



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

“Propuesta de implementación de un Sistema de Control lazo cerrado para banco didáctico en Hidráulica Transparente”

Universidad Técnica Federico Santa María – José Miguel Carrera

TRABAJO DE TÍTULO PARA LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE
INGENIERO DE EJECUCIÓN EN MECÁNICA DE PROCESOS Y MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTORA ALISSON SKARLETTE COLMAN GODOY

PROFESOR GUÍA EDUARDO VIDAL PÁEZ

INTRODUCCIÓN

- El mercado de la automatización ha llevado a generar altas inversiones en instrumentación que proporcionan una mayor precisión de medición y nivel de control de calidad en la producción.
- 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 medición, proporcionar y controlar parámetros de estudio, analizar el efecto del ambiente laboral sometido, indicar tanto el correcto funcionamiento de elementos, como también perturbaciones, ruidos o anomalías del proceso, y así proporcionar argumentos para planes de mantenimiento, entre otros.

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

- Reconocer los conceptos básicos de un Sistema de control en lazo abierto y cerrado aplicables en el equipo didáctico del laboratorio.
- Identificar los componentes del banco demostrativo que permiten montar sistemas de control en lazo abierto y los componentes hidráulicos necesarios en el control lazo cerrado especificando sus características técnicas.
- 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.

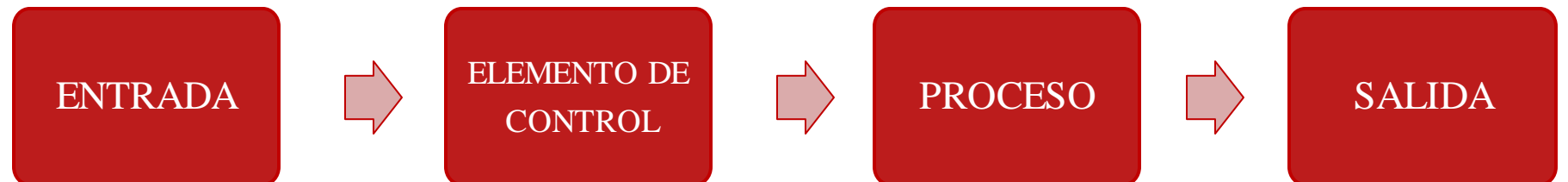


CAPÍTULO I: SISTEMAS DE CONTROL

- Reconocer los conceptos básicos de un Sistema de control en lazo abierto y cerrado para aplicarlos en el equipo didáctico del laboratorio.

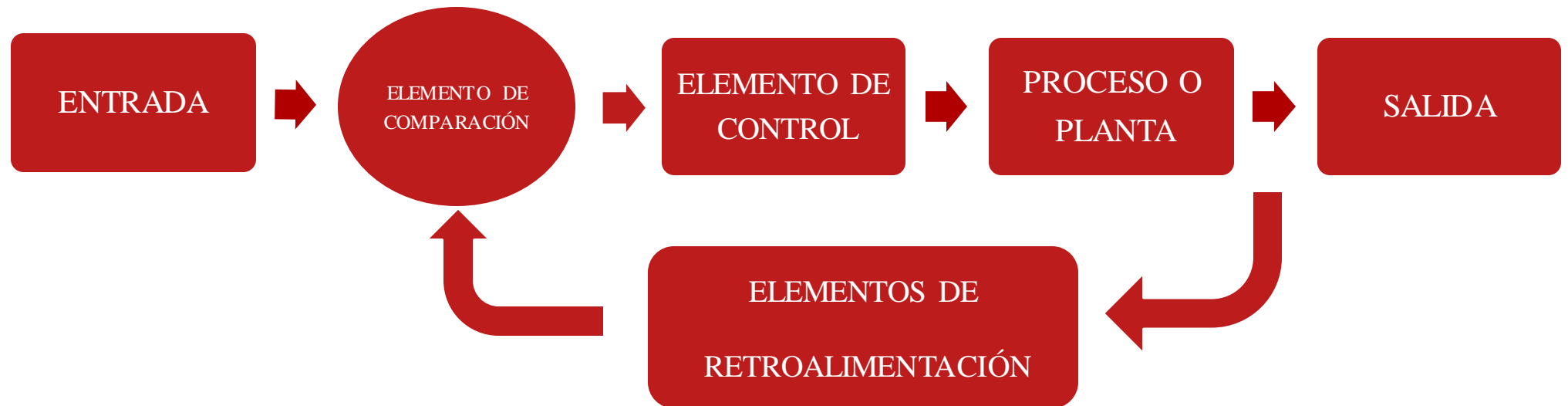
SISTEMAS DE CONTROL LAZO ABIERTO

- ▶ 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.
- ▶ Con los elementos básicos de mando al entregar señal de entrada con variables iniciales se clasifica un sistema de control en lazo abierto de la siguiente manera:



SISTEMAS DE CONTROL LAZO CERRADO

- Por otro lado, el sistema de control lazo cerrado añade al mismo procedimiento la observación, medición y comparación de la señal de salida con la señal de mando de entrada, donde las diferencias representan errores que pueden volver a controlarse con fin de minimizarlos.



PROBLEMÁTICA

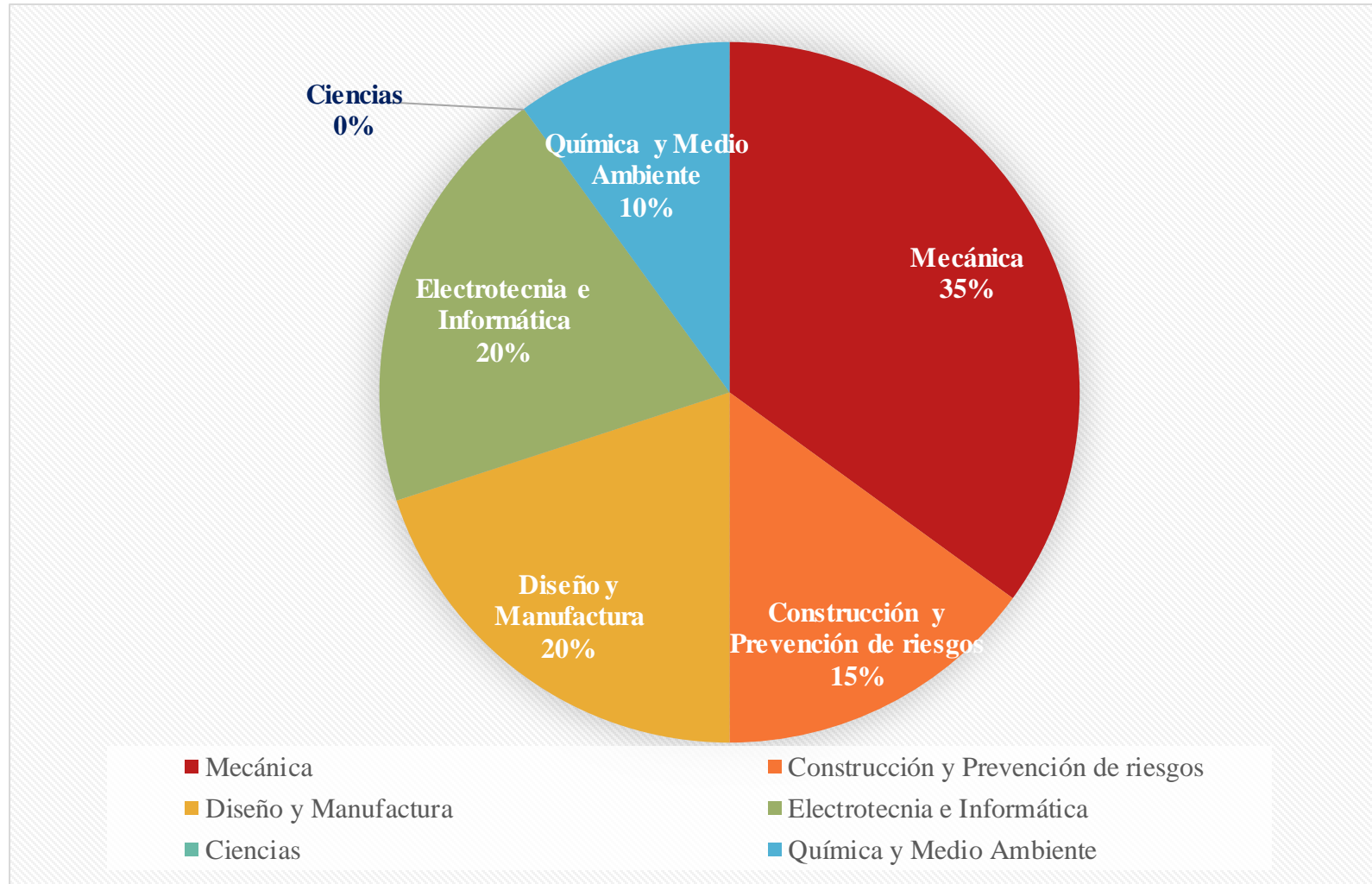
- El uso que se puede realizar en el panel es solo para aplicación de sistemas de control lazo abierto. Se requiere más instrumentación para retroalimentar a un sistema y poder automatizarlo en base a softwares enseñados en el establecimiento.
- Los sistemas de control en lazo cerrado han demostrado una serie de ventajas a nivel automatizado por sobre lazo abierto y aún no pueden ser representados en la Universidad de manera práctica.

REGISTRO DE POSIBLES ASIGNATURAS QUE HARÍAN USO DE LA PROPUESTA

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 y Quinto
T.U en Mecánica Industrial	Mecánica	Oleohidráulica Industrial	Tercero
T.U Mecánica Automotriz	Mecánica	Hidráulica y Neumática	Tercero

CARRERA	DEPARTAMENTO	ASIGNATURA	SEMESTRE
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



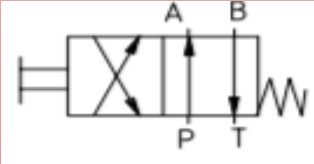

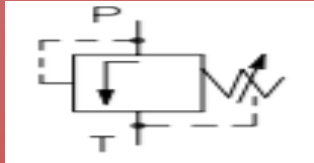
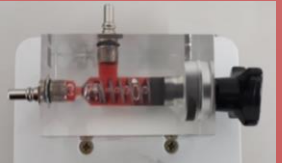
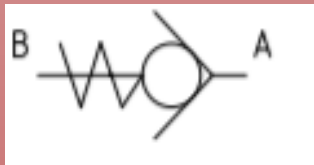

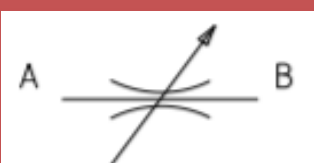

DOMINIO PORCENTUAL DE DEPARTAMENTOS EN BASE A LA CANTIDAD DE CARRERAS



CAPÍTULO II: COMPONENTES PARA EL BANCO DE HIDRÁULICA TRANSPARENTE

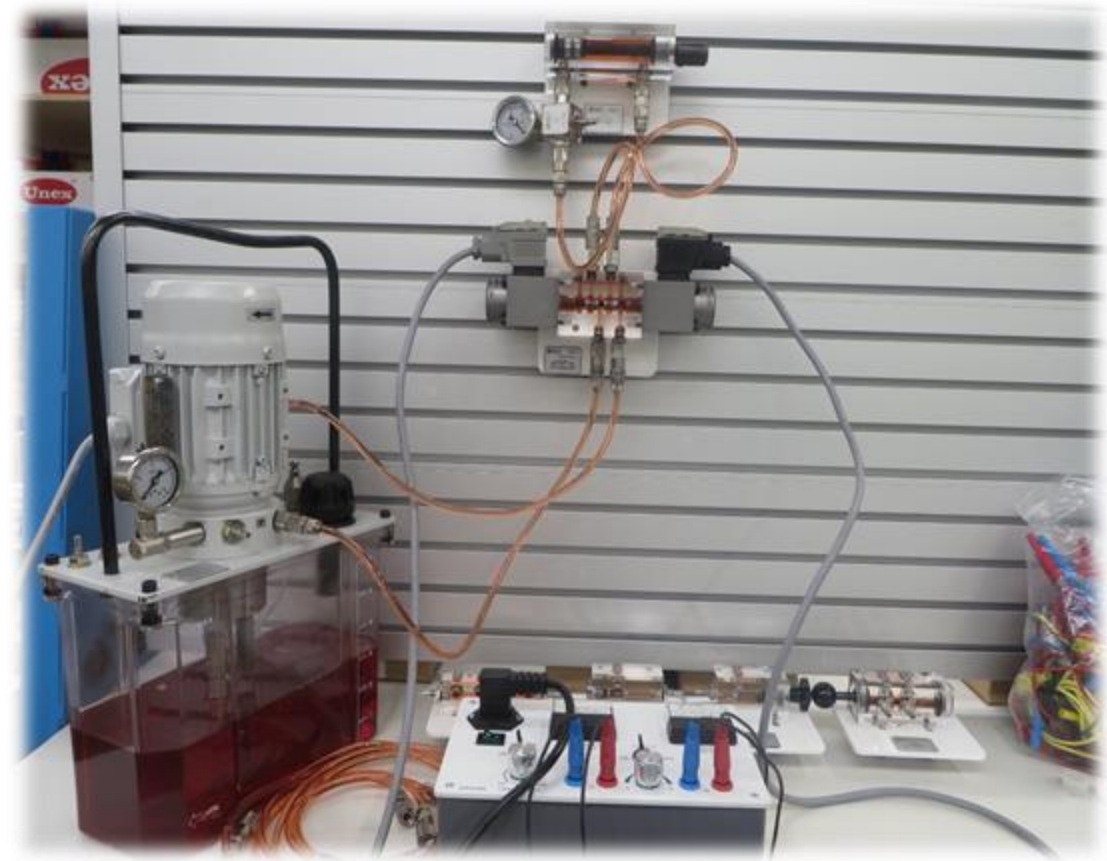
- Identificar los componentes del banco demostrativo que permiten montar sistemas de control en lazo abierto y los componentes hidráulicos para el control lazo cerrado especificando sus características técnicas.

ELEMENTOS EXISTENTES
EN EL BANCO DIDÁCTICO

ELEMENTOS DEL SEGUNDO CAJÓN	CÓDIGO SAI	SIMBOLOGÍA	FOTOGRAFÍA
Actuador cilíndrico doble	9412		
Válvula Distribuidora manual 4/2	9413		
Válvula limitadora de presión, mando directo a bola	9414		
válvula antirretorno	9415		
Válvula estranguladora de caudal ajustable manualmente	9416		

SIMULACIÓN EN HIDRÁULICA TRANSPARENTE

- Grupo hidráulico móvil de hidráulica transparente.
- Modulo de alimentación para 2 bobinas proporcionales.
- Electroválvula distribuidora proporcional 4/3.
- Actuador lineal cilíndrico doble efecto con un vástago.



Simulación Sistema de control lazo abierto en el panel Marzo 2019. Laboratorio de Oleohidráulica UTFSM-JMC. Fuente propia.

SISTEMA MONITOREADO CON CONTROLADOR PID COMO SOLUCIÓN



¿ Qué variables se pueden controlar mediante Controlador PID?

- Control de la variable analógica CAUDAL.
- Control de la variable analógica NIVEL.
- Control de la variable analógica TEMPERATURA.
- Control de la variable analógica PRESIÓN.

Lo ideal 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 se caracteriza por requerir mayor tiempo de medición en comparación a la presión, nivel y el caudal de un fluido en movimiento. Por otro lado, 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 respuesta inmediata.

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

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

PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN

- Monitorear de forma programable sistemas hidráulicos de actuador lineal y giratorio con variables de presión y caudal para generar actividades académicas de forma práctica y así simular los sistemas de control.
- Para ello, es necesario llevar a cabo un diagrama guía para la programación de un PLC, desarrollar pautas de trabajo para el alumnado y fundamentalmente, adquirir los componentes requeridos para el monitoreo de presión y caudal en los actuadores.

CAPÍTULO III: IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA Y SU EVALUACIÓN ECONÓMICA

- 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.

DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

Objetivo de la ejecución de la propuesta: Generar actividades académicas de índole práctico donde se simulen tres circuitos representativos de los distintos tipos de Sistemas de control donde se exponga:

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

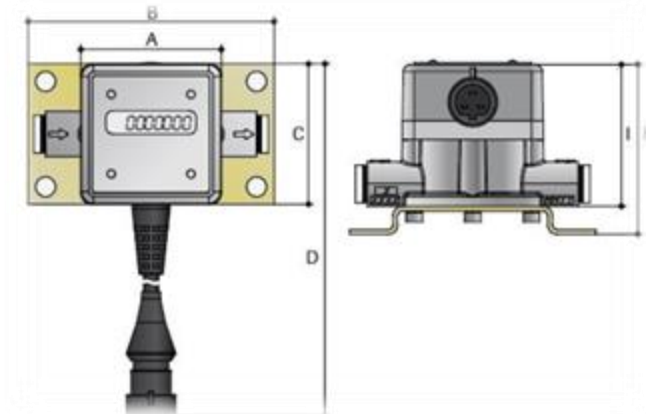
Objetivo de la actividad académica: Poder simular un sistema de control lazo cerrado por primera vez en el laboratorio y a su vez poder comparar el proceso con un sistema de control lazo abierto.

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.

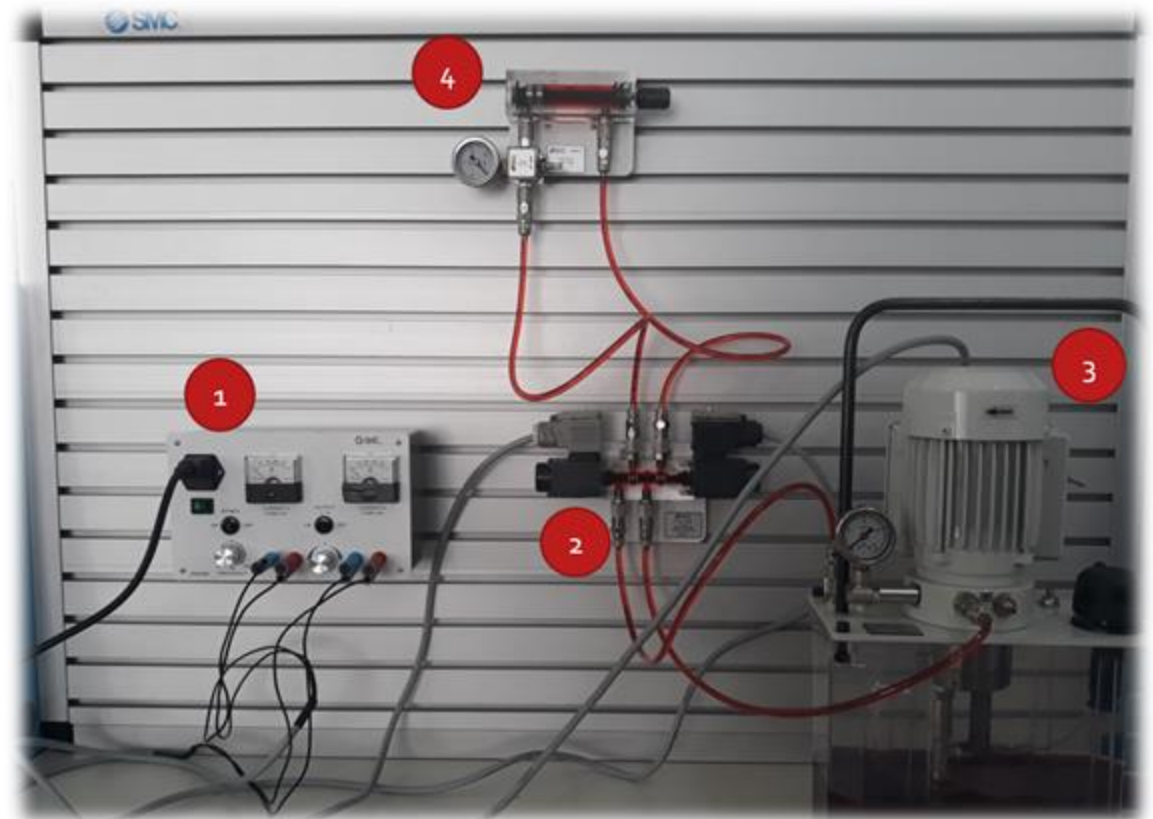
INSTRUMENTACIÓN ADICIONAL REQUERIDA

- Controlador Modular Simatic S7 1200
- Pantalla Simatic HMI Basic
- Cable Ethernet
- Sensor Digital de Presión
- Caudalímetro Digital



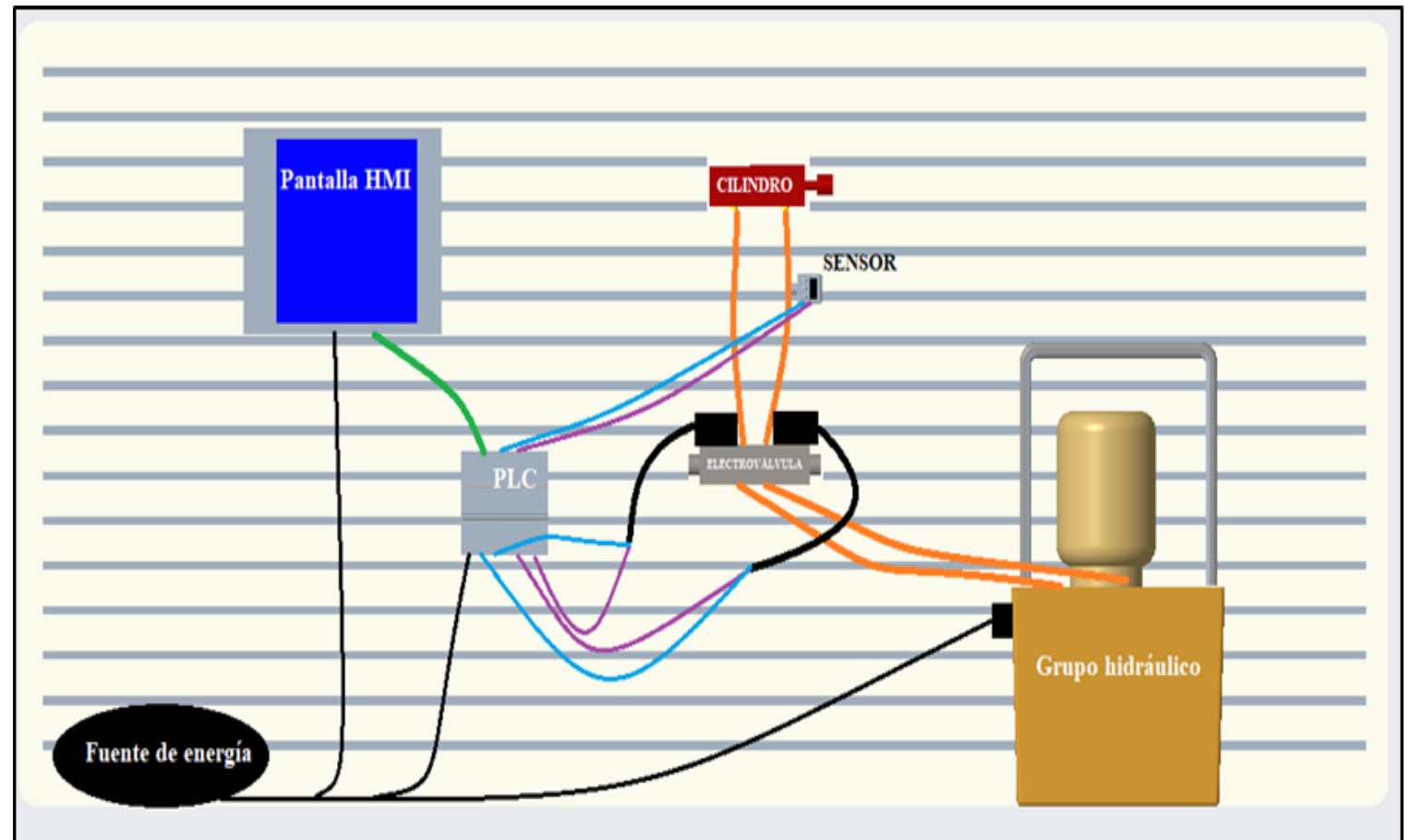
COMPONENTES DEL CIRCUITO DE CONTROL LAZO ABIERTO

1. Módulo alimentación bobina proporcional
2. Electroválvula 4/3 centro cerrado
3. Grupo hidráulico móvil
4. Cilindro doble efecto con conexión a manómetro



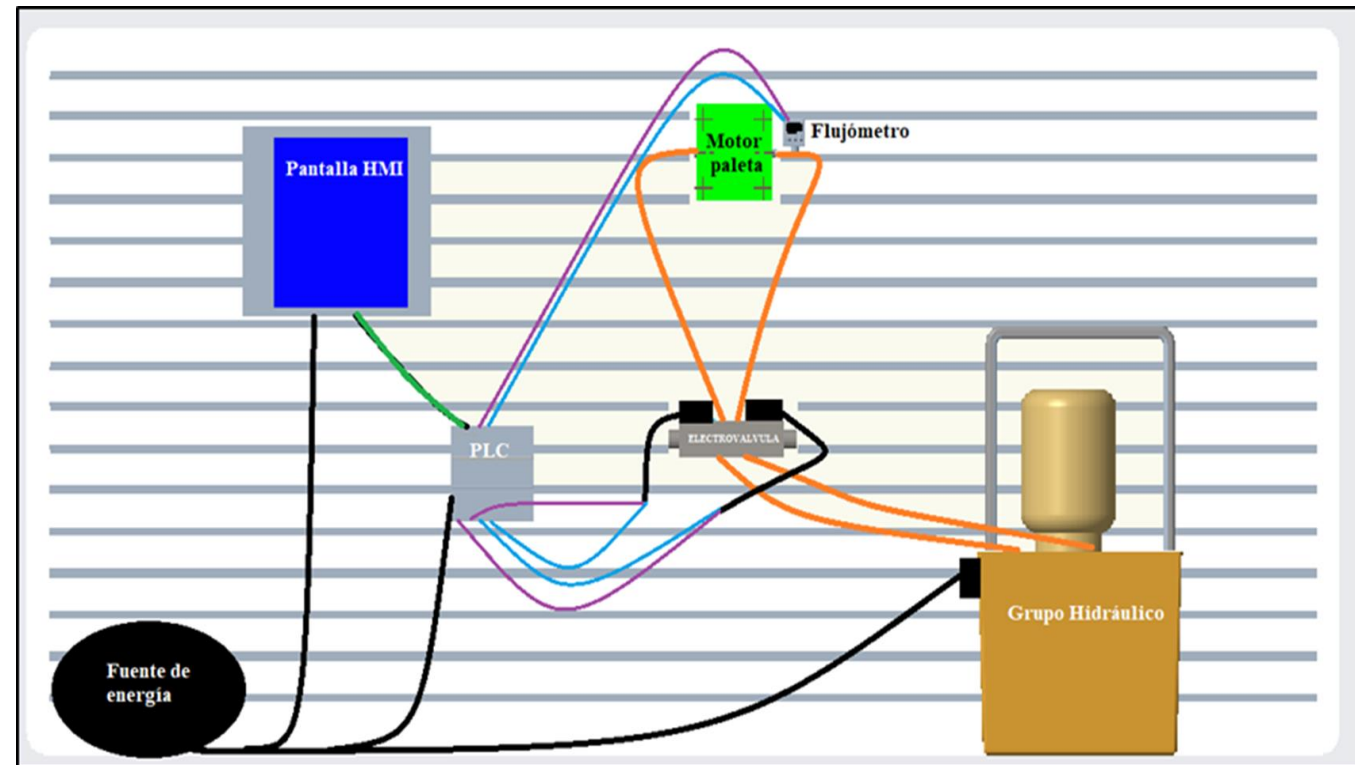
COMPONENTES CIRCUITO CONTROL LAZO CERRADO CON ACTUADOR LINEAL

- Electroválvula 4/3 centro cerrado
- Cilindro doble efecto
- Grupo hidráulico móvil hidráulica transparente
- PLC con Controlador PID
- Sensor de presión
- Pantalla HMI
- Cableado conexiones hidráulicas y eléctricas



COMPONENTES DEL CIRCUITO LAZO CERRADO ACTUADOR GIRATORIO

- Electroválvula 4/3 centro cerrado.
- Cableado conexiones hidráulicas y eléctricas
- Motor de paleta
- Grupo hidráulico móvil hidráulica transparente
- Pantalla HMI
- PLC / PID
- Flujómetro



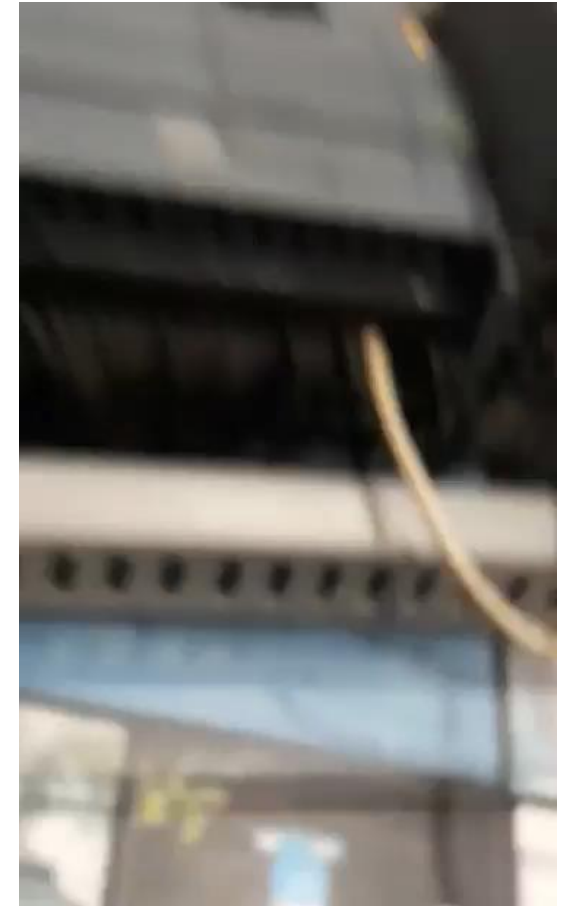
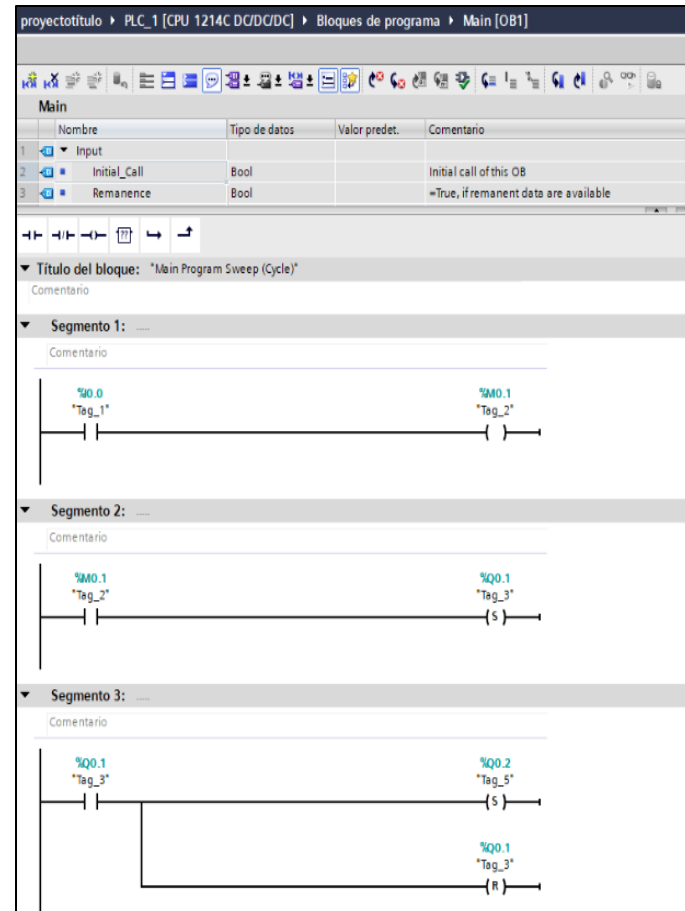


IMPLEMENTACION DEL PLC Y GENERACIÓN DE FICHAS TRABAJO

PROGRAMACIÓN PLC

Se debe

- Realizar un diagrama lógico simple así enviar señales para la ejecución mecánica.
- Establecer las condiciones iniciales de trabajo en cada input.
- Especificar los rangos de variable a controlar en el PID incorporado



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

- Módulo 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.

- 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 retroceso 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?



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 Tiaportal.



- 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.

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

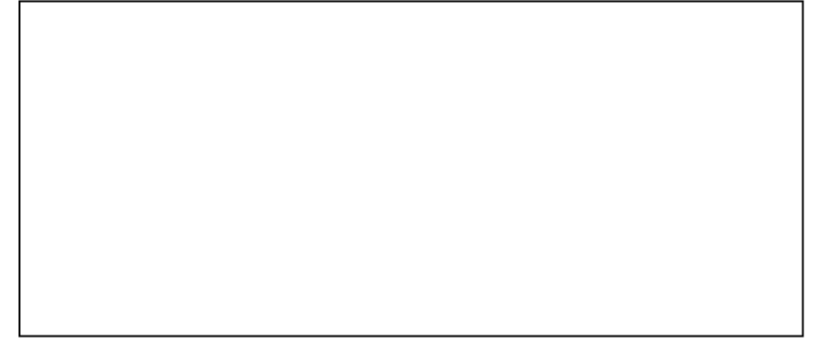
- Mantener el circuito 2 instalado para modificar.
- Quitar el sensor de presión y reemplazarlo por el flujómetro.
- Quitar el actuador lineal y reemplazarlo por el actuador giratorio.
- Configurar escala de ordenes en el PLC sin temporizador. Registrar datos y observar el comportamiento del controlador.

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.



- 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.

RESUMEN





VALORACIÓN DEL PROYECTO

COSTOS DE IMPLEMENTACION

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 Valparaíso. 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

BENEFICIOS CUALITATIVOS Y CUANTITATIVOS DEL PROYECTO

La propuesta se moldea como oportunidad para

- Experticia del alumnado
- Investigación Docente
- Mejoras o proyectos complementarios

Y desde un incremento económico se considera

- Aumento de alumnado
- Realización de cursos en el taller

ANÁLISIS DE COSTO Y BENEFICIO

- ✓ Posibilidad de la inversión
- ✓ Cuantificación del beneficio
- ✓ Relación B/C

¿Inversión a futuro?

Mediante la recopilación de datos por parte de Secretaría de Departamento y Portal oficial de la Universidad Técnica Federico Santa María, a condiciones ideales:

Ingreso semestral de un Departamento = Cantidad personas matriculadas x Costo semestral del arancel

$$\text{Ingreso Ingeniería} = 204 \times \$1.600.000 = \$326.400.000$$

$$\text{Ingreso Técnico Universitario} = 982 \times \$1.000.000 = \$982.000.000$$

$$\text{Ingreso total semestral del Departamento} = \$1.308.400.000$$

Si un 10% del ingreso de los departamentos se destinara como presupuesto de mantención o mejora a los talleres y laboratorios :

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

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

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

$$\$8.177.500 - \$1.432.372 = \$6.745.128$$

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

BENEFICIOS CUANTIFICATIVOS

PLAN 1:
Tabla estimativa del
excedente que alcanza un alza
en las matrículas al 1%

Carreras	Registro de Matrículas 100%	% aporte en ingreso de matriculados	Matrículas 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	

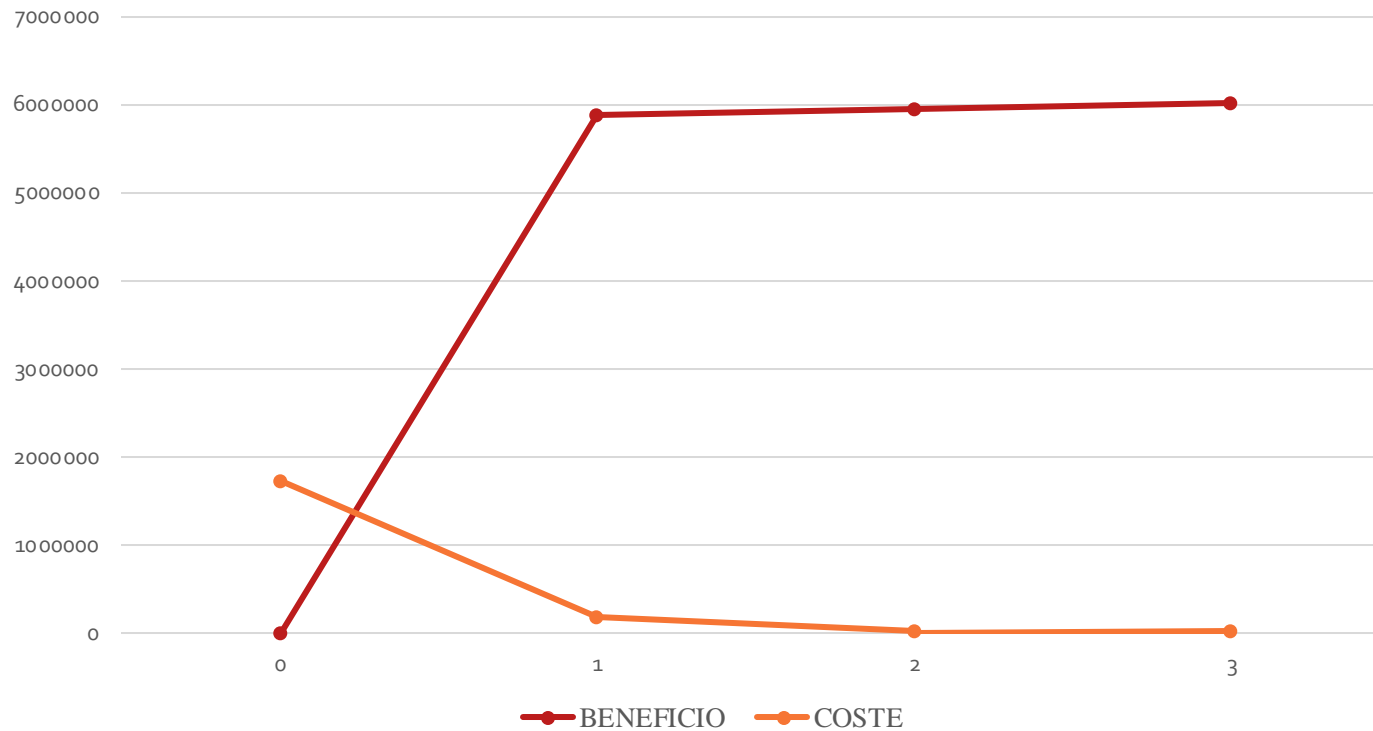
PLAN 2: CAPACITACIONES EN HIDRAULICA TRANSPARENTE

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

- Cursos duración de 24 Hrs
- Horario diurno y vespertino.
- Valor app \$200.000
- 15 asistentes máximos por curso.
- 2 Capacitaciones al semestre

Gastos operacionales incluyen; el consumo al taller, remuneración al relator y el material al alumnado.

Análisis Costo Beneficio



B/C 1° PLAN	1,2
B/C 2° PLAN	1,68
B/C AMBOS	2,88

- 1) Implementado el proyecto se espera un aumento mínimo de 1% de ingresados en la universidad miembros del departamento de Mecánica.
- 2) Implementando el proyecto se abre las puertas a un curso de Manejo y Capacitación en monitoreo programable a Sistemas hidráulicos.

CONCLUSIÓN

El trabajo permitió finalmente

- ✓ Identificar, interpretar y explicar los distintos elementos, equipos, funcionamiento y procesos de los sistemas de control comprendiendo la diferencia esencial de un sistema de control en lazo cerrado que es la detección y corrección de la salida del proceso.
- ✓ Seleccionar los elementos requeridos para un sistema de control en lazo cerrado
- ✓ Realizar fichas para el alumnado desarrollando los sistemas con algoritmos de control que ellos mismos serán capaces de realizar.
- ✓ Evaluar la rentabilidad del proyecto mediante análisis entre los costos y beneficios que presentó el proyecto.



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

“Propuesta de implementación de un Sistema de Control para banco didáctico de Hidráulica Transparente”

Universidad técnica Federico Santa María – José Miguel Carrera

TRABAJO DE TÍTULO PARA LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE
INGENIERO DE EJECUCIÓN EN MECÁNICA DE PROCESOS Y MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTORA ALISSON SKARLETTE COLMAN GODOY

PROFESOR GUÍA EDUARDO VIDAL PÁEZ