

**Diseño e implementación de un sistema de mando a distancia de una Test Pump,
mediante un sistema de monitoreo y control desde una HMI.**

Fabián Díaz Rocha

Director

Faver Adrián Amorocho Sepúlveda

Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD

Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería ECBTI

Ingeniería Electrónica

2025

Agradecimientos

Agradezco a Dios, por permitir cumplir una meta más en vida, mi madre Norelvis Rocha Diaz por su apoyo incondicional, mi esposa y mis hijos Hanna Vianney Diaz Menco, Johan Sebastián Diaz Menco y mi esposa Sirli Yoana Menco Barón los cuales me motivaron a esforzarme para subir un peldaño más profesionalmente.

A mis tutores de tesis, les agradezco por su orientación experta y sus valiosas sugerencias a lo largo de este proceso. Sus contribuciones han sido fundamentales para dar forma y mejorar este trabajo. A mis amigos y compañeros de clase, gracias por compartir conocimientos, risas y momentos inolvidables. Y su apoyo ha hecho que esta travesía sea significativamente más enriquecedora. No puedo dejar de mencionar a todas las fuentes académicas y profesionales que consulté. Su investigación y trabajo previo proporcionaron el fundamento necesario para desarrollar este proyecto.

A la empresa donde trabajo actualmente, agradezco la oportunidad de realizar la prueba de funcionamiento de mi proyecto en un ambiente real donde se utilizó un equipo de control de pozo usado en los taladros de perforación de pozos petroleros.

Finalmente, quiero expresar mi gratitud a aquellas personas que, aunque no estén mencionadas aquí, tuvieron un impacto en mi trayectoria académica y personal. Cada conversación, cada consejo y cada palabra de aliento dejaron su huella en este camino. Este logro es un testimonio de la colaboración y el apoyo de muchas personas, y estoy sinceramente agradecido/a por cada uno de ustedes. Esta tesis no solo es mi trabajo, sino también un reflejo del amor, la dedicación y la contribución de cada uno de ustedes en mi vida. Con humildad y gratitud, les dedico este logro y espero poder retribuir su generosidad de alguna manera en el futuro.

Dedicatoria

Dedico este trabajo de investigación a aquellos cuyos esfuerzos incansables y apoyo incondicional han sido la brújula que me guio a lo largo de este viaje académico.

En primer lugar, expreso mi profundo agradecimiento a mi familia por su amor, paciencia y constante aliento. A mis padres, cuyos sacrificios y dedicación han sido la fuente de inspiración y determinación, les dedico este logro.

A mis profesores y asesores, cuya sabiduría, orientación y dedicación me guiaron en la construcción de este trabajo, les expreso mi gratitud más sincera. Sus enseñanzas y valiosos consejos han contribuido significativamente a mi crecimiento académico y profesional.

A mis amigos y compañeros de clase, quienes compartieron risas, desafíos y experiencias inolvidables durante este recorrido, les agradezco por su compañía y apoyo mutuo. A mis seres queridos que me alentaron a seguir adelante incluso cuando las dificultades parecían insuperables, les dedico este logro con gratitud y humildad.

Finalmente, a todas aquellas personas anónimas que contribuyeron de alguna manera a mi formación y desarrollo. Esta tesis de grado es el fruto de muchas manos y corazones que colaboraron para hacerlo posible. Es en honor a todos ustedes que he completado este capítulo de mi vida, y espero que este trabajo contribuya, de alguna manera, al avance del conocimiento y al bienestar de nuestra sociedad.

Resumen

Diseño e implementación de un sistema de mando a distancia de un Test Pump, mediante un sistema de monitoreo y control desde una HMI. El proyecto está dirigido a la seguridad de los trabajadores que realizan las pruebas hidrostáticas en los taladros de perforación y workover, para tal fin se creará de una interfaz gráfica la cual se instalará en una pantalla táctil Siemens (HMI), este software nos permitirá visualizar la variable presión en una casilla, tiene una gráfica en tiempo real de la presión vs. tiempo, también cuenta con una marca para iniciar marcha del Test Pump y una marca para finalizar la marcha del Test Pump. Por otro lado, se creará un programa para el PLC Siemens S7-1200 el cual tiene la función de recibir las instrucciones desde la pantalla HMI y ejecutar una orden para el elemento final de control (electroválvula), la cual permite el paso de aire para el funcionamiento del Test Pump.

Se utilizará el enfoque ágil para el desarrollo del software con interacciones mensuales y revisiones continuas, los resultados esperados es una mayor precisión en la ejecución y presión aplicada a los elementos probados hidrostáticamente, de igual manera aportar a la seguridad de la integridad de los trabajadores encargados de accionar el Test Pump, ya que estarán en una distancia segura operando el Test Pump.

Palabras Clave: Pantalla HMI, PLC, presión, bomba hidráulica, presión hidrostática

Abstract

Design and implementation of a remote control system for a Test Pump, through a monitoring and control system from an HMI. The project is aimed at contributing to the safety of workers who carry out hydrostatic tests in drilling and workover rigs, for this purpose a graphic interface will be created which will be installed on a Siemens touch screen (HMI), this software will help us It will allow you to display the pressure variable in a box, it has a real-time graph of pressure vs time, it also has a mark to start the Test Pump and a mark to end the Test Pump. On the other hand, a program will be created for the Siemens S7-1200 PLC which has the function of receiving instructions from the HMI screen and executing an order for the final control element (solenoid valve) which allows the passage of air for the operation of the Test Pump.

The agile approach will be used for the development of the software with monthly interactions and continuous reviews, the expected results are greater precision in the execution and pressure applied to the hydrostatically tested elements, as well as contributing to the security of the integrity of the workers in charge. to activate the Test Pump since they will be at a safe distance operating the Test Pump.

Key Words: HMI screen, PLC, Pressure, Hydraulic pump, Hydrostatic Pressure.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	11
Planteamiento del Problema	12
Pregunta de Investigación	14
Justificación	15
Objetivos	16
Objetivo General	16
Objetivos Específicos	16
Marco Referencial	17
Marco Conceptual	17
Los fluidos	17
Presión Hidrostática	17
Bomba Neumática	18
Las Bombas Neumáticas Desplazamiento Positivo.	18
Transductor	18
Viscosidad	19
Caudal	19
Presión Diferencial	19
Cavitación	20
Controladores PLC	20
Altura Positiva Neta de Succión (NPSH)	20

Marco Teórico	21
Sistema de Mando a Distancia	21
Test Pump	22
Monitoreo y Control	22
Sensores	23
Actuadores	24
Interfaz de Usuario	24
Comunicación Inalámbrica.....	25
Internet de las Cosas (IoT)	26
Protocolos de Comunicación.....	26
Seguridad en Sistemas de Control.....	27
Presión Hidrostática.....	28
Transductores de Presión.....	28
Marco Legal	29
Normas de Seguridad Industrial y Maquinaria.....	29
Metodología	32
Tipo de Investigación.....	32
Recolección de Muestras.....	32
Fases de la Investigación.....	33
Desarrollo del Proyecto.....	35
Identificación de Parámetros y Variables de Control	35

Análisis de las Características y Manuales Técnicos de la Test Pump para Identificar las Variables Críticas del Proceso.....	36
Inspección Física del Equipo para Determinar Puntos Accesibles para la Instalación de Sensores.....	40
<i>Diseño del Sistema de Monitoreo y Control en Simulación</i>	41
Seleccionar un Software de Simulación Adecuado para el Diseño del Circuito.....	41
Diseño del Circuito Eléctrico y el Sistema de Control que Incluye Sensores, Actuadores y el Controlador.....	42
Funcionamiento del Sistema.....	43
Algoritmo del Sistema.....	44
Desarrollo de la Interfaz HMI	47
Diseño de Interfaz Gráfica de Usuario Aplicando los Principios de la Norma ISA 101	48
Programar la HMI Utilizando un Software Especializado	49
Integrar la HMI con el Sistema de Control para Garantizar la Comunicación en Tiempo Real	50
Implementación y Pruebas en Entorno Real	52
Pruebas de Usabilidad con Operadores para Identificar Mejoras en Diseño y Funcionalidad	52
Presupuesto	55
Conclusiones	59
Recomendaciones	60
Referencias Bibliográficas	61

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Número de personas y órganos afectados en los accidentes realizando pruebas hidrostáticas.....</i>	13
Tabla 2 <i>Frecuencia de accidentes vs pérdidas económicas en las empresas.</i>	14
Tabla 3 <i>Especificaciones técnicas.....</i>	38
Tabla 4 <i>Presupuesto.....</i>	55
Tabla 5 <i>Gastos por compra y montaje de equipos.....</i>	56
Tabla 6 <i>Fotos de prueba del proyecto Diseño e Implementación de un sistema de mando a distancia de una Test Pump, mediante un sistema de monitoreo y control desde una HMI</i>	57

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Cuadro de equipos para mantenimiento preventivo</i>	37
Figura 2 <i>Datos técnicos de PLC S7-1200</i>	39
Figura 3 <i>Prueba de presión hidrostática en pozo petrolero.</i>	40
Figura 4 <i>Circuito eléctrico de PLC S7-1200</i>	42
Figura 5 <i>Algoritmo de sistema</i>	44
Figura 6 <i>Asignación de dirección IP para comunicar la pantalla HMI y el PLC.</i>	46
Figura 7 <i>Interfaz gráfica en HMI KTP 700</i>	47
Figura 8 <i>Interfaz HMI en SIMATIC para monitoreo y control de presión</i>	49
Figura 9 <i>Programa de PLC S7-1200</i>	50
Figura 10 <i>Integración del PLC S7-1200 con la Interfaz HMI en TIA Portal</i>	51
Figura 11 <i>Diseño y Simulación en TIA Portal</i>	52
Figura 12 <i>Prueba de la Interfaz HMI en SIMATIC para monitoreo y control de presión</i>	53
Figura 13 <i>Prueba piloto de la Interfaz HMI en SIMATIC para monitoreo y control de presión en físico</i>	54

Introducción

El presente proyecto inició como una idea en el curso proyecto de grado. Esta idea se desarrolló aplicando la iniciativa CDIO (concebir, diseñar, implementar y operar). Para realizar el proyecto aplicado se toma como base el hardware, software y avances documentales de dicho curso con el propósito de dar continuidad y completar e instalar los componentes faltantes con el objetivo de implementar este sistema, ya sea en una empresa o taller de mantenimiento. La información tomada es de mi autoría, lo cual me ayudó a identificar problemática presentada en la ejecución de las pruebas de presión hidrostáticas, la cual se realiza para verificar la integridad de sistemas y componentes que operan bajo presión, como tuberías, tanques y otros recipientes. Estas pruebas se realizan para asegurarse de que el equipo puede soportar las presiones de operación sin fugas ni fallas.

Este proyecto está dirigido a las pruebas de presión hidrostáticas realizadas en los taladros de perforación de pozos petroleros antes de iniciar la perforación de un pozo; estas son fundamentales para asegurar la integridad y seguridad de las operaciones relacionadas con esta actividad. En el ámbito de la automatización industrial y el control de procesos, la eficiencia operativa y la facilidad de manejo son factores clave para el éxito de cualquier sistema. En este contexto, la implementación de un sistema de mando a distancia para una bomba de prueba (Test Pump) mediante un monitor y control desde una interfaz Hombre-Máquina (HMI) representa un avance significativo. Este enfoque no solo mejora la operatividad y el control de las bombas de prueba, sino que también optimiza la supervisión y gestión de los procesos asociados durante la perforación de un pozo petrolero.

Planteamiento del Problema

El problema planteado está dentro de la línea de investigación (Automatización de procesos), este consiste en la implementación de un sistema de monitoreo y control de un Test Pump a través de una pantalla táctil con el fin de aumentar la precisión en la presión aplicada y disminuir la exposición del operador a las líneas presurizadas; este peligro puede generar daños al operario que hace la prueba tanto a nivel de lesiones graves e incluso se han reportado casos de muertes por la gravedad de las lesiones, en algunos casos también puede generar daños a los equipos sometidos a la presión porque puede superar los límites permisibles.

En las operaciones de los taladros de perforación de pozo petroleros se realiza actividades de alto peligrosidad una esta es la prueba de presión hidrostática de los equipos del sistema de control pozo, línea stand pipe, vibrator hose, entre otro componente, donde circula el lodo inyectado desde las bombas de lodo, el problema radica que los equipos de prueba (Test Pump) son operados manualmente lo cual obliga al trabajador estar cerca de los elementos sometidos a alta presión exponiendo su humanidad, en esta actividad ya se ha presentado accidentes con consecuencia graves por el impacto de los elementos presurizados al desacoplarse y fatalidades.

Tabla 1

Número de personas y órganos afectados en los accidentes realizando pruebas hidrostáticas.

Órganos afectados	Número de personas
Manos	8
Ojos	5
Piernas	6
Cabeza	3
Oídos	2

Nota. En la tabla 1 se ilustra los órganos afectados en los accidentes realizando las pruebas hidrostáticas, reportadas por una empresa de perforación de pozos petroleros, acumulado entre los años 2013 al 2022. Por confidencialidad de la información se omiten los datos de la empresa.

Para mejorar este proceso y disminuir el peligro de la exposición del operador se ha planteado el presente proyecto dentro de la Línea de investigación (Automatización de procesos), este consiste en el diseño e implementación de un sistema de monitoreo y control de un Test Pump a través de una HMI con el fin de visualizar las presiones de prueba y operar remotamente el Test Pump, aumentando la precisión de la presión aplicada, este peligro puede generar daños a la persona como lesiones graves y peor aún fatalidad, en algunos casos también puede generar daños a los equipos sometidos a la presión porque puede superar los límites permisibles. Las consecuencias de estos accidentes no solo afectan la salud y seguridad de los operadores, sino que también impactan significativamente los recursos económicos de las empresas.

Tabla 2

Frecuencia de Accidentes vs Pérdidas Económicas en las Empresas.

Año	Número de accidentes en pruebas hidrostáticas	Pérdidas económicas de empresas
2013	8	\$ 120.000.000
2014	9	\$ 135.000.000
2015	7	\$ 105.000.000
2016	10	\$ 150.000.000
2017	5	\$ 75.000.000
2018	8	\$ 120.000.0000
2019	3	\$ 45.000.000
2020	5	\$ 75.000.000
2021	4	\$ 60.000.000
2022	2	\$ 30.000.000

Nota: En la tabla 2, se presenta un análisis de la frecuencia de accidentes y las pérdidas económicas generadas entre 2013 y 2022. Se omiten los datos de la empresa que proporciona la información.

Pregunta de Investigación

¿Cómo lograr desde la ingeniería electrónica el diseño e implementación de un sistema de mando a distancia de un Test Pump, mediante un sistema de monitoreo y control desde una HMI?

Justificación

Este proyecto es un aporte a la seguridad de los trabajadores que están involucrados con la prueba de presión hidrostática del sistema de control de pozos petroleros, los operadores del Test Pump serán los principales beneficiarios de este proyecto, ya que facilitara las condiciones de trabajo al momento de la prueba hidrostática porque el control y la visualización de la presión la podrá hacer de un lugar distinto a los equipos que son sometidos a altas presiones, la compañía será la más beneficiada, ya que está asegurando los procesos de una manera eficiente y sin daños a las personas y al medio ambiente.

La implementación de sistemas electrónicos para el control y monitoreo de proceso industriales hoy día ha disminuido la ocurrencia de accidentes laborales debido a la exposición del trabajador a los peligros de la actividad como tal y peligros periféricos es este proyecto se construirá este sistema creando una interfaz gráfica la cual será instalada en la HMI, se creará un programa para el PLC con la lógica que cumpla las necesidades de la problemática planteada.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar e implementar de un sistema de mando a distancia de un Test Pump, mediante un sistema de monitoreo y control desde una HMI.

Objetivos Específicos

Determinar los parámetros, puntos del proceso y variables de control del sistema Test Pump que son factible de ser monitoreados y controlados de forma remota.

Diseñar en un software de simulación de circuitos (o en una mesa de pruebas) el sistema de monitoreo y control a distancia de una Test Pump.

Desarrollar un sistema HMI empleando la norma ISA 101 desde la cual se realice el monitoreo y control del sistema desarrollado.

Implementar la solución diseñada en una Test Pump industrial y realizando las pruebas de funcionalidad en condiciones controladas de laboratorio.

Marco Referencial

Marco Conceptual

Los fluidos

Se entiende por fluido a cualquier sustancia que puede moverse y cambiar de forma.

“Dentro de esta categoría se encuentran tanto los líquidos como los gases, que se distinguen entre sí principalmente por su densidad, la cual es mayor en los líquidos” (Hiru.Eus, 2016, pág. 1)

La densidad se define como el cociente entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

La densidad es un valor escalar y sus unidades son kg/m³ en el Sistema Internacional.

Presión Hidrostática

Para Valdivieso (2023), establece que “la presión hidrostática es la fuerza que un líquido ejerce sobre las paredes del recipiente que lo contiene, y esta fuerza varía en función de la altura de la columna de líquido; es decir, a mayor altura, mayor es la presión” (pág.1). En el contexto de mi proyecto, esta presión se utiliza mediante equipos mecánicos, como bombas de alta presión, que son esenciales para trasladar o manipular el líquido de manera eficiente. La comprensión de este principio es fundamental para garantizar un funcionamiento óptimo de los sistemas hidráulicos involucrados.

Bomba Neumática

Las bombas neumáticas son dispositivos utilizados para transportar líquidos en diversos entornos industriales, y en este caso se enfoca en las bombas neumáticas de alta presión. Existen numerosos tipos y modelos de bombas, cada uno con principios de funcionamiento específicos que varían según el fabricante. Estas herramientas son esenciales para aplicaciones que requieren un bombeo eficiente y controlado, y su diseño puede adaptarse a diferentes necesidades y condiciones operativas, lo que las convierte en una opción versátil en el sector industrial (Dynaflux, 2023)

Las Bombas Neumáticas Desplazamiento Positivo.

Según Asips (2021), las bombas de desplazamiento positivo (PD) “son dispositivos que trasladan un fluido al encerrar repetidamente un volumen fijo y moverlo mecánicamente a lo largo del sistema”. Este proceso de bombeo se realiza de manera cíclica y puede ser impulsado por diferentes mecanismos, como pistones, tornillos, engranajes, rodillos, diafragmas o paletas. Estas bombas son especialmente útiles en aplicaciones donde se requiere un flujo constante y controlado, ya que ofrecen la capacidad de manejar líquidos de diversas viscosidades y características.

Transductor

“Este dispositivo convierte una magnitud física en una señal eléctrica, lo que permite a los medidores registrar variables como presión, temperatura y humedad, entre otras. Estas magnitudes se transforman en señales eléctricas que son cruciales para diversas aplicaciones, incluidas pruebas no destructivas” (Aeisa, 2020). La capacidad de interpretar estas señales es fundamental para monitorear y controlar procesos industriales, garantizando así la calidad y la seguridad de los productos. Además, estos dispositivos son esenciales en el desarrollo de

sistemas automatizados que requieren un seguimiento constante de las condiciones ambientales y operativas.

Viscosidad

La viscosidad es “una propiedad que mide la resistencia de un fluido a fluir. Los fluidos de alta viscosidad, como los aceites, presentan mayor resistencia al movimiento y requieren bombas especializadas, como las de desplazamiento positivo, para garantizar su transporte adecuado”. Por otro lado, los fluidos de baja viscosidad, como el agua, se manejan fácilmente con bombas centrífugas o neumáticas estándar. Este concepto es fundamental en la selección de equipos y materiales, ya que afecta directamente el diseño de sistemas de bombeo y tuberías (panalytical, 2022).

Caudal

El caudal “es la cantidad de fluido que circula por un sistema en un tiempo determinado, y su cálculo se realiza dividiendo el volumen del fluido entre el tiempo transcurrido. Este parámetro, medido en metros cúbicos por segundo o litros por minuto (LPM), es crucial para garantizar que la bomba sea capaz de satisfacer las necesidades del sistema” (Valdivieso, 2023). Además, está estrechamente relacionado con los requerimientos de presión y potencia, factores esenciales para el diseño y funcionamiento eficiente del sistema hidráulico.

Presión Diferencial

Para Bill la presión diferencial se refiere a la “diferencia de presión entre el punto de entrada y el punto de salida en un sistema de bombeo”. Este concepto es clave para garantizar que el fluido supere la resistencia generada por tuberías, válvulas y otros accesorios. En aplicaciones como las bombas de prueba, una presión diferencial adecuada asegura un flujo

constante y eficiente, permitiendo que el sistema funcione sin interrupciones ni pérdidas significativas de energía (Bill Rosckes, 2023).

Cavitación

La cavitación es un fenómeno que ocurre cuando la presión en el fluido cae por debajo de su presión de vapor, lo que genera burbujas de vapor que al colapsar pueden dañar los componentes del sistema. Este efecto suele ser provocado por velocidades de flujo excesivas o una presión insuficiente en la entrada de la bomba. Para prevenir la cavitación, es necesario diseñar sistemas que mantengan una presión adecuada, utilizando válvulas reguladoras y asegurando un suministro uniforme de fluido en la succión de la bomba (Grundfos, 2023).

Controladores PLC

Los controladores lógicos programables (PLC) son dispositivos esenciales en la automatización de sistemas industriales, como el de una bomba de prueba. Estos controladores reciben señales de sensores y transductores para monitorear variables como presión, temperatura y caudal, además de enviar comandos para iniciar, detener o ajustar parámetros operativos. Su integración con una HMI permite supervisar y controlar el sistema de manera remota, mejorando la seguridad, eficiencia y capacidad de respuesta ante posibles fallas (Iberia, 2023).

Altura Positiva Neta de Succión (NPSH)

La altura positiva neta de succión (NPSH) es un parámetro clave en el diseño de sistemas de bombeo, que mide la energía disponible para que el fluido entre en la bomba sin que ocurra cavitación. Se expresa como la diferencia entre la presión total en la succión y la presión de vapor del fluido en condiciones de operación. Para garantizar un funcionamiento eficiente y evitar daños en la bomba, el NPSH disponible (NPSHa) del sistema debe ser mayor al NPSH

requerido (NPSHr) por la bomba. Este concepto es esencial en sistemas que manejan líquidos a altas velocidades o temperaturas, ya que una entrada de succión mal diseñada puede generar pérdidas de eficiencia o daños en los componentes internos (Grundfos, 2022).

Marco Teórico

El diseño de solución al problema de ingeniería planteado es un proceso fundamental que implica reconocer la aplicación de procedimientos específicos para un problema previamente identificado. Este proceso se lleva a cabo por la necesidad de implementar un sistema de monitoreo y control que ayude a disminuir la exposición a altas presiones del operador de la Test Pump.

Sistema de Mando a Distancia

Un mando a distancia es un dispositivo electrónico que permite controlar diversas máquinas y aparatos desde una distancia sin necesidad de contacto físico directo. Compuesto por una matriz de botones que facilitan la selección de funciones como cambiar de canal, ajustar el volumen o reproducir una canción, la mayoría de estos mandos utilizan diodos emisor de luz infrarroja (IR) para transmitir señales a los dispositivos, que son recibidas y decodificadas por sensores específicos. Aunque su alcance es limitado y requiere línea de visión directa, la tecnología ha evolucionado hacia opciones como Bluetooth y Wi-Fi, permitiendo un control más amplio y la integración en sistemas de hogar inteligente. Además, la incorporación de controles por voz ha transformado la manera en que interactuamos con nuestros dispositivos, haciendo que los mandos a distancia sean herramientas clave para la comodidad y la eficiencia en entornos domésticos e industriales (Universidad Politécnica de Madrid , 2022).

Test Pump

Según Pointer (2021), la Test Pump o Bombas de Prueba “son equipos esenciales en la industria de la perforación, diseñados específicamente para realizar pruebas de presión en los sistemas de control de pozos, conocidos como BOPs (Blowout Preventers)”. Estas pruebas son fundamentales para asegurar la integridad y el funcionamiento adecuado de los equipos antes de reanudar las actividades de perforación. Generalmente, las pruebas se llevan a cabo utilizando las bombas de prueba del propio taladro, que suelen ser de bajo desplazamiento, lo que permite una aplicación controlada de la presión.

El servicio de pruebas de presión que ofrece Pointer Instrument Services es crucial, ya que constituye el último paso en el proceso de verificación antes de la reactivación de las operaciones. Durante estas pruebas, se verifica la resistencia de componentes vitales como los BOPs, válvulas y sistemas de control de presión (chokes), garantizando que estos equipos puedan soportar las condiciones extremas que se presentan durante la perforación. La correcta realización de estas pruebas no solo asegura la efectividad operativa del equipo, sino que también es un aspecto crítico para la seguridad del personal y del entorno, minimizando el riesgo de fallas que podrían resultar en incidentes graves. Al garantizar la eficacia de los sistemas de control, las Bombas de Prueba contribuyen.

Monitoreo y Control

El control y monitoreo automatizado es un enfoque integral que utiliza tecnologías avanzadas para supervisar y regular procesos industriales, máquinas y equipos de forma automática. Este sistema se basa en la interconexión de sensores, que recogen datos en tiempo real sobre diversas variables operativas, como temperatura, presión, flujo y nivel, y actuadores,

que ejecutan las acciones necesarias para mantener o modificar el funcionamiento del sistema. A través de un sistema de control, como PLCs (controladores lógicos programables) o sistemas SCADA (Control de Supervisión y Adquisición de Datos), se procesan y analizan los datos recogidos, permitiendo tomar decisiones rápidas y precisas.

La implementación de control y monitoreo automatizado ofrece múltiples beneficios, como la mejora en la eficiencia operativa, la reducción de costos y el aumento de la seguridad. Al automatizar procesos, se minimizan los errores humanos y se optimizan los recursos, lo que puede resultar en un uso más sostenible de la energía y materias primas. Además, este enfoque permite el acceso a información en tiempo real, facilitando la detección temprana de fallos y el mantenimiento predictivo, lo que contribuye a prolongar la vida útil de los equipos y minimizar tiempos de inactividad (cervantes, 2024).

Sensores

En términos sencillos, los sensores de automatización industrial son dispositivos de entrada que transforman una cantidad física específica en una señal que puede ser interpretada por un operador o un sistema. Esto significa que los sensores miden variables como temperatura, presión, flujo o nivel, y convierten esas medidas en información útil que facilita la comprensión de los procesos industriales.

El concepto de "dispositivo de entrada" indica que los sensores son componentes clave dentro de un sistema más amplio, ya que envían datos a un sistema de control principal, como un procesador o un microcontrolador. Esta comunicación permite que el sistema tome decisiones informadas y realice ajustes en función de las condiciones reales del entorno. En resumen, los sensores son esenciales para la automatización industrial, ya que permiten captar y entender de

manera efectiva lo que ocurre en los procesos y máquinas (Centro de Información Técnica , 2022).

Actuadores

Según Perera (2020), los actuadores son dispositivos que reciben señales de control y realizan acciones físicas, como abrir o cerrar válvulas, mover componentes mecánicos o ajustar posiciones. Al recibir instrucciones de un sistema de control, los actuadores permiten la implementación de decisiones automáticas, lo que es esencial para mantener la eficiencia y la estabilidad de los procesos industriales. La interacción entre sensores y actuadores es crucial: los sensores monitorean el estado del sistema y envían datos al controlador, mientras que los actuadores ejecutan las órdenes basadas en esos datos. Este ciclo de retroalimentación es la base de la automatización industrial, donde la capacidad de medir y actuar en tiempo real permite optimizar procesos, mejorar la eficiencia y garantizar la seguridad operativa. En resumen, el primer nivel de la Pirámide de Automatización, centrado en los dispositivos de campo, es esencial para la efectiva operación y control de sistemas automatizado.

Interfaz de Usuario

La interfaz de usuario (UI) es el punto crucial de interacción y comunicación entre el ser humano y la computadora en un dispositivo. Incluye diversos elementos como pantallas de visualización, teclados, ratones y la disposición visual de un escritorio. Más allá de estos componentes físicos, la UI también abarca la forma en que los usuarios interactúan con aplicaciones, sitios web y sistemas operativos, proporcionando una experiencia que puede ser intuitiva o complicada, dependiendo de su diseño.

En un entorno digital cada vez más complejo, donde la dependencia de aplicaciones web y móviles es creciente, las empresas han comenzado a reconocer la importancia crítica de una interfaz de usuario bien diseñada. Una UI efectiva no solo mejora la accesibilidad y la facilidad de uso, sino que también influye directamente en la satisfacción del usuario y en la eficiencia con la que se completan las tareas. Además, el diseño de la UI se ha vuelto un campo multidisciplinario que combina principios de diseño gráfico, psicología del usuario y tecnología, buscando crear experiencias atractivas y funcionales. La implementación de características como la retroalimentación visual, la navegación intuitiva y la personalización puede marcar la diferencia entre una aplicación que se utiliza de manera habitual y otra que se abandona rápidamente (Fred Churchville, 2021, pág. 1).

Comunicación Inalámbrica

Según Electro de la industria (2009), en la actualidad, las fábricas cuentan con procesos altamente automatizados en los que máquinas, dispositivos y herramientas llevan a cabo operaciones y manejan tareas repetitivas, optimizando así la eficiencia y la productividad. Esta automatización se basa en cuatro elementos clave: sensores, actuadores, controladores y sistemas de intercomunicación. Cada uno de estos componentes cuenta con puertos de entrada y salida que deben interconectarse mediante cables, fibra óptica u otros medios de comunicación, ya que las señales transmitidas abarcan rangos que van desde 4-20 mA, trenes de bits o señales de tensión analógica.

El cableado juega un papel crucial en la infraestructura de estos sistemas automatizados, ya que los kilómetros de cable necesarios para la instalación, el montaje, la puesta en marcha y el mantenimiento representan un costo significativo. Este gasto no solo incluye la compra de los

materiales, sino también el tiempo y el esfuerzo humano requeridos para realizar la instalación. Una vez establecido, el cableado es relativamente inflexible: cualquier cambio o modificación en la configuración del sistema puede implicar gastos adicionales en términos de ingeniería, equipos y mano de obra (Electro de Industria, 2009).

Internet de las Cosas (IoT)

El Internet de las Cosas (IoT) “es un proceso revolucionario que conecta objetos físicos cotidianos a Internet, permitiendo que estos dispositivos interactúen y compartan información de manera eficiente” (Red Hat, 2023). Esta conexión abarca una amplia gama de aplicaciones, desde artículos domésticos comunes, como bombillas inteligentes y termostatos, hasta recursos utilizados en el ámbito de la salud, como dispositivos médicos que monitorean signos vitales. También incluye prendas y accesorios personales inteligentes, como relojes y pulseras de actividad, así como sistemas complejos en ciudades inteligentes que optimizan la gestión de recursos y servicios urbanos.

Dentro del IoT, los dispositivos integrados en estos objetos físicos generalmente se clasifican en dos categorías principales: interruptores y sensores. Los interruptores son dispositivos que envían instrucciones a otros objetos para que realicen acciones específicas, como encender o apagar una luz o ajustar la temperatura de un termostato. Por otro lado, los sensores son responsables de recopilar datos del entorno, como temperatura, humedad movimiento, y enviarlos a otros sistemas para su análisis y procesamiento (Red Hat, 2023).

Protocolos de Comunicación

Según Lozano (2023), en los procesos industriales, no basta con contar con equipos automatizados y maquinaria avanzada; la implementación de protocolos de comunicación es

igualmente esencial para garantizar operaciones óptimas. Estos protocolos son conjuntos de normas que permiten a los dispositivos dentro de un mismo sistema establecer una comunicación efectiva, facilitando el intercambio de datos e información entre el equipo y los usuarios. Sin ellos, la interoperabilidad sería prácticamente imposible, lo que afectaría la eficiencia y la productividad.

En el mercado existen diversos protocolos, como Modbus, Profibus, Ethernet/IP, CAN, BACnet y OPC UA, cada uno diseñado para satisfacer diferentes necesidades y contextos operativos. La elección del protocolo adecuado depende de factores como el tipo de aplicación, la velocidad de transmisión requerida y la necesidad de integración con otros sistemas. En resumen, los protocolos de comunicación son fundamentales para maximizar la eficiencia operativa y garantizar un flujo de información fluido, siendo la columna vertebral de la automatización industrial (Lozano, 2023).

Seguridad en Sistemas de Control

La seguridad en los sistemas de control industrial (SCI) es fundamental para proteger los procesos industriales y asegurar la continuidad de las operaciones. Estos sistemas, empleados en sectores como la energía, manufactura e infraestructura crítica, enfrentan una creciente vulnerabilidad a los ciberataques. A continuación, se presentan algunos consejos clave para fortalecer la seguridad en los SCI y mitigar riesgos potenciales.

En primer lugar, la segmentación de redes es crucial para aislar los SCI de las redes corporativas y de Internet. Esta práctica ayuda a minimizar el riesgo de ataques externos y limita la propagación de amenazas dentro del sistema. La segmentación, ya sea física o lógica, asegura que solo el personal autorizado pueda acceder a los sistemas de control industrial.

Asimismo, es vital mantener los sistemas de control industrial actualizados con los últimos parches y actualizaciones de seguridad. Los fabricantes suelen ofrecer actualizaciones que abordan vulnerabilidades conocidas. Mantenerse al tanto de estas actualizaciones refuerza la capacidad de resistencia del SCI ante ataques y protege la integridad del sistema.

La implementación de autenticación robusta también es un aspecto esencial. Esto incluye el uso de contraseñas fuertes, autenticación de dos factores y certificados digitales para verificar la identidad de los usuarios autorizados. Estas medidas contribuyen a prevenir accesos no autorizados y aseguran que solo el personal de confianza tenga control sobre los SCI. (UNAD, 2023)

Presión Hidrostática

La presión hidrostática “es la fuerza que ejerce un líquido en reposo sobre los objetos sumergidos en él o sobre las paredes del recipiente que lo contiene. Esta presión aumenta proporcionalmente con la profundidad”, lo que significa que cuanto más profundo se encuentra un objeto, mayor será la presión que experimenta debido al peso del líquido que tiene encima. La gravedad en los fluidos, especialmente en los líquidos, que crea una fuerza que empuja el fluido hacia abajo. A medida que el fluido se mueve hacia abajo, aumenta su presión. La presión hidrostática también se ve influenciada por otros factores, como la densidad del fluido y la altura del fluido por encima del objeto sumergido (TodoAgua, 2023).

Transductores de Presión

Un transductor de presión es un dispositivo que transforma la presión en una señal eléctrica de salida, la cual puede ser analógica o digital. Esta señal es utilizada por otros sistemas, como controladores, alarmas o dispositivos en circuitos cerrados. Los transductores de

presión tienen una amplia gama de aplicaciones en entornos residenciales e industriales, incluyendo sistemas HVAC, bombas, vehículos, aeronaves y otras aplicaciones donde es necesario medir la presión. También se les conoce como sensores o transmisores de presión.

Un transductor de presión está compuesto por un elemento sensible, como un diafragma con un área fija, que se deforma cuando la presión del fluido actúa sobre él. Además, incluye un elemento de transducción que convierte esa deformación del diafragma en una señal eléctrica proporcional al cambio de presión. Esta señal puede aumentar o disminuir dependiendo de las variaciones en la presión (Kolstad, 2020).

Marco Legal

Normas de Seguridad Industrial y Maquinaria

Ley 9 de 1979 (Código Sanitario Nacional). Regula las condiciones de seguridad, salud y bienestar en el trabajo, especialmente en el uso de equipos y máquinas industriales. Esta ley establece los lineamientos generales para la seguridad en ambientes industriales, protegiendo a los trabajadores y asegurando la correcta operación de equipos como las bombas hidráulicas o sistemas automatizados (Función Pública, 2010).

Resolución 2400 de 1979 (Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo). Regula las condiciones de seguridad en el trabajo en Colombia, estableciendo las condiciones mínimas de trabajo en el ámbito industrial. Al implementar un sistema automatizado o controlado por HMI, esta resolución se aplica al garantizar que los equipos de control, como la Test Pump y el sistema HMI, no representen riesgos para los operadores y demás trabajadores (Secretaría Jurídica Distrital, 2012).

Norma Técnica Colombiana NTC 1500 (Seguridad en Maquinaria). Los requisitos de seguridad para maquinaria industrial, como bombas, válvulas y sistemas de control. Los sistemas de mando y control para Test Pump deben ser diseñados y operados de acuerdo con los requisitos de seguridad establecidos por esta norma para evitar accidentes industriales y garantizar un funcionamiento seguro (ICONTEC, 2023).

Ley 1480 de 2011 (Estatuto del Consumidor). Los derechos de los consumidores en Colombia, incluyendo los productos industriales. Busca garantizar la seguridad de los productos y servicios que se ofrecen al público. Si el sistema de control de la Test Pump es utilizado para fines comerciales o industriales, debe cumplir con esta ley, asegurando que el producto sea seguro, eficaz y de acuerdo con las expectativas de los usuarios (Congreso, 2011).

Ley 1712 de 2014 (Ley de Transparencia y Derecho de Acceso a la Información Pública). Regula el acceso a la información pública y la transparencia en los procedimientos gubernamentales. Si el sistema de control y monitoreo de la Test Pump almacena o gestiona información relevante que pueda considerarse de interés público, debe cumplir con las disposiciones de transparencia y acceso a la información pública (Funcion pública , 2014).

Ley 1581 de 2012 (Protección de Datos Personales). Establece el régimen de protección de datos personales en Colombia y las condiciones bajo las cuales se pueden recopilar, procesar y almacenar datos personales. Si el sistema de control y monitoreo recopila información personal (por ejemplo, datos de operadores o usuarios de la HMI), debe cumplir con las normativas de protección de datos personales, garantizando el manejo adecuado de la información (Funcion Pública, 2012).

Decreto 1377 de 2013 (Reglamento de la Ley 1581 de 2012). Regula los aspectos adicionales relacionados con la recolección y tratamiento de datos personales en Colombia. Asegura que cualquier sistema de monitoreo que maneje datos personales de empleados, operadores o cualquier persona, cumpla con los derechos de privacidad y seguridad de la información (Funcion pública, 2013).

Ley 1273 de 2009 (Delitos Informáticos). Regula los delitos informáticos y establece penas para quienes atenten contra sistemas de información. Si el sistema de mando a distancia y monitoreo está conectado a redes o sistemas externos, debe tener en cuenta la protección ante ciberataques o accesos no autorizados (Funcion Publica , 2009).

Ley 1621 de 2013 (Ciberseguridad y Protección de la Información). Regula el uso de tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) y establece medidas de protección frente a posibles amenazas cibernéticas. El sistema de monitoreo de la Test Pump debe incorporar medidas de seguridad informática para proteger los datos y la infraestructura de posibles ataques cibernéticos (Funcion Pública, 2013).

Metodología

Tipo de Investigación

El proyecto utiliza una investigación aplicada con un enfoque descriptivo y experimental. La investigación aplicada busca resolver un problema práctico, en este caso, el diseño e implementación de un sistema de monitoreo y control remoto para una Test Pump. El enfoque descriptivo permite analizar las características, variables y relaciones del sistema, mientras que el enfoque experimental se emplea para validar su funcionamiento en condiciones controladas. Esto asegura que el diseño del sistema sea técnicamente viable, seguro y eficiente. El desarrollo de este proyecto está enfocado en dar solución a la exposición al peligro del operador de la Test Pump al momento de realizar las pruebas hidrostáticas en los taladros de perforación de pozos petroleros, estas actividades son muy frecuentes durante la perforación de pozo, debido a su alto grado de peligrosidad por las altas presiones que se somete los equipos probados (500 psi – 1500 psi – 2500 psi – 5000 psi) se pretende instalar un sistema de control y monitoreo a distancia de la Test Pump.

Recolección de Muestras

La recolección de muestras se realiza mediante un enfoque inductivo, partiendo de observaciones específicas para establecer conclusiones generales. Las muestras incluyen datos técnicos obtenidos de manuales y especificaciones de la Test Pump, resultados de pruebas en laboratorio bajo condiciones controladas, y análisis de usabilidad de la HMI con operadores capacitados. Este enfoque permite recopilar información clave sobre el comportamiento del sistema, su precisión y la aceptación de la interfaz gráfica por parte de los usuarios.

Fases de la Investigación

Para cumplir con cada uno de nuestros objetivos a continuación explicamos la metodología a utilizar.

Fase 1. Determinar los parámetros, puntos del proceso y variables de control del sistema Test Pump que son factibles de ser monitoreados y controlados de forma remota.

Actividad 1. Analizar las características y manuales técnicos de la Test Pump para identificar las variables críticas del proceso (como presión, flujo y temperatura).

Actividad 2. Realizar una inspección física del equipo para determinar puntos accesibles para la instalación de sensores.

Fase 2. Diseñar en un software de simulación de circuitos (o en una mesa de pruebas) el sistema de monitoreo y control a distancia de una Test Pump.

Actividad 1. Seleccionar un software de simulación adecuado para el diseño del circuito.

Actividad 2. Diseñar el circuito eléctrico y el sistema de control que incluye sensores, actuadores y el controlador.

Fase 3. Desarrollar un sistema HMI empleando la norma ISA 101 desde la cual se realice el monitoreo y control del sistema desarrollado.

Actividad 1. Diseñar la interfaz gráfica de usuario aplicando los principios de la norma ISA 101.

Actividad 2. Programar la HMI utilizando un software especializado.

Actividad 3. Integrar la HMI con el sistema de control para garantizar la comunicación tiempo real.

Fase 4. Implementar la solución diseñada en una Test Pump industrial y realizar las pruebas de funcionalidad en condiciones controladas de laboratorio.

Actividad 1. Realizar pruebas de usabilidad con operadores para identificar mejoras en diseño y funcionalidad.

Desarrollo del Proyecto

Identificación de Parámetros y Variables de Control

En esta etapa inicial, se desarrolló un análisis detallado y sistemático para identificar los parámetros y variables clave del proceso en la Test Pump susceptibles de monitoreo y control remoto. Este análisis incluyó el estudio exhaustivo de manuales técnicos, la inspección física del equipo y la consulta con expertos en el área.

En primera instancia, se revisaron las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante, lo que permitió identificar las principales variables operativas, como presión, flujo y temperatura, fundamentales para garantizar un monitoreo efectivo. Este análisis fue complementado con una inspección física del equipo en condiciones controladas para determinar los puntos estratégicos donde instalar los sensores y actuadores que formarían parte del sistema automatizado.

Reuniones con operadores y técnicos especializados proporcionaron información práctica sobre las condiciones reales de operación, reforzando la validación de las variables seleccionadas. Esta retroalimentación aseguró que las decisiones tomadas fueran no solo técnicamente correctas, sino también alineadas con las exigencias del entorno industrial. Finalmente, se elaboró una documentación exhaustiva que detalla los parámetros seleccionados, los puntos del proceso identificados y los criterios para su implementación. Este informe técnico constituye una guía fundamental para las fases de diseño, simulación e implementación del sistema.

Análisis de las Características y Manuales Técnicos de la Test Pump para Identificar las Variables Críticas del Proceso

El primer paso consistió en analizar las características técnicas y los manuales del fabricante de la Test Pump. Este análisis permitió identificar y definir las variables críticas del proceso, como presión, flujo y temperatura, que necesitan ser monitoreadas y controladas remotamente. Además, se determinaron los valores nominales, límites operativos y posibles restricciones asociadas con estas variables, asegurando que las especificaciones técnicas de los componentes seleccionados fueran compatibles con los requerimientos del sistema.

Para garantizar el funcionamiento óptimo y la longevidad de los equipos involucrados en el sistema, se diseñó un plan de mantenimiento preventivo que debe realizarse mensualmente. Este plan incluye acciones específicas para cada componente, como calibraciones, inspecciones visuales y limpieza. La figura cuadro de los equipos para mantenimiento preventivo, se presenta un formato que detalla los equipos involucrados y los pasos a seguir durante el mantenimiento.

Figura 1

Cuadro de Equipos para Mantenimiento Preventivo

Título del Sistema		Gestión de Ingeniería y Mantenimiento						
Nombre del formato		Listado de órdenes de mantenimiento						
Número del formato		07-01-401 F001						
Fecha de Emisión		2-may-16	No. De Revisión	4				
		Preparado Por		Mantenimiento				
				Página				
				1 de 1				
RIG / Unidad								
SISTEMA DE CONTROL DE TEST PUMP	CONTROL ORDENES MENSUALES		RELACION DE ESTADOS ORDENES DE MANTENIMIENTO					
	ORDENES GENERADAS	5	ESTADO	DESCRIPCION				
	ORDENES ABIERTAS	0	GE	GENERADA NO TRATADA SIN JUSTIFICACIÓN				
	ORDENES CERRADAS	5	DE	NO EJECUTADA POR NO TENER DISPONIBLE EQUIPO				
	PORCENTAJE DE REALIZACIÓN	100%	EP	EJECUTADA PARCIALMENTE				
		EJ	EN EJECUCIÓN					
		SE	SERVICIO EXTERNO					
		EM	ESPERANDO MATERIAL					
		RP	REPROGRAMADA					
WO	DESCRIPCION	EQUI	PRIORID	OBSERVACIONES	ESTAD	CARGO	RESPONSABLE	UBICACION
100000011510	CONTROLADOR (PLC LOGO 8.3 SIEMENS)	23215894	4-NORMAL	VERIFIQUE QUE EL EQUIPO ESTE ENCENDIDO, VERIFIQUE QUE LOS CONTACTOS NO TENGAN HUMEDAD Y/O SULFATACION EN LOS CONTACTOS	EJECUTADA		FABIAN DIAZ ROCHA	SERINCO RIG-739
100000011511	ELECTROVALVULA 3/2 DE 24 VDC	23215895	NORMAL	VERIFIQUE EL VOLTAJE DE ALIMENTACION,Quite las conexiones de las tuberías y limpie la suciedad, VERIFIQUE QUE EL AIRE DE ALIMENTACION NO TENGA HUMEDAD EXCESIVA	EJECUTADA		FABIAN DIAZ ROCHA	SERINCO RIG-739
100000011512	PANTALLA HMI SIEMENS KTP400	23215896	NORMAL	VERIFIQUE QUE EL TACTIL FUNCIONE CORRECTAMENTE, VERIFIQUE QUE EL CABLE ETHERNET ESTE EN BUEN ESTADO	EJECUTADA		FABIAN DIAZ ROCHA	SERINCO RIG-739
100000011513	RELEVADORES DE 24 VDC	23215897	NORMAL	VERIFIQUE QUE TENGA VOLTAJE DE ALIMENTACION, VERIFIQUE QUE LOS TERMINALES Y CONTACTOS ESTEN EN BUENAS CONDICIONES	EJECUTADA		FABIAN DIAZ ROCHA	SERINCO RIG-739
100000011514	FUENTE DE 24 VDC	23215898	NORMAL	VERIFIQUE QUE TENGA VOLTAJE DE ALIMENTACION, VERIFIQUE QUE LOS TERMINALES Y CONTACTOS ESTEN EN BUENAS CONDICIONES, VERIFIQUE QUE VOLTAJE DE SALIDA SEA 24 VDC.	EJECUTADA		FABIAN DIAZ ROCHA	SERINCO RIG-739

Nota. El formato mostrado detalla las acciones específicas necesarias para garantizar el buen funcionamiento y condiciones operativas óptimas de los componentes clave del sistema automatizado.

Tabla 3*Especificaciones Técnicas*


Etapa	Equipo	Especificaciones técnicas
Alimentación	Fuente conmutada de 24 VDC, 10 A	Entrada 115 VAC Consumo de corriente 2.4 A Fusible de entrada (si), Frecuencia 47-63 Hz Protección de sobrecarga (si) Potencia de salida 250W Temperatura de -40°C...85°C
Visualización	HMI KTP 700	Dimensiones: 5,5" x 4,5" mm, tamaño de pantalla 4" TFT, alimentación 24 VDC, consumo 125mA
Control	PLC S7-1200	Alimentación 12/24 VDC, 400 bloques de memoria, 8 entradas digitales, 4 salidas digitales a relé, display integrado, web server e interfaz ethernet integrado.
Instrumentación	Transductor de presión	Rango: 400 bar, alimentación pin 1(+), pin 2(-), señal de salida 4-20 mA, temperatura 85°C.
Protocolo de comunicación.	Ethernet	Para redundancia de medios, aplicaciones industriales, utiliza protocolo TCO/IP, acceder y controlar dispositivos de automatización.

Nota. En esta etapa, se definieron los equipos necesarios para implementar el sistema, como se muestra en la tabla 3, que describe las especificaciones técnicas de los elementos seleccionados.

Para ilustrar las características de uno de los componentes más importantes del sistema, la figura 3 muestra las especificaciones técnicas del PLC Siemens S7-1200, una alternativa robusta para control y comunicación en sistemas industriales.

Figura 2

Datos Técnicos de PLC S7-1200

SIEMENS		6ES7212-1AE40-0XB0	
Hoja de datos		SIMATIC S7-1200, CPU 1212C, CPU integrada, DC/DC/DC, IO integrada, 8 DI DC 24V, 8 DO 24V/DC, 2 AI 0-10V/DC, alimentación DC 20,4-28,8V DC, Memoria de programas/datos 75 KB	
			
Información general			
Designación del tipo de producto	CPU 1212C DC/DC/DC		
Versión de firmware	V4.4		
Impugnación del:			
• Paquete de programación	STEP 7 V16 o superior		
Tensión de alimentación			
Valor nominal (DC)	Sí		
• 24 V DC	20,4 V		
Rango admisible, límite inferior (DC)	20,4 V		
Rango admisible, límite superior (DC)	28,8 V		
Protección contra inversión de polaridad	Sí		
Tensión de carga L+			
• Valor nominal (DC)	24 V		
• Rango admisible, límite inferior (DC)	20,4 V		
• Rango admisible, límite superior (DC)	28,8 V		
Intensidad de entrada			
Consumo (valor nominal)	400 mA, S700 CPU		
Consumo, máx.	1.200 mA CPU con todos los módulos de ampliación		
Entradas digitales			
Nº de entradas digitales	8; integrado		
• De ellas, entradas usable para funciones tecnológicas	6; HSC (High Speed Counting)		
Fuente/sumidero (M/P)	SI		
Número de entradas atacables simultáneamente			
Todas las posiciones de montaje	8		
— hasta 40 °C, máx.			
Tensión de entrada			
• Valor nominal (DC)	24 V		
• para señal "0"	5 V DC, con 1 mA		
• para señal "1"	15 V DC at 2,5 mA		
Retardo a la entrada (a tensión nominal de entrada)			
para entradas estándar			
— parametrizable	0,2 ms, 0,4 ms, 0,8 ms, 1,6 ms, 3,2 ms, 6,4 ms y 12,8 ms, elegible en grupos de 4		
— en transición "0" a "1", máx.	0,2 ms		
— en transición "0" a "1", máx.	12,8 ms		
para entradas de alarmas			
— parametrizable	SI		
para funciones tecnológicas			
— parametrizable	Monofásica: 3 @ 100 kHz y 3 @ 30 kHz, Diferencial: 3 @ 80 kHz y 3 @ 30 kHz		
Longitud del cable			
• apantallado, máx.	500 m; 50 m para funciones tecnológicas		
• no apantallado, máx.	300 m; para funciones tecnológicas: No		
Salidas digitales			
Número de salidas	6		
• de ellas, salidas rápidas	4; Salida de tren de impulsos 100 kHz		
Limitación de la sobretensión inductiva de corte a	L+ (-48 V)		
Poder de corte de las salidas			
• con carga resistiva, máx.	0,5 A		
• con carga tipo lámpara, máx.	5 W		
Tensión de salida			
• para señal "0", máx.	0,1 V; con carga de 10 kOhm		
• para señal "1", mín.	20 V		
Intensidad de salida			
• para señal "1" valor nominal	0,5 A		
• para señal "0" intensidad residual, máx.	0,1 mA		
Retardo a la salida con carga resistiva			
• "0" a "1", máx.	1 µs		
• "1" a "0", máx.	5 µs		
Frecuencia de conmutación			
• de las salidas de impulsos, con carga óhmica, máx.	100 kHz		
Salidas de relé			
• Nº de salidas relé	0		
Longitud del cable			
• apantallado, máx.	500 m		
• no apantallado, máx.	150 m		
Entradas analógicas			
Nº de entradas analógicas	2		
Rangos de entrada			
• Tensión	SI		
Rangos de entrada (valores nominales), tensiones			
• 0 a +10 V	SI		
— Resistencia de entrada (0 a 10 V)	≥100 kohmios		
Longitud del cable			
• apantallado, máx.	100 m; trenzado y apantallado		

Nota. En la figura 2 se muestra las especificaciones técnicas de un PLC Siemens S7-1200 (Siemens, 2020).

Inspección Física del Equipo para Determinar Puntos Accesibles para la Instalación de Sensores

Posteriormente, se realizó una inspección física exhaustiva del equipo en un entorno controlado para identificar los puntos más adecuados para la instalación de sensores y actuadores. Durante esta etapa, se evaluaron las condiciones estructurales de la Test Pump, considerando factores como accesibilidad, interferencias mecánicas y compatibilidad eléctrica. Esta inspección permitió seleccionar las ubicaciones óptimas para los transductores de presión y otros dispositivos, asegurando su precisión y fiabilidad en la medición de variables críticas. Como referencia, se consideró el riesgo asociado a la operación del equipo, tal como se muestra en la figura 3, donde un trabajador debe supervisar manualmente la presión en una prueba hidrostática, exponiéndose a riesgos considerables.

Figura 3

Prueba de Presión Hidrostática en Pozo Petrolero.



Nota. En la imagen, se ilustra un operador supervisando manualmente una prueba de presión hidrostática en un pozo petrolero. La implementación de monitoreo remoto reducirá significativamente el riesgo para los operadores (Probadores Petroleros S.A, 2020).

Diseño del Sistema de Monitoreo y Control en Simulación

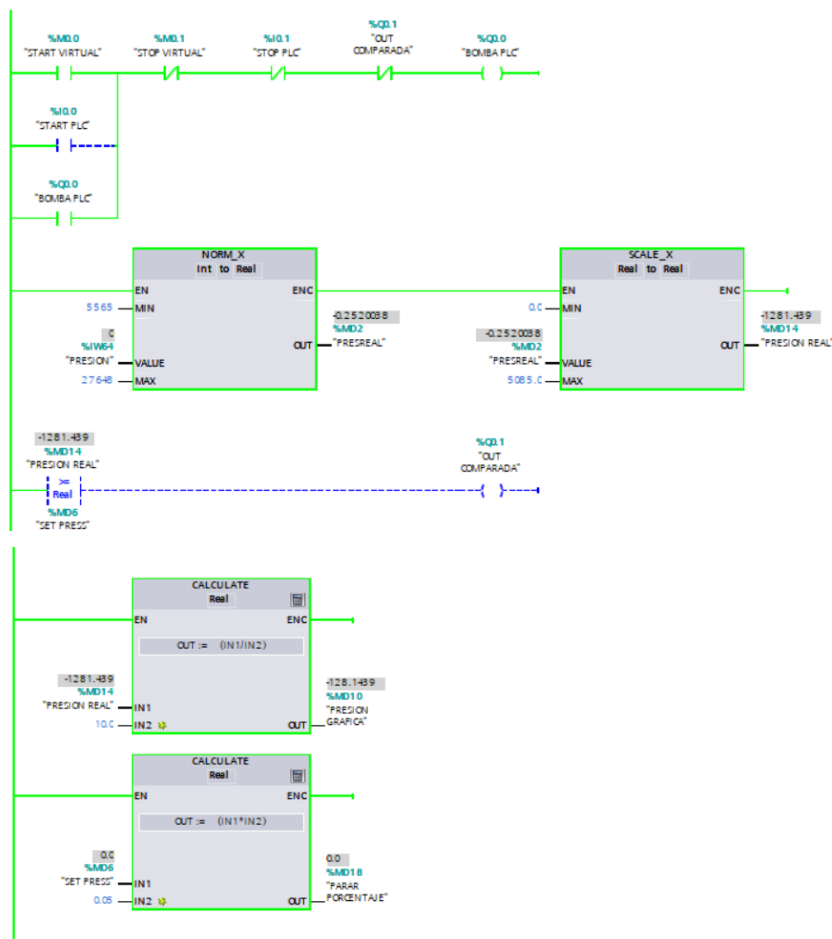
El diseño del sistema incluye sensores, actuadores, un controlador lógico programable y una interfaz HMI para la visualización y control remoto de los parámetros operativos de la Test Pump.

Seleccionar un Software de Simulación Adecuado para el Diseño del Circuito

Para la selección del software se optó por emplear el mismo sistema que el proveer de Siemens recomienda para sus PLC, denominado Tía portal, en la Figura 4, se puede observar el programa que realice para el PLC S7-1200 y su funcionamiento de acuerdo con lógica de operación de la Test Pump y la prueba hidrostática como tal.

Figura 4

Circuito Eléctrico de PLC S7-1200



Nota. En la figura 4 se observa el circuito eléctrico que se construyó para el funcionamiento del sistema a implementar.

Diseño del Circuito Eléctrico y el Sistema de Control que Incluye Sensores, Actuadores y el Controlador

El sistema está estructurado en los siguientes componentes principales:

Pantalla HMI Siemens KTP700. Para la visualización y control remoto del sistema.

PLC Siemens S7-1200 CPU 1212C DCDCDC. Controlador principal encargado de recibir señales de los sensores, procesarlas y controlar los actuadores.

Transductor de Presión. Monitorea en tiempo real la presión ejercida por la Test Pump y envía señales analógicas (4-20 mA) al PLC.

Electroválvula 3/2 con bobina de 24 VDC. Activa o desactiva el flujo neumático de la bomba.

Fuente Conmutada de 24 VDC. Proporciona energía estable a todos los componentes.

Elementos de protección eléctrica. Incluyen breakers y resistencias para garantizar la seguridad del sistema.

Funcionamiento del Sistema

Activación de la Test Pump

Se puede realizar de la siguiente manera:

A través del botón Start en la pantalla HMI.

La señal de activación permite al PLC habilitar la salida Q0.0, que controla la electroválvula, iniciando el flujo neumático hacia la bomba.

Desactivación de la Test Pump

Se detiene de manera similar, ya sea con el botón Stop en la HMI. La señal de desactivación se desenergiza la salida Q0.0.

Monitoreo de la presión

El transductor de presión envía señales continuas al PLC, que convierte estas señales analógicas en un valor legible para la HMI.

En la pantalla, se visualizan dos parámetros:

- Presión actual.
- Presión límite configurada.

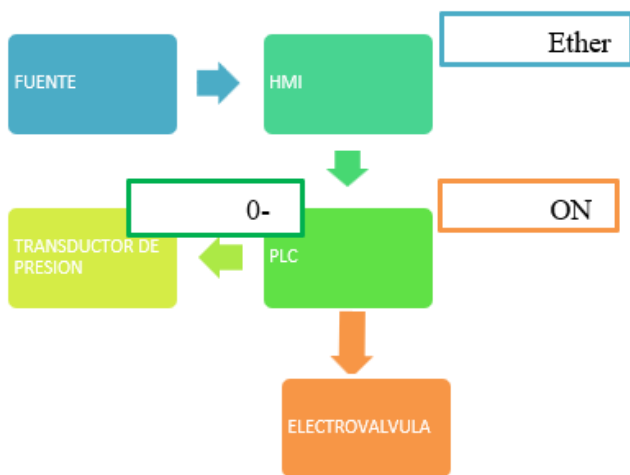
Cuando la presión alcanza el límite configurado, el PLC activa un indicador visual en la HMI y puede detener automáticamente la bomba para evitar sobrepresiones.

Algoritmo del Sistema

A continuación, podemos observar los componentes que hacen parte del proyecto diseño e implementación de un sistema de mando a distancia de un Test Pump, mediante un sistema de monitoreo y control desde una HMI.

Figura 1

Algoritmo de Sistema



Nota. Diagrama de algoritmo del sistema

Inicio.

Verificar comunicación entre HMI y PLC (configuración de direcciones IP).

Esperar acción del usuario (Start en HMI o switch físico).

Activar electroválvula y registrar la presión en tiempo real.

Comparar la presión actual con el valor límite configurado:

Si la presión alcanza el límite, detener la bomba y activar alarma visual.

Si no, continuar operación.

Desactivación o por alarma de límite alcanzado.

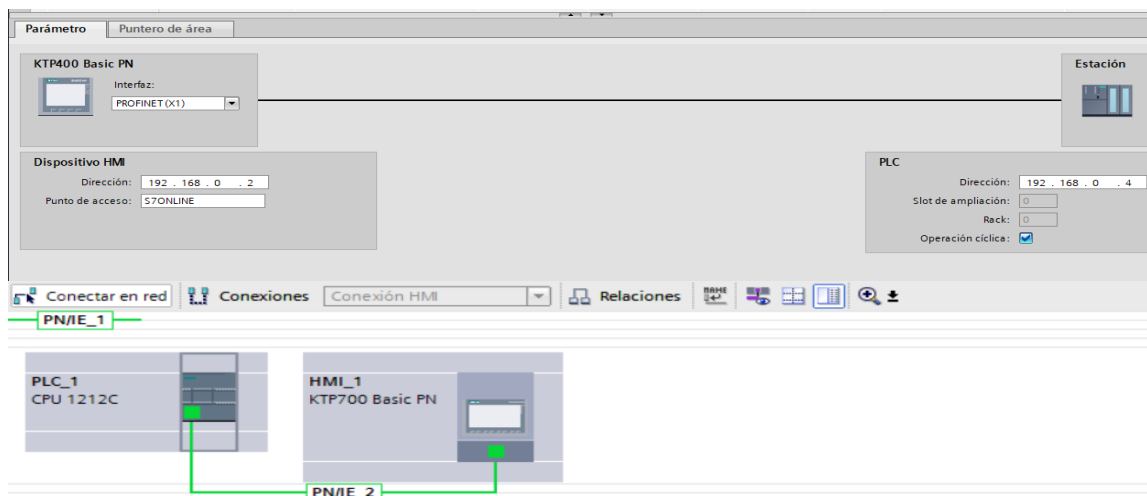
Finalizar.

La comunicación entre el PLC S7-1200 y la HMI se configuró mediante Ethernet, asignando direcciones IP únicas para cada dispositivo. Esta configuración permite también la conexión del PC al PLC para monitoreo en tiempo real a través del entorno TIA Portal.

En la figura 6, se presenta la configuración, asignación de la dirección IP del PLC S7-1200 y de la pantalla HMI y conexión entre estos.

Figura 6

Asignación de Dirección IP para Comunicar la Pantalla HMI y el PLC.



Nota. La figura 6 muestra la configuración de la dirección IP asignada a la pantalla HMI y al PLC para establecer comunicación entre estos por medio de ethernet o conectar el PC al PLC para visualizar y controlar.

La pantalla HMI KTP700 muestra una interfaz intuitiva con las siguientes funciones:

Botón *Start* y *Stop* para controlar manualmente la bomba.

Indicadores visuales:

Bomba encendida.

Presión en límite alcanzado.

Campos configurables:

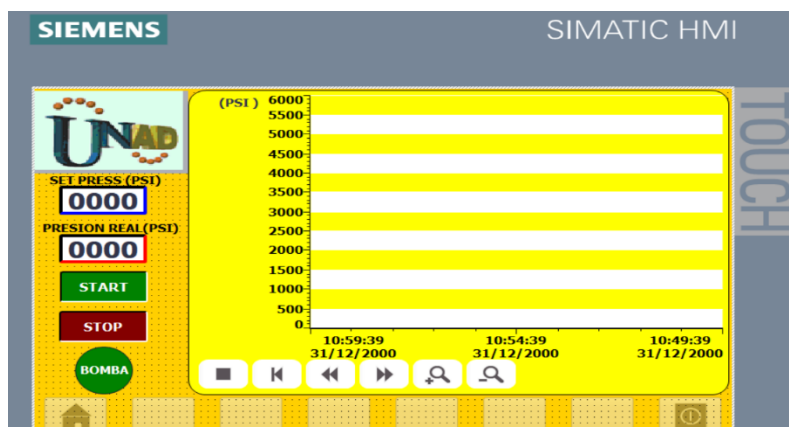
Ingreso del valor de presión límite.

Visualización de la presión actual.

La figura 7, consiste en la interfaz que activara la bomba de la Test Pump desde un pulsador en la pantalla HMI, pulsador de parar sistema y un indicador que muestra cuando la bomba está encendida, un indicador que se enciende cuando la presión llega al valor ingresado, hay dos cuadros uno que permite ingresar el valor que deseamos hacer la prueba hidrostática y un indicador que muestra el valor de la presión actual o presión limite.

Figura 7

Interfaz Gráfica en HMI KTP 700



Nota. Este diseño asegura una operación segura y eficiente, minimizando riesgos operativos y mejorando el control de la Test Pump en aplicaciones industriales como la perforación de pozos petroleros.

Desarrollo de la Interfaz HMI

En esta fase, se desarrolló una interfaz gráfica para el monitoreo y control del sistema, aplicando los principios de la norma ISA-101. La interfaz fue diseñada para cumplir con estándares de consistencia visual, simplicidad y accesibilidad. Se utilizaron colores y gráficos estándar para resaltar información crítica, mientras que la presentación se mantuvo limpia y fácil

de interpretar, evitando la sobrecarga visual. Además, se consideraron diferentes niveles de experiencia de los operadores, asegurando que los controles fueran intuitivos y funcionales.

La interfaz principal muestra en tiempo real las variables críticas del sistema, como presión actual, presión límite configurada y estado de la bomba (encendida o apagada). También se incorporaron controles interactivos para iniciar y detener la bomba neumática. Se desarrollaron pantallas adicionales que incluyen parámetros configurables para pruebas hidrostáticas, así como alarmas y eventos que alertan sobre situaciones de error o sobrepresión.

Para programar la HMI, se utilizó el software TIA Portal V16, permitiendo integrar gráficos, variables y funciones del sistema. Entre los elementos programados se incluyeron botones de control (*Start* y *Stop*), indicadores visuales para el estado del sistema, alarmas, campos de ingreso de parámetros y gráficos en tiempo real para visualizar la curva de presión.

En la integración del sistema, se configuró la comunicación entre la HMI KTP700 y el PLC S7-1200 a través de Ethernet industrial. Las direcciones IP fueron asignadas de manera adecuada para garantizar una comunicación fluida. Además, se crearon tags de comunicación para vincular las variables del PLC con los elementos gráficos de la HMI, lo que permitió verificar la transmisión de datos y validar las funciones de control remoto desde la HMI.

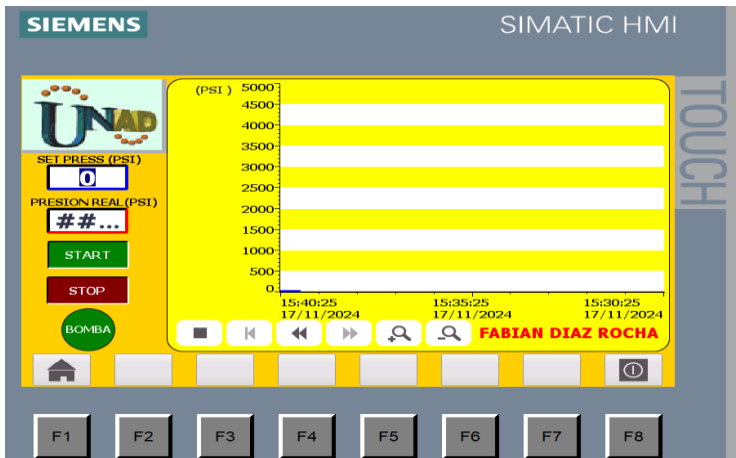
Diseño de Interfaz Gráfica de Usuario Aplicando los Principios de la Norma ISA 101

Se realizó una interfaz gráfica sencilla de tal manera que el operador pueda entender el manejo de esta, en la Figura 8 opción SET PRESS(PSI) el usuario puede ingresar el valor de la prueba hidrostática, la interfaz gráfica cuenta con dos push button uno para arrancar la Test

Pump y el otro push button para finalizar, se hizo una gráfica donde se visualiza la variable presión vs tiempo.

Figura 8

Interfaz HMI en SIMATIC para Monitoreo y Control de Presión



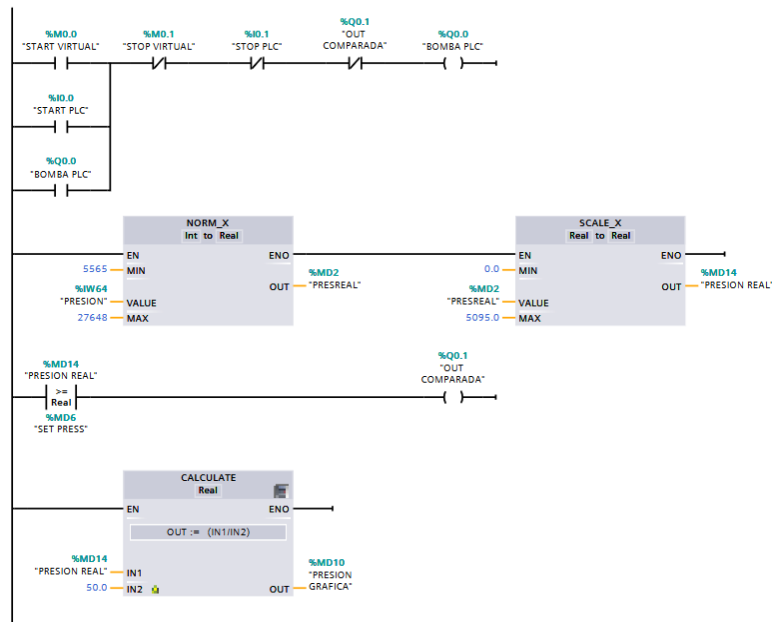
Nota: La figura 8 muestra el diseño de la interfaz gráfica en la HMI Siemens SIMATIC. En esta interfaz, el operador puede configurar la presión deseada (*Set Press*), monitorear la presión real aplicada en tiempo real (*Presión Real*), y controlar el sistema mediante los botones de inicio (*Start*), detención (*Stop*), y activación de la bomba (*Bomba*). Adicionalmente, incluye un gráfico en tiempo real que representa el comportamiento de la presión en función del tiempo, proporcionando información visual del proceso. Este diseño asegura un control eficiente y seguro de la *Test Pump*.

Programar la HMI Utilizando un Software Especializado

La figura 9 evidencia el programa de PLC S7-1200 podemos observar la construcción de las entradas digitales, entrada análoga, salida digital, y la lógica de funcionamiento a través de los bloques de funciones.

Figura 9

/Programa de PLC S7-1200



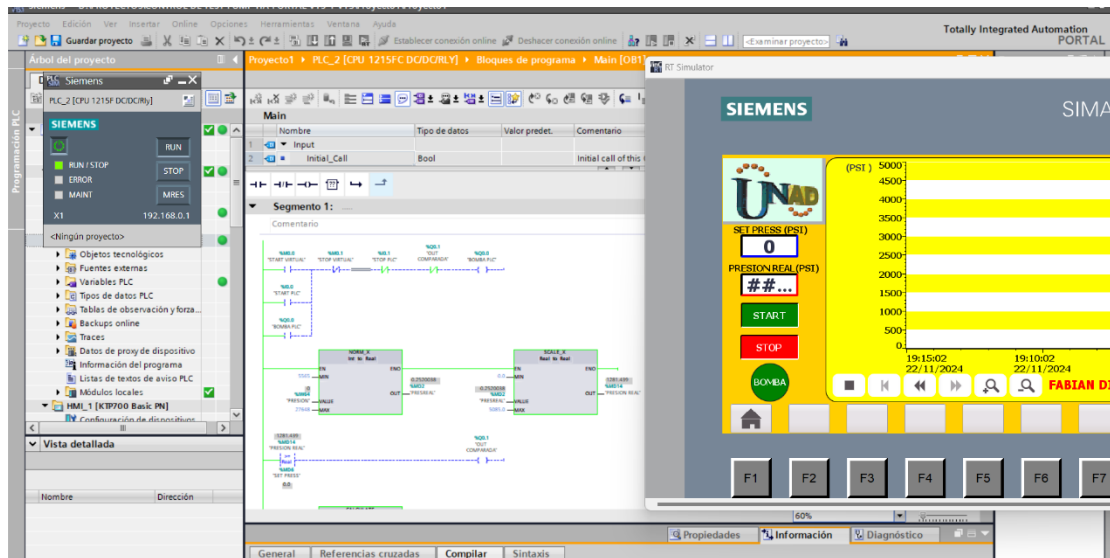
Nota. En la figura 9 se observa el circuito eléctrico que se construyó para el funcionamiento del sistema a implementar.

Integrar la HMI con el Sistema de Control para Garantizar la Comunicación en Tiempo Real

Después de la configuración y programación de la pantalla HMI KTP700, se enlazo en la red para la comunicación con el PLC donde recibe los datos en intervalos de 1 segundo de la variable presión y se evidencia el estado de la Test Pump. La figura 10 muestra la comunicación entre el dispositivo de monitoreo (HMI KTP700) y dispositivo de control (PLC S7-1200).

Figura 10

Integración del PLC S7-1200 con la Interfaz HMI en TIA Portal

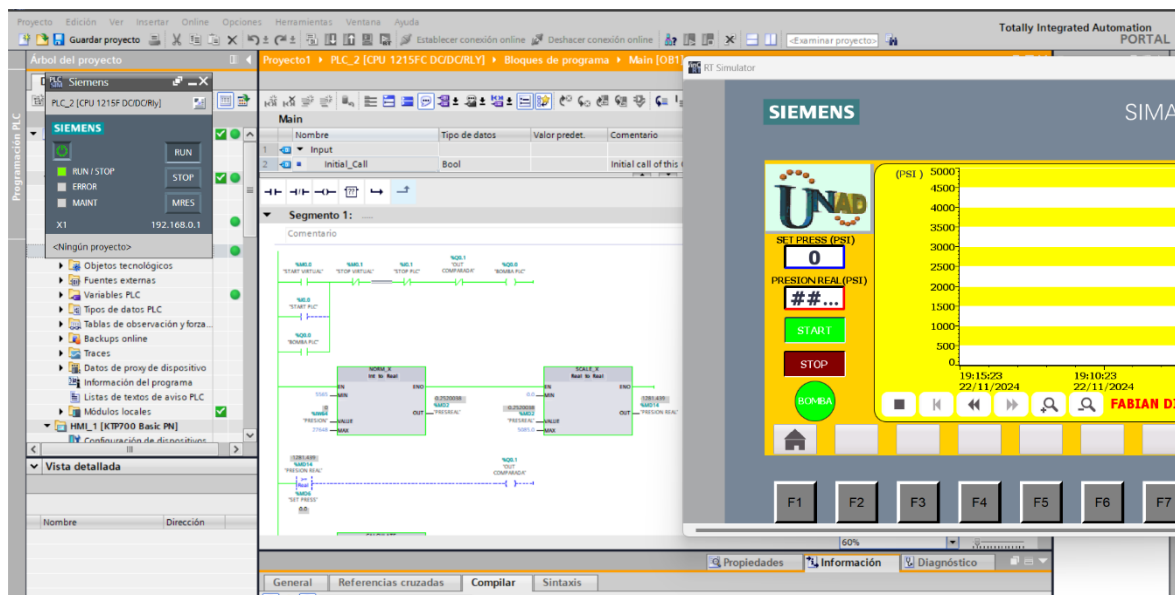


Nota: En esta figura se muestra la programación realizada en TIA Portal para el PLC Siemens S7-1200, junto con la simulación de la interfaz HMI. La ventana de programación incluye bloques lógicos que permiten controlar y monitorear el sistema, mientras que la HMI refleja las funciones de control y supervisión en tiempo real. Esto ilustra la comunicación integral entre ambos componentes del sistema.

La figura 11 indica los cambios de estado en la activación y desactivación de la Test Pump desde la HMI, también al forzar el estado de las entradas digitales activa la salida digital Q0.0

Figura 11

Diseño y Simulación en TIA Portal



Nota: La figura muestra el entorno de trabajo en TIA Portal, donde se integra el programa lógico del PLC S7-1200 y la interfaz gráfica HMI. En el lado izquierdo se observa el árbol del proyecto con los dispositivos configurados, en el centro se presentan los bloques de programación del PLC, y a la derecha se visualiza la simulación de la HMI, que permite verificar el funcionamiento del sistema antes de su implementación en campo.

Implementación y Pruebas en Entorno Real

Pruebas de Usabilidad con Operadores para Identificar Mejoras en Diseño y Funcionalidad

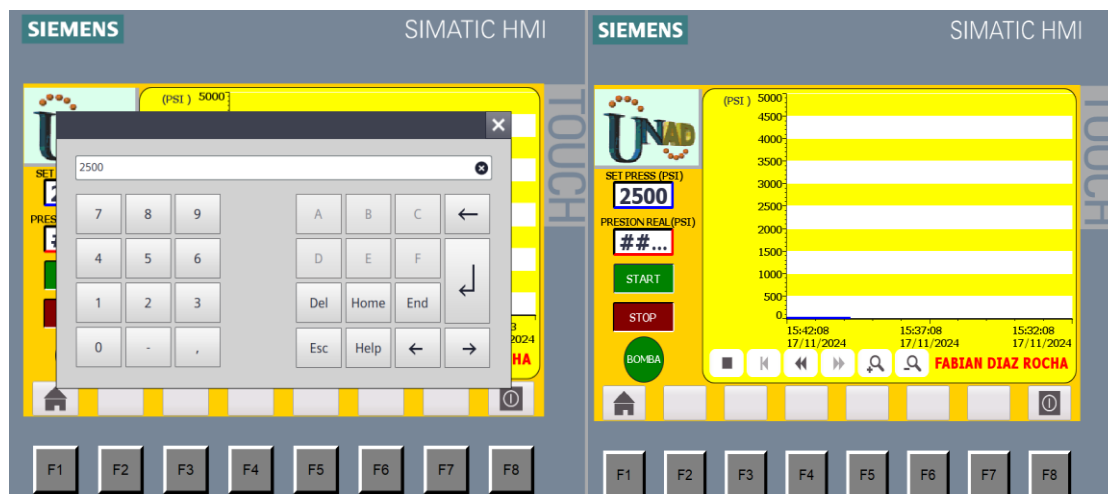
Para garantizar que el sistema desarrollado cumpla con los requerimientos operativos y de seguridad, se llevaron a cabo pruebas de usabilidad en un entorno controlado con operadores experimentados. Durante estas pruebas, los operadores interactuaron con la interfaz gráfica HMI

y utilizaron las funcionalidades del sistema para controlar y monitorear la **Test Pump** en tiempo real. El objetivo principal fue evaluar la facilidad de uso, la claridad de los elementos gráficos y la respuesta del sistema a las acciones realizadas. Asimismo, se identificaron posibles mejoras en el diseño y en la funcionalidad del sistema, priorizando aspectos como la ergonomía, la efectividad en la comunicación de datos críticos, y la precisión en el control de la presión aplicada. Los comentarios recopilados sirvieron para realizar ajustes que optimizaron el desempeño general del sistema antes de su implementación final en campo.

En las Figura12, se presenta la interfaz gráfica donde se puede controlar la Test Pump y monitorear la presión.

Figura 12

Prueba de la Interfaz HMI en SIMATIC para Monitoreo y Control de Presión

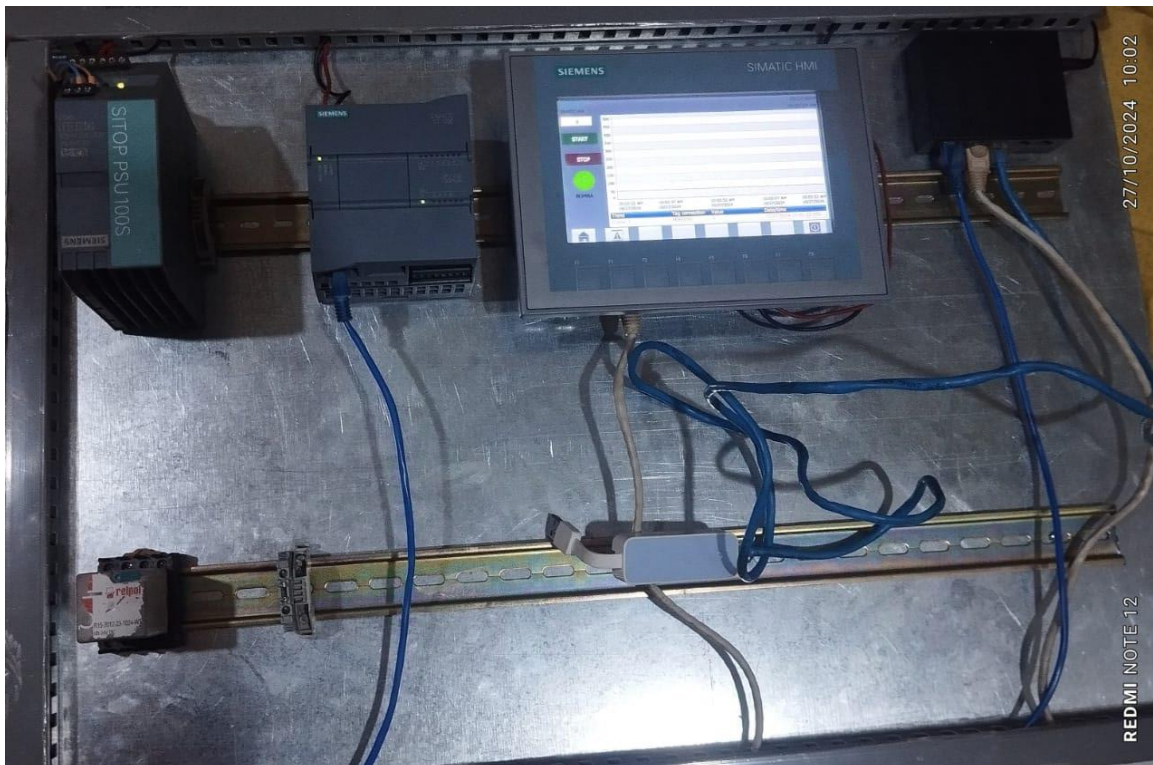


Nota: La figura muestra la interfaz gráfica desarrollada en SIMATIC HMI, utilizada para monitorear y controlar la presión en la Test Pump. En esta prueba, se simulan las funcionalidades de la interfaz, incluyendo el ingreso de valores de presión deseada (SET PRESS), la visualización

en tiempo real de la presión aplicada (PRESIÓN REAL) y los comandos para iniciar (START) o detener (STOP) el sistema, garantizando su correcto funcionamiento y validando su usabilidad en condiciones simuladas.

Figura 13

Prueba piloto de la Interfaz HMI en SIMATIC para Monitoreo y Control de Presión en Físico



Nota. La figura ilustra la prueba física de la interfaz HMI desarrollada para la Test Pump, implementada en un entorno real. Se observa la interacción entre el sistema HMI y el PLC, permitiendo monitorear la presión en tiempo real y controlar el equipo mediante los comandos de inicio (START) y parada (STOP). Estas pruebas permiten validar la funcionalidad del sistema en condiciones reales, garantizando precisión y seguridad en su operación.

Presupuesto

Tabla 4

Presupuesto

Recurso	Descripción	Presupuesto
Equipo Humano	Diseño e implementación del sistema propuesto como solución al problema planteado	\$ 1.000.000
Equipos y Software	PLC S7-1200 HMI, transductor, fuente 24 VDC, electroválvula, Tía portal.	\$ 10.000.000
Viajes y Salidas de Campo	Visitas al lugar donde se identificó la necesidad de implementar el sistema propuesto	\$ 500.000
Materiales y suministros	Cables de control, riel omega, base para montar PLC, fuente 24 VDC y pantalla HMI.	\$ 1.500.000
Bibliografía	Catálogos e instructivos de los equipos comprados	\$ 600.000
TOTAL		\$ 13.600.0000

En paralelo con las actividades técnicas, se documentaron los costos asociados a los equipos requeridos para la implementación del sistema, como se detalla en la tabla 5. Esta información fue clave para establecer un presupuesto y evaluar la viabilidad económica del proyecto.

Tabla 5

Gastos por Compra y Montaje de Equipos.

Descripción	Valor
Transductor de 0-6000 psi.	\$ 800.000
PLC S7-1200 siemens	\$ 1500.000
Pantalla HMI	\$ 2.600.000
Electroválvula 2/2 bobina de 24 VDC	\$ 200.000
Fuente de 24 VDC, 2 amperios.	\$ 250.000
Cables de control	\$ 80.000
Base para montaje	\$ 60.000
Riel omega	\$ 80.000

Nota. Los valores reflejan los costos estimados para la adquisición y montaje de los equipos necesarios para el sistema de monitoreo y control remoto

Enlace de video prueba real del funcionamiento del proyecto desarrollado.





<https://youtu.be/0-2fLceShQw>

En la siguiente tabla están las fotos como evidencia de la prueba realizada al proyecto diseño e implementación de un sistema de mando a distancia de una Test Pump, mediante un

sistema de monitoreo y control desde una HMI, esta se realizó en la empresa Soluciones Integrales ICV S.A.S.

Tabla 6

Fotos de Prueba del Proyecto Diseño e Implementación de un Sistema de Mando a Distancia de una Test Pump, Mediante un Sistema de Monitoreo y Control desde una HMI

Descripción	Valor
<p>Pantalla HMI para control de la Test Pump y visualizar el comportamiento de la presión durante la prueba hidrostática.</p>	
<p>Sistema de control (PLC S7-1200, sensor de presión, electroválvula).</p>	
<p>Visualización de presión y grafica de este parámetro en tiempo real.</p>	
<p>Caja eléctrica del PLC S7-1200</p>	

Conexión de pantalla HMI a radio RF



Montaje y prueba de funcionamiento de PLC S7-1200, sensor de presión y electroválvula.



Nota. La tabla evidencia el desarrollo de la etapa final del proyecto y la prueba de funcionamiento.

Conclusiones

El diseño e implementación de un sistema de mando a distancia para un Test Pump mediante un sistema de monitoreo y control desde una interfaz HMI ha sido exitosamente realizado, cumpliendo con los objetivos establecidos. Se identificaron y determinaron los parámetros, puntos del proceso y variables clave del sistema que eran viables para ser monitoreados y controlados de forma remota, optimizando tanto el rendimiento como la seguridad del proceso.

El sistema fue diseñado y validado en un software de simulación de circuitos y se realizaron pruebas en una mesa de pruebas, lo que permitió detectar y corregir posibles fallas antes de la implementación en un entorno industrial real. La interfaz HMI fue desarrollada siguiendo la norma ISA 101, asegurando una interacción clara, intuitiva y conforme a los estándares de seguridad y usabilidad.

Por último, una vez implementada la solución en la Test Pump industrial, se realizaron pruebas de funcionalidad en un entorno controlado de laboratorio, demostrando que el sistema operó correctamente en condiciones reales y permitió un control remoto seguro y eficiente. El proyecto no solo mejora la eficiencia y seguridad de los procesos industriales, sino que también ofrece una solución adaptable y escalable que puede aplicarse en diversos entornos industriales, garantizando su efectividad y viabilidad a largo plazo.

Recomendaciones

Inicialmente, se recomienda a corto plazo, garantizar que la instalación de los equipos dentro de la caja NEMA 7 cumpla con las normativas de seguridad eléctrica vigentes. Es importante verificar la correcta selección de los cables, fusibles y desconectores, para evitar riesgos como sobrecalentamientos o cortocircuitos. Además, se debe asegurar una ventilación adecuada dentro de la caja para evitar la acumulación de calor y proteger los equipos de daños por sobrecalentamiento. En cuanto a la seguridad, se recomienda que los equipos que operan en ambientes con gases inflamables sean intrínsecamente seguros o estén correctamente aislados en una caja intrínsecamente segura, tal como lo exige la normativa de seguridad industrial.

También se recomienda considerar la instalación de deshumidificadores o el uso de materiales absorbentes dentro de la caja para proteger los equipos de la humedad, lo cual es crucial en ambientes industriales. Asimismo, para garantizar la continuidad operativa, es altamente recomendable incluir una fuente de energía ininterrumpida (UPS) para proteger los equipos frente a posibles cortes de energía.

Finalmente, a mediano plazo, se recomienda instalar antenas de radiofrecuencia para mejorar la comunicación inalámbrica entre el PLC y la pantalla HMI. Esta mejora permitirá operar el sistema de manera remota, lo cual no solo incrementa la flexibilidad y eficiencia del sistema, sino que también aumenta la seguridad al reducir la necesidad de que los operadores trabajen en zonas de riesgo. Esta solución contribuiría a optimizar los procesos y a mantener el control del sistema a distancia, minimizando la exposición al peligro.

Referencias Bibliográficas

Aeisa. (2020). *¿Qué es un transductor?* Obtenido de <https://www.aeisa.com.mx/transductor-que-es-y-para-que-sirve/>

Almidon., A. J. (08 de Febrero de 2019). *Sistemas de Control Automático*. Obtenido de <https://zenodo.org/records/2560185>

Asips. (2021). *Bombas de desplazamiento positivo*. Obtenido de <https://asips.mx/bombas-de-desplazamiento-positivo-informacion-completa/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20son%20la%20bombas%20de,%2C%20rodillos%2C%20diafragmas%>

Bill Rosckes., L. L. (09 de julio de 2023). *Presión diferencial: Qué Es y Por Qué Debe Tenerlo en Cuenta*. Obtenido de <https://www.donaldson.com/es-mx/industrial-dust-fume-mist/technical-articles/differential-pressure-what-why-you-should-care/>

Centro De Informacion Tecnica Para La . (2022). *Sensores en la automatización industrial*. Obtenido de <https://www.cursosaula21.com/que-son-los-sensores-de-automatizacion-industrial/>

cervantes, D. (2024). *Qué es el Control y Monitoreo Automatizado?* Obtenido de <https://es.linkedin.com/pulse/qu%C3%A9-es-el-control-y-monitoreo-automatizado-david-cervantes->

[jbcfe#:~:text=El%20control%20y%20monitoreo%20automatizado%20se%20refiere%20a%](https://es.linkedin.com/pulse/qu%C3%A9-es-el-control-y-monitoreo-automatizado-david-cervantes-)

Congreso. (12 de octubre de 2011). *Ley 1480 de 2011*. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=44306>

Cotrina, D. S. (17 de octubre de 2019). *Determinación de niveles de contaminación del agua a partir de técnicas de análisis multivariable*. Obtenido de <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion/article/view/3263/3256>

Dynaflux. (2023). *Bombas neumática*. Obtenido de <https://www.dynaflux.com.pe/blog/bombas-neumaticas-aplicaciones/#:~:text=Las%20bombas%20neum%C3%A1ticas%20son%20dispositivos,opci%C3%B3n%20perfecta%20en%20muchos%20sect>

Electro De Industria . (2009). *Comunicaciones Inalámbricas en Automatización*. Obtenido de <https://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1187&ni=comunicaciones-inalambricas-en-automatizacion>

Fred Churchville. (2021). *Interfaz de usuario*. Obtenido de [https://www.computerweekly.com/es/definicion/Interfaz-de-usuario-UI#:~:text=La%20interfaz%20de%20usuario%20\(UI,aplicaci%C3%B3n%20o%20un%20sitio%20web](https://www.computerweekly.com/es/definicion/Interfaz-de-usuario-UI#:~:text=La%20interfaz%20de%20usuario%20(UI,aplicaci%C3%B3n%20o%20un%20sitio%20web).

Funcion Publica . (05 de junio de 2009). *Ley 1273 de 2009*. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=34492>

Funcion Publica . (17 de octubre de 2012). *Ley 1581 de 2012*. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=49981>

Funcion publica . (27 de junio de 2013). *Decreto 1377 de 2013*. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=53646>

Funcion Publica . (17 de abril de 2013). *Ley 1621 de 2013*. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=52706#:~:text=Establece>

%20los%201%C3%ADmites%20y%20fines,deberes%20de%20colaboraci%C3%B3n%20de%20las

Funcion pública . (06 de marzo de 2014). *Ley 1712 de 2014*. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=56882>

Función Pública. (24 de enero de 2010). Obtenido de Ley 9 de 1979: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1177>

Grundfos. (14 de agosto de 2022). Obtenido de altura de aspiración positiva neta: <https://es.grpumps.com/educationsafety/article/1447>

Grundfos. (21 de mayo de 2023). *Qué es la cavitación*. Obtenido de <https://www.grundfos.com/co/support/faq/what-is-cavitation>

Hirus.Eus. (2016). *LOS FLUIDOS*. Obtenido de <https://www.hiru.eus/es/fisica/presion-hidrostatica-el-principio-de-arquimedes#:~:text=Los%20fluidos,es%20mayor%20en%20los%20primeros>.

Iberia, R. (20 de febrero de 2023). *Controladores lógicos programables*. Obtenido de <https://es.rs-online.com/web/content/blog-rs/ideas-consejos/guia-plc?srsId=AfmBOoowT82kxd20XR-QjtO4pY6WRMajhBl6RTFZ1II7N6vPqiViQjra>

ICONTEC. (17 de mayo de 2023). *NTC 2050*. Obtenido de <https://www.conte.org.co/que-es-el-retie-y-que-es-la-ntc-2050/>

Kolstad, C. (10 de junio de 2020). *Transductor de Presión*. Obtenido de <https://tameson.es/pages/transductores-de-presion-como-funcionan>

Lozano, J. (2023). *Protocolos de Comunicación en la industria*. Obtenido de <https://www.industriasociadas.com/protocolos-de-comunicacion-en-la-industria/>

Mattos Picón, E. Y. (15 de mayo de 2018). *Documentación de procedimientos de mantenimiento preventivo, predictivo, por condición y correctivo para los equipos mecánicos y eléctricos pertenecientes al Oleoducto Velásquez Galán de la Empresa Mansarovar Energy de Colombia*. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/24115>

panalytical, M. (12 de mayo de 2022). *Viscosidad*. Obtenido de <https://www.malvernpanalytical.com/es/products/measurement-type/viscosity>

Perera, A. (2020). *Los Actuadores, sistemas automatizados*. Obtenido de <https://automatismosmundo.com/sistemas-automatizados-los-actuadores/>

Pointer . (2021). *PRUEBA DE ALTA PRESION Y BOP'S*. Obtenido de <https://pointerinstrument.com/index.php/que-ofrecemos/servicios-de-superficie#:~:text=Prueba%20de%20BOP's%3A%20Las%20TEST,bombas%20de%20muy%20bajo%20desplazami>

Probadores Petroleros S.A. (2020). *Pruebas Hidrostáticas*. Obtenido de <https://propesa.mx/servicio?lang=es&sv=1>

Red Hat . (s.f.). *¿Qué es el Internet de las cosas (IoT)?* Obtenido de <https://www.redhat.com/es/topics/internet-of-things/what-is-iot>

Secretaria Jurídica Distrital. (24 de mayo de 2012). *Resolución 2400 de 1979 Ministerio del Trabajo*. Obtenido de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=53565>

Siemens . (2020). *Plc S7-1200*. Obtenido de <https://drive.google.com/file/d/1mkHXpENmFRwSSyFl8q0689nLEcQoA0Nr/view>

Siemens . (23 de agosto de 2021). *Manual Logo*. Obtenido de https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att_82567/v1/Logo_s.pdf

Siemens. (2003). *Logo Manual*. Obtenido de https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att_82567/v1/Logo_s.pdf

TodoAgua. (12 de Abril de 2023). *presión hidrostática*. Obtenido de https://www.todoagua.es/que-es-presion-hidrostatica/?srsltid=AfmBOorehD6aL_ouHjQ_-b64p-tbJ_93Nn6e8SUmaq_npmf1r2GNdpU

Universidad Nacional abierta A Distancia (UNAD). (2023). *Seguridad Para Sistemas de Control Industrial (SCI)*. Obtenido de <https://noticias.unad.edu.co/index.php/unad-noticias/todas/5996-fortaleciendo-los-cimientos-mejores-consejos-de-seguridad-para-sistemas-de-control-industrial->

Universidad Politecnica de Madrid . (2022). *Mando a distancia*. Obtenido de <https://www.etsist.upm.es/estaticos/ingeniatic/index.php/tecnologias/item/505-mando-a-distancia%3Ftmpl=component&print=1.html>

Valdivieso, A. (23 de agosto de 2023). *Caudal* . Obtenido de <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-caudal>

Valdivieso, A. (2023). *Qué es la presión hidrostática*. Obtenido de <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-presion-hidrostatica>

Vera Romero, C. A. (12 de julio de 2022). *El mantenimiento*. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/50492>