



**Implementación de un control automático en la cámara de succión (INTAKE) para
despresurizar el fluido prolongado la vida útil del sello mecánico en el sistema de
bombeo horizontal (HPS), mediante el uso de un logo siemens en la empresa
SERTECPET S. A. de la ciudad de Francisco de Orellana**

Masabanda Guanoluisa, Bertha Alicia

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título Ingeniero en Mecatrónica

Ing. Constante Prócel, Patricia Nataly

24 de febrero de 2023

Latacunga

Reporte de verificación de contenido

22/2/23, 13:57

BERTHA ALICIA MASABANDA GUANOLUISA - TESIS UTE

Informe de originalidad

NOMBRE DEL CURSO

Tesis

NOMBRE DEL ALUMNO

BERTHA ALICIA MASABANDA GUANOLUISA

NOMBRE DEL ARCHIVO

BERTHA ALICIA MASABANDA GUANOLUISA - TESIS UTE

SE HA CREADO EL INFORME

22 feb 2023

Resumen

Fragmentos marcados	18	7 %
Fragmentos citados o entrecuillados	4	1 %

Coincidencias de la Web

areatecnologia.com	3	1 %
uan.edu.co	3	1 %
espe.edu.ec	3	0,8 %
distritec.com.ar	1	0,8 %
autycom.com	3	0,7 %
standardhidraulica.com	3	0,6 %
codigoelectronica.com	1	0,5 %
berdin.com	1	0,5 %
jibcn.com	1	0,4 %
elperiodicodelaenergia.com	1	0,3 %
eleconomista.es	1	0,3 %
especificarmag.com.mx	1	0,3 %



Ing. Constante Prócel, Patricia Nataly

C.C. 0503354029



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación, “Implementación de un control automático en la cámara de succión (INTAKE) para despresurizar el fluido prolongado la vida útil del sello mecánico en el sistema de bombeo horizontal (HPS), mediante el uso de un logo siemens en la empresa SERTECPET S. A. de la ciudad de Francisco de Orellana” fue realizado por la señorita **Masabanda Guanoluisa, Bertha Alicia**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 22 de febrero del 2023

A handwritten signature in blue ink, reading 'PATRICIA CONSTANTE', is written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

Ing. Constante Prócel, Patricia Nataly



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Masabanda Guanoluisa, Bertha Alicia** con cédula de ciudadanía No. 2200514848, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Implementación de un control automático en la cámara de succión (INTAKE) para despresurizar el fluido prolongado la vida útil del sello mecánico en el sistema de bombeo horizontal (HPS), mediante el uso de un logo siemens en la empresa SERTECPET S. A. de la ciudad de Francisco de Orellana.”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 22 de febrero del 2023

Una firma manuscrita en tinta azul sobre una línea horizontal.

Masabanda Guanoluisa, Bertha Alicia

C.C. 2200514848



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Autorización de Publicación

Yo, **Masabanda Guanoluisa, Bertha Alicia** con cédula de ciudadanía No. 2200514848, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Implementación de un control automático en la cámara de succión (INTAKE) para despresurizar el fluido prolongado la vida útil del sello mecánico en el sistema de bombeo horizontal (HPS), mediante el uso de un logo siemens en la empresa SERTECPET S. A. de la ciudad de Francisco de Orellana.”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 22 de febrero del 2023



Masabanda Guanoluisa, Bertha Alicia

C.C. 2200514848

Dedicatoria

«El presente proyecto le dedico a Dios, mis padres y a mi hermana que son lo más importante en mi vida.»

Masabanda Guanoluisa, Bertha Alicia

Agradecimientos

«A Dios que es el dueño de toda sabiduría y conocimiento, que ha sido mi guía en todo. Agradezco a mis padres Francisco y Alegría, y a mi hermana Johana porque siempre me han apoyado en todo con mucho amor, a mi familia que a pesar de estar lejos siempre han permanecido pendientes.

Mi enorme agradecimiento a la empresa SERTECPET S.A. por la oportunidad y la confianza brindada para el desarrollo del presente proyecto.

Gracias ingeniera Patricia Constante por su paciencia y su orientación en el transcurso de mi trabajo de titulación.

Gracias por tanto, a todos los que formaron parte de mi vida aún en pequeñas instancias, a los que dejaron huellas, a todos mis amigos ESPE y SERTECPET.»

Masabanda Guanoluisa, Bertha Alicia

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula	1
Reporte de verificación de contenido.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de Autoría.....	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimientos.....	7
Índice de contenido	8
Índice de tablas.....	12
Índice de figuras	13
Resumen.....	15
Abstract	16
Capítulo I: Fundamentación Teórica	17
Introducción.....	17
Objetivos	18
<i>Objetivo General.....</i>	18
<i>Objetivos Específicos</i>	19
Hipótesis	19
Variables de la investigación.....	20
<i>Variable independiente</i>	20

<i>Variable dependiente</i>	20
Estado del Arte	20
Sistema de bombeo horizontal (HPS)	20
<i>Bomba horizontal o multietapa</i>	22
<i>Motores eléctricos</i>	24
<i>Variador de Frecuencia</i>	25
Sellos mecánicos.....	25
<i>Instrumentación</i>	26
<i>Indicadores de Temperatura</i>	26
<i>Indicadores de Presión</i>	27
<i>Switch Indicadores de presión Murphy</i>	27
<i>Transmisores de Presión</i>	27
Automatización.....	27
PLC	28
<i>PLC Logo Siemens</i>	29
<i>Software de programación de LOGOSoft</i>	30
<i>PLC S7 Siemens</i>	32
<i>Software de Programación TÍA PORTAL</i>	33
Actuador.....	34
Válvula.....	34
<i>Válvula de bola</i>	35

	10
<i>Válvulas de retención</i>	35
<i>Válvulas de compuerta</i>	36
<i>Válvulas de aguja</i>	37
Electroválvulas	37
<i>Válvula J4C</i>	38
Diagrama P&ID	39
Pruebas de lazo	39
Calibrador de Procesos	40
<i>Calibrador de Procesos Fluke 754</i>	41
Protocolo de comunicación HART	42
Acondicionamiento de señales	44
Capítulo II: Diseño e implementación	47
Arquitectura Física	47
Sistema Eléctrica	48
Diagrama P&ID	48
Selección del actuador	49
Selección del Controlador Lógico Programable	51
Desarrollo de la programación para el control automático	52
<i>Diagrama de Flujo</i>	52
<i>Diagrama Grafcet</i>	53
<i>Programación en LOGOSoft</i>	54

<i>Programación en Tía Portal</i>	56
Diagrama eléctrico para la implementación de la válvula de control	58
<i>Diagrama Eléctrico del control automático con PLC LOGO</i>	58
<i>Diagrama Eléctrico del control automático con PLC S7 1200</i>	59
Diagrama P&ID de la implementación de lo válvula de control.....	61
Diseño mecánico con actuado	61
Implementación del sistema de despresurización en la HPS 12.....	62
<i>Instalación de actuador y válvula</i>	62
<i>Conexión del tubing desde la línea de succión</i>	63
<i>Ubicación del Bulk Tank en campo</i>	64
Capítulo III: Análisis y Validación	66
Pruebas de Funcionamiento	66
Análisis costo beneficio	70
Validación de hipótesis	75
<i>Hipótesis nula (H_0)</i>	75
<i>Hipótesis Alternativa (H_1)</i>	76
Conclusiones	80
Recomendaciones	82
Bibliografía	83
Anexos	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Valores del instrumento para cada señal de corriente</i>	45
Tabla 2 <i>Características de criterios de los actuadores eléctricos</i>	49
Tabla 3 <i>Evaluación de criterios de selección de los actuadores</i>	50
Tabla 4 <i>Selección de controlador lógico programable</i>	51
Tabla 5 <i>Resultados de pruebas con Procesador de procesos y actuador</i>	68
Tabla 6 <i>Resumen de sellos y horas de parada de cada unidad HPS</i>	71
Tabla 7 <i>Gasto por cambio de sellos</i>	71
Tabla 8 <i>Gasto total por parada de equipos</i>	72
Tabla 9 <i>Gasto total por mano de obra</i>	72
Tabla 10 <i>Gastos totales promedio por año de las unidades HPS</i>	73
Tabla 11 <i>Costos de materiales e implementación del control</i>	74
Tabla 12 <i>Número de sellos mecánicos cambiados de la HPS 12</i>	76
Tabla 13 <i>Número de sellos mecánicos cambiados de la HPS 04</i>	77
Tabla 14 <i>Datos obtenidos de las muestras de las unidades HPS 12 y 04</i>	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Localización Sertecpet S.A.....	18
Figura 2 Estructura de Sistema de Bombeo horizontal.....	21
Figura 3 Sistema de bombeo horizontal en campo.....	22
Figura 4 Corte interno de bomba multietapa	23
Figura 5 Componentes de una bomba centrífuga.....	23
Figura 6 Dato de placa de motor de HPS 04.....	24
Figura 7 Partes de sello mecánico	25
Figura 8 Partes de un PLC Logo V8.....	30
Figura 9 Bloques en programación LOGO	31
Figura 10 Partes de un PLC S.....	32
Figura 11 Válvula de bola.....	35
Figura 12 Válvula de retención.....	36
Figura 13 Válvula de compuerta.....	36
Figura 14 Válvula de aguja.....	37
Figura 15 Vista interna y externa Válvula J4C.....	38
Figura 16 Cuadro con características de válvula J4C.....	39
Figura 17 Calibrador de procesos Fluke 754 con comunicación HART	42
Figura 18 Calibración de un transmisor de temperatura con comunicación HART	43
Figura 19 Gráfico de lineal de señal en mA a PSI	46
Figura 20 Diseño mecánico de HPS.....	47
Figura 21 Diagrama P&ID inicial	48
Figura 22 Diagrama de Flujo del proceso.....	53
Figura 23 Diagrama Grafcet Nivel 1 de proceso de despresurización	54
Figura 24 Configuración del conmutador analógico de valor umbral	55
Figura 25 Programación en LOGO Soft para controlar la válvula	56

Figura 26 <i>Tags para la programación en Tía Portal</i>	57
Figura 27 <i>Escalamiento de unidades a PSI</i>	57
Figura 28 <i>Programación ladder para el control del actuador</i>	58
Figura 29 <i>Diagrama eléctrico con LOGO Siemens</i>	59
Figura 30 <i>Diagrama eléctrico utilizando PLC S7 12000</i>	60
Figura 31 <i>Corte del diagrama P&ID de la implementación de la válvula de control</i>	61
Figura 32 <i>CAD de la unidad HPS con el Actuador</i>	62
Figura 33 <i>Montaje de la válvula</i>	63
Figura 34 <i>Instalación de la tubería de cañería de ½ pulgada.</i>	64
Figura 35 <i>Instalación de Bulk Tank en campo</i>	65
Figura 36 <i>Actuador y válvula funcionando en campo</i>	65
Figura 37 <i>Envío de señal eléctrica utilizando el calibrador de procesos</i>	66
Figura 38 <i>Valores obtenidos al realizar la prueba de lazo</i>	67
Figura 39 <i>Prueba en Campo</i>	69
Figura 40 <i>Pruebas de variador</i>	70
Figura 41 <i>Gastos totales de los equipos por fallas de sellos mecánicos</i>	74

Resumen

En el presente trabajo se realiza la implementación de un control automático en la cámara de succión para la despresurización del fluido prolongando la vida útil del sello mecánico de una unidad HPS (Sistema de bombeo horizontal) de la empresa SERTECPET S.A. en la ciudad de Francisco de Orellana, para ello se utiliza un actuador eléctrico que controla la apertura y cierra de una válvula de bola cada vez que el transmisor de presión detecta sobrepresión en la línea de succión, debido a que dicha sobrepresión provoca el desgaste y ruptura de los sellos mecánicos que se encuentran en el acople de la bomba multietapas con el motor principal y el sello mecánico que está entre la bomba centrífuga y su respectivo motor eléctrico, para ello se realiza la selección de un actuador eléctrico que cumple con parámetros de exigencia industrial y es controlado con un controlador lógico programable, en la propuesta inicial se estimó el uso del PLC LOGO Siemens, no obstante, debido a la solicitud de la empresa SERTECPET S.A. se hace uso del PLC S7 1200, con el cuál contaban en la unidad a implementarse HPS 12. Las pruebas se realiza a través de pruebas de lazo con el protocolo HART haciendo uso de un calibrador de procesos marca Fluke modelo 754 para emitir señales de corriente que simulen la presión de la línea de succión, estimado que el valor límite que el sello mecánico soporta es de 200 PSI, la implementación cumple con todos los parámetros establecidos por lo cual es enviada a campo para su trabajo efectivo, donde se evalúa a corto plazo la propuesta de alargar la vida útil del sello mecánico y se obtienen resultados favorables en comparación con las estadísticas de fallos reportados durante el año 2022 en tres unidades operativas HPS 04, HPS 05 y HPS 06, mostrando así mejora en la productividad continua de la operación e imagen de servicios petroleros, adicional la implementación muestra viabilidad debido el bajo costo que representa con relación a la reparación de los daños y paradas de unidades.

Palabras clave: HPS, Sello mecánico, despresurización, actuador eléctrico.

Abstract

In this work the implementation of an automatic control in the suction chamber for the depressurization of the fluid to prolong the life of the mechanical seal of a HPS unit (Horizontal Pumping System) of the company SERTECPET S.A. in the city of Francisco de Orellana is carried out, for this purpose an electric actuator is used to control the opening and closing of a ball valve every time the pressure transmitter detects overpressure in the suction line. in the city of Francisco de Orellana, an electric actuator is used to control the opening and closing of a ball valve every time the pressure transmitter detects overpressure in the suction line, because such overpressure causes the wear and tear of the mechanical seals that are in the coupling of the multistage pump with the main motor and the mechanical seal that is between the centrifugal pump and its respective electric motor, For this purpose, the selection of an electric actuator that complies with industrial requirement parameters and is controlled with a programmable logic controller is carried out, in the initial proposal the use of the PLC LOGO Siemens was estimated, however, due to the request of the company SERTECPET S. A. it is used the PLC S7 1200, with which they had in the unit to be implemented HPS 12. The tests are performed through loop tests with the HART protocol using a process calibrator Fluke model 754 to emit current signals that simulate the pressure of the suction line, estimated that the limit value that the mechanical seal supports is 200 PSI, the implementation meets all the established parameters so it is sent to the field for effective work, where the proposal to extend the life of the mechanical seal is evaluated in the short term and favorable results are obtained in comparison with the statistics of failures reported during the year 2022 in three operating units HPS 04, HPS 05 and HPS 06, thus showing improvement in the continuous productivity of the operation and image of oil services, in addition the implementation shows feasibility due to the low cost it represents in relation to the repair of damage and unit shutdowns.

Key words: HPS, mechanical seal, depressurization, electric actuator.

Capítulo I

Fundamentación Teórica

Introducción

A nivel mundial las industrias petroleras producen gran parte de la economía, para ello poseen equipos que trabajan continuamente las 24 horas del día y los 365 días del año, por ende, desarrollo productivo de este ámbito depende en gran medida del correcto funcionamiento de los componentes que intervienen en el proceso de extracción del crudo, mismos que se componen de subprocesos, tales como la inyección, explotación y transferencia del fluido utilizando diferentes tipos de equipos o sistemas que brindan seguridad y excelencia. En el Ecuador el área amazónica es el centro de la actividad y economía petrolera, debido a que ahí se concentran vastas reservas de crudo en las que se destaca la importancia de las empresas que prestan servicios petroleros.

Cabe destacar que existen un sinnúmero de intermediarios y empresas en este servicio como lo son Schlumberger, Halliburton, Sinopec, Adrialpetro, Cyfoil, Sertecpet y demás. Sertecpet S.A. una empresa ecuatoriana constituida en 1990 con la misión de generar soluciones energéticas a nivel mundial (Sertecpet, s/f), está ubicada en la provincia de Orellana, en la ciudad de El Coca,

Figura 1, y se encarga principalmente de presentación de servicios petroleros con unidades rotativas como MTU's, UHB's, HPS's, BCG's, PCP's, que operan en las diferentes localidades de la Amazonía ecuatoriana y otros países alrededor del mundo.

Figura 1

Localización Sertecpet S.A.



Nota. Figura adaptada de Google Maps y Mapa del Ecuador

De este modo, estos inconvenientes generan retrasos a nivel de producción, movilización del talento humano hasta la unidad y que se traduce a pérdidas económicas por cada día que el equipo se encuentre “*stand by*” o espera. Por ello, el presente trabajo investigativo propone un sistema de despresurización que contribuya en gran medida a mitigar riesgos y suspensiones en los equipos de bombeo de la empresa SERTECPET S. A. ubicado en la ciudad de Francisco De Orellana.

Objetivos

Objetivo General

Implementar un control automático en la cámara de succión (INTAKE) para despresurizar el fluido prolongando la vida útil del sello mecánico en el sistema de bombeo

horizontal (HPS), mediante el uso de un logo siemens en la empresa SERTECPET S. A. de la ciudad de Francisco de Orellana.

Objetivos Específicos

- Recopilar información acerca del sistema de bombeo horizontal y la reinyección de agua en la extracción del crudo para identificar el funcionamiento del sistema.
- Analizar el funcionamiento del sistema de bombeo horizontal para la identificación correcta de la situación inicial del proyecto.
- Diseñar los diferentes planos eléctricos y mecánicos para la implementación en el sistema de bombeo horizontal.
- Desarrollar el algoritmo de control para la lectura de la presión y el funcionamiento del actuador.
- Construir la línea entre la cámara de succión (INTAKE) y la succión de la bomba centrífuga para la despresurización del fluido.
- Implementar el algoritmo en el programa base del dispositivo Siemens PLC para el control automático del sistema.
- Realizar pruebas de lazo en conjunto del funcionamiento para validación de hipótesis.
- Corregir posibles errores en el funcionamiento o conexión de la línea para que el sistema trabaje correctamente.

Hipótesis

¿Un control automático en la cámara de succión (INTAKE) permitirá despresurizar el fluido prolongado la vida útil del sello mecánico en el sistema de bombeo horizontal (HPS), mediante el uso de un logo siemens en la empresa SERTECPET S. A. de la ciudad de Francisco de Orellana?

Variables de la investigación

Variable independiente

Control automático en la cámara de succión (INTAKE)

Variable dependiente

Despresurizar el fluido prolongado la vida útil del sello mecánico en el sistema de bombeo horizontal (HPS), mediante el uso de un logo Siemens en la empresa SERTECPET S.

A. de la ciudad de Francisco De Orellana

Estado del Arte

Las unidades HPS inicialmente se introdujeron al mercado con el objetivo de reemplazar a las bombas Tríples para los trabajos de transferencia de crudo, con la finalidad de disminuir costos y contrarrestar los recurrentes problemas de fugas en la empaquetadura de la bomba o los liqueos constantes debido a las vibraciones producidas por el motor, siendo así que las unidades HPS o bomba Multietapas logran superar a las bombas de desplazamiento positivo, carcasa partida o turbina vertical (Schlumberger, 2020), sin embargo el sistema de bomba de transferencia se selecciona de acuerdo al tipo de pozo, tamaño u otros parámetros de tal forma que puede resultar óptimo otro tipo de bombas.

Años después de su creación surge un auge de las bombas HPS debido a que es la solución a un problema que suscitó en los pozos petroleros, pues solo se pueden extraer el 30% de su totalidad dando paso al abandono de los pozos y búsqueda de métodos de recuperación siendo, por lo que es ideal la inyección de agua utilizando bombas Multietapas (HPS) en los llamados pozos inyectores para así recuperar el pozo y continuar con la explotación del crudo (Anónimo, s/f).

Sistema de bombeo horizontal (HPS)

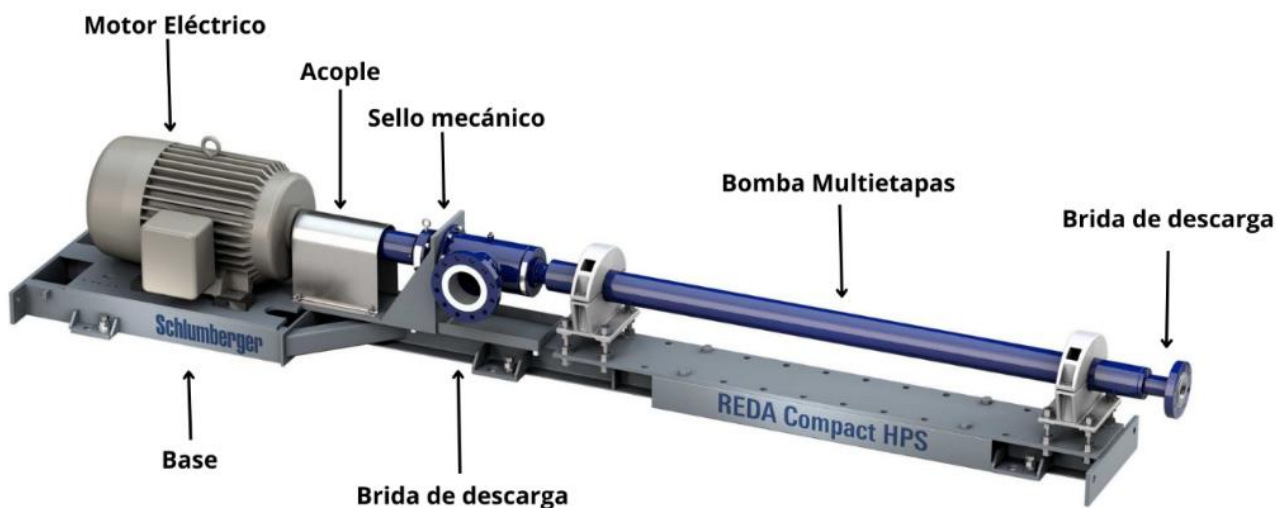
HPS (*Horizontal Pump System*) es un sistema de bombeo horizontal diseñado para recibir agua a través del trabajo de una bomba centrífuga de un reservorio de agua de

formación por la línea de succión, para posteriormente pasar el fluido a través de una bomba multietapas que luego envía por la línea de descarga para la inyección en el pozo. De acuerdo al requerimiento y características del pozo la descarga del fluido que debe cumplir con ciertos parámetros tomando en cuenta que, el agua inyectada debe llegar a una de las capas más profundas formada por arena (Tarbuck et al., 2005), estas bombas pueden entregar altas presiones o altos caudales de descarga dependiendo de la potencia del motor y el requerimiento del cliente.

La estructura base que compone al sistema de bombeo horizontal, es el motor, el acople entre la bomba multietapas y el motor, y la bomba multietapas. Adicional en la Figura 2 se indica las bridas de descarga y de succión que dan apertura a las líneas de descarga y succión respectivamente en el proceso de inyección de fluido en un pozo inyector.

Figura 2

Estructura de Sistema de Bombeo horizontal



Nota. Figura adaptada de (Schlumberger, 2020).

Sin embargo, el funcionamiento del sistema de bombeo horizontal en campo Figura 3 es con todos los accesorios, es decir con el variador de frecuencia con el cual controla la velocidad del motor, la bomba booster, que es importante para la succión del fluido hacia el

sistema y las acometidas que llevan la energía al tablero de distribución para posteriormente energizar el variador y el motor eléctrico.

Figura 3

Sistema de bombeo horizontal en campo



Nota. Tomada en Shushufindi Sur Oeste (-0.2776393049946342, -76.65799365766739)

Elementos principales de un sistema de bombeo horizontal:

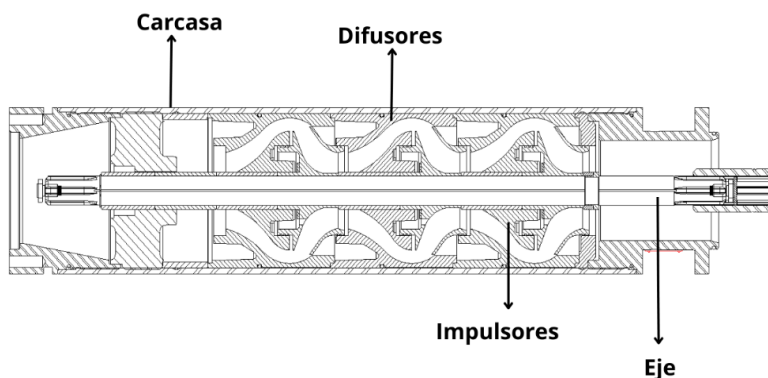
Bomba horizontal o multietapa

Son bombas que funcionan de acuerdo al principio de una bomba centrífuga para desarrollar altas presiones debido a que trabaja con varios impulsores montados en el mismo eje (Inducom, 2022), entre ellas las más usadas son de las marcas Baker y de GE Oil & Gas. El número de etapas de estas bombas indican la cantidad contenida de difusores estacionarios que se encargan de direccionar el fluido, e impulsores que giran con el eje de acuerdo a las revoluciones del motor. Al aumentar el número de etapas, aumenta la presión, y al aumentar el diámetro de la bomba, aumenta el caudal de descarga (Marcel Esparza, 2017), en la Figura 4 se aprecia el corte interno de la composición de una bomba de tres etapas. Las bombas

multietapas debido a la cantidad de difusores e impulsores están diseñadas para fluidos limpios o con pocos contaminantes, por ende, son mayormente para inyección y transferencia de agua.

Figura 4

Corte interno de bomba multietapa

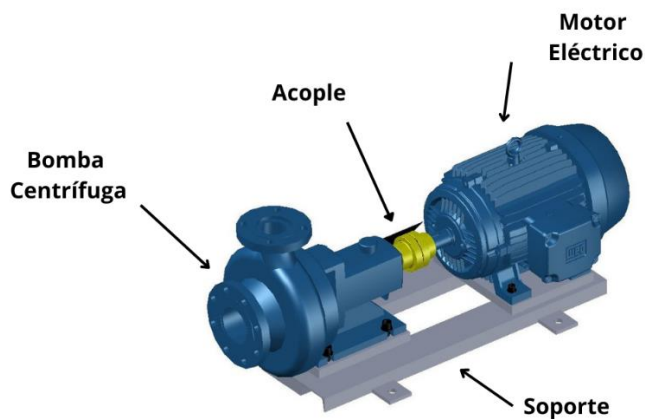


Nota. Figura adaptada de (Marcel Esparza, 2017).

Las unidades HPS también constan de una bomba centrífuga para la succión de agua, sin embargo, estas bombas son pequeñas y con baja presión ya que solo se encargan de succionar el agua. Esta bomba está acoplada a un motor eléctrico por ende también posee sello mecánico que debe ser protegido Figura 5.

Figura 5

Componentes de una bomba centrífuga



Nota. Figura adaptada de (Arovoli Arivarasan, 2018)

Motores eléctricos

Un motor eléctrico tiene la capacidad de cambiar la energía eléctrica recibida a través de los bordes en energía mecánica para ser utilizado en algún proceso que involucre realizar movimientos de ejes, utilizando las leyes de Ampere y Faraday, es decir que la transformación de energías se da debido al trabajo de los campos magnéticos generados por las bobinas internas (Transelec, 2023). Existen dos tipos de motores de acuerdo a la corriente con la que se alimentan, las cuales son los motores de corriente continua y motores de corriente alterna a su vez cada una de ellas tiene sus subdivisiones de acuerdo a las características individuales o número de fases.

Un factor importante en los motores usados para el sistema de bombeo horizontal son la potencia de trabajo que varían entre los 600 HP hasta los 800 HP de acuerdo a los requerimientos del cliente, como en la Figura 6 que son los datos de placa de un motor trifásico de corriente alterna con alta potencia de 600HP, 460 V, 650 A y 3585 RPM perteneciente a la unidad HPS 04.

Figura 6

Dato de placa de motor de HPS 04



Nota. Figura tomada en el Campamento Carlos Robayo López.

Variador de Frecuencia

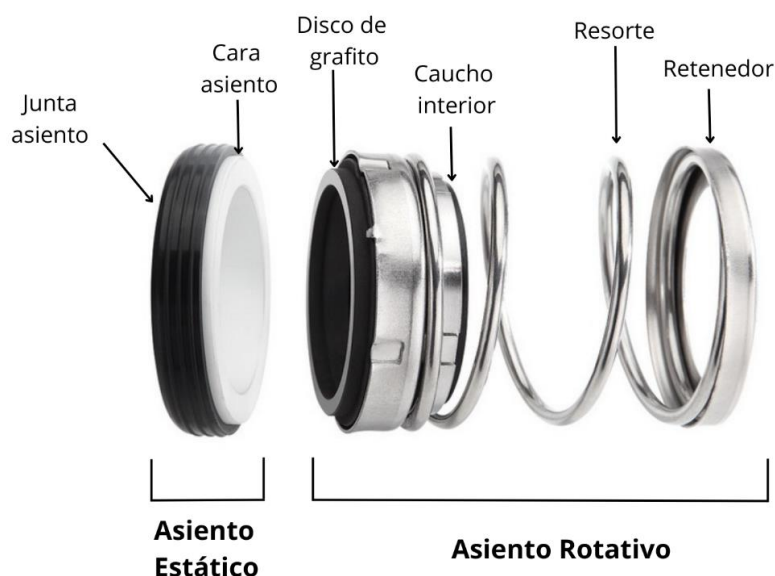
Son los encargados de regular la velocidad de giro del motor variando su frecuencia de trabajo, para entregar solo lo necesario, de tal manera que disminuye el consumo energético en grandes porcentajes, mejora la operatividad y a su vez la vida útil de los aparatos relacionados en el sistema (ABB, 2023).

Sellos mecánicos

Los sellos mecánicos son componentes que se ubican en la unión del eje rotativo y la carcasa del equipo con la finalidad de evitar fugas en su totalidad, lo cual la diferencia de otro tipo de sellos como los empaques (Quiliche Chatilán, 2019). Estos sellos mecánicos se componen de dos partes que son el estático y el dinámico Figura 7, donde el asiento estacionario se queda inmóvil, mientras que el asiento dinámico o rotativo se mueve con el eje y consta de un resorte que produce la energía suficiente para mantener las caras sellantes unidas (Predictiva 21, s/f).

Figura 7

Partes de sello mecánico



Nota. Figura adaptada de (SA Mechanical, s/f).

El sellado correcto y el buen funcionamiento de los sellos mecánicos garantizan la eficiencia de la bomba centrífuga y cámara de empuje debido a que el 75% de las fallas del equipo son por problemas en estos componentes (Predictiva 21, s/f), las causas pueden ser por la mala instalación o estar sometidas a condiciones que superan el límite permitido ya sea en temperatura o presión.

Instrumentación

Las unidades HPS debido a su función imprescindible en el proceso de inyección de agua, requieren de un constante monitoreo para identificar los valores de presión, temperatura, caudal y flujo, puesto ante estos aspectos inciden de manera directa en la función antes mencionada; en donde se utilizan instrumentos resistentes situados en los puntos clave con el objetivo de controlar el sistema (Elizabeth et al., 2018).

La instrumentación de una unidades HPS pertenecientes a Sertecpet S.A. varía de acuerdo al diseño P&ID de la misma, dado que existen las unidades mecánicas donde los sensores de alarma son los Switch Indicadores de Presión de la marca Murphy, que se encargan de emitir señales en caso de haber errores para la unidad, aunque también están las unidades semiautomatizadas donde las señales se obtienen por transmisores de presión, mismas que emiten señal eléctrica al variador para a través de un PLC que se encarga de analizar los valores y emitir alarmas en caso de haber irregularidades.

Instrumentos de las unidades HPS:

Indicadores de Temperatura

Los indicadores de temperatura (TI) o también llamados termómetros permiten medir el estado térmico de un elemento, fluido o lugar, de acuerdo a las características presente o que se requiera analizar (WIKA, s/f).

En el ámbito industrial y petrolero, la medición de temperatura se realiza mediante dos tipos de termómetros analógicos: los bimetálicos y los de dilatación de gas. Es importante considerar que la medición de la temperatura depende de varios factores, entre los que se

encuentran principalmente, el tiempo de respuesta, los límites de temperatura y el ámbito de aplicación (WIKA, s/f).

Indicadores de Presión

En este indicador es conocido como manómetro y se utiliza para evaluar de presión de gases y líquidos en aplicaciones industriales. Es el instrumento más utilizado en el campo petrolero debido a la variedad de presiones que se manejan, por ende, se encuentra en diferentes rangos y formas. Sin embargo, los manómetros más conocidos son del tipo Bourdon dado que son el principal mecanismo de uso a nivel industrial, debido a su facilidad de manipulación y resistencia, ya que pueden soportar hasta 70MPa y trabaja en ambientes de hasta 60 °C (Zuñiga et al., s/f).

Switch Indicadores de presión Murphy

Este equipo es un manómetro switch indicador de presión diseñado para abrir y cerrar un circuito eléctrico al ocurrir cambios de presión, de este modo permite generar un control mecánico tipo autómatas en los diferentes equipos tales como bombas o motores, dado que permite configurar rango de operación para al sobrepasar el límite permitido se activa, por ello su utilización se centra mayormente como alarmas industriales (Dueñas et al., 2010).

Transmisores de Presión

Los transmisores se manejan en temas de medición de presión en el sector industrial y es conocida como presión manométrica o diferencial, misma que depende de cómo sea su medición del elemento sensor para que sea una señal eléctrica. La electrónica del transmisor consiste en activos, componentes y circuitos pasivos que realizan acondicionamiento de señales, cabe agregar que para aplicaciones de baja y alta presión es la misma, mientras que el elemento sensor es diferente (Hashemian & Jiang, 2010).

Automatización

La automatización ha sido durante mucho tiempo un factor propulsor del incremento de la productividad al sustituir la carga humana del trabajo manual, peligroso o pesado, por

maquinaria. Desde la revolución industrial, la automatización ha hecho que las industrias sean más seguras y eficientes. Esta tendencia se mantiene hoy en día, con empresas de diversos sectores que despliegan tecnologías digitales más inteligentes para automatizar cada vez más los procesos, incluso aquellos que tradicionalmente se habían considerado de maniobra humana, exclusivamente (Laura Palomares & Leonard Mertens, 1991).

Sin embargo, en el ámbito industrial petrolero la automatización crece con lentitud, ya que en la mayoría de locaciones productoras se siguen usando motores a combustión, no obstante en la actualidad hay actividades que netamente se realizan con unidades eléctricas como es la inyección de agua, sin embargo las alarmas siguen siendo mecánicas a través de Switch de presión, vibración o nivel, y los métodos para parar la unidad o despresurizar en caso de una sobrepresión siguen siendo tradicionales, es decir a través de la actividad del operador que debe llegar al sitio y parar la actividad evitando un daño mayor en las bombas y solo permitiendo daños menores con en los sellos de las bombas.

Un paso al inicio de la automatización en las unidades HPS es la introducción los transmisores en las unidades productoras y de PLC en los variadores para que reciban las señales que emiten los transmisores y enviar alarmas más automatizadas, dando cabida a la implementación de un sinnúmero de controles programados a través del PLC y llevados a cabo a través de actuadores (Marcel Esparza, 2017).

PLC

Un autómeta programable o PLC, es un dispositivo electrónico que puede ser programado y que está especialmente diseñado para trabajar con procesos en entornos industriales, disponiendo de la capacidad de gestionar y controlar automatismos electrónicos, en virtud de un programa que le hayamos instalado. Para interactuar con el proceso que se desea automatizar los PLC cuentan con entradas / salidas digitales y de igual forma entradas / salidas análogas. Los elementos básicos se mencionan en la tabla 1. Entonces un PLC es un dispositivo que controla una maquina o proceso y puede considerarse simplemente una caja de

control con dos filas de terminales, los cuales proporcionan comandos para conectar dispositivos como válvulas solenoides, motores, lámparas, indicadores acústicos. El circuito para producir las salidas deseadas en el momento adecuado o en la secuencia adecuada para la aplicación. El único cableado necesario para los dispositivos de entradas y salidas (Patricia Martinez, 2002).

Tipos de PLC

PLC Logo Siemens

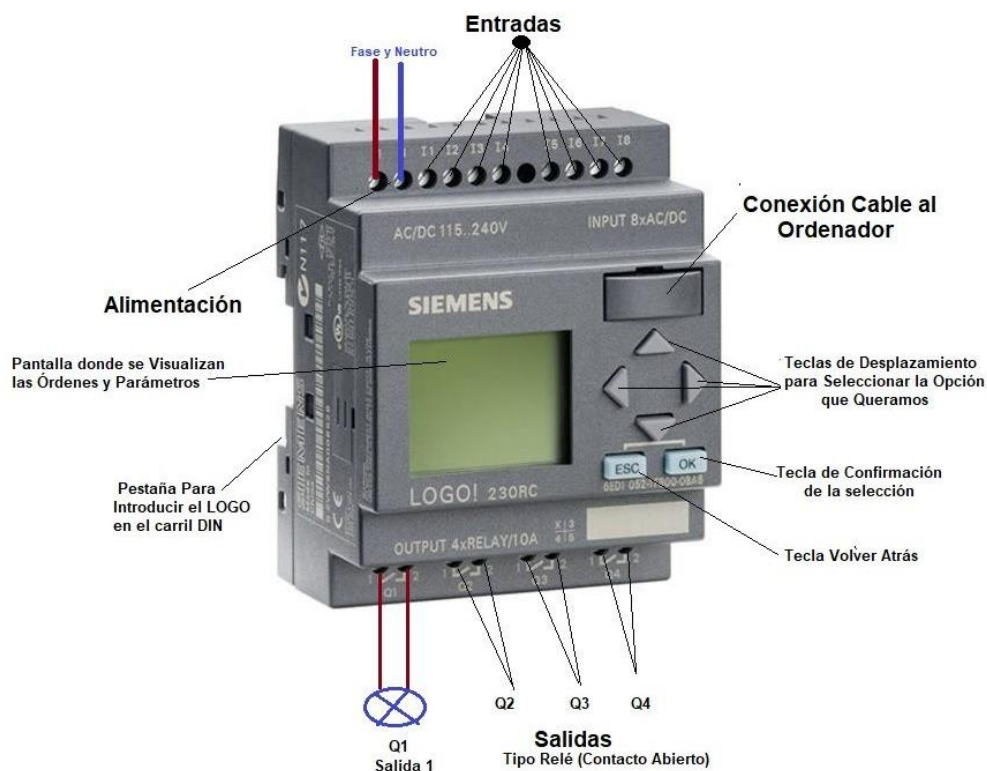
El PLC siemens logo es el autómatas más pequeño que fabrican, diseñado y utilizado para realizar automatizaciones domésticas o pequeñas aplicaciones industriales, lo que hace muy económico para su compra, pero, aunque parezca pequeño, posee grandes características en cuanto a hardware y software, en el uso de las entradas y salidas; posee módulos de expansión que permiten ampliar sus conexiones y el lenguaje que usa que es 100% gráfico (F Beltrán & A Cadavid, 2014).

Características

- Control, es el microcontrolador que alberga la programación que se desea ejecutar en el proceso a automatizar.
- Unidad de mando y visualización con retroiluminación, pantalla LCD donde se indica la información que se desee tener presente durante la ejecución del programa.
- Fuente de alimentación, recibe una tensión de 24Vdc, 110/220V y reduce la tensión a 5Vdc para alimentar los circuitos electrónicos de la CPU.
- Interfaz para módulos de ampliación, pueden ser señales de entrada o salida análogas o digitales.

Figura 8

Partes de un PLC Logo V8



Nota. Figura Tomado de (Área de Tecnología, s/f)

Software de programación de LOGOSoft

Se utiliza el software de programación LOGOSoft, y se lo realiza a través de puertas lógicas, las cuales son componentes electrónicos representados por un símbolo con una, dos, tres o cuatro entradas y una sola salida que realizan una función (ecuación con variables binarias, ceros y unos), y que toman unos valores de salida en función de los que tenga en los de entrada.

La decisión tomada por una puerta lógica es la de situar su salida en valor cero (0) o en valor uno (1) dependiendo del estado lógico de sus entradas y de la función (ecuación) lógica por la cual ha sido diseñada y que tiene que cumplir.

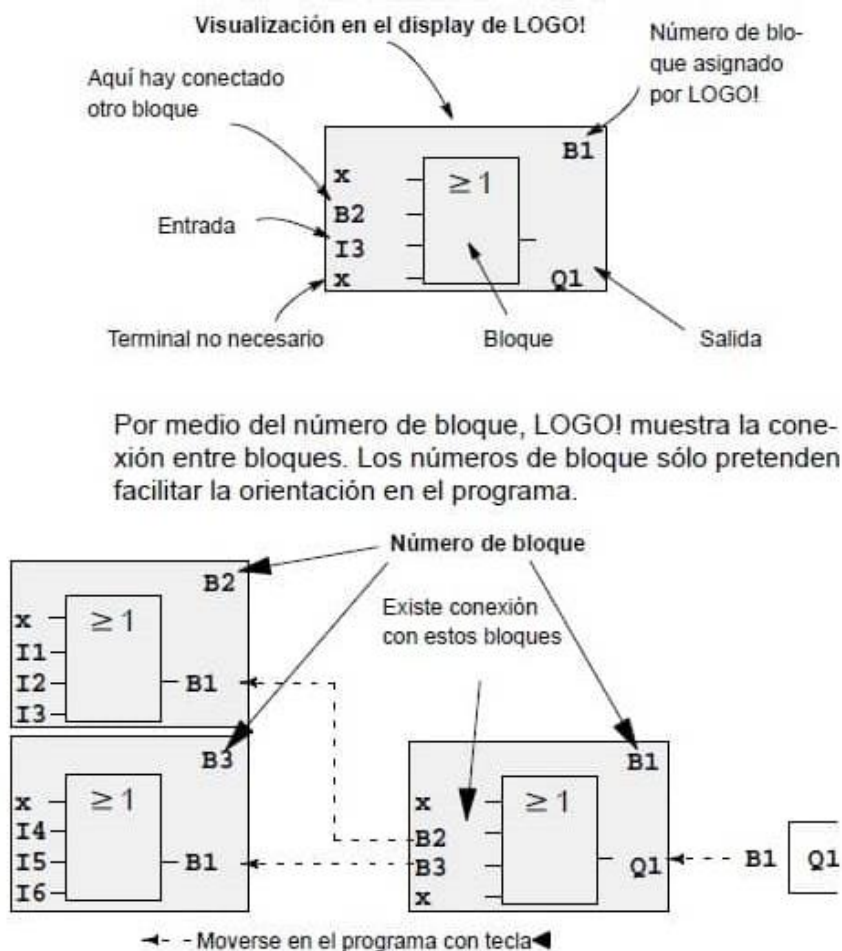
- Estado 0 (Cerrado) = sin activar si es una entrada, sin funcionar si es una salida.

- Estado 1 (Abierto) = activada si es una entrada, funcionando si es una salida.

Las puertas lógicas también representan un circuito eléctrico y tienen cada una su propia tabla de la verdad, en la que vienen representados todos los posibles valores de entrada que puede tener y los que les corresponden de salida según su función. En un mismo programa podemos tener varias puertas lógicas Figura 9, incluso iguales, por eso Logo las diferencia llamándolas "bloques" y las asigna un número nada más introducirlas en el programa: B1, B2, B3 etc.

Figura 9

Bloques en programación LOGO



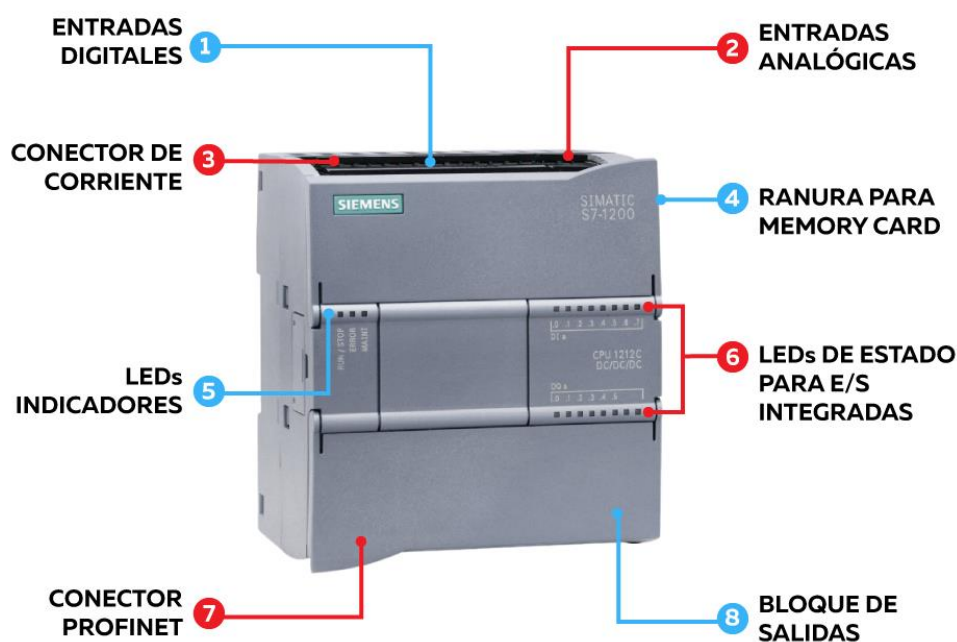
Nota. Figura Adaptado de (Área de Tecnología, s/f)

PLC S7 Siemens

Se trata de un controlador compacto que facilita la realización de tareas productivas sencillas, pero de alta precisión. Su diseño, es escalable y flexible, útil para trabajos de baja demanda o proyectos domésticos, así como también de escala industrial o a nivel global, en sus cinco CPU's, y reduce los requisitos de espacio en el cuadro de control. Por esta flexibilidad y adaptabilidad, el software es fácil de aprender y de usar, con una navegación sencilla gracias a que los símbolos y los menús están estandarizados en todas las vistas. Con los controladores S7-1200 Figura 10.

Figura 10

Partes de un PLC S



Nota. Figura tomada de (Suiler Altamirano, 2021)

Las tareas productivas son compactas, escalables y flexibles. Este hardware está disponible en versiones estándar y de seguridad, es escalable en términos de rendimiento y equipamiento de tal forma que es bastante utilizado en el ámbito industrial, especialmente para

el control de equipos de alta potencia o control de sistemas. Estos dispositivos están compuestos con IOs integradas, interfaz integrada, PROFINET para programación, conexiones HMI, IOs distribuidas y arquitecturas de unidades distribuidas, el equipo S7-1200 es altamente adaptable según las necesidades individuales de los procesos, gracias a sus módulos de señal enchufables, así como también por sus módulos de comunicación, entradas analógicas y digitales, leds de estado, conector de corriente (Peter Hoffmann & Reimar Schumann, 2010).

Características del PLC S7 200

- Alta capacidad de procesamiento. Cálculo de 64 bits.
- Interfaz Ethernet / PROFINET integrado.
- Entradas analógicas integradas.
- Bloques de función para control de ejes conforme a PLCopen.
- Programación mediante la herramienta de software STEP 7 Basic V15.1 para la configuración y programación no sólo del S7-1200, sino de manera integrada los paneles de la gama Simatic Basic Panels.

Software de Programación TIA PORTAL

El PLC S7 1200 utiliza el software TIA PORTAL, es un software que integra todos los componentes de las máquinas para controlar procedimientos y operaciones. Al ser una aplicación es modular, es posible añadir nuevas funcionalidades que se adapten a las necesidades de la aplicación, así como también permite procesar datos, generar reportes y tener trazabilidad.

Funciones del TIA PORTAL

- **Conector a la nube TIA Portal:** Acceder a una nube privada desde controlador del sistema.
- **TIA Portal Openness:** Crear códigos de programación utilizando generadores.
- **PLCSIMAdvanced:** Simular el funcionamiento de la comunicación y servidor web del PLC.

- **Conectividad a MindSphere:** Adquirir análisis y servicios del sistema operativo.
- **TIA Portal Teamcenter.:** Producir copias de respaldo de los proyectos creados.
- **Ingeniería multiusuario:** Colaborar de forma flexible en un proyecto al mismo tiempo.
- **SIMATIC SiVArc:** Generar visualizaciones HMI automáticamente.

Actuador

Es un dispositivo electromecánico que convierte la energía en movimiento mecánico o que se utiliza para aplicar fuerza. La energía viene de una determinada fuente (que puede ser energía creada por aire, líquido o electricidad) y la convierte en el movimiento deseado. Los dos tipos de movimiento básico deseados son lineal y rotativo, pero también es común el movimiento oscilatorio (PHCPPROS, 2021), los cual depende mucho del entorno y elemento controlado. Entre los elementos a través de un actuador eléctrico movidos están las válvulas cuando se requiere controlar un sistema con fluidos.

Válvula

La válvula de control es un elemento utilizado como el regulador y el controlador, siendo entonces el “órgano” de control final en los diversos procesos industriales (Suhissa, 2018), no obstante, existe una gran variedad de válvulas de por lo que es importante conocer el ámbito y las funciones que se va a realizar con el mismo e identificar las características para una selección adecuada de válvula.

Las válvulas son elementos mecánicos que forman parte de un sistema de tuberías que tiene como objetivo iniciar, detener o impedir la circulación de un fluido mediante piezas móviles que se accionan moviéndose de forma rotacional o de arriba hacia abajo. Existen diferentes tipos de válvulas, las cuales pueden ser usadas de acuerdo a la necesidad, ya que unas se encargan de estrangular completamente el paso del fluido o solo en cierto porcentaje, se debe tomar en cuenta que depende del tipo de fluido que va a transportarse por la válvula, es decir, la viscosidad o densidad de la misma y el ambiente de trabajo en el cual se va a mantener operativo.

Los principales tipos de válvulas por accionamiento son:

Válvula de bola

En la válvula de bola o esfera, la apertura y cierre, se produce por el giro de una esfera taladrada. Cuando este taladro está alineado con la tubería, permite el paso del fluido. Por el contrario, cuando el taladro está perpendicular al fluido, no puede circular. El movimiento de la esfera es de un cuarto de vuelta (90°) Figura 11 por lo que la apertura o cierre se produce a gran rapidez (expert, 2020).

Figura 11

Válvula de bola



Nota. Figura tomada de (STH expert, 2022)

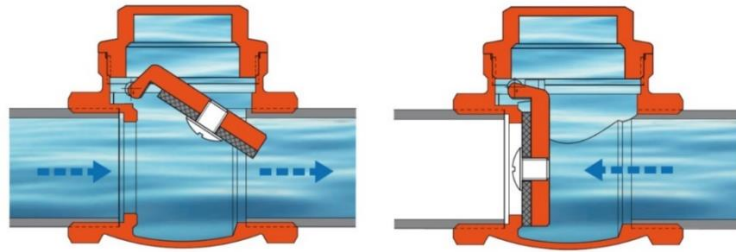
Válvulas de retención

Las válvulas de retención son válvulas unidireccionales e integrales que tienen como función principal evitar el contraflujo de un sistema, esto sucede debido a que la presión del fluido que circula abre la válvula, mientras que el mecanismo de retención o la inversión del fluido al regresar se encarga de cerrar la compuerta por ende la válvula; cabe agregar que existen diferentes tipos de mecanismos que cierra la compuerta por ende para la selección de los mismos depende de la presión de trabajo, la temperatura, el ambiente o la limpieza del fluido, así como los discos o componentes móviles que son parte del mecanismo realizan

movimiento constantes sí la fuerza de la velocidad no es la adecuada para mantenerlas la apertura estática cuando el sistema está en funcionamiento (Rangel, 2009).

Figura 12

Válvula de retención



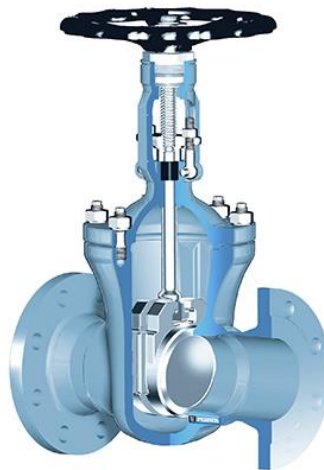
Nota. Figura tomada de (STH expert, 2020)

Válvulas de compuerta

Es de tipo multivuelta, en la cual se cierra el paso con un disco vertical de caras planas (cuña o compuerta) que se desliza en ángulo recto sobre los asientos Figura 13. Esta cuña interior está recubierta de goma, con la que conseguimos una muy buena estanqueidad para el fluido (expert, 2020).

Figura 13

Válvula de compuerta



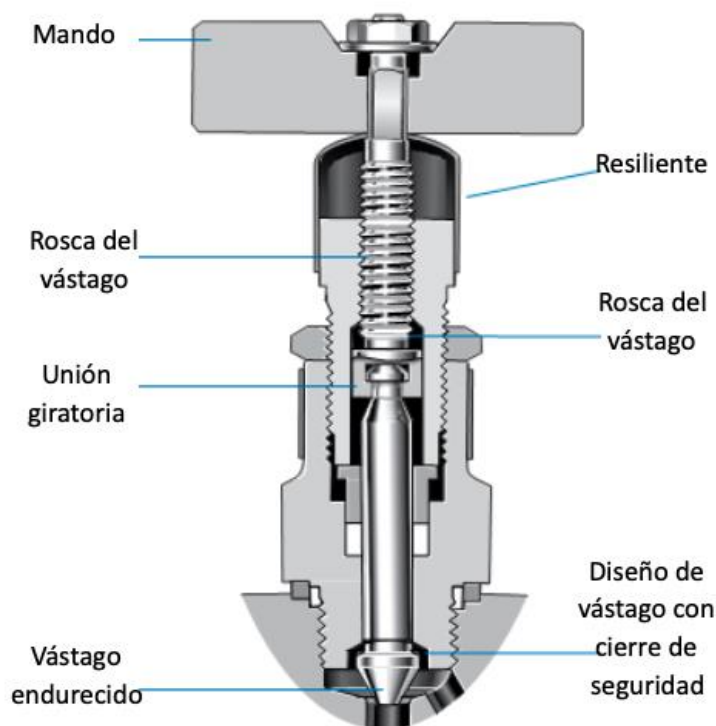
Nota. Figura tomada de (GRM INDUSTRIAL, s/f)

Válvulas de aguja

La válvula de aguja debe su nombre a su diseño, caracterizado por poseer un vástago cónico delgado Figura 14 que hace de obturador sobre un orificio con un diámetro mucho más pequeño que el diámetro nominal de la propia válvula, de tal forma que es ideal para tuberías de diámetros pequeños pero a altas presiones, por ende sus diseños solo se realizan en dimensiones chicas y extremos roscados (provaltec, 2021).

Figura 14

Válvula de aguja



Nota. Figura tomada de (provaltec, 2021)

Electroválvulas

Son dispositivos que responden a pulsos eléctricos, debido a la corriente que circula a través del solenoide es posible abrir o cerrar la válvula controlando, de esta forma, el flujo de fluidos. A la circular corriente por el solenoide se genera un campo magnético que atrae el

núcleo móvil y al finalizar el efecto del campo magnético, el núcleo vuelve a su posición, en la mayoría de los casos, por efecto de un resorte.

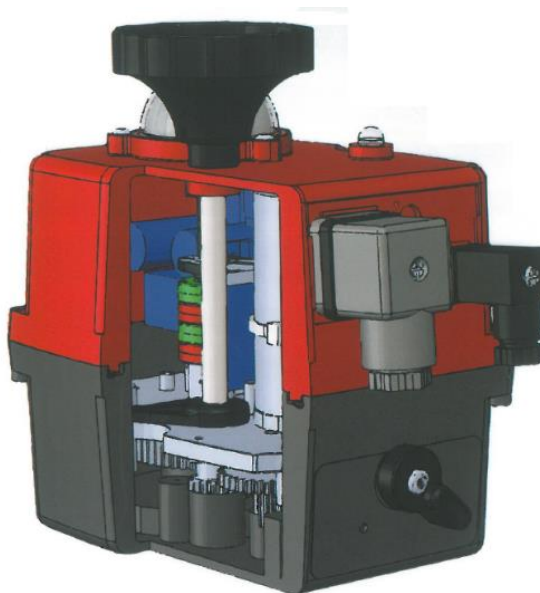
Las electroválvulas se utilizan en gran número de sistemas y rubros industriales que manejan fluidos como el agua, el aire, el vapor, aceites livianos, gases neutros y otros. En particular, las electroválvulas suelen implementarse en lugares de difícil acceso ya que pueden ser accionadas por medio de acciones eléctricas.

Válvula J4C

Los actuadores J+J series J4C 20 a 300 utilizan energía eléctrica para su funcionamiento. Recordamos que tan solo personal especializado efectúe las conexiones o ajustes del actuador. El actuador eléctrico dispone de elementos exteriores Figura 15, cada uno con una función diferente.

Figura 15

Vista interna y externa Válvula J4C



Características importantes de la Válvula J4C

- La válvula puede trabajar en dos mandos que son el manual y modo automático.

- Existen varios modelos de la válvula J4C por ende en esta sección nos enfocaremos a las S20 a 24VDC Figura 16.

Figura 16

Cuadro con características de válvula J4C

J4C S20 / B20						
Voltage	Unload		Max. Operational Torque 20Nm		Max. Torque Break 25Nm	
	A	W	A	W	A	W
12 VDC	0,75	9,06	1,80	21,60	1,95	23,36
24 VDC	0,45	10,77	0,90	21,49	0,97	23,39
48 VDC	0,21	9,93	0,42	20,38	0,46	22,07
110 VDC	0,07	8,00	0,13	14,30	0,14	15,70
12 VAC	1,04	12,51	1,85	22,18	2,28	27,32
24 VAC	0,59	14,20	1,12	26,77	1,28	30,62
48 VAC	0,34	16,37	0,69	33,16	0,75	36,22
110 VAC	0,14	15,73	0,27	29,52	0,30	32,67
240 VAC	0,10	23,76	0,15	36,43	0,16	39,07

Diagrama P&ID

Son planos generadas para realizar los diagramas de instrumentación y tubería, para su desarrollo se debe conocer las reglas donde se establece como identificar cada simbología, debido que hay un sinnúmero de figuras para cada válvula o tanque.

Pruebas de lazo

Las pruebas de lazo se realizan en los sistemas de control para verificar que el proceso esté funcionando de manera adecuada, asegurando que los instrumentos de medición, control y actualización estén trabajando óptimamente, uno de los principales objetivos de este procedimiento es que se pueda identificar los problemas antes de tener complicaciones cuando

el sistema empiece a operar dado que puede crear daños que afecten a la calidad y eficiencia del equipo.

Las pruebas de lazo pueden ser realizadas tanto en sistemas analógicos como digitales, por ende, son funcionales para diferentes ciclos de un proceso, debido a que puede ser utilizado para identificar la correcta puesta en marcha de un sistema, en la optimización del proceso o en el mantenimiento preventivo sin exponer ningún equipo que interfiera en el sistema.

La prueba de lazo consiste en introducir una señal de entrada que puede ser de temperatura, presión, nivel, o caudal en el sistema para medir la respuesta que proporciona el sistema con la entrada, esta señal de entrada puede ser generada por un calibrador de procesos o algún otro simulador, y se mide con un instrumento de medición que se encuentra en el sistema, en caso de que los resultados obtenidos no sean adecuados o no cumplan con lo esperado se procede a tomar acciones correctivas en el sistema o instalación.

La señal de entrada también puede ser enviada a un controlador para que lea y analice el valor de tal forma que el mismo pueda tomar acciones y enviar señales de salida a un actuador y de esa forma comprobar que el actuador está funcionando de acuerdo a los parámetros establecidos con eso se logra comprobar la eficiencia del controlador y de actuador que se utiliza, cabe agregar que muchas veces este tipo de pruebas se desarrollan en bancos o cámaras de pruebas debido a la dificultad de adquirir las señales físicas que se obtienen en campo abierto.

Calibrador de Procesos

Son equipos que suelen funcionar mediante baterías y desempeñan su trabajo fundamentalmente en campo y procesos industriales, sus asistencias metrológicas suelen ser buenas ya que actuarán como la referencia en los controles de la instrumentación de campo, siendo también útiles al momento de calibrar instrumentos. Sus diseños son ligeros, ergonómicos y compactos asociando funcionalidad con autonomía y robustez en un solo

dispositivo. Los calibradores de proceso contienen uno o diferentes canales de entradas y salidas de señales eléctricas que pueden ser corriente o voltaje para el control de la instrumentación presente en los procesos industriales (FemtoCal, 2022).

Una de las funciones más comunes de este dispositivo es verificar, ajustar y calibrar materiales de medición utilizados en procesos industriales, tales como transmisores de presión, temperatura, caudal, nivel y otros instrumentos similares. El calibrador de procesos simula señales de entrada y salida para el instrumento que se está calibrando, lo que permite verificar si el instrumento está midiendo correctamente y ajustarlo si es necesario.

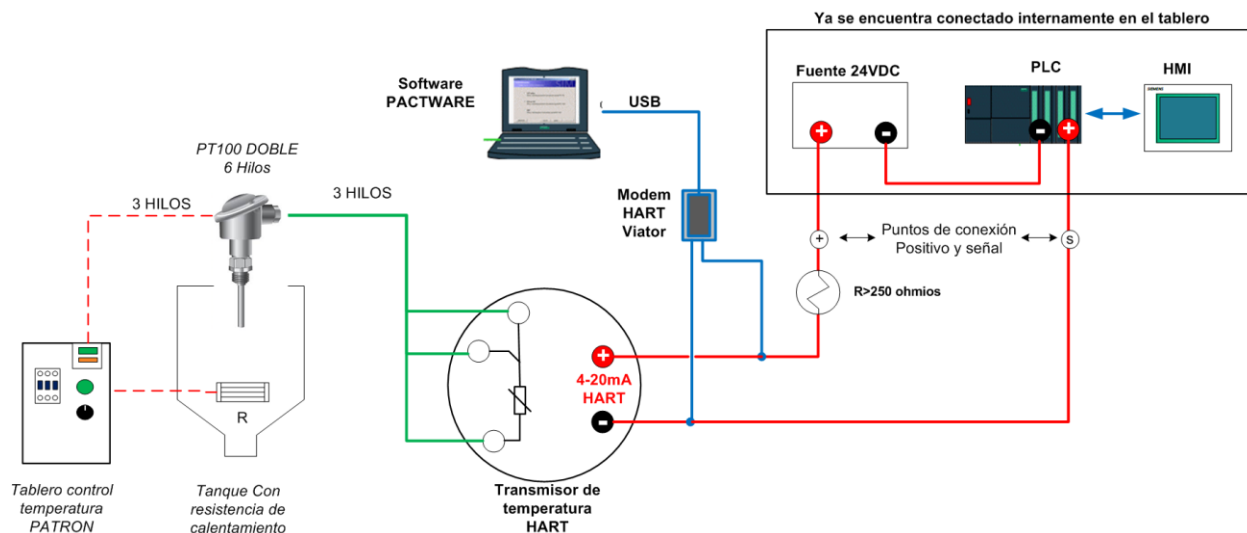
Los calibradores de procesos son utilizados para realizar pruebas de lazo en procesos industriales, por ende, son importantes para garantizar que los instrumentos de medición en los procesos industriales funcionen de manera precisa y confiable, lo que es esencial para garantizar la calidad del producto, la seguridad y la eficiencia del proceso. Es importante considerar que flexibilidad en las funciones que puede brindar un calibrador de procesos va de acuerdo a la marca y modelo, debido a que existen una gran variedad del mercado.

Calibrador de Procesos Fluke 754

El Fluke 754 es un calibrador de procesos multifunción de alta precisión que se utiliza para calibrar, configurar y probar dispositivos de medición de procesos como transmisores de presión, temperatura, flujo, nivel y otros instrumentos similares, dado que cuenta con una amplia gama de funciones, incluyendo la simulación de señales de entrada y salida, la medición de corriente, voltaje, resistencia y frecuencia, la documentación de resultados de prueba y la configuración de instrumentos de medición. Una de las innovaciones que presenta este modelo Fluke 754 es la incorporación de varias funciones de comunicación HART Figura 17 que permiten manipular los instrumentos HART.

Figura 18

Calibración de un transmisor de temperatura con comunicación HART



Nota. Figura tomada de (Piñeros, 2014).

El protocolo HART se utiliza ampliamente en la industria para la medición y control de procesos en áreas como la petroquímica, la generación de energía, la industria alimentaria y farmacéutica, entre otras, debido a que el protocolo HART permite la comunicación bidireccional entre maestro y uno o más esclavos, esta comunicación se realiza a través de una señal analógica de corriente de 4-20 mA, que se utiliza para transmitir información digital adicional en superposición, permitiendo que la transmisión de información que la transmisión de información de proceso y de diagnóstico se dé al mismo tiempo con el uso de un solo cable.

Características del protocolo HART:

- Comunicación bidireccional entre dispositivos maestros y esclavos.
- Transmisión de información con señales de corriente analógica de 4-20 mA.
- Soporte para diagnóstico y verificación remota de dispositivos.
- Interoperabilidad entre dispositivos de diferentes fabricantes.
- Compatibilidad con sistemas de control de procesos basados en bus de campo y sistemas de control distribuido (DCS).

Acondicionamiento de señales

El escalamiento de señales consiste en cambiar el tipo de señales sea de físicas a eléctricas o de eléctricas a física, esto se debe a que los sistemas de control no tienen la capacidad de procesar la señal eléctrica emitidas por los sensores de medición, es decir que el acondicionamiento de señales es convertir los valores de señales eléctricas en formas utilizables.

Conversión de señal lineal de corriente a presión

Se utiliza la ecuación de la recta por ende es importante identificar el rango con el cual se va a trabajar, en este caso de acuerdo a la comunicación HART el valor de corriente es de 4 a 20 mA y del instrumento que es el transmisor de presión de un rango de 0 a 500 PSI, para reemplazar en la ecuación:

$$Y = m * (X - X_1) + Y_1$$

Y donde m es la pendiente y se calcula de la siguiente manera:

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$

Donde

Y_2 : El valor más alto de corriente, 20 mA.

Y_1 : El valor más bajo de corriente, 4 mA.

Y : Un valor de presión en PSI.

X_2 : El valor más alto de presión, 500 PSI.

X_1 : El valor más bajo de presión, 0 PSI.

X : Un valor de corriente en mA.

Se calcula la variable m , sustituyendo los valores:

$$m = \frac{20 - 4}{500 - 0}$$

$$m = 0,032$$

Y posteriormente se reemplaza en la ecuación principal

$$Y = 0,032 * (X - 0) + 4$$

$$Y = 0,032 * X + 4$$

Se despeja X, entonces:

$$X = \frac{Y - 4}{0,032}$$

Se asigna valores a y, en todo su rango que es de 4mA a 20 mA, obteniendo valores para X en Tabla 1.

Tabla 1

Valores del instrumento para cada señal de corriente

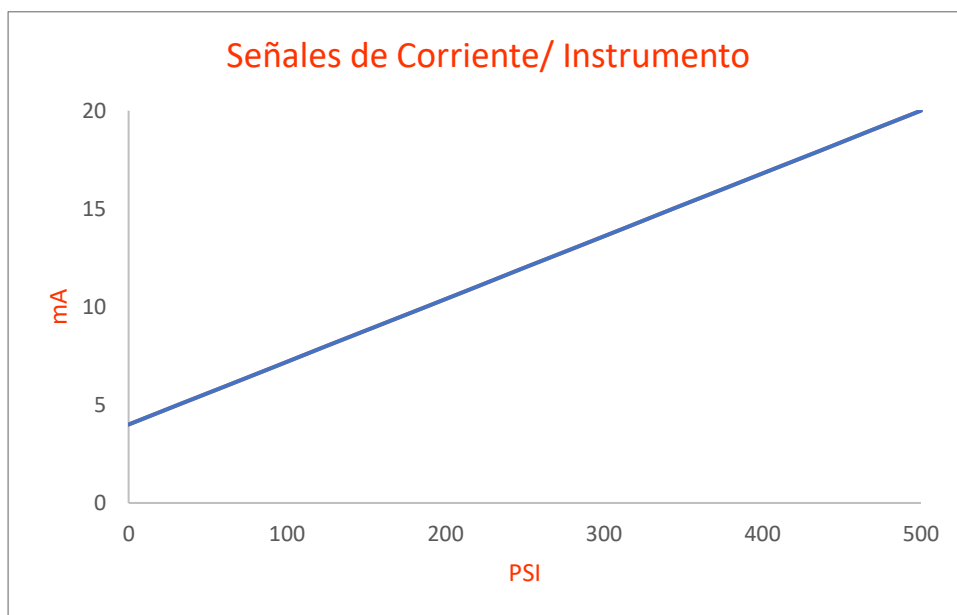
Señal de corriente (mA)	Instrumento (PSI)
4	0
5	31
6	63
7	94
8	125
9	156
10	188
11	219
12	250
13	281
14	313
15	344
16	375
17	406

Señal de corriente (mA)	Instrumento (PSI)
18	438
19	469
20	500

Al graficar los puntos de acuerdo a los valores en y se obtiene Figura 19.

Figura 19

Gráfico de línea de señal en mA a PSI



Capítulo II

Diseño e implementación

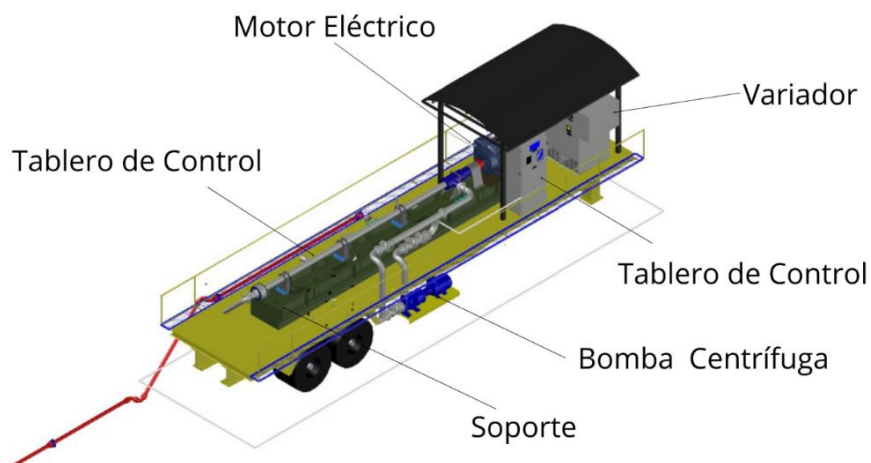
El siguiente capítulo parte con el análisis de la situación inicial de la unidad HPS estándar que se construye y opera en los campos petroleros que son cubiertos por Sertecpet S.A. para identificar el funcionamiento y determinar los elementos necesarios para la implementación del control automático en la despresurización de la unidad HPS 12 y de esa forma evitar la ruptura de los sellos mecánicos.

Arquitectura Física

En el diseño CAD que se muestra en Figura 20 se puede observar que el sistema de bombeo horizontal se encuentra sobre una plataforma con una base para la bomba horizontal, un motor y el acoplamiento a través de la cámara de empuje, adicional está la línea de descarga que se conecta a la bomba centrífuga ubicada a un lado sobre la misma plataforma en una estructura en voladiza, en la parte derecha se observa el variador de frecuencia que está debajo de una caseta diseñada para cubrir al motor y variador de la lluvia debido a que estas unidades operan en cambio abierto.

Figura 20

Diseño mecánico de HPS



Nota. Figura adaptada de (Pérez, 2022)

Sistema Eléctrica

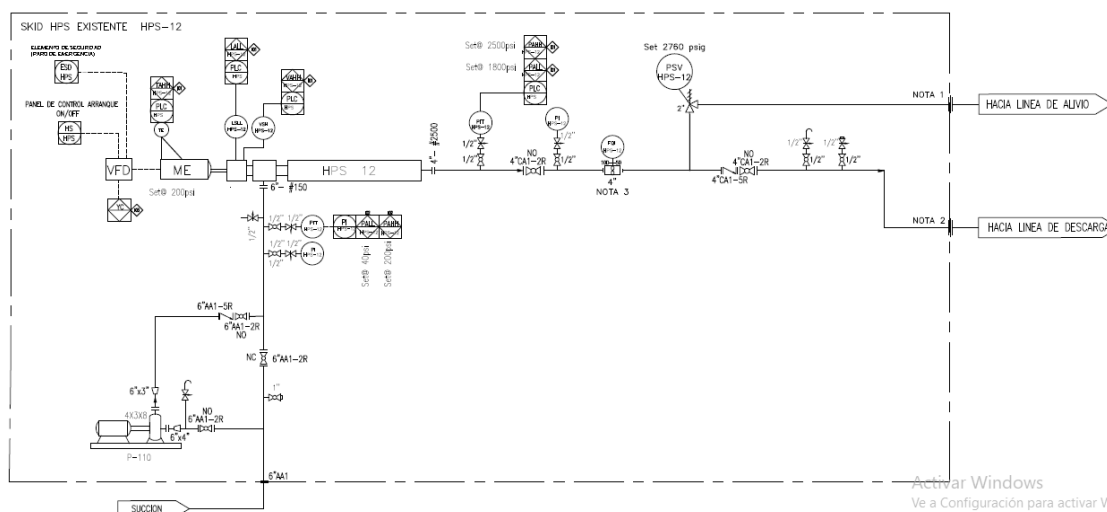
El sistema eléctrico de la unidad se conforma de dos partes, el primero es el sistema de potencia conformado por el tablero de distribución que energiza al variador para alimentar al motor eléctrico principal de la bomba Multietapas y el motor de la bomba centrífuga, el segundo sistema se encuentra conformado del PLC que se encarga de adquirir los datos de los transmisores de presión, nivel, temperatura y vibración para mostrar parámetros de funcionamiento de la unidad HPS, y a su vez activar alarmas visuales y sonoras en caso de tener valores fuera del rango normal.

Diagrama P&ID

El diagrama P&ID de la Figura 21, representa al sistema completo de la unidad y se puede visualizar con más detalle en el Anexo A, está conformado de instrumentos de medición como PI (manómetros), PIT (transmisores de presión) y FQI (anализador de flujo), también indicadores, bombas, válvulas de bola, y todos los elementos que conformar el sistema de bombeo horizontal, fuera del recuadro del diagrama existen flechas indicando que por ahí se dirigen las líneas de descarga, de alivio, y una flecha de la línea de ingreso del fluido.

Figura 21

Diagrama P&ID inicial



Nota. Figura tomada de (Pérez, 2022)

El sistema de bombeo horizontal utiliza los transmisores para medir la presión del fluido que pasa por las líneas de succión y de descarga, sin embargo la sobrepresión que afecta a los sellos mecánicos es la que se da en la línea de succión debido a que los sellos mecánicos no soportan una cantidad mayor a los 200 PSI y tienden a romperse provocando fallas en el sistema, por ende, el enfoque del proyecto está en despresurizar de forma automática la línea de la cámara de succión para ello se utiliza una válvula de bola debido a que contiene una esfera que permite interrumpir el paso del fluido a través de un actuador eléctrico que es manipulado con un controlador programable.

Selección del actuador

La selección del actuador depende varios factores como el ambiente de trabajo, por ende, para el proceso de selección se aplica el método cualitativo por puntos, el cual consiste en determinar los factores importantes para el proceso y luego atribuir un valor de acuerdo a su importancia (Sapag et al., 2014) por lo cual se considera tres tipos de actuadores cuyas Fichas Técnicas se encuentran en el Anexo B, Anexo C y Anexo D, de donde se extrae información relevante de cada ficha para realizar la comparativa en la Tabla 2, enlistado los factores que interviene en la selección y los parámetros requeridos con las características que presentan cada actuador eléctrico.

Tabla 2

Características de criterios de los actuadores eléctricos

	VB030M	J+J J4C	AME 685
Factor	Características		
IP	68	67	54
Mantenimiento	Mensual	Anual	Trimestral
Temperatura (°C)	-20 a 55	-20 a 70	-40 a 70

	VB030M	J+J J4C	AME 685
Voltaje (V)	24	24	24
Torque Limitante	STD	25N*m	STD
Tiempo de trabajo (s)	8	10	2,7
Costo	Medio	Bajo	Elevado
Peso (Kg)	3,3	1,8	7,5

Luego de identificar las características de cada válvula, en la Tabla 3 se procede a ponderar por el peso de cada factor para la selección del actuador, se añade un puntaje en escala de 1 al 5, donde 1 es el más bajos o alejado y 5 es el valor más alto, es decir el más adecuado a los parámetros requeridos, y de esa manera se define definir el valor de la característica presentada por el actuador, se suma el total de la evaluación y posteriormente se identifica la estimación más alto.

Tabla 3

Evaluación de criterios de selección de los actuadores

Factor	VB030M			J+J J4C		AME 685	
	Peso	Puntaje	Evaluación	Puntaje	Evaluación	Puntaje	Evaluación
IP	30%	5	1,5	4	1,2	2	0,6
Mantenimiento	15%	1	0,15	5	0,75	3	0,45
Temperatura	10%	3	0,3	4	0,4	5	0,5
Voltaje	15%	5	0,75	5	0,75	5	0,75
Torque Limitante	5%	3	0,15	4	0,2	3	0,15
Tiempo de trabajo	5%	3	0,15	2	0,1	5	0,25
Precio	10%	4	0,4	5	0,5	2	0,2

		VB030M		J+J J4C		AME 685	
Peso	10%	4	0,4	5	0,5	2	0,2
Total	100%		3,4		3,9		2,9

Nota. En los resultados totales se observa que la válvula J+J J4C obtiene una puntuación de 3,4/5 por ende es considerada como el actuador ganador para la implementación en el control automático.

Selección del Controlador Lógico Programable

Existen varios tipos de controladores lógicos programables, sin embargo, la selección se realiza entre el PLC S7 1200 Siemens y el PLC LOGO Siemens, para ello se utiliza el método cuantitativo por puntos con escala de 1 a 5, enlistando las características de cada PLC y se proporcionan valores de acuerdo al peso de cada factor en la Tabla 4.

Tabla 4

Selección de controlador lógico programable

Factor	Peso	PLC S7-1200			PLC LOGO 230CE SIEMENS		
		Valor	Puntaje	Evaluación	Valor	Puntaje	Evaluación
Voltaje de alimentación	10%	5-24 V	4	0,4	115-230 VAC	3	0,3
Entradas	5%	14	5	0,25	8	3	0,15
Salidas	5%	10	5	0,25	4	3	0,15
Comunicación	10%	Profibus	5	0,5	Modbus	3	0,3
		WAN			Modbus		
		RS232			Konnex bus		
		Modbus			Ethernet		
		Ethernet					

Factor	PLC S7-1200				PLC LOGO 230CE SIEMENS		
	Peso	Valor	Puntaje	Evaluación	Valor	Puntaje	Evaluación
		STEP 7					
Software de Programación	10%	TÍA	4	0,4	LOGO!Soft	3	0,3
		PORTAL					
<i>Display</i> integrado	20%	No	1	0,2	Si	5	1
Costo	40%	Elevado	3	1,2	Bajo	5	2
Total	100%			3,2			4,2

Se identifica que el controlador lógico programable más óptimo para realizar la implementación es el PLC LOGO 230CE Siemens dado que presenta características muy importantes como son la integración de *Display*, y tiene como plus el bajo costo de adquisición al ser un controlador industrial, no obstante de acuerdo al Anexo E, la empresa certifica que la unidad HPS 12 en la cual se va a implementar el control automático de despresurización, ya posee un PLC S7 1200 operativo y funcional que debe ser usado en el presente proyecto.

Desarrollo de la programación para el control automático

La implementación de control automático se realiza a través del controlador lógico programable, por ello es importante definir el proceso que va a realizar y los componentes que forman parte del proceso.

Diagrama de Flujo

El proceso inicia con la toma de valores en la línea de succión a través de un PIT (Transmisor indicador de presión) con rango de 0 a 500 PSI certificado y calibrado por Metrologic (Centro de metrología e inspección) como lo muestra el ANEXO F, luego ese valor es transmitido como señal de corriente al PLC para ser analizado, debido a que el sello mecánico solo soporta presiones de fluido inferior a 200 PSI, por ende en caso de ser mayor procede a abrirse la válvula, provocando la despresurización de la línea de succión, cuando el

PIT detecte que la línea de succión es inferior a 200 PSI procede a cerrarse la válvula finalizando el proceso como se muestra en el diagrama de flujo de la .

Figura 22

Diagrama de Flujo del proceso

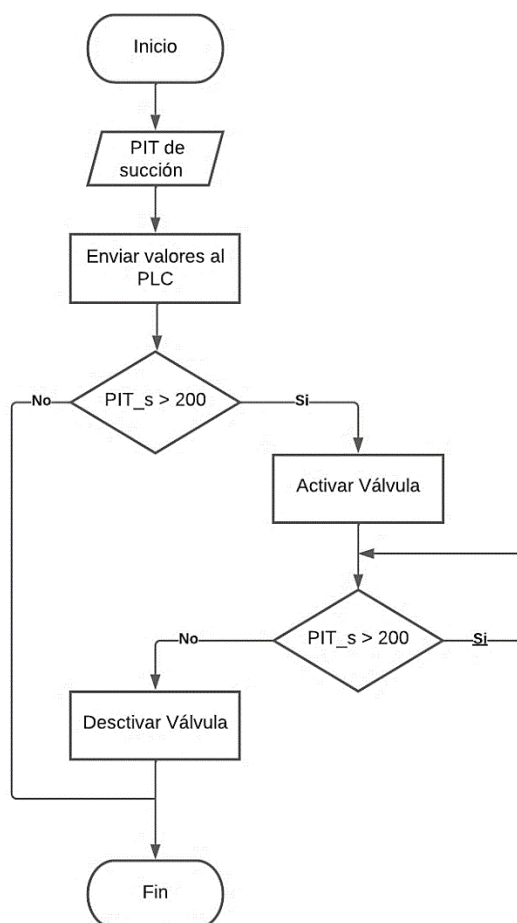
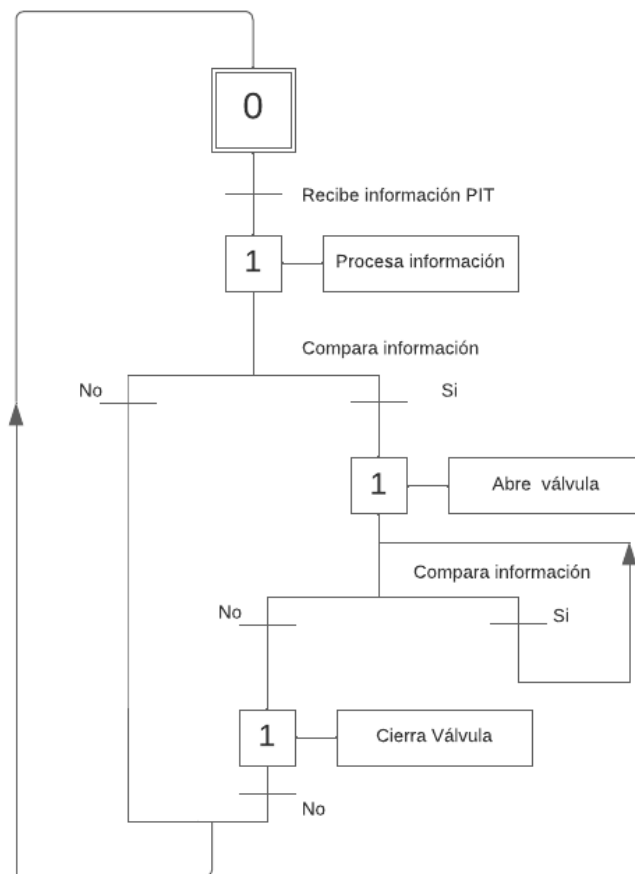


Diagrama Grafcet

En el diseño del diagrama Grafcet existen tres niveles, en el presente documento se desarrolla el proceso a través del nivel 1 o descripción funcional que se encarga de detallar el proceso de forma general sin adentrar en detalles tecnológicos (Jaspe Lombana & Mosquera Amaya, 2007), como se presenta en la Figura 23, donde se describe la situación sin entrar a identificaciones explícitas.

Figura 23

Diagrama Grafcet Nivel 1 de proceso de despresurización



A partir del diseño Grafcet se procede a programar, en este caso particular se va a realizar la programación en dos Software es decir tanto en el LOGO!Soft que es para el PLC LOGO SIEMENS y en el software del Tía Portal que es para el uso del PLC S7 1200, debido a que la propuesta inicial era utilizar el PLC LOGO SIEMENS, sin embargo, la implementación real se realiza en el PLC S7 1200.

Programación en LOGOSoft

La programación en LOGO!Soft se puede realizar de dos maneras, la más común es por bloques, no obstante, en el presente proyecto se realiza la programación Ladder, para ello

se utiliza un conmutador analógico de valor umbral Figura 24 que permite establecer un límite, en este caso para la presión de succión, para ello se realiza la configuración dando clic en el cuadro del conmutador, cuando se abre la pestaña que se muestra en la Figura 24 se selecciona la el sensor de 0-20mA de acuerdo al protocolo HART utilizado, y el rango del instrumento corresponde al rango de PIT, es decir de 0 a 500 PSI.

Figura 24

Configuración del conmutador analógico de valor umbral

SF002 [Conmutador analógico de valor umbral]

Parámetros Comentario

Parámetro

Nombre de bloque:

Sensor

Sensor: 4 ... 20 mA

Configuración analógica

Rango de medida

Mínimo: 0

Máximo: 504

Parámetro

Gain: 0,63

Offset: -126

Valor umbral

ON

200 Referencia

OFF

199 Referencia

Posiciones decimales

Decimales en el texto de aviso: 0 +12345

Otros

Protección activa

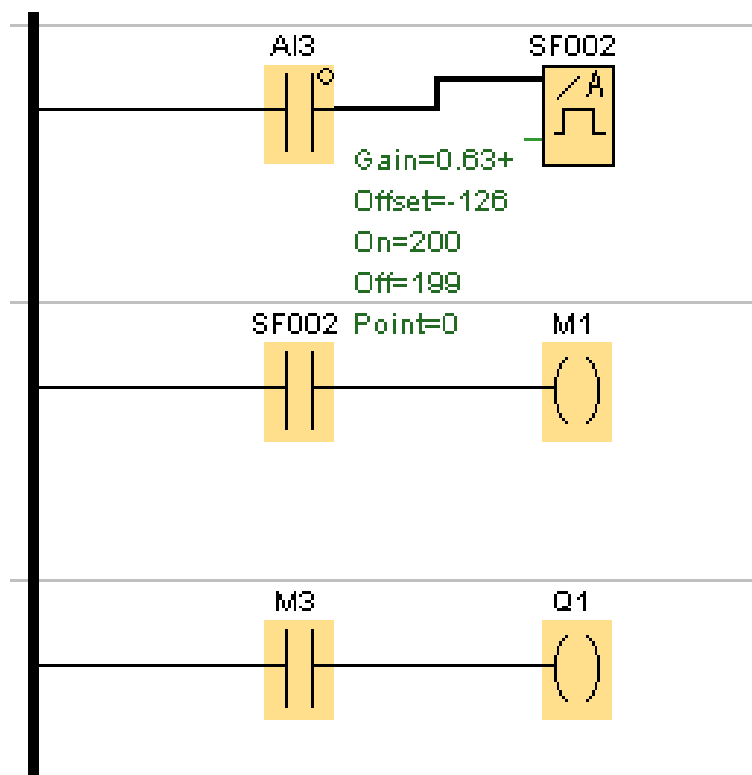
Aceptar Cancelar Ayuda

Al configurar el conmutador analógico con el umbral de 200 PSI se procede a enviar una señal de salida que utiliza un contacto abierto del conmutador Figura 25, y finalmente se

envía a una señal de salida del PLC Logo Siemens al actuador que se encuentra configurado con el tag Q1.

Figura 25

Programación en LOGOSoft para controlar la válvula












Programación en Tía Portal

La implementación del control se realiza utilizando el PLC S7 1200, por ende la programación se realiza en el software Tía Portal, y se inicia colocando los Nombres de las variables a manipularse en el programa, así como las ubicaciones de las direcciones y el tipo de dato Figura 26 dependiendo si son variables de entrada, salida o si se requieren para programación interna en el diagrama Ladder.

Figura 26

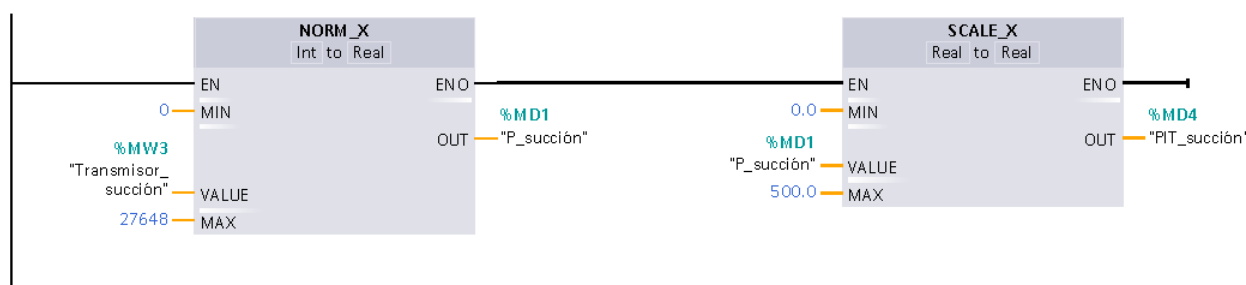
Tags para la programación en Tía Portal

PLC tags			
Icon	Name	Data type	Address
	Ac_Válvula	Bool	%M0.3
	Actuador	Bool	%Q0.5
	Alarma	Bool	%Q0.4
	ByPass	Bool	%M8.1
	P_succión	Real	%MD1
	PIT_Alarma	Bool	%M0.2
	PIT_succión	Real	%MD4
	Transmisor_succión	Int	%MW3
	V_seguridad	Bool	%M8.0

Al tener los tag's, se identifica la variable de entrada que dice *Transmisor succión* la cual permite que los datos proporcionados del transmisor lleguen al PLC como señales de corriente que deben ser escalados a un valor medible y controlable, por ello en la Figura 27 se utiliza los comando se NORM_X y SCALE_X.

Figura 27

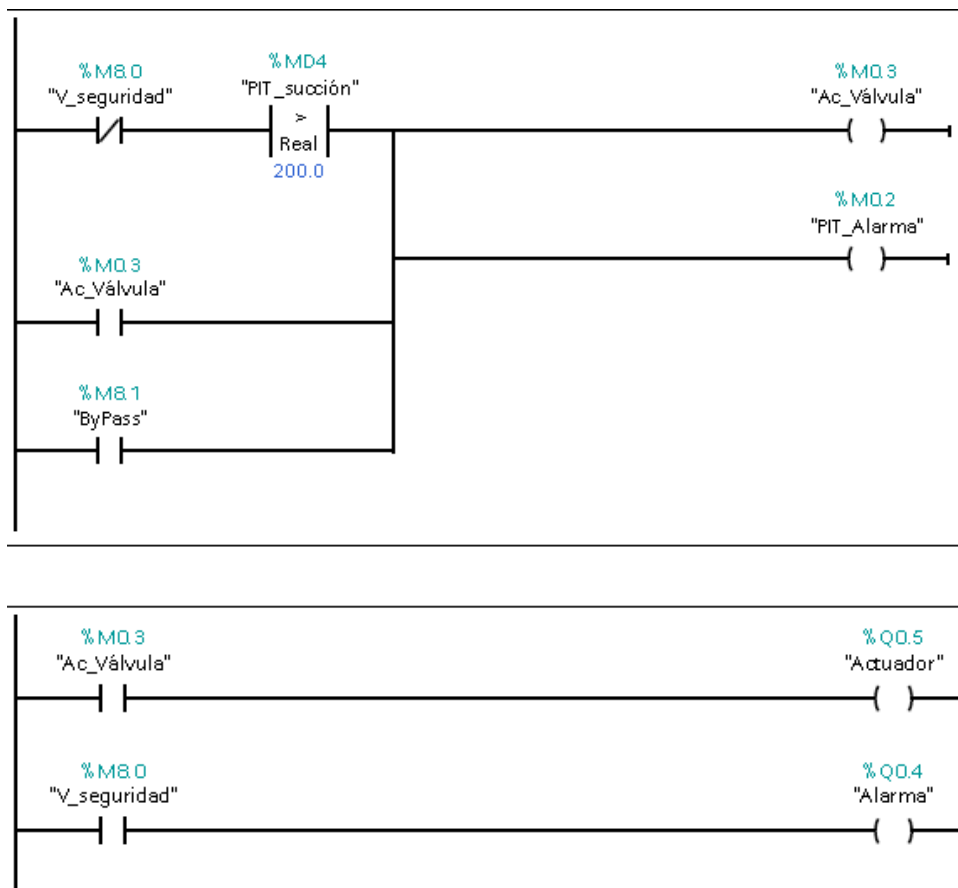
Escalamiento de unidades a PSI



El valor escalado es de 0 a 500 PSI, de acuerdo al rango de transmisor de presión que se encuentra en la línea de succión, el cual es comparado en la Figura 28 con 200 PSI, donde si sobrepasa los 200 PSI se activa la válvula, mientras que si es inferior a los 200 PSI no sucede nada, finalmente el valor es enviado a Q0.5, es decir la salida que corresponde al actuador eléctrico de la válvula.

Figura 28

Programación Ladder para el control del actuador

**Diagrama eléctrico para la implementación de la válvula de control**

El diagrama eléctrico se caracteriza por tener dos partes que son el diagrama de control y el diagrama de potencia, no obstante, ambos diagramas se encuentran en la misma imagen, dado que en el diagrama de potencia se visualiza las conexiones de alimentación para cada elemento como transmisor y actuador, y en el diagrama de control se observa la interacción las señales de salida y entrada del PLC.

Diagrama Eléctrico del control automático con PLC LOGO

En el siguiente diagrama eléctrico de la Figura 29, se observa como el transmisor es alimentado con una fuente de 24V y envía la señal de medición en mA al PLC LOGO a través de la entrada analógica I3, y el programador lógico controlable envía la señal de respuesta a

través de la salida Q0.1 hacia el actuador eléctrico que controla la apertura o cierre de la válvula.

Figura 29

Diagrama eléctrico con LOGO Siemens

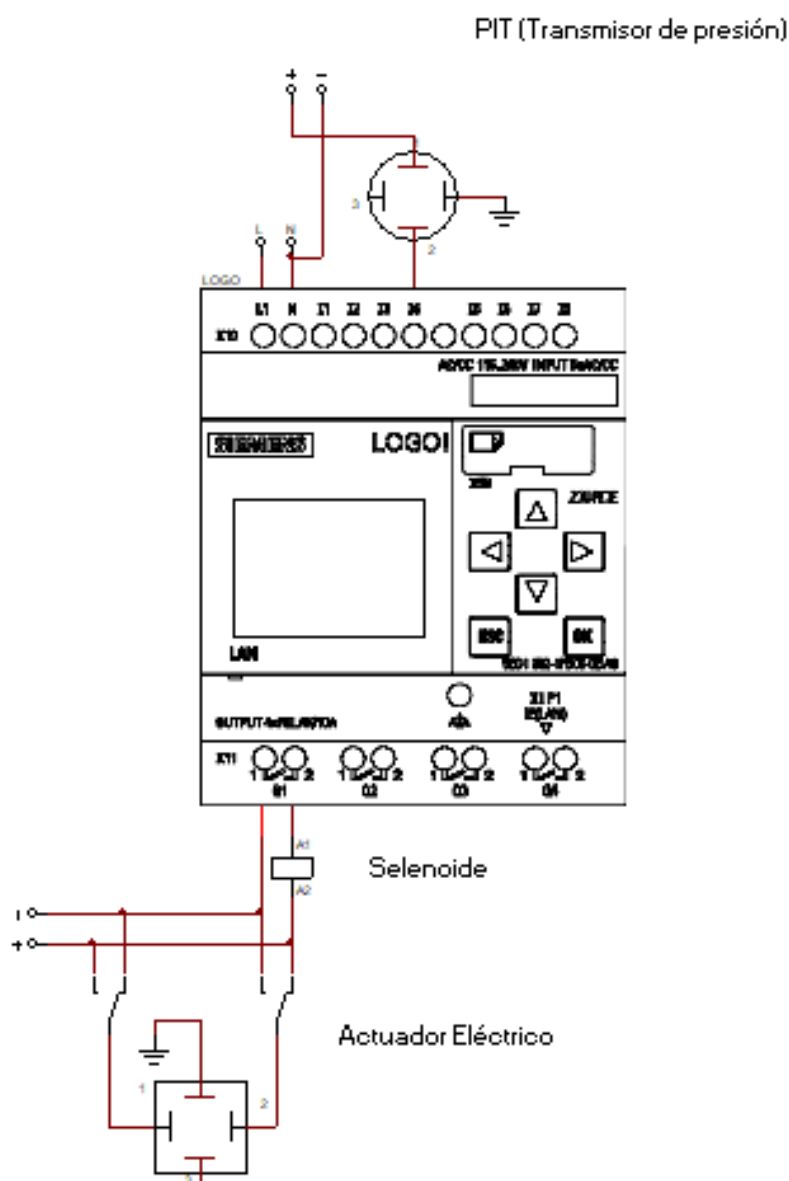


Diagrama Eléctrico del control automático con PLC S7 1200

El diagrama eléctrico presentado en la Figura 30, es similar al diagrama anterior, no obstante, el controlador lógico programable usado es el PLC S7 1200, sin embargo, los

cambios en la conexión son mínimas ya que la entrada de la señal analógica es I0.3, y la salida es de Q0.5, cabe agregar que se utiliza dicha salida debido a que el PLC ya tiene una programación previa en las cuales hace uso de las salidas inferiores a Q0.5.

Figura 30

Diagrama eléctrico utilizando PLC S7 12000

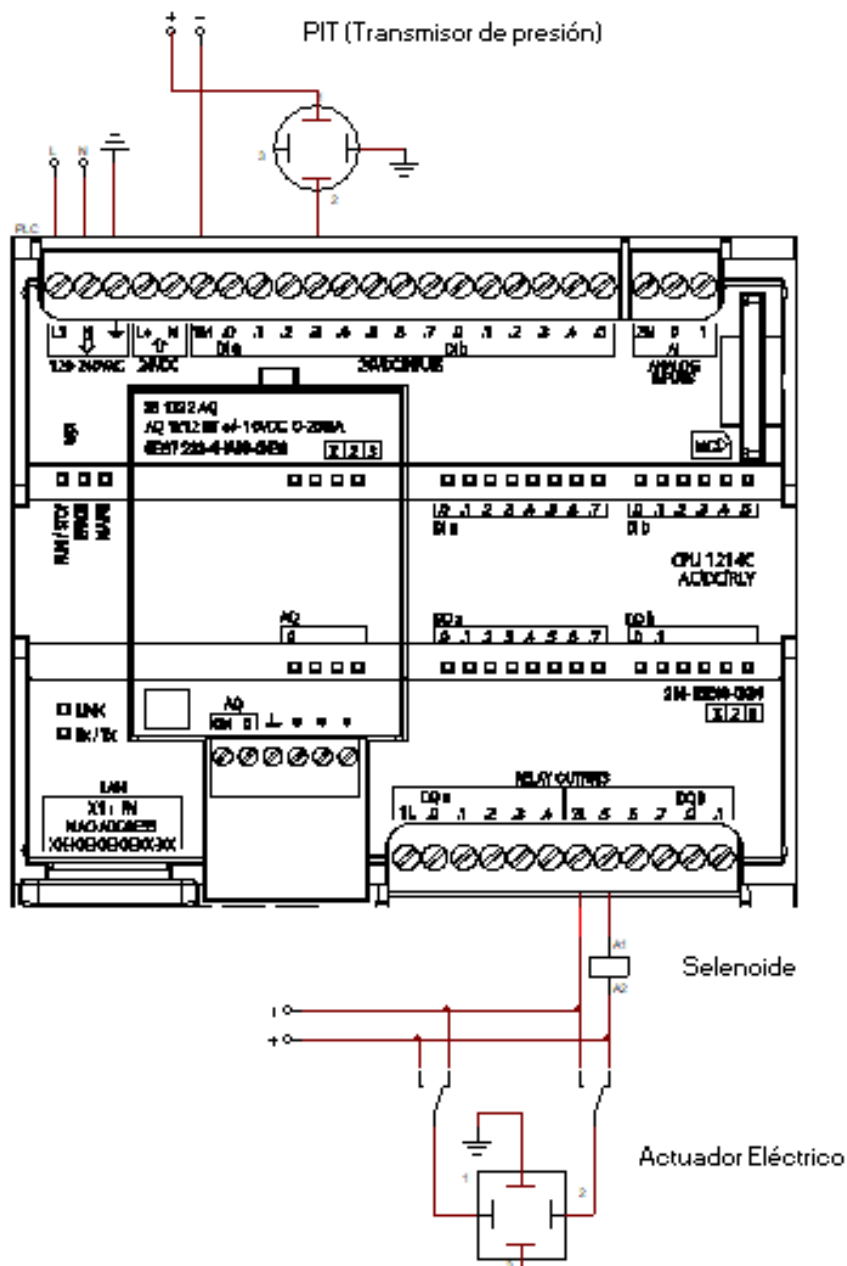
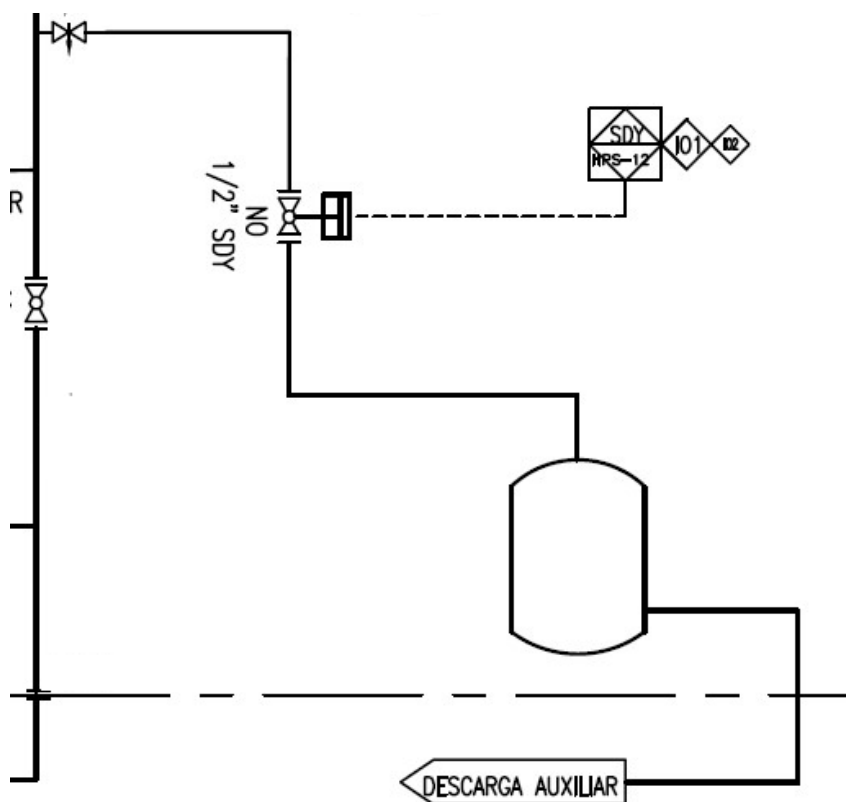


Diagrama P&ID de la implementación de la válvula de control

Se realiza la modificación correspondiente implementando la válvula en el diagrama P&ID presentado inicialmente y se adjunta en el Anexo G, por ello en la Figura 31, se muestra solo el corte de la salida desde la línea de succión utilizando una válvula de aguja para seguridad, luego la válvula de control con su respectivo actuador, posteriormente el bulk tank para la reversa de agua con opción a una descarga auxiliar cuando el tanque esté lleno.

Figura 31

Corte del diagrama P&ID de la implementación de la válvula de control



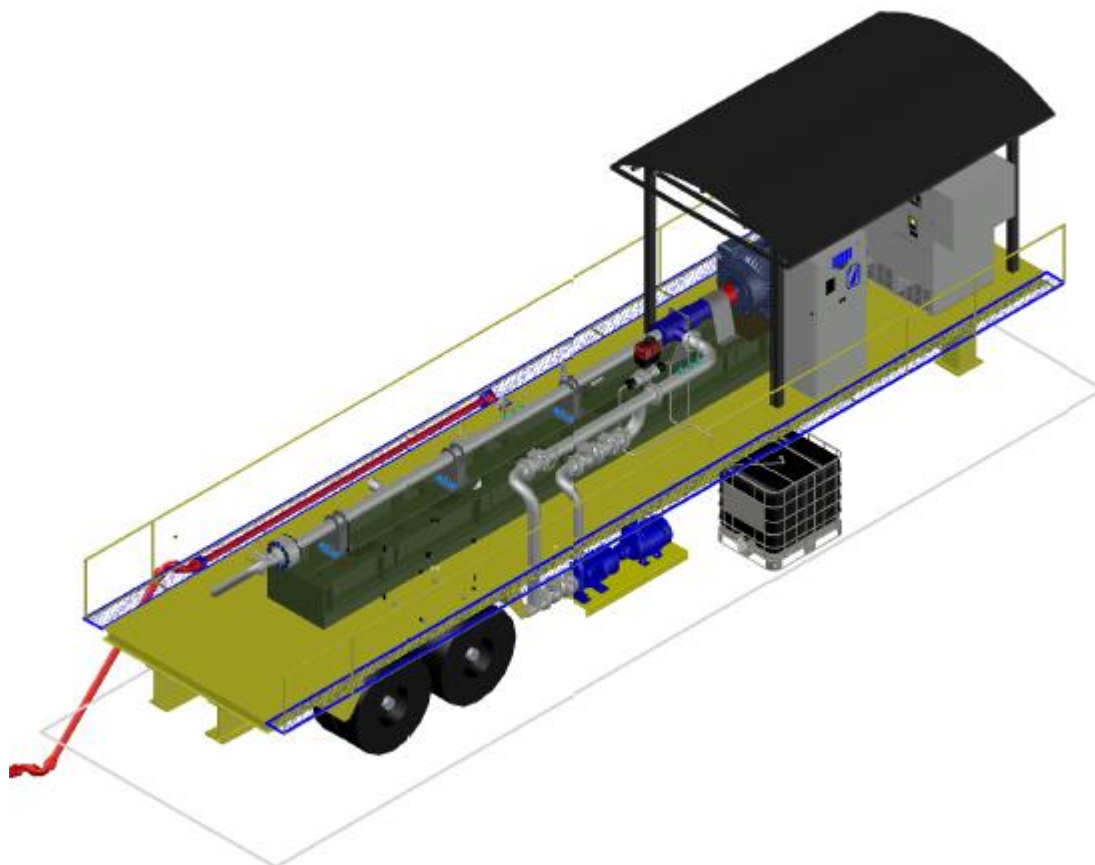
Diseño mecánico con actuado

Al seleccionar el actuador, y los diagramas que intervienen en la implementación se realiza el acoplamiento del actuador eléctrico con su respectiva válvula en el diseño mecánico de la unidad HPS 12, con las conexiones de tubería de cañería de 1/2 " por la cual va a salir el fluido al momento de la despresurización y adicional la línea de desfogue con la misma tubería

desde la salida de la válvula hacia el *bulk tank* que se encuentra debajo de la plataforma de la unidad Figura 32.

Figura 32

CAD de la unidad HPS con el Actuador



Nota. Figura adaptada de (Pérez, 2022)

Implementación del sistema de despresurización en la HPS 12

Instalación de actuador y válvula

Para la implementación de la válvula de control inicia con la adecuación del lugar, con la ubicación de un pedestal para la ubicación del actuador eléctrico y la válvula de control Figura 33, de la misma forma la conexión de los cables a través de las mangueras de seguridad para garantizar la perduración de las mismas. Para la sujeción correcta de la válvula se utiliza

pernos en forma de U, con roscas a los extremos y acoples en la salida de la válvula para posteriormente ubicar la tubería de cañería.

Figura 33

Montaje de la válvula



Conexión del tubing desde la línea de succión

Se construye una salida de tubing desde la línea de descarga hasta la entrada de la válvula de control, y luego desde la salida de la válvula con dirección debajo de la plataforma, estas tuberías se ubican al ras Figura 34 de la estructura con el fin de proteger de accidentes.

Figura 34

Instalación de la tubería de cañería de ½ pulgada.



Al culminar con la implementación de la unidad HPS 12, se carga el programa del tía portal en el PLC, para proceder con las pruebas y finalmente la unidad es liberada en base Coca el 3 de diciembre como se adjunta en el Anexo I.

Ubicación del Bulk Tank en campo

Al transportar la unidad a campo de Petroecuador en Yuralpa se procede a la instalación de la HPS, conectando los cables de alimentación para el variador para iniciar con la inyección del pozo, luego se procede a la ubicación en sitio del *Bult Tank*, se indicia con el figurado de la tubería de cañería, su corte respectivo y se procede a armar la tubería que desde la salida de la válvula hasta la entrada del *Bult Tank*, culminando con éxito Figura 35.

Figura 35

Instalación de Bulk Tank en campo



Se inspecciona todas las conexiones realizadas, el buen estado de los equipos, se procede a revisar el estado de la válvula Figura 36, la misma que se encuentra a la intemperie, sin embargo su diseño robusto hace que no tenga inconvenientes, dejando la unidad HPS 12 en campo, con el sistema de despresurización implementado y en funcionamiento.

Figura 36

Actuador y válvula funcionando en campo



Capítulo III

Análisis y Validación

Pruebas de Funcionamiento

Para las pruebas de funcionamiento se utiliza el método de las pruebas del lazo en el banco de pruebas del Campamento Carlos Robayo López, con el uso de un calibrador de procesos certificado de acuerdo al Anexo H, aplicando el protocolo HART, de tal forma que se emiten señales de voltaje con el dispositivo en lugar del transmisor. Para ello se conecta las pinzas de los terminales del calibrador de procesos en las líneas del transmisor Figura 37.

Figura 37

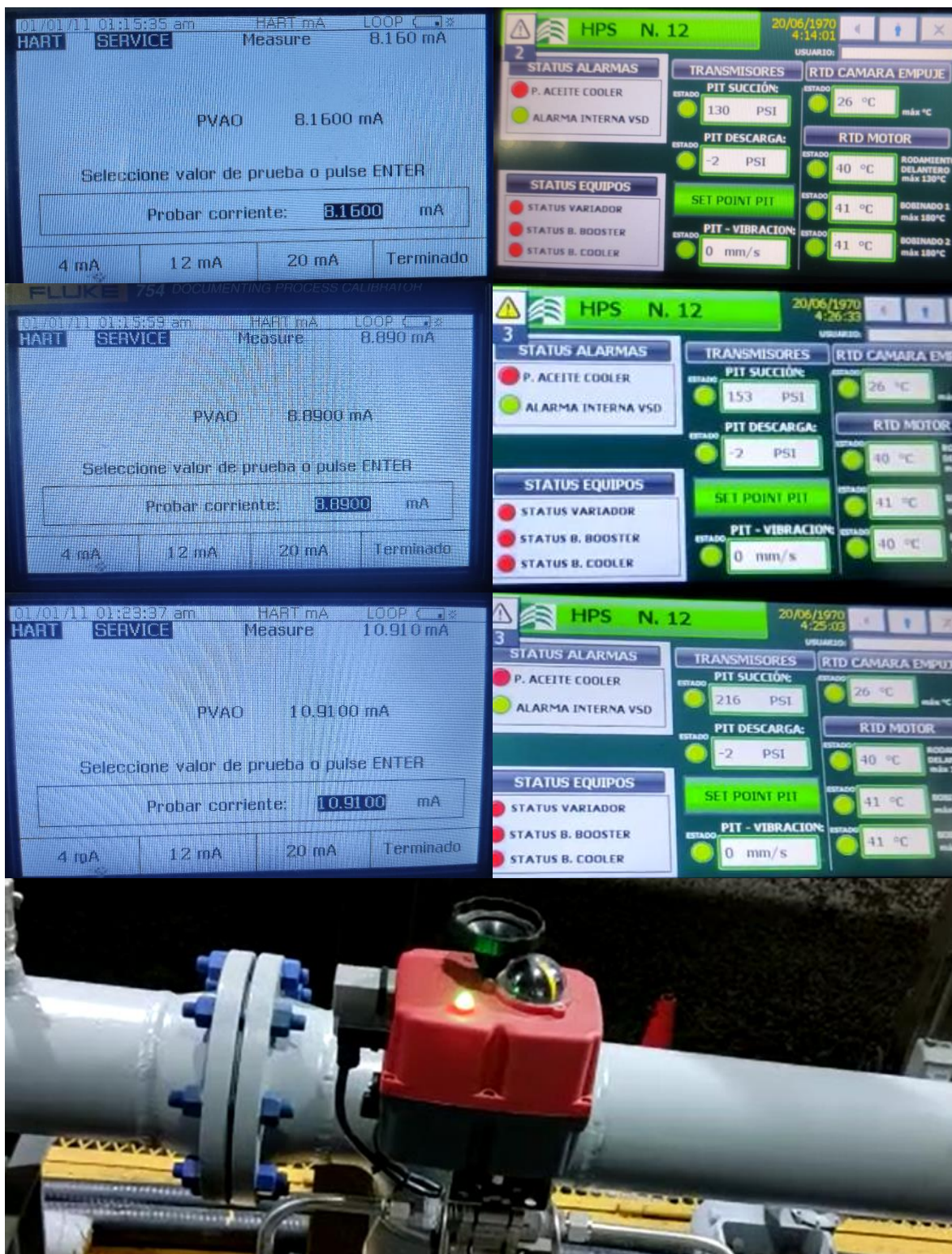
Envío de señal eléctrica utilizando el calibrador de procesos



Se envía diferentes valores aleatorios Figura 38 desde el calibrador de procesos hacia el variador para conocer la reacción de la válvula, tomando en cuenta que cuando el valor enviado sea mayor a 200 PSI, se abre la válvula de control.

Figura 38

Valores obtenidos al realizar la prueba de lazo



Dos de los valores enviados en la Figura 38, dan como resultado presión de succión normal, mientras que uno de ellos, es decir cuando se envía 10,98 mA, existe sobrepresión y el actuador apertura la válvula, de la misma forma en la Tabla 5, se observan valores aleatorios enviados desde el calibrador de procesos y se observa que la válvula se abre cuando sobrepasa los 200, y se cierra cuando es inferior a los 200 PSI.

Tabla 5

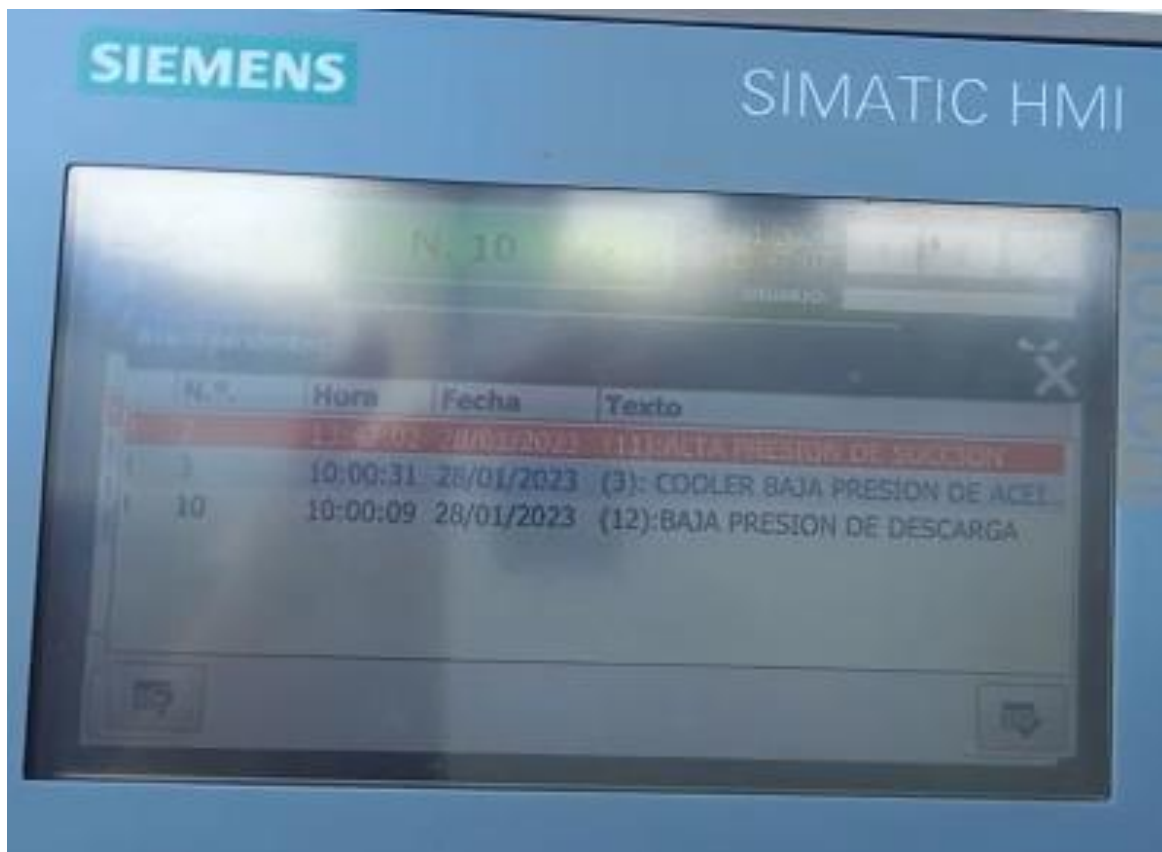
Resultados de pruebas con Procesador de procesos y actuador

Hart (mA)	PSI	Válvula
4,25	8	Cerrado
5,28	40	Cerrado
8,16	130	Cerrado
8,89	153	Cerrado
10,91	216	Abierto
12,56	268	Abierto

Al corroborar que la válvula funciona correctamente en las pruebas de lazo que se realizan en base coca, se envía la unidad a campo con la liberación correspondiente Figura 39, donde la unidad opera con normalidad, sin inconvenientes lo cual se comprueba con el informe del 03 de febrero presentado en el Anexo J otorgada por los supervisores de mantenimiento de la empresa Sertecpet S.A.

Figura 39*Prueba en Campo*

Adicional se revisa el reporte automático generado por el PLC y se observa que el 28 de enero del 2023, el sistema presentó una alarma de alta presión lo cual corrobora el buen funcionamiento del sistema de despresurización debido a que no hubo fallas en el sello mecánico.

Figura 40*Pruebas de variador***Análisis costo beneficio**

Una vez analizada la información de las Órdenes de Trabajo correspondientes al año 2022 de las unidades HPS 04, HPS 05 y HPS 06 de la empresa SERTECPET S.A. que se adjunta en el Anexo K, se logra recopilar la información relevante sobre los mantenimientos correctivos en los cuales se identifica el número de sellos cambiados debido al daño o desgaste y se presenta en tablas para una mejor comprensión.

En la Tabla 6 se detalla los datos de los equipos en lo que respecta al número total de sellos mecánicos cambiados, total de horas en que los equipos han interrumpido sus operaciones por estos cambios y el costo de mano de obra por hora para cada uno de los equipos.

Tabla 6

Resumen de sellos y horas de parada de cada unidad HPS

Equipo	Número De Sellos	Horas De Parada	Costo De Mano De Obra
HPS 04	17	31,5	10
HPS 05	26	66	10
HPS 06	16	29,5	10
Promedio	19,67	42,33	10

El resultado promedio que se obtiene es de 19,67 por ende, aproximadamente 20 sellos mecánicos y 42 horas de parada por HPS en el 2022. De este modo, una vez se obtiene el precio de cada sello mecánico, se estima un costo aproximado, ya que dicho valor puede variar de acuerdo al proveedor o tiempo de entrega de los sellos, y el costo que representa para la empresa el cambio de cada uno Tabla 7:

Tabla 7

Gasto por cambio de sellos

Equipo	Número de Sellos	Precio c/u	Monto Total
HPS 04	17	574,66	9769,22
HPS 05	26	574,66	14941,16
HPS 06	16	574,66	9194,56
Promedio	19,67	574,66	11301,65

Al detallar el número de sellos totales que se han cambiado por unidad en el año, y en la tercera columna el costo por cada sello que es de 574,66\$ para finalmente estimar el gasto total en sellos por cada unidad HPS en el año, se obtiene que el gasto promedio en la compra

de sello por año para cada unidad es de 11301,65 \$. Por otro lado, se tiene el número de horas que se han detenido los equipos, así como el costo, puesto que al prestar servicios a Petroecuador las fallas e incumplimientos dados, generan un costo monetario que es descontado del día fracción que cobra la empresa por el servicio:

Tabla 8

Gasto total por parada de equipos

Equipo	Horas de Parada	Precio Parada	Monto total
HPS 04	31,5	141,30	4450,85
HPS 05	66	141, 30	9325,58
HPS 06	29,5	141, 30	4168,25
Promedio	42,33	141, 30	5981,56

En cuanto a la mano de obra, se obtiene su costo multiplicando las horas en que los empleados han requerido para el cambio en el equipo por el valor de servicio del personal por hora, dando los resultados detallados en la presente tabla:

Tabla 9

Gasto total por mano de obra

Equipo	Horas De Parada	Mano De Obra	Monto total
HPS 04	31,5	10	315
HPS 05	66	10	660
HPS 06	29,5	10	295
Promedio	42,33	10	423,3

Por último, se recopila en una sola tabla todos los costos que influyen directamente en esta problemática, así como sus respectivos promedios, a fin de conocer un estimado anual de costos en cada componente y cuyos resultados se presentan a continuación:

Tabla 10

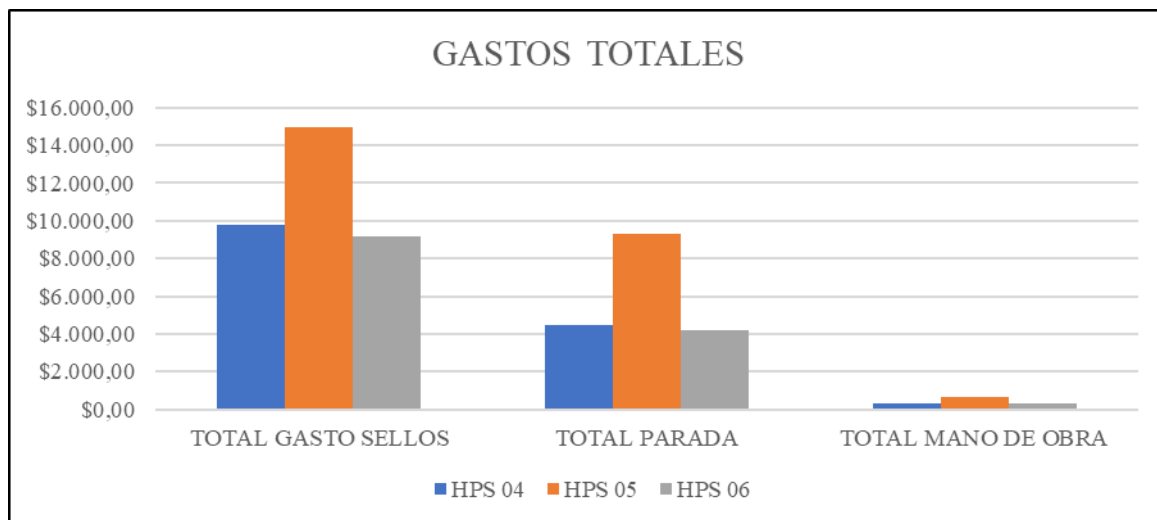
Gatos totales promedio por año de las unidades HPS

TOTAL			
Equipo	Gasto Sellos	Parada	Mano De Obra
HPS 04	9.769,22	4.450,85	315,00
HPS 05	14.941,16	9.325,58	660,00
HPS 06	9.194,56	4.168,25	295,00
Promedio	11.301,65	5.981,56	423,33

Se aprecia que el costo más representativo es del equipo HPS 05, aunque en promedio el costo anual por cambio de sellos mecánicos averiados es de alrededor de \$ 11.000, y se toma en consideración principalmente a 3 equipos para el estudio, la empresa posee más HPS, es decir, el costo de mantenimiento de los equipos es aún mayor Figura 41, realizando la suma total de los gastos promedios se obtiene \$ 17706,54.

Figura 41

Gastos totales de los equipos por fallas de sellos mecánicos



En contraste con los gastos obtenidos en promedio para cada unidad HPS de Sertecpet, se realiza el total de gastos Tabla 11, en cuanto a los elementos y materiales que se utiliza para la implementación del sistema automático de despresurización de la línea de succión, los mismos que son respaldados a través del Anexo L.

Tabla 11

Costos de materiales e implementación del control

Implemento	Precio	Cantidad	Unidad	Costo (\$)
Válvula	801,89	1	EA	801,89
Tubing 3/8	77,86	2	EA	155,72
Conectores	22,00	4	EA	88,00
Cables	0,26	100	EA	26,00
Relés	16,21	1	EA	16,21
Terminal	41,88	1	EA	41,88

Implemento	Precio	Cantidad	Unidad	Costo (\$)
Reductores	2,47	2	EA	4,94
Insumos	50,00	1	EA	50,00
Mano De Obra	10,00	40	Horas	400,00
Total				\$1584,64

Es decir, que el valor para la implementación del equipo de despresurización tiene un costo total de \$ 1.584,64. Por otra parte, teniendo en consideración los altos costos que se generan por los cambios continuos de sellos en los equipos HPS, que en promedio bordean alrededor de los \$ 18.000,00, la implementación es una inversión mínima y enfocada en el mejoramiento continuo.

De este modo, al implementar el control automático en la cámara de succión y realizar los mantenimientos preventivos programados para la unidad, se espera que tanto los sellos mecánicos como las válvulas, se mantengan en las mejores condiciones y alarguen su vida útil, de igual manera se busca evitar en gran medida la interrupción de operaciones, es decir, que los equipos operen en las mejores condiciones para cumplir con las especificaciones del cliente, en este caso de PETROECUADOR.

Validación de hipótesis

Para la validación de la hipótesis se utiliza el método de T-Student con tamaño de muestra diferente, por ende, se define la hipótesis nula y la hipótesis alternativa en función de la variable independiente de la hipótesis planteada para el presente proyecto.

Hipótesis nula (H_0)

Despresurizar el fluido prolonga la vida útil del sello mecánico

Hipótesis Alternativa (H_1)

Despresurizar el fluido no prolonga la vida útil del sello mecánico.

Para realizar el procedimiento de validación de hipótesis a través del T-Student se procede a tomar la tabulación realizada del Anexo J, por ende, las tablas de muestreo se realizan en torno al tiempo debido a que se espera identificar que se alargue el tiempo de vida útil del sello mecánico, de tal forma que se evalúa el comportamiento de los sellos mecánicos de la HPS 12 en un tiempo de dos meses Tabla 12, debido a que los reportes de las órdenes de trabajo en dicha unidad no muestran cambio de sellos mecánicos en el tiempo que lleva trabajando en campo.

Tabla 12

Número de sellos mecánicos cambiados de la HPS 12

HPS 12	
Diciembre	0
Enero	0

Como segunda muestra se toma los valores de la HPS 04, tabulados del Anexo K, por números de sellos que se cambiaron por mes, cabe agregar que los meses que no constan es debido a que la unidad tuvo que movilizarse a base por mantenimientos de fuerza mayor o por cuestiones de cambio de locación para la inyección del fluido. De tal manera que los meses a contabilizar son 7 y el total de sellos mecánicos cambiados son 14, y el promedio de sellos por mes es de 2.

Tabla 13

Número de sellos mecánicos cambiados de la HPS 04

HPS 04	
Enero	2,00
Febrero	6,00
Marzo	1,00
Abril	2,00
Julio	1,00
Agosto	1,00
Septiembre	1,00

A partir de estos datos se genera la Tabla 14, donde \bar{x} promedio es el promedio de sellos mecánicos que se han cambiado por mes, n el valor total del número de muestra y la covarianza de cada tabla obtenida en Excel a través del comando = *var.s* que es la varianza obtenida en función de la muestra, por ende, se obtiene una varianza diferente para cada tabla.

Tabla 14

Datos obtenidos de las muestras de las unidades HPS 12 y 04

	HPS 04	HPS 12
\bar{x}	2,00	0
n	7	1
Covarianza	3,33333333	0

A partir de los datos obtenidos se procede a calcular el estadístico de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_c^2}{n_1} + \frac{S_c^2}{n_2}}}$$

Donde S_c^2 se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$S_c^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

$$S_c^2 = \frac{(7 - 1)(3,333) + (2 - 1)(0)}{7 + 1 - 2}$$

$$S_c^2 = 3,333333$$

y se procede a reemplazar en la siguiente ecuación del estadístico de prueba y se obtiene:

$$t = \frac{2 - 0}{\sqrt{\frac{3,333333}{7} + \frac{3,333333}{2}}}$$

$$t = 1,02469508$$

Se calcula los grados de libertad a través de la siguiente ecuación:

$$gl = (n_1 + n_2 - 2)$$

$$gl = (7 + 2 - 2)$$

$$gl = 7$$

Se calcula el valor crítico en Excel utilizando el comando = *INV.T.2C* tomando en cuenta que $\alpha = 0,05$.

$$t_{(1-\frac{1}{2})(n_1+n_2-2)} = 2,36462425$$

Se realiza la comparación entre el valor crítico y el valor estadístico de prueba

$$t < t_{(1-\frac{1}{2})(n_1+n_2-2)}$$

$$1,02469508 < 2,36462425$$

Dado que el valor crítico es mayor que el valor de estadístico prueba se acepta la hipótesis nula, concluyendo que la implementación del sistema si logra aumentar la vida útil del sello mecánico.

Conclusiones

- La implementación de la válvula alarga la vida útil del sello mecánico de acuerdo a lo esperado, adicional el costo de implementación es bajo en comparación al gasto promedio anual de la unidad en la reparación de sellos mecánicos, de tal forma que el proyecto cumple con las expectativas esperadas y con los objetivos planteados inicialmente.
- La información ha sido recopilada desde fuentes como internet, información interna de la empresa y conocimiento de los operadores de campo de las unidades lo cual ha sido eficiente para identificar el correcto funcionamiento del sistema.
- Se ha utilizado información recopilada en el marco teórico, así como información interna de las unidades identificando los componentes del equipo y su necesidad, reconociendo que la unidad HPS se encuentra semiautomatizada dado que ya posee alarmas de fallas con identificación de reportes de fallas.
- Los diferentes planos recibidos por la empresa son de gran ayuda para la implementación del nuevo control automático, y se modifican correctamente los planos con los nuevos componentes del sistema.
- Se utiliza el protocolo HART acompañado de un escalamiento en la programación Ladder para el análisis comparativo de la presión e identificar si existe sobrepresión para que el actuador se active inmediatamente y pueda abrir la válvula despresurizando la línea.
- Se instala una línea de tubing en la cámara de succión sobre la línea de succión sin afectar al sistema de forma discreta y oportuna
- Se aprovecha la estadía en base de la unidad para implementar programa actualizado en el PLC sin afectar el programa existente debido a que se atribuye al mismo código.
- Se realizan pruebas de lazo con la unidad parada, emitiendo señales de corriente a través de un calibrador de procesos, para identificar el funcionamiento correcto del

actuador al abrir o cerrar la válvula obtenidos resultados exitosos que prevén el correcto funcionamiento en campo.

- Los inconvenientes presentados en la implementación son solventados con prontitud, permitiendo que el equipo vaya a operar en campo satisfactoriamente.

Recomendaciones

- Los daños o paradas por fallos de los equipos repercuten en la empresa de forma económica, así como de imagen ante la competencia, debido que el requerimiento del cliente es tener un sistema que trabaje continuamente y las paradas sean programas solo para mantenimientos preventivos.
- Corroborar información encontrada en internet con técnicos que tengan conocimiento en campo sobre la unidad operativa.
- La unidad HPS es un sistema que se conforma de varios procesos, muchos de ellos aún manuales que pueden ser automatizados o controlados para la mejor eficacia de su funcionamiento.
- Utilizar los softwares con los que manejan en la empresa para la fácil edición de diseños y la implementación de nuevos diseños favorezca a ambas partes
- Estudiar la situación e identificar las variables requeridas para generar un programa simple, dado que la complejidad de un programa o sistema es proporcional a la probabilidad de fallas.
- Identificar el lugar de construcción de tubing para que no genere molestias afecte el proceso normal del sistema.
- Tomar precaución de no eliminar el código existente en el PLC que se encuentra funcional debido a que posee información útil para la trazabilidad del equipo.
- Utilizar los dispositivos adecuados para realizar las pruebas, así como el equipo de protección personal para realizar trabajos sobre la unidad, tomando en cuenta que se trata de un sistema industrial por lo cual la mala manipulación de dispositivos o la poca protección puede ser bastante peligroso.
- Revisar que los elementos implementados estén funcionando correctamente antes de su implementación para evitar trabajos innecesarios con el fin de minimizar tiempos de ejecución.

Bibliografía

- Anónimo. (s/f). *Técnicas de Recuperación Mejorada de Petróleo*. Recuperado el 11 de febrero de 2023, de <http://tecnicasderecuperacionmejorada.blogspot.com/>
- Área de Tecnología. (s/f). *PLC LOGO de Siemens Teoría y Practicas*. Recuperado el 9 de febrero de 2023, de <https://www.areatecnologia.com/electricidad/plc-logo.html>
- Arovoli Arivarasan. (2018, diciembre 26). *horizontal circulating pump | 3D CAD Model Library | GrabCAD*. GRABCAD. <https://grabcad.com/library/horizontal-circulating-pump-1>
- Dueñas, L. C., de Lucas Martínez, A., Fernández, F. R., & Marcos, M. J. R. (2010). *Metodologías del diseño aplicado y gestión de proyectos para ingenieros químicos* (Vol. 58). Univ de Castilla La Mancha.
- Elizabeth, I., Yupa, C., Alexandra, M., & Romero, Q. (2018). *ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL Presentado por*. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/46883/1/D-CD70325.pdf>
- F Beltrán, & A Cadavid. (2014). *Funciones Lógicas en el Relé LOGO! de Siemens - PDF Free Download*. <https://docplayer.es/12930316-Funciones-logicas-en-el-rele-logo-de-siemens.html>
- Hashemian, H. M., & Jiang, J. (2010). A practical review of methods for measuring the dynamic characteristics of industrial pressure transmitters. *ISA Transactions*, 49(1), 2–9. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.isatra.2009.09.004>
- Inducom. (2022, junio 15). *Inducom Soluciones Industriales*. Funcionamiento y aplicaciones de las bombas multietapas. <https://inducom-ec.com/funcionamiento-y-aplicaciones-de-las-bombas-multietapas/>
- Jaspe Lombana, R. E., & Mosquera Amaya, A. D. (2007). *Grafcet aplicado al diseño de automatismos con PLC S7-200*. <https://repositorio.utb.edu.co/bitstream/handle/20.500.12585/518/0040440.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Laura Palomares, & Leonard Mertens. (1991, julio). *Empresa y trabajador* .

https://www.researchgate.net/profile/Leonard-Mertens-3/publication/312532908_Empresa_y_trabajador_ante_la_automatizacion_programable/links/5880f54a4585150dde3f3aa2/Empresa-y-trabajador-ante-la-automatizacion-programable.pdf

Marcel Esparza. (2017). *H pump Horizontal Surfave Pumps system*.

Patricia Martinez. (2002). *FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA*.

<http://eprints.uanl.mx/919/1/1020148252.PDF>

Pérez, D. (2022). *DISEÑO CAD HPS 12*.

Pérez, D. (2022). *Diagrama P&ID HPS 12*.

Peter Hoffmann, & Reimar Schumann. (2010). *European Council for Modelling and Simulation*

Maha Cetak Trading SDN BHD 43300 Seri Kembangan, Malaysia. www.thisisoctarine.com

Piñeros, J. J. (2014, febrero 27). *Calibracion Transmisor de temperatura con Modem HART |*

Automatización Industrial ant. Procesos Industriales.

<https://automatizacionmeta.wordpress.com/2014/02/27/calibracion-transmisor-de-temperatura-con-modem-hart/>

Predictiva 21. (s/f). *15.3.- Sellos Mecánicos (Bombas Centrífugas) - Predictiva21*. Recuperado

el 8 de febrero de 2023, de <https://predictiva21.com/15-3-sellos-mecanicos/>

Quiliche Chatilán, J. (2019). *Diseño de soporte para evitar deterioro prematuro de rodamientos,*

sellos mecánicos, poleas y fajas, por excesiva vibración en motor de bomba warman, en Minera Yanacocha, 2019.

Rockwell Automation. (2020). *Protocolo de comunicación HART | Allen-Bradley*.

<https://www.rockwellautomation.com/es-co/products/hardware/allen-bradley/network-security-and-infrastructure/process-instrumentation-networks/hart--family---for-process.html>

- SA Mechanical. (s/f). *S211 RUBBER DIAPHRAGM “LONG SPRING” MECHANICAL SEAL | SA Mechanical*. Recuperado el 7 de enero de 2023, de <https://www.mechanicalsealsa.com/product/s211-rubber-diaphragm-long-spring-mechanical-seal/>
- Sapag, N., Sapag, R., & Sapag, J. (2014). *Preparación y evaluación de proyectos* (Mc Graw Hill, Ed.; Sexta). Edificio Punta Santa Fe.
- Schlumberger. (2020). *REDA HPS*. <https://www.slb.com/-/media/files/al/brochure/horizontal-pumping-systems-esp-br>
- Sertecpet. (s/f). *Inicio - SERTECPET*. Recuperado el 28 de enero de 2023, de <https://www.sertecpet.net/>
- SMC - Servicios de Medición + Control. (2013). *Calibrador de procesos Documentador con protocolo HART*. <https://smedicion.com/detalle/producto/132>
- Suiler Altamirano. (2021, mayo 21). *Facebook*. ARTES DEL PLC SIMATIC S7-1200. https://www.facebook.com/SuilerAltamirano.CONTROLMAS/photos/a.104237444289828/543377183709183/?type=3&locale=lv_LV
- Tarback, E. J., Lutgens, F. K., Tasa, D., & Cientficias, A. M. R. T. (2005). *Ciencias de la Tierra* (Vol. 1). Pearson Educación Madrid.
- WIKA. (s/f). *Termómetro industrial - WIKA España*. Recuperado el 9 de febrero de 2023, de https://www.wika.es/landingpage_temperature_gauge_es_es.WIKA
- Zuñiga, S., Olvera, P., & Torres, J. (s/f). *Caracterización de un Manómetro Diferencial Digital Usado como Patrón de Transferencia a 3,5 kPa*.
- GRM INDUSTRIAL. (s/f). *Válvula de compuerta alto rendimiento con bridas*. Recuperado el 12 de febrero de 2023, de <https://www.grm.com.es/es/producto/valvulas-industriales/valvula-de-compuerta/valvula-de-compuerta-alto-rendimiento-con-bridas/>
- provaltec. (2021, marzo 11). *Válvulas de aguja – Blog Provaltec*. <https://www.provaltec3.cl/valvulas-de-aguja/>

Rangel, C. C. C. (2009). *Válvulas para tuberías*.

STH expert. (2020, junio 10). *Válvula antirretorno: ¿Qué función tiene y dónde colocarla?* –

STHexpert. <https://sthexpert.standardhidraulica.com/valvula-antirretorno/>

STH expert. (2022, febrero 28). *Características de las válvulas de bola* – *STHexpert*.

<https://sthexpert.standardhidraulica.com/caracteristicas-de-las-valvulas-de-bola/>

Anexos