

**UNIVERSIDAD MAYOR, REAL Y PONTIFICIA DE
SAN FRANCISCO XAVIER DE CHUQUISACA
VICERRECTORADO
CENTRO DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**



**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA PARA EL CONTROL Y
MANEJO DE LA LINEA DEL POLIDUCTO SANTA CRUZ - CAMIRI
TRABAJO EN OPCIÓN A DIPLOMADO EN TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO
Y DISTRIBUCIÓN DE HIDROCARBUROS**

GODOY ROCHA JUAN

Sucre - Bolivia

2023

CESIÓN DE DERECHOS

Al presentar este trabajo como requisito previo a la obtención del Diplomado en Transporte, Almacenamiento y Distribución de Hidrocarburos de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, autorizo al Centro de Estudios de Posgrado e Investigación o a la Biblioteca de la Universidad, para que se haga de este trabajo un documento disponible para su lectura, según normas de la Universidad.

También cedo a la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, los derechos de publicación de este trabajo o parte de él, manteniendo mis derechos de autor hasta un periodo de 30 meses posterior a su aprobación.

Juan Godoy Rocha

Sucre, 07 de Diciembre de 2023

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida, quien supo guiarme el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y culminar mis estudios en la carrera y la formación profesional.

También quiero dedicar a toda mi familia, especialmente mi padre Salvador Godoy y mi madre Benedicta Rocha, por darme valores y principios y formarme la persona que soy, a mis hermanos por su apoyo incondicional, motivarme y darme aliento. A mi primo por guiarme y brindarme ayuda en los momentos que necesitaba. A mis amigos por haberme brindado la maravillosa oportunidad de compartir con ellos experiencias que han forjado una unión más allá del compañerismo y que sigamos caminando por este sendero de la vida por muchos años más.

A mis docentes de tecnología gracias por su tiempo, por su apoyo, así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, Por darme la salud, fortaleza, seguridad, sabiduría y la oportunidad de salir adelante en todos los momentos difíciles durante el transcurso de mi formación y culminar con una meta más importante de mi vida.

A mi Familia, Agradezco infinitamente a mis queridos padres y hermanos por el apoyo incondicional que me brindaron durante toda la etapa de la formación académica. Asimismo, quiero mostrar mi gratitud a todas las personas que estuvieron presentes en la realización de esta meta, de este sueño que es tan importante para mí, agradecer todas sus ayudas, sus palabras motivadoras, su conocimiento, sus consejos y su dedicación.

A la Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca UMRPSFXCH, por concederme la oportunidad de formarme profesionalmente. A mi Facultad, Tecnología, Por haberme cobijado en sus aulas, durante todo este tiempo brindándome la oportunidad de formar parte de esta prestigiosa institución, A los docentes de Ingeniería en Petróleo y Gas Natural por la paciencia, dedicación y por brindarnos ese preciado tesoro como lo es la educación.

Gracias por todo.

RESUMEN

El Poliducto Santa Cruz - Camiri, PCSZ-1, tiene por finalidad abastecer de combustibles a la ciudad de Camiri, así mismo se constituye en ducto en tránsito ya que alimenta a los poliductos del PCS, PSP y PVT, para el suministro de combustibles a ciudades importantes de la Región Sur de Bolivia: Sucre, Potosí y Tarija.

La tecnología de las unidades de bombeo existentes, las cuales han sido diseñados para el transporte de petróleo, no reúne las condiciones mínimas de seguridad por los productos que hoy en día se transportan: el sistema actual de control no puede detectar cualquier fuga de inmediato, ya que el gas licuado de petróleo genera una atmósfera explosiva, atentando con la seguridad e integridad de las personas, operadores, comunarios, medio ambiente e imagen de corporativa de YPFB transporte S.A.

El presente trabajo se enfoca en la importancia de los sistemas de supervisión, control y adquisición de datos, conocidos como SCADA, con un aspecto fundamental de la automatización de los procesos en la industria actual. Se destacan aspectos técnicos y funcionales de la implementación de sistemas SCADA, que le permiten al ser humano interactuar con los procesos en los diferentes tipos de industrias sin necesidad de asumir riesgos en la planta, ya que facilitan el control y toma de decisiones de manera remota desde una cabina de mando.

Este tipo de software constituye un avance de gran impacto en la automatización industrial, ya que permite ilustrar gráficamente los procesos operativos en pantalla y crear alarmas y advertencias en tiempo real, para el manejo confiado y pleno del proceso que se desea controlar.

Es por eso que el presente trabajo ve como una estrategia óptima la implementación del sistema SCADA, de acorde a las necesidades de la línea de poliducto.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
RESUMEN.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.1.1 Planteamiento del Problema.....	2
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.2.1 Objetivo General.....	3
1.2.2 Objetivos Específicos.....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3.1 Justificación Práctica.....	3
1.3.2 Justificación Teórica.....	3
1.4 METODOLOGÍA.....	4
1.4.1 Técnicas de Investigación.....	4
1.4.2 Instrumentos de Investigación.....	4
2 CAPÍTULO II: DESARROLLO.....	5
2.1 MARCO TEÓRICO (CONCEPTUAL Y CONTEXTUAL).....	5
2.1.1 Marco Conceptual.....	5
2.1.1.1 Poliducto.....	5
2.1.1.1.1 Tipos de Poliductos.....	5

2.1.1.1.2	Estaciones de Bombeo.....	6
2.1.1.1.3	Factores principales que causan la perdida de presión.....	7
2.1.1.1.4	Variables de Operación en el Poliducto	7
2.1.1.2	Sistemas de automatización	8
2.1.1.3	Niveles De Automatización	8
2.1.1.3.1	Nivel 1 elemental proceso o producción	9
2.1.1.3.2	Nivel 2 controlador Lógico Programable (PLC).....	9
2.1.1.3.3	Nivel 3 Intermedio Supervisión.....	10
2.1.1.3.4	Nivel 4 Superior Planificación	12
2.1.1.3.5	Nivel 5 (CIM) Manufactura y Gestión Empresarial	13
2.1.1.3.6	Metas de la Automatización Industrial.....	18
2.1.1.3.7	Sistemas de Comunicación Industrial	18
2.1.1.3.8	Supervisión de Procesos Industriales	19
2.1.1.4	Sistema SCADA.....	20
2.1.1.4.1	Tipos de Sistemas SCADA.....	20
2.1.1.4.2	Componentes de un Sistema SCADA.....	21
2.1.1.4.3	Prestaciones del Sistema SCADA	22
2.1.2	Marco Contextual	24
2.1.2.1	Descripción del Poliducto Santa Cruz – Camiri PCSZ-1.....	24
2.1.2.2	Descripción y Ubicación de la Estación Cabecera	25
2.1.2.3	Estaciones de bombeo en el PCSZ-1	26
2.1.2.3.1	Estación Terminal Chorety	26
2.1.2.4	Datos de Construcción	27
2.1.2.5	Dimensiones.....	27

2.1.2.6	Material	27
2.1.2.7	Presión de Diseño y Operación	28
2.1.2.8	Accesorios Instalados en el Poliducto	29
2.1.2.9	Productos transportados	31
2.1.2.10	Descripción y Operación de Equipos Principales.....	31
2.1.2.11	Operación De Medición, Regulación Y Control	32
2.1.2.12	Las instalaciones de la Estación Bombeo Santa Cruz.....	33
2.2	INFORMACIÓN Y DATOS OBTENIDOS	34
2.2.1	Selección de un Sistema SCADA.....	34
2.2.2	Implementación del Sistema SCADA.....	36
2.2.2.1	Implementación e Instalación de SKID de Medición en el PCSZ-1	37
2.2.2.2	Sistema SCADA para Control del PCSZ-1 Arquitectura de Comunicación	38
2.2.3	Aplicaciones con la Implementación del Sistema SCADA.....	40
2.2.4	Impacto de las Operaciones con el Sistema SCADA.....	40
2.2.5	Rapidez en el Cambio de la Demanda	41
2.2.6	Trabajar con los Recursos Óptimos	41
2.2.7	Determinación de nuevas Maquinarias y Equipos	42
2.2.8	Toma de Decisiones en Tiempo Real.....	42
2.2.9	Herramientas Para la Toma de Decisiones	42
2.3	ANALISIS Y DISCUSION.....	44
2.3.1	Analizar la inversión Necesaria para la Implementación del Sistema SCADA.....	44
2.3.1.1	Costo de materiales.....	44
2.3.1.2	Costo de Ingeniería	45
2.3.1.3	Costo Total del Proyecto.....	46

2.3.1.4	Costo Total Del Sistema SCADA Con MES Integrado	47
2.3.2	Manejo de la información SCADA.....	47
2.3.3	Alarmas	48
2.3.4	Las características más importantes del sistema SCADA.....	48
CAPÍTULO III: CONCLUSIONES		49
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		50
ANEXOS.....		52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: <i>Tendido de la Línea PCSZ-1</i>	5
Figura 2: <i>Bombas en la Estación de Bombeo</i>	7
Figura 3: <i>Pirámide de la Automatización Industrial</i>	8
Figura 4: <i>Interruptor Mecánico De Seguridad</i>	9
Figura 5: <i>Secuenciador siemens (PLC)</i>	9
Figura 6: <i>Pantallas HMI</i>	10
Figura 7: <i>Controlador Lógico Programable MODULAR</i>	11
Figura 8: <i>Controlador Lógico Programable COMPACTO</i>	11
Figura 9: <i>computadora con sistema HMI/SCADA</i>	12
Figura 10: <i>control automático programable (PAC)</i>	13
Figura 11: <i>Jerarquía De Control En Un Ambiente De (CIM)</i>	14
Figura 12: <i>Visualización de software SCADA</i>	19
Figura 13: <i>Tipos de Sistemas SCADA</i>	20
Figura 14: <i>componentes de un sistema SCADA</i>	21
Figura 15: <i>Ubicación y Vista PCSZ-1</i>	24
Figura 16: <i>Ubicación de la Estación Santa Cruz</i>	25
Figura 17: <i>Vista Preliminar Estación Chorety</i>	26
Figura 18: <i>Esquema Básico del sistema de medición SCADA</i>	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Jerarquía de Niveles con Manufactura Integrada por Computadora (CIM)</i>	17
Tabla 2: <i>Tipos de Sistemas SCADA más conocidos</i>	21
Tabla 3: <i>Dimensiones del PCSZ-1</i>	27
Tabla 4: <i>Características Técnicas de Construcción</i>	28
Tabla 5: <i>Presión de Diseño y Operación del poliducto PCSZ-1</i>	28
Tabla 6: <i>Tipo y Ubicación de Válvulas en el PCSZ-1</i>	29
Tabla 7: <i>Propiedades de los Productos Transportados</i>	31
Tabla 8: <i>Características y Especificaciones Técnicas de las Unidades de Bombeo</i>	31
Tabla 9: <i>Las instalaciones de la Estación Bombeo Santa Cruz</i>	33
Tabla 10: <i>Tabla Comparativa entre Sistemas SCADA</i>	35
Tabla 11: <i>Características Técnicas del Caudalímetro “Coriolis”</i>	38
Tabla 12: <i>Costo de los Materiales a utilizar</i>	44
Tabla 13: <i>Costos de Ingeniería</i>	46
Tabla 14: <i>Costo Total Implementación SCADA</i>	46
Tabla 15: <i>Implementación de Sistema SCADA con MES</i>	47

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Proyectos de automatización se realizaron muchos y de diferentes características tanto a nivel nacional como internacional, trabajos con SCADA igualmente se han desarrollado en gran cantidad las siguientes referencias servirán para observar cómo se desarrollaron las soluciones a los problemas planteados. (VILLALOBOS ESCOBAR, 2017).

Los sistemas de supervisión, control y adquisición de datos han aportado un gran progreso en la integración de los procesos en industriales con los sistemas de información, dando una perspectiva nueva y fresca de hacer las cosas, en donde la información adquirida sirve para dar apoyo a la toma de decisiones en cualquier proceso. Habiendo identificado el problema, se puede profundizar de forma más específica donde surgen las interrogantes de identificar la posibilidad de implementar un sistema SCADA, se diseñará el Algoritmo que dará solución al problema general, además de confirmar asertivamente que la comunicación será óptima y segura bajo una red inalámbrica. (Rodriguez Mogrovejo, 2019)

La automatización industrial consiste en gobernar la actividad y evolución de los procesos sin la intervención continua de un operador humano. En los últimos años, se ha desarrollado el sistema denominado SCADA (siglas en ingles de Supervisory Control And Data Adquisition), por medio de cual se pueden supervisar y controlar las distintas variables que se presentan en un proceso o planta. Para ello se deben utilizar diversos periféricos, software de aplicación, unidades remotas, sistemas de comunicación, que le permiten al operador tener acceso completo al proceso mediante su visualización en una pantalla de computador. (PEREZ LOPEZ , 2015).

En la carrera de ingeniería electromecánica de la facultad de ingeniería de la UMSA se desarrolló el proyecto “Diseño De Un Sistema De Automatización Para Una Llenadora De Botellas Aplicado A Una Cervecería. (Limachi Calani, 2023).

Este trabajo consiste en el diseño de un artefacto electromecánico que permite la automatización de un proceso cervecero.

En la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la UMSA se desarrolló el proyecto denominado: “Implementación De Un Sistema De Monitoreo Para La Planta Hidroeléctrica Chojlla Antigua. (Rojas Ticacala, 2014).

En la universidad técnica de Cotopaxi ciencias de la ingeniería y Aplicadas, en el año 2021 se desarrolló de una aplicación SCADA para el control de nivel de un proceso simuladores de tres tanques en Cascada. (Guacapiña Toapanta, 2021).

En el año 2019 se realizó un diseño e implementación de un sistema SCADA para la automatización de una planta industrial didáctica de un proceso termodinámico, con los avances en los sistemas informáticos, la implementación de software, proporcionan suficiente capacidad para recoger datos automáticamente y registrarlos, de tal modo que los operarios puedan examinarlos en cualquier momento, minimizando así la pérdida de información y la incertidumbre que puede surgir con la recogida de información del operario y con una velocidad mayor con una toma de datos. (Poma Quispe, 2019).

1.1.1 Planteamiento del Problema

Actualmente las condiciones operativas del poliducto y las facilidades que se cuentan en las estaciones de bombeo, hacen necesario implementar este sistema SCADA para poder controlar el comportamiento de las variables y detectar cualquier desviación fuera de rango admisible. Esto significa que, si alguna de las unidades de bombeo falla, por ser un sistema de bombeo en serie, la inmediata reducción de caudales de transporte y por ende el incumplimiento a los programas de bombeo y desabastecimiento continuo de combustibles.

El proceso de bombeo requiere de una comunicación y coordinación permanente entre las estaciones del Poliducto PCSZ-1 y Sala de Control, con el fin de realizar el buen manejo de presiones en el ducto (altas y bajas, contracciones y expansiones, fugas de producto, etc.), propias de este proceso, que dependen principalmente de las condiciones ambientales en los diferentes tramos del ducto, del perfil topográfico de la zona, de las propiedades físicas de los productos transportados.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Implementar un sistema SCADA para el control y manejo de la línea del poliducto Santa Cruz – Camiri.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Describir la situación actual de la línea de poliducto Santa Cruz – Camiri.
- Seleccionar las alternativas de automatización.
- Implementar un sistema SCADA para el poliducto Santa Cruz – Camiri.
- Analizar la inversión necesaria para la implementación del sistema SCADA.

1.3 JUSTIFICACIÓN

1.3.1 Justificación Práctica

Se analizó la opción de este sistema de control SCADA para la línea del poliducto Santa Cruz – Camiri. Con el propósito de velar la integridad del poliducto y asegurar la continuidad operativa del mismo y abastecimiento de combustibles a las diferentes ciudades de Bolivia. El diseño de nuevos sistemas con capacidades modernas y en consonancia con la realidad industrial, aparte de crear el espacio para probar nuevas y distintas configuraciones de software y hardware para sistemas electrónicos de control. Sin duda alguna la importancia del presente trabajo, radica en tener una herramienta de control y monitoreo.

1.3.2 Justificación Teórica

El presente trabajo se desarrolló con todo el conocimiento adquirido en los módulos de Transporte, Almacenamiento y Distribución de Hidrocarburos, Manual de Operaciones de Estación, Gerencia Sectorial de Transporte de Poliductos. Debido a que se basa en teorías y trabajos anteriormente estudiados, además de buscar aplicar soluciones prácticas a problemas que han sido observados gracias a la experiencia y recolección de datos de agentes relacionados a la problemática del control y monitoreo del Poliducto.

1.4 METODOLOGÍA

La presente monografía es una investigación propositiva, con un enfoque cuantitativo. (Sampieri, 2014).

1.4.1 Técnicas de Investigación

La información necesaria para el desarrollo de la presente monografía fue proporcionada a través de YPFB Transporte S.A., Gerencia Sectorial de Poliductos, Manual de Operaciones de Estación, y entrevistas con el jefe de operaciones poliductos los cuales ayudan a dar forma a determinado proyecto. También Se utilizarán para esta investigación técnicas de investigación documental para soportar el marco teórico y conceptual del trabajo. Para el desarrollo de la implementación del sistema SCADA nos apoyaremos de la observación de la célula de manufactura siendo esta una técnica de campo, que nos permitirá determinar los mecanismos y equipos necesarios para la implementación del sistema SCADA en el proceso de manufactura. se obtendrá información del grado de automatización.

1.4.2 Instrumentos de Investigación

Toda la información adquirida por el sistema se tabulará en programa de Excel, o en otro formato de acuerdo a la necesidad del interesado, en este caso YPFB Transporte S.A. Al obtener los datos necesarios para la implementación del sistema SCADA se procederá al diseño de la arquitectura del sistema el cual nos permitirá enviar el flujo de información, de manera ágil y confiable, hacia las diferentes áreas de la empresa. Para esto nos auxiliaremos en páginas, revistas, informes, hacer cotizaciones del presupuesto del sistema de acuerdo a la cantidad de variables a ser controlados y todo referente sobre automatización industrial en informaciones proporcionados por YPFB Transporte S.A., Y entre otros proyectos sobre control de procesos.

2 CAPÍTULO II: DESARROLLO

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Marco Conceptual

2.1.1.1 Poliducto

Son conductos de tubería de grandes dimensiones, provisto de estaciones de bombas, que sirven para transportar refinados de petróleo desde las refinerías hasta los centros de consumo y distribución. Cuando dicha tubería está encargada de transportar crudo, se llama oleoducto, pero cuando la tubería transporta refinados como gasolina o diésel, es llamada poliducto, pero si transporta gas, se llama gasoducto. (Secretaría, 2009).

2.1.1.1.1 Tipos de Poliductos

Existen dos tipos de poliductos, los lisos y corrugados, ambas con la misma función, se usan dependiendo las necesidades de cada instalador, sin embargo, las corrugados son más resistentes a la compresión y permiten hacer curvas más cerradas.

Figura 1: *Tendido de la Línea PCSZ-1*



Fuente: Extraído, de YPFB Transporte S.A., 2022

2.1.1.1.2 Estaciones de Bombeo

Son un conjunto de estructuras civiles, equipos, tuberías y accesorios, que toman el fluido directa o indirectamente de la fuente de abastecimiento y la impulsan a un reservorio de almacenamiento o directamente a la red de distribución. Y para transportar el fluido del nivel de succión, al nivel superior o de salida de la misma. Las estaciones de bombeo de fluidos son necesarias para elevar y/o transportar el líquido, cuando la disposición final del flujo por gravedad ya no es posible. (Baquero, 2022).

Existen muchos tipos de estaciones de bombeo, dependiendo de la industria, la aplicación final o el fluido en sí que se desea bombear. Sin embargo, estos sistemas deben poseer tres elementos fundamentales para lograr un óptimo funcionamiento.

a) Bombas

Son equipos o máquinas que por medios mecánicos incrementan la presión, velocidad o altura de un fluido en estado líquido a través de conductos. Los Tipos de Bombas más Utilizadas en las Estaciones de Bombeo son los siguientes:

- Desplazamiento Positivo. Las válvulas son de tipo antirretorno, el líquido puede moverse en un sentido. Son más adecuadas para el bombeo de fluidos limpios.
- Centrifuga. Transporta fluidos o flujos a través de la conversión de la energía rotacional en energía cinética
- De Alta Presión. Comprime el combustible y lo suministra en la cantidad necesaria.

b) Válvulas

Se pueden definir como un instrumento mecánico, con que se puede iniciar, detener o regular la circulación de un flujo determinado.

c) Instrumentación de Regulación y Control

Es un conjunto de dispositivos que tienen la finalidad de medir, comparar y ejecutar parámetros establecidos de acuerdo a su configuración.

Figura 2: Bombas en la Estación de Bombeo



Fuente: Extraído de ADVANCE Sistemas de bombeo

2.1.1.1.3 Factores principales que causan la pérdida de presión

- Viscosidad del fluido
- Tasa de flujo
- Elevación

2.1.1.1.4 Variables de Operación en el Poliducto

- **Presión.** Es una fuerza por unidad de superficie y puede expresarse en unidades tales como pascal, bar, atmósferas, kilogramos por centímetro cuadrado y psi.
- **Densidad.** Es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia. Usualmente se simboliza mediante la letra ρ del alfabeto griego. La densidad media es la razón entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa.
- **Temperatura.** Es una magnitud física que refleja la cantidad de calor, ya sea de un cuerpo, de un objeto o del ambiente.
- **Caudal.** Es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, canal, etc.) por unidad de tiempo.

2.1.1.2 Sistemas de automatización

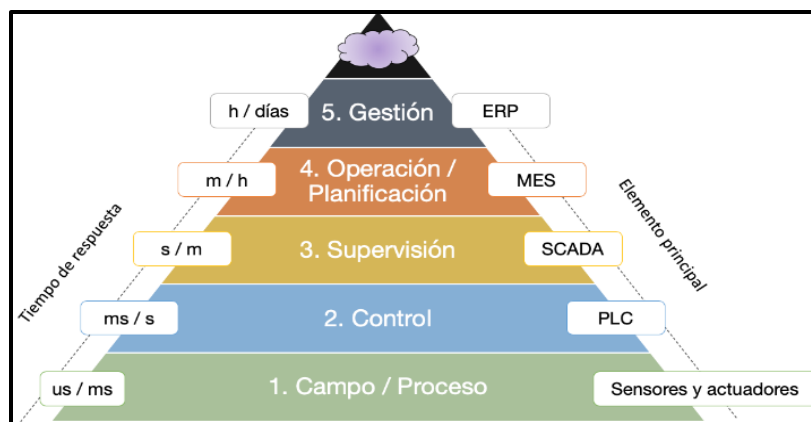
La automatización industrial, es el uso de sistemas computarizados, electromecánicos, electroneumáticos y electrohidráulicos para fines industriales. ha avanzado de forma muy significativa en las últimas tecnologías de campo. Hardware más potente, con la incorporación de sistemas SCADA, han hecho posible que se puedan integrar a las TI, permitiendo hacer excelentes sistemas de automatización industrial en tiempos mínimos, agregándole con esto valor al proceso, al producto y el servicio al cliente.

Durante años, el regulador analógico tradicional ha sido el elemento capaz de controlar procesos en los que se requiere el control de temperatura, caudal, presión todos ellos ejemplos típicos de la ingeniería química. Con los avances en la electrónica digital y la informática industrial, los reguladores han pasado a ser controladores digitales autónomos, polivalentes desde el punto de vista de que se adaptan a un rango de tensiones y corrientes habituales en la automatización industrial, por lo que un mismo controlador está condicionado para la regulación de diversas variables. (Pere Ponsa, 2019).

2.1.1.3 Niveles De Automatización

Este modelo responde a las necesidades de establecer el nivel de automatización en el que se encuentran las industrias siendo el nivel básico y el intermedio dentro de la estructura piramidal.

Figura 3: Pirámide de la Automatización Industrial



Fuente: introducción a la automatización industrial,2021

2.1.1.3.1 Nivel 1 elemental proceso o producción

Corresponde a una maquina sencilla o parte de ella, asignándole funciones elementales de operación, vigilancia, supervisión y/o seguridad, por medio de dispositivos o interruptores mecánicos. Ver **Gráfico 4**.

Figura 4: *Interruptor Mecánico De Seguridad*



Fuente: Diseño y Automatización Industrial,2019

Se le asignan tareas sencillas de operación como vigilancia de piezas y algunas funciones de seguridad.

2.1.1.3.2 Nivel 2 controlador Lógico Programable (PLC)

Corresponde a un conjunto de máquinas elementales o bien una maquina compleja. Este ha sido el dominio clásico de la automatización industrial. En este nivel se ocupan secuenciadores y/o controladores lógicos programables (PLC) de gama baja, para la ejecución de las operaciones.

Figura 5: *Secuenciador siemens (PLC)*



Fuente: Extraído de Diseño y Automatización Industrial,2019

2.1.1.3.3 Nivel 3 Intermedio Supervisión

Se caracteriza por ser una tarea completa en donde intervienen además del control básico del proceso, otros aspectos tales como supervisión, optimización, control de calidad y seguimiento de la producción. Este es el dominio actual de la automatización industrial.

Este nivel se ocupan los interfaces de operador o HMI (Human Machine Interface), **Figura 6.** integradas con el PLC de gama media y alta, **Figura 7.** Esta HMI se encarga, generalmente, de la visualización, control y supervisión del proceso y en algunos casos genera reportes de producción. También se llegan a emplear ordenadores, pero estos al igual que las HMI son únicamente para supervisar una sola maquina o proceso. (Barrientos Gamboa, 2014).

Figura 6: Pantallas HMI



Fuente: Extraído de Diseño y Automatización Industrial,2019

Existen dos tipos de PLC:

- PLC modulares
- PLC compactos

Figura 7: *Controlador Lógico Programable MODULAR*



Fuente: Diseño y Simulación de un Sistema SCADA, 2020

Cuando se conecta una PC con este PLC, el software permitirá realizar una conexión sin necesidad de programa, y sin tener que preocuparse por un protocolo complicado, para formas de comunicación tales como Ethernet y serial. (Madrid Ortega , 2017)

Figura 8: *Controlador Lógico Programable COMPACTO*



Fuente: Diseño y Simulación de un Sistema SCADA, 2020

fue diseñado para resolver aplicaciones complejas en un PLC de formato compacto, con gran capacidad de expansión y flexibilidad en las comunicaciones.

2.1.1.3.4 Nivel 4 Superior Planificación

Se caracteriza por integrar los elementos del nivel Intermedio con sistemas SCADA para la visualización, control y recolección de datos en tiempo real, así como para la planificación de la producción.

En este nivel se ocupan computadoras, así como HMIs/SCADA para monitorear operaciones de un área de la planta, **Figura 9**, por ejemplo, una línea de ensamble o una celda de manufactura. La computadora de planta se ocupa para la gestión de mantenimiento, supervisión control de calidad, seguimiento y planeación de la producción, y para funciones administrativas locales. (San Juan Gijón, 2010).

Figura 9: computadora con sistema HMI/SCADA



Fuente: Implementación de un sistema SCADA, 2020

En este nivel se agregan también los nuevos controladores automáticos programables PACs (Programmable Automation Controllers), **Figura 10**, los cuales cambian la arquitectura basada en PC y PLC proporcionando escalabilidad y portabilidad de aplicaciones.

A este nivel las máquinas herramientas y operaciones de manufactura deben ser flexibles para poder adherirse TI.

Figura 10: control automático programable (PAC)



Fuente: Implementación de un sistema SCADA, 2020

2.1.1.3.5 Nivel 5 (CIM) Manufactura y Gestión Empresarial

La manufactura integrada por computadora es un término amplio que describe la integración computarizada de todos los aspectos de diseño, planeación, manufactura, distribución y administración.

La manufactura integrada por computadora debe implicar la operación total de una empresa. Esta a su vez tiene una metodología propia y una meta, más que un ensamble de equipo y computadoras, esta meta consiste en integrar los subsistemas en un todo y deben permitir la conversión de las estrategias empresariales en operaciones de control de bajo nivel, **Figura 11.**

Estos subsistemas son los siguientes:

- A. Gestión Empresarial.
- B. Gestión de la Producción de una Empresa o Entidad.
- C. Gestión del Proceso.
- D. Automatización del Proceso.
- E. Control de Maquinas

En este nivel se ocupan varias computadoras y sistemas SCADA integrados con TI para monitorear operaciones de toda la planta. Se ocupan al menos una sola computadora de planta y/o un computador corporativo.

Se debe tener en cuenta que en la planificación de una estrategia **CIM** debe de aplicarse un axioma básico de amplia aceptación, el cual es el siguiente:

“el CIM debe planificarse “top Down” (“de arriba hacia abajo”), pero debe implantarse “botón-up” (“de arriba hacia abajo”).”

Ahora bien, la implementación de una estrategia productiva totalmente integrada no es una tarea fácil ni puede ser abordada a corto plazo, ya que existe toda una metodología para su implementación. La planificación de una estrategia CIM tiene que establecer una automatización progresiva de toda la planta, empezando con racionalizar toda la planta (Células) y aplicarles automatización y sistemas de control a esta, para su posterior integración a un sistema de Manufactura Flexible (FMS) y así integrarlos a ERP. (Garcia Moreno, 2016).

Figura 11: Jerarquía De Control En Un Ambiente De (CIM)



Fuente: extraído de automatización de procesos industriales

- a) Nivel 0. Control de Maquinas. Agrupa al conjunto de dispositivos, subprocesos, maquinaria en general, con que se realizan las operaciones elementales de producción en las empresas. Ver **Tabla 1**.
- b) Nivel 1. Automatización del proceso. En este nivel se encuentran los controladores lógicos programables (PLCs), tarjetas basadas en microprocesador, microcontrolador, y tarjetas especiales para el control industrial.
- c) Nivel 2. Gestión del Proceso. En este nivel, se emplea un computador de área para realizar, bien por medios humanos o bien por medios informáticos, las siguientes actividades:
- Programación a corto plazo.
 - Control de calidad.
 - Control de producción en curso.
 - Sincronización de células.
 - Adquisición de datos y tratamiento de datos.
 - Monitorización.
 - Gestión de alarmas y asistencias.
 - Mantenimiento preventivo y correctivo.
 - Coordinación de transporte de materiales.
 - Aprovisionamiento de líneas.
 - Seguimiento de lotes.
 - Seguimiento de órdenes de trabajo.

De aquí se emiten las órdenes de ejecución al Nivel 1 y recibe situaciones de estado de dicho nivel, además emite el estado de las órdenes de trabajo, la situación de máquinas, el estado de la producción, entre otras, hacia el Nivel 3.

- d) Nivel 3. Gestión de la Producción de una Fábrica. En este nivel, se emplea al menos un computador de Planta, para realizar las siguientes actividades de planificación:
- Gestión de compras.
 - Análisis de los costes de fabricación.
 - Control de inventarios.

- Programación de la producción.
- Gestión de materiales.
- Gestión de recursos de fabricación.
- Gestión de calidad.
- Gestión de mantenimiento.

El nivel 3 emite los programas de producción, calidad mantenimiento entre otros hacia el Nivel 2 y recibe de este las tendencias de la planta.

Del Nivel 4 recibe información consolidada sobre:

- Pedidos en firme.
- Previsiones de venta.
- Información de ingeniería de producto y de proceso.

Y envía información relativa a:

- Cumplimientos de programas.
- Costes de fabricación.
- Costes de operación.
- Cambios de ingeniería.

En este nivel, también llamado nivel de fábrica, se están utilizando aplicaciones que tienen como objetivo contribuir a ejecutar eficientemente el plan de fabricación de una planta. Este tipo de soluciones reciben el nombre de MES.

- e) Nivel 4. Gestión Empresarial. En este nivel, se emplea al menos un computador corporativo para realizar las siguientes actividades:
- Gestión de recursos humanos.
 - Ingeniería del producto.
 - Ingeniería del proceso.
 - Gestión Comercial y de Marketing.
 - Planificación estratégica.
 - Planificación financiera y administrativa.
 - Gestión de tecnología.

- Gestión de sistemas informáticos.
- Investigación y desarrollo.
- Distribución.

Para poder ajustar la planificación global, este nivel recibe del Nivel 3 información de todas las áreas de la empresa sobre ingeniería de producto y de proceso, así como informes del cumplimiento de los programas de producción y de costes, etc., que se emplearan para la toma de decisiones. Además, este nivel emite información comercial (pedidos y previsiones) y estratégica hacia el Nivel 3.

Tabla 1: Jerarquía de Niveles con Manufactura Integrada por Computadora (CIM).

Nivel 0	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
Control De Máquinas	Automatización Del Proceso	Gestión Del Proceso	Gestión de La Producción	Gestión Empresarial
	-Autómatas programables	-Ordenadores	-Logística	-Administración de Fábrica
-Motores	-Control del proceso	-Gestión del Proceso	-Diseño de producto	-Gestión de Personal
-Accionadores	-Control de funcionamiento	-Planeación del proceso Manufactura	-Gestión de Calidad	-Contabilidad
-Válvulas	-Control de funcionamiento	-Balance de Producción	-Planificación	-Gestión de Rentas
-Contactores, Relés y Otros	-Sistemas de Monitoreo y Supervisión	-Gestión de Stocks	-Suministros	-Planeación y Respaldo Comercial
		-Ayuda al Mantenimiento	-Formulación de proceso de Fabricación	- Mercados

Fuente: Extraído de Automatización de Procesos Industriales, 2019.

El desarrollo de las comunicaciones en este nivel es de vital importancia ya que se crea una enorme demanda de información que afecta a todas las unidades funcionales de la empresa, de tal manera que la red de comunicaciones es la columna vertebral del CIM.

La implementación de un sistema CIM debe verse como una Herramienta Estratégica y no como una simple inversión de capital.

2.1.1.3.6 Metas de la Automatización Industrial

La automatización industrial es imprescindible para todo un proceso que desee ser competitiva en este nuevo entorno global, es por eso que las metas de cualquier automatización tendrían que ser, entre otras:

- Incremento de la Producción.
- Rapidez de respuesta a cambios rápidos en la demanda del mercado.
- Rapidez en la modificación de productos.
- Flexibilidad de proceso, herramientas y materiales.
- Un mejor uso de materiales, maquinaria y personal.
- Reducción de inventarios.
- Disminución de costos.
- Mejor control de la producción.
- Administración óptima de toda la operación de manufactura.
- Manufactura de producción de alta calidad a bajo costo.
- Mejorar el control de la calidad.
- Mejorar el nivel de servicio al cliente.
- Innovación de procesos y maquinaria.
- Sistemas de instrumentación y de control inteligentes, basados en nanotecnologías y MES.
- Despliegue de información vía aplicaciones Web.
- Controlar el proceso en tiempo real.

2.1.1.3.7 Sistemas de Comunicación Industrial

Hablar de sistemas de comunicación industrial es adentrarse a un tema muy amplio y variado, además de complejo por la gran variedad que hay en el mercado, por eso nos enfocaremos a los sistemas de comunicación industrial que intervienen en el modelo de automatización piramidal, estos los podemos dividir en:

- Enlace de E/S de Bus de Campo. Se ocupa de nivel elemental, comunica sensores, actuadores, Micro y pequeños PLCs.

- Bus de Campo. Se ocupa del nivel de controladores y supervisión (Maquinas y Subprocesos).
- Control de Celda. Se ocupa del nivel de planificación de operaciones.
- Redes Industriales. Se ocupan del nivel de planta y Gestión Empresarial.

2.1.1.3.8 Supervisión de Procesos Industriales

En todo proceso industrial, como son plantas automotrices, petroquímicas, de generación de electricidad, sistemas de distribución, por mencionar algunos, se presentan fallas o eventos no previstos en el diseño, los cuales, aunados con el inevitable envejecimiento de los componentes que los integran, hacen que el sistema se comporte de manera anormal y deteriorada. Adicionalmente, a medida que se incrementa la complejidad de los sistemas también aumenta la probabilidad de tener fallas que lo llevan a condiciones de alto riesgo, con un costo económico para el medio ambiente, la empresa y la sociedad en su conjunto. Estos hechos, importantes desde un punto de vista de seguridad, disponibilidad y fiabilidad de un sistema, han motivado la creación de sistemas de Control con Supervisión y Adquisición de Datos (SCADA), cuya finalidad es diseñar sistemas automáticos de supervisión por software capaces de detectar y localizar anomalías (diagnóstico de fallas) en procesos industriales. Adicionalmente a la detección se busca establecer mecanismos de reconfiguración y reacomodo del proceso, de tal manera que pueda mantenerse en condiciones de operación seguras ante la presencia de fallas.

Figura 12: Visualización de software SCADA



Fuente: Extraído de Sistemas SCADA 2da Edición España, 2017

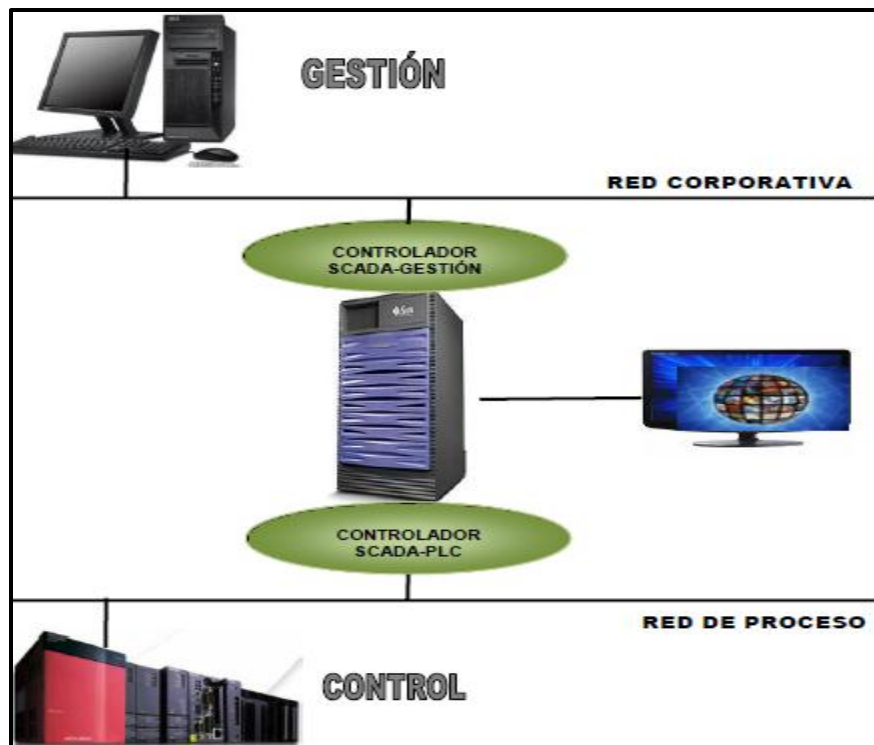
2.1.1.4 Sistema SCADA

Se le da el nombre de SCADA, a cualquier software que permita el acceso a datos remotos de un proceso y permita, utilizando las herramientas de comunicación necesarias en cada caso, el control del mismo⁶. Con esta definición vemos que no se trata de un sistema de control, sino de una utilidad de software de monitorización o supervisión, que realiza la tarea de interface entre los niveles de control (PLC) y los de gestión a un nivel superior. (Alvarez Pastuña & Mosquera Masabanda, 2020).

2.1.1.4.1 Tipos de Sistemas SCADA

Diversos fabricantes han desarrollado paquetes de software (SCADAs) capaces de comunicarse con los sistemas de control existentes, permitiendo así una flexibilidad de uso no imaginada hasta el momento. Esta tendencia ha ido en aumento, de tal manera que hoy en día las opciones existentes son numerosísimas. Entre los más conocidos son: **Figura 13**.

Figura 13: *Tipos de Sistemas SCADA*



Fuente: Extraído de Sistemas SCADA 2da Edición España, 2017

Tabla 2: *Tipos de Sistemas SCADA más conocidos*

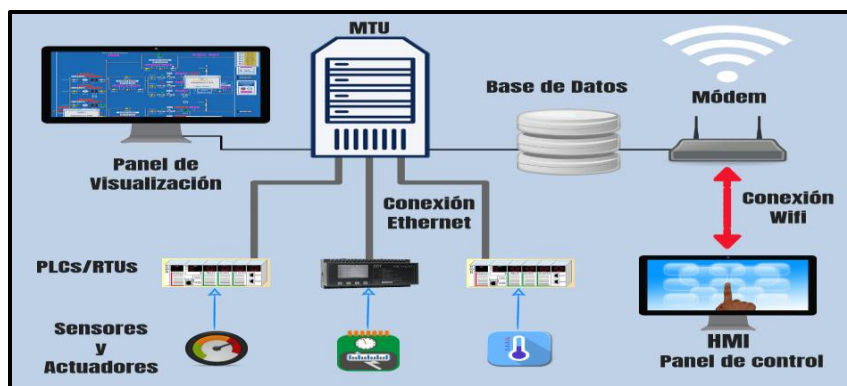
GE-Fanuc	IFIX y Cimplicity
Rockwell Automation	RS-View
Siemens	WinCC
OMRON	SCS
Wonderware	InTouch
Indusoft	Indusoft Web Studio
Telemecanique	Vijeo Citect
NI (National Instrument)	LabVIEW

Fuente: Extraído de Sistemas SCADA 2da Edición, 2017

2.1.1.4.2 Componentes de un Sistema SCADA

Un sistema SCADA ha sido creado para monitorear desde una sola central, los distintos procesos de una o varias plantas, un esquema regular de un sistema SCADA, consta de una Unidad Terminal Maestra (MTU), de Unidades Terminales Remotas (RTU) y los medios físicos de comunicación, tal y como se muestra en la **Figura 14**.

Figura 14: *componentes de un sistema SCADA*



Fuente: Diseño e Implementación SCADA para automatización, 2019

- **Unidades terminales maestras.** Es el centro del sistema, es el componente del cual el personal de operaciones se valdrá para visualizar las distintas variables de los procesos en la planta; generalmente una MTU es un computador PC, de regular capacidad, el cual cumple funciones no solo de monitoreo, sino a la vez de almacenamiento y procesamiento ordenado de datos, los cuales servirán para las distintas aplicaciones que el operario o usuario requiera. (Limachi Calani, 2023)
- **Unidades terminales remotas.** Una RTU es unidad de control y adquisición de datos independiente, por lo general ha estado basada en microprocesadores, los cuales monitorean y controlan equipo en algunas ubicaciones remotas desde la estación central. Esta tarea primaria es controlar y adquirir datos desde los equipos de los procesos en la ubicación remota y transferir esta información hacia la estación central. La configuración de cómo descargar dinámicamente esta información, es mediante una configuración dada por la estación central. (Aguirre Zapata, 2013)

2.1.1.4.3 Prestaciones del Sistema SCADA

El paquete SCADA, en su vertiente de herramienta de interface hombre-máquina, comprende toda una serie de funciones y utilidades encaminadas a establecer una comunicación lo más clara posible entre el proceso y el operador.

- **La Monitorización.** Representación de datos en tiempo real a los operadores de planta. Se leen los datos de los PLCs (temperaturas, velocidades, detectores...). Una máquina simple, una instalación hidroeléctrica, un parque eólico, un edificio pueden ser vigilados desde muchos kilómetros de distancia. Hoy en día la mayoría de paquetes SCADA ofrecen librerías de funciones y objetos gráficos que permiten personalizar de manera muy amplia la aplicación que desee realizarse con dicho paquete SCADA.
- **La Supervisión.** Supervisión, mando y adquisición de datos de un proceso y herramientas de gestión para la toma de decisiones (mantenimiento predictivo, por ejemplo). Tienen además la capacidad de ejecutar programas que puedan supervisar y modificar el control establecido y, bajo ciertas condiciones, anular o modificar tareas asociadas a los PLCs. Evita una continua supervisión humana.

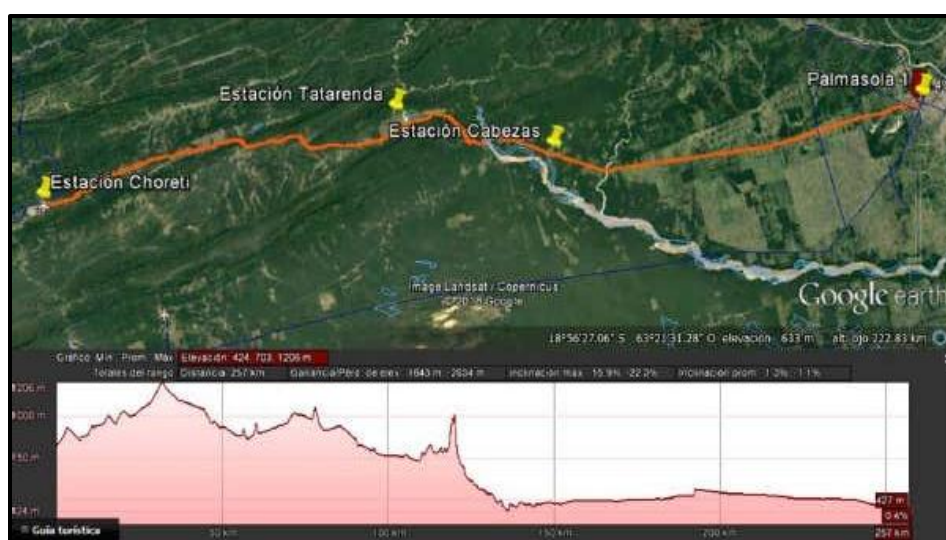
- **La Adquisición de Datos de los Procesos en Observación.** Un sistema de captación solar se puede observar mediante herramientas registradoras y obtener así un valor medio de la irradiación en la zona, guardando los valores obtenidos y evaluándolos a posterioridad (los parámetros de velocidad y temperatura de cada máquina de la línea se almacenan para su posterior proceso), la visualización de los estados de las señales del sistema (alarmas y eventos), reconocimiento de eventos excepcionales acaecidos en la planta y su inmediata puesta en conocimiento a los operarios para efectuar las acciones correctoras pertinentes, etc. Además, los paneles de alarma pueden exigir alguna acción de reconocimiento por parte del operario, de forma que queden registradas las incidencias. La rotura de una cinta transportadora en una de las máquinas de la línea de extrusionado aparece en forma de aviso en nuestra pantalla, con indicación gráfica de la situación del fallo y con un mensaje sonoro si es necesario. (Perez, 2021)
- **El Mando.** Posibilidad de que los operadores puedan cambiar consignas u otros datos claves del proceso directamente desde el ordenador (marcha, paro, modificación de parámetros...). Se escriben datos sobre los elementos de control.
- **Grabación de Acciones.** En algunos procesos se utilizan combinaciones de variables que son siempre las mismas. Un sistema de recetas permite configurar toda una planta de producción ejecutando un solo comando. se compone de varias máquinas encadenadas con múltiples parámetros (velocidad y temperatura principalmente).
- **Posibilidad de Programación Numérica.** Permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU del ordenador (lenguajes de alto nivel, C y Visual Basic, generalmente).
- **Garantizar la Seguridad de los Datos.** Tanto el envío como la recepción de datos deben de estar suficientemente protegidos de influencias no deseadas, intencionadas o no (fallos en la programación, intrusos, situaciones inesperadas, etc.).
- **Garantizar la Seguridad en los Accesos.** Restringiendo zonas de programa comprometidas a usuarios no autorizados, registrando todos los accesos y acciones llevadas a cabo por cualquier operador.

2.1.2 Marco Contextual

2.1.2.1 Descripción del Poliducto Santa Cruz – Camiri PCSZ-1

La Capacidad original de construcción del PCSZ-1 fue de 635 m³/día (4000BPD) para el transporte de petróleo. Actualmente el proceso de transporte de hidrocarburos líquidos del Poliducto, empieza en la Estación Cabecera de Santa Cruz, situada en Palmasola, donde se inicia el recorrido allí.

Figura 15: *Ubicación y Vista PCSZ-1*



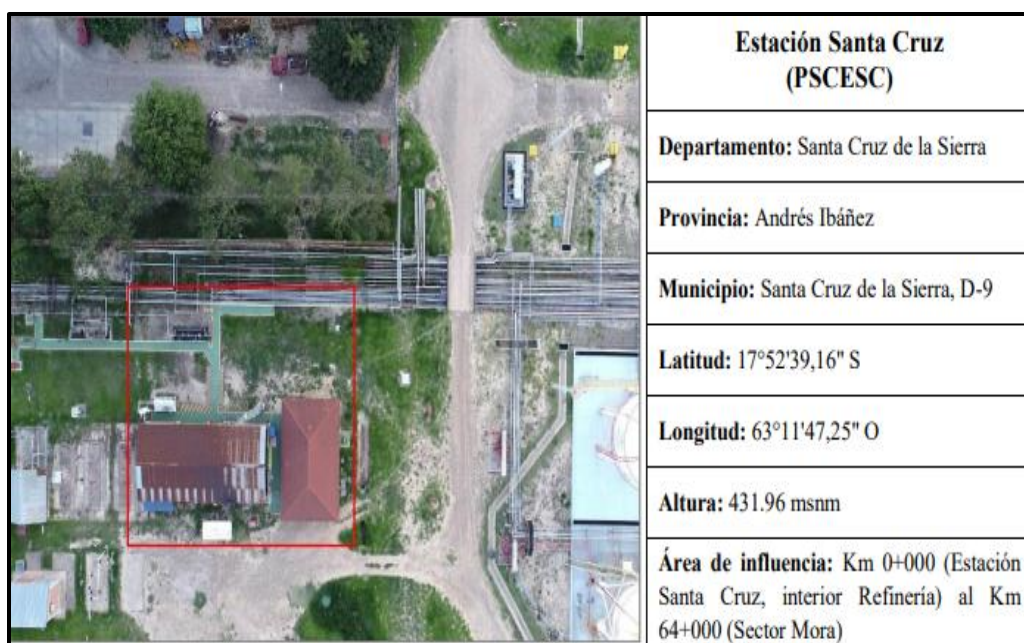
Fuente: YPFB Transporte S.A, 2022

El PCSZ-1 cuenta con una longitud de 270 Kilómetros y tiene 4 pulgadas de diámetro. Asimismo, son transportados en un sistema de bombeo tipo Batch o lotes, siguiendo una secuencia establecida y manteniendo presurizado todo el sistema en rangos de operación establecidos para controlar el crecimiento de las interfaces entre productos, que tiene una capacidad para transportar 550 m³/día de hidrocarburos líquidos, como diésel oíl, kerosene y gasolina especial. En este orden y a régimen turbulento de operación, se logra conservar la calidad tanto del diésel oíl como de la gasolina especial hasta el punto de entrega, los cuales son productos refinados en la Refinería Guillermo Elder Bell. (YPFB, 2023).

2.1.2.2 Descripción y Ubicación de la Estación Cabecera

Para realizar el bombeo hacia el PCSZ-1 la estación cuenta con dos (2) unidades de bombeo que consta de: Motor, (un motor a gas natural y otro a diésel Oil), Caja Reductora y Bomba recíproca, que mediante un manifold de válvulas de succión y descarga permite impulsar el carburante hacia la Estación de Bombeo Cabezas en régimen establecido para asegurar el cumplimiento mensual del Indicador de Gestión (% Cumplimiento por Poliducto = (Volumen Transportado / Volumen Programado)).

Figura 16: Ubicación de la Estación Santa Cruz



Fuente: Gerencia Sectorial de Transporte de Poliductos,2023

La Estación de Bombeo Santa Cruz es operada y/o controlada por 6 operadores divididos en dos grupos, que coordinan y trabajan bajo un sistema de turnos de 21x21, (21 días de trabajo por 21 días de descanso). Cada turno está compuesto por: un Especialista de Estación que hace turno diurno de 12 horas y dos Operadores que realizan su trabajo en turnos de 12 horas, uno diurno y el otro nocturno. Cada turno registra las condiciones de las operaciones y las observaciones más relevantes de la estación, en las planillas de bombeo y el “Cuaderno de Novedades” foliado habilitado para este propósito.

2.1.2.3 Estaciones de bombeo en el PCSZ-1

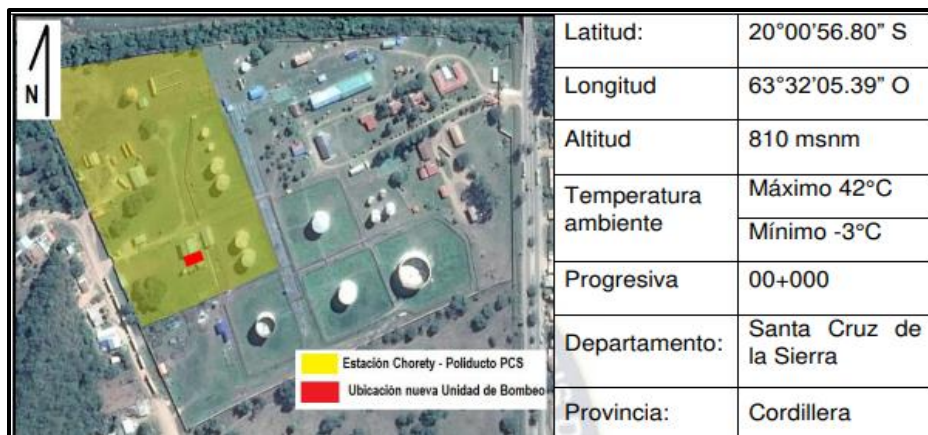
Aproximadamente a 104 kilómetros de la capital cruceña se encuentra la Estación Intermedia Cabezas, situada en la localidad que lleva el mismo nombre. A esta estación llegan de manera secuencial por el ducto el diésel oíl, el kerosene y la gasolina especial. El kerosene se transporta como lote separador (volumen de hidrocarburo líquido compatible) entre el diésel oíl y la gasolina especial establecido en los Términos y Condiciones Generales de Servicio (TCGS). Puesto que es compatible con el diésel oíl, que tienen gravedades similares, el punto inflamación es similar y además el kerosene es incoloro.

Esta estación tiene, al igual que la Estación Cabecera Santa Cruz, dos bombas reciprocantes accionadas por un motor de combustión interna. Allí se ejerce también una presión máxima de 70Kgf/cm² garantizando la seguridad operativa del ducto y evitando el crecimiento de interfaces entre productos transportados.

La segunda Estación Intermedia del Poliducto PCSZ-1 es Tatarenda, situada en el Kilómetro 152 de la carretera a Camiri en la localidad que lleva el mismo nombre. En esta estación funcionan dos bombas centrífugas accionadas por un motor de combustión interna, donde se realizan las operaciones de bombeo para que los combustibles lleguen finalmente a Camiri

2.1.2.3.1 Estación Terminal Chorety

Figura 17: Vista Preliminar Estación Chorety



Fuente: YPFB Transporte S.A, 2022

2.1.2.4 Datos de Construcción

El poliducto fue puesto en servicio en 1958, el diseño original fue para transportar crudo desde Camiri a Santa Cruz, posteriormente operó en sentido inverso transportando petróleo crudo y productos derivados desde Santa Cruz a Camiri. Un 86% del PSCC se encuentra en forma aérea, sobre soportes de concreto o metálicos, los tramos enterrados corresponden al restante 14% identificándose en cruces de caminos, ríos y varios centros poblados.

2.1.2.5 Dimensiones

El ducto PSCC tiene tres secciones, con las siguientes dimensiones:

Tabla 3: Dimensiones del PCSZ-1

Tramo	Longitud Km.	Altitud msnm
Santa Cruz - Cabezas	104.5	450 - 471
Cabezas - Tatarenda	53.5	471 – 765
Tatarenda - Chorety	112	765 - 810
Total	270	

Fuente: Extraído de YPFB logística,2016

En el trayecto va paralelo al ducto de 10” de YPFB Transporte hasta Camiri, asimismo corre paralelo a la vía del tren hasta la población de Abapó. La principal característica de este tramo es que es básicamente llano sin mayores accidentes topográficos.

2.1.2.6 Material

El Poliducto PCSZ-1, está construido en su generalidad con tubería de acero al carbono, Nominación API 5L – X42 y un porcentaje menor de tubería de acero al carbono Grado B.

Tabla 4: *Características Técnicas de Construcción.*

Nro.	Descripción	Valor
1	Longitud	270Km
2	Material	API - 5L- X42 y Grado B
3	Diámetro nominal	4"
4	Diámetro externo	4.5"
5	Espesor de pared	6,02 mm o 0.237 pulgadas
6	Presión de diseño Máx.	1380 psi
7	Presión de operación	1380 psi

Fuente: Extraído de YPFB logística,2016

2.1.2.7 Presión de Diseño y Operación

La presión varía de Estación en Estación en función al producto en tránsito:

Tabla 5: *Presión de Diseño y Operación del poliducto PCSZ-1*

Estación	Presión de Succión (psi)		Presión de Descarga (psi)	
	Diseño	Operación	Diseño	Operación
Cabecera SC	28	15	1.440	1.150
Cabezas	732	142	1.250	1.037
Tatarenda	1464	170	1.440	1.150
Camiri	150	85	-	-

Fuente: Extraído de YPFB logística,2016

2.1.2.8 Accesorios Instalados en el Poliducto

El poliducto cuenta con 22 válvulas de bloqueo tipo cortina, 3 válvulas check y 3 válvulas de venteo ubicadas estratégicamente a lo largo del ducto. En caso de emergencia dichas válvulas son accionadas manualmente para controlar la fuga de productos.

Tabla 6: *Tipo y Ubicación de Válvulas en el PCSZ-1*

Nro.	DIAMETRO	TIPO DE VALVULA	ANSI	PROGRESIVA	SECTOR
1	4"	Compuerta	600	0+030	Refinería SCZ
2	4"	Compuerta	600	0+450	Palmira
3	4"	Compuerta	600	21+000	Brecha 5
4	4"	Compuerta	600	86+757	Rio Seco Norte
5	4"	Compuerta	600	89+730	Rio Seco Sur
6	4"	Compuerta	600	104+000	Cabezas
7	4"	Compuerta	600	104+025	Cabezas
8	4"	Compuerta	600	119+680	Rio Grande Norte
9	4"	Compuerta	600	122+088	Rio Grande Sur
10	4"	Compuerta	600	122+138	Rio Grande Sur
11	4"	Check	600	126+810	Algodonal
12	4"	Check	600	137+050	Quebrada Limón
13	2"	Venteo	600	138+350	Abra Limón
14	2"	Venteo	600	138+950	Abra Limón
15	4"	Compuerta	600	152+700	El Palmar

16	4"	Compuerta	600	153+000	Tatarenda
17	4"	Compuerta	600	153+100	Tatarenda
18	4"	Compuerta	600	162+700	El Palmar
19	4"	Compuerta	600	167+795	Tabacalito
20	4"	Compuerta	600	167+800	Tabacalito
21	4"	Compuerta	600	186+800	Devisadero
22	4"	Compuerta	600	186+804	Devisadero
23	2"	Venteo	600	186+807	Devisadero
24	4"	Compuerta	600	201+260	Ibibobo
25	4"	Compuerta	600	201+300	Ibibobo
26	4"	Check	600	212+850	San Francisco
27	2"	Venteo	600	221+000	Abra Itapoche
28	4"	Compuerta	600	237+240	Quiriquirigua
29	4"	Compuerta	600	269+500	Rio Parapety
30	4"	Compuerta	600	269+800	Planta Camiri
31	4"	Compuerta	600	270+000	Terminal Chorety

Fuente: Extraído de Manual de Operaciones de Poliductos, YPFB Logística S.A, 2022

2.1.2.9 Productos transportados

EL JF es transportado entre lotes de GE y DO o viceversa como lote separador, que es utilizado en los poliductos PCS y PVT también como lotes separadores.

Tabla 7: *Propiedades de los Productos Transportados*

PRODUCTO	GRAVEDAD ESPECIFICA	API
Gasolina Especial	0,745 a 0,706	58 a 68
Jet Fuel	0,7750 a 0,790	51 a 47
Diésel Oil	0,790 a 0,860	47 a 33

Fuente: YPFB Logística, 2016

2.1.2.10 Descripción y Operación de Equipos Principales

La estación cuenta con dos unidades de bombeo, una en operación la otra esta como apoyo, en caso de necesidad si la operación así lo requiere se puede bombear con ambas unidades en paralelo, a continuación, las características y especificaciones técnicas de las Unidades de Bombeo Principales:

Tabla 8: *Características y Especificaciones Técnicas de las Unidades de Bombeo*

Equipo	Marca	Unidad 1 Caterpillar	Unidad 2 Caterpillar
MOTOR	Velocidad [rpm]	1.190	1.800
	Potencia [hp]	144	145
	Modelo	D-342	G-3306-SI
	Serie	31B2188	07Y03584

Equipo	Marca	Unidad 1 Caterpillar	Unidad 2 Caterpillar
	Combustible	Diesel oíl	Gas Natural
	Marca	Farrel	Rectinal
	Ratio	2,03:1	3,52:1
	Velocidad entrada [rpm]	1.080	N/D
REDUCTOR	Modelo	SR 1355	IT-22
	Serie	57BD2867-1	N/D
	Marca	Worthington	Worthington
	Tipo	Reciprocante	Reciprocante
	Velocidad [rpm]	460	460
	Head [pie]	-	-
	Tamaño [pulg]	3½ X 12	3½ X 12
BOMBA	Serie	2P1995	2P1996
	Modelo	12-U	12-U
	Capacidad [GPM]	117	117

Fuente: Extraído de Gerencia Sectorial de Transporte de Poliductos,2023

2.1.2.11 Operación De Medición, Regulación Y Control

La estación cuenta con un Sistema de Medición para el control de los volúmenes bombeados, un medidor másico tipo Coriolis marca Endress + Houser. Del HMI se obtendrá: la Densidad, API, Presión de Llegada y de Salida, Temperatura, Flujo y el Volumen del producto bombeado al PCSZ-1.

IMPORTANTE: Para su operación verificar que todas las válvulas de alivio estén siempre en la posición abierta y con su respectivo candado o precinto para una operación segura.

2.1.2.12 Las instalaciones de la Estación Bombeo Santa Cruz

Tabla 9: *Las instalaciones de la Estación Bombeo Santa Cruz*

Sala de Bombas Principales	2 unidades de Bombeo Principales (UBP): UBP-1: Motor Caterpillar D-342 de 144 hp, combustible Diésel Oíl. UBP-2: Motor Caterpillar G-3306-SI de 145 hp, combustible Gas Natural.
	Tanque N° 102 de 3000 Bbl de capacidad nominal. (Kerosene) de YPFB-T
	Tanque N° 211 de 5000 Bbl de capacidad nominal. (G. Especial) de YPFB-L.
	Tanque N° 2939 de 5000 Bbl de capacidad nominal. (G. Especial) de YPFB-L.
	Tanque N° 2914 de 40000 Bbl de capacidad nominal. (G. Especial) de YPFB-L.
	Tanque N° 2917 de 20000 Bbl de capacidad nominal. (G. Especial) de YPFB-L.
Área de Tanques	Tanque N° 2925 de 40000 Bbl de capacidad nominal. (G. Especial) de YPFB-L.
	Tanque N° 2924 de 40000 Bbl de capacidad nominal. (G. Especial) de YPFB-L.
	Tanque N° 2926 de 25000 Bbl de capacidad nominal. (G. Especial) de YPFB-L.
Tanque de Consumo Propio (Diésel Oíl)	Tanque N° 1 de 69 Bbl de capacidad nominal. (Diésel Oíl) consumo UBP-1)
	Un ramal de PM de salida PCSZ-1.
Puente de Medición	Un ramal de PM de Gas Natural para consumo propio de la UPB-2.
Sistema de Recolección de Efluentes	1 pozo Slop para producto contaminado de 3.830 litros (24 bbl), con bomba de recuperación de 5 hp. (Se envía para su disposición final hacia la piscina API de YPFB-R, según convenio).
Taller y Deposito de Aceite	Almacén de herramientas
	Depósito de aceite
	2 monitores Hidrantes: 3MH N°-150 y 3MH N°-177; 1 Hidrante: CB N°-11 de propiedad de YPFB-R, (Para protección de la Estación según convenio).
Sistema Contra Incendio	2 gabinetes con equipos para el sistema contra incendio.
	Extintores distribuidos según Estudio de Carga de Fuego de la Estación

Fuente: Gerencia Sectorial de Transporte de Poliductos,2023

Servicios compartidos con reconocimiento de gastos a YPFB-L, por suministro de Energía Eléctrica, servicio de laboratorio y resguardo con su SCI al tanque N° 102 de Kerosene.

2.2 INFORMACIÓN Y DATOS OBTENIDOS

2.2.1 Selección de un Sistema SCADA

En la actualidad, la mayoría de los Fabricantes no proporcionan Aplicaciones puramente SCADA, sino que incluyen el registro y gestión de datos sobre software MES, para explotación de datos de fabricación, así como conectividad hacia APS y ERP, ya que este tipo de integración de software en un sistema SCADA es una solución cada vez más demandada. Esta selección, sin considerar los precios del Software, se basa en gran medida a petición de la compañía.

Disponibilidad. - Por disponibilidad de un sistema informático se entiende la medida en la que sus parámetros de funcionamiento se mantienen dentro de las especificaciones de diseño. Se basará en dos pilares fundamentales: hardware y software.

Hardware. - Es el elemento físico y su estrategia se fundamenta básicamente en el concepto de redundancia, entendida como la capacidad de un elemento de asumir las funciones de otro de forma transparente al sistema que sirve el principio de redundancia se aplica a todos los niveles, desde componentes individuales hasta sistemas enteros (fuentes de alimentación, respaldos de datos, sistemas de comunicaciones). De esta manera es posible continuar trabajando en caso de fallo de uno de los componentes. Aquí se aplica también el concepto de sustitución en caliente. Se puede realizar el mantenimiento y cambiar los componentes defectuosos sin necesidad de detener un sistema.

Robustez. - Ante un fallo de diseño, un accidente o una intrusión, un sistema eficiente debe de poder mantener un nivel de operatividad suficiente como para mantener unos mínimos de servicio. Es lo que llamaríamos el *plan de contingencia*.

Seguridad. - Un fallo en el diseño, un usuario malintencionado o una situación imprevista podrían alterar los parámetros de funcionamiento de un sistema. Hoy en día cualquier sistema de control puede utilizar uno o varios métodos de comunicación para enlazar todos los puntos de control de un proceso y, en el momento en que se utilizan sistemas de comunicación que implican el acceso desde múltiples puntos, no siempre dentro de la empresa, es posible que alguno de estos accesos sea no deseado.

Prestaciones. - Básicamente se refieren al tiempo de respuesta del sistema. Durante el desarrollo normal del proceso la carga de trabajo de los equipos y el personal se considera que es mínima y está dentro de los parámetros que determinan el tiempo real de un sistema.

Mantenibilidad. - Los tiempos de mantenimiento pueden reducirse al mínimo si el sistema está provisto de unas buenas herramientas de diagnóstico que permitan realizar tareas de mantenimiento preventivo, modificaciones y pruebas de forma simultánea al funcionamiento normal del sistema.

La aplicación de control debe poder evolucionar, adaptándose al entorno que controla, de manera que funcione de forma eficiente sin importar el tipo de equipamiento o el volumen de datos. Un sistema SCADA debe poder ampliarse y actualizarse. Puede empezar con un único servidor para todas las tareas (SCADA, Archivo, Alarmas, Comunicaciones).

Tabla 10: *Tabla Comparativa entre Sistemas SCADA.*

Software	WinCC	Intouch	Ifix
Fabricante	SIEMENS	Wonderware	GE-Fanuc
Requisitos mínimos del sistema	Windows 98, NT4.0/2000 Pentium II 400Mhz. 128MB en RAM espacio >600MB DD	Windows XP Profesional Windows Server Pentium II 512 MB en RAM Espacio >2GB	Windows XP Profesional Windows Server Windows Vista Pentium II 512 MB en RAM Espacio >1GB
Driver para PLCs	SIMATIC ALLEN BRADLEY MITSUBISHI UNI-TELWAY GE-FANUC MODICON OMRON, OTROS	SIMATIC ALLEN BRADLEY MITSUBISHI UNI-TELWAY GE-FANUC MODICON OMRON, OTROS	SIMATIC ALLEN BRADLEY MITSUBISHI GE-FANUC MODICON OMRON, OTROS
Lenguaje de Programación	Visual Basic C ANSI-C	Propio (basado en C)	Propio
PRECIO	/	\$3,015.00	\$7,138.00
Control de Usuarios	si	si	si
No. De Variables	128-64K	64-64K	75-Ilimitado

Software	WinCC	Intouch	Ifix
Comunicación entre módulos PC	TCP/IP NetBUI	ETHERNET	TCP/IP NetBUI
Estructura	Varios PC	Único PC o Varios PC	Único PC o Varios
Gestión de Alarmas	si	si	si
Comunicación con PLC	Profibus TCP/IP ModBus, Etc.	Profibus TCP/IP ModBus, Etc.	Profibus TCP/IP ModBus, Etc.
Adquisición de datos	OPC Servidor cliente	OPC Servidor cliente	OPC Servidor cliente
Base de datos	SyBase SQL	Servidor SQL MDSE Oracle	Servidor SQL Otros
Intercambio de datos en el PC	Controles ACTIVEX Aplicaciones OLE CUSTOM	Controles ACTIVEX Comunicaciones DDE CUSTOM	Controles ACTIVEX Comunicaciones DDE CUSTOM

Fuente: Extraído de proyectos sobre SCADA

Como se aprecia los SCADA son muy similares, para esta aplicación utilizaremos el SCADA INTOUCH de Wonderware. Que cumple con los requisitos del punto **2.2.1**

2.2.2 Implementación del Sistema SCADA

Cuando una empresa decide implementar un sistema SCADA sobre su instalación hay 5 fases básicas a tener en cuenta para llevar a cabo el proceso:

Fase1.- El diseño de la arquitectura del sistema. Esto incluye el análisis del proceso y todas las consideraciones importantes sobre el sistema de comunicaciones de la empresa (Tipo de BUS de campo, distancias, número de E/S, Protocolo del sistema y Drivers). También se verán involucrados los tipos de dispositivos que no están presentes en la planta pero que serán necesarios para supervisar los parámetros deseados. (Barrientos Gamboa, 2014)

Fase2.- Equipamiento de los RTUs necesarios, comunicaciones, Equipos HMI y Hardware en general. Adquisición de un paquete software SCADA adecuado a la arquitectura y sistemas de la planta.

Fase3.- La instalación del equipo de comunicación y el sistema PC.

Fase4.- Programación, tanto del equipamiento de comunicaciones como de los equipos HMI y software SCADA.

Fase5.- Testeo del sistema o puesta a punto, durante el cual los problemas de programación en comunicaciones como en el software SCADA son solucionados.

2.2.2.1 Implementación e Instalación de SKID de Medición en el PCSZ-1

Estos SKID están compuestos de:

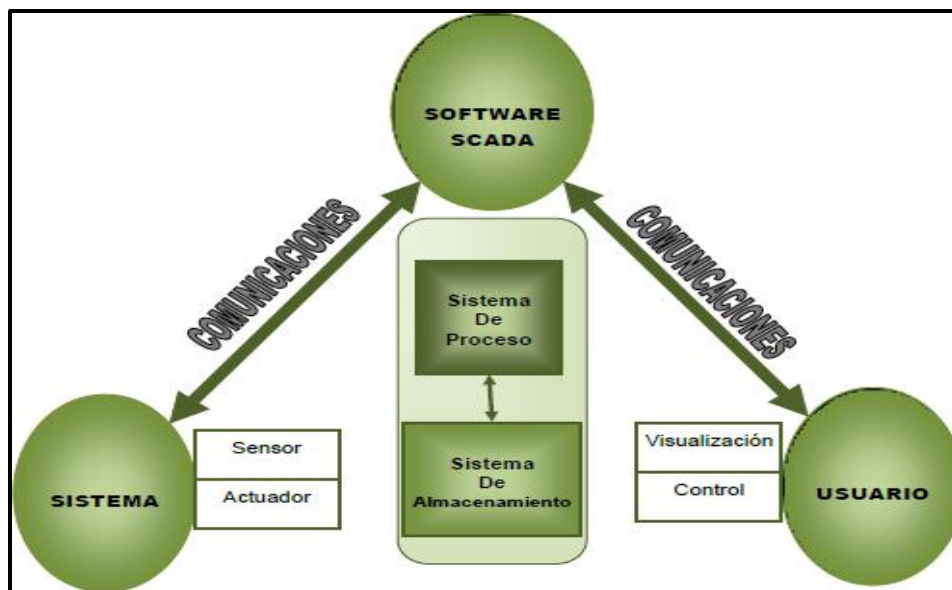
- Caudalímetros Coriolis para transferencia y custodia
- Transmisor de presión en succión de unidades
- Transmisor de presión en descarga de unidades
- Transmisor de temperatura
- Sistema SCADA
- Comunicación Ethernet
- Comunicación Modbus.

Para nuestro caso de estudio aplicaremos la Fase 1 y la Fase 4 sólo en la parte de la Programación del Software SCADA. Describir cada una de las etapas del proceso, ubicar con qué tipo de instrumentación se cuenta, Entradas y Salidas del proceso. Ubicar con que tipos de comunicación cuenta el proceso.

Describir el proceso:

- Describir cada una de las etapas del proceso.
- Ubicar con qué tipo de instrumentación se cuenta, Entradas y Salidas del proceso.
- Ubicar con que tipos de comunicación cuenta el proceso.

Figura 18: Esquema Básico del sistema de medición SCADA



Fuente: Extraído de diseño e implementación de un sistema SCADA,2019

2.2.2.2 Sistema SCADA para Control del PCSZ-1 Arquitectura de Comunicación

En el PCSZ-1, para el control y seguimiento de los volúmenes desplazados por Estación Cabecera, Intermedias y recibidos en Estación Terminal se dispondrá de un caudalímetro tipo “Coriolis”, y toda la arquitectura de Comunicación para el monitoreo de las variables operativas. Este tipo de medidor es del tipo Másico que tiene una exactitud de medición de flujo del +/- 0.05 % que es intrínsecamente seguro, es decir a prueba de explosión.

Tabla 11: Características Técnicas del Caudalímetro “Coriolis”

Descripción	Rango/Especificación/Aclaración
Tipo de Medidor	Másico
Exactitud en Medición de Flujo	±0.05%
Repetibilidad de Flujo	±0.025%
Exactitud en Medición de Densidad	±0.00015 g/cc

Descripción	Rango/Especificación/Aclaración
Repetibilidad en Densidad	±0.00025 g/cc
Diámetro de Conexión	3" Bridada
ANSI	#600
Dirección de Medición	Bidireccional
Frecuencia de Trabajo	0 a 10000 Hz
Material del Cuerpo	Acero Inoxidable
Material del Tubo	Acero Inoxidable
Tipo de Cubierta	A prueba de explosión
Clasificación Eléctrica	Clase 1, División I, Grupos C y D
Protección a la Intemperie	NEMA 4, IP67
Aprobación para Transferencia de Custodia	OIML 117-1
Tamaño de Conexión Conduit	½" NPT
Señal de Salida	Protocolo Modbus
Puerto de Comunicación	RS-485
Autodiagnóstico	Si
Alimentación Eléctrica	24 Vcd
Temperatura (Operación)	350°C
Marca	ENDRES HAUSSER
Modelo	PROMASS 84F y 83F

Fuente: Catálogo FMC, Soluciones de medición para Líquidos,2022

Ofrecen la más avanzada tecnología con sensor de Coriolis y procesamiento de las señales digitales para la medición de líquidos. de alto rendimiento, y como no tiene partes móviles que se desgasten, reduce el costo total de adquisición y operación versus otros tipos de medidores.

Las características técnicas de técnicas de transmisor de presión y Temperatura se encuentran plasmados en **Anexo 2**. Y **Anexo 3**. Respectivamente.

2.2.3 Aplicaciones con la Implementación del Sistema SCADA

Frente al implacable ataque de la competencia mundial y ante la crisis empresarial que se vive actualmente, la industria no debe decidir si debe cambiar, sino cómo debe ser ese cambio. Dejar las cosas como están es una opción fatal, pudiendo sólo elegir entre controlar el propio cambio o permitir que lo controle el sistema. Pero es evidente que nadie seguirá siendo competitivo por mucho tiempo sin las posibilidades de avance que dicho sistema ofrece. No importa cuán elevado sea el desempeño actual, cualquier disminución en el esfuerzo dará como resultado una pérdida.

Es por esto que los sistemas informáticos forman una pieza clave para alcanzar las metas actuales y futuras de una empresa. La posibilidad de interconectarse a través de redes, ha abierto nuevos horizontes a las empresas para poder mejorar su productividad, lo cual lógicamente ha traído consigo la aparición de nuevas herramientas para los sistemas de información.

Los sistemas SCADA ofrecen una alternativa para migrar hacia este cambio. De aquí la importancia de La integración de los sistemas SCADA a elementos tales como EMI, MES Y la integración del APS con sistemas ERP, garantizan la competitividad de la empresa en un entorno mundial y les permitirá en un futuro establecerse como una Empresa de Clase Mundial.

2.2.4 Impacto de las Operaciones con el Sistema SCADA

Las computadoras han transformado la manera en que los directivos reúnen, almacenan, manipulan y reportan los datos. En muchos casos el uso de programas de hojas de cálculo y de gráficos permite a los directivos tener acceso en forma directa a los datos y generar sus propios reporte y análisis. Por mucho, el cambio tecnológico ha sido la influencia más importante en la forma de hacer las cosas durante la última década. Este cambio ha afectado tanto la generación como el uso de la información en la toma de decisiones.

Ahora bien, al utilizar las herramientas tecnológicas e informáticas bajo el sistema nos permitirá contar con la posibilidad de generar un pensamiento estratégico sólido y a la vez dinámico y flexible capaz de modificar el modelo de procesos en base a los requerimientos del mercado.

Por lo anterior, es necesario que las empresas rediseñen sus sistemas de información para proporcionar información más exacta y oportuna sobre las actividades, productos o servicios de la compañía. Siendo los sistemas SCADA un perfecto catalizador para transformar las estrategias de Monitoreo y control, hacia comandos operativos, y estos a su vez permitan el flujo de información de manera ágil y confiable.

2.2.5 Rapidez en el Cambio de la Demanda

La empresa del futuro tiene que estar adaptada a las nuevas tecnológicas, sabiendo adaptarlas en beneficio propio. Esto exige ser una empresa flexible y esbelta, ofreciéndonos esto una ventaja competitiva. La rapidez en el cambio de la demanda tiene que venir a partir de la elaboración de una estrategia Podemos enumerar cinco variables que servirán de base para conseguir esa ventaja competitiva: coste, calidad, servicio, flexibilidad e innovación.

2.2.6 Trabajar con los Recursos Óptimos

La organización garantizara un empleo responsable de los mismos, incluyendo a los productos que de ellos se generen, de forma que garantice la seguridad de quienes los manipulan y que no afecten al medio ambiente en todo su ciclo de vida. Se deberá optimizar el consumo de electricidad y agua, a la vez que se disminuyen y reciclan los residuos. Es importante la protección y conservación de los equipos de tal forma que un mantenimiento reduce la posibilidad de fallos en la realización del producto.

En cualquier caso, la organización debe permanecer abierta y evaluar las tecnologías emergentes, para llegado el momento que la tecnología propia se quede obsoleta y renovarla. La tecnología ideal es aquella innovadora, respetuosa con el medio ambiente y que supone una ventaja competitiva frente a la competencia.

2.2.7 Determinación de nuevas Maquinarias y Equipos

Esta tendencia de creciente variación y complejidad también está planteando retos para los fabricantes de máquinas de producción, ya que deberán desarrollar equipos más ágiles que produzcan una variedad de productos diferentes, garantizar transformaciones, mejorar el rendimiento de principio a fin del ciclo de vida de un producto, y disminuir los gastos de capital. Adicionalmente, esta ola de máquinas tendrá que adaptarse a los estándares globales ya que de otra manera no será factible para los fabricantes transferir capacidad alrededor del mundo conforme fluctúa la demanda.

2.2.8 Toma de Decisiones en Tiempo Real

Ante lo expuesto con anterioridad es difícil no darse cuenta de los grandes cambios que se tienen que dar para lograr competir en el ámbito mundial, la velocidad de los procesos. Acceder a la información adecuada, en el momento justo, con el objetivo de tomar la decisión más conveniente, es la esencia del sistema SCADA. Este enfoque se centra en estrategias y herramientas orientadas a proporcionar información actualizada, inmediata y fiable para la mejor toma de decisiones en cada uno de los procesos de transporte de líquidos.

No obstante, recopilar información básica no es suficiente, dado que es la interpretación y la presentación de dicha información lo que va a proporcionar valor añadido en el momento en que se planifica una estrategia. Para esto hace falta que las empresas adecuen la totalidad de sus sistemas informáticos para el funcionamiento eficaz del flujo de información en tiempo real.

Como si esto fuera poco, se agrega la cultura del teletrabajo, algo que está dando buenos resultados en urbes superpobladas en todo el mundo. La clave es información en tiempo real. La forma de lograrlo es a través del desarrollo humano y del uso de la tecnología en su conjunto.

2.2.9 Herramientas Para la Toma de Decisiones

Dentro de las herramientas y tecnologías que hoy en día son imprescindibles para cualquier Directivo, Gerente o funcionario Público de alto nivel, se encuentran los Sistemas para la Toma de Decisiones o Decisión Support Systems (DSS).

Este tipo de sistemas sirven para dar a los directivos, información que ayude a predecir y/o determinar el rumbo a seguir por su empresa en un momento determinado. Los DSS son el producto de un conjunto de labores de Consultoría, Análisis, Metodología y Tecnologías de la Información, que como resultado darán al directivo una herramienta para que conozca en cada momento todo lo que debe saber de su empresa y tome las mejores decisiones para dirigirla.

Los sistemas para la toma de decisiones por lo general son informáticos (Programas de cómputo) y en casos muy avanzados llegan incluso a ser sistemas de Inteligencia Artificial que sugieren directamente al Directivo qué hacer; sin embargo, en empresas micro y pequeñas, pueden incluso existir como hojas de cálculo de Excel o reportes en papel, sin que por esto se demerite su utilidad.

Algunos ejemplos de este tipo de tecnología son:

Los Hoteles pueden usar un sistema de pronóstico para saber cuántas personas van a llegar el fin de semana y a partir de ahí hacer las compras, preparativos y contrataciones de personal requeridos.

Sistemas de Información Geográfica En estos la información se observa mediante mapas e imágenes geográficas (tipo Google Earth) en las cuales se visualizan rutas, zonas, bodegas, clientes, etc. en diferentes colores y con diferentes formas según lo que se desea analizar. Así por ejemplo es posible visualizar las colonias en las cuales se encuentran nuestros mejores clientes y correlacionar los costos.

Tablero de Control Directivo / Estratégico Es uno de los más importantes medios para que un Directivo o funcionario de Alto Nivel pueda conocer la situación actual de la totalidad de su organización o de un área específica. El tablero de control combina Sistemas de Información Geográfica, Sistemas de pronóstico y modelos de procesos.

2.3 ANALISIS Y DISCUSION

2.3.1 Analizar la inversión Necesaria para la Implementación del Sistema SCADA

Para la implementación del sistema SCADA en el poliducto PCSZ-1 se debe realizar la viabilidad económica del proyecto. Tiene como objetivo fundamental asignaciones de recursos eficientes y equitativos, que contribuyan a maximizar el bienestar de poliducto.

Para esto, el análisis económico de proyectos se apoya en el desarrollo de una serie de conceptos y técnicas que le permiten abordar de manera simplificada el análisis de una realidad compleja y cambiante. A esta realidad no escapan los Programas de Mejoramiento Continuo donde el hacedor-ejecutor de estos programas debe dar respuesta a una gama variada y creciente de carencias, enfrentando restricciones presupuestarias muy fuertes.

presente proyecto se presentan los costos tanto de materiales como de ingeniería de manera general, para algunas empresas quizá por la crisis económica actual, representa un gasto más que una inversión.

2.3.1.1 Costo de materiales

Tabla 12: *Costo de los Materiales a utilizar*

cantidad	Descripción de los Equipos	P.U (\$)	TOTAL (\$)
4	Módulo de comunicación RS-422/485 MOD. CPM2C-CIF11	190.56	762.24
4	Módulo de 16 Entradas (Input) Digitales MOD. CPM2C-16EDR	305.37	1,221.48
1	Módulo de 8 Salidas (Output) a Relevador MOD. CPM2C-8ER	324.58	324.58
1	Fuente de Poder para PLC CJ1M MOD. CJ1M - PA205R	202.57	202.57
1	CPU Controlador Lógico Programable CJ1M MOD. CJ1M-CPU13	698.51	698.51

cantidad	Descripción de los Equipos	P.U (\$)	TOTAL (\$)
1	Modulo Ethernet MOD. CJ1M-ETN21	1044.75	1044.75
1	Convertidor RS232C a RS-422/485 MOD. CJ1M-CIF11	110.60	110.60
2	Contador Gigante con Comunicación RS- 422/485 MOD. LD4SS6P0	750.00	1,500.00
4	Lámparas de Colores Mca. Banner MOD. CL50GRYPQ	385.00	1,540.00
1	Switch Ethernet Mca. Red Lion MOD. SWITCH08	219.00	219.00
1	Computadora personal HP Touchsmart IQ520 SKU: 1031290, con 4GB en RAM	2,085.40	2,085.40
1	Software de Programación y RUNTIME Wonderware No. Parte. 01-2332, para 1k Tags con I/O ver. 10.1	3,015.00	3,015.00
1	Gastos Indirectos que incluyen materiales no previstos como gabinete cable, etc.	3,373.27	3,373.27
TOTAL (\$)			16,097.40

Fuente: Extraído de investigaciones de proyectos SCADA

2.3.1.2 Costo de Ingeniería

El costo de ingeniería se estimó a través del costo por hora de programación y servicio que nos proporcionaron las empresas mostradas en el Anexo y estará constituido a partir de cuatro costos principales, costo por hora para desarrollo de Programación de PLC, costo por hora por desarrollo de programa de sistema SCADA, costo por hora por Instalación de Equipo y Redes en planta y costo de puesta en marcha del sistema, como se muestra en la Tabla siguiente:

Tabla 13: Costos de Ingeniería

Trabajo a Realizar	Costo X Hora	Tiempo Estimado Hrs	Sub Total (\$)	No. de Personas	TOTAL (\$)
Programación de SCADA	70	112	7840.00	1	7840.00
Programación de PLC	90	70	6300.00	1	6300.00
Instalación de equipo y redes	20	24	480.00	4	1920.00
Puesta en marcha del Sistema	60	24	1440.00	2	2880.00
TOTAL (\$)					18,940.00

Fuente: Elaboración Propia, sobre base de Cotizaciones

2.3.1.3 Costo Total del Proyecto

Para poder determinar el estimado del costo total del proyecto sólo se sumarán los costos de materiales más los costos de ingeniería quedando plasmados en la **Tabla 12**. Cabe mencionar que este costo sólo es del desarrollo e Implementación del sistema SCADA y no incluye la plataforma MES, si se requiere instalar el sistema MES será necesario agregarle el costo de este software más su estimado de programación el cual se ve plasmado en la **Tabla 15**.

Tabla 14: Costo Total Implementación SCADA

COSTO TOTAL DEL SISTEMA SCADA	
Costo de Materiales	16,097.40
Costo de Ingeniería	18,940.00
TOTAL (\$)	35,037.40

Fuente: Elaboración Propia

2.3.1.4 Costo Total Del Sistema SCADA Con MES Integrado

Tabla 15: *Implementación de Sistema SCADA con MES*

Costo Total Del Sistema SCADA Con MES Integrado	
Costo de Materiales	16,097.40
Costo de Ingeniería	18,940.00
MES Client-Standard, Concurrent, 10 users	12,310.00
Costo de Programación de MES	7,840.00
TOTAL (\$)	55,187.40

Fuente: Elaboración Propia

Se tomó como referencia el mismo tiempo de programación de SCADA, **Tabla 16.**

El sistema SCADA nos sirve para hacer un seguimiento del movimiento horario del tanque e interpretar el movimiento del ducto cada hora tanto en estación CABECERA y TERMINAL. Esta información a la larga es considerada como volúmenes oficiales de los bombes, mismos que se reflejarán en diferentes reportes bajo registros oficiales los que se convertirán en documentos de cambios de custodia.

2.3.2 Manejo de la información SCADA

El Operador debe registrar en una planilla Excel toda la información horaria extraída del sistema SCADA y comparar con el movimiento físico del tanque en bombeo y posteriormente igualar los datos con las estaciones intermedias; toda esta información le permite al operador de turno analizar el comportamiento del ducto garantizando una operación segura.

En el reporte podremos visualizar y recopilar los siguientes registros: Número de lote, Densidad, Presión (Km/cm²), Temperatura (°F), Volumen parcial (m³), volumen acumulado día, Volumen Acumulado lote y Observaciones que son los registros más importantes del reporte.

2.3.3 Alarmas

La alarma se activa cuando una de las variables esta fuera del rango de operación establecida como límite inferior o límite superior. A la activación de la alarma, el Operador debe analizar, identificar y clasificar la gravedad de la situación que genera la respectiva alarma para actuar en función a ella. Se puede considerar las siguientes causas:

- **Bajón de presión de descarga.** - el Operador tiene que comunicarse con las 3 estaciones de bombeo para saber el comportamiento de las variables en cada una de ellas y tomar una acción rápida ante la causa, como por ejemplo puede ser motivos climatológicos, filtración, robo, falla de equipos o accesorios, etc.
- **Baja succión de bombeo.** - El operador debe revisar las válvulas en la línea del tanque en bombeo a manifold mediante chek lits.
- **Alta descarga.** - El operador debe comunicarse con las estaciones intermedias ECAB, ETAT y ECHO para verificar sus presiones y unidades si están trabajando normalmente.
- **Bajo y Alto Caudal.** - En este tipo de causa, la alarma se activa por tener el caudal fuero del rango de lo establecido de bombeo ya sea por caudal mínimo o caudal máximo de bombeo.

2.3.4 Las características más importantes del sistema SCADA

- **Acceso desde cualquier lugar,** a través de un navegador web.
- **Intuitivo,** fácil de utilizar sin necesidad de formación.
- **En tiempo real,** información actualizada y fiable en todo momento.
- **Visibilidad completa de las operaciones,** tendencias del proceso, comportamiento de las variables, contenido en los datos que de otra forma sería difícilmente detectable.

Además, estas aplicaciones incorporan una potente e intuitiva aplicación de visualización y análisis multidimensional de los datos, sin importar su ubicación o formato. En donde, cualquier persona sin perfil técnico puede realizar libremente, análisis dinámicos complejos, con la posibilidad de cruzar cualquier tipo de datos, navegar por ellos e incluso ir desde el nivel más alto de la información hasta el nivel más bajo del mismo.

CAPÍTULO III: CONCLUSIONES

- Las características operacionales del PCSZ-1 requiere una implementación de un sistema de control y monitoreo de los fluidos transportados, El proceso de bombeo requiere de una comunicación y coordinación permanente entre las estaciones del Poliducto PCSZ-1 y Sala de Control, con el fin de realizar el buen manejo de presiones.
- Viendo las alternativas de automatización, los niveles de automatización y estudios realizados se determinó, implementar el sistema SCADA porque es un programa que se adapta a cualquier ambiente, por su robustez. efectivamente todas y cada una de las estrategias planteadas. De tal forma que si tomamos el control de proceso de PCSZ-1 como una filosofía de trabajo, encaminada a emplearla como una estrategia, no es difícil entender el por qué la implementación de un sistema SCADA nos permite trabajar de manera integrada y flexible en todas las áreas del proceso, permitiendo así la toma de decisiones, a todos los niveles, en tiempo real.
- En definitiva, el sistema SCADA implementado ofrece una perspectiva integrada de todos los recursos de control e información de todo el poliducto, en este caso transporte de fluidos. De esta manera el supervisor, operador y demás usuarios puedan visualizar e interactuar con el proceso industrial mediante la interfaz gráfica de usuario. Con base en el desarrollo humano y las herramientas tecnológicas a su alcance. Para lograrlo se debe de comenzar por cambiar la mentalidad de todo el personal y fomentar la idea del cambio, no sin antes sembrar el objetivo de que habrá mejoras. Esta reestructuración deberá fortalecer los cimientos de todo proceso en el PCSZ-1. sus sistemas de producción incluido ahí el factor humano. Por lo que la implementación de un sistema SCADA es un buen comienzo para empezar a fortalecerlo y lograr darles certeza y claridad a todas las operaciones realizadas.
- Se determino que con la implementación del sistema SCADA, se llega a invertir un valor significativo aproximado de 35,037.40(\$) cabe recalcar que no es un gasto, sino una inversión ya que se podrá operar de manera segura y confiable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre Zapata, D. (2013). *DESARROLLO DE UN SISTEMA SCADA PARA USO EN PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS*. PIURA.
- Alvarez Pastuña, J. E., & Mosquera Masabanda, B. S. (2020). *IMPLEMENTACION DEL SISTEMA SCADA PARA EL CONTROL, MONITOREO Y ANALISIS DE INDICADORES DE OPERACION DEL INVERNADERO CAMPUS SALACHE*. Latacunga - Ecuador.
- Baquero, G. (2022). <https://somosadvance.com/expertise/estaciones-de-bombeo/>.
- Barrientos Gamboa, A. (2014). *Sistemas de producción y Automatización*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- CESSA. (2022). *SUMINISTRO, INGENIERIA, INSTALACION Y PUESTA EN MARCHA SISTEMA SCADA*. Sucre.
- García Moreno, E. (2016). *Automatización de Procesos Industriales*. Mexico.
- Guacapiña Toapanta, D. V. (2021). *Desarrollo de una aplicación SCADA para el Control de Nivel de un Proceso simulado de tres tanques en Cascada*. Latacunga - Ecuador.
- Limachi Calani, S. G. (2023). *Sistema SCADA para un Prototipo de los Reservorios de Agua Potable de Laboratorios Farmaceuticos VITA*. La - Paz.
- Madrid Ortega, R. (2017). *diseño e implementación de un SCADA para la monitorización de una central térmica*. valladolid.
- Pere Ponsa, A. G. (2019). *Diseño y Automatización Industrial*. Catalunya.
- PEREZ LOPEZ, E. (2015). *LOS SISTEMAS SCADA EN LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL*. COSTA RICA.

- Perez, M. M. (2021). *Mejorando los Sistemas de Gestión La Piramide de la Automatizacion*. Mexico.
- Poma Quispe, E. I. (2019). *DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA SCADA PARA LA AUTOMATIZACION DE UNA PLANTA INDUSTRIAL*. La Paz - Bolivia.
- Rodriguez Mogrovejo, P. A. (2019). *Diseño y Simulación de un Sistema SCADA Para el Control y Monitoreo de Reservorios*. PERU.
- Rojas Ticacala, J. (2014). *Implementacion de un Sistema de Monitoreo Para la Planta Hidroelectriva Chojlla Antigua*. La Paz.
- Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación*. México.
- San Juan Gijón, J. C. (2010). *Implementación de un sistema SCADA, en una Empresa de autopartes, para trabajar en un Enfoque Justo a Tiempo*. Mexico D.F.
- Secretaría, d. M. (2009). Obtenido de <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/chih/estudios/2009/08CI2009G0005.pdf>
- VILLALOBOS ESCOBAR, D. (2017). *DESARROLLO DE UN SISTEMA SCADA PARA CONTROLAR UN SIMULADOR DE PROCESOS INDUSTRIALES*. COLOMBIA.
- YPFB, T. (2023). *GERENCIA SECTORIAL DE TRANSPORTE DE POLIDUCTOS, Manual de Operaciones*. Santa Cruz.

ANEXOS

Anexo 1: Empresas Consultadas para Sistema SCADA

EQUIPO REDLION

AIL México

Washington 2330 Pte.
Col. María Luíza
Monterrey, N.L. C.P. 64040
Teléfono: 81-8343-7663

sales@ail-mx.com

DESARROLLO E INGENIERÍA

PRAYED, Automatización y Control

Oriente 100 No. 1662-1
Col. G. Ramos Millán
México, D.F. C.P. 08020
Teléfono. 5648-4942

controltotal@prodigy.net.mx

EQUIPO OMRON

Controles para Automatización MAGRO
Calle 32 No.32
Col. Independencia
EDOMEX, C.P. 53830
Teléfono: 5295-0578

SOFTWARE SCADA

Wonderware México
Agustín M. Chávez No. 1 PB.004
Centro de Santa Fe
México, D.F. C.P. 01210
Teléfono: 5292-6262

Info.mexico@wonderware.com

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2: Características Técnicas del Transmisor de Presión

Descripción	Rango/Especificación/Aclaración
Rango calibrado	-15 a 1500 psi.
Protección por Sobrepresión	6000 psi.
Exactitud	±0.075%
Material del Cuerpo	Aluminio T14
Material del Elemento Sensor	Acero Inoxidable 316L
Tipo de Cubierta	A prueba de explosión
Clasificación Eléctrica	Clase 1, División I, Grupos A y D
Tamaño de Conexión al Proceso	½" NPT
Tamaño de Conexión Conduit	½" NPT
Pantalla	Si
Señal de Salida	4-20mA +HART
Puerto de Comunicación	No
Autodiagnóstico	Si
Alimentación Eléctrica	24 Vcd
Temperatura (Operación)	-10 to 60°C
Humedad (Operación)	5 a 80% rH
Marca	Endress Hauser
Modelo	PMP71

Fuente: Catálogo FMC, Soluciones de medición para Líquidos,2022

Anexo 3: Características Técnicas del Transmisor de Temperatura

Descripción		Rango/Especificación/Aclaración
Rango calibrado de Temperatura		-50 a 200°C
Exactitud		±0.02%
Material del Cuerpo		Acero Inoxidable 316L
Material del Elemento Sensor		Aluminio
Pantalla		Si
Tipo de Cubierta		A prueba de explosión
Clasificación Eléctrica		Clase 1, División I, Grupos A y D
Tamaño de Conexión al Proceso		½" NPT
Tamaño de Conexión Conduit		½" NPT
Señal de Salida		4-20mA
Puerto de Comunicación		No
Autodiagnóstico		Si
Alimentación Eléctrica		24 Vcd
Temperatura (Operación)		0 a 100°C
Marca		Endress Hauser
Modelo		T13E3A28A2C3QKB1
Elemento de Temperatura	Tag	TE-1100 / TE-1200 / TE-1300 TE-1400
	Tipo	PT100, Clase A, 3 Hilos
	Material de la Vaina	Aluminio T14
	Conexión a Proceso de la Vaina	¾" NPT
	Longitud de Vaina	2"

Fuente: Catálogo FMC, Soluciones de medición para Líquidos,2022

Anexo 4: *Tanques de Almacenamiento de Gasolina Especial GE*



Foto 1: Tanques 2914 y 2917



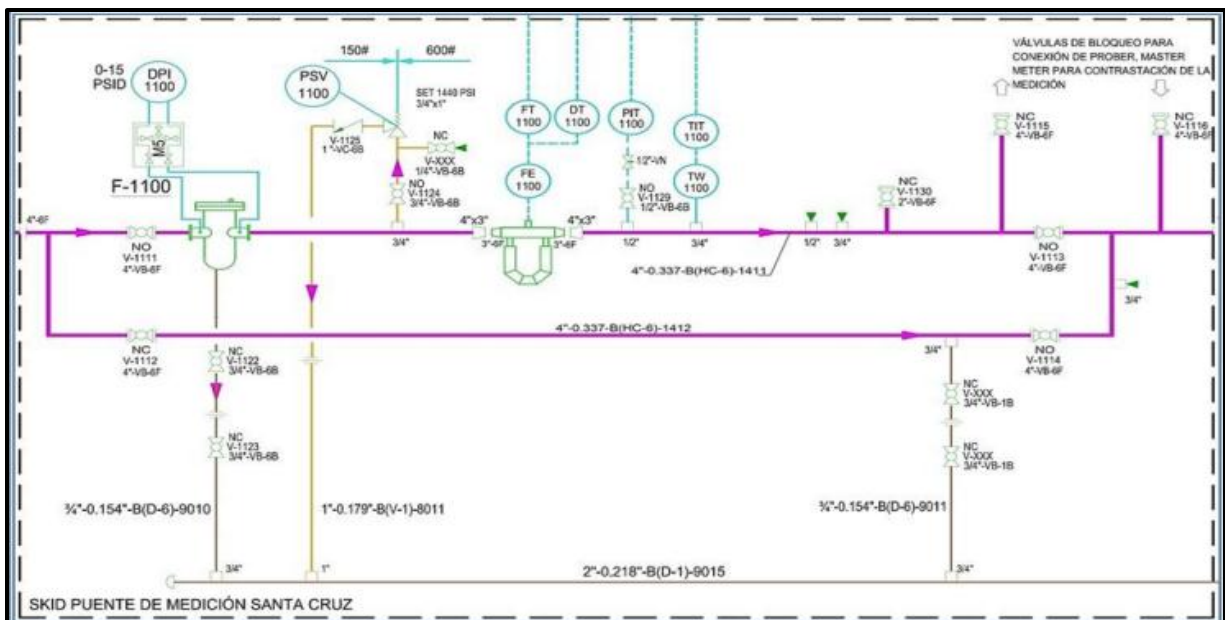
Fuente: YPFB TRANSPORTE S.A. 2023

Anexo 5: Sistemas Contra Incendios



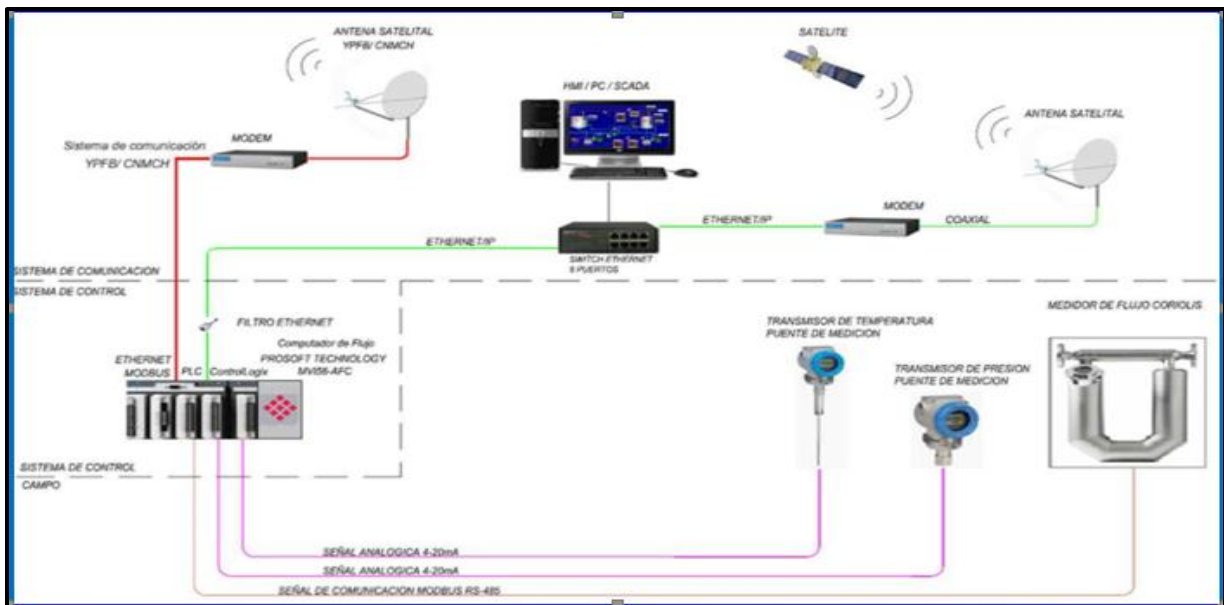
Fuente: YPFB Refinación. 2023

Anexo 6: Diagrama Puente de Medición



Fuente: YPFB TRANSPORTE S.A. 2023

Anexo 7: Arquitectura SCADA



Fuente: introducción a la automatización industrial,2021

Anexo 8: Tablero SCADA



Fuente: Extraído de una Página Internet SCADA