UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

Repositorio Digital USM **https://repositorio.usm.cl**

Tesis USM TESIS de Pregrado de acceso ABIERTO

2020

PROPUESTA DE IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL EN LAZO CERRADO PARA BANCO DIDACTICO DE HIDRAULICA TRANSPARENTE

COLMAN GODOY, ALISSON SKARLETTE

https://hdl.handle.net/11673/49401

Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL EN LAZO CERRADO PARA BANCO DIDÁCTICO DE HIDRÁULICA TRANSPARENTE

Universidad Técnica Federico Santa María – Sede Viña del Mar

Trabajo de titulación para optar al Título Profesional de Ingeniero de Ejecución en Mecánica de Procesos y Mantenimiento Industrial.

Alumna
Alisson Skarlette Colman Godoy

Profesor Guía
Ing. Eduardo Vidal Páez

2020

AGRADECIMIENTOS

No existen palabras suficientes para expresar el infinito agradecimiento a mis padres, Karina y Rigoberto, por su apoyo incondicional en este gran desafío lleno de aventuras.

Desafío que luego de culminar, sella de por vida, tras años de una formación integral tanto intelectual como humana un crecimiento enriquecedor para mí, donde creo que las habilidades, los valores y en especial el esfuerzo rinden frutos.

El presente proyecto está dedicado a mi familia, amigos y docentes, todos quienes de alguna manera y en buenos momentos confiaron, me apoyaron y compartieron junto a mí esta etapa de mi vida, la universitaria.

Muchas gracias

RESUMEN

El presente informe contiene el desarrollo creciente de una propuesta de implementación en instrumentos para utilizar en un panel didáctico de hidráulica transparente del taller de Oleohidráulica en la Universidad Federico Santa María de la sede José Miguel Carreras.

Esta propuesta se realizó cumpliendo algunas etapas estructuradas de manera de avanzar adecuadamente hacia la solución y el cumplimiento de los objetivos propuestos para argumentar la implementación del proyecto a futuro en corto plazo. Éste consta de tres capítulos donde se define la metodología de; investigación, diseño y análisis de la propuesta que conlleva una planeación de actividad como hoja de trabajo y argumentación de costos para la inversión como aprobación a la implementación que se desea generar.

Comienza en su primer capítulo con la introducción al área hidráulica con conceptos e investigación de aplicaciones, procede con la descripción del contexto en el que se encuentra el proyecto y la problemática causante de éste, que es la falta de elementos en el taller mencionado inicialmente para un sistema de control, que genere la posibilidad de un monitoreo programado en las condiciones operativas del panel.

Posteriormente, en el segundo capítulo se buscan soluciones en base al equipamiento del mismo panel didáctico respondiendo al cómo se puede completar un sistema de control lazo cerrado con nuevas adquisiciones para cumplir con el fin futuro de simular circuitos avanzados en hidráulica transparente donde se monitoreen parámetros de presión, temperatura o caudal del sistema y así acercarse a la realidad de la industria de procesamiento.

Finalmente, en el proyecto se define la solución como propuesta, se desarrolla y se evalúan los beneficios y costos que traería la misma, una vez implementada. El análisis de la propuesta pretende responde a la necesidad de seguir avanzando tecnológicamente en la institución académica con un control mediante lógica programable para que, desde las aulas se enseñe y promueva en las nuevas generaciones de profesionales los cambios evolutivos de la mecánica de procesos motivando a la creatividad ingenieril para resolver problemas de costos y tiempos operacionales que se pueden optimizar, como en las fallas en los activos, los mantenimiento o alteración imprevista en las condiciones de trabajo del sistema dentro de una empresa.

ÍNDICE GENERAL

PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL EN LAZO CERRADO PARA BANCO DIDÁCTICO DE HIDRÁULICA TRANSPARENTE.....1

íNDICE ILUSTRACIONES 7

ÍNDICE DE TABLAS 9

ÍNDICE DE ESQUEMAS 10

INTRODUCCIÓN 11

OBJETIVOS DEL PROYECTO.....13

Objetivo General 13

Objetivos Específicos.....13

1. CAPÍTULO I: SISTEMAS DE CONTROL 14

1.1 PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA HIDRÁULICA 15

1.2 SISTEMAS DE CONTROL 16

1.3 SISTEMA DE CONTROL LAZO ABIERTO O DE MANDO 18

1.4 SISTEMA DE CONTROL LAZO CERRADO 20

1.5 INSTRUMENTACIÓN EN LOS SISTEMAS DE CONTROL 22

1.5.1 Elemento de control 22

1.5.2 Elemento de corrección.....22

1.5.3 Proceso 22

1.5.4 Elemento de comparación.....23

1.5.5 Elemento de medición.....23

1.6 EJEMPLIFICACIÓN DE SISTEMAS DE CONTROL 23

1.6.1 Semáforo 23

1.6.2 Aire acondicionado 24

1.6.3 Servomotor.....24

1.7 PROBLEMÁTICA.....25

2 CAPÍTULO II: COMPONENTES DEL BANCO DIDÁCTICO.....28

2.1 ELEMENTOS de mando y control EXISTENTES EN EL BANCO DIDÁCTICO 29

2.1.1 HYDROTRAINER-200 29

2.1.2 Fuente de alimentación SAI 9040 31

2.1.3 Conjunto de 3 relés SAI 9041 31

2.1.4 Conjunto de pulsadores SAI 9042 32

2.1.5 Conjunto de cables SAI 9046 32

2.1.6 Final carrera eléctrico (derecho / izquierdo) SAI SAI9231-R / SAI9231-L 32

2.1.7 Juego de conectores + cable para electroimanes de electroválvulas SAI9272 33

2.1.8 Juego de conectores para bobinas proporcionales SAI9303 33

2.1.9 Módulo de alimentación para dos bobinas proporcionales SAI9309 33

2.1.10 Electroválvula limitadora de presión proporcional, mando directo SAI9402 34

2.1.11 Electroválvula distribuidora proporcional 4/3 A, B y P Mando directo SAI 9403 34

2.1.12 Electroválvula distribuidora pre-accionada SAI 9404 34

2.1.13 Repartidor de 6 conexiones SAI 9405 35

2.1.14 Repartidor en cruz con manómetro SAI 9406 35

2.1.15 Conexión cruzada 4 conexiones SAI9407 35

2.1.16 Grupo hidráulico móvil hidráulica transparente SAI 9410 35

2.1.17 Actuador cilíndrico doble efecto SAI 9412 36

2.1.18 Válvula Distribuidora manual 4/2 9413 37

2.1.19 Válvula limitadora de presión, mando directo a bola SAI9414 37

2.1.20 válvula antirretorno SAI 9415 37

2.1.21 Válvula estranguladora de caudal ajustable manualmente SAI 9416 37

2.1.22 Válvula limitadora de presión a corredera, con amortiguación SAI9418 .. 38

2.1.23 Cilindro simple efecto SAI9419 38

2.1.24 Válvula reductora de presión de 3 vías, mando directo SAI 9420 38

2.1.25 Válvula estranguladora de caudal con antirretorno SAI9421 39

2.1.26 Válvula manual de cierre, 2 vías SAI 9422 39
2.1.27 Válvula antirretorno pilotada SAI 9423 39
2.1.28 Regulador de caudal compensado SAI 9424 39
2.1.29 Electroválvula distribuidora 4/2 monoestable SAI 9431 40
2.1.30 Motor de paleta SAI 9435 40
2.1.31 Motor de pistones axiales SAI 9436 40
2.1.32 Electroválvula reguladora de caudal compensado proporcional SAI 943940
2.1.33 Electroválvula 4/3 centro cerrado SAI9440 41
2.1.34 Acumulador de membrana SAI 9466 41
2.2 LISTADO DE ELEMENTOS SEGÚN LOCALIZACIÓN EN EL BANCO .. 41
2.3 INSTRUMENTACIÓN DE MEJORA EN UN SISTEMA DE CONTROL CON RETROALIMENTACIÓN COMO SOLUCIÓN 44
2.3.1 Sensores 44
2.3.2 Caudalímetro 45
2.3.3 Controlador lógico programable PLC 45
2.3.4 Microprocesadores incorporados en el PLC 46
2.3.5 Pantalla HMI 46
2.3.6 Controlador PID (módulo incorporado en el PLC) 46
2.4 VARIABLES QUE PUEDE CONTROLAR UN PID COMO SOLUCIÓN A LA PROPUESTA 48
2.4.1 Control de la variable analógica de caudal 48
2.4.2 Control de la variable analógica de nivel 48
2.4.3 Control de la variable analógica de temperatura 49
2.4.4 Control de la variable analógica de presión 49
2.5 MATRIZ DE DECISIÓN DE LA PROPUESTA 50
3 CAPÍTULO III: IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA Y EVALUACIÓN ECONÓMICA 52
3.1 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA 53
3.2 CONDICIONES DE TRABAJO Y CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS ELEMENTOS A INCORPORAR 54
3.2.1 Condiciones de trabajo 54

3.2.2 Características técnicas del PLC 54
3.2.3 Características del Software 57
3.2.4 Características técnicas del controlador PID 58
3.2.5 Características técnicas de la pantalla HMI 58
3.2.6 Características técnicas del Caudalímetro 60
3.2.7 Características técnicas del sensor de presión 61
3.3 DESARROLLO DE LOS CIRCUITOS DE SIMULACIÓN 63
3.3.1 Sistema de control lazo abierto 63
3.3.2 Sistema de control lazo cerrado con actuador lineal 66
3.3.3 Sistema de control lazo cerrado en actuador giratorio 69
3.3.4 Hoja de trabajo 72
3.4 EVALUACIÓN DE COSTOS DEL PROYECTO 78
3.4.1 Valor de los equipos 78
3.4.2 Costos totales del proyecto 80
3.5 BENEFICIOS DEL PROYECTO 81
3.5.1 Análisis de futuros beneficiados del departamento de mecánica 81
3.5.2 Aspectos generales en beneficio y necesidad del proyecto 84
3.5.3 Recomendaciones a posibles proyectos a futuro en base a la propuesta actual 84
3.6 ANÁLISIS DE COSTO Y BENEFICIOS 86
3.6.1 Recuperación de la inversión 86
3.6.2 Posibilidad de una inversión 90
3.6.3 Cuantificación de los beneficios 93
3.6.4 Análisis Costos y beneficios 96
CONCLUSIONES 98
BIBLIOGRAFÍA 100
Anexo 101

ÍNDICE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Sistema básico de hidráulica 16

Ilustración 2 Sistema de control lazo abierto, proceso de llenado del estanque. Fuente propia.....17
Ilustración 3 Sistema de control lazo cerrado en llenado de agua en estanque. Fuente propia.....17
Ilustración 4 Simulación en 3D vista semi lateral. Panel didáctico para circuito 2. Fuente propia. Software Creo parametric. 67
Ilustración 5 Simulación en 3D. Panel didáctico conectado para el circuito 2. Fuente propia.....67
Ilustración 6 Simulación lógica escalera circuito 2. Programa Tia Portal. Fuente propia. 68
Ilustración 7 Simulación en 3D vista semi lateral. Panel didáctico para circuito 3. Fuente propia. Software Creo parametric. 70
Ilustración 8 Simulación en 3D. Panel didáctico conectado para el circuito 3. Fuente propia.....70
Ilustración 9 Simulación lógica escalera circuito 3. Programa Tia portal. Fuente propia. 71
Ilustración 10 Propuesta de Hoja de trabajo. Página 1. Fuente propia. 72
Ilustración 11 Propuesta de Hoja de trabajo. Página 2. Fuente propia. 73
Ilustración 12 Propuesta de Hoja de trabajo. Página 3. Fuente propia. 74
Ilustración 13 Propuesta de Hoja de trabajo. Página 4. Fuente propia. 75
Ilustración 14 Propuesta de Hoja de trabajo. Página 5. Fuente propia. 76
Ilustración 15 Propuesta de Hoja de trabajo. Página 6. Fuente propia. 77
Ilustración 16 Matrícula 2019 Depto. Mecánica. Fuente UDAI-Viña.....81
Ilustración 17 Uniones de elementos en el Sistema de control en circuito abierto, Fuente propia 2019. 101
Ilustración 18 Contratación de ampliación en descargas para softwares por internet. ..102
Ilustración 19 Cotización cable Ethernet. Fuente Sitio Web oficial de WEI Chile. 102
Ilustración 20 Cotización cable Ethernet. Fuente Sitio Web oficial de Calimport. 102
Ilustración 21 Cotización Sensor de presión. Fuente propia.....103
Ilustración 22 Cotización Caudalímetro. Fuente: Página web DirectIndustry.....103
Ilustración 23 Proceso de conexión entre el programa y el PLC a instalar. Programa Tia Portal. Fuente propia. 104
Ilustración 24 Visualización del PLC a configurar en la programación. Programa Tia Portal. Fuente propia. 104
Ilustración 25 Prueba de conexiones en el diagrama para simular correctamente. Programa Tia Portal. Fuente propia.....105
Ilustración 26 Simulación del bloque diseñado. Programa Tia Portal. Fuente propia...105

Ilustración 27 Bosquejo de la hoja de trabajo a realizar por la implementación. Parte 1. Fuente propia. 106
Ilustración 28 Bosquejo de la hoja de trabajo a realizar por la implementación. Parte 2. Fuente propia. 107
Ilustración 29 Bosquejo de la hoja de trabajo a realizar por la implementación. Parte 3. Fuente propia. 108
Ilustración 30 Bosquejo de la hoja de trabajo a realizar por la implementación. Parte 4. Fuente propia. 109
Ilustración 31 Bosquejo de la hoja de trabajo a realizar por la implementación. Parte 5. Fuente propia. 110
Ilustración 32 Bosquejo de la hoja de trabajo a realizar por la implementación. Parte 6. Fuente propia. 111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Lista de carreras en potencial beneficio ante el proyecto. Fuente propia 26
Tabla 2 Segmentación de nivel educativo posible en el panel, Fuente Catálogo IT-301-ES SMC International Training 30
Tabla 3 Matriz de decisión de la propuesta del proyecto. Fuente propia. 51
Tabla 4 Comparación de los modelos de PLC SIEMENS. Fuente: Manual instructivo SIEMENS. 56
Tabla 5 Partes externas del PLC S7-1200. Fuente: Manual de sistema S7 1200 Catálogo A5E02486683-02 57
Tabla 6 Clasificación de algunas pantallas HMI Basic Fuente: Manual de sistema SIEMENS CAT A5E02486683-02 59
Tabla 7 Características técnicas de los presostatos digitales SMC. Catalogo EUS100-71A-ES SMC. 62
Tabla 8 Lectura experimental del sistema de control lazo abierto realizado el segundo semestre 2019. Fuente propia. 65
Tabla 9 Comparación de instrumentación existente y la deseable. Fuente propia 66
Tabla 10 Informe de costo equipamiento y recibo. Fuente propia. 80
Tabla 11 Cifras segundo semestre 2019 con respecto al departamento de mecánica USM-JMC. Fuente propia. 82
Tabla 12 Resumen del aporte de las Ingenierías de la USM-JMC, segundo semestre 2019. Fuente propia. 82
Tabla 13 Resumen del Aporte de los Técnicos Universitarios de la USM-JMC, segundo semestre 2019. Fuente propia 83

Tabla 14 Ingresos y cuota de recuperación de forma equitativa. Datos de matrículas e ingreso extraídos del segundo semestre 2019 UDAI-Viña. Fuente propia. 87
Tabla 15 Ingresos y cuota de recuperación en base a un 2,63% de aporte por carrera. Datos de matrículas e ingresos extraídos de UDAI-Viña segundo semestre 2019. Fuente propia. 88
Tabla 16 Ingresos y cuota de recuperación en base al porcentaje de ingreso. Datos de matrículas e ingresos extraídos de UDAI-Viña segundo semestre 2019. Fuente propia. 89
Tabla 17 Distribución del taller de Oleohidráulica. Segundo semestre 2019. Fuente propia. 91
Tabla 18 Consumo básico Horario Vespertino del taller de Oleohidráulica 2019.Fuente. Secretaría Departamento de Mecánica USM-JMC 91
Tabla 19 Registro del aumento a 1% del alumnado en el departamento de mecánica. Datos de matrículas extraído de UDAI-Viña segundo semestre 2019. Fuente propia 94
Tabla 20 Registro semestral de ingresos por el curso de Manejo en sistemas de control mediante PLC. Fuente propia. 95
Tabla 21 Análisis de costo y beneficio del proyecto con dos beneficios potenciales. Fuente propia. 96
Tabla 22 Tabla Costo Beneficio a través del tiempo. Fuente propia. 96
Tabla 23 Análisis costo y beneficio del proyecto con el primer beneficio potencial. Fuente propia. 97
Tabla 24 Análisis de costo y beneficio del proyecto con el segundo beneficio potencial. Fuente propia. 97

ÍNDICE DE ESQUEMAS

Esquema 1 Sistema de control lazo abierto. Fuente propia 18
Esquema 2 Representación de un Sistema de control en lazo cerrado, Fuente propia. ... 20
Esquema 3 Sistema de control lazo cerrado variable caudal. Fuente propia. 48
Esquema 4 Esquema 3 Sistema de control lazo cerrado variable nivel. Fuente propia. .. 49
Esquema 5 Esquema 3 Sistema de control lazo cerrado variable temperatura. Fuente propia. 49
Esquema 6 Esquema 3 Sistema de control lazo cerrado variable presión. Fuente propia. 50
Esquema 7 Sistema lazo abierto. Fuente propia. 63
Esquema 8 Sistema de control lazo cerrado variable presión. Fuente propia. 66
Esquema 9 Sistema lazo cerrado variable caudal Fuente propia. 69

INTRODUCCIÓN

Acorde a los nuevos métodos de innovación industrial, que en la actualidad aplican la tecnología 4.0 dentro las empresas, existen diversos planes de mejora para los procesos de funcionamiento continuo que priorizan y potencian la automatización en el control de los productos. De esta forma, se busca beneficiar cada sistema de procesos en aspectos como; la optimización de tiempos y etapas, la eficiencia energética de un proceso, la precisión del monitoreo programable y el rendimiento productivo que se puede generar. Mientras el nivel de exigencia en el control se magnifica, el resultado notorio de perfeccionamiento induce a seguir generando significativas inversiones en la instrumentación de aquellos sistemas automatizados.

Dentro de la industria, los sistemas hidráulicos cumplen con altos índices de implementación avanzada, monitoreada por programas que mezclan electrónica, electricidad, mecánica e informática. Tales programas son diseñados para analizar y controlar procesos inclusive en milisegundos, impactando al área de producción en masa.

Mediante la preparación profesional que otorgan las instituciones académicas del país, en áreas como mecánica de procesos e implementación automática de ellos, se puede analizar y comprender el progreso tecnológico en mecánica de fluidos junto a sus ventajas y desventajas desde una visión por fuera del mercado empresarial.

Es por lo anterior que, en la Universidad Técnica Federico Santa María, tanto alumnos como docentes, buscan continuamente el desarrollo e implementación de proyectos de mejora en los talleres y laboratorios internos de los distintos departamentos existentes con el objetivo de asemejar en clases prácticas las distintas aplicaciones industriales a nivel nacional e internacional.

Con el fin de analizar los métodos de mejoramiento continuo en una empresa, los sistemas de control en lazo cerrado han aparecido para; disminuir errores de producción y aumentar el rendimiento en los procesos productivos, y así, proporcionar parámetros de estudio en futuros planes de mantenimiento. De manera que, la importancia de una estrategia de control de un proceso es clave para su sostenibilidad, y tal desarrollo sustentable en una empresa es fundamental que un universitario de especialidad afín debe saber llevar en práctica.

El actual documento, introducirá a la hidráulica transparente, demostrará los sistemas de control existentes, explicará la problemática ocurrente en el taller de oleohidráulica en base a la demostración de sistemas de control dentro de un panel para simulaciones didácticas, describirá los instrumentos que están incorporados en aquel panel de la Universidad Técnica Federico Santa María y desarrollará la propuesta de mejoramiento en la enseñanza superior con la ocupación del panel para implementar el sistema de control en lazo cerrado que tanto es utilizado en la industria. Sistema que es la solución ideal para aproximar la realidad de la industria de procesamiento a los estudiantes de la universidad.

Como todo proyecto, el protocolo a desarrollar es la identificación del problema y las posibles soluciones, el análisis de la mejor solución, la determinación de los elementos existentes y los necesarios para generar la propuesta como solución, el diseño de sistemas de control y pauta de operación para la futura implementación de la solución, y la evaluación de costos y beneficios que conlleva la ejecución de la propuesta. A continuación, se da paso al desarrollo del proyecto y sus metas a lograr.

OBJETIVOS DEL PROYECTO

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un Sistema de Control en lazo cerrado de forma didáctica mediante simulación programable de control en un proceso para el panel de Hidráulica Transparente del laboratorio de Oleohidráulica de la Universidad Técnica Federico Santa María sede Viña del Mar.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Reconocer los conceptos básicos de un Sistema de control en lazo abierto y cerrado para aplicarlos en el equipo didáctico del laboratorio de acuerdo a normas.
2. Identificar los componentes del banco demostrativo que permiten montar sistemas de control en lazo abierto y los componentes hidráulicos para el control lazo cerrado especificando sus características técnicas
3. Definir los algoritmos de control y las aplicaciones para diferentes alternativas de solución con una evaluación de los costos y beneficios asociados a la enseñanza que se desea obtener del sistema.

CAPÍTULO I: SISTEMAS DE CONTROL

La importancia de los sistemas de control en el área de procesamiento, independiente del producto final, es vital para una buena y mejorada gestión del proceso tanto en el control de todos los agentes externos como en los internos. Y es por ello, que el proyecto está enfocado a una elaboración técnica-funcional de diversos circuitos simulables que pueden existir en la enseñanza universitaria a modo de preparación.

El proyecto como tal, es una propuesta de implementación de un sistema de control para el banco didáctico de oleohidráulica. Al profundizar y lograr desarrollarlo, se requiere un dominio de conceptos básicos y aplicación de los propios tanto en hidráulica como en instrumentación y control.

1.1 PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA HIDRÁULICA

La hidráulica es denominada como el área de estudio en el comportamiento, transmisión y control de fuerzas de los fluidos, a fin de analizar el estado de equilibrio en los fluidos en reposo (hidrostática) y las características en movimiento (hidrodinámica), establece ciertos principios fundamentales:

- Los líquidos no tienen forma.
- Los fluidos son incompresibles.
- Los líquidos transmiten en todas las direcciones la presión que se le aplica.

La hidráulica consiste en utilizar un líquido para transmitir una fuerza de un punto a otro, fuerza es toda acción capaz de cambiar de posición un objeto, y presión es la fuerza en la superficie de dicho objeto en contacto con el suelo. Y según ello, un sistema hidráulico es de simple método para aplicar grandes fuerzas que se pueden regular y dirigir a conveniencia con vital influencia la presión de un líquido en un proceso determinado.

La fuerza Hidráulica se obtiene empujando el aceite desde una bomba conectada a un motor, a través de tuberías metálicas, conductos, latiguillos, etc. proyectándose en cilindros hidráulicos, motores, etc.

Por otro lado, el principio de Pascal, uno de los principios más fundamentales de la hidráulica, estipula que la fuerza ejercida sobre un material estado líquido se transmite en forma de presión sobre todo el volumen y en todas direcciones, explicando lo que ocurre en un circuito hidráulico. Las aplicaciones del principio de Pascal se observan, por ejemplo, en las prensas, en los elevadores y en los frenos hidráulicos.

Para el estudio de fluidos es fundamental captar el funcionamiento de la serie de mecanismos a los que podría someterse para lograr una tarea mecánica. Como se muestra en la ilustración 1, a entendimiento básico de hidráulica, para generar el movimiento constante de un fluido se requieren equipos como una bomba que transmita potencia y el fluido avance a una presión que idealmente fuera monitoreada. Con ello comprender que la presión a la que se desplaza el fluido, el área de contacto del elemento accionador y la compresibilidad característica del fluido condicionan tanto la fuerza que es capaz de generar como la velocidad a la que realiza la acción.

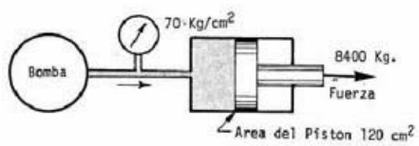


Ilustración 1 Sistema básico de hidráulica

1.2 SISTEMAS DE CONTROL

Un sistema de control es un grupo de componentes electrónicos, mecánicos, neumáticos o hidráulicos, que buscan cumplir un objetivo deseado mediante un proceso. Un sistema de control debe tener por lo menos tres elementos esenciales que son: la variable deseada o a controlar, un actuador y un punto de referencia o set point.

El objetivo de un sistema de control es dominar una variable de salida con valores prefijados mediante indicadores, reguladores y otros elementos de mejora llegando a manipular perturbaciones que se encuentren en el proceso influyendo en el funcionamiento de tal sistema. Y así, cumplir con lo siguiente:

- Garantizar la estabilidad y contrarrestar las perturbaciones y errores en los modelos.
- Ser tan eficiente como sea posible, según un criterio preestablecido.

Por ejemplo, al llenar un tanque con agua se necesita una bomba hidráulica, una toma de agua y los elementos electrónicos de encendido y apagado del sistema, siendo el set point o el punto de referencia el nivel de llenado requerido. Observar la siguiente imagen.

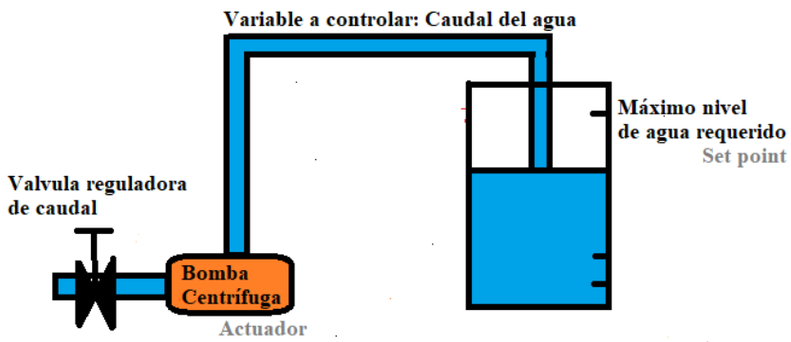


Ilustración 2 Sistema de control lazo abierto, proceso de llenado del estanque. Fuente propia.

Cuando un sistema requiere una variable de salida bajo condiciones límites monitoreadas, se utilizan elementos de regulación e indicadores para generar un control con retroalimentación. A continuación, se observa la diferencia entre los dos tipos de sistemas de control: lazo abierto y lazo cerrado.

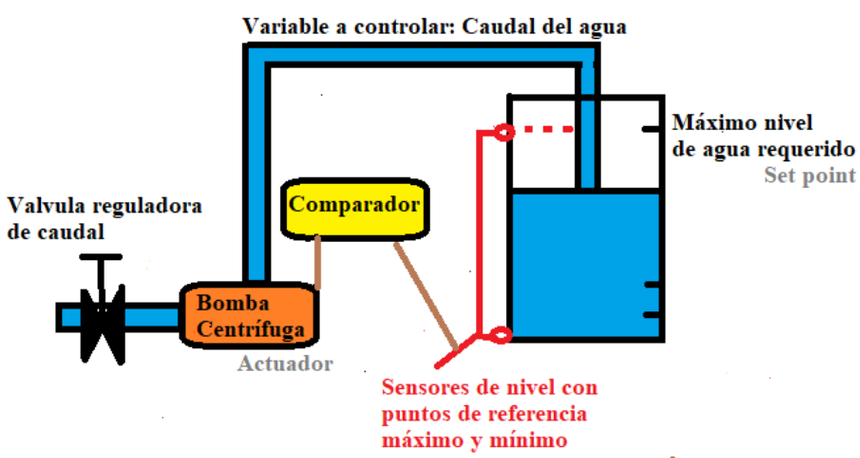


Ilustración 3 Sistema de control lazo cerrado en llenado de agua en estanque. Fuente propia

Como se demuestra, un sistema de control lazo cerrado nace de una mejora a un proceso, donde la retroalimentación forma parte de un control de calidad del producto o variable final a obtener con el fin de reducir los errores que se desarrollan dentro del sistema a partir de la señal de entrada.

1.3 SISTEMA DE CONTROL LAZO ABIERTO O DE MANDO

Cuando el sistema de un proceso conlleva una regulación de las cantidades de salida (tales como posición, velocidad, temperatura, etc.), de acuerdo con una señal de mando a la entrada, se le conoce como sistema de control. Y si la relación entre la respuesta de salida y la señal de mando es fija y no retroalimentada, se define como un Sistema de control en lazo abierto.

Esquema 1 Sistema de control lazo abierto. Fuente propia

El esquema 1, demuestra el protocolo de un proceso sin retroalimentación, donde sí se evidencia un sistema de control, y además, en la suma del elemento de control con el de corrección nace el controlador.

El elemento de control determina que acción se va a tomar dada la entrada al sistema, y el elemento de corrección es el que genera el cambio en la variable controlada al valor ideal, como ocurriría en una acción de la limitadora de presión cuando se requiera de un manómetro en un proceso con tendencia a alzas de presión.

En un sistema de control en lazo abierto no es cuantificable la salida, ni se realimenta para compararla con la entrada. En cualquiera de este tipo de sistemas, la salida no se compara con la entrada de referencia, y a cada entrada de referencia le corresponde una condición operativa fija; como resultado, la precisión del sistema depende de la calibración. Ante la presencia de perturbaciones, un sistema de control en lazo abierto no realiza la tarea deseada. En la práctica, el control en lazo abierto sólo se utiliza si se conoce la relación entre la entrada y la salida, y si no hay o no influyen perturbaciones internas ni externas. Es evidente que estos sistemas no son de control realimentado.

Un sistema de control lazo abierto se caracteriza por una precisión moderada, respuesta lenta a los cambios de las señales de mando de entrada y sensibilidad a las condiciones ambientales; tales como la temperatura, vibraciones, ruido, variación de voltaje de línea, golpes, envejecimiento y carga. Contrarrestando, la simplicidad del sistema y su bajo costo juegan a favor, en especial para el uso en aplicaciones de poca precisión.

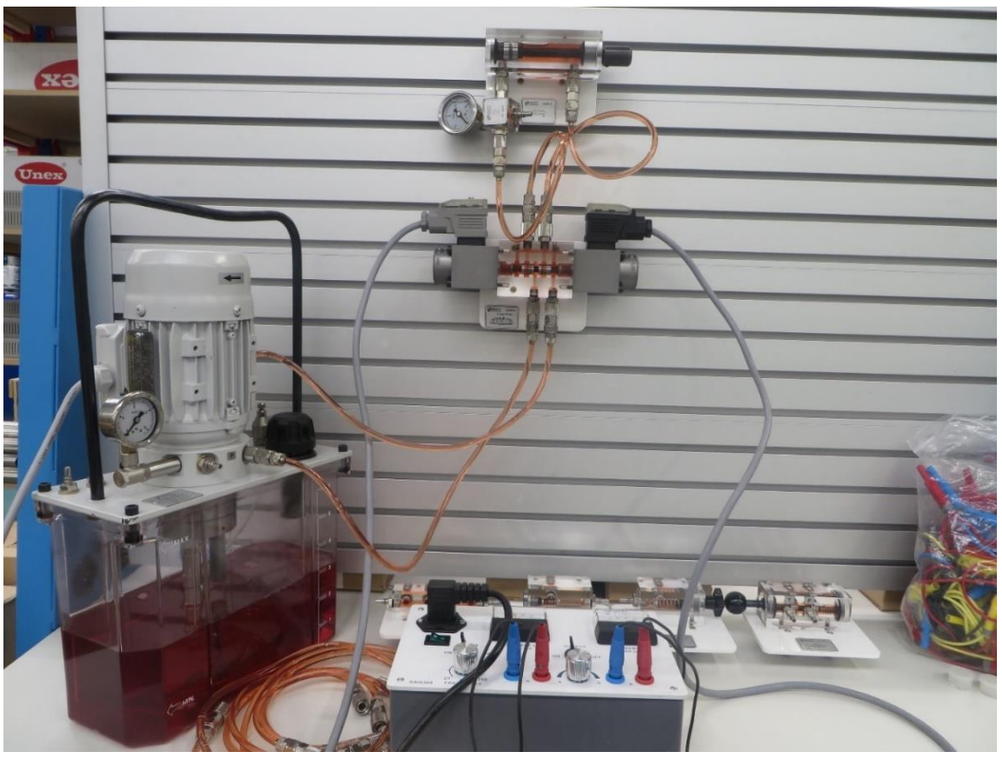


Ilustración 4 Sistema de control en lazo abierto existente en el laboratorio UTFSM-JMC, Fuente propia.

En la ilustración 4, se observan los componentes que conforman el proceso de expulsión de un cilindro de doble efecto en el panel de oleohidráulica. Éste sería el ejemplo de un sistema de mando sin retroalimentación, ya que las conexiones están dadas para generar el movimiento del actuador en avance y retroceso, pero en el transcurso del efecto en el cilindro no existe un elemento capaz de indicar y modificar (controlar) la velocidad o presión con la que carga o descarga, o sea, las variables de la salida del cilindro.

Contar con los implementos necesarios para realizar una tarea específica, donde se tiene fuente de alimentación, bomba, el fluido, electroválvula, manómetro y el actuador para que se traslade un fluido es clave para intentar mejorar y buscar alternativas de optimización de un sistema a partir de lo que como base se tiene. Lograr la teoría ponerla en práctica y, además, con ello llevarlo a la industria de procesado investigando de qué forma se puede controlar la velocidad deseada si existe un factor de carga resistiva externa a modo de ejemplo.

1.4 SISTEMA DE CONTROL LAZO CERRADO

El sistema de control lazo cerrado o retroalimentado se basa en observar y comparar la señal de salida con la señal de mando de entrada, donde las diferencias representan errores. Un sistema de control circuito cerrado ajusta automáticamente la respuesta de salida para minimizar los errores.

Esquema 2 Representación de un Sistema de control en lazo cerrado, Fuente propia.

La realimentación dentro de un sistema de control proporciona una alta precisión, flexibilidad, mayor rapidez de respuesta e independencia relativa de las condiciones de operación. Logra captar y mejorar la diferencia que se produce de entradas y salidas en un sistema que puede presentar perturbaciones.

Los componentes de un sistema de control en lazo cerrado son:
- Dispositivo de medición (Temperatura, presión, tensión, voltaje)
- Dispositivos de punto de referencia.
- Comparadores.
- Controlador.
- Actuador o elemento de control final.

Algunas de las principales características de los sistemas en lazo cerrado son las siguientes:
-Se trata de sistemas complejos, ya que poseen gran cantidad de parámetros.
-La salida se compara con la entrada y afecta al control del sistema.
-Son notablemente más estables frente a perturbaciones y variaciones internas.

Y las aplicaciones electrohidráulicas de los sistemas de control en cadena cerrada pueden clasificarse:

- Control de posición (lineal o giratorio)
- Control de la velocidad (lineal o giratorio)
- Control de la fuerza o de la presión

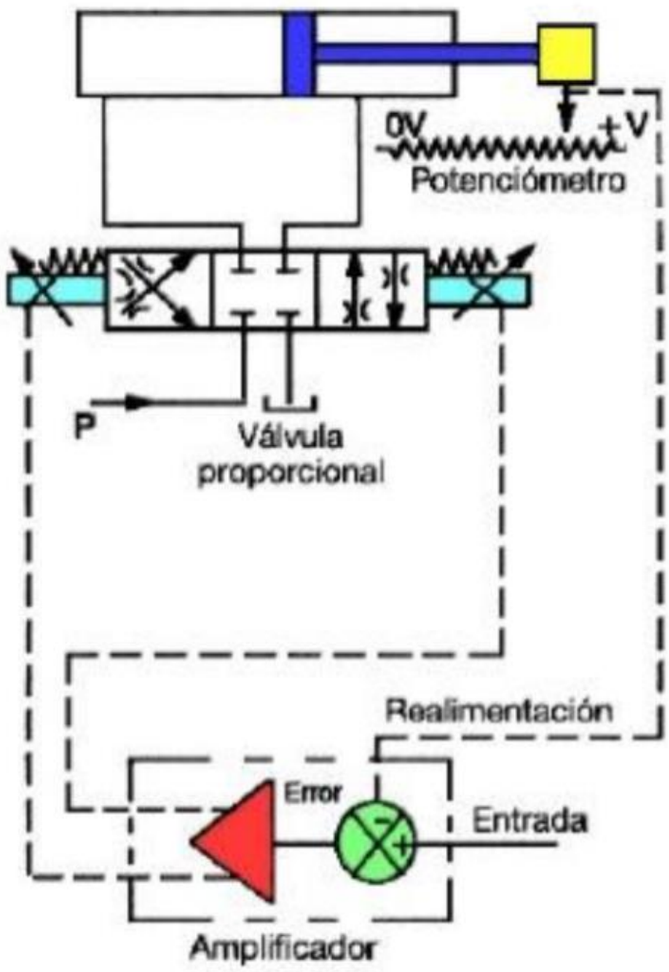


Ilustración 5 Sistema de control retroalimentado.

Fuente: Técnica proporcional y servo válvulas. Mannesmann. RexRoth, Volumen 2.

La presencia de un transductor de posición para conseguir un control de posición en cadena cerrada es factible, a diferencia de un interruptor sencillo de posición o proximidad un transductor de posición (lineal o giratorio) suministra una señal de retroalimentación continuamente variada proporcional a la posición del actuador. En su forma más sencilla puede ser un potenciómetro lineal.

En la ilustración 5, la señal de entrada de posición requerida del actuador es enviada al amplificador y acciona el solenoide de la válvula proporcional para que el caudal atraviese la válvula y mueva el cilindro. La señal de realimentación procedente del potenciómetro se envía también al amplificador que resta ambas señales y crea la señal de error. En un lapsus de tiempo la señal de error es proporcional a la diferencia entre la señal de mando (señal de entrada) y la posición real (señal de realimentación).

1.5 INSTRUMENTACIÓN EN LOS SISTEMAS DE CONTROL

1.5.1 Elemento de control

Elemento necesario en cualquier tipo de sistema de control. Procesa las señales de entrada y toma una decisión para enviarla al elemento de corrección. Tiene la misión de regular/controlar tanto las variables de entradas como las respuestas de comparación.

Algunos ejemplos de elementos de control: Potenciómetro, controlador PID, Válvulas limitadoras u otros.

1.5.2 Elemento de corrección

Es el responsable de producir un cambio en el proceso; para ello se requiere de un actuador, que tiene la facultad de hacer cambios físicos en el proceso; ya sea elevar, empujar o sujetar transmitiendo mecánicamente la energía hidráulica que se genera. Cabe mencionar que, con actuadores compuestos se asemejaría a un trabajo equivalente a músculos corporales.

Un actuador puede ser lineal (comúnmente cilindro vástago simple o doble efecto) o giratorio. En aplicaciones, se puede observar en el funcionamiento de una pala mecánica y al interior de una puerta deslizadora de transporte urbano (micro).

1.5.3 Proceso

Conocido como la planta o el proceso productivo y las características del proceso, como el tiempo de duración, repeticiones necesarias del procedimiento, etc. Es la tarea o el objetivo para el cual se transmite el fluido a tales condiciones.

El proceso es fundamental en un sistema de control tanto lazo abierto como cerrado, de él dependen los distintos elementos a utilizar. Por tanto, se entienden como proceso el chancado, la molienda, el quemador, la iluminación, extracción de tierra, etc.

1.5.4 Elemento de comparación

Recibe la información de retroalimentación necesarios en el proceso, y genera una señal de error del estado actual de la variable con respecto al punto de referencia, para mandarla nuevamente al controlador para que tome una decisión nuevamente, un ejemplo común es un manómetro.

1.5.5 Elemento de medición

Es el elemento característico del sistema de control lazo cerrado, son quienes miden la información del sistema y la retroalimentan al comparador. Son indicadores en la etapa posterior al proceso donde se busca analizar las variables de salida del sistema.

Los más comunes: Termómetro, transductor, tensiómetro, caudalímetro, Sensores (proximidad, presión, nivel), etc.

1.6 EJEMPLIFICACIÓN DE SISTEMAS DE CONTROL

1.6.1 Semáforo

El semáforo que controla el tráfico urbano mantiene un sistema con etapas y temporizador para el accionamiento de luces independiente de la cantidad de autos que circulan en una calle o avenida, por lo tanto, constituye un sistema de control lazo abierto.

La estructura del sistema eléctrico con monitoreo PLC que implanta se asimila a la hidráulica. Aun no trabajando con fluidos, mediante su organización (programación) se entiende el sistema. Mantiene un control de tiempo programado y un simple funcionamiento donde no es indispensable aplicar un sistema control lazo cerrado.

1.6.2 Aire acondicionado

El aire acondicionado en una habitación actúa con un sensor que retroalimenta la información indicando la temperatura en el espacio cerrado señalando si falta encender el sistema o mantenerlo en stand-by. La expulsión de aire de ciertos grados en una habitación determinada es el proceso, la temperatura es la variable principal a controlar y tanto el potenciómetro como el termómetro son fundamentales para indicar y controlar la diferencia de temperatura y la ideal de equilibrio deseado.

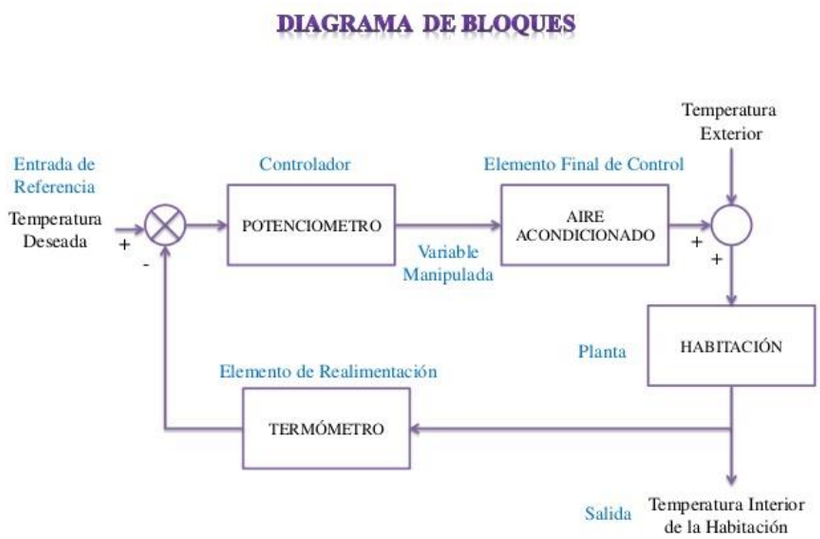


Ilustración 6 Sistema de control retroalimentado del aire acondicionado

1.6.3 Servomotor

Un servomotor a diferencia de un motor paso a paso constituye un sistema de control lazo cerrado donde el potenciómetro es el elemento de retroalimentación que detecta la variación para ser ajustada en el circuito previo al funcionamiento de tal motor giratorio.

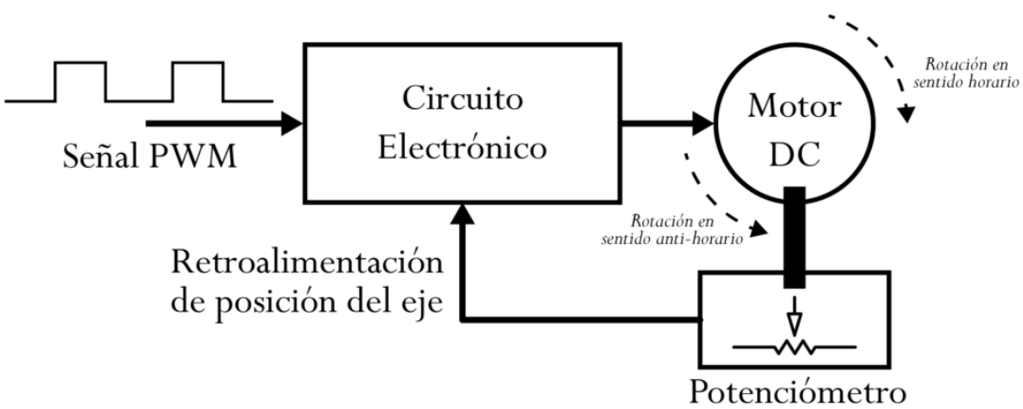


Ilustración 7 Esquema del sistema de control de un servomotor.

1.7 PROBLEMÁTICA

Dentro del establecimiento Universidad Técnica Federico Santa María, José Miguel Carrera, se encuentra una serie de laboratorios y talleres distribuidos por departamento. El Departamento de Mecánica, cuenta hace años con un taller de Oleohidráulica donde se imparten clases a nivel práctico, ya que los paneles y la instrumentación existente (indicadores, válvulas, sensores, actuadores, entre otros); aporta a la creación y simulación de sistemas oleohidráulicos.

Con el fin de mejorar, en marzo del año 2016, el departamento de mecánica postuló y ganó posteriormente la aprobación de un proyecto de adquisición en nueva instrumentación para el taller de Oleohidráulica. Tal proyecto sustentaba la compra de un nuevo panel junto a electroválvulas proporcionales, actuadores, módulo de alimentación, reguladores, cableado, entre otros accesorios más modernos.

De manera más actualizada y precisa, la nueva adquisición de aquel año en hidráulica transparente ha permitido armar sistemas de control en lazo abierto utilizando válvulas proporcionales, pero la gran limitación existe al momento de generar retroalimentación en las variables de salida del actuador. El panel no cuenta con los implementos suficientes para controlar tales variables de un proceso, y abriendo paso a un monitoreo continuo y programable en el tiempo, de tal modo que el banco didáctico podría representar de forma similar y eficiente los sistemas de control en las áreas de producción de una empresa de procesamiento en la actualidad.

En la industria de hoy, varios de los procesos requieren de retroalimentación como plan de mejoramiento ante anomalías o fallas que se puedan presentar y que, mediante elementos reguladores, controladores e indicadores se puede evitar. Y, en consecuencia, aportar a un mayor rendimiento, producción en masa, y calidad en un producto.

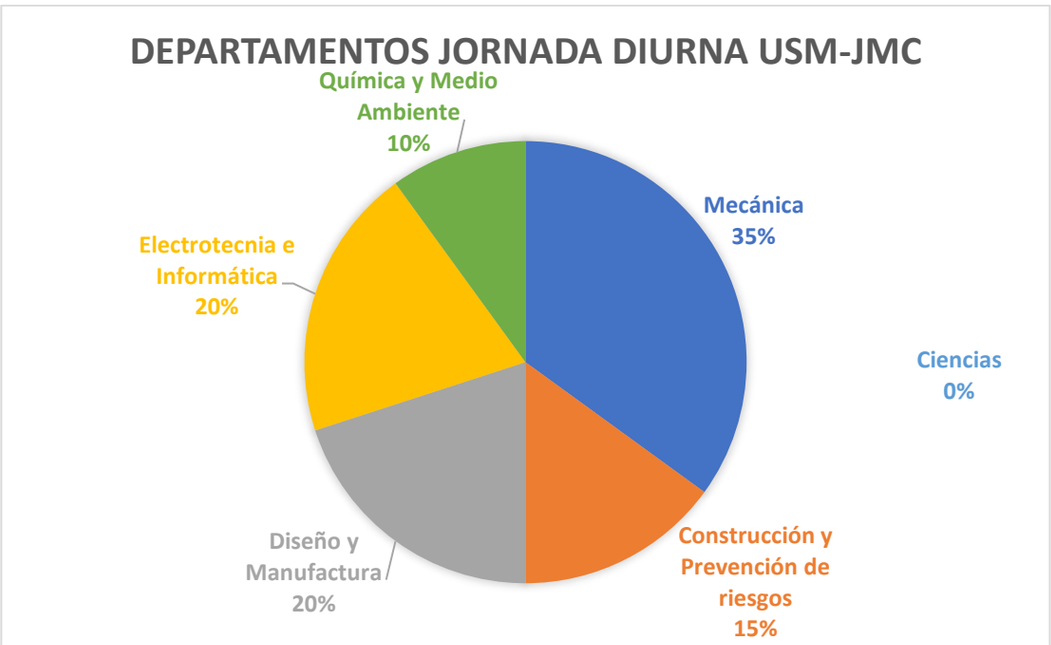
Debido a lo anterior, es que el laboratorio de Oleohidráulica necesita contar con sistema de control proporcional acorde a las nuevas tecnologías que ofrecen en el comercio industrial con el fin de poder analizar la salida, modificarla y mantener un control de una variable deseada de ella. La realimentación mediante potenciómetros, termómetros u otro instrumento de medición resultaría novedoso y útil en el laboratorio. Con tal enseñanza de los nuevos circuitos de control a simular se potenciarían los contenidos teóricos adquiridos en cursos como aplicaciones oleohidráulicas o instrumentación y control.

A continuación, en la tabla 1 se muestran las carreras en que se podría implementar el proyecto optimizando la preparación universitaria en el área de automatización, y posterior, en la ilustración se observan los departamentos de la institución y la representatividad ante posibles beneficiados del proyecto.

Tabla 1 Lista de carreras en potencial beneficio ante el proyecto. Fuente propia

CARRERA	DEPARTAMENTO	ASIGNATURA	SEMESTRE
Ingeniería en Mantenimiento Industrial	Mecánica	Taller de mantenimiento Neumático y Oleohidráulico	Cuarto
T.U en Energías renovables	Mecánica	Taller de instrumentación	Segundo
T.U en Mantenimiento Industrial	Mecánica	Mantenimiento neumático y oleohidráulico Mandos y control de maquinarias	Cuarto
T.U en Mecánica Industrial	Mecánica	Oleohidráulica Industrial	Tercero
T.U Mecánica Automotriz	Mecánica	Hidráulica y Neumática	Tercero
T.U en Minería y Metalurgia	Mecánica	Instrumentación y control	Cuarto
T.U en Diseño y producción Industrial en Moldes y Matrices	Mecánica	Neumática e Hidráulica en proyectos de manufactura	Cuarto
T.U en proyectos y diseño mecánico	Diseño y Manufactura	Hidroneumática	Quinto
Ingeniería en Fabricación y diseño Industrial	Diseño y Manufactura	Instrumentación y control	Octavo
T.U en electrónica	Electrotecnia e informática	Instrumentación Industrial Automatización y control	Tercer y Quinto
T.U en Electricidad	Electrotecnia e informática	Proyectos de control automático	Quinto

Gráfico 1 Representatividad de los departamentos ante las carreras de UTFSM.JMC. Fuente propia



Dentro de los datos generales y registrados en la universidad, el Departamento de Mecánica se hace cargo de 8 carreras con una representatividad del 35% a nivel sede de Viña del Mar, por otro lado, tanto el Departamento de Electrotecnia como el DIMA (Diseño) cuentan con 4 carreras cada uno, Construcción con 3 y Química con 2 carreras al mando. Siendo el Departamento de Ciencias el que no tiene carreras a cargo, sino que se encarga de prestar servicio a los Departamentos en asignaturas de ciencias básicas muchas veces transversales para cubrir el total de carreras de la sede Viña del Mar tanto en técnicos como ingenieros.

Al hacer el análisis por malla curricular, la mitad del departamento de Electrotecnia y Diseño junto con la totalidad del de Mecánica se verían beneficiados con una actualización del laboratorio de Oleohidráulica. En un porcentaje general y aún sin contar el número de matriculados, un 55% de las carreras implementadas en la sede de Viña del Mar pasan por el área de automatización y/o instrumentación y control, tanto en asignaturas transversales o de especialidad a lo largo de la carrera para fortalecer competencias técnicas para el futuro laboral.

Cabe mencionar que el análisis se realiza enfocado a carreras período diurno. Además de establecer un criterio educativo no obligatorio, solo a modo de orientación fundamentado en que instrumentación y control es asignatura base en proyectos con avances tecnológicos. Y fomentando la visión institucional de consolidarse como líder en Ingeniería, Ciencia y Tecnología.

2 CAPÍTULO II: COMPONENTES DEL BANCO DIDÁCTICO

2.1 ELEMENTOS DE MANDO Y CONTROL EXISTENTES EN EL BANCO DIDÁCTICO

Para el mejoramiento del taller de oleohidráulica el proveedor del banco de hidráulica transparente fue SMC Chile S.A, quien generó el soporte técnico del panel y la utilización de sus 34 componentes existentes en el panel. El banco en cuestión es el "HYDROTRAINER-200", con bastidor rodante de panel y cuatro cajones que permiten ubicar los accionamientos hidráulicos presentes en numerosas aplicaciones de la industria automatizada actual, para un mejor análisis de los sistemas de control.

2.1.1 HYDROTRAINER-200

El bastidor rodante del sistema HYDROTRAINER-200 cuenta con un panel bi-puesto de montaje con amplitud suficiente para poder realizar todas las prácticas con comodidad en ambas caras del mismo.

Está montado sobre cuatro ruedas, dos de ellas con freno, lo que permite su movilidad y fijación en el aula de forma sencilla y cómoda. Incluye un vaso para medidas volumétricas en cada lado del panel. En la parte inferior dispone de un soporte para el alojamiento del grupo hidráulico.

En conexiones como las mangueras se conectan entre sí con un sistema de enchufes rápidos auto obturantes para garantizar un grado de estanqueidad máximo donde se producen cero goteos, incluso en las operaciones de conexión/ desconexión.

En la fijación al panel, cada componente incorpora un sistema de fijación al panel de diseño específico, con una ejecución que facilita una preparación de las prácticas rápida y sencilla.

El panel dispone de 5 composiciones estándar complementarias definidas para cubrir las demandas formativas en los diferentes niveles educativos. Corresponde a la clasificación de etapa que tienen los diversos componentes.

Tabla 2 Segmentación de nivel educativo posible en el panel, Fuente Catálogo IT-301-ES SMC International Training

COMPOSICIONES ESTÁNDAR	
SAI9506	HYD-201: Composición de hidráulica nivel I
SAI9507	HYD-202: Composición de hidráulica nivel II
SAI9508	HYD-203: Composición de electrohidráulica
SAI9511	HYD-206: Composición de hidráulica proporcional nivel I
SAI9512	HYD-207: Composición de hidráulica proporcional nivel IÍ

Las áreas educativas de trabajo establecidas en el taller son de hidraulica nivel I y II, e hidraulica proporcional nivel I. Para mayor información vease anexo final, página 111, donde se muestra la clasificación de la instrumentación total del Catalogo sección hidraulica en SMC.

Ilustración 8 HYDROTRAINER 200, Fuente Catálogo IT-301-ES SMC International Training

La ilustración 8, muestra un lado del panel constituido de HYDROTRAINER-200 lleva incorporado de cajones para distribución de los diversos componentes a guardar y empotrar en simulación.

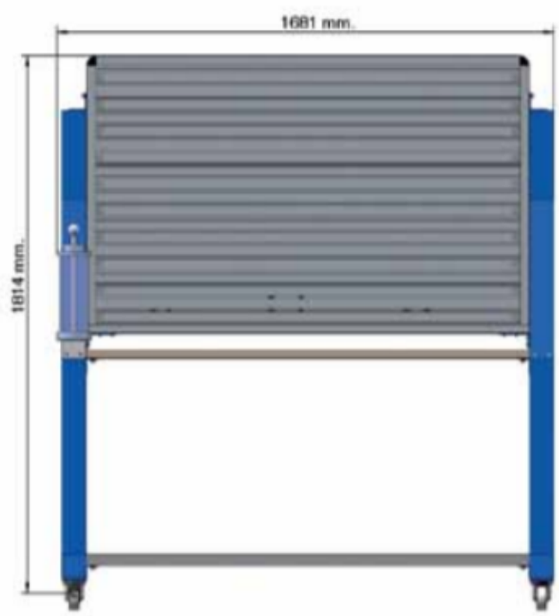


Ilustración 9 Dimensiones estándar del panel didáctico, Fuente Catálogo IT-301-ES SMC International Training

Dimensión estándar:

-Altura 1814[mm]

-Longitud horizontal 1681 [mm]

2.1.2 Fuente de alimentación SAI 9040

Características técnicas:

-Tensión de entrada: 110V- 240VAC. -Salida: 24VDC / 5A.

-Protegida contra cortocircuitos y sobrecargas.

-Interruptor de entrada e indicación mediante LED.

-Cable de alimentación incorporado.

-Conectores eléctricos hembra de seguridad de ø4 [mm]

-Caja aislante con tapa serigrafiada.

Aplicación: Alimentación eléctrica para el movimiento del fluido o mandar señales para cumplir tareas.

2.1.3 Conjunto de 3 relés SAI 9041

Características técnicas:

-Incluye tres relés con bobina de 24V y 4 contactos conmutables.

-Disponen de LED indicador de relé activado.

-Conectores eléctricos hembra de seguridad de ø4 [mm]

-Caja aislante con tapa serigrafiada.

Aplicación: Circuitos de control, permite abrir y cerrar otros circuitos eléctricos independientes, ya que actúa como interruptor.

2.1.4 Conjunto de pulsadores SAI 9042

-2 pulsadores con retorno por muelle.
-Selector de 2 posiciones.
-Conectores eléctricos hembra de seguridad de ø4 [mm]
-Caja aislante con tapa serigrafiada.

Aplicación: Actividades con mando eléctrico mediante pulsadores. Las conexiones eléctricas que se pueden armar condicionan las consecuencias de pulsar las botoneras.

2.1.5 Conjunto de cables SAI 9046

Características técnicas:
- Conjunto de cables con conector eléctrico de 4 [mm].
-5 cables rojos de 1,5 [m].
-5 cables negros de 1 [m].
-10 cables amarillos de 0,5 [m].
-5 cables azules de 0,25 [m].

Aplicación: Uso en interacciones eléctricas, para entrada y salida de señales.

2.1.6 Final carrera eléctrico (derecho / izquierdo) SAI SAI9231-R / SAI9231-L

Características técnicas:
-Accionamiento por rodillo escamoteable.
-R=derecho. L=izquierdo.
-Un contacto NA y un contacto NC.
-Cuerpo transparente y rodillo con posición reversible.
-Conectores hembra de seguridad de ø4 [mm].

Aplicación: Para el control del movimiento mecánico que se genera del circuito indicando la posición.

2.1.7 Juego de conectores + cable para electroimanes de electroválvulas SAI9272

Características técnicas:

-Conectores macho de 4 [mm]. Cable de 1,5 [m].

-Preparado para conectar en bobinas de electroválvula.

-Incluye 3 unidades (1 conector negro y 2 grises).

-Indicadores LED.

Aplicación: Transmisión energía eléctrica a las electroválvulas para su uso

2.1.8 Juego de conectores para bobinas proporcionales SAI9303

-Conectores con diodos LED indicadores (tipo pantalla). Long. 1,5 [m].

-Incluye dos unidades (1 conector negro y 1 conector gris).

-Indicación mediante pantalla de intensidad luminosa proporcional al valor de intensidad.

Aplicación: Conexión con electroválvulas proporcionales, actúa con los solenoides y mediante los diodos incorporados se bloquea el paso de energía hacia un sentido.

2.1.9 Módulo de alimentación para dos bobinas proporcionales SAI9309

Características técnicas:

-Potenciómetro para regular la intensidad de salida hacia las bobinas a y b.

-Selector de frecuencia Dither on/off y regulación de valor de frecuencia Dither.

-Intensidad máx. = 0,9 [A] por bobina.

-2 amperímetros para visualización de la intensidad por las bobinas a y b. -Protección electrónica interna contra sobrecargas.

Aplicación: Equipo electrónico para introducción de señal eléctrica a las válvulas proporcionales. Mando manual. Este equipo de alimentación eléctrica permite modificar ciertos parámetros y analizar el comportamiento del fluido en cuando a su velocidad modificando la corriente de alimentación.

2.1.10 Electroválvula limitadora de presión proporcional, mando directo SAI9402

Características técnicas:

-Accionamiento por bobina de 24VDC, I nominal 0,8A.

-Presión máx: 10 [bar].

-Necesario conector para bobina SAI9303

Aplicación: Regula el valor máximo de presión en un punto utilizando para ello una señal de mando eléctrica.

2.1.11 Electroválvula distribuidora proporcional 4/3 A, B y P Mando directo SAI 9403

Características técnicas:

-Accionamiento por bobina en ambos lados y centraje por muelles

-solenoides incorporados.

-Presión máxima 10 [bar].

-Bobinas de 24[VDC],

-Intensidad nominal 0,8 [A].

Aplicación: La Electroválvula puede iniciar detener o cambiar la dirección del flujo en un circuito hidráulico por medio de una señal eléctrica. Se utiliza principalmente para el manejo de actuadores, permitiendo el desplazamiento de cilindros o el giro de motores en ambos sentidos.

2.1.12 Electroválvula distribuidora pre-accionada SAI 9404

Características técnicas

-Válvula distribuidora 4/3 con apertura progresiva y dependiente del valor de la señal eléctrica de mando, con una etapa principal y otra etapa de piloto.

-Preaccionada. Pilotos X e Y externos.

-Centraje por muelles, en posición central A, B y P unidos.

-Accionamiento por bobinas en ambos lados

-Presión máx: 10 [bar]

-Bobinas de 24VDC

-I nominal 0,8A.

Aplicación: Distribución de caudal controlando progresivamente para disminuir perdidas de carga.

2.1.13 Repartidor de 6 conexiones SAI 9405

Características técnicas:
-Presión máx: 10 [bar].

Aplicación: En instalaciones de circuitos interconectados o sistema con dos o más acciones y cableado de traspaso de aceite con seis o menos conexiones. Muchas veces se utilizan para ordenar el circuito del sistema.

2.1.14 Repartidor en cruz con manómetro SAI 9406

Características técnicas:
-Repartición de tres conexiones
-Rango entre 0 a 6 [bar]
-2 enchufes machos y 1 hembra.

Aplicación: Elemento indicador de presión colocado entre la electroválvula y un actuador determinado, por ejemplo. Capaz de realizar conexión entre cuatro puntos mientras analiza la presión a la que se traslada el aceite.

2.1.15 Conexión cruzada 4 conexiones SAI9407

Característica
-Presión máx: 10 [bar].
-Con 3 enchufes machos y 1 hembra.

Aplicación: Para cuando se requiere regulador o indicador adicional entre la válvula y el actuador, por ejemplo.

2.1.16 Grupo hidráulico móvil hidráulica transparente SAI 9410

Características técnicas:

- Depósito transparente de 6 litros para aceite de trabajo.
- Bomba de engranajes. Q= 1[l/min].

Funciona por el principio de desplazamiento; un piñón es impulsado y hace girar al otro en sentido contrario. En la bomba, la cámara de admisión, por la separación de los dientes, en la relación se libera los huecos de dientes.

- Válvula limitadora de presión, Presión máx: 10 [bar]

Impiden que la presión de un circuito sobrepase un valor máximo prefijado de antemano mediante un tornillo, al sobrepasa el valor de presión, la válvula abre un conducto a la atmósfera, con lo que la presión disminuye, volviendo a obturarse la vía.

- 3 racores de conexión rápida (P + 2T), conexiones directas a P, y otros retornos en T. (Presión y Tanque)

Piezas metálicas con o sin roscas internas en sentido inverso, que sirve para unir y conectar hacia presión o tanque.

- Motor monofásico. Interruptor marcha-paro. Tapón de llenado y filtro.

Modelo motor italiano LAFERT, velocidad de giro 1340 [rpm] de trabajo, voltaje 220[V]-240[V], frecuencia 50[Hz], Potencia 0.09 [kW]

-Bidón de aceite ISOVG32 Mineral.

Aplicación: Todo sistema oleohidráulico que se desarrolle en el panel didáctico que cumpla con las condiciones básicas de conexión adecuada, de alimentación y de parámetros

2.1.17 Actuador cilíndrico doble efecto SAI 9412

Características técnicas:
Presión máxima 10 [bar].

Aplicación: En circuito de transmisión de fluido tanto para llenado del interior del cilindro donde se empuja el vástago como para retorno del mismo.

Nota: El actuador es capaz de transformar energía hidráulica neumática o eléctrica en la actuación (mecánica) de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado recibiendo la orden de un regulador o controlador. Al recibir el fluido de una válvula en el área izquierda, por dentro se ejerce mecánicamente el movimiento del vástago. Para retornar el vástago a su posición inicial se debe alimentar de fluido por la parte derecha en la otra área del actuador.

2.1.18 Válvula Distribuidora manual 4/2 9413

Características técnicas:

-Accionamiento manual y recuperación por muelle.

-Presión máx: 10 [bar].

Aplicación: Para envío de señal con dos posiciones de trabajo y cuatro vías de transmisión de fluido. Se utiliza para controlar el movimiento de un cilindro de doble efecto y distribuir una señal de aire en dos salidas distintas.

2.1.19 Válvula limitadora de presión, mando directo a bola SAI9414

Características técnicas:

-Ajuste del valor máximo de presión a la entrada descargando a tanque a partir del valor ajustado.

-Ajuste manual mediante manecilla giratoria.

-Presión máx: 10 [bar].

Aplicación: En sistemas con presión inestable, realiza la descarga de fluidos retornando al estanque si la presión del sistema excede la permisible.

2.1.20 válvula antirretorno SAI 9415

Características técnicas:

-Presión máx: 10 [bar].

Aplicación: En circuitos unidireccionales del fluido donde se bloquea paso al retorno.

2.1.21 Válvula estranguladora de caudal ajustable manualmente SAI 9416

Características técnicas:

-Válvula de dos vías, de aguja. Ajuste manual por mando giratorio.

-Presión máx: 10 [bar].

Aplicación: En sistemas que se requiera modificar el caudal u otros parámetros donde el paso del caudal es influyente. Ajusta el caudal de paso de aceite en ambos sentidos.

2.1.22 Válvula limitadora de presión a corredera, con amortiguación SAI9418

Características técnicas:

-Mando directo.

-Ajuste manual mediante manecilla giratoria.

-Presión máx: 10 [bar].

-Abre el paso de aceite cuando a la entrada se alcanza el valor de presión prefijado.

Aplicación: Control de fluido, donde no se requiera tanta fuerza de accionamiento.

2.1.23 Cilindro simple efecto SAI9419

Características técnicas:

-ø20/ø10 x 40 [mm] de carrera.

-Recuperación por muelle.

-Presión máx: 10 [bar]

Aplicación: Para la conexión con solamente alimentación al área de empuje del vástago. Ya que el retorno es por muelle.

2.1.24 Válvula reductora de presión de 3 vías, mando directo SAI 9420

Características técnicas:

-Permite ajustar el valor de presión a la salida, en [A].

-Ajuste manual mediante manecilla giratoria.

-Presión máx: 10 [bar].

Aplicación: Sistemas productivos, debido a que mantienen la presión o la temperatura constantes para el control del proceso, no necesita una línea de detección externa aguas abajo para funcionar. Se utilizan como sistema de seguridad de un sistema hidráulico.

2.1.25 Válvula estranguladora de caudal con antirretorno SAI9421

Características técnicas:

-Permite ajustar el caudal de paso de aceite en un sentido y el paso sin restricción en el sentido contrario.

-Unidireccional. Ajuste manual por mando giratorio.

-Presión máx: 10 [bar].

Aplicación: Sistemas unidireccionales con regulación de caudal. Se usan para la regulación de la velocidad de avance y retroceso en un actuador. Tiene función unidireccional con estrangulación, y al tener antirretorno realiza la tarea en el sentido contrario desbloqueando la unidireccionalidad.

2.1.26 Válvula manual de cierre, 2 vías SAI 9422

Características técnicas:

-Abre o cierra el paso de aceite mediante una palanca de accionamiento.

-Accionamiento manual giratorio.

-Presión máx: 10 [bar].

Aplicación: Traspaso de fluido con solo 2 extremos (entrada y salida) según se determine.

2.1.27 Válvula antirretorno pilotada SAI 9423

Características técnicas:

-Presión máx: 10 [bar].

Aplicación: Permite el paso de aceite en un solo sentido, pero lo hace en ambos sentidos cuando hay presión en la conexión de piloto.

2.1.28 Regulador de caudal compensado SAI 9424

Características técnicas:

-Permite ajustar el caudal haciéndolo independiente de los valores de presión a la entrada y a la salida.

-Regulación por mando manual giratorio.

-Presión máx: 10 [bar].

Aplicación: En sistemas con control de flujo. Permite regular la cantidad de caudal en el sistema.

2.1.29 Electroválvula distribuidora 4/2 monoestable SAI 9431

Características Técnicas:
-Accionamiento por bobina y recuperación por muelle.
-Presión máx: 10 [bar].
-Bobinas de bajo consumo (12w).

Aplicación: Donde se requiera posición de reposo estable ante los dos estados con cuatro vías.

2.1.30 Motor de paleta SAI 9435

Características técnicas:
-8 paletas sobre rotor excéntrico.
-Giratorio bidireccional de paletas con un eje

Aplicación: para objetivo o acción mecanica final giratoria, ejemplo conexión final a eje de un motor, o giro para ventilación, etc.

2.1.31 Motor de pistones axiales SAI 9436

Características técnicas:
-Bidireccional, de pistones axiales.
-7 pistones metálicos Ø12 actuando sobre plano inclinado con drenaje.
-Con conexión A, B y L drenaje.

Aplicación: Circuito a altas velocidades, motor capaz de impulsar el fluido eficazmente y de movilidad axial paralela al eje.

2.1.32 Electroválvula reguladora de caudal compensado proporcional SAI 9439

Características técnicas:
-Accionamiento por bobina de 24VDC,

I nominal 0,8 [A].
-Presión máx: 10 [bar].
-Necesario conector para bobina SAI9303

Aplicación: En sistemas y elementos proporcionales para el control de caudal.

2.1.33 Electroválvula 4/3 centro cerrado SAI9440

Características técnicas:
-Accionamiento por bobina en ambos lados y centraje por muelles.
-Presión máx: 10 [bar]. Bobinas de bajo consumo (12w). * Necesario conector para bobina SAI9272
Aplicación: Regulación de las acciones mediante dirección del traslado del fluido donde existen 4 vías de dispersión y 3 estados o condiciones de dirección donde el centro representa inactividad por cerrar las vías.

2.1.34 Acumulador de membrana SAI 9466

Características técnicas
-Presión máx: 10 [bar].
-Presión de carga (nitrógeno): 4 bar

Aplicación: En reemplazo de bombas para gran caudal ya que puede almacenar el fluido y luego descargarlo para cuando se requiera operar de nuevo en el actuador. También se instala en circuitos donde la presión puede estabilizarse y producirse alzas bruscas de ella.

2.2 LISTADO DE ELEMENTOS SEGÚN LOCALIZACIÓN EN EL BANCO

Los componentes existentes en el panel se encuentran segmentados por cajones. El HYDROTRAINER-200 contiene 4 cajones 460mmx640mmx500mm cada uno y con su respectiva cerradura de seguridad. Además, al contar con alojamiento empotrado para cada componente, éstos tienen diseñado atrás sus patas para ajustar. A continuación, se muestra una tabla con los elementos por código, fotografía y simbología si correspondiese.

ELEMENTOS	CÓDIGO SAI	SIMBOLOGÍA	FOTOGRAFÍA
Conjunto de cables	9046	No aplica simbología en área de cableado	
Final carrera eléctrico (derecho / izquierdo)	9231 R/L		
Juego de conectores + cable para electroimanes de electroválvulas	9272	No aplica simbología en área de cableado	
Repartidor en cruz con manómetro	9406		
Conexión cruzada 4 conexiones	9407		
Válvula manual de cierre, 2 vías	9422	A B	
Actuador cilíndrico doble	9412	A B	
Válvula Distribuidora manual 4/2	9413	A B P T	
Válvula limitadora de presión, mando directo a bola	9414	P T	
válvula antirretorno	9415	B A	
Válvula estranguladora de caudal ajustable manualmente	9416	A B	
Válvula limitadora de presión a corredera, con amortiguación	9418	P L A	
Cilindro simple efecto	9419	A	
Válvula reductora de presión de 3 vías, mando	9420	P T A	
Válvula estranguladora de caudal c/ antirretorno	9421	A B	
Válvula antirretorno pilotada	9423	B A	
Regulador de caudal compensado	9424	A B	
Fuente de alimentación	9040	No aplica simbología en módulos de conexión eléctrica	

Ilustración 10 Elementos disponibles en el panel didáctico. Fuente propia.

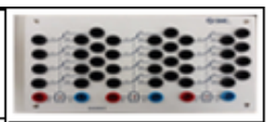
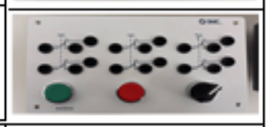
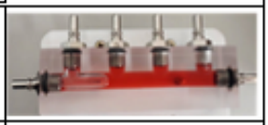
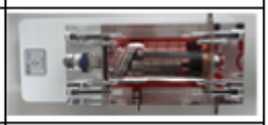
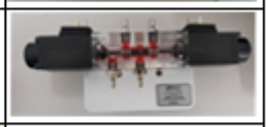
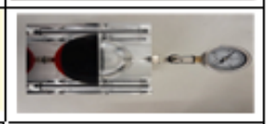
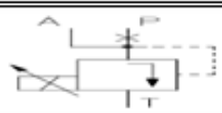
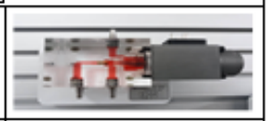
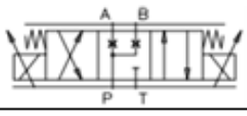
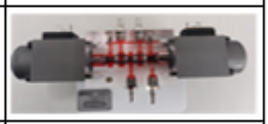
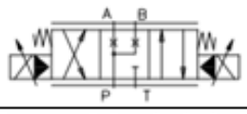
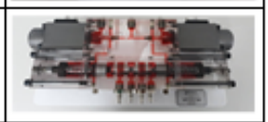
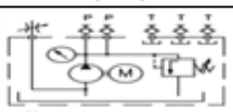
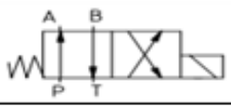
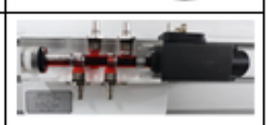
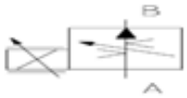
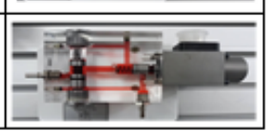
Conjunto de 3 relés	9041	No aplica simbologia en módulos de conexión eléctrica	
Conjunto de pulsadores	9042	No aplica simbologia en módulos de conexión eléctrica	
Repartidor de 6 conexiones	9405		
Motor de paleta	9435		
Motor de pistones axiales	9436		
Electroválvula 4/3 centro cerrado	9440		
Acumulador de membrana	9466		
Módulo de alimentación para dos bobinas proporcionales	9309	No aplica simbologia en módulos de conexión eléctrica	
Electroválvula limitadora de presión proporcional, mando directo	9402		
Electroválvula distribuidora proporcional 4/3 A, B y P Mando directo	9403		
Electroválvula distribuidora preaccionada	9404		
Grupo hidráulico móvil hidráulica transparente	9410		
Electroválvula distribuidora 4/2 monoestable	9431		
Electroválvula reguladora de caudal compensado proporcional	9439		

Ilustración 11 Elementos disponibles en el panel didáctico. Fuente propia.

2.3 INSTRUMENTACIÓN DE MEJORA EN UN SISTEMA DE CONTROL CON RETROALIMENTACIÓN COMO SOLUCIÓN

Se busca el control y constante monitoreo de variables como retroalimentación de un proceso hidráulico con programación para la solución general, y los instrumentos específicos que pueden unirse al control son los siguientes:

2.3.1 Sensores

Dispositivos utilizados para controlar, regular, vigilar y asegurar el estado de un proceso de producción. Permiten recopilar información relevante sobre el proceso, y ayudan a tomar decisiones. Son los principales elementos de retroalimentación, por ello, prioridad en la propuesta solución.

Pueden detectar; presencia de objetos, temperaturas, ubicación o dimensión, color de un objeto o composición química de una sustancia.
Los sensores son dispositivos que pueden funcionar tanto por medio de contacto físico, (por ejemplo, finales de carrera, sensores de fuerza), como sin contacto físico, (por ejemplo, barreras fotoeléctricas, barreras de aire, detectores de infrarrojos, sensores de reflexión, ultrasónicos, sensores magnéticos, etc.).

A nivel general se clasifican en:

- Sensores mecánicos: para medir cantidades como posición, forma, velocidad, fuerza, torque, presión, vibración, deformación y masa.
- Sensores eléctricos: para medir voltaje, corriente, carga y conductividad.
- Sensores magnéticos: para medir campo, flujo y permeabilidad magnética.
- Sensores térmicos: para medir temperatura, flujo, conductividad y calor específico.

A modo más específico, los sensores se segmentan según:

- Principio de funcionamiento: Activos o pasivos
- Tipo de señal eléctrica que generan: Digitales, análogos o temporales
- El rango de valores que proporciona: Binarios ON OFF o de medida infinita
- Nivel de integración: Discretos, integrados o inteligentes.
- Tipo de variable física medida: Mecánicos, eléctricos, magnéticos, térmicos, acústicos, de ultrasonidos, químicos, ópticos, de radiación o láser.

Un sensor pensado en lo que se enfocará más adelante el proyecto para la retroalimentación como solución sería uno de presión o transductores de presión, que son muy habituales en cualquier proceso industrial o sistema de ensayo. Su objetivo es transformar una magnitud física en una eléctrica, en este caso transforman una fuerza por unidad de superficie en un voltaje equivalente a esa presión ejercida.

2.3.2 Caudalímetro

Un caudalímetro es un instrumento para la medición de caudal, gasto másico o gasto volumétrico de un fluido. Estos aparatos suelen colocarse en línea con la tubería que transporta el fluido. También suelen llamarse medidores de caudal, medidores de flujo o flujómetros.

Existen versiones mecánicas y eléctricas. Un ejemplo de caudalímetro eléctrico lo podemos encontrar en los calentadores de agua de paso que lo utilizan para determinar el caudal que está circulando o en las lavadoras para llenar su tanque a diferentes niveles.

2.3.3 Controlador lógico programable PLC

Computadora encargada de automatizar procesos con el fin de controlar diversas funciones mecánicas. Los PLC están diseñados para múltiples señales de entrada y salida, rangos de temperatura ampliados, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto. Existen diversas maneras de programar un PLC, ya sea en modelo GRAFCET, Diagrama de funciones, Lista de instrucciones y Ladder (escalera).

Los PLC conllevan a:

- La reducción del costo de mano de obra, al automatizar las tareas, el ser humano comienza a volverse un elemento prescindible.
- Una instalación bastante sencilla, ocupar poco espacio y manejar múltiples equipos de manera simultánea gracias a la automatización.
- Un mejor monitoreo de los procesos, lo que hace que la detección de fallos se realice rápidamente.
- Puede existir reducción de costos adicionales como los de operación, mantenimiento e incluso energía.
- En cuanto a la inversión, el costo es elevado y es de plan riesgoso, donde quizá las ganancias se generen a largo plazo.

- Requiere de un personal calificado para el manejo de estos dispositivos, lo que implica no solo un costo relativamente elevado, sino también la dificultad de encontrarlo.
- Se tiene en cuenta múltiples detalles para que la operación salga a la perfección, tanto en la producción, como en el código de programación. La gama de instrumentación complementaria es alta.

2.3.4 Microprocesadores incorporados en el PLC

El microprocesador es el pequeño cerebro con el que cuenta una computadora y se encarga de recibir, analizar y calcular todos los datos. Contienen un oscilador de cuarzo que genera los pulsos a un ritmo constante de manera que se pueden generar varios ciclos en un segundo, la velocidad de los microprocesadores se mide en frecuencias y estas pueden ser mega hertzios (MHz) o Giga hertzios (GHz) es decir, miles de millones o millones de ciclos por segundo.

2.3.5 Pantalla HMI

Pantalla táctil que realiza monitoreo y control de un proceso a través de un PLC facilitando su operación al usuario final, compatible con la mayoría de los PLC existentes en el mercado.
Las interfaces Hombre-Máquina -también conocidas como displays, pantallas de operador o HMI (por sus siglas en inglés) han evolucionado de la mano de la tecnología y las necesidades de la industria, pasando de ser simples elementos de comunicación entre el operario y el proceso, para transformarse en componentes inteligentes de control y monitoreo.

2.3.6 Controlador PID (módulo incorporado en el PLC)

De manera proporcional, el controlador intenta acercarse al valor ideal (entrada) con el fin de disminuir errores, detecta el margen de error y procesa la integración del error, al derivar se genera mayor sensibilidad (precisión) y el procedimiento es más rápido, ya que se limita en un tiempo determinado. La acción de control proporcional-integral-derivativa, combinada reúne las ventajas de cada una de las tres acciones de control.

Los miembros de la familia de controladores PID, incluyen tres acciones: proporcional

(P), integral (I) y derivativa (D). Estos controladores son los denominados P, I, PI, PD y PID. No necesariamente un proceso debe estar constituido por PID, ya que depende del contexto de aplicación.

- P: acción de control proporcional, da una salida del controlador que es proporcional al error. Un controlador proporcional puede controlar cualquier planta estable, pero posee desempeño limitado y error en régimen permanente (off set).
- I: acción de control integral: da una salida del controlador que es proporcional al error acumulado, lo que implica que es un modo de controlar lento. La señal de control tiene un valor diferente de cero cuando la señal de error es cero. Por lo que se concluye que, dada una referencia constante, o perturbaciones, el error en régimen permanente es cero.
- PI: acción de control proporcional-integral

Con un control proporcional, es necesario que exista error para tener una acción de control distinto de cero. Con acción integral, un error pequeño positivo siempre nos ˜ dará una acción de control creciente, y si fuera negativo la señal de control será decreciente. Este razonamiento sencillo nos muestra que el error en régimen permanente será siempre cero.

Al ser común esta combinación, se puede demostrar que un control PI es adecuado para todos los procesos donde la dinámica es esencialmente de primer orden.

- PD: acción de control proporcional-derivativa, se define mediante:

Aparece una constante denominada tiempo derivativo. Esta acción tiene carácter de previsión, lo que hace más rápida la acción de control, aunque tiene la desventaja importante que amplifica las señales de ruido y puede provocar saturación en el actuador. La acción de control derivativa nunca se utiliza por sí sola, debido a que solo es eficaz durante periodos transitorios.

Cuando una acción de control derivativa se agrega a un controlador proporcional, ´ permite obtener un controlador de alta sensibilidad, es decir que responde a la velocidad del cambio del error y produce una corrección significativa antes de que la ´ magnitud del error se vuelva demasiado grande. Aunque el control derivativo no afecta en forma directa al error en estado estacionario, añade amortiguamiento al sistema y, por tanto, permite un valor más grande que la ganancia, lo cual provoca una mejora en la precisión en estado estable.

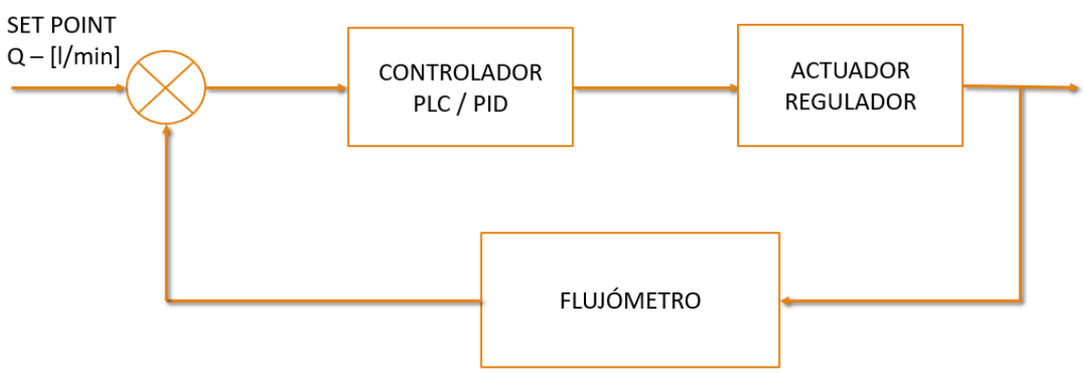
2.4 VARIABLES QUE PUEDE CONTROLAR UN PID COMO SOLUCIÓN A LA PROPUESTA

Un sistema de control lazo cerrado requiere de un elemento controlador, los controladores PID pueden detectar errores en plazo de tiempo eficiente para realizar correcciones. Instalar y programar un PLC con controlador PID en el panel de hidráulica transparente proporciona un monitoreo constante y preciso de los siguientes parámetros:

- Control de la variable analógica de caudal.
- Control de la variable analógica de nivel.
- Control de la variable analógica de temperatura.
- Control de la variable analógica de presión.

2.4.1 Control de la variable analógica de caudal

Para monitorear el caudal se requiere de un sensor capaz de rastrear la cantidad de caudal que pasa por un espacio y tiempo determinado, este es un flujómetro o caudalímetro. Para un control de variable independiente de qué tipo, se registra el set point correspondiente y en general medido en [L/min].

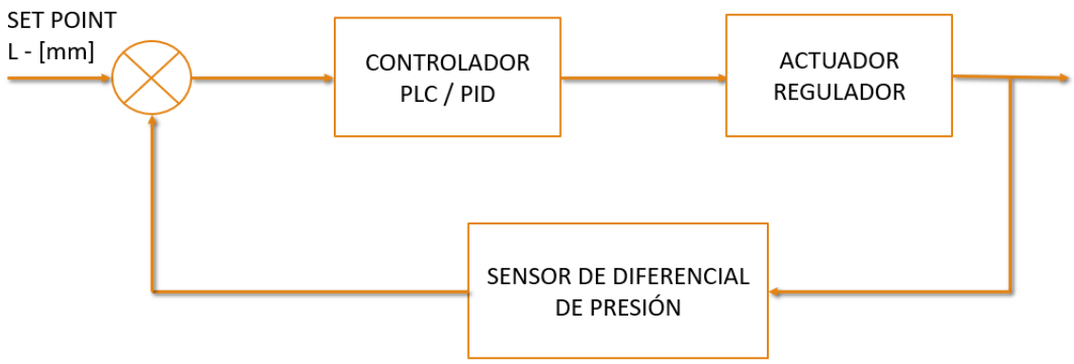


Esquema 3 Sistema de control lazo cerrado variable caudal. Fuente propia.

2.4.2 Control de la variable analógica de nivel

Al requerir un monitorio del llenado de un estanque, comparar y luego controlar hasta el nivel deseado, un sensor de diferencial de presión es ideal, ya que las presiones son afectadas por la altura mediante el estudio y formula de la presión hidrostática: P= d x g x

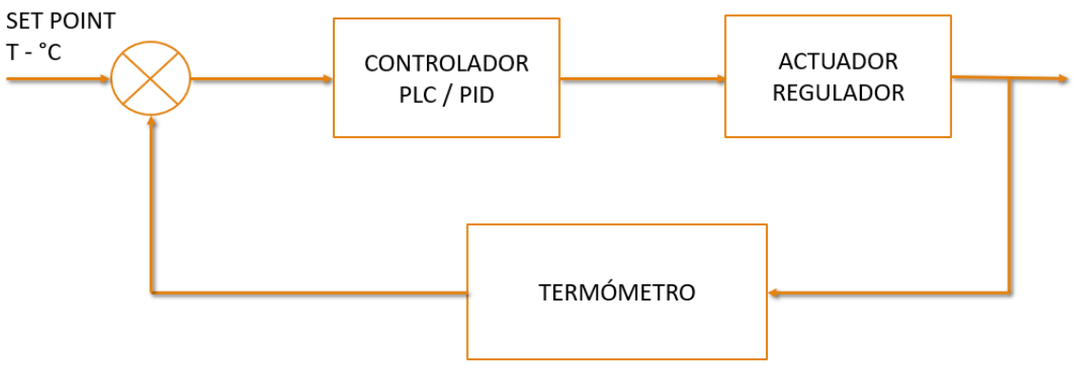
h (densidad, gravedad y altura). El set point va expresado en magnitud de longitud, por ejemplo, milímetros.



Esquema 4 Esquema 3 Sistema de control lazo cerrado variable nivel. Fuente propia.

2.4.3 Control de la variable analógica de temperatura

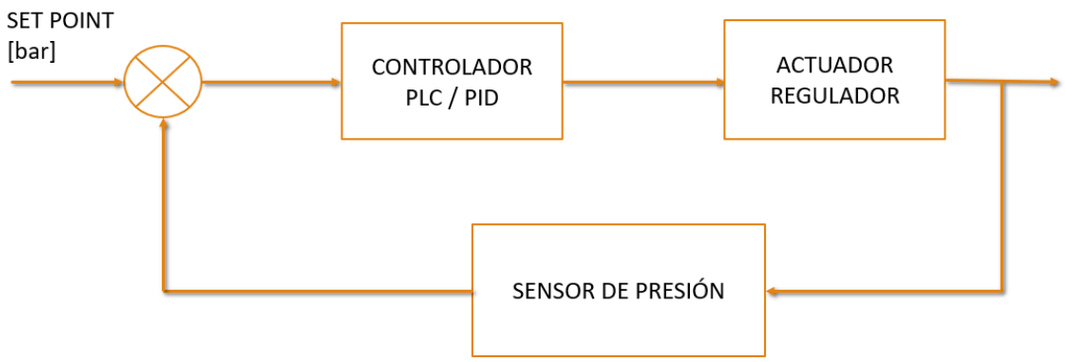
La temperatura es un parámetro ideal para ambientes extremos donde la variación va al límite de las condiciones óptimas de funcionamiento para las instrumentaciones industriales. El set point corresponde a la temperatura ambiente del área del proceso y el elemento medidor es un termómetro capaz de trasmitir la señal al comparador para controlar ya sea disminuyendo o aumentando la temperatura.



Esquema 5 Esquema 3 Sistema de control lazo cerrado variable temperatura. Fuente propia.

2.4.4 Control de la variable analógica de presión

La presión y su variación dentro del sistema es perceptible rápidamente en un controlador PID, por ello es que mediante un sensor de presión se envía señales para comparar las presiones de entrada y salida, disminuir errores y encontrar falencias.



Esquema 6 Esquema 3 Sistema de control lazo cerrado variable presión. Fuente propia.

2.5 MATRIZ DE DECISIÓN DE LA PROPUESTA

La definición de la propuesta depende de: qué se busca, cómo obtengo un sistema de control lazo cerrado, qué variables se pretenden controlar, con qué instrumentos se controlan, qué se necesita.

Una retroalimentación monitoreada bajo programación avanzada es la manera de ejecutar un control lazo cerrado y el controlador PID es la solución a la forma y para seguir formando la propuesta se deben desarrollar los argumentos.

- La idea principal del proyecto es mostrar al menos dos distintas formas de control mediante PID para un sistema volviéndolo lazo cerrado con retroalimentación.
- Dentro de las variables a controlar, la temperatura es un parámetro lento a diferencia de los restantes y el control de nivel está en un área más específica, por lo que se requeriría mayor instrumentación.
- Por lo tanto, la presión y caudal monitoreados hacia un actuador lineal o giratorio tendrían visualidad más significativa.

Se establecen 4 parámetros de decisión con un nivel de evaluación del número 1 al 5 con relevancia progresiva respectivamente. Es decir:

1: Nada notable - 2: Poco notorio - 3: Aceptable - 4: Significativo - 5: Muy Significativo

Los criterios de evaluación dependen de información obtenida sobre la posible reutilización de instrumentos en la universidad y los conocimientos previos sobre la implementación de control en las variables a evaluar.

Tabla 3 Matriz de decisión de la propuesta del proyecto. Fuente propia.

Variable v/s parámetro de decisión	Control de nivel	Control de presión	Control de Caudal	Control de temperatura
Optimización de espacio que se necesitaría	3	5	5	5
Visibilidad del cambio según el tiempo	5	5	4	2
Optimización de instrumentos existentes	3	4	3	3
Nivel de reducción de costos	3	4	4	4
Total	14	18	16	14

3 CAPÍTULO III: IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA Y EVALUACIÓN ECONÓMICA

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

La propuesta para un sistema de control lazo cerrado en el taller es: adquirir la instrumentación faltante en el panel para llevar a cabo una retroalimentación monitoreada por PLC. Para ello se requiere un PLC compatible con los elementos existentes en hidráulica transparente, un controlador PID incorporado al PLC, licencia del programa simulador y ejecutor del PLC, un HMI para graficar el comportamiento, un sensor de presión y caudalímetro hidráulico también compatibles con las condiciones del panel.

Lo anterior, con el fin de instalar al menos 3 circuitos que se simularían a futuro en clases mediante actividad práctica, donde existan:

- Circuito de sistema de control lazo abierto
- Circuito de sistema de control lazo cerrado de actuador lineal con controlador PID y un sensor de presión.
- Circuito de sistema de control lazo cerrado de actuador giratorio con controlador PID y un caudalímetro.

La propuesta busca la implementación del sistema de control lazo cerrado en clases académicas con el nombre de “Simulación de sistemas de control y mando”
El objetivo de llevar a cabo la actividad académica es poder simular un sistema de control lazo cerrado por primera vez en el laboratorio y a su vez poder comparar el proceso con un sistema de control lazo abierto. Esto en beneficio a la formación que se busca en el alumnado, impulsando mayores bases en la tecnología de forma más actualizada.

Las variables a controlar serán

- En el primero la frecuencia del circuito eléctrico y el comportamiento lazo abierto.
- En el segundo es la presión del actuador lineal.
- En el tercero es el caudal del actuador giratorio.

Los elementos a incorporar al panel son:

- Controlador lógico programable
- Controlar PID añadido al PLC
- Cable Ethernet
- Pantalla HMI
- Sensor de presión
- Caudalímetro

3.2 CONDICIONES DE TRABAJO Y CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS ELEMENTOS A INCORPORAR

3.2.1 Condiciones de trabajo

La compatibilidad de los instrumentos necesarios depende de las condiciones de operación en el circuito, es el rango en el que se trabaja en conjunto los elementos.

- El caudal que maneja el grupo hidráulico que bombea el aceite tiene capacidad hasta 1 [l/min].
- El nivel máximo del estanque que contiene el aceite de trabajo llega a 6 litros.
- La presión máxima establecida tanto en el grupo hidráulico como en las electroválvulas y los actuadores es de 10 bar. Al límite de esta presión actúa la limitadora de presión.
- La frecuencia regulable en el módulo de alimentación eléctrica hacia los solenoides tiene rango de 25-250 [Hz]
- La intensidad regulable en el módulo de alimentación eléctrica hacia los solenoides tiene rango de 0-800 [mA]

3.2.2 Características técnicas del PLC

Un controlador lógico programable común y reconocido en el mercado es de marca SIEMENS. Los productos que tiene la empresa nombrada proporcionan compatibilidad completa entre controlador programable, microprocesador, pantalla HMI y software de control desde un PC. Y así mismo, permite enviar señales diseñadas en el software.

La variedad en el tipo de control programable tiene relación con la capacidad técnica y la aplicación. Dentro de los cuatros controladores dispuestos en SIEMENS (marca con confiabilidad en base a certificación) están LOGO, SIMATIC S7-1200, SIMATIC S7-300 y SIMATIC S7-400, que aumentan su complejidad en áreas de automatización a mayor escala respectivamente. Véase ilustración 13 de la siguiente página.

La aplicación de usuario que se busca del PLC es poder controlar presión y caudal en una simulación ámbito académico de preparación profesional, y al no ser ejecutado en procesos de carácter masivo o repetitivo, la elección del PLC se basa en una complejidad baja, inversión no tan elevada, habilidades actualizadas (no obsoletas), propiedades

básicas cumpliendo con las condiciones de trabajo y de simple acceso dentro de la industria. Por lo anterior, se recomienda el controlador SIMATIC S7 – 1200.

Ilustración 12 Tipos de controladores modulares de SIEMENS. Fuente: Manual instructivo SIEMENS.

Existe un controlador modular PLC adquirido en el Departamento de Mecánica modelo SIMATIC S7- 1200 CPU1214C DC/DC/DC. Sus características son compatibles con el sistema hidráulico en el panel. Es por ello que se investiga su adecuación al sistema que se quiere instalar.

El S7-1200 1214C cuenta con:

- Interfaz de comunicación PROFINET (Ethernet)
- 10 salidas RELAY OUTPUTS
- 14 entradas entre digitales, análogas (2) y de alimentación
- Espacio de memoria externa
- Inserción de módulo de salida analógica (0-20mA)

A continuación, se muestra una tabla comparativa de las distintas series de controlador modular S7 1200.

Tabla 4 Comparación de los modelos de PLC SIEMENS. Fuente: Manual instructivo SIEMENS.

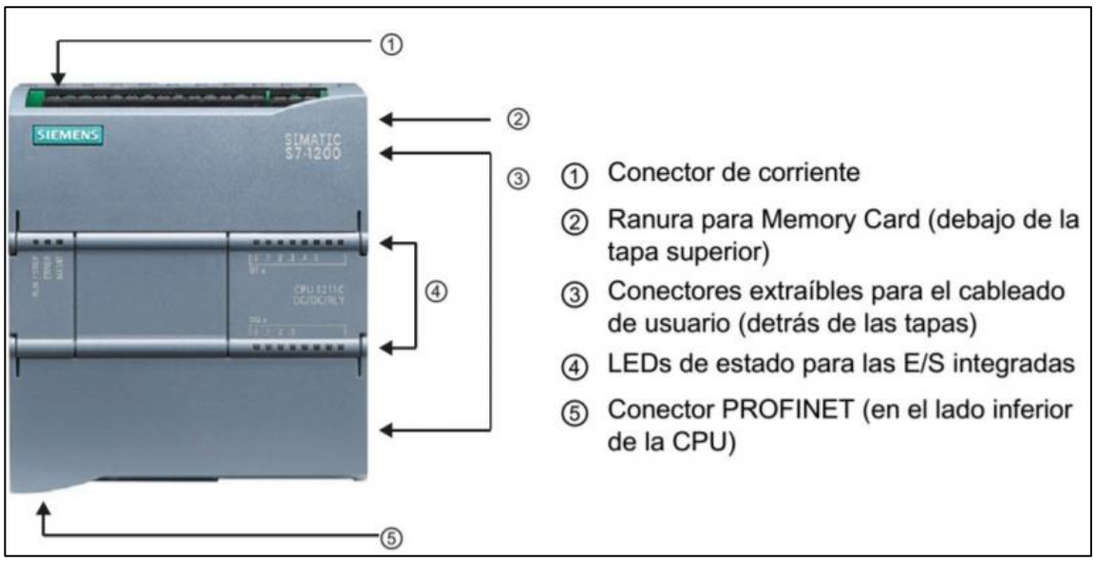
Función		CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C	CPU 1215C	CPU 1217C
Dimensiones físicas (mm)		90 x 100 x 75	90 x 100 x 75	110 x 100 x 75	130 x 100 x 75	150 x 100 x 75
Memoria de usuario	Trabajo	30 kB	50 KB	75 kB	100 kB	125 KB
	Carga	1 MB	1 MB	4 MB	4 MB	4 MB
	Remanente	10 kB	10 kB	10 kB	10 kB	10 KB
E/S integradas locales	Digital	6 entradas/4 salidas	8 entradas/6 salidas	14 entradas/10 salidas	14 entradas/10 salidas	14 entradas/10 salidas
	Analógico	2 entradas	2 entradas	2 entradas	2 entradas/2 salidas	2 entradas/2 salidas
Tamaño de la memoria imagen de proceso	Entradas (I)	1024 bytes	1024 bytes	1024 bytes	1024 bytes	1024 bytes
	Salidas (Q)	1024 bytes	1024 bytes	1024 bytes	1024 bytes	1024 bytes
Área de marcas (M)		4096 bytes	4096 bytes	8192 bytes	8192 bytes	8192 bytes
Ampliación con módulo de señales (SM)		Ninguna	2	8	8	8
Signal board (SB), Battery Board (BB) o Communication Board (CB)		1	1	1	1	1
Módulo de comunicación (CM) (ampliación en el lado izquierdo)		3	3	3	3	3
Contadores rápidos	Total	Se han configurado un máximo de 6 para usar cualquier entrada integrada o de SB.				
	1 MHz	--	--	--	--	De Ib.2 a Ib.5
	100/[1]80 kHz	De Ia.0 a Ia.5	De Ia.0 a Ia.5	De Ia.0 a Ia.5	De Ia.0 a Ia.5	De Ia.0 a Ia.5
	30/[1]20 kHz	--	De Ia.6 a Ia.7	De Ia.6 a Ib.5	De Ia.6 a Ib.5	De Ia.6 a Ib.1
Salidas de impulsos [2]	Total	Se han configurado un máximo de 4 para usar cualquier salida integrada o de SB				
	1 MHz	--	--	--	--	De Qa.0 a Qa.3
	100 kHz	De Qa.0 a Qa.3	De Qa.0 a Qa.3	De Qa.0 a Qa.3	De Qa.0 a Qa.3	De Qa.4 a Qb.1
	20 kHz	--	De Qa.4 a Qa.5	De Qa.4 a Qb.1	De Qa.4 a Qb.1	--
Memory Card		SIMATIC Memory Card (opcional)				
Tiempo de respaldo del reloj de tiempo real		20 días típ./12 días mín. a 40 °C (condensador de alto rendimiento sin mantenimiento)				
Puerto de comunicación Ethernet PROFINET		1	1	1	2	2

El PLC puede manejarse desde un computador con el software STEP 7 (TIA PORTAL) capaz de diseñar y enviar señales de control.

La conexión del PLC a un computador y/o una pantalla HMI depende del modelo de cableado PROFINET (Familia de los Ethernet). Tanto el computador como la pantalla HMI deben tener incorporado el programa de simulación SIEMENS. Una vez unido al PLC, el programa debe configurarse con los valores iniciales de entrada, las variables a controlar en el PID incorporado y el diagrama de trabajo deseado.

La CPU del controlador contiene un condensador que suministra la energía que necesita el reloj tiempo real del sistema con alimentación conectada o no. El STEP 7 se encarga de ajustar la hora a la del sistema.

Tabla 5 Partes externas del PLC S7-1200. Fuente: Manual de sistema S7 1200 Catálogo A5E02486683-02



3.2.3 Características del Software

TIA PORTAL es un sistema de ingeniería que cuenta con versiones de Software SIMATIC STEP 7, WinCC y Startdrive para planificar, programar y diagnosticar los controladores SIMATIC.

El software de ingeniería compatible a señales hacia y desde un controlador programable S7 1200 SIEMENS es el SIMATIC STEP 7 Basic y profesional. Este software tiene la particularidad de configurar los dispositivos del proyecto de lógica programable como controladores y pantallas de HMI para graficar los parámetros que varían en el tiempo.
Los lenguajes de programación estándar que ofrece son KOP (programación gráfica similar a los esquemas de circuitos), FUP (Símbolos lógicos gráficos para álgebra booleana) y SCL (nivel avanzado base en textos).

El objetivo del software es desarrollar, editar y observar la lógica del programa para controlar un proceso de forma fácil, rápida y eficiente. La licencia del software es una limitancia, pero en páginas web existe información multimedia del sistema TIAPORTAL, el cómo se configura el PLC a utilizar, las variables de entrada, el diagrama de trabajo y la configuración del PID.

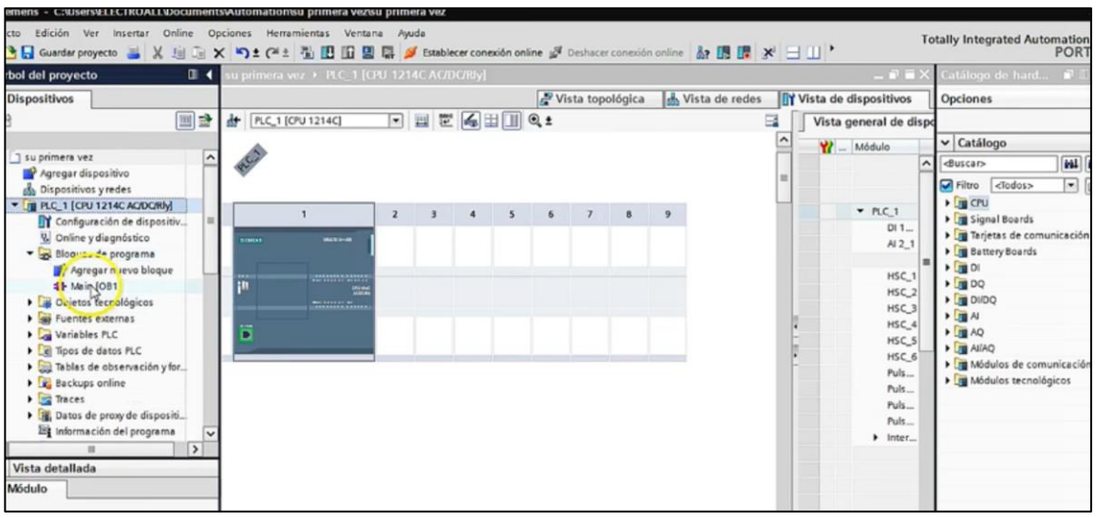


Ilustración 13 Programa STEP 7 con PLC SIEMENS S7 1200.Fuente propia.

3.2.4 Características técnicas del controlador PID

El controlador PID incorporado en el S7 -1200 puede regular las condiciones de trabajo desde el software que visualiza y permite las instrucciones de mando en el mismo controlador y así incorporar la presión y caudal deseado.

Dentro de las características de su función compacta está regular; el ciclo de trabajo mediante contactor estado sólido, la velocidad de un inversor, la posición de una válvula o actuador.

Realiza un monitoreo en línea al accionar su puesta en marcha y permite visualizar su análisis en gráfica del punto de ajuste, valor real y manipulado.

3.2.5 Características técnicas de la pantalla HMI

Los paneles HMI Basic SIEMENS se clasifican por tamaño y gama de color. En las siguientes imágenes se observan que los datos técnicos no varían.

Tabla 6 Clasificación de algunas pantallas HMI Basic Fuente: Manual de sistema SIEMENS CAT A5E02486683-02

Panel HMI Basic	Descripción	Datos técnicos
KP 300 Basic PN	Teclado de membrana de 3,6" con 10 teclas táctiles que se pueden configurar libremente • Mono (STN, blanco y negro) • 87 mm x 31 mm (3,6") • Color de retroiluminación programado (blanco, verde, amarillo o rojo) • Resolución: 240 x 80	• 250 variables • 50 sinópticos de proceso • 200 avisos • 25 curvas • 40 KB memoria de recetas • 5 recetas, 20 registros, 20 entradas
KTP 400 Basic PN	Pantalla táctil de 4 pulgadas con 4 teclas táctiles • Mono (STN, escala de grises) • 76,79 mm x 57,59 mm (3,8") Horizontal o vertical • Resolución: 320 x 240	• 250 variables • 50 sinópticos de proceso • 200 avisos • 25 curvas • 40 KB memoria de recetas • 5 recetas, 20 registros, 20 entradas
KTP 600 Basic PN	Pantalla táctil de 6 pulgadas con 6 teclas táctiles • Color (TFT, 256 colores) o monocromo (STN, escala de grises) • 115,2 mm x 86,4 mm (5,7") Horizontal o vertical • Resolución: 320 x 240	• 500 variables • 50 sinópticos de proceso • 200 avisos • 25 curvas • 40 KB memoria de recetas • 5 recetas, 20 registros, 20 entradas

Panel HMI Basic	Descripción	Datos técnicos
KTP 1000 Basic PN	Pantalla táctil de 10 pulgadas con 8 teclas táctiles • Color (TFT, 256 colores) • 211,2 mm x 158,4 mm (10,4") • Resolución: 640 x 480	• 500 variables • 50 sinópticos de proceso • 200 avisos • 25 curvas • 40 KB memoria de recetas • 5 recetas, 20 registros, 20 entradas
TP 1500 Basic PN	Pantalla táctil de 15 pulgadas • Color (TFT, 256 colores) • 304,1 mm x 228,1 mm (15,1") • Resolución: 1024 x 768	• 500 variables • 50 sinópticos de proceso • 200 avisos • 25 curvas • 40 KB memoria de recetas (memoria flash integrada) • 5 recetas, 20 registros, 20 entradas

La pantalla de mínimo requerimiento debiese ser la KTP 600 Basic PN, ya que incorpora operación en blanco y negro o a colores, además se ajusta de forma horizontal y vertical. Características técnicas y generales de los paneles básicos SIMATIC HMI:

- Las pantallas gráficas miden entre 4” a 25”
- Sistema de alarma
- Interfaz PROFINET
- Administración de recetas y funcionalidad de curvas
- Grado de protección IP65

Cabe mencionar que existen más tamaños de pantallas SIEMENS.

3.2.6 Características técnicas del Caudalímetro

La característica principal es la cantidad de caudal en el sistema a controlar: 1[L/min] o 60 [L/H] y la aplicación en aceite. Dentro del rango de caudal de medición se encuentra un caudalímetro con las siguientes descripciones:

Clasificación: Caudalímetro para aceite DFM-100C-K
Funcionamiento: con salida de impulsos, compacto, de alta precisión, con pantalla LCD, de lectura directa, con batería, contador, autónomo, multifunción, a distancia.
Aplicaciones: industrial alta resistencia
Presión de proceso: Máx.: 25 bar (362,59 psi) Mín.: 2 bar (29,01 psi)
Temperatura de proceso: Máx.: 60 °C (140 °F) Mín.: -20 °C (-4 °F)
Flujo volumétrico: Máx.: 100 l/h (26,4 us gal/h) Mín.: 2 l/h (0,5 us gal/h)

El medidor de flujo de combustible de 100 L/H se caracteriza por su tiempo modo óptimo, capacidad para medir la temperatura y el consumo en modo de sobrecarga. Este medidor de flujo de combustible tiene una salida de pulso leíble. El modo de desbordamiento, el modo normal y el flujo real se indican mediante el indicador LED incorporado.
El flujómetro o caudalímetro de combustible de 100 L/H proporciona un flujo de combustible y con fácil montaje en cualquier posición y está equipada con un filtro de combustible
Es hidráulico y resistente a las vibraciones, y la resistencia hidráulica del fluido que fluye se reduce debido a la amplia sección de limpieza.

Ilustración 14 Flujómetro DFM por catálogo. Fuente DirectIndustry.

3.2.7 Características técnicas del sensor de presión

SMC proporciona un presostato digital para aceite hidráulico, un presostato digital de visualización de 2 colores, diafragma de acero inoxidable 630 y montaje trasero o inferior. Aplicación en medición de presión en agua, fluidos hidráulicos, aceites de silicona, lubricantes y fluoro carburo.

Como ejemplo industrial, mediante el presostato se puede comprobar:

- Adsorción de piezas que contienen humedad
- Presión de alimentación de las líneas de limpieza
- Presión de trabajo del cilindro hidráulico
- Presión después de la unidad de lubricación

La serie ISE80 del presostato digital encaja con las condiciones de trabajo, ya que cuenta con un rango de medición de -0,1 a 1000Mpa (0-10bar).
Como características técnicas adicionales tiene:

- Medición de sobrepresión 2[Mpa]
- Ajuste mínimo de 0,001[Mpa]
- Repetividad ±0,2 % fondo escala ±1 dígito
- Ajuste OUT1 y OUT2 (2 salidas)
- Cable tamaño estándar 2[m]
- Modo ahorro de energía y ajuste de código secreto (personalizado)

Tabla 7 Características técnicas de los presostatos digitales SMC. Catalogo EUS100-71A-ES SMC.

Modelo			ZSE80 (Presión de vacío)	ZSE80F (Presión combinada)	ISE80 (presión positiva)	ISE80H (presión positiva)
Rango de presión nominal			0.0 a –101.0 kPa	–100.0 a 100.0 kPa	–0.100 a 1.000 MPa	–0.100 a 2.00 MPa
Rango de presión de ajuste			10.0 a –111.0 kPa	–110.0 a 110.0 kPa	–0.105 a 1.100 MPa	–0.105 a 2.20 MPa
Presión de prueba			500 kPa		2 MPa	4 MPa
Material de piezas en contacto con líquidos			Presostato: Acero inoxidable 630, racor: Acero inoxidable 304			
Fluido aplicable			Fluidos no corrosivos paraa el acero inoxidable 630 y 304			
Tamaño de conexión			Rc1/4, NPT1/4, G1/4*, URJ1/4, TSJ1/4, Rc1/8 Posición de conexionado: trasero/inferior			
Tensión de alimentación			12 a 24 VDC, rizado (p-p) ±10% o menos (con protección de polaridad del suministro eléctrico)			
Consumo de corriente			45 mA o menos			
Salida digital			NPN 1 salida, NPN 2 salidas, 1 PNP salida, 2 PNP salidas			
	Corriente de carga máxima		80 mA			
	Máx. tensión de carga		28 V (en la salida NPN)			
	Tensión residual		1 V o menos (con corriente de carga 80 mA)			
	Tiempo de respuesta		2.5 ms (con función antivibración: 20, 100, 500, 1000, 2000 ms)			
	Protección contra cortocircuitos		Sí			
Repetitividad			±0.2% fondo de la escala ±1 dígito			
Histéresis	**Modo histéresis**		Variable (0 o superior)			
	Modo de ventana comparativa					
Salida analógica	**Tensión salida**	**Tensión de salida (Rango de presión nominal)**	1 a 5 V ±2.5% F.S.		0.6 a 5 V ±2.5% F.S.	0.8 a 5 V ±2.5% F.S.
		Linealidad	±1% fondo de escala o menos			
		Impedancia de salida	Aprox. 1 kΩ			
	Corriente salida	**Salida de corriente (Rango de presión nominal)**	4 a 20 mA ±2.5% F.S.		2.4 a 20 mA ±2.5% F.S.	3.2 a 20 mA ±2.5% F.S.
		Linealidad	±1% fondo de la escala o menos			
		Impedancia de carga	Máxima impedancia de carga: 300Ω (Tensión de alimentación 12 V) 600Ω (Tensión de alimentación 24 V) Mínima impedancia de carga: 50Ω			
Entrada de autocorrección			Entrada sin tensión (Reed o estado sólido), nivel bajo: 0.4 V o menos, 5 ms o entrada más larga			
Display			3 1/2 dígitos, 7 segmentos, indicador de 2 colores LCD (Rojo/Verde)			
Precisión de indicador			±2% fondo de escala ±1 dígito (Temperatura ambiente de 25 ±3 °C)			
Indicador luminoso			Se enciende cuando la salida está activada. OUT1, OUT2: Naranja			
Funcionamiento			Ajuste de tiempo de respuesta, puesta a cero, función de bloqueo, preajuste automático, autodiagnóstico, cambio de unidades, modo de ahorro de energía			
Resistencia medioambiental	**Grado de protección**		IP65			
	Rango de temperatura de trabajo		En funcionamiento: 0 a 50 °C, almacenado: –10 a 60 °C (sin congelación ni condensación)			
	Rango de humedad de trabajo		En funcionamiento/almacenado: 35 a 85% RH (sin condensación)			
	Resistencia dieléctrica		250 VAC durante 1 minuto entre la terminal externa y la carcasa			
	Resistencia al aislamiento		2 MΩ o más entre la terminal externa y la carcasa (a 50 Megaohmmetros VDC)			
	Resistencia a vibraciones		10 a 150 Hz si la amplitud es menor a 15 mm o la aceleración a 20 m/s², en las direcciones X, Y, Z, 2 horas cada una (desactivada)			
	Resistencia a impactos		100 m/s² en las direcciones X, Y, Z, 3 veces cada una (desactivada)			
Características de temperatura			±3% fondo de escala (basado en 25 °C), dentro del rango de temperatura de trabajo)			
Cable conductor			Cable de vinilo óleoresistente para cargas pesadas, 3 hilos (N.P) ø3.5, 2 m 4 hilos (A.B) Área del conductor: 0.15 mm² (AWG26) 5 hilos (R.T.S.V) Diám. ext.: 0.95 mm			
Normas			Marca CE, de conformidad con UL/CSA y RoHS			

3.3 DESARROLLO DE LOS CIRCUITOS DE SIMULACIÓN

3.3.1 Sistema de control lazo abierto

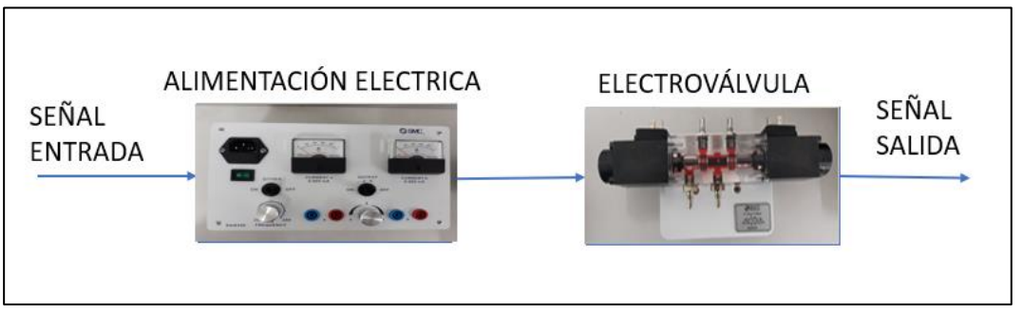
3.3.1.1 Instrumentación del circuito 1

- Modulo alimentación bobina proporcional
- Cilindro doble efecto
- Manómetro conexión cruzada
- Electroválvula 4/3 centro cerrado
- Grupo hidráulico móvil hidráulica transparente
- Cableado eléctrico y oleohidráulico

3.3.1.2 Esquema del circuito 1

Lo siguiente es un esquema simple de componentes principales con su aspecto real.

Esquema 7 Sistema lazo abierto. Fuente propia



Set point en unidades Bar, rango 0-10. Regulación de electroválvula al cilindro doble efecto con un manómetro entre medio como elemento controlador.

3.3.1.3 Imagen del montaje del circuito 1

La instrumentación requerida está disponible en el panel didáctico, por ello es que se obtiene fotografía del circuito instalado por completo, donde:

1: Modulo de alimentación de bobinas proporcionales
2: Electroválvula 4/3 centro cerrado
3: Grupo hidráulico
4: Cilindro doble efecto

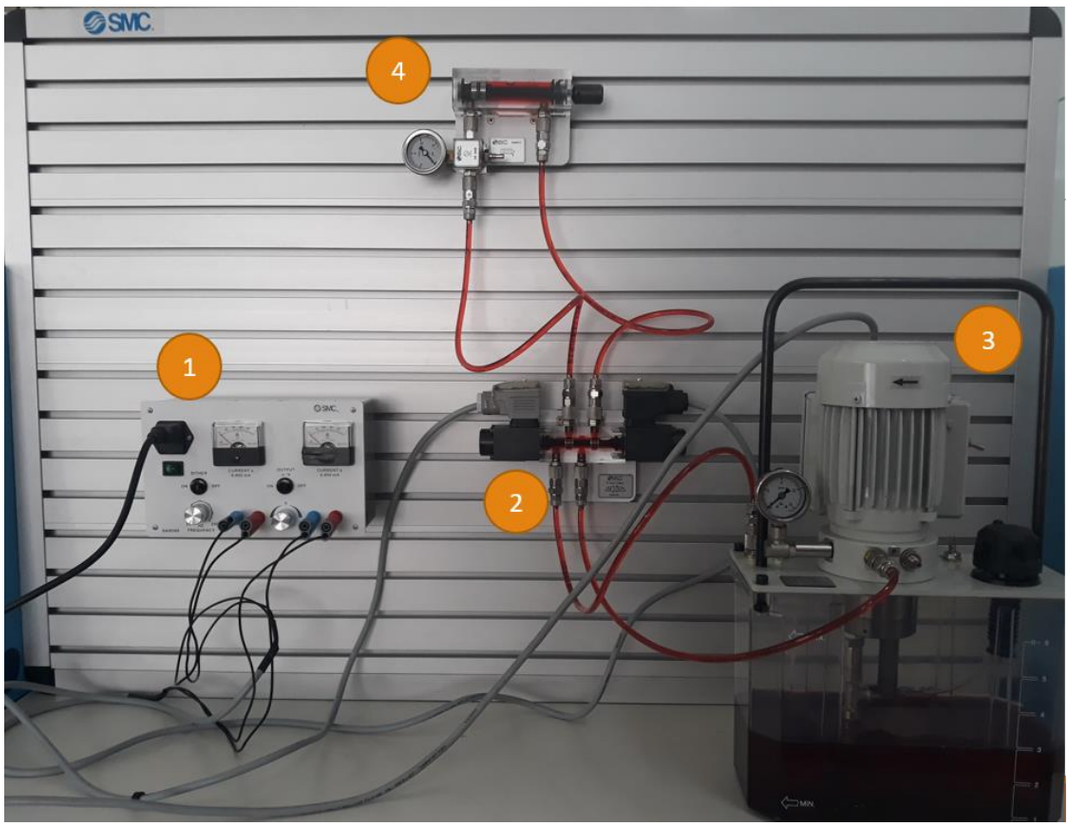


Ilustración 15 Instalación del Sistema de control lazo abierto. Fuente propia.

3.3.1.4 Análisis del circuito 1

Las conexiones con respecto a la enumeración de la ilustración 15 se establecen así:
1: El módulo se conecta a una fuente de energía eléctrica y a la electroválvula mediante conexión positivo y negativo en cada bobina para generar la activación de ellas.
2: La electroválvula recibe energía a solenoides desde el módulo eléctrico, a la misma vez recibe el fluido descargado desde la bomba en el grupo hidráulico con mangueras de hidráulica transparente y finalmente, desprende el fluido hacia el actuador con el mismo tipo de manguera para aceites.
3: El grupo hidráulico tiene conexión hacia una fuente de energía y hacia la electroválvula mediante mangueras anteriormente mencionadas.
4: El actuador se conecta en entradas A y B con la electroválvula mediante conexión de mangueras e incorporando un manómetro en la sección A (opcional).

Al energizar, el motor del grupo hidráulico comenzará a impulsar el aceite del estanque hacia la electroválvula, por otro lado, el módulo de alimentación dará energía a las dos bobinas con solenoide con la proporcionalidad que se establezca en el tablero para que se muevan las vías según el avance completo del actuador y su retroceso posterior.

El avance y retroceso del cilindro depende de la posición de la electroválvula entre sus tres vías, y su alimentación de cambio de vías depende de los solenoides que actúan eléctricamente desde el módulo. La variación de amperaje en las bobinas influirá en la velocidad del fluido, pero no se puede cuantificar su valor.

3.3.1.5 Datos experiencia circuito 1

Debido a que existen los implementos necesarios para desarrollar la instalación del circuito lazo abierto, se procede a armar el sistema y registrar los datos correspondientes al funcionamiento del actuador mediante el control del módulo de alimentación.

Tabla 8 Lectura experimental del sistema de control lazo abierto realizado el segundo semestre 2019. Fuente propia.

PRIMERA LECTURA SISTEMA DE CONTROL LAZO ABIERTO CON ACTUADOR LINEAL				
	Presión actuador [bar]	Presión Bomba [bar]	Amperaje [A]	Frecuencia [hz]
BOBINA A : avance	3	8,5	0,4	250
BOBINA B : retroceso	4	9	0,4	250
CENTRO CERRADO :	8	10,8	0	250

Nota: En la ejecución de activación manual de las bobinas existe una zona muerta en el amperaje desde 0 [A] a 0,4 [A], y una zona de saturación desde los 0,5 [A] en adelante.

El periodo de reposo, donde el centro cerrado se posiciona en el sistema se regula en el módulo. A una frecuencia igual se observan el avance y retroceso del vástago del cilindro. La bomba busca disminuir el exceso de presión en reposo mediante la válvula limitadora obteniendo una presión de 10,8 [bar]. De retroceso luego del reposo, el fluido se transporta a mayor presión

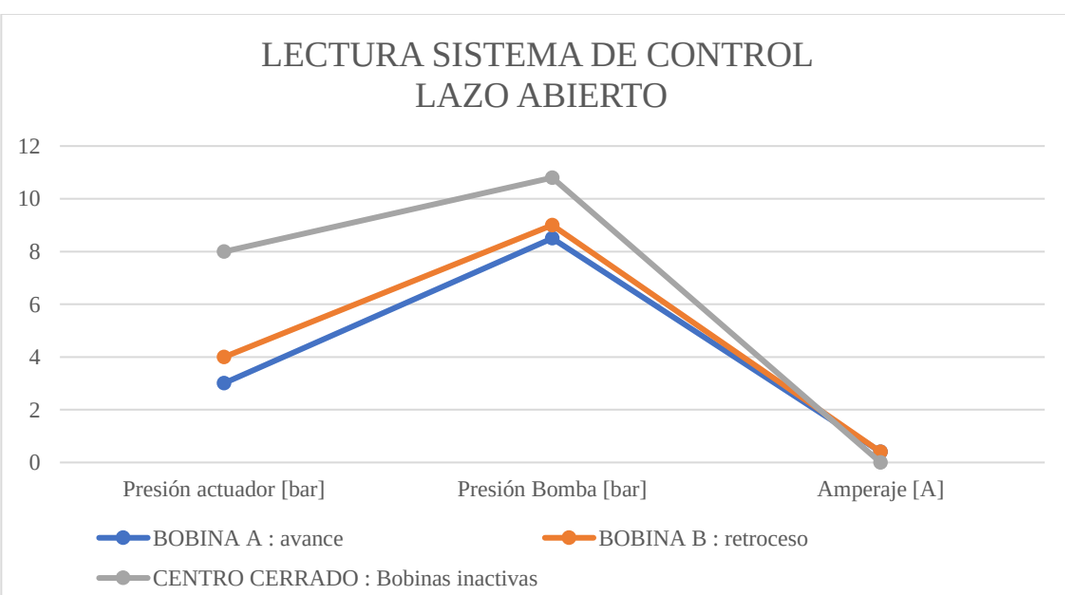


Gráfico 2 Lectura experiencia del sistema de control lazo abierto. Fuente propia.

El comportamiento de alza es similar en las tres situaciones, se nota una leve variación entre las bobinas donde la de retroceso registra mayor presión, esto debido a ejercer una fuerza contraria del vástago para generar una proporcionalidad en cada estado extremo de la electroválvula.

3.3.2 Sistema de control lazo cerrado con actuador lineal

3.3.2.1 Instrumentación del circuito 2

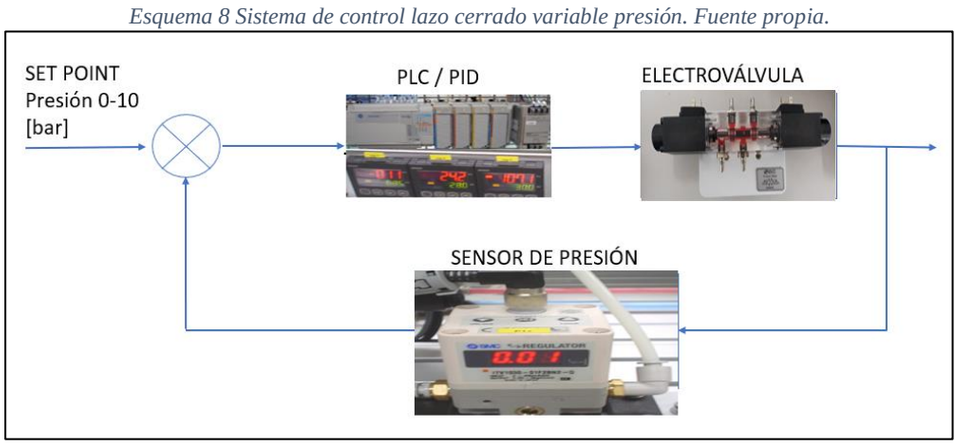
Tabla 9 Comparación de instrumentación existente y la deseable. Fuente propia

Instrumentación existente	Instrumentación faltante
Cableado eléctrico e hidráulico	Controlador programable con PID
Cilindro simple efecto	Sensor digital de presión ISE80 SMC
Manómetro conexión cruzada	Conexión PROFINET Ethernet
Electroválvula 4/3 centro cerrado	-
Grupo hidráulico móvil hidráulica transparente	-

3.3.2.2 Esquema del circuito 2

Lo siguiente es un esquema simple de componentes principales con su aspecto real.

Esquema 8 Sistema de control lazo cerrado variable presión. Fuente propia.



3.3.2.3 Simulación en 3D del circuito 2

La simulación en 3D es un apoyo para establecer la ubicación, el tamaño y las conexiones del sistema de control en lazo cerrado.

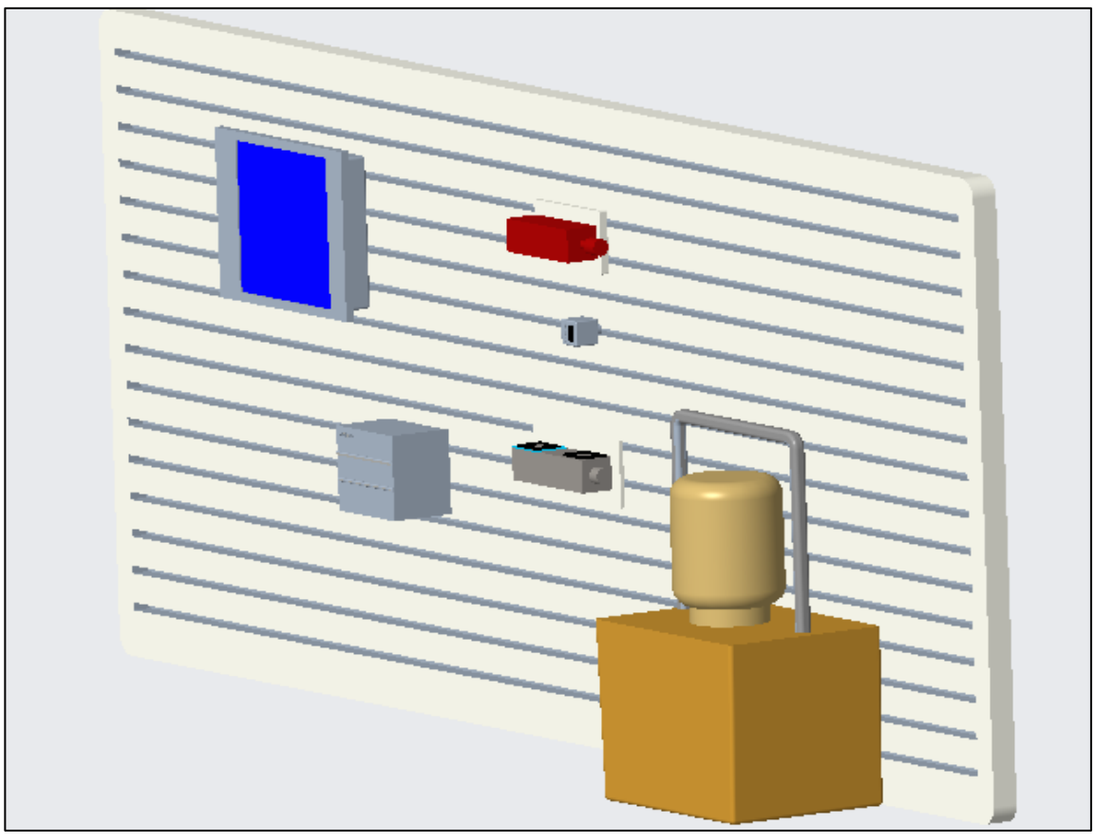


Ilustración 4 Simulación en 3D vista semi lateral. Panel didáctico para circuito 2. Fuente propia. Software Creo parametric.

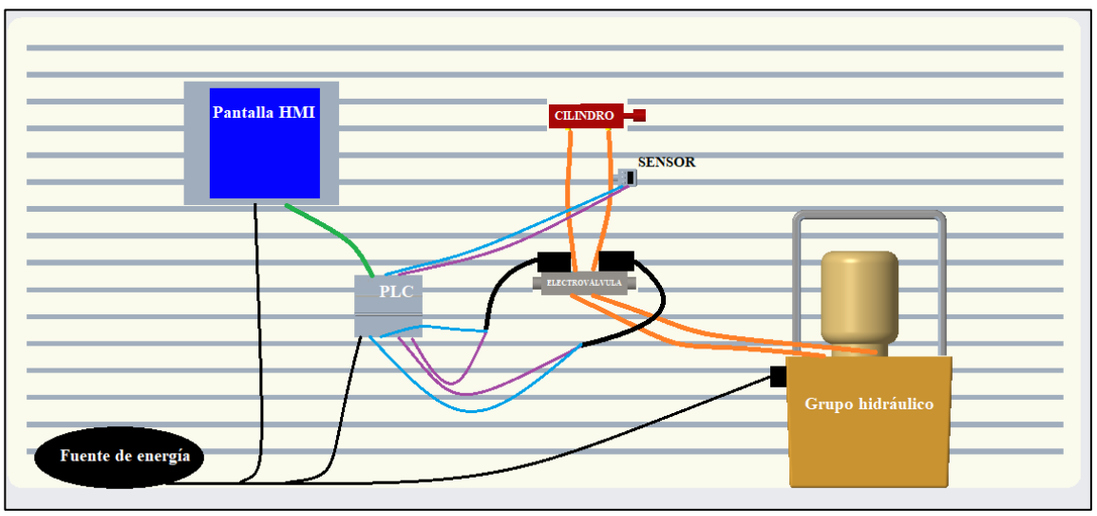


Ilustración 5 Simulación en 3D. Panel didáctico conectado para el circuito 2. Fuente propia.

3.3.2.4 Simulación programada del circuito 2

Para el circuito en lazo cerrado requiere de una programación lógica que mande señales desde el PLC hacia el actuador dependiendo del ajuste en el PID que forma parte del PLC. De una manera más simple se debe generar un diagrama Ladder estableciendo las ordenes de entrada y salida.

En el sistema escalera se simula la conexión de contactos (entradas, input), módulos de acción (temporizadores, contadores, etc.) y bobinas (salidas, output). Como el actuador es de carrera lineal, se apreciará la incorporación de un temporizador al avance.

En primer orden se tiene un contacto normal abierto I0.0 que activará la Marca M0.1 que activa la bobina A de avance (seteo), luego de estar accionada se procede a la activación del temporizador de 10[ms] (como ejemplo) para luego resetear o desactivar la bobina A mientras inicia la bobina B el retroceso, es decir sus funcionamientos son inversos y el cambio es de forma simultánea. La siguiente imagen muestra el diagrama de mando para un circuito desde el PLC al actuador.

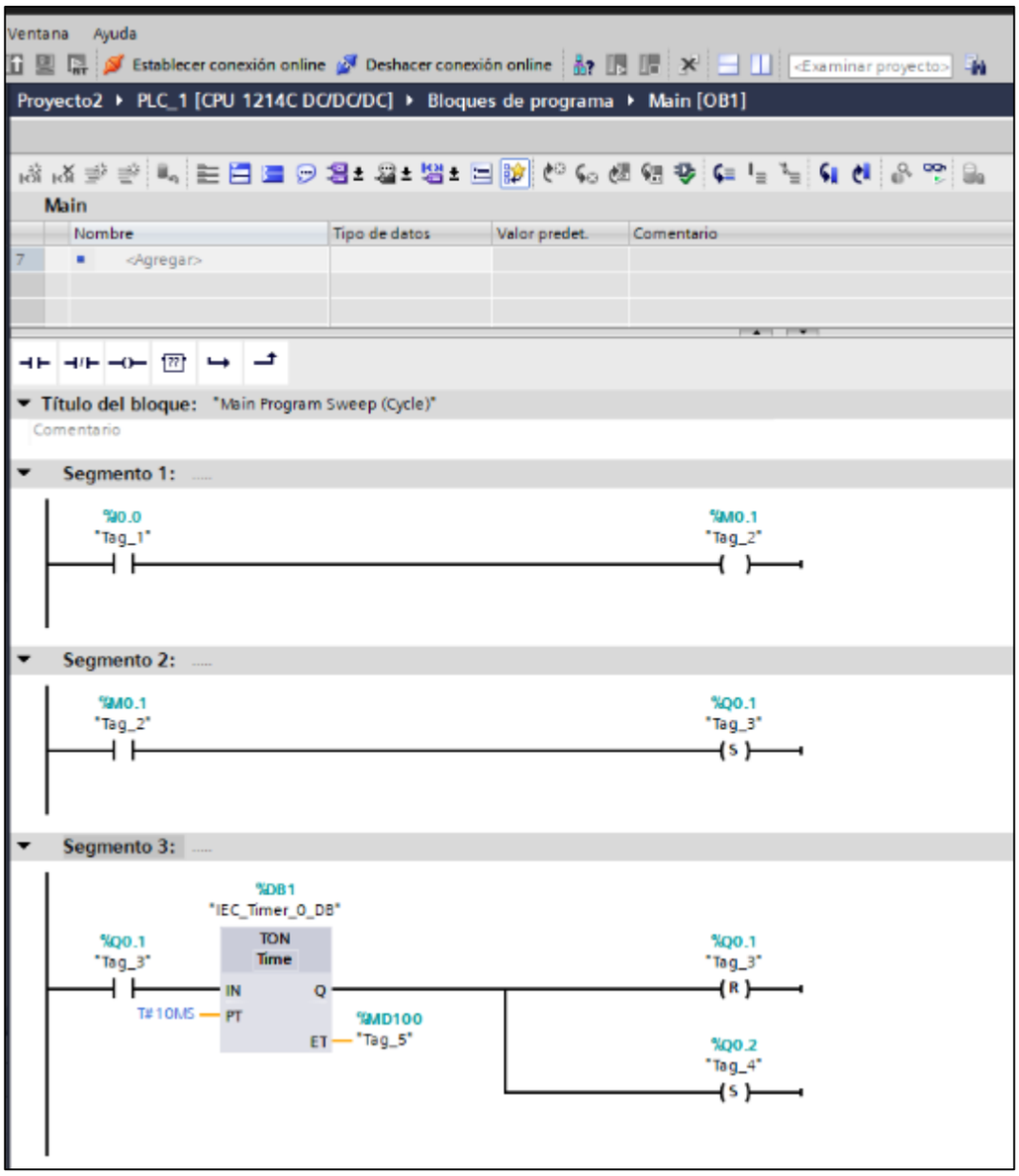


Ilustración 6 Simulación lógica escalera circuito 2. Programa Tia Portal. Fuente propia.

3.3.2.5 Análisis del circuito 2

El fluido trascurre desde el estanque a la electroválvula. La posición de las vías donde se regula el paso en la válvula se alimenta del módulo. Luego de ello estará conectado el controlador programable con PID capaces de comparar y controlar las señales de medición retroalimentada que entregará el sensor digital de presión.
El efecto final lo da el cilindro doble efecto con la presión que se establezca en la pantalla HMI que controla al PLC.

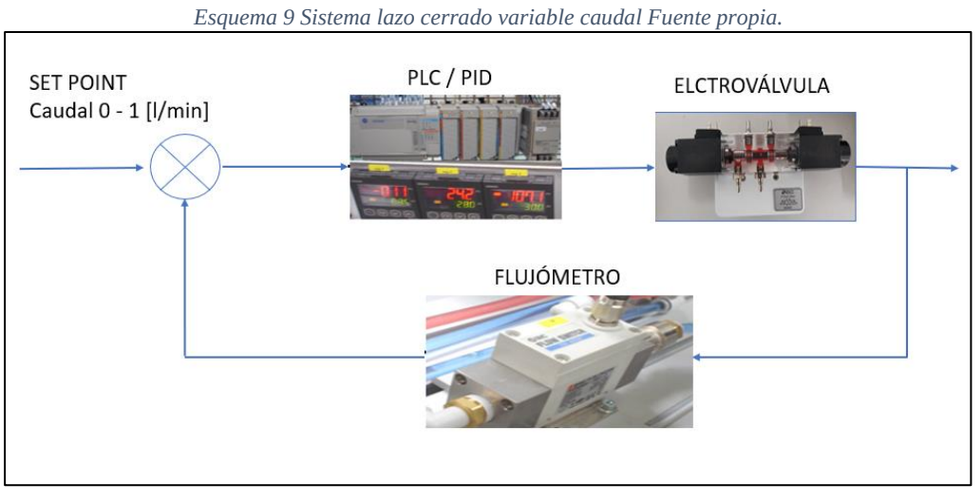
3.3.3 Sistema de control lazo cerrado en actuador giratorio

3.3.3.1 Instrumentación del circuito 3

Instrumentos existentes	Instrumentación faltante
Cableado eléctrico e hidráulico	Controlador programable con controlador PID
Motor de paletas	Flujostato
Manómetro conexión cruzada	Conexión PROFINET Ethernet
Electroválvula 4/3 centro cerrado	-
Grupo hidráulico móvil hidráulica transparente	-

3.3.3.2 Esquema del circuito 3
Lo siguiente es un esquema simple de componentes principales con su aspecto real.

Esquema 9 Sistema lazo cerrado variable caudal Fuente propia.



3.3.3.3 Simulación en 3D del circuito 3

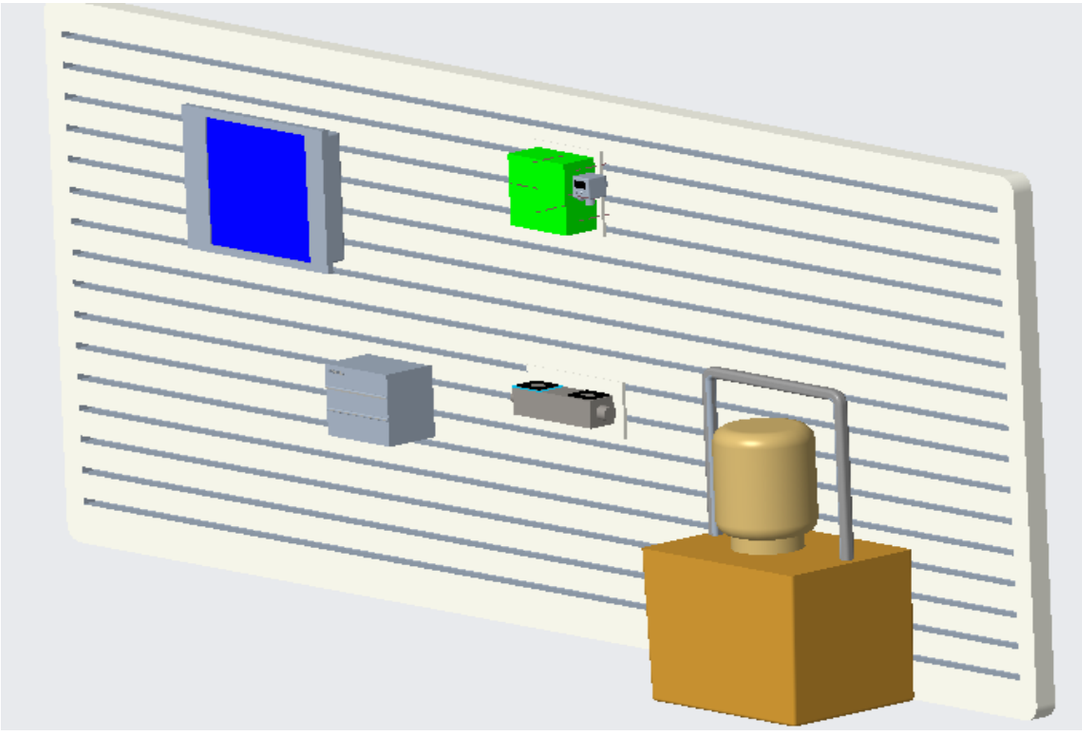


Ilustración 7 Simulación en 3D vista semi lateral. Panel didáctico para circuito 3. Fuente propia. Software Creo parametric.

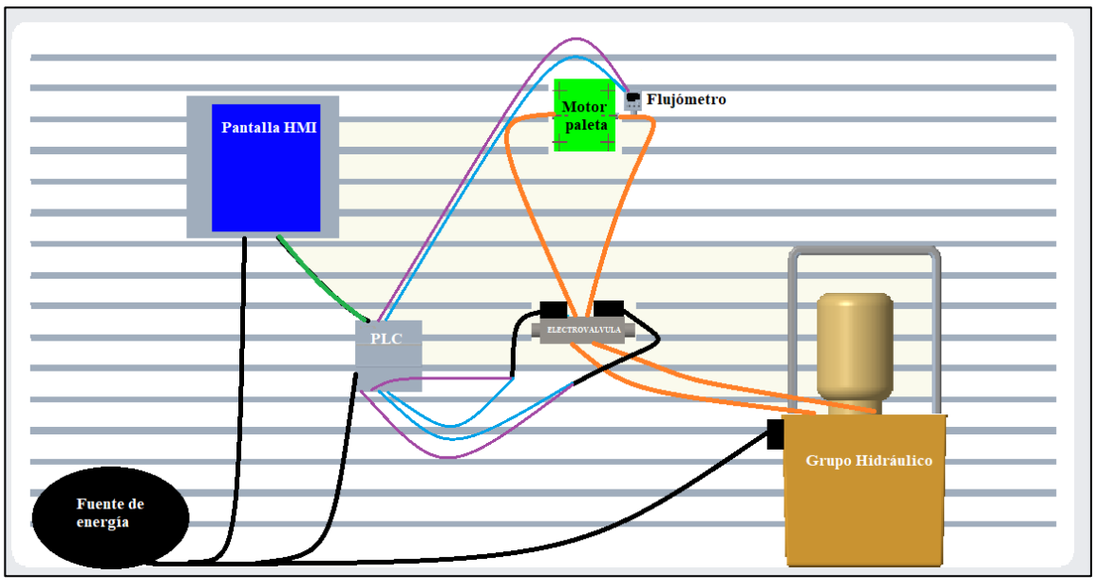


Ilustración 8 Simulación en 3D. Panel didáctico conectado para el circuito 3. Fuente propia.

3.3.3.4 Simulación programada del circuito 3

Teniendo el conocimiento previo de un diagrama de escalera en PLC, se desarrollan ejemplos de control en el PLC, donde en este caso no será necesario un temporizador, por lo que se diseña un esquema más simple para apreciar la variación de velocidad de giro cuando se proceda a monitorear y regular la variable con ayuda del controlar PID.

El diseño del bloque programable debe cumplir con las conexiones correctas y seguir un ciclo cuando se monitorea el giro en dirección hacia la derecha y la izquierda. Al principio del diagrama se establece un contacto normal abierto Input 0.0, posterior se aplica la marca 0.1 que en consecuencia activa a la bobina A con un seteo (activación) de Q0.1 para el giro en sentido del reloj. Finalmente se propone que luego de estar activado Q0.1 se debe setear la bobina B (Q0.2) de giro contrario y a la misma vez que se desactiva la bobina A. Trabajando ambas bobinas por si solas.

Dentro del programa se configuran las entradas input, las variables, las salidas, los tiempos, las conexiones, las propiedades del PLC y el PID. A continuación, se muestra una secuencia de tarea para el actuador.

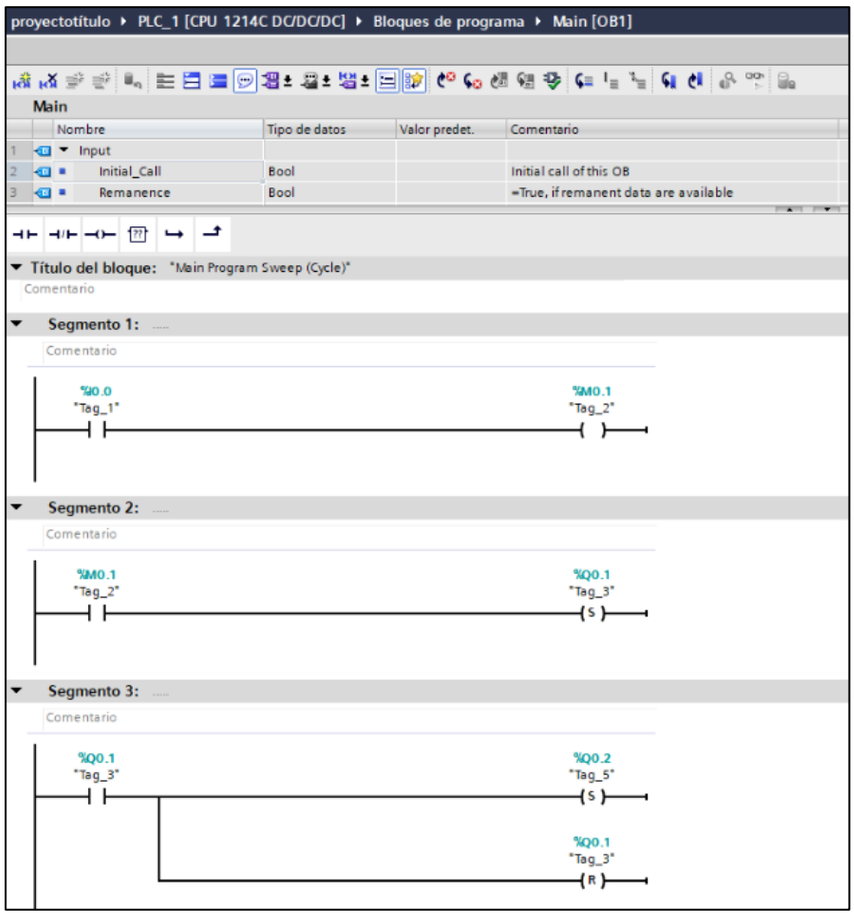


Ilustración 9 Simulación lógica escalera circuito 3. Programa Tia portal. Fuente propia.

I0 es el inicio contacto abierto, si se activa, acciona Q1 bobina A, luego si este contacto fue activado se desactiva Q1 y se activa Q2 simultáneamente.

3.3.3.5 Análisis del circuito 3

El aceite que saldrá del estanque a la electroválvula que permitirá el paso según la alimentación de las bobinas, se someterá al control de caudal que se establezca en el software área control PID que controla al PLC. Esto mediante el análisis de variación de caudal que presente en el medidor de caudal (flujómetro) puesto como retroalimentación en la salida.

3.3.4 Hoja de trabajo

UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

SIMULACIÓN DE SISTEMAS DE MANDO Y CONTROL

Objetivo general del laboratorio

Estudiar los sistemas de control con y sin retroalimentación mediante la aplicación práctica simulando circuitos en dirección lineal y giratoria.

Acciones previas del laboratorio

Despegar el área de trabajo en el taller de Oleohidráulica y recopilar toda la instrumentación señalada en la lista de elementos a utilizar en cada circuito.

Hacer uso de los EPP y armar los siguientes tres circuitos en orden. Registrar información por escrito y de manera visual. Desarrollar un informe con la ejecución de las actividades, los análisis de los circuitos y conclusiones comparativas, de semejanza y de nuevo aprendizaje.

1. **Primer circuito**

Objetivo: Analizar un sistema de control en lazo abierto para luego compararlo con el de lazo cerrado

Elementos a utilizar

- Modulo alimentación bobina proporcional
- Cilindro doble efecto
- Manómetro conexión cruzada
- Electroválvula 4/3 centro cerrado
- Grupo hidráulico móvil hidráulica transparente
- Cableado eléctrico e hidráulico

Procedimiento

- En el panel SMC posicionar en lo superior el cilindro doble efecto y conectarlo a una electroválvula 4/3 centro cerrado ya posicionado debajo.
- Conectar el módulo de alimentación con la electroválvula mediante solenoide para alimentar a las dos bobinas extremas.
- Añadir un manómetro cruzando con la electroválvula y el cilindro doble.
- Energizar el grupo hidráulico y el módulo de alimentación eléctrica.

Ilustración 10 Propuesta de Hoja de trabajo. Página 1. Fuente propia.

UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

- Manejar la puesta en marcha con el encendido en el módulo de alimentación y anotar los valores que entregan el módulo, el manómetro en la entrada al cilindro y el manómetro del grupo hidráulico.
- Variar la frecuencia y la intensidad en las señales a las bobinas, luego realizar un registro de datos y análisis de la variación de velocidad de avance y retrocedo del cilindro.

Actividades

a. Completar la siguiente tabla de datos

Dirección	Frecuencia	Corriente	Presión Actuador	Presión Bomba
1er Avance				
1er Retroceso				
Reposo Bobinas				
2do Avance				
2do retroceso				

b. Diseñar un gráfico de variación de los datos en avance y retroceso

c. Realizar conclusiones de la experiencia en base a las características de un sistema de control lazo abierto y lo que necesitaría un sistema de control lazo cerrado. ¿En qué influye el amperaje en el circuito?

Ilustración 11 Propuesta de Hoja de trabajo. Página 2. Fuente propia.

UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

2. Segundo circuito

Objetivo Analizar comportamiento del sistema de control en lazo cerrado con actuador lineal y temporización de retroceso

Elementos a utilizar

- Cilindro doble efecto
- Electroválvula 4/3 centro cerrado
- Grupo hidráulico móvil hidráulica transparente
- Sensor de presión
- PLC con controlador PID
- Pantalla HMI o Computador con Software compatibles al PLC como STEP7
- Cableado hidráulico
- Cable Ethernet

Procedimiento

- Incorporar en el sistema instalado anteriormente la conexión del PLC entre la electroválvula y el cilindro y quitar el modulo de alimentación de las bobinas. (modificar con base en el circuito 1)
- Añadir la conexión del sensor de presión ISE80 en la salida del cilindro y la entrada analógica PLC.
- Configurar el PLC y sus funciones en la pantalla HMI mediante diagrama de ordenes con temporizador y registro de variables en el controlador PID

Actividades

a. Dibujar el esquema de conexión entre los distintos elementos que se incorporan, mismo diseño que se aplica personalizado en el software Tia portal.

Ilustración 12 Propuesta de Hoja de trabajo. Página 3. Fuente propia.

UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

b. Dibujar el diagrama de bloque mando del PLC a la electroválvula.

c. Completar la siguiente tabla

Dirección	Presión bomba	Presión retroalimentación
1er Avance		
1er Retroceso		
Reposo		
2do Avance		
2do Retroceso		

d. Realizar las conclusiones de la experiencia con respecto al cambio de sistema de control abierto a cerrado. Tomar en cuenta la influencia del temporizador.

Ilustración 13 Propuesta de Hoja de trabajo. Página 4. Fuente propia.

UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

3. **Tercer circuito**

Analizar comportamiento del sistema de control en lazo cerrado con actuador giratorio

Elementos a utilizar

- Cilindro doble efecto
- Motor de paletas
- Manómetro conexión cruzada
- Electroválvula 4/3 centro cerrado
- Grupo hidráulico móvil hidráulica transparente
- PLC con controlador PID
- Pantalla HMI o Computador con Software compatibles al PLC como STEP7
- Cableado hidráulico
- Cable Ethernet

Procedimiento

- Mantener el circuito 2 instalado para modificar.
- Quitar el sensor de presión y reemplazarlo por el flujómetro.
- Quitar el actuador lineal y reemplazarlo por el actuador giratorio.
- Configurar escala de ordenes en el PLC sin temporizador. Registrar datos y observar el comportamiento del controlador.

Actividades

a. Dibujar el esquema de conexión entre los distintos elementos que se incorporan, mismo diseño que se aplica personalizado en el software Tia portal.

Ilustración 14 Propuesta de Hoja de trabajo. Página 5. Fuente propia.

UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

b. Dibujar el diagrama de bloque mando del PLC a la electroválvula.

c. Completar la siguiente tabla

Dirección	Caudal registrado	Presión bomba	Presión Actuador
Sentido del reloj			
Contra del sentido de reloj			
Reposo			
Sentido del reloj			
Contra del sentido del reloj			

d. Realizar las conclusiones de la experiencia con respecto al cambio de actuador en sistema de control y su configuración. Analizar la diferencia de un sistema de control abierto y cerrado para este caso.

Ilustración 15 Propuesta de Hoja de trabajo. Página 6. Fuente propia.

Las ilustraciones anteriores muestran un prototipo sujeto a modificaciones de hoja de trabajo. Véase último anexo para la ejemplificación desarrollada con la información que se contiene de los sistemas.

3.4 EVALUACIÓN DE COSTOS DEL PROYECTO

La determinación del costo final del proyecto se define por la cotización de materiales y/o equipos, despacho, personal necesario y costos fijos de operación.

3.4.1 Valor de los equipos

Las cotizaciones corresponden al segundo período 2019, se sujeta a cambios como el alza de precios, por ello, los contactos están disponibles para un presupuesto a futuro al final de la sección. Dentro de los ítems de costos se adicionan numerosas cotizaciones como método de opción en el caso de no disponibilidad. La selección depende de la variedad de opciones en el mercado para la compra de los equipos.

A continuación, se extrae el costo de los equipos en la adquisición para el proyecto tanto en pesos chilenos como en pesos americanos. Lo anterior, debido a que el transcurso del tiempo influirá en los costos y es un buen método mantener los precios dependientes del dólar a valor actual equivalente a $800.10 en pesos chilenos con fecha 23 de noviembre de 2019.

- Controlador lógico programable

Tipo de PLC	Proveedor	Precio CLP	Precio USD
SIMATIC S7-1200 1214C AC/DC/RLY	DARTEL	$547.130	$683,83
SIMATIC S7-1200 1215 DC/DC/RLY	PLC CHILE	$452.200	$565,18

Criterio de selección: El PLC SIMATIC S7-1200 mantiene diferencias entre sus versiones en cuanto a capacidades y tamaño 1214C AC/DC/RLY rinde cualidades necesarias para la operación del sistema y el precio está en el rango cercano al promedio de los PLCs encontrados sin complicación. Tiene al menos 2 entradas analógicas.

Nota: Como desventaja, cuando se encuentran instrumentos en mercado libre, la garantía y el servicio técnico no son asegurados.

- Pantalla HMI

Tipo de pantalla	Proveedor	Precio CLP	Precio USD
Delta 7”	PLC CHILE	$380.000	$474,94
SIEMENS TP 170 MICRO	PLC CHILE	$400.000	$499,94
Wecon 7”	PLC chile	$360.000	$449,94
SIEMENS MULTIPANEL 8”	PLC CHILE	$1.560.000	$1949,76
SIMATIC 12”	PLC CHILE	$3.000.000	$3749,53
KTP400	PLC CHILE	$300.000	$374,95
KTP700	PLC CHILE	$580.000	$724,91

Criterio de selección: KTP700 de SIEMENS es la pantalla HMI, que al igual que la Delta y Wecon tiene un tamaño de pantalla de 7”. Tiene una visualidad de banco/negro y colores. La ventaja de la marca es la compatibilidad entre los productos siemens y la calidad conocida por el proveedor.

- Licencia TIA PORTAL

No aplica, se puede descargar el programa vía internet y la licencia es gratuita, pero se debe tomar en cuenta que la descarga es pesada, debido a la serie de información que soporta. Por otro lado, se puede transferir el software desde dispositivo de almacenamiento (disco duro, pendrive) con docentes que mantienen el software en sus portátiles.

- Cable PROFINET

	Proveedor	Precio CLP	Precio USD
Cable Ethernet 2 metros	Wei Chile	$1215	$1,52

El precio es creciente según el largo del cable Ethernet. Wei es una empresa que vende distintos tipos de interfaz de comunicación manteniendo una transparencia en precios.

- Sensor de presión

	Proveedor	Precio CLP	Precio USD
Sensor ISO 80	SMC	$394.414	$492,96

Criterio de selección: La marca, la universidad mantiene contacto con SMC, debido a ello, es posible un respaldo en reparación, revisión, etc. La inversión en un producto en base a confiabilidad de la empresa conlleva a menores gastos de mantenimiento. Por otro lado, el factor fundamental es la actualización del equipo.

- Caudalímetro

Para las especificaciones técnicas necesarias se encontró un caudalímetro con proveedor del extranjero. Ver anexo. El simulador de envío desde Holanda arroja:

$68. 815 desde Chilexpress.

$134.109 desde FedEx.

	Proveedor	Precio CLP	Precio USD
Caudalímetro DMF 50C	MAS FLOW ONLINE BV	$198.249 + $68.815 (envío)	$247,78 + $86,01 (sending)

3.4.2 Costos totales del proyecto

Tabla 10 Informe de costo equipamiento y recibo. Fuente propia.

RESUMEN COSTOS					
	Item	Selección	Observación	Proveedor	Precio
Costos equipos	PLC	SIMATIC S7-1200 1214C AC/DC/RLY	Precio accesible	DARTEL	$ 547.130
	Pantalla HMI	KTP700 SIEMENS	-	PLC CHILE	$ 580.000
	Cable Ethernet	Ethernet 2[m]	El proveedor ofrece cable de comunicación de distinto tamaño	WEI CHILE	$ 1.215
	Sensor de presión	Sensor digital ISE80	-	SMC CHILE	$ 415.803
	Caudalímetro	DMF 50C	No se han encontrado caudalímetros con analisis de pequeños caudales en Chile	MAS FLOW	$ 198.249
Costos Adicionales	Entrega equipos desde Chile (WEI, PLC CHILE Y SMC)	Biático pasaje V región	Los proveedores se encuentran en valparíso. Tarifa Viña Valparaíso $510 x 10	-	$ 5.100
	Envío desde el extranjero	Caudalímetro desde sucursal Holanda	No se han encontrado caudalímetros con analisis de pequeños caudales en Chile	CHILEXPRESS	$ 68.815
Costo total	-	-	-	-	$ 1.816.312

Valor total de los costos de nuevos implementos: $1.816.312 CLP = $2270,106 USD

Notas: No aplica H/H personal por ser costo fijo de la universidad. Los costos generados corresponden al mes de octubre del 2019 y el valor actualizado del dólar es de noviembre 23 del 2019. Se usa el dólar como referencia como variaciones futuras. El peso de los equipos permite un traslado normal sin necesidad de fletes (carga pesada). Se toma en cuenta disponibilidad de un docente a cargo del retiro y guardado de equipos como parte de su actividad en del establecimiento.

3.5 BENEFICIOS DEL PROYECTO

3.5.1 Análisis de futuros beneficiados del departamento de mecánica

De forma más detallada/puntual con información interna fidedigna, se realizará un análisis en base al departamento de mecánica, encargado del taller de oleohidráulica y el cual cuanto con su totalidad de alumnado sometido a asignaturas como instrumentación y control u otros afines.

Matrícula Total 2019 Depto. Mecánica USM Sede Viña del Mar

Fuente: UDAI-Viña, extraído de PowerBi al 15/10/2019.

Año	2019				
Cuenta de Matrícula			ESTADO_ALUM		
Departamento	Nombre carrera	Jornada	NUEVO	ANTIGUO	Total general
MECÁNICA	INGENIERIA DE EJECUCION EN MECANICA DE PROCESOS Y MANTENIMIENTO INDUSTRIAL	DIURNO		155	155
	INGENIERIA EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL	DIURNO	49		49
	TECNICO UNIVERSITARIO EN DISEÑO Y PRODUCCION INDUSTRIAL EN MOLDES Y MATRICES	DIURNO	15	34	49
	TECNICO UNIVERSITARIO EN ENERGIAS RENOVABLES	DIURNO	39	63	102
	TECNICO UNIVERSITARIO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL	DIURNO	89	145	234
	TECNICO UNIVERSITARIO EN MECANICA AUTOMOTRIZ	DIURNO	88	142	230
	TECNICO UNIVERSITARIO EN MECANICA INDUSTRIAL	DIURNO	50	76	126
	TECNICO UNIVERSITARIO EN MINERIA Y METALURGIA	DIURNO	84	157	241
Total general			**414**	**772**	**1186**

Ilustración 16 Matrícula 2019 Depto. Mecánica. Fuente UDAI-Viña

En la jordana diurna el número de matriculados en el segundo semestre del año 2019 correspondientes al departamento de mecánica es 1186 personas, donde los nuevos alumnos son parte del 34,9 % ~ 35% del total de alumnado. Además, como separación para posteriores análisis, la cantidad de matriculados en Ingeniería son 204 personas y en Técnico Universitario (T.U) 982 personas.

Nota: A continuación, se mostrarán mediante tablas registros en la cantidad de matriculados en el Departamento Mecánica del segundo semestre año 2019 por UDAI-Viña (Unidad de Análisis Institucional) y también registro de aranceles de las profesiones impartidas en el establecimiento extraídos de la página web de la Universidad Técnica Federico Santa María, donde:

Arancel anual Ingeniería $3.200.000 - Arancel anual Técnico Universitario $2.000.000 -

Tabla 11 Cifras segundo semestre 2019 con respecto al departamento de mecánica USM-JMC. Fuente propia.

DATOS SEGUNDO SEMESTRE 2019 - JORNADA DIURNA					
	Cantidad de matriculados	Porcentaje de matriculados	Cantidad de carreras	Porcentaje representativo de las carreras	Sumatoria de los aranceles
Departamento de mecánica	1186	42%	8	38%	$1.308.400.000
Total, en la Universidad	2812	100%	21	100%	$3.443.157.894

De la tabla 11 se obtiene que el dominio del departamento de mecánica corresponde a 2/5 del total en la universidad con respecto a la cantidad de carreras. Mas del 40% del alumnado en general es parte del departamento y al menos 1/3 de los ingresos de la universidad depende de ellos. Recordando que son datos a nivel semestral.

Se realiza una sumatoria de aranceles separados en alumnado que estudia ingeniería y técnico universitario, se obtiene $1.308.400.000 de aporte semestral por parte del Departamento de Mecánica y el estimativo total de la universidad corresponde a un supuesto por porcentaje representativo de carreras.

Tabla 12 Resumen del aporte de las Ingenierías de la USM-JMC, segundo semestre 2019. Fuente propia.

DATOS SEGUNDO SEMESTRE 2019 - JORNADA DIURNA				
	Cantidad de Carreras en Ingenierías	Porcentaje representativo de las Ingenierías	Matriculados en Ingeniería	Sumatoria de Aranceles en el semestre para Ingeniería
Departamento de mecánica	2	50%	204	$326.400.000
Total, de la Universidad	4	100%	No especificado	No especificado

Tabla 13 Resumen del Aporte de los Técnicos Universitarios de la USM-JMC, segundo semestre 2019. Fuente propia

DATOS SEGUNDO SEMESTRE 2019 - JORNADA DIURNA				
	Cantidad de Carreras Técnicas universitarias	Porcentaje representativo en técnicos universitarios	Matriculados en Técnico Universitario	Sumatoria de Aranceles en el semestre para T.U
Departamento de mecánica	6	35%	982	$982.000.000
Total, de la Universidad	17	100%	No especificado	No especificado

Las anteriores tablas aplican arancel por semestre y no añade la matrícula, sólo en la tabla 11 la cantidad de alumnado matriculado. La cantidad de personas matriculadas se extrae de un último registro de reunión en un consejo de presidentes con dirección académica en septiembre del año 2019. Cabe mencionar, que en las tablas existe una estimación de los ingresos en la universidad para comprobar la relevancia de invertir en los talleres del establecimiento.

Si se observa, el arancel es aplicado por carrera, no por individuo. Si se estableciera el análisis personal mediante la cantidad de matriculados entre ingenieros y técnicos los ingresos semestrales de la universidad por parte del departamento de mecánica serían: (Para comprender cifras, véase Ilustración 28)

$$Ingreso = Cantidad\ personas\ matriculadas\ x\ Costo\ semestral\ del\ arancel$$

$$Ingreso\ Ingeniería = 204\ x\ \$1.600.000 = \$326.400.000$$

$$Ingreso\ Técnico\ Universitario = 982\ x\ \$1.000.000 = \$982.000.000$$

$$Ingreso\ total\ semestral\ del\ Departamento = \$1.308.400.000$$

Finalmente, de manera significativa, más de mil personas pueden acceder a la aplicación programable del sistema de control en lazo cerrado, presenciar el estudio de la hidráulica mediante automatización y complementar la teoría con los diversos circuitos que se pueden armar dentro del panel didáctico.

3.5.2 Aspectos generales en beneficio y necesidad del proyecto

- Ambiental

La cantidad de consumo energético en la conexión del panel no genera un impacto significativo debido al tamaño de sistema operativo del sistema, el lugar (impacto de las condiciones térmicas) y tiempo de operación (no constante, sin funcionamiento por ejemplo de 8hr al día) en comparación a una producción masiva.

- Seguridad

El monitoreo constante del docente que utiliza el taller tanto para investigación como clases es fundamental. Junto a ello, se requiere respetar el uso de los elementos de seguridad necesarios dentro de un taller que trabaja con aceite y algunos objetos pesados y delicados (zapatos de seguridad y bata u overol)

- Calidad en materiales

La hidráulica transparente nació para un entendimiento básico del área en mecánica de fluidos, la calidad del proyecto se basa en la retroalimentación como método de control de calidad en el producto buscado dentro de un proceso en general. A ello, poder incorporar instrumentos de control en procesos de calidad en precisión, eficiencia y durabilidad.

3.5.3 Recomendaciones a posibles proyectos a futuro en base a la propuesta actual

- Mejoras al proyecto en la ejecución y mantenimiento

Llevar a cabo la implementación, ejecutar de forma presencial es de cierta forma una mejora. Para ello, es ideal diseñar una programación de la clase en el taller, con sus horarios, método de análisis y evaluación.

Una segunda mejora puede ser un plan de mantenimiento a los equipos del taller o revisión predeterminada del aceite que utiliza el sistema condiciona un duradero funcionamiento.
En tanto al aceite, se utiliza uno de sección mineral área industrial para hidráulica clasificación ISOVG32, que corresponde al nivel de viscosidad que se le otorga al aceite. En ello se establece que, contiene un índice de viscosidad cinemática de 32 cSt (centistokes) a una temperatura de 40°C.

Nota: Sabiendo que a alta velocidad y alta carga se requiere un aceite de baja viscosidad, y que, a cargas mayores, pero velocidades bajas se necesita un aceite de mayor viscosidad, las propiedades del aceite hidráulico ISOVG32 pertenece a los más estables térmicamente con buena resistencia a la corrosión y oxidación. No obstante, la aplicación de este aceite es en un taller de temperatura ambiente poco variable y sometido a cargas menores, por ello la vida útil del aceite equivale a años de funcionamiento.

Otra de las mejoras sería un reemplazo del actuador lineal por uno de mayor tamaño donde las variables puedan observarse a mayor escala. Con el fin de observar el movimiento del fluido con una carrera más larga de avance y retroceso.

Y finalmente, el proyecto se sumaría como aporte a nuevos proyectos enfocados a sistemas hidráulicos dentro de la industria de procesamiento en materia prima o derivados en masividad, transporte o servicio automatizado.

- Muestra del proyecto en ferias de ciencia como Expotec

Cada año la universidad promociona sus carreras en un evento público donde se muestran los talleres, stand por profesiones y exposición de ciencia localizados en conjunto dentro del establecimiento para los liceanos, quienes rinden PSU y personas en general con el interés de averiguar lo que ofrece la sede y desear entrar en ella.
Es una feria tecnológica universitaria que cumplió el presente año 2019 su versión XVI donde prevalece la promoción de la universidad ante el público con actividades didácticas, charlas vocacionales y visitas guiadas.
Debido a su éxito año tras año, elevaría el interés en el área automatizada en hidráulica la exposición de un sistema de control lazo cerrado en el área hidráulica conectado a computadora y monitoreada por controlador programable.

- Potenciar capacitaciones hacia empresas

Es posible un proyecto adicional en la universidad donde se abran las puertas a empleados de empresas o individuos naturales con ganas de desarrollar cursos de automatización. En su idea general, la universidad puede seguir promocionando su servicio educativo gracias a el enriquecimiento continuo de los diversos talleres que existen en la sede de viña del mar, y a su vez generar cercanía con las empresas compartiendo los sistemas de operación, asesorías de gestión o recomendación de alumnado para prácticas profesionales.

3.6 ANÁLISIS DE COSTO Y BENEFICIOS

El análisis del costo del proyecto en el beneficio que conlleva depende de los factores que se obtienen tanto del aprendizaje en un proyecto educativo como también en los costos de adquisición, envío y valores en el tiempo.

Como análisis inicial, se identifican los métodos de recuperación de la inversión, tal estudio consta de una argumentación de rentabilidad del proyecto en lo económico, para luego demostrar el mismo costo en el beneficio que se obtendría de forma cuantitativa.

3.6.1 Recuperación de la inversión

La inversión de activos total es de $2146,16 USD equivalente a $1.717.142 CLP, a la fecha del 23 de noviembre del año 2019 con el valor del dólar a $800.1 CLP.

En las siguientes tablas se evalúan parámetros para la recuperación de inversión del proyecto donde se encuentran la cantidad de matriculados por carrera, la valoración de una sola asignatura en el semestre, la cuota de recuperación cuya sumatoria es el costo del proyecto y el porcentaje que representa el aporte (cuota) de la recuperación de la inversión.

Dependiendo del análisis según matrícula y carrera, se desarrollan 3 teorías de recuperación de la inversión con sus respectivas conclusiones:

A) Cuota de recuperación de forma equitativa
B) Cuota de recuperación en base a un 2,78% del aporte semestral
C) Cuota de recuperación en base al porcentaje de matriculados y su aporte

Cabe destacar que, la cuota de recuperación es la tarifa a cobrar cuya sumatoria en cada carrera permite la recuperación del costo del proyecto.

La primera teoría A), radica en generar una cuota parcial en cada carrera sin distinción en el número de matriculados y el costo semestral de la carrera.

Tabla 14 Ingresos y cuota de recuperación de forma equitativa. Datos de matrículas e ingreso extraídos del segundo semestre 2019 UDAI-Viña. Fuente propia.

Carreras del departamento de Mecánica	Matriculados	Valoración de una asignatura al semestre	Cuota equitativa de recuperación de la Inversión	Porcentaje representativo de la cuota equitativa en el ingreso por carrera
Ing. De ejecución en mecánica de procesos y mantenimiento Industrial	155	$ 41.333.333	$ 227.039	0,55%
Ingeniería en Mantenimiento Industrial	49	$ 13.066.667	$ 227.039	1,74%
T.U en Diseño y producción Industrial en Moldes y Matrices	49	$ 8.166.667	$ 227.039	2,78%
T.U en Energías renovables	102	$ 17.000.000	$ 227.039	1,34%
T.U en Mantenimiento Industrial	234	$ 39.000.000	$ 227.039	0,58%
T.U en Mecánica Industrial	126	$ 21.000.000	$ 227.039	1,08%
T.U en Minería y Metalurgia	241	$ 40.166.667	$ 227.039	0,57%
T.U Mecánica Automotriz	230	$ 38.333.333	$ 227.039	0,59%
TOTAL	1186	$ 218.066.667	$ 1.816.312	9,22%

La valoración de una asignatura semestral en una carrera se obtiene del ingreso monetario semestral de cada carrera del departamento de Mecánica y de la cifra moda de cantidad de asignaturas al semestre que se imparte en la universidad, donde Xm= 6 (moda de cant. Asignaturas al semestre).

Ejemplo: Si la carrera Técnico Universitario en Mecánica Industrial consta de 126 personas matriculadas, se sabe que el arancel T.U es de $1.000.000 semestral y la cantidad moda de asignaturas es de 6 cada semestre, entonces:

$$Valoración\ de\ una\ asignatura = \frac{N°\ Matriculados\ x\ Arancel\ semestral}{N°\ Asignaturas\ al\ semestre}$$

$$\$21.000.000 = \frac{126\ x\ \$1.000.000}{6}$$

Por tanto, la valoración de $21.000.000 correspondería al presupuesto para una asignatura en la carrera T.U en Mecánica Industrial.

Además, la tabla anterior muestra el porcentaje de gasto que ocupa la inversión en cada ingreso correspondiente a la asignatura dependiendo de la profesión y la cantidad de alumnado si la cuota fuese igual en todas las carreras del Departamento $227.039 con una rentabilidad de 1, es decir, con recuperación exacta.

Si bien es equitativa la cuota única que se recuperaría en un solo semestre, no es equitativo el porcentaje de aporte por cada carrera de acuerdo a la distribución en cantidad de alumnado. La ventaja del proyecto, es que el costo no alcanza el 10% del ingreso total del departamento para la asignatura en que se impartiría la actividad propuesta.

Por otro lado, se puede observar que la carrera Técnico Universitario en Diseño y producción Industrial en Moldes y Matrices contiene el mayor porcentaje en gastos ya que los ingresos son menores. De manera que, en base a la desigualdad de aporte por matriculados se genera un análisis de recuperación B) en base al aporte de cada carrera correspondiente a 2,78% por ser el aporte más elevado que se registró. Observar la siguiente tabla.

Tabla 15 Ingresos y cuota de recuperación en base a un 2,63% de aporte por carrera. Datos de matrículas e ingresos extraídos de UDAI-Viña segundo semestre 2019. Fuente propia.

Carreras del departamento de Mecánica	Matriculados	Valoración de una asignatura al semestre	Cuota experimental en base al 2,78%
Ing. De ejecución en mecánica de procesos y mantenimiento Industrial	155	$ 41.333.333	$ 1.149.067
Ingeniería en Mantenimiento Industrial	49	$ 13.066.667	$ 363.253
T.U en Diseño y producción Industrial en Moldes y Matrices	49	$ 8.166.667	$ 227.033
T.U en Energías renovables	102	$ 17.000.000	$ 472.600
T.U en Mantenimiento Industrial	234	$ 39.000.000	$ 1.084.200
T.U en Mecánica Industrial	126	$ 21.000.000	$ 583.800
T.U en Minería y Metalurgia	241	$ 40.166.667	$ 1.116.633
T.U Mecánica Automotriz	230	$ 38.333.333	$ 1.065.667
TOTAL	1186	$ 218.066.667	$ 6.062.253

Para un aporte del 2,78% (máximo aporte representativo de T.U Diseño y producción Industrial, Véase tabla 14), cada carrera depende del número de matriculados del semestre para saber si es rentable la teoría de recuperación. Por lo tanto, se requerirá un listado de alumnado el semestre que se adquieran los elementos y se intente recuperar la inversión de ellos, ya que van variando, muchas veces incrementándose el valor de los instrumentos, envíos y alumnado mientras pasa el tiempo.

El total de aporte en el departamento que se genera es de $6.062.253 con una rentabilidad del 3,34 donde: [*Rentabilidad = Total de aporte en base al 2,78% / Total de Inversión*] Lo que significa que existe alto aporte sobrante y para darle utilidad se debiese adquirir mayor instrumentación justificando el mismo aporte.

En la teoría C), el porcentaje de recuperación por carrera que es ecuánime al ingreso de cada una. Observar la siguiente tabla

Tabla 16 Ingresos y cuota de recuperación en base al porcentaje de ingreso. Datos de matrículas e ingresos extraídos de UDAI-Viña segundo semestre 2019. Fuente propia.

Carreras del departamento de Mecánica	Matriculados	Valoración de una asignatura al semestre	Cuota experimental en base al ingreso por carrera
Ing. De ejecución en mecánica de procesos y mantenimiento Industrial	155	$ 41.333.333	$ 344.272
Ingeniería en Mantenimiento Industrial	49	$ 13.066.667	$ 108.834
T.U en Diseño y producción Industrial en Moldes y Matrices	49	$ 8.166.667	$ 68.021
T.U en Energías renovables	102	$ 17.000.000	$ 141.596
T.U en Mantenimiento Industrial	234	$ 39.000.000	$ 324.837
T.U en Mecánica Industrial	126	$ 21.000.000	$ 174.912
T.U en Minería y Metalurgia	241	$ 40.166.667	$ 334.555
T.U Mecánica Automotriz	230	$ 38.333.333	$ 319.284
TOTAL	1186	$ 218.066.667	$ 1.816.312

De la manera anterior, cada alumno retribuye la misma cifra de recuperación con una rentabilidad de 1. Y aún al ser una teoría individualista y justa, el proceso dependería como la teoría anterior, de un listado exacto de matriculados que se registran en la asignatura en que se implementen los circuitos de control programado en hidráulica transparente.

En todas las teorías se comprueba una duración en la recuperación de la inversión de un semestre sin problemas, ya que los ingresos corresponden a un porcentaje predominante donde más del 75% del ingreso total del departamento por la asignatura del taller de oleohidráulica quedarían sin impacto, sin uso implementado el proyecto.

Por lo anterior, es que es factible cada teoría ya que genera un tiempo de recuperación a corto plazo, pero la mejor decisión radica en seleccionar la teoría que no genera vacíos o

sobrantes en costo y que a la vez sea proporcional al aporte porcentual de las carreras por tratarse de un proyecto en común y de recuperación inmediata. Idealmente, la tercera teoría.

3.6.2 Posibilidad de una inversión

Ya se conoce que, el tiempo de recuperación se desarrollaría a corto plazo sin mayores problemas significando un gasto aproximado del 0,79% (que representa el porcentaje de gasto del proyecto en virtud del ingreso semestral del departamento) para las carreras del departamento de Mecánica. Y, por consiguiente, se procede a analizar el estado financiero del Departamento en las inversiones en los talleres y laboratorios de la Universidad.

A continuación, se muestra la lista de laboratorios y talleres del Departamento de Mecánica:

1. Laboratorio de Electrónica Automotriz
2. Laboratorio de ensayo de materiales
3. Laboratorio de Mantención Industrial y Mantenimiento Predictivo
4. Laboratorio de Metrología
5. Laboratorio de Motores
6. Laboratorio de Neumática
7. Laboratorio de Oleohidráulica
8. Laboratorio de Petrografía y Mineralogía
9. Laboratorio de Procesos CNC
10. Laboratorio Dirección Estabilidad y Frenos
11. Laboratorios de Computadores
12. Laboratorio de Procesos Metalúrgicos
13. Taller de Operaciones Mecánicas
14. Taller Metalmecánico
15. Bóxer de Automóviles
16. Taller Automotriz

Para una estimación de gastos que sustenta a cada uno de los talleres se investiga en base a parámetros básicos, como: la mantención a los activos, la limpieza del área de trabajo, el consumo energético del mismo, el grupo docente a cargo y la administración general de cada departamento.

Desglosando el comportamiento individual del Laboratorio de Oleohidráulica, se muestra en la siguiente tabla las actividades que se desarrollan dentro del salón y datos actualizados del consumo básico del taller.

Tabla 17 Distribución del taller de Oleohidráulica. Segundo semestre 2019. Fuente propia.

Laboratorio de Oleohidráulica	
Distribución del laboratorio	**Breve descripción**
Área de docencia teórica	Mesas y sillas donde se registra la asistencia, se ejecutan las explicaciones de circuito de forma convencional (pizarra) o material audiovisual actual (power point) y se desarrolla el procedimiento de análisis de aceite.
Banco de análisis de componentes hidráulicos y neumáticos	Área de descanso de equipos obsoletos sometidos a análisis de sus componentes, ya sea el estudio a tipos de válvulas, compresores o pedales neumáticos.
Panel de Hidráulica Convencional con plataforma eléctrica	Antiguo panel didáctico con una serie de elementos hidráulicos como actuadores, Motor bidireccional, estranguladores, etc. Armado de circuitos.
Segundo panel de Hidráulica con plataforma eléctrica	Comúnmente se posicionan los sensores de proximidad en los circuitos armados. Más actualizado y espacioso que el convencional.
Panel de Hidráulica Transparente	El panel más actualizado en el estudio de hidráulica donde se puede visualizar el comportamiento del fluido y que cuenta con más de 30 componentes y accesorios para el desarrollo de circuitos con sistemas de control proporcional.

Tabla 18 Consumo básico Horario Vespertino del taller de Oleohidráulica 2019.Fuente. Secretaría Departamento de Mecánica USM-JMC

	Reposición en insumo de limpieza	Consumo Eléctrico
Primer Semestre	$ 454.447	$ 1.181.537
Segundo Semestre	$ 301.058	$ 927.700
Promedio	$ 377.753	$ 1.054.619
Total, promedio	$ 1.432.372	

El consumo básico en luz e implementos de limpieza es el único dato obtenido y de forma medible del funcionamiento del taller de Oleohidráulica en formato vespertino, por ello se puede considerar tales datos para una futura evaluación en capacitaciones dentro del taller que ofrezcan alternativa de impartir cursos a horas nocturnas.

Por otro lado, se conoce dentro del establecimiento, que los gastos en mantención a los equipos de los talleres y nueva implementación en ellos se aprueban mediante proyectos de mejora, donde se evalúa su factibilidad y la forma en que sustenta el pago, es decir, hacia donde recae el costo; en el presupuesto de cada carrera, proyectos de fondos concursables o presupuesto general del departamento). Además, tanto el costo de la administración académica, la docencia y los funcionarios de aseo que rodean la sostenibilidad del taller es de dominio general de la Universidad Técnica Federico Santa María Casa central, por lo cual, el acceso a cifras es lejano. Aún así, debido a una información incompleta, se puede general una estimación sujeta a comentarios y asesorías intentando acercar la realidad de cada laboratorio o taller del establecimiento.

Suposición establecida:

Si una décima parte del ingreso semestral de un Departamento se estableciese como presupuesto en la mantención o mejora de equipos y consumo básico como sustento para cada uno de los laboratorios y talleres que imparte, en el Departamento de Mecánica pasaría que:

$$Ingreso\ semestral\ del\ Dpto\ x\ 10\% = \$1.308.400.000\ x\ 0{,}1 = \$130.840.000$$

$$\frac{10\%\ de\ Ingreso\ semestral\ del\ Dpto.}{Cantidad\ de\ laboratorios\ y\ talleres\ del\ Dpto.} = \frac{\$130.840.000}{16} = \$8.177.500$$

Cada taller contaría con $8.177.500 para consumo básico y mantención o mejora, donde en el Taller de Oleohidráulica:

$$Presupuesto\ taller - Consumo\ promedio = Presupuesto\ mantención\ o\ mejora$$
$$\$8.177.500 - \$1.432.372 = \$6.745.128$$

$$\frac{Presupuesto\ mantención\ o\ mejora}{Valor\ del\ proyecto} = \frac{\$6.745.128}{\$1.816.312} = 3{,}713$$

Es decir, si se declarase un uso del 10% del ingreso de cada departamento en mantención y consumo que cubra todos sus talleres, se generaría un presupuesto de mejora alcanzando casi 4 veces el valor del proyecto propuesto.

Como resumen, se busca una factibilidad de inversión en el taller considerando una proximidad en los gastos donde el 10% de ingresos de un departamento, que no es elevado porcentaje, se otorgue semestralmente para consumo básico y mantención o mejora. Y así, corroborar que el proyecto propuesto no está alejado de una ejecución a futuro. Además, aunque se estableciese un 5% del Departamento en el semestre hacia cada taller de los 16 existentes y se descontase el promedio de consumo básico, el presupuesto para mantención o mejora sería de $2.656.378 aproximadamente, valor mayor al valor del proyecto propuesto.

3.6.3 Cuantificación de los beneficios

Existe una serie numerosa de beneficios cualitativos que tendrá el proyecto dentro de los que se destaca:

- Mayor preparación del alumnado en el conocimiento de sistemas con monitoreo programable, interpretación de gráficos en condiciones de trabajo de un equipo, interpretación de circuitos en sistemas de control lazo cerrado. Por consiguiente, refuerza leyes y propiedades de los fluidos, el control hacia los sistemas hidráulicos y la aplicación que se le atribuye en la industria chilena.
- Genera el manejo práctico, real, grupal e individual de una pantalla HMI configurando mediante controlador un circuito. El alumnado practica el uso de instrumentación delicada y fundamental en el área de automatización
- Los circuitos simulables y monitoreados proporcionan una promoción inmediata de la universidad hacia el exterior para demostrar una innovación al futuro estudiante que quiera incorporarse.
- El uso y conocimiento de la programación en un circuito lazo cerrado en hidráulica transparente sería aprovechado por más de 1000 personas al semestre. O sea, influye potencialmente al departamento de Mecánica.

Resumiendo, se obtendría profesionales mayormente calificados que generarán sin duda una confiabilidad en lo laboral a futuro y también una oportunidad de promoción de las carreras de la universidad. Siguiendo o más bien, aumentando el prestigio de la universidad en el área tecnológica con una calidad educacional acreditada.

Ahora, en el análisis de costos y beneficio se requiere responder a una esperada ganancia de la universidad a favor de generar el proyecto. Es decir, argumentar la existencia del proyecto con el fin de generar un beneficio cuantitativo, es decir, una generación de

ingreso extra al establecimiento. Por lo que existen dos beneficios potenciales y medibles como supuesto al implementar a futuro el proyecto:

1) Implementado el proyecto se espera un aumento mínimo de 1% de ingresados en la universidad miembros del departamento de Mecánica.

Suposición de alza en matrículas mediante promoción

Este supuesto en el aumento en las matrículas del establecimiento se generará gracias a la promoción anual de la Universidad en su feria de Expotec, los trabajos de títulos en base a monitoreo programable y videos de investigación en circuitos simulables y controlables que genere el alumnado y suba a las plataformas oficiales de la universidad como incentivo a nuevas generaciones.

La siguiente tabla corresponde a los excedentes que se generarían con un aumento mínimo de 1% en matrículas del establecimiento. Donde el registro de matrículas a nivel semestre se consideran del 100% de verisimilitud (véase ilustración 28), el porcentaje de aporte en ingreso de matriculados hace referencia a la distribución porcentual representativa del Departamento y las matrículas e ingresos al 101% corresponden a la evaluación estimativa del 100% + 1% representando el aumento de alumnado que se desea.

Tabla 19 Registro del aumento a 1% del alumnado en el departamento de mecánica. Datos de matrículas extraído de UDAI-Viña segundo semestre 2019. Fuente propia

Carreras	Registro de Matrículas 100%	% aporte en ingreso de matriculados	Matriculas Aumentadas al 1%	Ingresos al 101%
Ing. de ejecución en mecánica de procesos y mantenimiento Industrial	155	13%	157	$ 41.746.667
Ingeniería en Mantenimiento Industrial	49	4%	49	$ 13.197.333
T.U en Diseño y producción Industrial en Moldes y Matrices	49	4%	49	$ 8.248.333
T.U en Energías renovables	102	9%	103	$ 17.170.000
T.U en Mantenimiento Industrial	234	20%	236	$ 39.390.000
T.U en Mecánica Industrial	126	11%	127	$ 21.210.000
T.U en Minería y Metalurgia	241	20%	243	$ 40.568.333
T.U Mecánica Automotriz	230	19%	232	$ 38.716.667
Total	1186	100%	1198	$ 220.247.333

Ingreso total al 101%	$220.247.333
Ingreso total al 100%	$218.066.667
EXCEDENTE	$2.180.666

2) Implementando el proyecto se abre las puertas a un curso de capacitación en Manejo de sistemas hidráulicos en PLC mediante Pantalla HMI

Suposición respecto a cursos y clases por semestre

Se prevé un curso que conste de 24 horas repartidas en un máximo de 8 semana de capacitación, con un alumnado de 15 personas, donde las clases contengan introducción a la hidráulica proporcional, interpretación de circuitos y gráficos del HMI, control de variables y monitoreo configurado a dos circuitos de sistemas de control lazo cerrado, manejo de las etapas de activación, ejecución y finalización del sistema PLC y el controlador PID y más etapas de aprendizajes definidas por el docente a cargo. Por tanto, el objetivo del curso es "Dominar el manejo de sistema de control hidráulico por PLC".

El valor del curso es de $200.000 para todo público y se desarrollaría 2 veces al semestre. Los gastos operacionales del curso corresponderían a la suma del consumo básico del taller, el salario docente por la capacitación (por estándar es entre el 20-25% del ingreso del proyecto) y el gasto de un 5% en material de librería para el alumnado.

Tabla 20 Registro semestral de ingresos por el curso de Manejo en sistemas de control mediante PLC. Fuente propia.

Asistentes	Cobro Semestral	Gastos operacionales	Excedente
30	$ 6.000.000	$ 2.932.372	$ 3.067.628

De modo que se le daría una oportunidad de perfeccionamiento al estudiante de la universidad que imparte una carrera afín.

3.6.4 Análisis Costos y beneficios

El siguiente gráfico muestra la relación entre los costos y beneficios que generaría la futura implementación con los dos beneficios potenciales que se generasen.

Tabla 21 Análisis de costo y beneficio del proyecto con dos beneficios potenciales. Fuente propia.

	VALORES
BENEFICIO	$ 5.248.294
COSTE	$ 1.816.312
B/C	2,88

Como el coste de la inversión se recupera el primer año, los siguientes años se establece un coste de mantención del panel del 10% correspondiente a la inversión como factor de seguridad, ya que dentro de los ingresos semestrales del alumnado y de los que se obtengan de los cursos, el porcentaje de gastos operacionales del laboratorio ya están incorporados como sustentar el uso constante.

Es por lo anterior, que la relación entre el beneficio y el costo se establece claramente en el año 1, donde la relación es de 2,88 y argumenta que el proyecto es rentable. En el siguiente grafico se muestra la relación en el tiempo del beneficio y el costo, el último disminuyendo de inmediato en el primer periodo y manteniendo bajo rango, mientras se observa el beneficio en el mismo periodo y aumentando también a bajo rango.

Tabla 22 Tabla Costo Beneficio a través del tiempo. Fuente propia.

	0	1	2	3
BENEFICIO	0	$ 5.894.191	$ 5.953.133	$ 6.012.664
COSTE	$ 1.816.312	$ 181.631	$ 18.163	$ 1.816

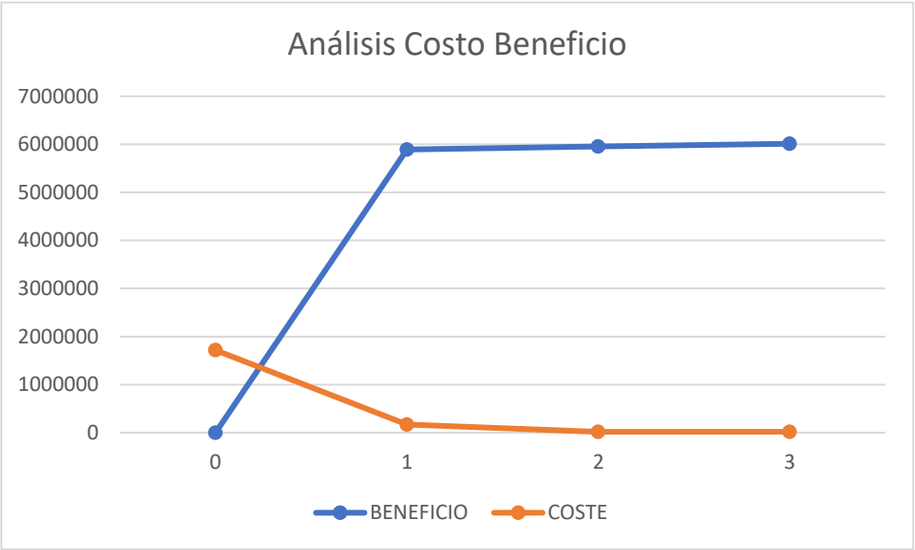


Gráfico 3 Análisis de costo y beneficio del proyecto en el tiempo con los dos beneficios potenciales. Fuente propia.

Cabe registrar el análisis de coste y beneficios de cada beneficio potencial por sí solo, donde:

1) El proyecto considera un aumento del 1% en matriculas

Tabla 23 Análisis costo y beneficio del proyecto con el primer beneficio potencial. Fuente propia.

	1
BENEFICIO	$ 2.180.666
COSTE	$ 1.816.312
B/C	1,2

2) El proyecto genera un curso de manejo en sistemas de control mediante PLC

Tabla 24 Análisis de costo y beneficio del proyecto con el segundo beneficio potencial. Fuente propia.

	1
BENEFICIO	$ 3.067.628
COSTE	$ 1.816.312
B/C	1,68

Y como resultado, se obtiene que ambos beneficios medibles son rentables por sí solos, tanto generando promoción del taller con resultados en matrículas como también la ejecución de cursos de aplicación en sistemas hidráulicos monitoreados. Donde ambas dos propuestas que generan excedentes, para que sean rentables, la relación de Beneficio/Coste debe ser igual o mayor a 1.

CONCLUSIONES

El desarrollo del presente trabajo culmina con una serie de observaciones en los sistemas de control tanto en general como en específico en el área hidráulica, donde se comprueba que existe una amplia gama de conceptos necesarios a dominar para proyectos de automatización, donde es fundamental lograr identificar, interpretar y explicar los distintos elementos, equipos, funcionamiento y procesos afines. En sí, es vital comprender el mundo de la automatización hoy en día, ya que sus ventajas se extienden a distintas áreas de la industria, como la hidráulica, la neumática, la mecánica en sí, los sistemas de transferencia de calor, sistemas mecatrónicos, entre otros.

Como se pudo observar en el capítulo 1, la diferencia esencial de un sistema de control en lazo cerrado es la detección y corrección de la salida del proceso, tratando de minimizar las diferencias de señales entre la entrada y la salida. El beneficio posterior que se logra es una mejor calidad en cuanto a la precisión, donde la medición (monitoreo continuo) como retroalimentación aporta a mantener el proceso constantemente en mejora, analizando rangos cuantitativos y comparándolos con el ideal de funcionamiento mediante la ayuda de gráficos y diagramas interpretados por control PID inmerso en el PLC. Y, en consecuencia, saber en qué se falla y cómo se arregla un desperfecto en la producción.

Cabe mencionar que, el primer capítulo se enfoca en introducir al lector en los sistemas de control, cómo se emplean y poder explicar la importancia de solucionar la problemática de no contar con simulación de sistemas de control en lazo cerrado en la enseñanza superior de la universidad.

Posterior al análisis de los sistemas de control, en el segundo capítulo se buscaron las soluciones a la implementación de los sistemas de control en lazo cerrado en base al equipamiento que existe en el taller de oleohidráulica donde se desea mejorar, y así, lograr plantear los equipos de monitoreo programables como fuente de control de las posibles variables a manipular determinando al menos dos de las principales (presión y caudal).

Resultó significativo llegar a decidir las variables a controlar, presión y caudal, que en la industria son bien relevantes, sin desmerecer otras variables complementarias a una buena producción.

Para la tercera parte, desarrollando las simulaciones de circuitos de control en lazo cerrado en el laboratorio se obtuvo un análisis complementario a las clases teóricas, donde se contempló de manera positiva y dinámica de enseñanza los conceptos antes estudiados de mecánica de fluidos. Esto, dando paso fácilmente a la discusión sobre las muchas alternativas de circuitos que se pueden construir en el taller en base a esta propuesta como posibles proyectos de mejora que incorporen más elementos.

Finalmente, se concluyó que es accesible la implementación de los circuitos transformando el proyecto en una inversión a corto plazo con el gran beneficio de una mejor enseñanza y preparación del alumnado en el área automatizada e incluso, influyendo además en temas más generales en la universidad como lo es la acreditación. Argumentando en cuanto a los gastos versus ingresos dentro de la universidad se destaca que existe un dominio de las carreras del 38% pertenecientes al departamento de mecánica con respecto al total de profesiones en el establecimiento. Además, el departamento de mecánica es el encargado del taller y mantiene un aporte semestral en más del 40% de matriculados en el establecimiento. Los ingresos por semestre correspondiente al departamento supera los mil millones y a futuro, teniendo información desglosada de los gastos operacionales de la universidad, se podría determinar en cuantos años o meses se recupera la inversión de casi un millón ochocientos mil pesos para la compra de nuevo implemento en el taller.

Los análisis de beneficios fueron implementados solo al departamento mencionado anteriormente, ya que la información que se maneja es específica de departamento y a la misma vez no hay carrera dentro de él que evada asignaturas de control u automatización. De resultar exitosa la ejecución de la implementación de control, serían varias las generaciones en la universidad y de distintas carreras pertenecientes a distintos departamentos, que podrían hacer uso del banco demostrativo y así también, poder propiciar a nuevas ideas independientes pero orientadas al área en común.

BIBLIOGRAFÍA

Libro manual

Sídney Davis A, 1977, *Retroalimentación y sistemas de control*, Tlacopac San Angel, México. FONDO EDUCATIVO INTERAMERICANO S.A

Sitios Web

Complemento en Sistemas de control:

https://makinandovelez.wordpress.com/

Página web "03fmeautomatismos"

https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sistema-de-control/

Caudalímetro:

https://www.automation.siemens.com/sc-static/catalogs/catalog/pi/FI01/es/FI01_es_kap03.pdf

Envío caudalímetro:

https://www.fedex.com/es-cl/online/rating.html

PLC S7 1200:

https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/sce_educacion/Documentacion-Didactica/Documents/SIMATIC%20S71200R.pdf

https://www.dartel.cl/index.php/simatic-s7-1200-1214c-cpu-ac-dc-rly14di-10do-2ai.html

https://www.plcchile.com/siemens/s7-1200/

Manual SIEMENS:

https://media.automation24.com/manual/es/91696622_s71200_system_manual_es-ES_es-ES.pdf

ANEXO

- Contacto de proveedores

Sucursal Dartel: Independendia 2637, Valparaíso.
Contacto: +56322250298
Correo: valparaiso@dartel.cl

Sucursal PLC CHILE: Santiaguillo 1316, Santiago.
Contacto: +56224016560 +56998306526
Correo: ventas@plcchile.cl

Sucursal SMC Pneumatics Chile S.A: Panamericana Norte Km 16.5 Condominio Valle Grande Comuna de Lampa, Santiago.
Contacto: +5622708600
Correo: ventas@smcchile.cl

Sucursal Wei Chile: Av. Errazuriz 629, local 114. Valparaíso, Chile.
Contacto: +56228204750
Correo: valparaiso@wei.cl

- Ilustraciones anexadas

Ilustración 17 Uniones de elementos en el Sistema de control en circuito abierto, Fuente propia 2019.

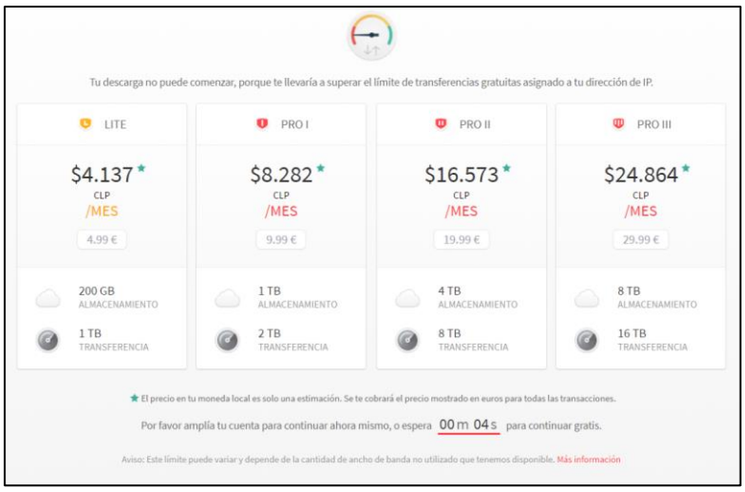


Ilustración 18 Contratación de ampliación en descargas para softwares por internet.

Fuente Sitio web de usuarios de MEGA.

Ilustración 19 Cotización cable Ethernet. Fuente Sitio Web oficial de WEI Chile.

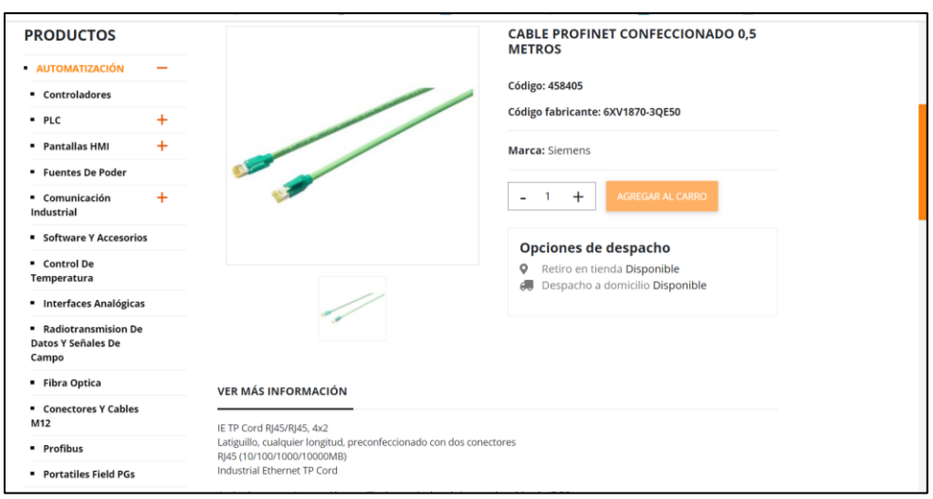


Ilustración 20 Cotización cable Ethernet. Fuente Sitio Web oficial de Calimport.

SMC Worldwide leading experts in pneumatics

SMC Pneumatics Chile S.A.
RUT: 89.906.900-5

CASA MATRIZ: Av. La Montaña 1115 – Panamericana Norte KM. 16,5 - Condominio Ind. Valle Grande
Comuna de Lampa – Fono: (56-2) 270 8600 – FAX: (56-2) 270 860 – 270 8602
E-mail: ventas@smcchile.cl Web: www.smcchile.cl y www.smcworld.com

COTIZACIÓN N° SMC-2017-HP002-IT

Cliente	**: Universidad Tec. Federico Santa Maria**	**Contacto**	**: Eduardo Vidal**
Direccion	**: Av.Federico Santa Maria #6090**	**Fecha Cotización**	**: 29-08-2017**
Comuna	**: Viña del Mar**	**Teléfono**	**: 32 2 277899**
Ciudad	**: Viña del Mar**	**Fax**	**:**
RUT	**: 81.668.700-4**	**E-Mail**	**: eduardo.vidal@usm.cl**

Estimado Sr.(a). adjuntamos cotización comprometida

ITEM	CODIGO	DESCRIPCIÓN	CANT.	PRECIO	TOTAL $
1	SAI9610	PRESOSTATO CON DISPLAY Y SALIDA ANALOGICA	1	$ 349.414	$ 349.414
			Total Neto		**$ 349.414**
			Descuento	0%	$ 0
			Sub Total		**$ 349.414**
			19% IVA		**$ 66.389**
			TOTAL GENERAL		**$ 415.803**

*** VIGENCIA DE LA COTIZACIÓN** : 90 DÍAS
*** PLAZO DE ENTREGA** : 8 Semanas
*** CONDICIONES DE PAGO** : 30 dias Factura contra entrega

HECTOR PUEBLA SALINAS
SMC CHILE S. A.

Soluciones Integrales de Automatización Industrial
Evaluación de Proyectos. Proyectos llave en mano
Válvulas de control y proceso, dimensionamiento fabricación y reparación
Capacitación y formación técnica

Ilustración 21 Cotización Sensor de presión. Fuente propia.

Ilustración 22 Cotización Caudalímetro. Fuente: Página web DirectIndustry

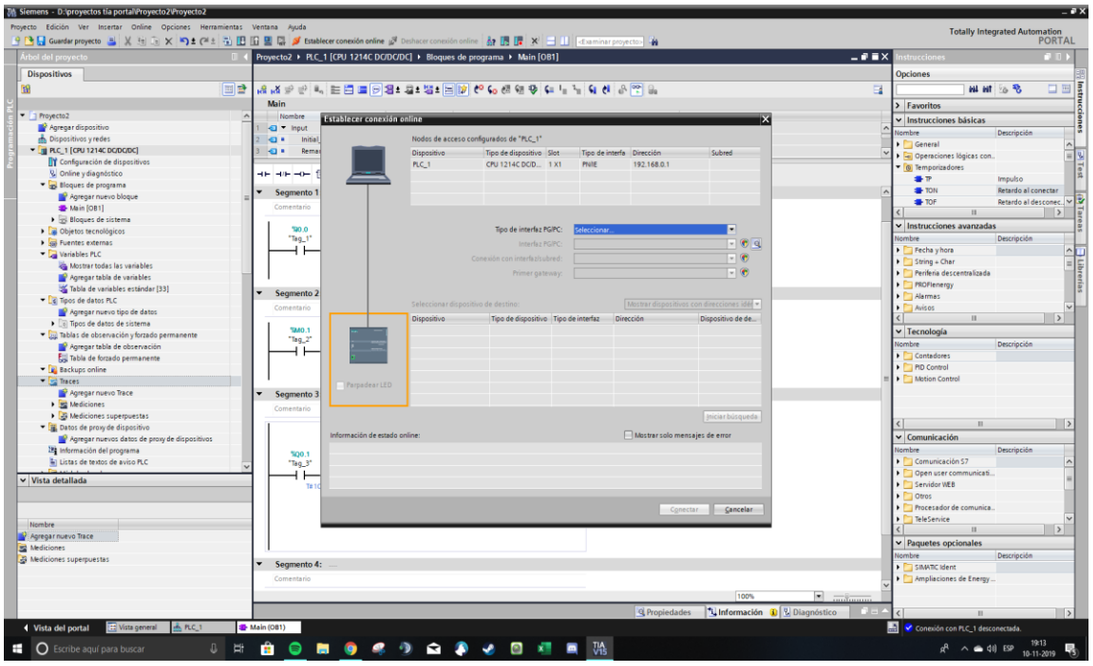


Ilustración 23 Proceso de conexión entre el programa y el PLC a instalar. Programa Tia Portal. Fuente propia.

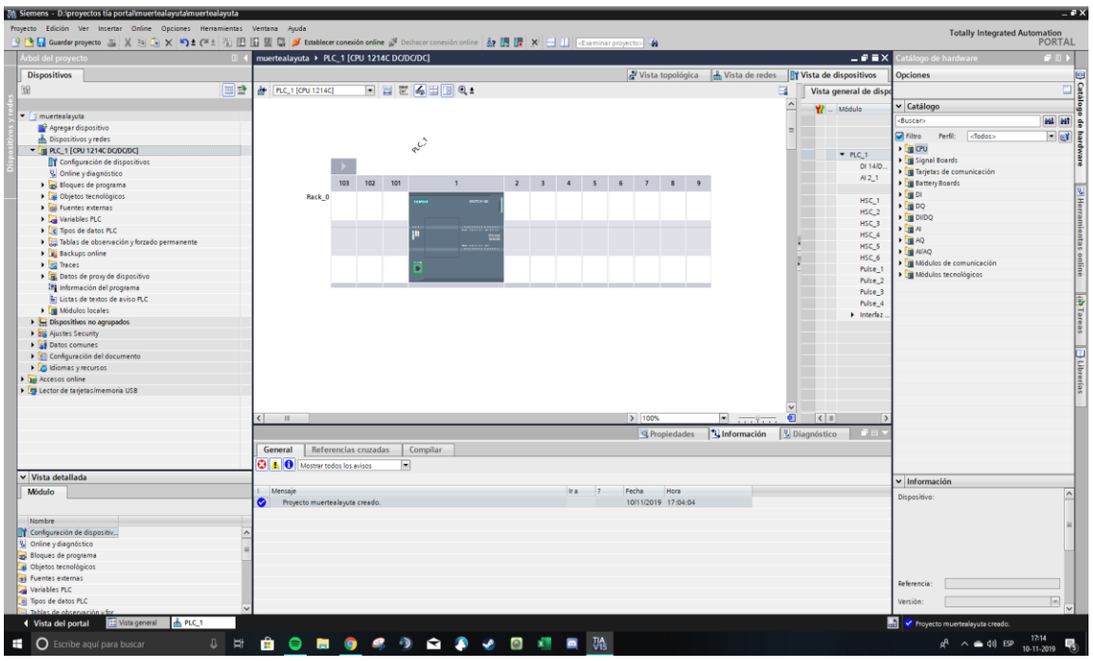


Ilustración 24 Visualización del PLC a configurar en la programación. Programa Tia Portal. Fuente propia.

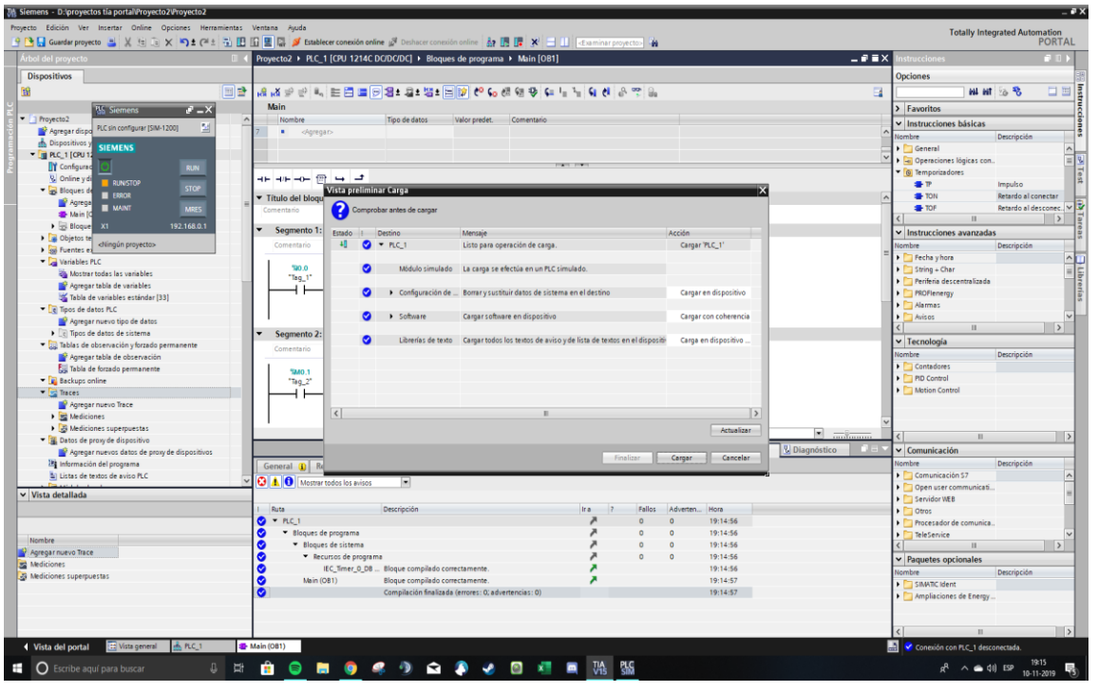


Ilustración 25 Prueba de conexiones en el diagrama para simular correctamente. Programa Tia Portal. Fuente propia.

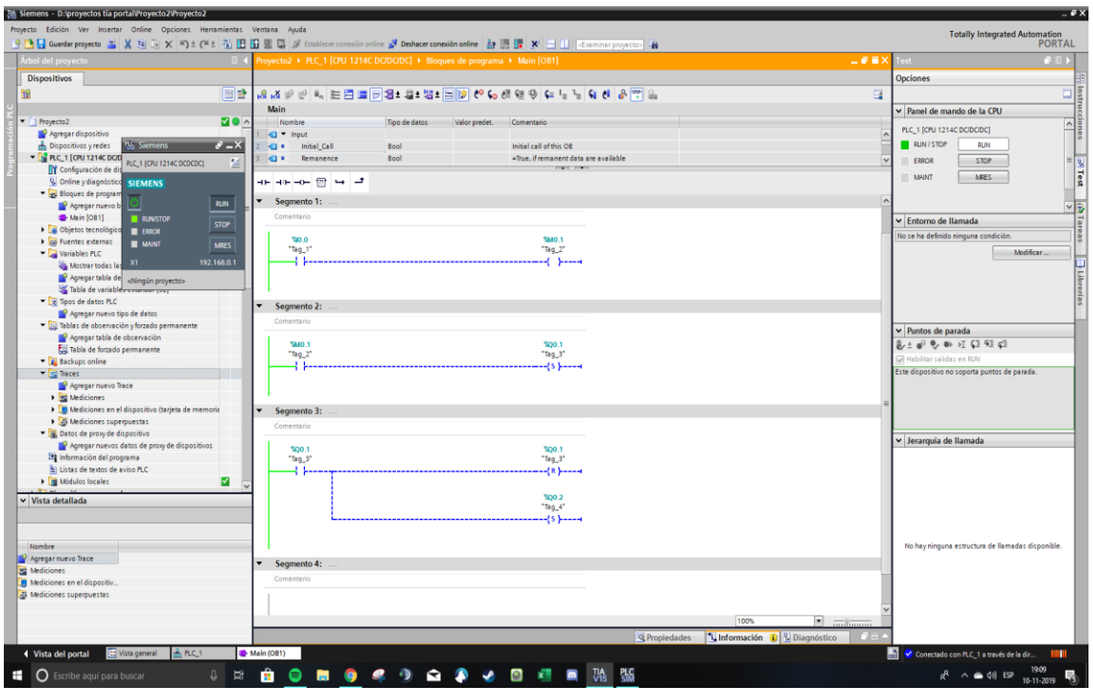


Ilustración 26 Simulación del bloque diseñado. Programa Tia Portal. Fuente propia.

UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

SIMULACIÓN DE SISTEMAS DE MANDO Y CONTROL

Objetivo general del laboratorio

Estudiar los sistemas de control con y sin retroalimentación mediante la aplicación práctica simulando circuitos en dirección lineal y giratoria.

Acciones previas del laboratorio

Despegar el área de trabajo en el taller de Oleohidráulica y recopilar toda la instrumentación señalada en la lista de elementos a utilizar en cada circuito.

Hacer uso de los EPP y armar los siguientes tres circuitos en orden. Registrar información por escrito y de manera visual. Desarrollar un informe con la ejecución de las actividades, los análisis de los circuitos y conclusiones comparativas, de semejanza y de nuevo aprendizaje.

1. **Primer circuito**

Objetivo: Analizar un sistema de control en lazo abierto para luego compararlo con el de lazo cerrado

Elementos a utilizar

- Modulo alimentación bobina proporcional
- Cilindro doble efecto
- Manómetro conexión cruzada
- Electroválvula 4/3 centro cerrado
- Grupo hidráulico móvil hidráulica transparente
- Cableado eléctrico e hidráulico

Procedimiento

- En el panel SMC posicionar en lo superior el cilindro doble efecto y conectarlo a una electroválvula 4/3 centro cerrado ya posicionado debajo.
- Conectar el módulo de alimentación con la electroválvula mediante solenoide para alimentar a las dos bobinas extremas.
- Añadir un manómetro cruzando con la electroválvula y el cilindro doble.
- Energizar el grupo hidráulico y el módulo de alimentación eléctrica.

Ilustración 27 Bosquejo de la hoja de trabajo a realizar por la implementación. Parte 1. Fuente propia.

UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

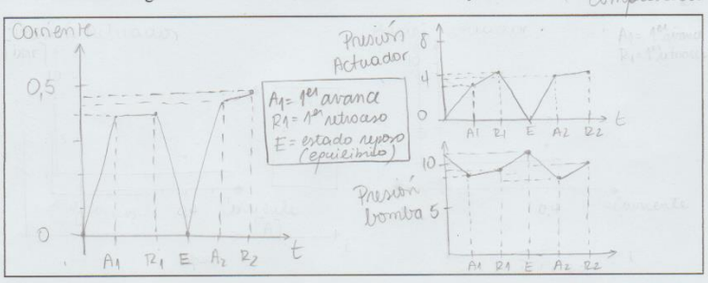
- Manejar la puesta en marcha con el encendido en el módulo de alimentación y anotar los valores que entregan el módulo, el manómetro en la entrada al cilindro y el manómetro del grupo hidráulico.
- Variar la frecuencia y la intensidad en las señales a las bobinas, luego realizar un registro de datos y análisis de la variación de velocidad de avance y retrocedo del cilindro.

Actividades

a. Completar la siguiente tabla de datos

Dirección	Frecuencia	Corriente	Presión Actuador	Presión Bomba
1er Avance	250[Hz]	0,4 [A]	3 [bar]	8,5 [bar]
1er Retroceso	250[Hz]	0,4 [A]	4 [bar]	9 [bar]
Reposo Bobinas	250 [Hz]	0	8 [bar]	10,8 [bar]
2do Avance	250 [Hz]	0,42 [A]	3,8 [bar]	8 [bar]
2do retroceso	250[Hz]	0,45 [A]	4 [bar]	10 [bar]

b. Diseñar un gráfico de variación de los datos en avance y retroceso (Total por computador).



c. Realizar conclusiones de la experiencia en base a las características de un sistema de control lazo abierto y lo que necesitaría un sistema de control lazo cerrado. ¿En qué influye el amperaje en el circuito?

Al energizar el sistema completo y activar una bobina mediante aumento de corriente, se pudo observar un funcionamiento proporcional. Desde este sistema el control de avance y retroceso fue de manera manual volviendo imprecisa a veces la lectura, ya que la acción de cambio de estado es en milisegundos. La velocidad no se puede cuantificar, ni la temperatura, ni la presión de salida. Por ello que se necesitaría otro medido como retroalimentación para obtener mas datos y así poder monitorear y modificar...

Ilustración 28 Bosquejo de la hoja de trabajo a realizar por la implementación. Parte 2. Fuente propia.

UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

2. Segundo circuito

Objetivo Analizar comportamiento del sistema de control en lazo cerrado con actuador lineal y temporización de retroceso

Elementos a utilizar

- Cilindro doble efecto
- Electroválvula 4/3 centro cerrado
- Grupo hidráulico móvil hidráulica transparente
- Sensor de presión
- PLC con controlador PID
- Pantalla HMI o Computador con Software compatibles al PLC como STEP7
- Cableado hidráulico
- Cable Ethernet

Procedimiento

- Incorporar en el sistema instalado anteriormente la conexión del PLC entre la electroválvula y el cilindro y quitar el modulo de alimentación de las bobinas. (modificar con base en el circuito 1)
- Añadir la conexión del sensor de presión ISE80 en la salida del cilindro y la entrada analógica PLC.
- Configurar el PLC y sus funciones en la pantalla HMI mediante diagrama de ordenes con temporizador y registro de variables en el controlador PID

Actividades

a. Dibujar el esquema de conexión entre los distintos elementos que se incorporan, mismo diseño que se aplica personalizado en el software Tia portal. (Ideal argumentar con fotografía de software)

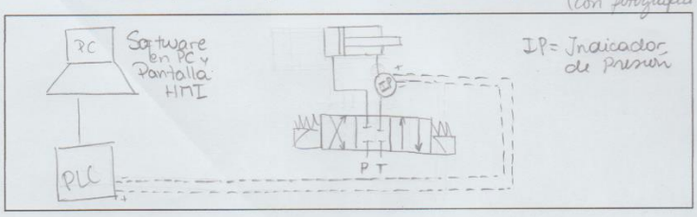
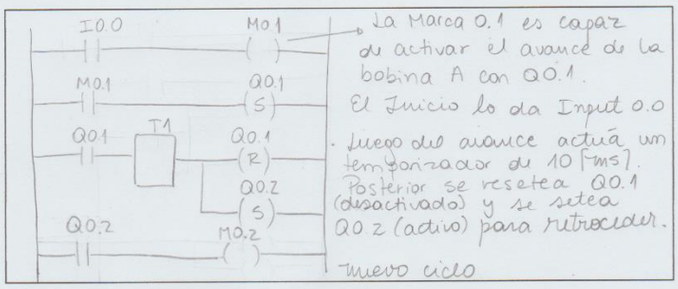


Ilustración 29 Bosquejo de la hoja de trabajo a realizar por la implementación. Parte 3. Fuente propia.

UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

b. Dibujar el diagrama de bloque mando del PLC a la electroválvula.



c. Completar la siguiente tabla

Dirección	Presión bomba	Presión retroalimentación
1er Avance		
1er Retroceso		
Reposo		
2do Avance		
2do Retroceso		

d. Realizar las conclusiones de la experiencia con respecto al cambio de sistema de control abierto a cerrado. Tomar en cuenta la influencia del temporizador.

Para (c) y (d) es necesario obtener datos específicos del PLC y así poder graficar y analizar el sistema con los margenes de error que aparecen.

Ilustración 30 Bosquejo de la hoja de trabajo a realizar por la implementación. Parte 4. Fuente propia.

UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

3. **Tercer circuito**

Analizar comportamiento del sistema de control en lazo cerrado con actuador giratorio

Elementos a utilizar

- Cilindro doble efecto
- Motor de paletas
- Manómetro conexión cruzada
- Electroválvula 4/3 centro cerrado
- Grupo hidráulico móvil hidráulica transparente
- PLC con controlador PID
- Pantalla HMI o Computador con Software compatibles al PLC como STEP7
- Cableado hidráulico
- Cable Ethernet

Procedimiento

- Mantener el circuito 2 instalado para modificar.
- Quitar el sensor de presión y reemplazarlo por el flujómetro.
- Quitar el actuador lineal y reemplazarlo por el actuador giratorio.
- Configurar escala de ordenes en el PLC sin temporizador. Registrar datos y observar el comportamiento del controlador.

Actividades

a. Dibujar el esquema de conexión entre los distintos elementos que se incorporan, mismo diseño que se aplica personalizado en el software Tia portal.

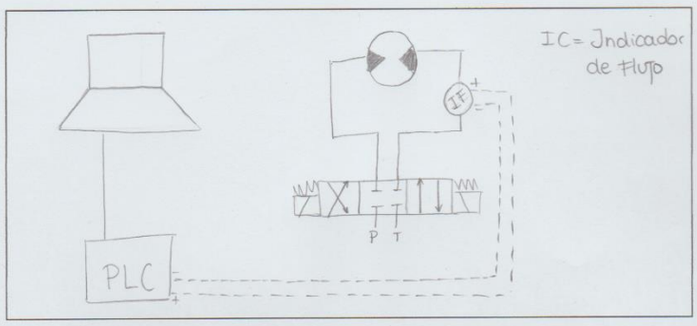
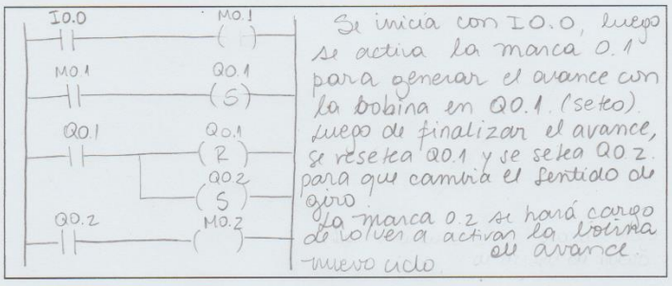


Ilustración 31 Bosquejo de la hoja de trabajo a realizar por la implementación. Parte 5. Fuente propia.

UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

b. Dibujar el diagrama de bloque mando del PLC a la electroválvula.



c. Completar la siguiente tabla

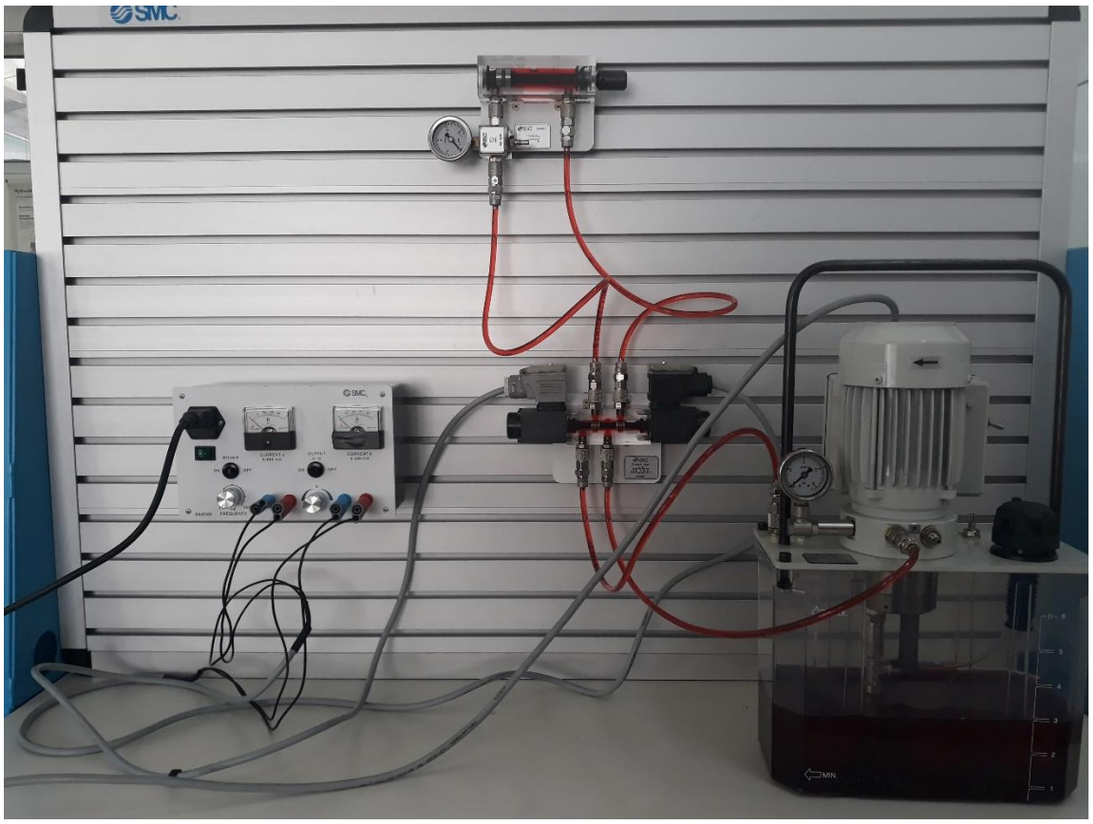
Dirección	Caudal registrado	Presión bomba	Presión Actuador
Sentido del reloj			
Contra del sentido de reloj			
Reposo			
Sentido del reloj			
Contra del sentido del reloj			

d. Realizar las conclusiones de la experiencia con respecto al cambio de actuador en sistema de control y su configuración. Analizar la diferencia de un sistema de control abierto y cerrado para este caso.

Para (c) y (d) es necesario obtener datos específicos del PLC y así poder graficar y analizar el sistema con los margenes de error que aparezcan.

Ilustración 32 Bosquejo de la hoja de trabajo a realizar por la implementación. Parte 6. Fuente propia.

Ref.	Descripción	COMPOSICION HYD				
		201	202	203	206	207
	Actuadores					
SAI9239	Cilindro de doble efecto		1			
SAI9225	Cilindro de doble vástago					1
SAI9210	Cilindro hidráulico diferencial de doble efecto	1				
SAI9300	Cilindro con transductor de posición analógico lineal					1
SAI9230	Contrapeso con sujeción lateral a panel		1			
SAI9220	Motor hidráulico		1			1
	Válvulas reguladoras de presión					
SAI9202	Válvula limitadora de presión	2				
SAI9279	Válvula limitadora de presión de corredera. Válvula de secuencia		1			
SAI9218	Válvula limitadora de presion preaccionada		1			
SAI9219	Válvula reductora de presión de 3 vías		1			
SAI9301	Válvula proporcional limitadora de presión, mando directo				1	
SAI9305	Válvula proporcional limitadora de presión preaccionada					1
	Válvulas de caudal					
SAI9204	Válvula de cierre con escala	1				
SAI9205	Válvula estranguladora de caudal ajustable	1				
SAI9211	Válvula antirretorno en línea	1				
SAI9203	Válvula estranguladora de caudal con antirretorno	1				
SAI9208	Válvula reguladora de caudal compensado con antirretorno.	1				
SAI9213	Válvula antirretorno pilotada	1				
	Válvulas distribuidoras					
SAI9217	Válvula distribuidora 2/2	1				
SAI9282	Válvula distribuidora 3/2	1				
SAI9212	Válvula distribuidora 4/2	1				
SAI9214	Válvula distribuidora 4/3	1				
SAI9253	Válvula distribuidora 2/2 accionada por rodillo		1			
SAI9224	Electroválvula distribuidora 4/2			1		
SAI9226	Electroválvula distribuidora 4/3			1		
SAI9302	Válvula distribuidora proporcional 4/3				1	
SAI9304	Válvula distribuidora proporcional 4/3 preaccionada				1	
SAI9308	Válvula distribuidora proporcional 4/3 con captador de posición					1
	Elementos de conexión y accesorios					
SAI9216	Conjunto de 12 mangueras con enchufes rápidos hembra	1				
SAI9240	Conjunto de 10 mangueras con enchufes rápidos hembra		1			
SAI9206	Repartidor en cruz	1				
SAI9207	Repartidor en T con manómetro	2				
SAI9209	Placa repartidora con manómetro, 4 tomas	1	1			
SAI9221	Acumulador de membrana con bloque de seguridad		1			
SAI9233	Juego de tubos para pérdidas de carga	1				
	Módulos de control, detectores y accesorios eléctricos					
SAI9040	Fuente alimentación 24 v.			1		1
SAI9042	Conjunto de pulsadores			1		1
SAI9101	Módulo pulsador unitario			1		
SAI9041	Conjunto de 3 relés			1		2
SAI9046	Conjunto de cables con conector eléctrico de 4 mm			1		1
SAI9272	Juego de conectores + cable para electroimanes			1		
SAI9231	Final de carrera eléctrico			3		4
SAI9229	Presostato			1		
SAI9271	Cable para presostato			1		
SAI9309	Módulo de alimentación para 2 bobinas proporcionales				1	
SAI9303	Juego de conectores para bobinas proporcionales				1	1
SAI9310	Tarjetas amplificadoras digitales pzd-pwd para bobinas proporcionales					1
SAI9311	Generador de consignas externas					1
SAI9312	Transductor analógico de velocidad para motor hidráulico					1
SAI9313	Transductor analógico de posición para motor					1
SAI9314	Transductor de presión con indicador digital					1
	Soporte didactico					
SAI9550	Manual de usuario y prácticas hidráulica / electrohidráulica	1	1	1		
SAI9562	Manual de usuario y prácticas hidráulica proporcional nivel I				1	
SAI9564	Manual de usuario y prácticas hidráulica proporcional nivel II					1


SMC

SMC