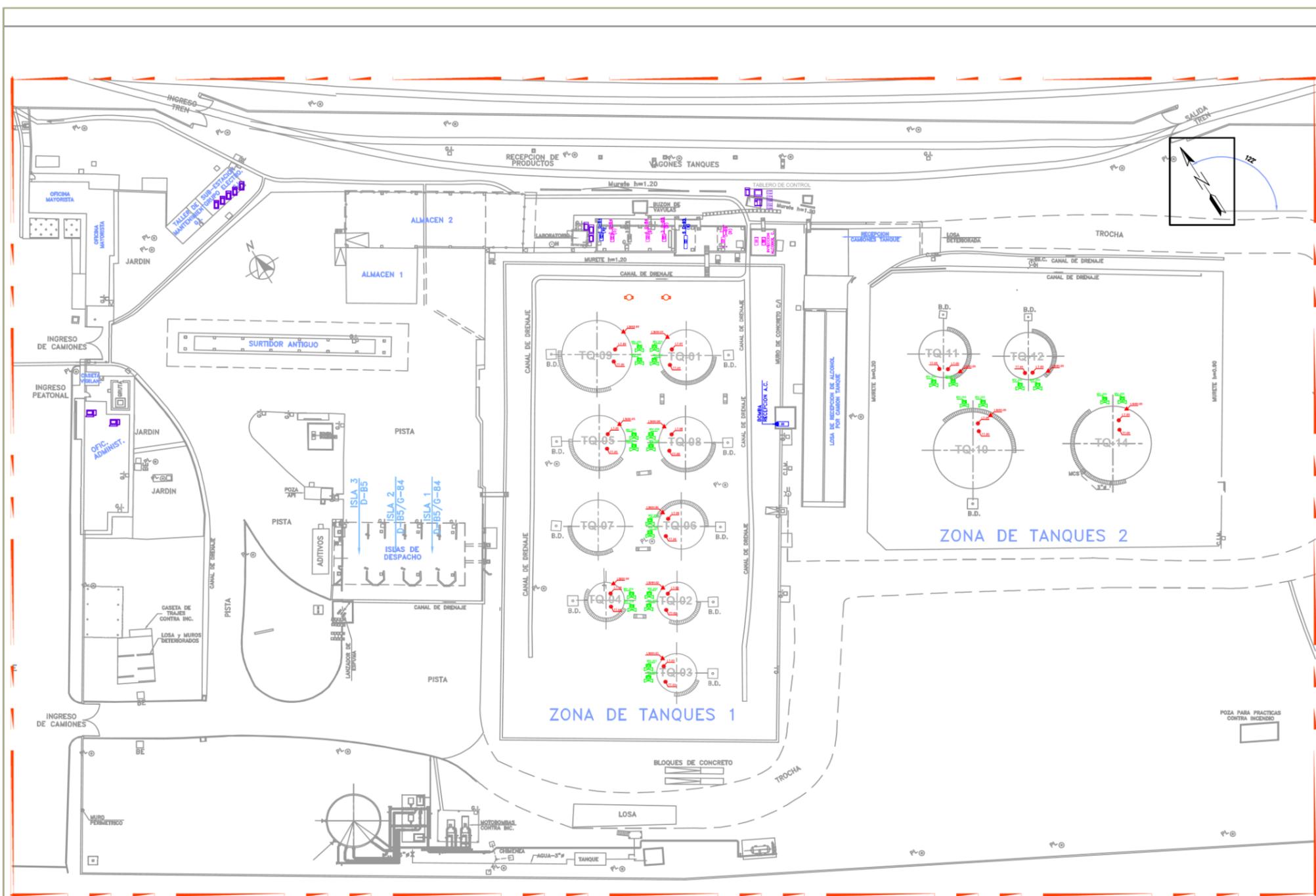


| | |
|--------------|----------------------------------|
| INSTALACIÓN: | TERMINAL DE ABASTECIMIENTO CUSCO |
| PROYECTO: | PROYECTO DE TESIS |
| PLANO: | DIAGRAMA P&ID |
| ESCALA: | CÓDIGO DEL PLANO: 002 |
| FECHA: | 10/11/2018 |
| REV: | 1 |

FORMAT. "A4"

ANEXO C.

**POSIBLE UBICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS Y
EQUIPOS EN LA PLANTA PETROPERÚ.**



| N° | PRODUCTO |
|-------|--------------------|
| TQ-01 | DIESEL B5 |
| TQ-02 | DIESEL B5 |
| TQ-03 | DIESEL B5 |
| TQ-04 | DIESEL B5 |
| TQ-05 | DIESEL B5 |
| TQ-06 | DIESEL B5 |
| TQ-07 | |
| TQ-08 | DIESEL B5 |
| TQ-09 | DIESEL B5 |
| TQ-10 | DIESEL B5 |
| TQ-11 | DIESEL B5 |
| TQ-12 | ALCOHOL CARBURANTE |
| TQ-14 | GASOLINA 84 |

-  Estación PC
-  Panel táctil
-  Controlador principal
-  Variador de velocidad
-  RTU
-  Válvula motorizada
-  Detector de nivel
-  Transmisor
-  Bomba de despacho
-  Bomba de recepción
-  Concentrador de señal

| INFORMACIÓN DEL CONTRATANTE | |
|-----------------------------|--|
| DIRECCIÓN OPERATIVA: | Quebrada Oscollopampa S/N, San Jerónimo Cusco, Cusco, Perú |
| COORDINADOR: | N° DE CONTRATO: |

| REVISIONES | | | | | |
|------------|-------------|----------|-----|-------|-------------|
| REV. | PROYECTISTA | APROBADO | CIP | FECHA | DESCRIPCIÓN |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

| PLANOS DE REFERENCIA | |
|----------------------|-------------|
| CÓDIGO DE PLANO | DESCRIPCIÓN |
| | |
| | |
| | |

| | |
|--|----------------------------|
| UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO | |
| DISEÑADO POR: R. QUISPE | DISEÑADO POR: R. QUISPE |
| REVISADO POR: | APROBADO POR: |



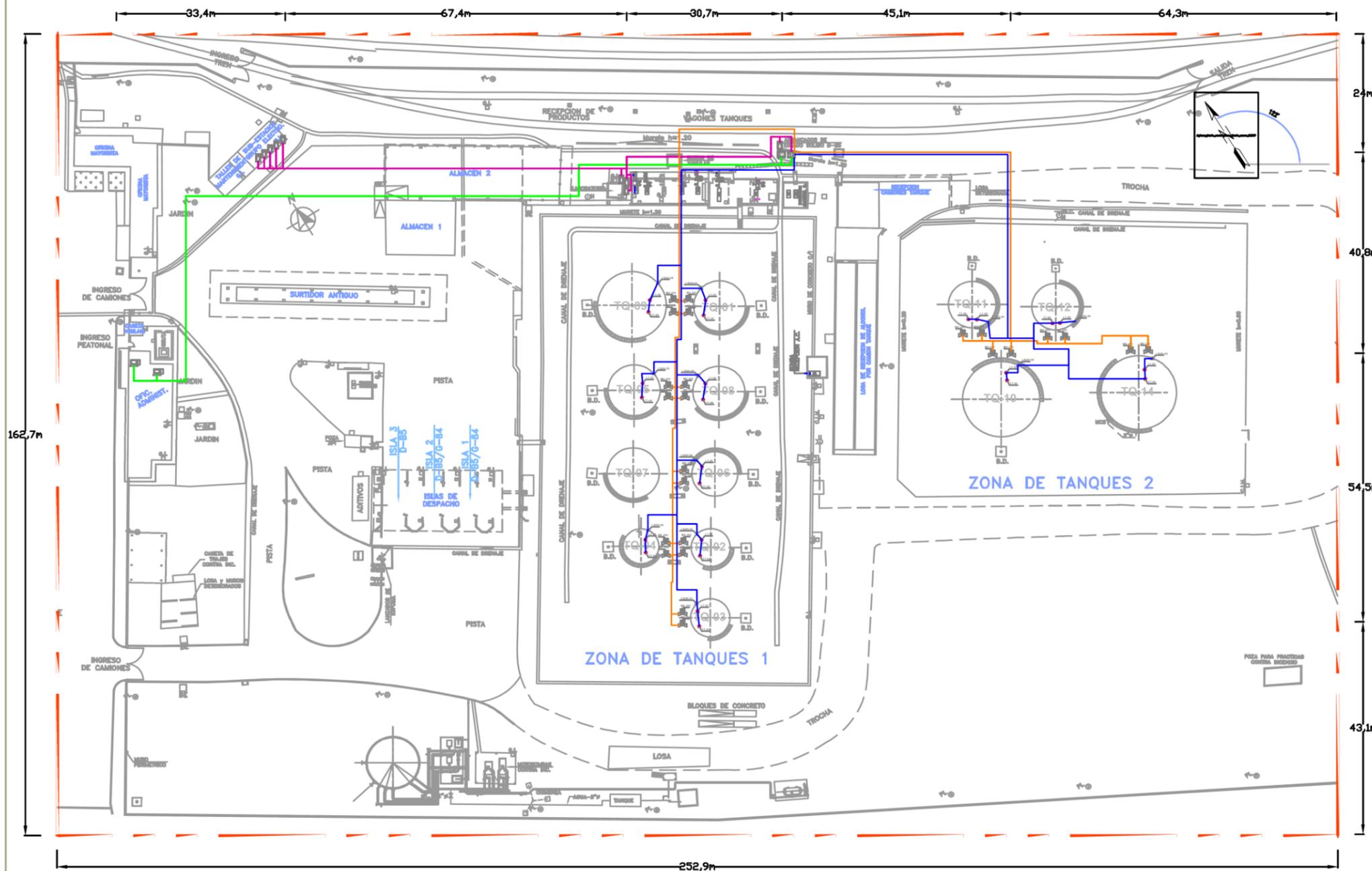
| | |
|--------------|--|
| INSTALACIÓN: | TERMINAL DE ABASTECIMIENTO CUSCO |
| PROYECTO: | PROYECTO DE TESIS |
| PLANO: | UBICACION DE EQUIPOS E INSTRUMENTACIÓN |
| ESCALA: | CÓDIGO DEL PLANO: 003 |
| FECHA: | 20/12/2018 |
| REV: | 1 |

FORMAT. "A4"

ANEXO D.

PLANIMETRÍA DE REDES DE LOS EQUIPOS E

INSTRUMENTOS.



| Nº | PRODUCTO |
|-------|--------------------|
| TQ-01 | DESEL B5 |
| TQ-02 | DESEL B5 |
| TQ-03 | DESEL B5 |
| TQ-04 | DESEL B5 |
| TQ-05 | DESEL B5 |
| TQ-06 | DESEL B5 |
| TQ-07 | |
| TQ-08 | DESEL B5 |
| TQ-09 | DESEL B5 |
| TQ-10 | DESEL B5 |
| TQ-11 | DESEL B5 |
| TQ-12 | ALCOHOL CARBURANTE |
| TQ-14 | GASOLINA B4 |

- Bus de electroválvulas
- Bus de instrumentos
- Red de superv. y control
- Bus de variadores de vel.

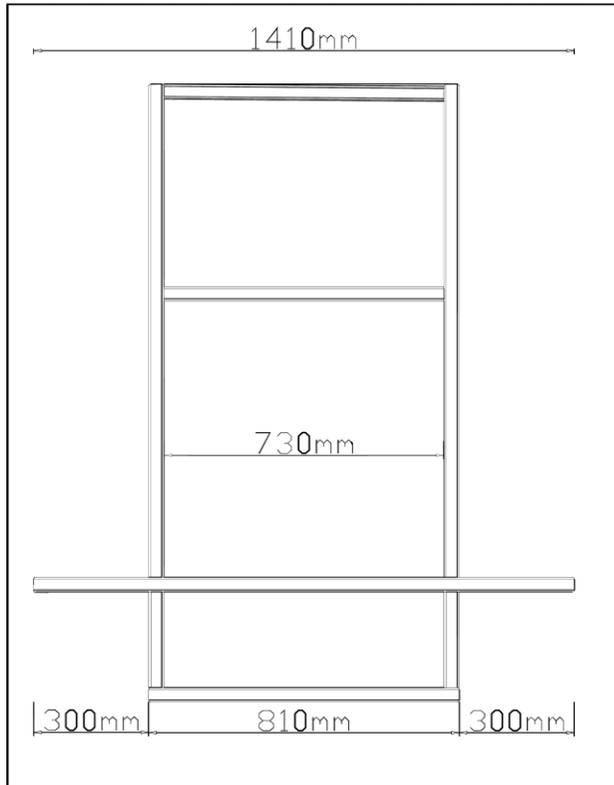
| INFORMACIÓN DEL CONTRATANTE | | REVISIONES | | | | | PLANOS DE REFERENCIA | | UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO | | INSTALACIÓN: TERMINAL DE ABASTECIMIENTO CUSCO | |
|--|-------------|------------|-----|-------|-------------|-----------------|----------------------|---------------|--|------------------------------|--|--|
| REV. | PROYECTISTA | APROBADO | CIP | FECHA | DESCRIPCIÓN | CÓDIGO DE PLANO | DESCRIPCIÓN | DIBUJADO POR: | DISERADO POR: | PROYECTO: PROYECTO DE TESIS | | |
| | | | | | | | | R. QUISPE | R. QUISPE | PLANO: REDES DE COMUNICACIÓN | | |
| DIRECCIÓN OPERATIVA: Quebrada Oscocotopampa S/N, San Jerónimo Cusco, Cusco, Perú | | | | | | | | | REVISADO POR: | | APROBADO POR: | |
| COORDINADOR: Nº DE CONTRATO: | | | | | | | | | | | ESCALA: CÓDIGO DEL PLANO: 004 FECHA: 25/10/2018 REV: 1 | |

FORMAT. "A4"

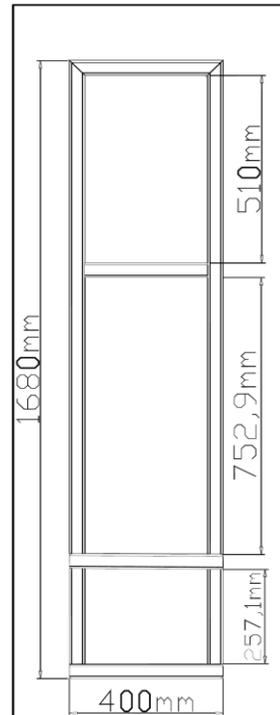
ANEXO E.

**DIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA DEL PROTOTIPO
DE PRUEBAS.**

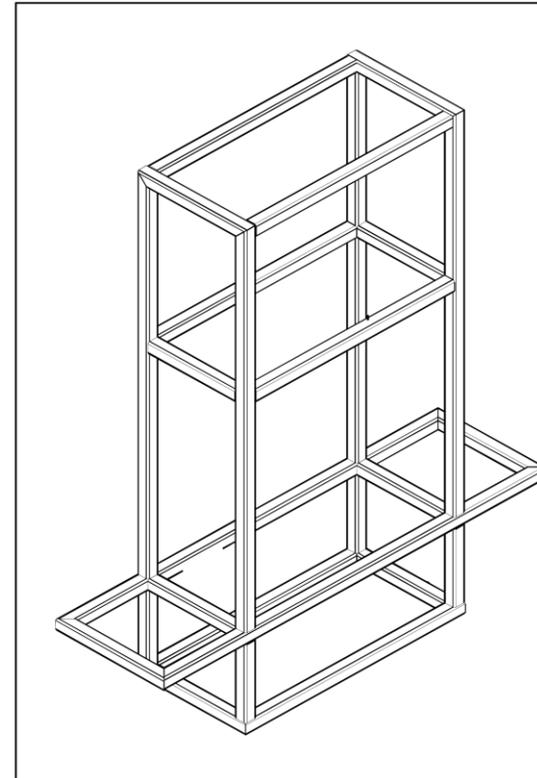
VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



VISTA 3D



| INFORMACIÓN DEL CONTRATANTE | | REVISIONES | | | | | PLANOS DE REFERENCIA | | UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO | | INSTALACIÓN: TERMINAL DE ABASTECIMIENTO CUSCO | |
|---|-----------------|------------|-------------|----------|-----|-------|----------------------|-----------------|--|---|---|---|
| | | REV. | PROYECTISTA | APROBADO | CIP | FECHA | DESCRIPCIÓN | CÓDIGO DE PLANO | DESCRIPCIÓN |  | | PROYECTO: PROYECTO DE TESIS |
| | | | | | | | | | | | | PLANO: DIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA DEL MÓDULO DE PRUEBAS |
| DIRECCIÓN OPERATIVA: Quebrada Coccolopampa S/N, San Jerónimo Cusco, Cusco, Perú | | | | | | | | | | REVISADO POR: R. QUISEP | APROBADO POR: R. QUISEP | BESCALA: CÓDIGO DEL PLANO: 005 |
| COORDINADOR: | Nº DE CONTRATO: | | | | | | | | | | | FECHA: 05/01/2019 |

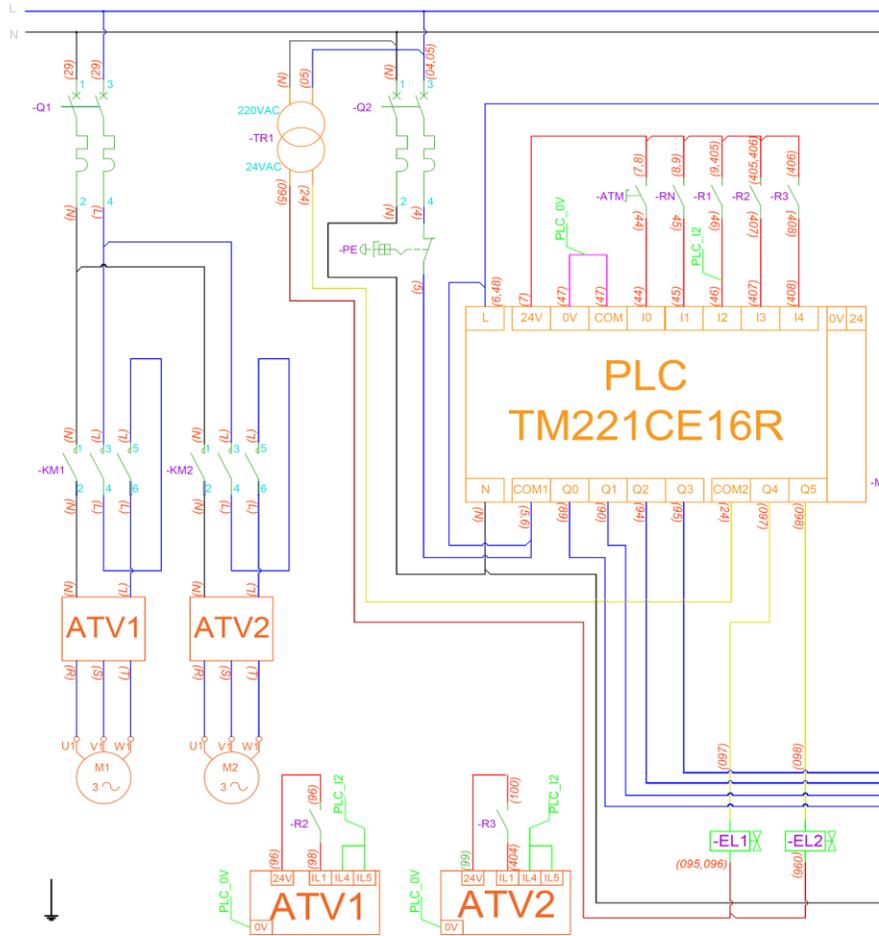
FORMAT: "A4"

ANEXO F.

**DIAGRAMA ELÉCTRICO DEL TABLERO DE CONTROL
DEL PROTOTIPO DE PRUEBAS.**

ETAPA DE FUERZA

ETAPA DE CONTROL



LEYENDA

| SIMBOLO | DESCRIPCIÓN | SIMBOLO | DESCRIPCIÓN |
|------------|--------------------------------|---------------|--------------------------|
| -Q1 | Interruptor Automático Fuerza | -MAN | Manual |
| -Q2 | Interruptor Automático Mando | -ATM | Automático |
| -KM1 | Contacto Motor 1 | -RN | Rele de Nivel |
| -KM2 | Contacto Motor 2 | -R4 | Rele accionamiento Nivel |
| ATV1, ATV2 | Variador de Frecuencia | -R1, -R2, -R3 | Reles auxiliares |
| -PLC | Controlador Logico Programable | -STOP | Parada |
| -PE | Parada de Emergencia | -START | Encendido |
| -TR1 | Transformador 220 - 24Vac | -HAZ | Piloto Sensor |
| -EL1, -EL2 | Electrovalvulas | -HV1, -HV2 | Piloto Encendido |
| | | -HR1, -HR2 | Piloto Fallo |

| INFORMACIÓN DEL CONTRATANTE | |
|-----------------------------|---|
| DIRECCIÓN OPERATIVA: | Quintana Occidentempas S.A. San Jerónimo Cusco, Cusco, Perú |
| COORDINADOR: | Nº DE CONTRATO: |

| REVISIONES | | | | | | |
|------------|-------------|----------|-----|-------|-------------|--|
| REV. | PROYECTISTA | APROBADO | CIP | FECHA | DESCRIPCIÓN | |
| | | | | | | |

| PLANOS DE REFERENCIA | |
|----------------------|-------------|
| CÓDIGO DE PLANO | DESCRIPCIÓN |
| | |

| | |
|--|----------------------------|
| UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO | |
| DESEÑADO POR: R. QUISPE | DESEÑADO POR: R. QUISPE |
| REVISADO POR: | APROBADO POR: |



| | |
|--------------|---|
| INSTRUCCIÓN: | TERMINAL DE ABASTECIMIENTO CUSCO |
| PROYECTO: | PROYECTO DE TESIS |
| PLANO: | DIAGRAMA ELÉCTRICO DEL TABLERO DE CONTROL |
| ESCALA: | CÓDIGO DEL PLANO: 005 |
| FECHA: | 10/01/2019 |
| PÁGINA: | 1 |

FORMAT: "A4"

ANEXO G.

CUADRO DE CARACTERÍSTICAS DE LOS BUSES DE

CAMPO.

| Nombre | Topología | Soporte | Máximo Dispositivo | Rate trans bps | Distancia Max Km | Comunicación |
|---------------------|---|---|--------------------------|------------------|------------------------|--|
| Profibus DP | línea, estrella, anillo | Par trenzado, Fibra óptica | 127/segm | hasta 1.5M y 12M | 0.1 segm 24fibra | Master/Slave, Peer to peer |
| Profibus PA | línea, estrella, anillo | Par trenzado, Fibra óptica | 14400/segm | 31.5K | 0.1 segm 24fibra | Master/Slave, Peer to peer |
| Profibus-FMS | | Par trenzado, Fibra óptica | 127/segm | 500K | | Master/Slave, Peer to peer |
| Foundation Fieldbus | estrella | Par trenzado, Fibra óptica | 240p/segm 32.768 sist | 100M | 0.1 par 2fibra | Single/multi master |
| LonWorks | Bus, anillo, estrella, lazo | Par trenzado, Fibra óptica, coaxial radio | 32768/dom | 500K | 2 | Master/Slave, Peer to peer |
| Interbus | Segmenta-do | Par trenzado, Fibra óptica | 256/nodos | 500K | 400/segm 12.8 total | Master/Slave |
| DeviceNet | Troncal/ puntual/ bifurcación | Par trenzado, Fibra óptica | 2018 nodos | 500K | 0.5 6c/repetid | Master/Slave, Multi-master, Peer to peer |
| ASI | bus, estrella, anillo, estrella | Par trenzado, Fibra óptica | 31 p/res | 167K | 0.1, 0.3 c/rep 24fibra | Master/Slave |
| Modbus | línea, estrella, árbol, red con segmentos | Par trenzado, Coaxial, radio | 1250 p/ segm | 1.2 a 115.2K | 0.35 | Master/Slave |
| Ethernet industrial | bus, estrella, malla, cadena | Coaxial, Par trenzado, Fibra óptica | 400p/segm | 10, 100M | 0.1 100 mono c/switch | Master/Slave Peer to peer |
| Hart | | Par trenzado | 15 p/segm | 1.2K | 0.1 segm 24fibra | Master/Slave |

ANEXO H.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS VÁLVULAS

TIPO COMPUERTA.

Class 150 • Outside Screw & Yoke • Flexible Wedge Disc

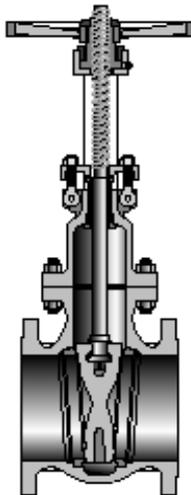


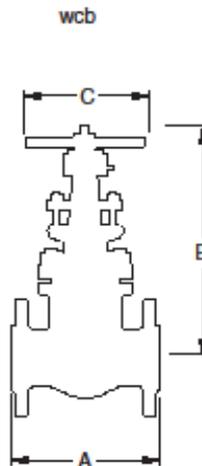
Figure 47
Flanged
Figure 47½
Butt Weld

Size Range:
2 through 24 inches
(50 - 600 mm)

Pressure Temperature Rating
Carbon Steel
ASTM A216 Grade WCB
285 psi @ -20°F to 100°F
(20 bar @ -28°C to 37°C)

Industry Standards

| | |
|-------------------------|--------------|
| Steel Valves | ASME B16.34 |
| Face-to-Face/End-to-End | ASME B16.10 |
| Flange Dimensions | ASME B16.5 |
| Weld End | ASME B.16.25 |
| Basic Design | API 600 |
| Testing | API 598 |



Material of Construction*

| Description | Material |
|-----------------|---|
| Body | WCB |
| Bonnet | WCB |
| Seat Rings | Hardfaced |
| Disc | CA-15 or 13% CR Overlay |
| Stem | 410 SS |
| Packing | Graphite |
| Bonnet Gasket | Corrugated Soft Steel or Steel/ Stainless Steel w/Graphite |
| Back Seat | 410 SS |
| Yoke Sleeve | D2 Ni-Resist |
| Retaining Nut | Malleable or Steel |
| Gland | Steel |
| Gland Flange | Steel |
| Eye Bolt | Steel |
| Eye Bolt Nuts | Steel |
| Pins | Steel |
| Bonnet Studs | A193 Gr. B7 |
| Bonnet Nuts | A194 Gr. 2H |
| Handwheel | Malleable, Ductile or Steel |
| Handwheel Nut | Ductile or Steel |
| I.D. Tags | SS |
| I.D. Pins | Steel |
| Spacer | Steel |
| Grease Fittings | Steel |

NOTES:
*Standard construction: WCB-Trim 8, other options are available.
Crane recommends the use of manual or powered gear assistance for sizes 8" and larger.

Dimensions and Weights

Inches (millimeters) - pounds (kilograms)

| Valves | 2 (50) | 2 ½ (65) | 3 (80) | 4 (100) | 6 (150) | 8 (200) | 10 (250) | 12 (300) | 14 (350) | 16 (400) | 18 (450) | 20 (500) | 24 (600) |
|--------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| A | 7.00 (178) | 7.50 (191) | 8.00 (203) | 9.00 (229) | 10.50 (267) | 11.50 (292) | 13.00 (330) | 14.00 (356) | 15.00 (381) | 16.00 (406) | 17.00 (432) | 18.00 (457) | 20.00 (508) |
| A (47½) | 8.50 (216) | 9.50 (241) | 11.12 (282) | 12.00 (305) | 15.88 (403) | 16.50 (419) | 18.00 (457) | 19.75 (502) | 22.50 (572) | 24.00 (610) | 26.00 (660) | 28.00 (711) | 32.00 (813) |
| B (Open) | 17 (432) | 17 (432) | 19 (483) | 23 (584) | 31 (787) | 39 (990) | 47 (1193) | 55 (1397) | 61 (1549) | 71 (1803) | 78 (1981) | 90 (2286) | 99 (2515) |
| C | 8 (203) | 8 (203) | 9 (229) | 10 (254) | 12 (305) | 14 (356) | 16 (406) | 18 (457) | 22 (559) | 24 (610) | 25 (635) | 27 (686) | 30 (762) |
| Wt. (47) | 49 (22) | 55 (25) | 74 (33) | 110 (50) | 192 (87) | 300 (136) | 420 (190) | 630 (285) | 905 (410) | 1260 (571) | 1590 (721) | 2580 (1170) | 3240 (1469) |
| Wt. (47½) | 45 (20) | 48 (21) | 67 (30) | 98 (44) | 180 (81) | 290 (131) | 430 (195) | 625 (283) | 910 (412) | 1260 (571) | 1590 (721) | 2580 (1170) | 3250 (1474) |

ANEXO I.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MEDIDOR DE

NIVEL.

Rosemount 5900S Medidor de nivel por radar

Medición de nivel de alto rendimiento para sistemas de medición en depósitos



- Obtener la mayor precisión certificada de transferencia de custodia para monitorización precisa de activos de líquidos a granel
- Conseguir la mayor seguridad con la capacidad IEC 61508 SIL 2 o SIL 3 certificada por terceros
- Permitir la medición redundante de nivel con funcionalidad innovadora 2 en 1
- Beneficiarse de la instalación conveniente y segura con fuente de alimentación de bus IS de 2 hilos
- Incluir transmisión de datos cableada y/o inalámbrica
- Medir en todos los tipos y productos de depósitos de almacenamiento a granel, desde gases licuados, productos livianos, petróleo crudo y bitumen.

ROSEMOUNT

EMERSON
Process Management

Especificaciones

Precisión de los instrumentos⁽¹⁾

±0,5 mm (0,020 pulg.)

Estabilidad de temperatura

Generalmente $\leq \pm 0,5$ mm (0,020 pulg.) entre -40 y 70 °C (-40 y 158 °F)

Fieldbus (estándar)

FOUNDATION™ fieldbus FISCO (Tankbus)

Tiempo de actualización

Medición nueva cada 0,3 seg

Repetibilidad

0,2 mm (0,008 in.)

Velocidad de nivel máxima

Hasta 200 mm/seg

Posibilidad de sellado metrológico

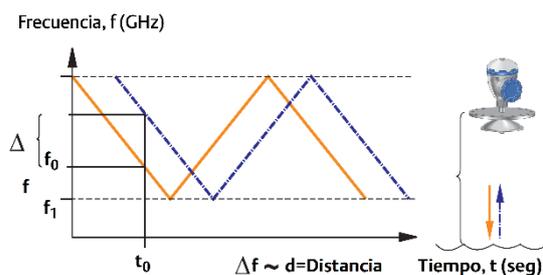
Sí

Consideraciones de instalación

Consultar el manual de referencia del Rosemount 5900S

Principio teórico de medición

El método de onda continua de frecuencia modulada (FMCW, Frequency Modulated Continuous Wave) significa que la señal de radar transmitida tiene una variación de frecuencia lineal de aproximadamente 10 GHz. El reflejo de la superficie del líquido tiene una frecuencia ligeramente diferente en comparación con la señal transmitida por la antena cuando se recibe el reflejo. La diferencia de frecuencia es directamente proporcional a la distancia entre la antena y la superficie del líquido, y, por lo tanto, también el nivel del líquido. Esta tecnología permite obtener un valor de medición muy preciso y estable.



El método FMCW se basa en un barrido de radar con frecuencia variable.

Comunicación/pantalla/configuración

Variables y unidades de salida

- Nivel y capacidad disponible: metro, centímetro, milímetro, pie o pulgada
- Velocidad de nivel: metro/segundo, metro/hora, pie/segundo, pie/hora, pulgada/minuto
- Intensidad de la señal: mV

Herramientas de configuración

Rosemount TankMaster WinSetup, comunicador de campo

Características FOUNDATION™ fieldbus

Sensibilidad a la polaridad

No

Consumo de corriente inactivo

51 mA

Voltaje inicial mínimo

9,0 VCC

Capacitancia/inductancia del dispositivo

Consultar la certificación del producto en la [página 23](#)

Clase (Basic o Link Master)

Link Master (LAS)

Cantidad de VCR disponibles

20 como máximo, incluida una fija

Enlaces

40 como máximo

Tiempo mínimo de espera para retransmisión después de una colisión/retraso máximo de respuesta/retraso máximo entre mensajes

8/5/8

(1) La precisión de los instrumentos está bajo condiciones de referencia. Las condiciones de referencia son las siguientes: medición en banco de pruebas en Rosemount Tank Radar AB (Gotemburgo, Suecia). El banco de pruebas se calibra como mínimo una vez al año en un laboratorio certificado (Instituto de Investigación Técnica SP de Suecia). El rango de medición máximo es de 30 m (98 pies). La temperatura y la humedad ambiente está cercana a valores constantes durante las pruebas. La incertidumbre total en el banco de pruebas está por debajo de 0,15 mm (0,006 pulg.).

Bloques y tiempo de ejecución

1 bloque de recursos.
 5 bloques de transductores (nivel, registro, configuración avanzada, volumen y gas licuado de petróleo).
 6 bloques de entrada analógica (AI): 10 ms, 2 bloques de salida analógica (AO): 10 ms.
 1 bloque funcional proporcional/integral/derivativo (PID): 15 ms
 1 bloque caracterizador de señales (SGCR): 10 ms, 1 bloque integrador (INT): 10 ms.
 1 bloque aritmético (ARTH): 10 ms, 1 bloque selector de entrada (ISEL): 10 ms.
 1 bloque selector de control (CS): 10 ms, 1 bloque divisor de salida (AO): 10 ms.
 Para obtener información adicional, consultar el manual de bloques FOUNDATION™ fieldbus (número de documento 00809-0100-4783).

Ejemplificación

Sí

Según FOUNDATION™ fieldbus

ITK 5.2

Compatibilidad con alertas PlantWeb

Sí

Asistentes de compatibilidad de acciones

Reiniciar medición, protección contra escritura del dispositivo, reinicio - configuración de medición de fábrica, iniciar/detener simulación de dispositivo, configurar como superficie, reiniciar estadísticas, cambiar todos los modo, registrar/eliminar eco falso, actualizar picos de eco, verificación de pines, cambiar presión de vapor, cambiar temperatura de vapor.

Diagnósticos avanzados

Software, memoria/base de datos, el sistema electrónico, comunicaciones internas, simulación, corrección de nivel, medición de nivel, temperatura ambiente, corrección de presión/temperatura de vapor, pin de verificación de gas licuado de petróleo y valores de medición manuales.

Eléctricas

Cableado de Tankbus

0,5-1,5 mm² (AWG 22-16), pares trenzados apantallados

Fuente de alimentación

FISCO: 9,0 - 17,5 V CC no sensible a polaridad (por ejemplo, del concentrador de depósitos 2410)
 Entidad: 9,0 - 30,0 V CC no sensible a polaridad

Consumo de corriente de bus

50 mA (100 mA para la versión 2 en 1)

Potencia de salida de microondas

< 1 mW

Mecánicas

Material y tratamiento de superficie de la carcasa

Aluminio fundido con revestimiento de poliuretano

Entrada de cables (conexión/prensaestopas)

Dos entradas de 1/2 - 14 NPT para prensaestopas o conductos. Junto con la entrega del transmisor se adjunta un tapón de metal para sellar todos los puertos no utilizados.

Opcional:

- Adaptador de conducto/cable M20 x 1,5
- Prensaestopas del cable en metal (1/2 - 14 NPT)
- Conector Eurofast macho de 4 pines o conector Minifast macho de 4 pines tamaño A

Peso total

- Cabezal del transmisor 5900S: 5,1 kg (11,2 lbs) para la versión individual y 5,4 kg (11,9 lbs) para la versión 2 en 1
- 5900S con antena de bocina: Aprox. 12 kg (26 lbs)
- 5900S con antena parabólica: Aprox. 17 kg (37 lbs)
- 5900S con antena direccional de tubo tranquilizador: Aprox. 13,5-24 kg (30-53 lbs)
- 5900S con antena para gas licuado de petróleo/gas natural licuado: Aprox. 30 kg (66 lbs) para 6 pulg. 150 psi, y 40 kg (88 lbs) para 6 pulg. 300 psi

Antenas

Las antenas de 5900S poseen un diseño de goteo que en algunas versiones también incluye superficies inclinadas de teflón (PTFE) pulido. Se minimiza la condensación en la antena y la señal del radar conserva su potencia. Esto permite una operación sin mantenimiento, además de alta precisión y fiabilidad. Siempre hay una antena adecuada para cada tipo de depósito, abertura de depósito y aplicación.

Cabezal del transmisor

Se usa el mismo cabezal del transmisor para todos los tipos de antena de 5900S, lo que minimiza los requisitos de piezas de repuesto:

- El alojamiento del transmisor de compartimento doble, con sistema electrónico y cableado separados, se puede reemplazar sin abrir el depósito
- Está protegido contra rayos y humedad/lluvia, además de contar con una protección superficial contra sulfuro y atmósferas de niebla salina
- El sistema electrónico consiste en dos unidades encapsuladas. La solución 2 en 1 tiene unidades de electrónica duplicadas, aisladas galvánicamente en el mismo alojamiento

Para conseguir la mayor precisión, el 5900S tiene un ajuste en línea de la frecuencia del transmisor. Usa un oscilador de cristal para controlar la frecuencia de salida. Esta es una de las razones por las que no es necesario volver a calibrar el medidor.

Entorno

Temperatura ambiental operativa

-40 a 70 °C (-40 a 158 °F). La temperatura de inicio mínima es -50 °C (-58 °F)

Temperatura de almacenamiento

-50 a +85 °C (-58 a +185 °F)

Humedad

Humedad relativa del 0-100%

Protección contra ingreso

IP 66/67 y Nema 4X

Resistencia a las vibraciones

IEC 60770-1 nivel 1 e IACS UR E10 prueba 7

Telecomunicaciones

Cumple con:

- FCC 15B clase A y 15C
- R&TTE (directiva EU 99/5/EC) ETSI EN 302372; EN 50371
- IC (RSS210-5)

Compatibilidad electromagnética

- EMC (directiva EU 2004/108/EC) EN 61326-1; EN 61326-3-1
- OIML R85:2008

Protección contra transientes/rayos integrada

Según IEC 61000-4-5, línea de 2 kV nivelada con la tierra. Cumple con la protección contra transientes de IEEE 587 categoría B y la protección contra sobrecorriente de IEEE 472.

Directiva para equipo a presión (PED)

97/23/EC

Directiva de bajo voltaje (LVD)

LVD (directiva EU 2006/95/EC) EN/IEC 61010-1

5900S versión estándar

Terminador Tankbus integrado

Sí (debe conectarse si es necesario)

Posibilidad de cadena tipo margarita

Sí

5900S, versión 2 en 1

Precisión de los instrumentos⁽¹⁾

± 0,5 mm (0,020 pulg.)⁽²⁾

Separación

Electrónicas del medidor separadas galvánicamente, y antena compartida para las dos unidades

Cableado

Separado o común

Conexión al concentrador de depósitos

- Conexión de ambas unidades a un concentrador, o
- Conexión separada de las unidades a dos concentradores distintos

Terminador Tankbus integrado

Conexión Tankbus individual: Sí (debe conectarse si es necesario). Conexión Tankbus doble: Es posible terminar el Tankbus primario.

Posibilidad de cadena tipo margarita

Sí

5900S, versión SIL

Separación

Electrónicas del medidor separadas galvánicamente, y antena compartida para la versión SIL 3

Terminador Tankbus integrado

No

Posibilidad de cadena tipo margarita

Sí

Propiedades eléctricas para señal de alarma intrínsecamente segura

12,5 V CC, 1-2 mA para condiciones normales (sin alarma)

Cableado

- Cable de 2 hilos por separado adicional para la alarma o
- Un solo cable que incorpore dos cables de 2 hilos (alarma y nivel)

Para conocer la especificación de cable, consultar la [página 19](#).

(1) La precisión de los instrumentos está bajo condiciones de referencia. Las condiciones de referencia son las siguientes: medición en banco de pruebas en Rosemount Tank Radar AB (Gotemburgo, Suecia). El banco de pruebas se calibra como mínimo una vez al año en un laboratorio certificado (Instituto de Investigación Técnica SP de Suecia). El rango de medición máximo es de 30 m (98 pies). La temperatura y la humedad ambiente está cercana a valores constantes durante las pruebas. La incertidumbre total en el banco de pruebas está por debajo de 0,15 mm (0,006 pulg.).

(2) Se puede esperar alguna degradación de la precisión en la unidad secundaria.

5900S con antena parabólica

Temperatura operativa en el depósito

Máx. 230 °C (445 °F)

Rango de medición

0,8 a 30 m (2,6 a 100 pies) por debajo de la brida. Posibilidad de medir entre 0,5 y 50 m (1,6 a 164 pies). Es posible que se reduzca la precisión. Para acceder a un rango de medición más amplio, consultar al representante local.

Rango de presión

Roscada/con abrazadera: -0,2 a 0,2 bar (-2,9 a 2,9 psig)
Soldado: -0,2 a 10 bar (-2,9 a 145 psig)

Material expuesto a la atmósfera del depósito

Antena: material según AISI 316/316L y EN 1.4401/1.4404.
Sellado: (PTFE)
Junta tórica: fluoropolímero FEP

Dimensión de la antena

440 mm (17 pulg.)

Tamaño e instalación de la escotilla de acceso

Abertura de 500 mm (20 pulg.).

La antena parabólica está instalada en la cubierta de la escotilla de acceso con la válvula de bola con brida. Está diseñada para un fácil ajuste de la inclinación y orientación de la antena dentro de los límites especificados.

La válvula de bola con brida flexible puede instalarse en las escotillas de acceso tanto horizontal como inclinada sin ningún arreglo especial.

5900S con antena de bocina

Temperatura operativa en el depósito

Máx. 230 °C (445 °F)

Rango de medición

0,8 a 20 m (2,6 a 65 pies) por debajo de la brida. Posibilidad de medir entre 0,5 y 30 m (1,6 a 100 pies). Es posible que se reduzca la precisión.

Rango de presión

-0,2 a 2 bar (-2,9 a 29 psig)

Material expuesto a la atmósfera del depósito

Antena y brida: material según AISI 316/316L y EN 1.4401/1.4404.
Sellado: (PTFE)
Junta tórica: Fluoroelastómero de Viton®

Dimensión de la antena

175 mm (7 pulg.)

Diámetro de la boquilla

Mínimo 200 mm (8 pulg.)

Conexión al depósito

La brida puede ser horizontal o inclinada 4° para una instalación cercana a la pared del depósito.

La brida horizontal se usa cuando se requiere la mayor precisión y la mayor fiabilidad. La versión inclinada 4° se puede usar para mantener una alta precisión cuando el medidor se instala cerca de la pared del depósito.

5900S con antena direccional de tubo tranquilizador

Temperatura operativa en el depósito

-40 a 120 °C (-40 a 248 °F)

Rango de medición

0,8 a 30 m (2,6 a 100 pies) por debajo de la brida.
Posibilidad de medir entre 0,5 y 40 m (1,6 a 130 pies). Es posible que se reduzca la precisión. Para acceder a un rango de medición más amplio, consultar al representante local.

Rango de presión

Versión fija: -0,2 a 2 bar (-2,9 a 29 psig) a 20 °C (68 °F).
Versión de escotilla con bisagra: -0,2 a 0,5 bar (-2,9 a 7,2 psig) para tubos de 5 a 8 pulg.
-0,2 a 0,25 bar (-2,9 a 3,6 psig) para tubos de 10 y 12 pulg.

Material expuesto a la atmósfera del depósito

Antena: Sulfuro de polifenileno (PPS)
Sellado: (PTFE)
Junta tórica: Fluorosilicona
Brida: material según ANSI 316/316L y EN 1.4401/1.4404

Dimensiones del tubo tranquilizador

5, 6, 8, 10 o 12 pulg.

Conexión al depósito

Patrón de orificios de 5 pulg. según ANSI 5 pulg. Clase 150
Patrón de orificios de 6 pulg. según ANSI 6 pulg.
Clase 150 / DN 150 PN 16
Patrón de orificios de 8 pulg. según ANSI 8 pulg.
Clase 150 / DN 200 PN 10
Patrón de orificios de 10 pulg. según ANSI 10 pulg.
Clase 150 / DN 250 PN 16
Patrón de orificios de 12 pulg. según ANSI 12 pulg. Clase 150

Modo de baja pérdida

Para obtener la precisión requerida para aplicaciones de almacenamiento de líquidos a granel para transferencia de custodia, la antena usa tecnología de modo de baja pérdida, inventada para los productos Rosemount para medición en depósitos, para transmitir ondas de radar en el centro del tubo tranquilizador.

Esta casi elimina la degradación de la precisión de la señal que se debe al óxido y a los depósitos de producto dentro del tubo tranquilizador.

5900S con antena para gas licuado de petróleo/gas natural licuado

Temperatura operativa en la válvula de bola

-55 a 90 °C (-67 a 194 °F)

Temperatura operativa en el depósito

-170 a 90 °C (-274 a 194 °F)

Rango de medición

1,2 a 30 m (3,9 a 100 pies) por debajo de la brida.
Posibilidad de medir entre 0,8 y 60 m (2,6 a 200 pies). Es posible que se reduzca la precisión. Para acceder a un rango de medición más amplio, consultar al representante local.

Rango de presión

-1 a 25 bar (-14,5 a 365 psig).
¡Nota! Es posible que las bridas tengan una presión nominal más alta que 25 bar, pero la presión máxima del tanque seguirá siendo 25 bar.

Sensor de presión (opción)

Rosemount 2051. Está disponible con distintas certificaciones para ubicaciones peligrosas (consultar la [página 25](#)). Para obtener más información, consultar la hoja de datos de producto 2051 (número de documento 00813-0100-4101).

Material expuesto a la atmósfera del depósito

Antena y brida: material según ANSI 316/316L y EN 1.4401/1.4404.
Sellado: Cuarzo y teflón

Compatibilidad de las dimensiones del tubo tranquilizador

Opciones de antena para dimensiones de tubo tranquilizador de 4 pulg. calibre 10, 4 pulg. calibre 40, o 100 mm (diámetro interno de 99 mm).

Tamaño y clasificación de bridas

4 pulg., clase 150/300
6 pulg., clase 150/300
8 pulg., clase 150/300

Sello de presión

El sello de presión incluye una función de doble bloque, que consta de una ventana de cuarzo/cerámica y una válvula de bola a prueba de fuego. Un sensor de presión permite la corrección que se debe al vapor, para obtener el rendimiento de medición óptimo.

Posibilidad de verificación

Una función del dispositivo de referencia patentada permite verificar la medición con el depósito en funcionamiento. Un pin de verificación montado en el orificio de un tubo tranquilizador y una placa deflectora con un anillo de verificación en el extremo inferior del tubo tranquilizador ofrecen ecos de referencia a distancias fijas predefinidas.

Certificaciones del producto

Certificación de precisión OIML R85:2008

El certificado de metrología OIML, emitido por el Instituto de Investigación Técnica SP de Suecia, abarca el sistema de medición en depósitos Rosemount, incluyendo los medidores de nivel equipados con antenas distintas.
El número de certificado es R85/2008-SE-11.01.



Aprobaciones metrológicas nacionales

Se tienen disponibles otras certificaciones nacionales legales de transferencia de custodia como PTB, NMI, etc (consultar "Información para hacer pedidos" en la página 4).

Marca CE

93/68/EEC: cumple con las directivas EU correspondientes (EMC, ATEX, LVD y R&TTE). Se basa en los efectos de emisión baja de los indicadores (por debajo de 0,1 mW) a comparación de los límites establecidos por Rec. 1999/519/EC, sin que sean necesarias medidas adicionales.

Certificación para áreas ordinarias

Cumple con FM 3810:2005 y CSA: C22.2 N° 1010.1

Certificación SIL

El certificado de seguridad SIL, emitido por Exida en Suiza, incluye el canal de alarma SIL dentro del medidor de nivel por radar 5900S y el concentrador de depósitos 2410. Ambas unidades son compatibles con SIL 2 y SIL 3 según IEC 61508, partes 1-7.

El número de certificación es Rosemount 091243 P0017 C001.



Certificación German WHG

La certificación para el indicador de nivel por radar 5900S y el concentrador de depósitos 2410 está a cargo de DIBt (Deutsches Institut für Bautechnik), según las regulaciones de German WHG para prevención de sobrellenado. Se basa en la evaluación técnica y las pruebas realizadas por TÜV NORD CERT GmbH.

El número de certificación es Z-65.16-500.



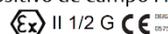
Certificaciones de áreas peligrosas

Información sobre la directiva europea ATEX

Número de certificado de examen tipo EC: FM09ATEX0057X
Plano de control: 9240 040-917

I1⁽¹⁾ Intrínsecamente segura:

Dispositivo de campo FISCO:



Ex ia IIC T4 (-50 °C < T_a < 80 °C)

Para cada canal: U_i=17,5 V CC, I_i=380 mA, P_i=5,32 W,
C_i=1,1 nF, L_i=1,5 µH

Entidad:



Ex ia IIC T4 (-50 °C < T_a < 80 °C)

Para cada canal: U_i=30 V CC, I_i=300 mA, P_i=1,3 W,
C_i=1,1 nF, L_i=1,5 µH

CONDICIONES ESPECIALES PARA USO SEGURO (X)

1. La cubierta contiene aluminio y se considera que presenta un riesgo potencial de ignición por el impacto o la fricción. Debe tener cuidado durante la instalación y el uso para evitar el impacto o la fricción.
2. Las antenas parabólicas y direccionales con superficies plásticas y la superficie pintada del alojamiento pueden, en ciertas condiciones extremas, generar un nivel de carga electrostática susceptible de ignición para aplicaciones de IIC. Por tanto, cuando estas antenas se utilicen en una ubicación categoría 1G, grupo IIC, deben adoptarse las medidas adecuadas para evitar descargas electrostáticas.
3. Notación de la categoría 1/2: El indicador de nivel por radar Rosemount 5900 fue evaluado para que pueda conectarse a un aparato asociado con [ib] para restringir la instalación del sistema electrónico a una ubicación de Zona 1, al tiempo que se permite el ingreso de la antena a una ubicación de Zona 0.

(1) Código de información para hacer pedidos para certificaciones de áreas peligrosas.

Certificación US Factory Mutual (FM-US)

Certificado de cumplimiento: 3035466
Plano de control: 9240 040-917

I5⁽¹⁾ Intrínsecamente seguro

Dispositivo de campo FISCO:
Intrínsecamente seguro para las clases I, II, III, división 1,
grupos A, B, C, D, E, F y G
Clase I, zona 0/1 AEx ia IIC

Para cada canal: $U_i=17,5$ V CC, $I_i=380$ mA, $P_i=5,32$ W,
 $C_i=1,1$ nF, $L_i=1,5$ μ H

Entidad:
Intrínsecamente seguro para las clases I, II, III, división 1,
grupos A, B, C, D, E, F y G
Clase I, zona 0/1 AEx ia IIC

Para cada canal: $U_i=30$ V CC, $I_i=300$ mA, $P_i=1,3$ W,
 $C_i=1,1$ nF, $L_i=1,5$ μ H
A prueba de polvos combustibles para las clases II/III,
división 1, grupos E, F, y G
Código de temperatura T4
Límites de temperatura ambiental: -50 a +80 °C

CONDICIONES ESPECIALES DE USO

1. Las antenas parabólicas y direccionales con superficies plásticas y la superficie del alojamiento pintado pueden, en ciertas condiciones extremas, generar un nivel de carga electrostática susceptible de ignición. Deben tomarse las medidas apropiadas para evitar descargas electrostáticas.
2. Notación de clase 1, zona 0/1: Para la instalación en ubicaciones de zonas clasificadas, el indicador de nivel por radar Rosemount 5900 fue evaluado para que pueda conectarse a un aparato asociado con [ib] para restringir la instalación del sistema electrónico a una ubicación de Zona 1, al tiempo que se permite el ingreso de la antena a una ubicación de Zona 0.

Certificación Canadian Factory Mutual (FM-C)

Certificado de cumplimiento: 3035466C
Plano de control: 9240 040-917

I6⁽¹⁾ Intrínsecamente seguro

Dispositivo de campo FISCO:
Intrínsecamente seguro para las clases I, II y III, división 1,
grupos A, B, C, D, E, F y G.
Ex ia IIC
Para cada canal: $U_i=17,5$ V CC, $I_i=380$ mA, $P_i=5,32$ W,
 $C_i=1,1$ nF, $L_i=1,5$ μ H

Entidad:
Intrínsecamente seguro para las clases I, II y III, división 1,
grupos A, B, C, D, E, F y G.
Ex ia IIC
Para cada canal: $U_i=30$ V CC, $I_i=300$ mA, $P_i=1,3$ W,
 $C_i=1,1$ nF, $L_i=1,5$ μ H
A prueba de polvos combustibles para las clases II/III,
división 1, grupos E, F, y G
Código de temperatura T4
Límites de temperatura ambiental: -50 a +80 °C

CONDICIONES ESPECIALES DE USO

1. Las antenas parabólicas y direccionales con superficies plásticas y la superficie del alojamiento pintado pueden, en ciertas condiciones extremas, generar un nivel de electrostática susceptible de ignición. Deben tomarse las medidas apropiadas para evitar descargas electrostáticas.

Certificación IECEx

Certificación de número de conformidad: IECEx FMG 09.0009X
Plano de control: 9240 040-917

I7⁽¹⁾ Intrínsecamente seguro

Dispositivo de campo FISCO:
Ex ia IIC T4 Ga/Gb (-50 °C < T_a < 80 °C)
Para cada canal: $U_i=17,5$ V CC, $I_i=380$ mA, $P_i=5,32$ W,
 $C_i=1,1$ nF, $L_i=1,5$ μ H

Entidad:
Ex ia IIC T4 Ga/Gb (-50 °C < T_a < 80 °C)
Para cada canal: $U_i=30$ V CC, $I_i=300$ mA, $P_i=1,3$ W,
 $C_i=1,1$ nF, $L_i=1,5$ μ H

(1) Código de información para hacer pedidos para certificaciones de áreas peligrosas.

ANEXO J.
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL INTERRUPTOR DE
NIVEL.

Interruptor de nivel vibratorio tipo horquilla Rosemount 2120

- Su función prácticamente no se ve afectada por el caudal, burbujas, turbulencias, espuma, vibración, contenido de sólidos, revestimientos, propiedades del líquido y variaciones del producto
- No necesita calibración y requiere un procedimiento mínimo de instalación
- Ofrece fácil acceso a los terminales, es insensible a la polaridad y tiene protección contra cortocircuitos
- No tiene piezas móviles ni grietas, lo que significa que no necesita mantenimiento
- Autocomprobación y monitorización electrónicas de la condición operativa del equipo – El LED destellante proporciona el estatus e información de la condición operativa
- Retardo de conmutación ajustable para aplicaciones con turbulencias o salpicaduras
- El punto de prueba magnético hace fácil una comprobación de su funcionamiento
- Pequeño en tamaño y peso
- El diseño tipo “goteo rápido” de la horquilla proporciona una respuesta más rápida, especialmente en líquidos viscosos
- Opciones antideflagrantes / incombustibles e intrínsecamente seguras
- SIL 2 del IEC 61508
- Protección contra sobrellenado DIBt/WHG



Contenido

| | |
|---|-----------|
| Rendimiento fiable... en aplicaciones problemáticas | página 2 |
| Rosemount 2120 Interruptor de nivel vibratorio tipo horquilla | página 4 |
| Especificaciones | página 9 |
| certificaciones del producto | página 11 |
| Planos dimensionales | página 13 |

Especificaciones

Características físicas

Producto

Interrupor de nivel vibratorio tipo horquilla
Rosemount 2120

Principio de medición

Horquilla vibratoria

Aplicaciones

La mayoría de los líquidos incluyendo líquidos de recubrimiento, líquidos aerados y lechadas

Características mecánicas

Carcasa y encapsulado

| Código de la carcasa | A | D | X | Y | S | T |
|---------------------------|------------------------------|---------------|--|---------------|--------------------------------|---------------|
| Material de la carcasa | Nylon PA66 30 % GF | | Aleación de aluminio ASTM B26 356-T6 o LM25 TF | | Acero inoxidable 316C12 | |
| Pintura de la carcasa | No corresponde | | Recubrimiento de polvo de poliuretano | | No corresponde | |
| Ventana del LED | Polimetil metacrilato (PMMA) | | Ninguno | | Ninguno | |
| Entrada de conducto | M20 | 1/2 pulg. NPT | M20 | 3/4 pulg. NPT | M20 | 3/4 pulg. NPT |
| Protección contra ingreso | IP66/67 según EN60529 | | IP66/67 según EN60529, tipo 4X | | IP66/67 según EN60529, tipo 4X | |

Conexiones

Consultar el Tamaño/tipo de conexión al proceso en la página 4

Longitudes extendidas

La máxima longitud extendida es 3000 mm (118,1 pulg.), excepto para el modelo pulido a mano, en el que está limitada a 1000 mm (39,4 pulg.)

Material del proceso

Acero inoxidable 316/316L (1.4401/1.4404 con doble certificación), Aleación C (UNS N10002), Aleación C-276 (UNS N10276), o Acero inoxidable 316/316L (1.4401/1.4404 con doble certificación) recubierto de copolímero ECTFE/PFA

Hay disponible la opción de pulido a mano mejor que 0,4 µm para conexiones sanitarias.

El material de empaquetadura para 3/4 pulg. y 1 pulg. BSPP (G) es fibra de carbono sin asbestos BS7531 grado X con cubierta de goma

Planos dimensionales

Consultar la Planos dimensionales en la página 13

Funcionamiento

Histéresis (agua)

±1 mm (±0,039 pulg.) nominal

Punto de conmutación (agua)

13 mm (0,5 pulg.) desde la punta (vertical) / desde el borde (horizontal) de la horquilla (esto variará con diferentes densidades de líquido)

Características funcionales

Presión operativa máxima

La clasificación final depende de la conexión al proceso seleccionada.

Conexión roscada

Consultar la Figura 1 para las presiones operativas.

NOTA:

Los prensaestopas de abrazadera (02120-2000-0001 y 02120-2000-0002 de la página 8) limitan la presión máxima a 1,3 bar g (18,85 psig)

Conexión sanitaria

30 bar g (435 psig)

Conexión bridada

Consultar la Figura 1 o la Tabla 3 (la que sea menor)

FIGURA 1. Presión del proceso

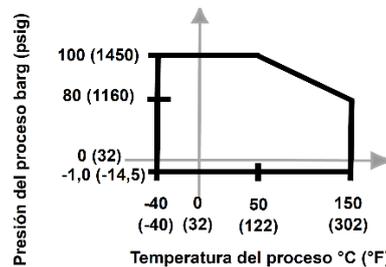


TABLA 3. Presión nominal máxima de la brida

| Estándar | Clase / valor nominal | Bridas de acero inoxidable |
|------------|-----------------------|----------------------------|
| ASME B16.5 | Clase 150 | 275 psig ⁽¹⁾ |
| ASME B16.5 | Clase 300 | 720 psig ⁽¹⁾ |
| ASME B16.5 | Clase 600 | 1440 psig ⁽¹⁾ |
| EN1092-1 | PN 10/16 | 10/16 barg ⁽²⁾ |
| EN1092-1 | PN 25/40 | 25/40 barg ⁽²⁾ |
| EN1092-1 | PN 63 | 63 barg ⁽²⁾ |
| EN1092-1 | PN 100 | 100 barg ⁽²⁾ |

(1) A 38 °C (100 °F), el valor nominal disminuye al aumentar la temperatura del proceso.

(2) A 50 °C (122 °F), el valor nominal disminuye al aumentar la temperatura del proceso.

Rosemount 2120

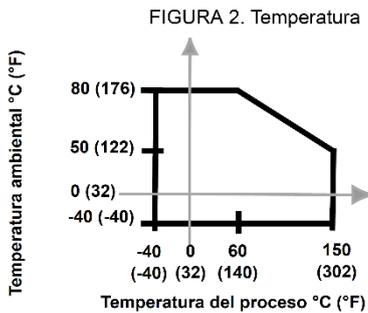
Hoja de datos del producto
00813-0109-4030, Rev. FA
Diciembre 2011

Temperaturas máxima y mínima operativas

Consultar la Figura 2 para las temperaturas operativas.

NOTA:

Los prensaestopos de abrazadera 02120-2000-0001 y 02120-2000-0002 (página 8) limitan la temperatura a un máximo de 125 °C (257 °F).



Rango de densidad de líquidos

Mínimo 600 kg/m³ (37,5 lb/ft³)

Rango de viscosidad de líquidos

0,2 a 10000 cP (centiPoise)

Contenido de sólidos y recubrimiento

El diámetro máximo recomendado de las partículas de sólidos en el líquido es de 5 mm (0,2 pulg.)

Para el producto de recubrimiento, evitar que se produzca puenteo entre las horquillas

Retardo de cambio

Retardo seleccionado por el usuario entre 0,3, 1, 3, 10, 30 segundos para cambio de seco a húmedo y de húmedo a seco

Limpieza CIP (in situ, por sus siglas en inglés)

Resiste las rutinas de limpieza con vapor hasta 150 °C (302 °F)

Eléctricas

Modo de conmutación

Modo de conmutación seleccionable por el usuario (Seco=encendido o Mojado=encendido)

Protección

No es sensible a la polaridad. Protección contra sobrecorriente, cortocircuitos y carga inexistente. Protección contra sobrecorrientes (según IEC61326)

Conexión de terminales (diámetro de conductores)

Máx. 2,5 mm² (0,1 pulg.²). Considerar las regulaciones nacionales.

Tapones de conducto/prensaestopos

- Carcasa metálica Ex d: Las entradas de conducto para áreas antideflagrantes son enviadas con dos tapones de latón para conducto
- La carcasa de plástico con carga directa, PNP/PLC y electrónica IS son enviadas con un prensaestopos PA66 (1) y un tapón de cierre
- La carcasa de plástico con electrónica de relé (relevador) se envía con dos prensaestopos PA66 (1)

(1) Diámetro de cable 5 a 8 mm (0,2 a 0,3 pulg.)

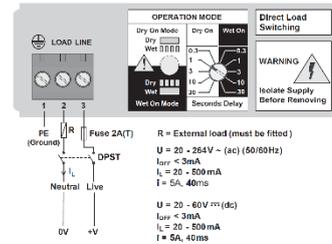
10

Conexión a tierra

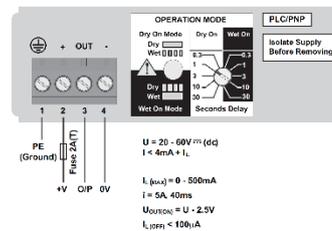
El modelo 2120 siempre debe conectarse a tierra a través de los terminales o utilizando la conexión a tierra externa proporcionada.

Conexiones eléctricas

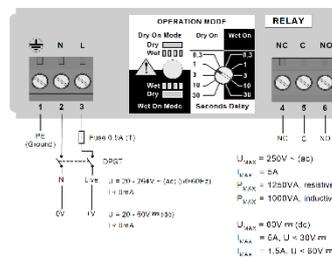
Conmutación de carga directa (dos conductores)



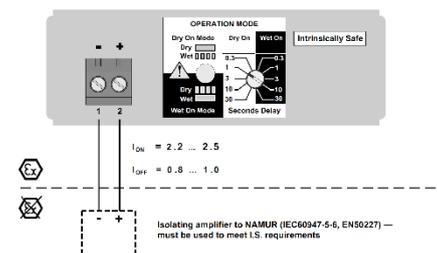
Salida PNP de estado sólido para interfaz directa a PLCs (tres conductores)



Relé individual SPCO para contactos sin voltaje



Intrinsecamente seguras (IS) NAMUR a DIN 19234, IEC 60947-5-6



Certificaciones del producto

CERTIFICACIÓN DE ÁREA ORDINARIA PARA FM

G5 N.º del proyecto: 3024095
El interruptor ha sido examinado y probado para determinar que el diseño cumple con los requisitos básicos eléctricos, mecánicos y de protección contra incendios de FM, en un laboratorio de pruebas reconocido nacionalmente (NRTL, por sus siglas en inglés), según lo acredita la Federal Occupational Safety and Health Administration (Administración para la seguridad y salud laboral, OSHA).

CERTIFICACIÓN DE ÁREA ORDINARIA PARA CSA

G6 Número de certificado: 06 CSA 1796535
El interruptor ha sido examinado y probado para determinar que el diseño cumple con los requisitos básicos eléctricos, mecánicos y de protección contra incendios de CSA, un laboratorio de pruebas reconocido nacionalmente, según lo acredita el Standards Council of Canada (Consejo de estándares de Canadá, SCC).

INFORMACIÓN SOBRE LAS DIRECTIVAS EUROPEAS

La declaración de conformidad CE de este producto con todas las directivas europeas correspondientes puede encontrarse en la página de Internet de Rosemount en www.rosemount.com. Se puede obtener una copia impresa poniéndose en contacto con la oficina de ventas local.

Directiva ATEX (94/9/CE)

Cumple con la directiva ATEX.

Directiva para equipo a presión (PED) (97/23/CE)

El Rosemount 2120 no queda comprendido en la directiva PED.

Directiva de bajo voltaje

EN61010-1 grado de polución 2, categoría II (264 V máx), grado de polución 2, categoría III (150 V máx)

Directiva de compatibilidad electromagnética (EMC)

Emisiones EN61326 según la clase B.
Inmunidad a los requisitos de ubicación industrial.

Resistencia a las vibraciones

EN60721 nivel 3M6/4M6

Marca CE

Cumple con las directivas correspondientes (EMC, ATEX y LVD)

Protección contra sobrellenado

Si es necesario, seleccione los certificados de producto código U1 para la protección de sobrellenado WHG/DIBt. El número de aprobación es Z-65,11-236.

Declaración de conformidad SIL

Sensor de nivel de horquilla vibratoria Rosemount 2120 IS Namur (2120***C*1**) ha demostrado una confiabilidad comprobada. Está fabricado y respaldado de manera adecuada para aplicaciones hasta SIL2 de IEC 61508 como subsistema relacionado con seguridad tipo B cuando se configura⁽¹⁾ como alarma de nivel alto y junto con una barrera Namur.

CERTIFICACIONES PARA ÁREAS PELIGROSAS

Aprobaciones para EE.UU.

Aprobación antideflagrante según Factory Mutual (FM)

E5 N.º del proyecto: 3024095
Antideflagrante para la clase I, div. 1, grupos A, B, C y D
Clase de temperatura:
T6 (T_{amb} -40 a 75 °C)
Carcasa: Tipo 4X

Aprobación de seguridad intrínseca según Factory Mutual (FM)

I5 N.º del proyecto: 3024095
Intrínsecamente seguro para la clase I, div. 1, grupos A, B, C y D
Clase I, zona 0, AEx ia IIC
Código de temperatura:
T5 (T_{amb} -40 a 80 °C, T_{proc} < 80 °C)
Plano de control: 71097/1154
Ui=15 V, Ii=32 mA, Pi=0,1 W, Ci=211 nF, Li=0,06 mH

NOTA

Se debe utilizar un amplificador aislante NAMUR para la seguridad intrínseca.

Aprobaciones canadienses

Asociación de normas canadienses (CSA) Aprobaciones para equipo antideflagrante

E6 N.º del proyecto: 1796535
Antideflagrante para la clase I, div. 1, grupos A, B, C y D
Clase de temperatura:
T6 (T_{amb} -40 a 75 °C)
Carcasa: Tipo 4X

(1) Refiérase al manual para los detalles de configuración del IEC 61508.

ANEXO K.

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL TRANSMISOR DE
TEMPERATURA.**

Transmisor de temperatura de múltiples entradas Rosemount 2240S

para sistemas de medición en tanques



- Obtener medición de temperatura muy estable para cálculos de inventario precisos y transferencia de custodia para cumplimiento con API capítulo 7.3
- Obtener una sorprendente precisión en la conversión de temperatura de $\pm 0,05$ °C (± 0.09 °F)
- Conectar hasta 16 elementos de temperatura de tres o cuatro hilos
- Incluir el sensor de nivel de agua integrado
- Beneficiarse de la instalación conveniente y segura con una fuente de alimentación de bus IS de 2 hilos

ROSEMOUNT


EMERSON
Process Management

Especificaciones

Especificaciones de funcionamiento

Precisión de conversión de temperatura

$\pm 0,05$ °C ($\pm 0,09$ °F)

Sobre el rango de medición y temperatura ambiental de 20 °C (68 °F)

Efecto de la temperatura ambiental

$\pm 0,05$ °C ($\pm 0,09$ °F)

Rango de medición de temperatura

-200 a 250 °C (-328 a 482 °F) para Pt-100

Resolución

$\pm 0,1$ °C ($\pm 0,1$ °F) según los capítulos 7 y 12 de API

Tiempo de actualización

4 s

Especificaciones generales

Número de elementos de punto y cableado

Se pueden conectar hasta 16 elementos de punto de termorresistencia o sensores de promedio a un 2240S.

Sensores de temperatura / nivel de agua Rosemount (modelos 565, 566 y 765)

Se pueden utilizar tres tipos de cableado:

- Termorresistencia de 3 hilos con retorno común (1-16 elementos de punto)
- Termorresistencia de 3 hilos individual (1-16 elementos de punto con Rosemount 565, 1-6 elementos de punto con Rosemount 566 y 1-14 elementos de punto con Rosemount 765)
- Termorresistencia de 4 hilos individual (1-16 elementos de punto con Rosemount 565, 1-4 elementos de punto con Rosemount 566 y 1-10 elementos de punto con Rosemount 765)

Tipos de sensores de temperatura estándar

Pt-100 (según IEC/EN 60751, ASTM E1137) y Cu-90

Posibilidad de sellado de metrología

Sí

Interruptor de protección contra escritura

Sí

Especificaciones de configuración

Herramienta de configuración

TankMaster WinSetup es la herramienta recomendada para la configuración fácil de 2240S. La característica de configuración automática de Tankbus, administrada por el cubo concentrador del tanque Rosemount 2410, admite el 2240S.

Parámetros de configuración (ejemplos)

Temperatura:

- Cantidad de elementos sensores de temperatura
- Tipo de elemento de temperatura (punto o promedio)
- Posición del elemento de temperatura en el tanque

Sensor de nivel de agua:

- Compensación de nivel (diferencia entre el nivel cero del tanque y nivel cero del agua)
- Longitud de sonda (configurada automáticamente por el Rosemount 765)

Variables de salida y unidades

Temperatura de punto y promedio: °C (Celsius) y °F (Fahrenheit)
Nivel de agua libre (FWL): metro, centímetro, milímetro, pies o pulgadas

Características FOUNDATION fieldbus

Sensible a la polaridad

No

Consumo de corriente en reposo

30 mA

Voltaje inicial mínimo

9,0 VCC

Capacitancia / inductancia del dispositivo

Consultar "Certificaciones del producto" en la página 8.

Clase (Básica o Link Master)

Link Master (LAS)

Cantidad de relaciones de comunicación virtual (VCR)

Máximo 20, incluyendo una fija

Enlaces

Máximo 40

Tiempo mínimo de espera para retransmisión después de una colisión / retardo de respuesta máximo / retardo mínimo entre mensajes

8 / 5 / 8

Bloques y tiempo de ejecución

1 bloque de recursos,
 3 bloques transductores (temperatura, registro, AVG_Temp),
 2 bloques de entrada analógica múltiple (MAI): 15 ms,
 6 bloques de entrada analógica (AI): 10 ms,
 1 bloque de salida analógica (AO): 10 ms,
 1 bloque caracterizador de señales (SGCR): 10 ms,
 1 bloque proporcional/integral/derivativo (PID): 15 ms,
 1 bloque integrador (INT): 10 ms,
 1 bloque aritmético (ARTH): 10 ms,
 2 bloques selectores de entrada (ISEL): 10 ms,
 1 bloque selector de control (CS): 10 ms,
 1 bloque divisor de salida (OS): 10 ms

Para obtener más información, consultar el manual de los bloques Foundation™ fieldbus (número de documento 00809-0100-4783)

Ejemplificación

Sí

Conforme a FOUNDATION fieldbus

ITK 5.2

Compatibilidad de alertas PlantWeb

Sí

Asistentes de soporte de acción

Reiniciar/detener la medición, proteger el dispositivo contra escritura, reinicio - configuración de medición de fábrica, reiniciar estadística, iniciar/detener la simulación del dispositivo

Diagnósticos avanzados

Fallos/mantenimiento/alertas de aviso:

Software, memoria/base de datos, electrónica, comunicación interna, simulación, dispositivo auxiliar, medición del dispositivo auxiliar, temperatura ambiental, medición de temperatura promedio, medición de temperatura, configuración

Especificaciones eléctricas**Fuente de alimentación**

- FISCO: 9,0-17,5 VCC, no se ve afectado por la polaridad
- Entidad: 9,0-30,0 VCC, no se ve afectado por la polaridad

Consumo interno de energía

0,5 W

Consumo de corriente del bus

30 mA

Cableado de Tankbus0,5-1,5 mm²(AWG 22-16), pares trenzados apantallados**Terminador de Tankbus incorporado**

Sí (debe conectarse si es necesario)

Tankbus al aislamiento del sensorMínimo 700 V_{CA}**Entrada del sensor auxiliar**

Conexión de bus digital para el sensor de nivel de agua

Especificaciones mecánicas**Material de la carcasa**

Aluminio fundido, recubierto de poliuretano

Entrada de cables (conexión/prensaestopas)

Tres entradas 1/2 - 14 NPT para prensaestopas o conductos. En la entrega se incluyen dos obturadores metálicos para sellar cualquier puerto no utilizado

Opcional:

- Adaptador de conducto / cable M20 x 1,5
- Prensaestopas metálicos (1/2 - 14 NPT)
- Conector macho Eurofast de 4 pines o un miniconector macho Minifast, tamaño A, de 4 pines

Conexión del 565/566/765

Conexión roscada M33 x 1,5, hembra

Opcional:

- Se puede utilizar un adaptador M32 o prensaestopas M32 si el 2240S se instala lejos del sensor

Instalación

El 2240S se puede instalar directamente en la parte superior del sensor de temperatura/nivel de agua o remotamente en un tubo de 33,4-60,3 mm (1 a 2 in) o en una pared

Peso

2,8 kg (6.2 lbs)

Especificaciones ambientales

Temperatura ambiental

-40 a 70 °C (-40 a 158 °F).

Temperatura mínima de puesta en marcha: -50 °C (-58 °F)

Temperatura de almacenamiento

-50 a 85 °C (-58 a 185 °F)

Humedad

0-100% de humedad relativa

Protección contra ingreso

IP 66 y 67 (Nema 4X)

Protección integrada contra descargas atmosféricas/transitorios

Según IEC 61000-4-5, línea nivel 1 kV a la conexión a tierra.

Cumple con la protección contra transitorios categoría B

IEEE 587 y la protección contra sobrecorrientes IEEE 472

Certificaciones del producto

Información sobre la directiva europea ATEX

Número de certificado de examen tipo EC: FM09ATEX0047X
Plano de control: 9240 040-976

Condiciones especiales para un uso seguro (marca x), ATEX e IECEx: Condiciones especiales de uso, FM-US y FM-C:

La carcasa contiene aluminio y se considera que presenta un riesgo de ignición por impacto o fricción. Se debe tener cuidado durante la instalación y el uso para evitar impactos o fricción.

Valores II 2(1) G Ex ib [ia IIC] IIC T4 Ta=-50 °C a 70 °C FISCO 9240040-976; IP 66/IP 67 solo se aplica cuando se suministra de una fuente de alimentación Ex [ib] FISCO certificada con limitación de voltaje de salida triplicada que cumpla con los requerimientos para dos fallos (limitación de voltaje "ia"), p. ej. un concentrador de tanques Rosemount 2410.

El transmisor de temperatura de múltiples entradas Rosemount 2240S no pasará la prueba de resistencia dieléctrica de 500 Vrms, y se debe tener esto en cuenta durante la instalación.

11 Intrínsecamente seguro

Dispositivo de campo FISCO (Terminales de Fieldbus):



II 1 G CE^{ens}

Ex ia IIC T4 (-50 °C ≤ T_a ≤ +70 °C)

U_i=17,5 VCC, I_i=380 mA, P_i=5,32 W, C_i=2,2 nF, L_i=2,0 μH

Cuando se suministra de una fuente de alimentación Ex [ib] FISCO certificada con limitación de voltaje triplicada que cumpla con los requerimientos para dos fallos (limitación de voltaje "ia"), p. ej. un concentrador de tanques Rosemount 2410:



II 2(1)G CE^{ens}

Ex ib [ia IIC] IIC T4 (-50 °C ≤ T_a ≤ +70 °C)

U_i=17,5 VCC, I_i=380 mA, P_i=5,32 W, C_i=2,2 nF, L_i=2,0 μH

Entidad (terminales de fieldbus):



II 1 G CE^{ens}

Ex ia IIC T4 (-50 °C ≤ T_a ≤ +70 °C)

U_i=30 VCC, I_i=300 mA, P_i=1,3 W, C_i=2,2 nF, L_i=2,0 μH

Terminales de termorresistencia:

U_o=5,9 VCC, I_o=398 mA, P_o=585 mW

Grupo IIC: C_o ≤ 43 μF, L_o ≤ 0,2 mH

Grupo IIB: C_o = ilimitado, L_o ≤ 0,7 mH

Grupo IIA: C_o = ilimitado, L_o ≤ 1,8 mH

Terminal Sensorbus:

U_o=6,6 VCC, I_o=223 mA, P_o=363 mW

Grupo IIC: C_o ≤ 22 μF, L_o ≤ 0,7 mH

Grupo IIB: C_o ≤ 500 μF, L_o ≤ 3,3 mH

Grupo IIA: C_o = ilimitado, L_o ≤ 6 mH

Certificación de Factory Mutual EE. UU. (FM-US)



Certificado de cumplimiento: 3035518

Plano de control: 9240 040-910

15 Intrínsecamente seguro

Dispositivo de campo FISCO (terminales fieldbus):

Intrínsecamente seguro para las clases I, II, III división 1, grupos A, B, C, D, E, F y G

Clase de temperatura T4, límites de temperatura ambiental: -50 a +70 °C

Clase I zona 0 AEx ia IIC T4 (-50 °C ≤ T_a ≤ +70 °C)

U_i=17,5 VCC, I_i=380 mA, P_i=5,32 W, C_i=2,2 nF, L_i=2,0 μH

Cuando se suministra de una fuente de alimentación AEx [ib] FISCO certificada con limitación de voltaje triplicada que cumpla con los requerimientos para dos fallos (limitación de voltaje "ia"), p. ej. un concentrador de tanques Rosemount 2410: clase 1 zona 1 AEx ib [ia IIC] IIC

U_i=17,5 VCC, I_i=380 mA, P_i=5,32 W, C_i=2,2 nF, L_i=2,0 μH

Entidad (terminales fieldbus):

Intrínsecamente seguro para las clases I, II, III, división 1, grupos A, B, C, D, E, F y G

Clase de temperatura T4, límites de temperatura ambiental: -50 a +70 °C

Clase I zona 0 AEx ia IIC T4 (-50 °C ≤ T_a ≤ +70 °C)

U_i=30 VCC, I_i=300 mA, P_i=1,3 W, C_i=2,2 nF, L_i=2,0 μH

Terminales de termorresistencia:

U_o=5,9 VCC, I_o=398 mA, P_o=585 mW

Grupo A, B, IIC: C_o ≤ 43 μF, L_o ≤ 0,2 mH

Grupo C, E, IIB: C_o = ilimitado, L_o ≤ 0,7 mH

Grupos D, F, G, IIA: C_o = ilimitado, L_o ≤ 1,8 mH

Cuando no se realizan conexiones al terminal Sensorbus:

U_o=5,9 VCC, I_o=100 mA, P_o=150 mW, C_o=43 μF, L_o=3 mH

Terminal Sensorbus:

U_o=6,6 VCC, I_o=223 mA, P_o=363 mW

Grupos A, B, IIC: C_o ≤ 22 μF, L_o ≤ 0,7 mH

Grupos C, E, IIB: C_o ≤ 500 μF, L_o ≤ 3,3 mH

Grupos D, F, G, IIA: C_o = ilimitado, L_o ≤ 6 mH

ANEXO L.

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SENSOR DE
TEMPERATURA.**

Rosemount Sensores de temperatura de múltiples puntos y de nivel de agua 565/566/765 para sistemas de medición en tanques



- Obtener precisión de volumen neto de transferencia de custodia con sensores de temperatura de múltiples puntos de 3 o 4 hilos para tanques de almacenamiento de líquidos a granel
- Mejorar la precisión con una única calibración de sensor
- Medir la temperatura de líquidos hasta con 16 elementos de punto
- Combinar con la medición integrada del sensor de nivel de agua
- Incluir sensores especializados para medición de temperatura en tanques criogénicos en aplicaciones de GNL
- Seleccionar en una amplia gama de accesorios, tales como pesos de anclaje y recubrimientos de vapor

ROSEMOUNT


EMERSON
Process Management

Especificaciones

Especificaciones Rosemount 565, 566, 765

Tipo de elementos

Elementos de punto Pt-100 de acuerdo con EN 60751, diseño de 3 hilos o 4 hilos

Precisión

1/6 DIN clase B (estándar), 1/10 DIN clase B (opción), consultar el diagrama en la [Figura 1 en la página 15](#)
Sensor MST para uso criogénico: DIN clase A
DIN clase A y B se especifican en EN 60751

Rango de presión del líquido

0-4 bar (0-58 Psi). Diseñado para tanques atmosféricos no presurizados. Maneja la presión del líquido de hidrocarburos y productos petroquímicos equivalente a un nivel de 40 m (130 ft).

Rango de temperatura del líquido

- -50 a +250 °C (-58 a +482 °F)
- -170 a +100 °C (-274 a +212 °F) para uso criogénico

Número de elementos

Máx. 16 elementos de punto, consultar la [Tabla 4 en la página 14](#)

Longitud total

El estándar es 5-70 m (16.4-230 ft). Máximo 60 m (197 ft) para Rosemount 765. Se pueden solicitar otras longitudes.

Vaina protectora

Acero inoxidable, AISI 316. Espesor de la pared 0,3 mm (0.012 in.).
Ø = 1 pulg.

Conector superior/rosca de montaje

Tubería de acero con rosca 1/2 pulg. BSP o M33 x 1,5.
Longitud de rosca 253 mm (10.0 in.)

Abertura del tanque

Mínimo Ø = 50,8 mm (2 in.)

Brida (opción)

1 1/2 a 4 pulg. conforme a los estándares. Acero inoxidable (AISI 316).

Material sumergido

Acero inoxidable (AISI 316)

Longitud del cable de conexión

0,4 m (16 in.) es estándar para la instalación integrada con el transmisor de temperatura 2240S.
Los cables más largos de hasta 10 m (32.8 ft) están disponibles como una opción.

Cantidad de hilos

- Tres o cuatro hilos independientes por elemento o
- Tres hilos con retorno común

Peso inferior

2,5-15 kg (5.5-33 lbs). 2,5-4 kg (5.5-9 lbs) para instalación en tubo tranquilizador. Acero inoxidable (AISI 304).

Distancia mínima desde la parte inferior del sensor hasta el primer elemento de punto

150 mm (5.9 in.)

Distancia mínima desde la parte superior del sensor hasta el elemento de punto más alto

850 mm (33.5 in.)

Protección contra ingreso

IP 68

Tabla 4. Cantidad de elementos (Rosemount 565, 566, 765)

| Tipo de sensor ⁽¹⁾ | Rango de temperatura | Conductores | Número máximo de elementos de punto |
|-------------------------------|---|---|-------------------------------------|
| Rosemount 565 | -50 a +120 °C (-58 a +248 °F) o -20 a +250 °C (-4 a +482 °F) | Cableado individual de 3 hilos ⁽²⁾ | 16 |
| | | Cableado individual de 4 hilos ⁽²⁾ | 16 |
| | | 3 hilos, cableado de retorno común ⁽²⁾ | 16 |
| Rosemount 566 | -170 a +100 °C (-274 a +212 °F) | Cableado individual de 3 hilos ⁽²⁾ | 6 |
| | | Cableado individual de 4 hilos ⁽²⁾ | 4 |
| | | 3 hilos, cableado de retorno común ⁽²⁾ | 16 |
| Rosemount 765 | -50 a +120 °C (-58 a +248 °F) | Cableado individual de 3 hilos ⁽²⁾ | 14 |
| | | Cableado individual de 4 hilos ⁽²⁾ | 10 |
| | | 3 hilos, cableado de retorno común ⁽²⁾ | 16 |

(1) Todos los tipos tienen: Pt-100 elementos de punto. La vaina protectora está hecha de acero inoxidable (AISI 316). Longitud máxima de 70 m (230 ft).

(2) Diámetro del cable 0,24 mm² (AWG 24).

Especificaciones Rosemount 765

Modelo abierto

Recomendado para el petróleo crudo y productos de alta resistencia

Modelo cerrado

Recomendado para los combustibles más livianos tales como el diésel

Rango de medición activo

500 mm (20 in.), 1000 mm (40 in.)

Salida

Comunicación RS485/Modbus de alta velocidad con Rosemount 2240S

Precisión

± 2 mm (0.08 in.) [longitud activa de 500 mm]
± 4 mm (0.16 in.) [longitud activa de 1000 mm]

Repetibilidad

± 0,5 mm (0.02 in.)

Principio de medición

Capacitivo

Calibración

Calibración de fábrica cero a rango completo y posibilidad de calibración en el tanque

Temperatura de almacenamiento

-40 a +80 °C (-40 a +180 °F)

Temperatura de funcionamiento

0 a +120 °C (+32 a +250 °F). La temperatura máxima en la brida de montaje es de +80 °C (+180 °F)

Presión de funcionamiento

0-4 bar (0-58 Psi). Diseñado para tanques atmosféricos no presurizados. Maneja la presión del líquido de hidrocarburos y productos petroquímicos equivalente a un nivel de 40 m (130 ft).

Dimensiones mecánicas

Rosca de conexión M33x1,5 mm

Material sumergido

Acero inoxidable (AISI 316), FEP, PTFE y PEEK con 30% de vidrio

Longitud del sensor de nivel de agua

Longitud activa + 140 mm (5.5 in.)

Diámetro exterior del sensor de nivel de agua

Cerrado: Ø=38 mm (1.5 in.)

Abierto: Ø=48 mm (1.9 in.)

Certificaciones del producto

Condiciones especiales para un uso seguro (x):

Los sensores de nivel de agua (WLS) y las termorresistencias (RTD) son circuitos intrínsecamente seguros. En las instalaciones de conexión, se deben seguir estrictamente los requisitos de la cláusula 6.2.1 de EN 60079-11 para la separación entre los circuitos intrínsecamente seguros y posiblemente los circuitos que no son intrínsecamente seguros.

Los sensores de nivel de agua (WLS) y las termorresistencias (RTD) son dos circuitos separados intrínsecamente seguros. No deben estar interconectados y se deben seguir los requisitos para la separación que se mencionan en la cláusula 6.2.1 de EN 60079-11.

Para terminar y conectar el cable de WLS y los hilos de termorresistencia, se deben seguir los requisitos de los códigos de instalación locales.

Para conectar WLS y la caja de conexiones de forma adecuada, se debe proporcionar un protector contra tensiones.

Declaración de conformidad

Diseñado de acuerdo con EN 60751. Precisión aprobada por PTB.

- ISO 15156-06-2009 (NACE MR0175) para todas las piezas húmedas Marca CE
- Directiva ATEX 94/9/EC
- Directiva de bajo voltaje (LVD): 2004/108 EC
- Directiva EMC: 2006/95/EC

Información sobre la directiva europea ATEX

Número del certificado de examen tipo EC: FM08ATEX0060X

Plano de control: 800-9020-FM

Rosemount 765

II 1 G Ex ia IIC T4/T6⁽¹⁾

Parámetros del elemento de temperatura: $U_i=7,2$ VCC, $I_i=400$ mA, $P_i=700$ mW, $L_i=40$ μ H, $C_i=500$ nF

Parámetros de comunicación/transmisor: $U_i=7,2$ VCC, $I_i=250$ mA, $P_i=700$ mW, $L_i=130$ μ H, $C_i=0$ nF

Rosemount 565

II 1 G Ex ia IIC T2/T4⁽²⁾

$U_i=7,2$ VCC, $I_i=400$ mA, $P_i=700$ mW, $L_i=40$ μ H, $C_i=500$ nF

Rosemount 566

II 1 G Ex ia IIC T5⁽³⁾

$U_i=7,2$ VCC, $I_i=400$ mA, $P_i=700$ mW, $L_i=40$ μ H, $C_i=500$ nF

(1) Debajo de la brida: T4: -50 °C $\leq T_a \leq +120$ °C
Encima de la brida: T6: -50 °C $\leq T_a \leq +70$ °C

(2) T2: -50 °C $\leq T \leq +70$ °C encima de la brida,
 -50 °C $\leq T \leq +250$ °C debajo de la brida
T4: -50 °C $\leq T \leq +70$ °C encima de la brida,
 -50 °C $\leq T \leq +130$ °C debajo de la brida

(3) T5: -50 °C $\leq T \leq +70$ °C encima de la brida,
 -200 °C $\leq T \leq +95$ °C debajo de la brida

Certificación de Factory Mutual EE. UU. (FM-EE. UU.)

Certificado de cumplimiento: 3032389

Plano de control: 800-9020-FM

Rosemount 765

Intrínsecamente seguro para la clase I, división 1, grupos A, B, C y D y clase I, áreas peligrosas zona 0 grupo IIC;

Clase de temperatura T4 debajo de la brida en un rango de temperatura ambiental de -50 °C $\leq T_a \leq +120$ °C, y T6 arriba de la brida en un rango de temperatura ambiental de -50 °C $\leq T_a \leq +70$ °C.

Parámetros del elemento de temperatura: $U_i=7,2$ VCC, $I_i=400$ mA, $P_i=700$ mW, $L_i=40$ μ H, $C_i=500$ nF

Parámetros de comunicación/transmisor: $U_i=7,2$ VCC, $I_i=250$ mA, $P_i=700$ mW, $L_i=130$ μ H, $C_i=0$ nF

Rosemount 565

Intrínsecamente seguro para la clase I, división 1, grupos A, B, C y D y clase I, áreas peligrosas zona 0 grupo IIC;

Clase de temperatura como se indica⁽²⁾
 $U_i=7,2$ VCC, $I_i=400$ mA, $P_i=700$ mW, $L_i=40$ μ H, $C_i=500$ nF

Rosemount 566

Intrínsecamente seguro para la clase I, división 1, grupos A, B, C y D y clase I, áreas peligrosas zona 0 grupo IIC;

Clase de temperatura como se indica⁽³⁾
 $U_i=7,2$ VCC, $I_i=400$ mA, $P_i=700$ mW, $L_i=40$ μ H, $C_i=500$ nF

Certificación de Factory Mutual Canadá (FM-C)

Certificado de cumplimiento: 3032389C

Plano de control: 800-9020-FM

Rosemount 765

Intrínsecamente seguro para la clase I, áreas peligrosas zona 0, grupo IIC;

Clase de temperatura T4 debajo de la brida en un rango de temperatura ambiental de -50 °C $\leq T_a \leq +120$ °C y T6 arriba de la brida en un rango de temperatura ambiental de -50 °C $\leq T_a \leq +70$ °C.

Parámetros del elemento de temperatura: $U_i=7,2$ VCC, $I_i=400$ mA, $P_i=700$ mW, $L_i=40$ μ H, $C_i=500$ nF

Parámetros de comunicación/transmisor: $U_i=7,2$ VCC, $I_i=250$ mA, $P_i=700$ mW, $L_i=130$ μ H, $C_i=0$ nF

Rosemount 565

Intrínsecamente seguro para la clase I, áreas peligrosas zona 0 grupo IIC;

Clase de temperatura como se indica⁽²⁾
 $U_i=7,2$ VCC, $I_i=400$ mA, $P_i=700$ mW, $L_i=40$ μ H, $C_i=500$ nF

Rosemount 566

Intrínsecamente seguro para la clase I, áreas peligrosas zona 0 grupo IIC;

Clase de temperatura como se indica⁽³⁾
 $U_i=7,2$ VCC, $I_i=400$ mA, $P_i=700$ mW, $L_i=40$ μ H, $C_i=500$ nF

ANEXO M.

DATOS TÉCNICOS DEL ACTUADOR MOTORIZADO

MULTIVUELTAS.



Actuadores multivoltas

SA 07.2 – SA 16.2

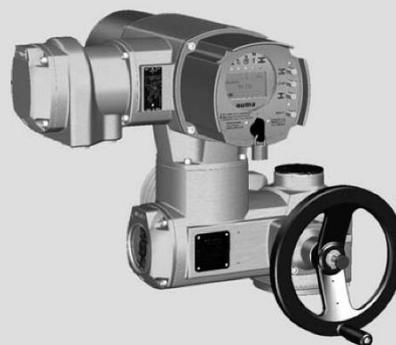
SAR 07.2 – SAR 16.2

Unidad de mando: electrónica (MWG)

con control de actuador

AUMATIC AC 01.2 No intrusivo

Control
Paralelo
Profibus DP
→ Modbus
Foundation Fieldbus



12. Datos técnicos

Información En las tablas siguientes se indican, además de la versión estándar, diversas opciones. La versión exacta se debe consultar en la hoja de datos técnicos del pedido. La hoja de datos técnicos del pedido se puede descargar en Internet en <http://www.auma.com> en alemán y en inglés (previa entrada del número de comisión).

12.1. Equipamiento y funciones del actuador

| | |
|---|--|
| Modo de operación ¹⁾ | Estándar: <ul style="list-style-type: none"> • SA: Operación breve S2 - 15 min • SAR: Operación intermitente S4 - 25 % Opciones: <ul style="list-style-type: none"> • SA: Operación breve S2 - 30 min • SAR: Operación intermitente S4 - 50 % • SAR: Operación intermitente S5 - 25 % |
| Rango de par | Véase la placa de características del actuador |
| Velocidad | Véase la placa de características del actuador |
| Motor | Estándar: Motor asíncrono de corriente trifásica, diseño IM B9 según IEC 60034 |
| Tensión del motor y frecuencia | Véase la placa de características del motor |
| Clase de aislamiento | Estándar: F, tropicalizado Opción: H, tropicalizado |
| Protección del motor | Estándar: Termostato (NC) Opción: Termistor (PTC según DIN 44082) |
| Autobloqueo | Autoblocante: Velocidades de hasta 90 1/min (50 Hz), 108 1/min (60 Hz) NO autoblocante: Velocidades desde 125 1/min (50 Hz), 150 1/min (60 Hz) Los actuadores multivoltas son autoblocantes cuando por efecto del par en la salida del actuador la posición de parada de la válvula no cambia. |
| Final de carrera | Transmisor magnético de recorrido y par MWG para 1 a 500 vueltas por carrera o para 10 a 5.000 vueltas por carrera |
| Limitadores de par | Mediante MWG (como final de carrera) |
| Señal de posición, analógica (opción) | vía MWG |
| Señal de par, analógica (opción) | vía MWG |
| Indicador mecánico de posición (opcional) | Indicador continuo, disco indicador ajustable con símbolos ABRIR y CERRAR |
| Calefacción en el recinto de interruptores | Estándar: Calefacción de resistencia, 5 W, 24 V AC (alimentación interna) |
| Calefacción del motor (opcional) | Tensiones: 110 – 120 V AC, 220 – 240 V AC ó 400 V AC (alimentación externa) Potencia en función del tamaño 12,5 – 25 W |
| Mando manual | Mando manual para el ajuste y la operación de emergencia, parado en operación eléctrica. Opción: Volante con candado |
| Conexión al control | Conector múltiple AUMA con terminales para atornillar |
| Conexión a la válvula | Estándar: B1 según EN ISO 5210 Opciones: A, B2, B3, B4 según EN ISO 5210 A, B, D, E según DIN 3210 C según DIN 3338 Tipos de acoplamiento especiales: AF, B3D, ED, DD, IB1, IB3 A con lubricación de husillo |
| Sensores | |
| Señalización de operación manual (opcional) | Señal de operación manual activa/no activa mediante interruptor (1 contacto conmutado) |
| Temperatura del motor (opción) | Sensor de temperatura PT 100 |
| Temperatura de la carcasa de engranajes (opcional): | Sensor de temperatura PT 100 |

- 1) Con la tensión nominal y a una temperatura ambiente de 40 °C y bajo una carga media con par de operación o par de regulación según los datos técnicos por separado. No están permitidos otros modos de operación.

| Datos técnicos del interruptor de activación del volante | |
|---|--|
| Vida útil mecánica | 10 ⁶ arrancadas |
| Contactos recubiertos de plata: | |
| 1/min mín. | 12 V DC |
| 1/min máx. | 250 V AC |
| I máx. corriente alterna | 3 A a 250 V (carga inductiva, cos phi = 0,8) |
| I máx. corriente continua | 3 A a 12 V (carga resistiva) |

12.2. Equipamiento y funciones del control de actuador

| | |
|---|---|
| Tensión de alimentación Frecuencia de red | Véase la placa de características para tensión de alimentación y frecuencia de red. Tolerancia admisible de la tensión de red: ±10 % Tolerancia admisible de la frecuencia de red: ±5 % Opción: Tolerancia admisible de la tensión de red: ±30 % |
| Alimentación externa del sistema eléctrico (opcional) | 24 V DC +20 % / -15 % Consumo de corriente: Modelo básico aprox. 250 mA, con opciones, hasta 500 mA La tensión de alimentación externa debe presentar un aislamiento reforzado contra la tensión de red conforme a IEC 61010-1 y sólo debe alimentar con un circuito de corriente limitado a 150 VA conforme a IEC 61010-1. |
| Consumo de corriente | Consumo de corriente del control en función de la tensión de red: con una tolerancia admisible de la tensión de red ±10 %: <ul style="list-style-type: none"> • 100 a 120 V AC = máx. 740 mA • 208 a 240 V AC = máx. 400 mA • 380 a 500 V AC = máx. 250 mA • 515 a 690 V AC = máx. 200 mA con una tolerancia admisible de la tensión de red ±30 %: <ul style="list-style-type: none"> • 100 a 120 V AC = máx. 1.200 mA • 208 a 240 V AC = máx. 750 mA • 380 a 500 V AC = máx. 400 mA • 515 a 690 V AC = máx. 400 mA Consumo de corriente del motor: Véase la placa de características del motor |
| Categoría de sobretensión | Categoría III según IEC 60 364-4-443 |
| Potencia nominal | El control se ha dimensionado para la potencia nominal del motor, véase la placa de características del motor |
| Dispositivo de maniobra del motor ^{1) 2)} | Estándar: Contactor-inversor (con enclavamiento mecánico y eléctrico) para clase de potencia A1 de AUMA Opciones: <ul style="list-style-type: none"> • Contactor-inversor (con enclavamiento mecánico y eléctrico) para clase de potencia A2 de AUMA • Unidad de tiristores para tensiones de red de hasta 500 V AC (recomendado para actuadores de regulación) para las clases de potencia B1, B2 y B3 de AUMA |
| Control | Mediante interface Modbus RTU |
| Interface de bus de campo con entradas adicionales (opción) | <ul style="list-style-type: none"> • Entradas adicionales de libre asignación: <ul style="list-style-type: none"> - 4 entradas digitales - 2 entradas analógicas 0/4 – 20 mA - La señal se transmite a través del interface de bus de campo • Entradas adicionales de asignación fija: <ul style="list-style-type: none"> - 6 entradas digitales: <ul style="list-style-type: none"> - Entradas de control ABRIR, PARAR, CERRAR, EMERGENCIA - Interface I/O para elegir el tipo de control (bus de campo o entradas adicionales) - MODE para elegir entre servicio todo-nada y servicio de regulación - Entrada analógica 0/4 – 20 mA para setpoint de posición (posicionador) |

Datos técnicos

| | |
|--|--|
| Valores de tensión y de corriente para entradas adicionales opcionales ³⁾ | <p>Estándar: 24 V DC, consumo de corriente: aprox. 10 mA por entrada</p> <p>Opciones: 48 V DC, consumo de corriente: aprox. 7 mA por entrada 60 V DC, consumo de corriente: aprox. 9 mA por entrada 110 V DC, consumo de corriente: aprox. 8 mA por entrada 115 V DC, consumo de corriente: aprox. 15 mA por entrada 115 V AC, consumo de corriente: aprox. 15 mA por entrada</p> |
| Señales de estado | <p>Estándar: Mediante interface Modbus RTU</p> <p>Opciones: Contacto de salida adicional programable (posible sólo en combinación con entradas adicionales opcionales):</p> <ul style="list-style-type: none"> • 6 contactos de salida programables: <ul style="list-style-type: none"> - 5 contactos NO libres de potencial con un común, máx. 250 V AC, 1 A (carga resistiva) Configuración estándar: Posición final ABIERTO, posición final CERRADO, fallo de par CERRAR, fallo de par ABRIR - 1 contacto conmutado libre de potencial, máx. 250 V AC, 5 A (carga resistiva) Configuración estándar: Señal colectiva de fallo (fallo de par, pérdida de fase, protección del motor actuada) • 6 contactos de salida programables: <ul style="list-style-type: none"> - 5 contactos conmutados con un común, máx. 250 V AC, 1 A (carga resistiva) - 1 contacto conmutado libre de potencial, máx. 250 V AC, 5 A (carga resistiva) • 6 contactos de salida programables: <ul style="list-style-type: none"> - 6 contactos conmutados libres de potencial sin común, por relé máx. 250 V AC, 5 A (carga resistiva) |
| Señal de posición | <p>Estándar: Mediante interface Modbus RTU</p> <p>Opción (sólo posible en combinación con contacto de salida): Señal de posición aislada galvánicamente E2 = 0/4 – 20 mA (carga máx. 500 Ω).</p> |
| Salida de tensión | <p>Estándar: Tensión auxiliar 24 V DC, máx. 100 mA para alimentar las entradas de control, aislada galvánicamente de la alimentación interna</p> <p>Opción: Tensión auxiliar 115 V AC, máx. 300 mA para alimentar las entradas de control⁴⁾, aislada galvánicamente de la alimentación interna</p> |
| Redundancia (opción) | <p>Topología lineal redundante con comportamiento de redundancia universal según redundancia AUMA I o II</p> <p>Topología en anillo redundante en combinación con la SIMA Master Station</p> <ul style="list-style-type: none"> • Número máximo de actuadores con control por anillo redundante: 247 unidades • Longitud máxima de cable posible entre los actuadores con control sin necesidad de repetidor externo adicional: 1.200 m • Longitud total máx. posible por anillo redundante: aprox. 290 km • Puesta en servicio automática del anillo redundante con ayuda de la SIMA Master Station |
| Conexión para fibra óptica (opción) | <ul style="list-style-type: none"> • Tipos de conector: conector ST o SC • Cables FO <ul style="list-style-type: none"> - Multimode: 62,5(50)/125 µm, alcance aprox. 2,5 km (max. 2,0 dB/km) - Singlemode: 9/125 µm, alcance aprox. 15 km (max. 0,4 dB/km) • Topologías: lineal, estrella y anillo redundante (con interface Modbus RTU de 1 canal) • Tasa transf. baud: hasta 115,2 kbit/s • Budget óptico: <ul style="list-style-type: none"> - Multimode: 13 dB - Singlemode: 17 dB • Longitud de onda: 1.310 nm • Acoplador FO de EKS necesario, fuentes de adquisición: AUMA o www.eks-engel.com |

| | |
|-------------------------------------|---|
| Mando local | <p>Estándar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Selector LOCAL – OFF – REMOTO (bloqueable con candado) • Pulsador ABRIR, PARAR, CERRAR, RESET • 6 lámparas indicadoras: <ul style="list-style-type: none"> - Posición final e indicador de marcha CERRADO (amarillo), Fallo de par en sentido CERRAR (rojo), Protección del motor actuada (rojo), Fallo de par en sentido ABRIR (rojo), Posición final e indicador de marcha ABIERTO (verde), Bluetooth (azul) • Pantalla gráfica LCD, con iluminación <p>Opciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Colores especiales para las 5 lámparas indicadoras: <ul style="list-style-type: none"> - Posición final CERRADO (verde), Fallo de par en sentido CERRAR (azul), Fallo de par en sentido ABRIR (amarillo), Protección del motor actuada (blanco), Posición final ABIERTO (rojo) |
| Interface de comunicación Bluetooth | <p>Bluetooth con chip clase II, versión 2.0 con un alcance de hasta 10 m en entornos industriales. Soporta el perfil de Bluetooth SPP (perfiles Serial Port). Programa de configuración: AUMA CDT, herramienta de puesta en servicio y diagnosis para PCs basados en Windows, PDAs y smartphones.</p> |
| Funciones de aplicación | <p>Estándar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tipo de desconexión ajustable <ul style="list-style-type: none"> - por final de carrera o por limitador de par para posición final ABIERTO y para posición final CERRADO • By-pass limitador de par, ajustable hasta 5 segundos (sin by-pass limitador de par durante el tiempo de arranque) • El inicio del modo de pasos, el final del modo de pasos, el tiempo de marcha y de pausa (1 a 1.800 segundos) se pueden ajustar independientemente del sentido ABRIR/CERRAR • 8 posiciones intermedias de libre ajuste entre 0 y 100 %, la reacción y el comportamiento de señal se pueden parametrizar • Posicionador <ul style="list-style-type: none"> - Ajuste de valor nominal mediante interface de bus de campo - Ajuste automático de banda muerta (se puede elegir el comportamiento adaptivo) - Conmutación entre servicio todo-nada (ABRIR - CERRAR) y servicio de regulación mediante interface de bus de campo |
| Funciones de seguridad (opciones): | <ul style="list-style-type: none"> • Operación de EMERGENCIA, comportamiento programable <ul style="list-style-type: none"> - Entrada digital low active, se puede elegir la reacción entre: Paro, Opera a posición final CERRADO, Opera a posición final ABIERTO, Opera a posición intermedia - By-pass de vigilancia de par en caso de operación de EMERGENCIA - By-pass de protección térmica en caso de operación de EMERGENCIA (sólo en combinación con termostato, no con termistor) • Habilitar mandos locales mediante el interface de bus de campo. De este modo se puede habilitar o bloquear el manejo del actuador mediante los pulsadores de los mandos locales • Paro local <ul style="list-style-type: none"> - Con el selector en posición REMOTO, el actuador se puede parar mediante el pulsador Paro de los mandos locales. Viene de fábrica sin activar. • Pulsador de paro de EMERGENCIA, interrumpe el servicio eléctrico independientemente de cual sea la posición del selector |

| | |
|---|--|
| Funciones de vigilancia | <p>Estándar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Protección contra sobrecarga de la válvula (programable), provoca la desconexión y emite una señal de fallo • Vigilancia de la temperatura del motor (vigilancia térmica), provoca la desconexión y emite una señal de fallo • Vigilancia de la calefacción en el actuador, emite señal de aviso • Vigilancia del tiempo de marcha y del número de arrancadas admisibles (ajustable), emite señal de aviso • Vigilancia del tiempo de maniobra (programable), emite señal de aviso • Vigilancia de pérdida de fase, provoca la desconexión y emite una señal de fallo • Corrección automática de sentido de giro en caso de secuencia falsa de fases (corriente trifásica) |
| Funciones de diagnóstico | <ul style="list-style-type: none"> • Identificación electrónica del dispositivo con datos de pedido y producto • Registro de datos operativos: Un contador reseteable y un contador total para: <ul style="list-style-type: none"> - Tiempo de funcionamiento del motor, arrancadas, desconexiones por limitador de par en posición final CERRADO, desconexiones por final de carrera en posición final CERRADO, desconexiones por limitador de par en posición final ABIERTO, desconexiones por final de carrera en posición final ABIERTO, fallos de limitador de par CERRAR, fallos de limitador de par ABRIR, desconexiones por protección del motor • Protocolo de eventos con sello de tiempo con historial de ajuste, operación y fallos: <ul style="list-style-type: none"> - Señales de estado según la recomendación NAMUR NE 107: "Avería", "Comprobación de funciones", "Fuera de especificación", "Mantenimiento requerido" • Curvas de par <ul style="list-style-type: none"> - 3 curvas de par (curva característica par-carrera) que se pueden guardar por separado para el sentido de apertura y el de cierre. Las curvas de par guardadas se pueden visualizar en la pantalla. |
| Conexión eléctrica | <p>Estándar: Conector múltiple (S) AUMA con terminales para atornillar y entradas de cables con rosca M</p> <p>Opciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rosca Pg, rosca NPT, rosca G, rosca especial • Contactos de mando recubiertos de oro (macho y hembra) • Marco para fijar un conector desenchufado en una pared • Tapa protectora para recinto de conexión (con el conector desenchufado) |
| Protección contra sobretensión (opción) | Protege la electrónica del actuador y del control contra sobretensiones en los cables de bus de campo de hasta 4 kV |
| Diagrama de cableado | Véase la placa de características |

- 1) Los contactores-inversores se han diseñado para una vida útil de 2 millones de arrancadas.
- 2) Asignación de las clases de potencia AUMA, véanse Datos eléctricos del actuador
- 3) Todas las señales de entrada se deben alimentar con el mismo potencial.
- 4) No es posible con dispositivo de disparo de los termistores.

| Adicionalmente en las versiones no intrusivas con MWG en el actuador | |
|---|--|
| Ajuste de finales de carrera y limitadores de par mediante los mandos locales del control | |
| Señal de limitador de par | Salida analógica aislada galvánicamente $E6 = 0/4 - 20 \text{ mA}$ (carga máx. 500 Ω). (sólo posible en combinación con contacto de salida) |

12.3. Interface Modbus

| Ajustes/Programación del interface Modbus | |
|--|--|
| Descripción del interface Modbus | El ajuste de la tasa de transferencia de baudios, paridad y dirección Modbus se realiza mediante la pantalla del AUMATIC |

| Las órdenes y señales se transmiten a través del interface de bus de campo | |
|---|---|
| Representación de proceso de salida (órdenes de mando) | ABRIR, PARO, CERRAR, setpoint de posición, RESET, orden de maniobra de EMERGENCIA, habilitación de los mandos locales, Interlock ABRIR/CERRAR |

| Las órdenes y señales se transmiten a través del interface de bus de campo | |
|---|--|
| Representación de proceso de entrada (señales). | <ul style="list-style-type: none"> • Posición final ABIERTO, CERRADO • Valor real de posición • Valor real de par¹⁾ • Selector en posición LOCAL/REMOTO • Indicador de marcha (depende del sentido) • Limitadores de par ABRIR, CERRAR • Finales de carrera ABRIR, CERRAR • Accionamiento manual mediante volante o mandos locales • 2 entradas analógicas y 4 digitales del cliente |
| Representación de proceso de entrada (señales de fallo) | <ul style="list-style-type: none"> • La protección del motor se ha activado • Limitador de par activado antes de posición final • Pérdida de una fase • Fallo de las entradas analógicas del cliente |
| Comportamiento operativo en caso de fallos de comunicación | La reacción del actuador se puede parametrizar: <ul style="list-style-type: none"> • Parar en la posición actual • Operar a posición final ABIERTO o CERRADO • Ejecutar una marcha a cualquier posición intermedia • Ejecutar la última orden de maniobra recibida |

1) Exige un transmisor magnético de carrera y par (MWG) en el actuador

| Datos generales del interface de bus de campo | |
|--|---|
| Protocolo de comunicación | Modbus RTU conforme a IEC 61158 e IEC 61784 |
| Topología de red | <ul style="list-style-type: none"> • Estructura (bus) lineal. Se pueden realizar también estructuras de árbol con ayuda de repetidores. • Es posible el acoplamiento y desacoplamiento sin reacción de dispositivos durante el funcionamiento. |
| Medio de transmisión | Cable de cobre trenzado y apantallado según IEC 61158 |
| Interface de bus de campo | EIA-485 (RS485) |
| Velocidad de transmisión/Longitud de cable | <ul style="list-style-type: none"> • Tasa de transferencia de baudios: 9,6 – 115,2 kBit/s • Longitud máxima de cable (longitud del segmento o entre dos actuadores) sin repetidor: 1.200 m • Longitudes de cable posibles: <ul style="list-style-type: none"> - con topología lineal con repetidor: aprox. 10 km (longitud de cable total de la red) - con topología de anillo: aprox. 290 km (anillo redundante) |
| Tipos de dispositivo | Esclavo Modbus, p. ej., dispositivos con entradas y salidas digitales y/o analógicas como actores, sensores |
| Número de dispositivos | 32 dispositivos en cada segmento sin repetidor, ampliables hasta 247 con repetidor |
| Acceso bus | Proceso Polling entre maestro y esclavos (Query-Response) |

ANEXO N.

ESPECIFICACIONES DEL CONTROLADOR PRINCIPAL Y

ACCESORIOS.

1
M340

Los microautómatas Modicon M340 se han desarrollado para cumplir las principales normas nacionales e internacionales relativas a equipos electrónicos de automatismos industriales.

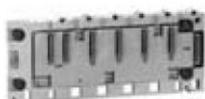
| Características y rendimiento | | | | Estándar BMX P34 1000 | Avanzado BMX P34 2010 BMX P34 2020 BMX P34 2030 | | | |
|---|--|-----------------------------|---|--|--|---|--|--|
| Tipos de procesadores | | | | | | | | |
| Configuración máxima | Nº de racks | 4, 6, 8 o 12 emplazamientos | | 1 | | | | |
| | Nº máximo de emplazamientos para procesadores y módulos (sin contabilizar el módulo de alimentación) | | | 12 | | | | |
| Funciones | Nº máximo (1) | E / S digitales | | 512 | 1.024, 704 en configuración monorack (64 E / S X 11) | | | |
| | | E / S analógicas | | 128, 66 en configuración monorack (4 E / 2 S X 11) | 256, 66 en configuración monorack (4 E / 2 S X 11) | | | |
| | Vías de regulación | | Bucles programables (a través de biblioteca de bloques de función EFB de regulación CONT-CTL) | | | | | |
| | Vías de contaje | | | 20 | 36 | | | |
| | Control de movimiento | | | | | Ejes independientes en bus CANopen (a través de biblioteca MFB) | | Ejes independientes en bus CANopen (a través de biblioteca MFB) |
| | | Conexiones integradas | Ethernet TCP / IP | | | | | 1 puerto RJ45, 10/100 Mbit/s, con servidor Web clase B10 Transparent Ready |
| | | Bus CANopen maestro | | | | 1 (SUB-D 9 contactos) | | 1 (SUB-D 9 contactos) |
| | | Conexión serie | | | 1 puerto RJ45, Modbus maestro/esclavo RTU/ASCII o modo caracteres (RS 232C/RS 485 no aislado), 0.3...19.2 Kbit/s | | | |
| | | Puerto USB | | | 1 puerto 12 Mbit/s | | | |
| | | Módulo de comunicación | Ethernet TCP / IP | | 1 puerto RJ45, 10/100 Mbit/s, con: – BMX NOE 0100, servidor web estándar clase B30. – BMX NOE 0110, servidor web configurable clase C30. | | | |
| Memoria RAM de usuario interna | Capacidad total | | Kb | 2048 | 4096 | | | |
| | Programa, constantes y símbolos | | Kb | 1792 | 3584 | | | |
| | Datos | | Kb | 128 | 256 | | | |
| Tarjeta de memoria | Suministrada de serie (referencia BMX RMS 008MP) | | | Grabación del programa, constantes, símbolos y datos | | | | |
| | Se solicitan por separado (referencia BMX RMS 008MPF) | | | | | | Activación del servidor Web, clase B10 | |
| | | | | | | | Grabación del programa, constantes, símbolos y datos | |
| | | | | | | | Almacenamiento de archivos, 16 Mb | |
| | | | | | | | Activación del servidor Web básico, clase B10 | |
| Tamaño máximo de las zonas objetos | Bits internos localizados | Máximo | bits | 16250 %Mi | 32464 %Mi | | | |
| | | Por defecto | bits | 256 %Mi | 512 %Mi | | | |
| | Datos internos localizados | Máximo | Bytes | 32.464 palabras internas %MWi, 32.760 palabras constantes %KWi | | | | |
| | | Por defecto | Bytes | 512 palabras int. %MWi 128 palabras const. %KWi | | | | |
| | Datos internos no localizados máx. | | Kb | 128 (2) | 256 (2) | | | |
| Estructura de la aplicación | Tarea maestra | | | 1 cíclica o periódica | | | | |
| | Tarea rápida | | | 1 periódica | | | | |
| | Tareas auxiliares | | | – | | | | |
| | Tareas por suceso | | | 32 (de los cuales 2 son prioritarios) | 64 (de los cuales 2 son prioritarios) | | | |
| Tiempo de ejecución para una instrucción | Booleana | | µs | 0,18 | 0,12 | | | |
| | En palabras o aritmética de coma fija | Palabras de longitud simple | µs | 0,38 | 0,25 | | | |
| | | Palabras de longitud doble | µs | 0,26 | 0,17 | | | |
| | En flotantes | | µs | 1,74 | 1,16 | | | |
| N.º de K instrucciones ejecutadas por ms | 100% booleana | | Kinst/ms | 5,4 | 8,1 | | | |
| | 65% booleano y 35% aritmético fijo | | Kinst/ms | 4,2 | 6,4 | | | |
| Sistema Overhead | Tarea maestra | | ms | 1,05 | 0,70 | | | |
| | Tarea rápida | | ms | 0,20 | 0,13 | | | |
| Consumo | | En tensión ... 24 V | mA | 72 | 90 | 95 | 135 | |

(1) Sólo se refiere a los módulos "In rack". Las entradas/salidas distantes en bus CANopen no se tienen en cuenta en estos números máximos.
(2) El tamaño de los datos localizados (bits y datos internos) y el tamaño de los datos de configuración se restan de este valor.

1
M340

| Características | | | | BMX CPS 2010 | BMX CPS 3020 | |
|--|---|---|---|--|----------------------------------|--------|
| Tipo de módulos de alimentación --- | | | | | | |
| Primario | Tensión | Nominal | V | --- 24 aislada | --- 24...48 aislada | |
| | | Límite (ondulación incluida) | V | --- 18...0,31,2 | --- 18...0,620,4 | |
| | Corriente | Nominal de entrada I ef. | A | 1 a --- 24 V | 1,65 a --- 24 V; 0,83 a --- 48 V | |
| | | Conexión inicial a 25° C (1) | I llamad. | A | --- 24 | --- 24 |
| | Duración microcortes | I ² t en la activación | A ² s | ≤ 0,6 | ≤ 1 | ≤ 3 |
| | | I t de accionamiento | As | ≤ 0,15 | ≤ 0,2 | ≤ 0,3 |
| | | Sector (aceptada) | ms | ≤ 1 | | |
| | Protección integrada | | | Por fusible interno no accesible | | |
| | Secundario | Potencia útil | Máx. | W | 16,5 | 31,2 |
| | | Tensión --- 3,3 V (2) | Tensión nominal | V | 3,3 | |
| Corriente nominal | | | A | 2,5 | 4,5 | |
| Potencia típica | | | W | 8,3 | 15 | |
| Salida --- 24 V (3) | | Tensión nominal | V | --- 24 | | |
| | | Corriente nominal | A | 0,7 | 1,3 | |
| | | Potencia típica | W | 16,8 | 31,2 | |
| Protecciones integradas para tensiones (4) | | | Sí, contra sobrecargas, cortocircuitos y sobretensiones | | | |
| Potencia máx. disipada | | | W | 8,5 | | |
| Longitud máx. del cable de alimentación | | Hilos de cobre de sección 1,5 mm ² | | m | 20 | 10 |
| | Hilos de cobre de sección 2,5 mm ² | | m | 30 | 15 | |
| Aislamiento | Resistencia dieléctrica | Primaria / secundaria y primaria / tierra | V ef. | 1.500 - 50 Hz durante 1 min a una altitud de 0...4.000 m | | |
| | Resistencia de aislamiento | Primaria / secundaria y primaria / tierra | MΩ | ≥ 10 | | |
| Tipo de módulos de alimentación ~ | | | | BMX CPS 2000 | BMX CPS 3500 | |
| Primario | Tensiones | Nominal | V | ~ 100...0,240 | | |
| | | Límite (ondulación incluida) | V | ~ 85...264 | | |
| | Frecuencias | Nominal / límite | Hz | 50-60/47-63 | | |
| | Potencia | Aparente | VA | 70 | 120 | |
| | Corriente | Nominal de entrada I ef. | A ef | 0,61 a ~ 115 V; 0,31 a ~ 240 V | | |
| | | Conexión inicial a 25° C (1) | I llamad. | A | ~ 120 | ~ 240 |
| | Duración de microcortes | I ² t en la activación | A ² s | ≤ 30 | ≤ 60 | ≤ 30 |
| | | I t de accionamiento | As | ≤ 0,5 | ≤ 2 | ≤ 1 |
| | | Sector (aceptada) | ms | 0,03 | 0,06 | ≤ 0,05 |
| | Protección integrada | | | Por fusible interno no accesible | | |
| Secundario | Potencia útil | Máx. global | W | 20 | 36 | |
| | | Máx. en tensiones de salida de rack --- 3,3 V et --- 24 V | W | 16,5 | 31,2 | |
| | Tensión --- 3,3 V (2) | Tensión nominal | V | 3,3 | | |
| | | Corriente nominal | A | 2,5 | 4,5 | |
| | | Potencia (típica) | W | 8,3 | 15 | |
| | Tensión --- 24 V (3) | Tensión nominal | V | --- 24 | | |
| | | Corriente nominal | A | 0,7 | 1,3 | |
| | | Potencia típica | W | 16,8 | 31,2 | |
| | Salida de captadores --- 24 V (4) | Tensión nominal | V | --- 24 | | |
| | | Corriente nominal | A | 0,45 | 0,9 | |
| Potencia típica | W | 10,8 | 21,6 | | | |
| Protecciones integradas para tensiones (5) | | | Sí, contra sobrecargas, cortocircuitos y sobretensiones | | | |
| Potencia máx. disipada | | | W | 8,5 | | |
| Aislamiento | Resistencia dieléctrica | Primaria / secundaria (24 V/3,3 V) | V ef. | 1500 | | |
| | | Primaria / secundaria (24 V captadores) | V ef. | 2300 | | |
| | | Primario / tierra | V ef. | 1500 | | |
| | | Salida de captadores 24 V / tierra | V ef. | 500 | | |
| | Resistencia de aislamiento | Primaria / secundaria y primaria/tierra | MΩ | ≥ 100 | | |

(1) Se tomarán en cuenta estos valores cuando varios equipos arranquen simultáneamente y para dimensionar los elementos de protección.
 (2) Tensión de --- 3,3 V destinada a la alimentación lógica de los módulos de entradas / salidas.
 (3) Tensión de --- 24 V destinada a la alimentación de los módulos de entradas / salidas y del procesador.
 (4) Salida de captadores --- 24 V destinada a la alimentación de los captadores.
 (5) Protegidas mediante un fusible al que no se puede acceder.



BMX XBP 0400



BMX XBP 0600



BMX XBP 1200

Racks

| Designación | Tipo de módulos que se van a implantar | N.º de emplazamientos (1) | Referencia | Peso kg |
|-------------|---|---------------------------|--------------|---------|
| Racks | Alimentación BMX CPS, procesador BMX P34, módulos de E / S y módulos de funciones específicas (contaje, comunicación) | 4 | BMX XBP 0400 | 0,630 |
| | | 6 | BMX XBP 0600 | 0,790 |
| | | 8 | BMX XBP 0800 | 0,950 |
| | | 12 | BMX XBP 1200 | 1,270 |

Accesorios

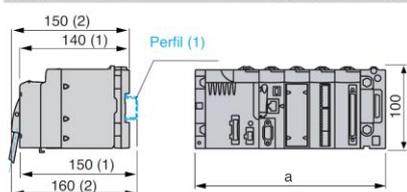
| Designación | Utilización con | Referencia unitaria | Peso kg |
|---|---|---------------------|---------|
| Kits de conexión para el apantallamiento que incluyen: - una barra metálica - dos bases - un juego de anillo de apriete con resortes | Rack BMX XBP 0400 | BMX XSP 0400 | 0,280 |
| | Rack BMX XBP 0600 | BMX XSP 0600 | 0,310 |
| | Rack BMX XBP 0800 | BMX XSP 0800 | 0,340 |
| | Rack BMX XBP 1200 | BMX XSP1200 | 0,400 |
| Anillos de apriete con resorte | Cables de sección 1,5...6 mm ² | STB XSP 3010 | 0,050 |
| | Cables de sección 5...11 mm ² (lote de 10) | STB XSP 3020 | 0,070 |
| Tapas de protección (lote de 5) | Emplazamientos no ocupados en el rack BMX XBP ●●00 | BMX XEM 010 | 0,005 |

(1) Número de emplazamientos para el procesador Modicon M340, los módulos de E / S y los módulos de funciones específicas (excluyendo el módulo de alimentación).

Dimensiones y montaje

BMX XBP

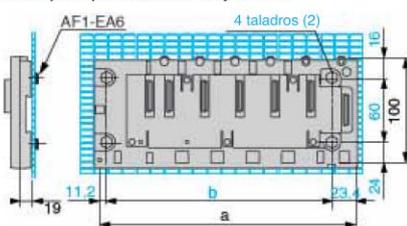
Vista lateral común Vista frontal: ejemplo BMX XBP



| | a |
|--------------|-------|
| BMX XBP 0400 | 242,4 |
| BMX XBP 0600 | 307,6 |
| BMX XBP 0800 | 372,8 |
| BMX XBP 1200 | 503,2 |

Montaje de los racks

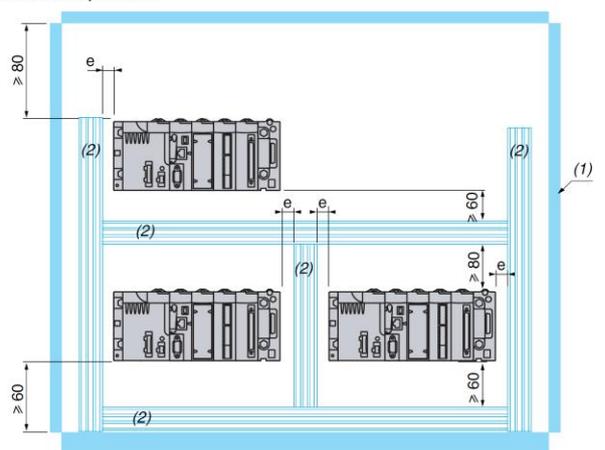
Sobre placa perforada AM1 PA y AM3 PA



| | a | b |
|--------------|-------|-------|
| BMX XBP 0400 | 242,4 | 207,8 |
| BMX XBP 0600 | 307,6 | 273 |
| BMX XBP 0800 | 372,8 | 338,2 |
| BMX XBP 1200 | 503,2 | 468,6 |

(1) Sobre perfil: ancho 35 mm, profundidad 15 mm posible con el rack BMX XBP 0400/0600/0800 únicamente.
(2) Para montaje sobre panel: el diámetro de los orificios de fijación debe permitir que pasen los tornillos M4, M5, M6 y UNC# (de 4.32 a 6.35).

Normas de implantación



a ≥ 3 mm
(1) Armario
(2) Canaleta de cableado