

Capítulo 2

RECONOCIMIENTO DEL LAZO TÍPICO DE REALIMENTACIÓN

 <https://doi.org/10.25100/peu.1416.cap2>

Objetivos y resultados de aprendizaje

Objetivo general

Emplear la terminología de los SAC, logrando representar lazos típicos de control a partir de la observación y el análisis de sistemas.

Objetivos específicos

- Emplear la terminología de los sistemas de control.
- Reconocer el lazo típico de realimentación.
- Distinguir un SAC análogo y uno discreto.

Resultados de aprendizaje

Al finalizar, el estudiante:

- Identifica los equipos y sus procesos, elementos y señales para representar lazos típicos de control a partir de la observación y el análisis de sistemas.
- Reconoce los controladores análogos y digitales para su análisis para establecer los conceptos y herramientas a usar en el análisis y diseño de los controladores.
- Representa SAC usando bloques y flechas para dibujar lazos típicos de control.
- Reconoce los diagramas de proceso de flujo (PFD) y los diagramas de tubería e instrumentación (P&ID) para extraer los lazos típicos de realimentación.
- Representa sistemas y procesos en diagramas de tubería e instrumentación (P&ID) para la automatización del sistema.

Marco teórico

Lazos típicos de control análogo y digital

Para representar en el dominio del tiempo las señales (variables) de entrada y salida, se utilizan las letras minúsculas $r(t)$, $e(t)$, $b(t)$, $a(t)$, $m(t)$, $c(t)$. Las letras mayúsculas se reservan para representar las señales (variables) y las funciones de transferencia en el dominio de la frecuencia, ya sea de la variable compleja “ s ” (por transformada de Laplace) o de la variable en tiempo discreto (dominio “ z ”).

En la Figura 2.1 –parte superior– se muestra el lazo de realimentación típico de un sistema controlado analógicamente, donde:

- $G_2(s)$: Planta o sistema controlado. Es el proceso o máquina de la cual se va a controlar una cantidad o una condición particular.
 - $G_c(s)$: Elementos de control, también llamados el compensador o regulador, son los componentes requeridos para generar la señal de control apropiada ($a(t)$) que se aplicará a la planta.
 - $H(s)$: Elementos de retroalimentación. Son componentes que se requieren para que el controlador pueda “conocer” el valor de la variable controlada a través de la señal de retroalimentación primaria $b(t)$; estos son: sensores, medidores y acondicionadores de señal.
 - $r(t)$: Entrada de referencia. Es una señal externa cuya finalidad es ordenar a la planta una acción especificada. También llamada “Set Point” o consigna; a menudo representa un comportamiento ideal de la salida de la planta.
 - $c(t)$: Salida o variable controlada, es una cantidad o condición de la planta que se controla, por ejemplo: la presión de un tanque, el nivel de un depósito.
- Nota:** en algunos textos se usa “ $y(t)$ ”.
- $b(t)$: Señal de retroalimentación primaria. Es una señal que es función de la salida controlada $c(t)$ y que se suma a la entrada de referencia $r(t)$ para obtener la respuesta impulsora $e(t)$.

- $e(t)$: Señal impulsora o señal de error. Es el resultado de restar la realimentación primaria $b(t)$ a la entrada de referencia $r(t)$. También llamada señal de error, es la diferencia entre el valor de referencia o deseado, y el obtenido de la variable controlada.
- $v(t)$: Señal actuante o señal de control. Es la que envía el controlador al actuador para que este ejecute la acción de control sobre el proceso.
- $m(t)$: Variable manipulada. Es la cantidad o condición que es modificada por el actuador sobre la planta de proceso.
- $d(t)$: Señal perturbadora o de disturbio. Es una señal de entrada indeseable que afecta el valor de la variable controlada.

Un servomecanismo es un buen ejemplo de sistema de control por retroalimentación con amplificación de potencia, en el que la variable controlada es la posición, velocidad o aceleración mecánica de un motor. Los servomecanismos se caracterizan porque su objetivo es el seguimiento de una señal de referencia cambiante en el tiempo. Son muy comunes en sistemas mecatrónicos, robóticos y en general para el control de movimiento (*motion control*).

Un regulador o sistema regulador es un sistema de control por retroalimentación en el cual la consigna es constante o fija durante largos periodos de tiempo. La aplicación típica de estos reguladores es en el

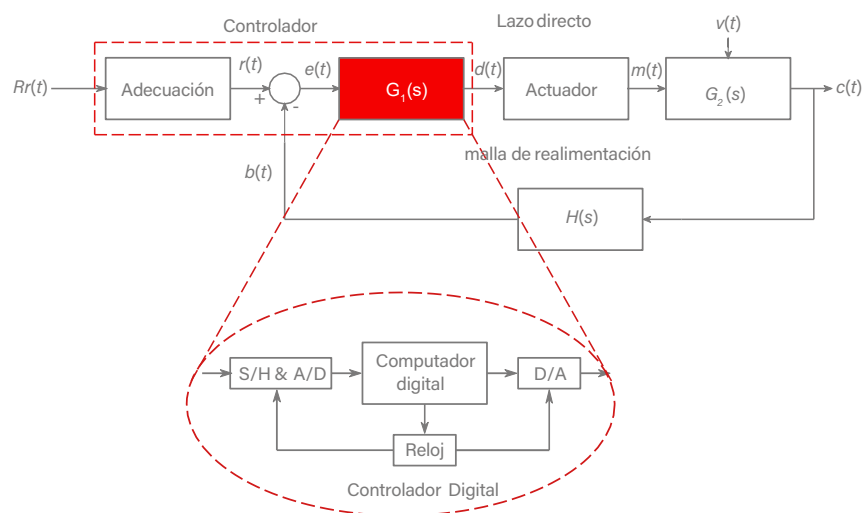


Figura 2.1: Lazo típico de realimentación.

control de procesos industriales; por ejemplo, las industrias papeleras, industrias petroquímicas, industrias de alimentos.

En la Figura 2.1 se muestra el lazo típico de realimentación de un sistema controlado digitalmente, extraído en el círculo de líneas punteadas. En este tipo de sistemas la señal de error es muestreada por un dispositivo que hace la conversión de la señal de analógica a digital, la entrega a un procesador que genera la señal de control adecuada y la envía hacia un convertidor digital a analógico. Es posible que esta señal de control deba ser adecuada antes de entregarla al actuador.

Diagramas de proceso de flujo y de tubería e instrumentación

En procesos productivos es normal tener diagramas de proceso de flujo (PFD) y diagramas de tubería e instrumentación (P&ID). El P&ID se conoce también como PEFS "Process engineering flow scheme", pero

es más empleado el término P&ID⁵; para ilustración ver la Figura 2.2.

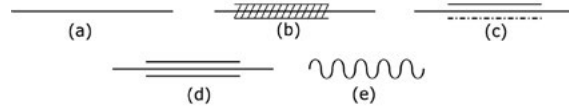


Figura 2.3: Símbolos usados para tuberías: (a) tubería, (b) tubería con aislamiento térmico, (c) tubería enchaquetada, (d) tubería calentada o enfriada, (e) tubería flexible.

El P&ID es la representación gráfica de la planta usando símbolos para indicar los equipos instalados. EL P&ID es la herramienta fundamental para los ingenieros de planta en todas las etapas, desde el diseño del proceso hasta su operación y mantenimiento, de ahí la importancia de que todo ingeniero se familiarice con este tipo de representación. El alcance de este texto no permite presentar en su totalidad los diagramas P&ID, pero se aclara que para su adecuado entendimiento es necesario primero familiarizarse con los diagramas PFD.

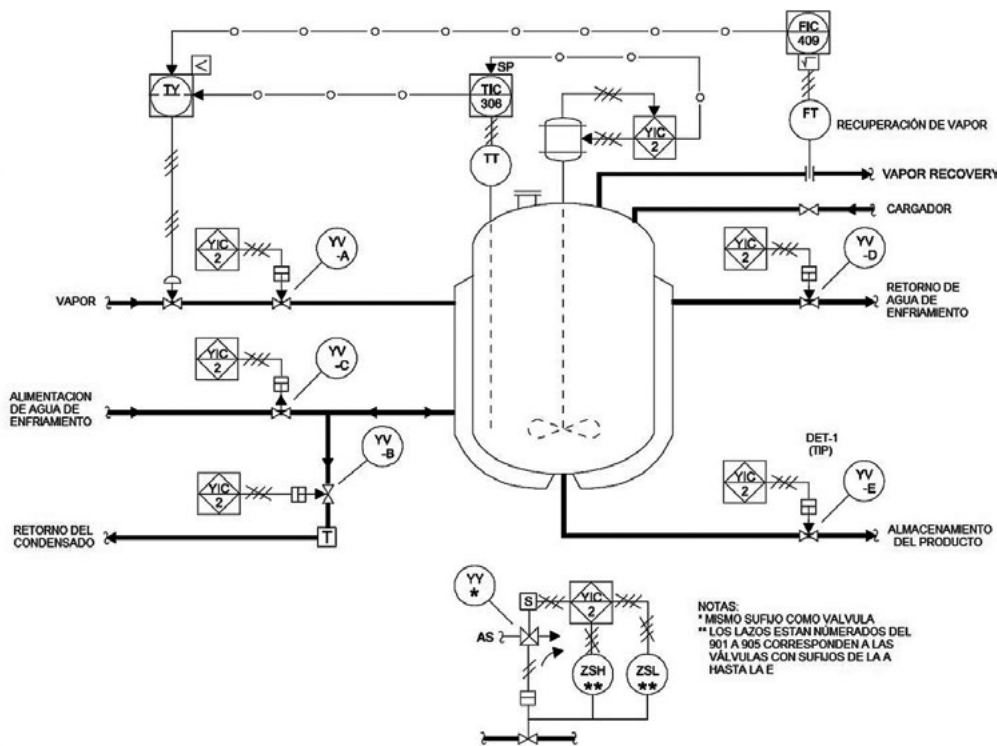


Figura 2.2: Diagrama de instrumentación y tuberías P&ID para un biorreactor típico. Fuente: adaptada de American National Standar (2009).

⁵ Para entender mejor la diferencia entre los distintos diagramas se recomienda ver el video "How to read process flow diagram", en el canal de Youtube Wondershare (26 de noviembre de 2021).

Los diagramas PFD y P&ID no son diagramas a escala de la planta, se emplean símbolos, acompañados con letras y números para especificar e identificar los componentes y las señales que están involucradas en el proceso. Por ejemplo, en la Figura 2.2 se puede observar claramente en el centro el símbolo empleado para el biorreactor, igualmente y solo para mejor comprensión del lector se trazaron las líneas de tubería ("pipe") como líneas más oscuras y gruesas (Figura 2.3). En diagramas PFD se tienen símbolos para representar: Bombas (P: "Pump"), Tanque abierto (T: "Atmospheric Tank"), Tanque a presión (PV: "Pressure Vessel"), Columna (C: "Column"), Intercambiador de calor (HE: "Heat Exchanger"), Agitador (S: "Stirrer"), Hornos (F: "Furnace or Fired Heater"), Compresor (K: "Compressor").

Para las líneas de proceso se tienen diferentes representaciones dependiendo de su función; así, por ejemplo, en la Figura 2.3 se muestran diferentes tipos de tubería como la rígida (a) y la flexible (e).

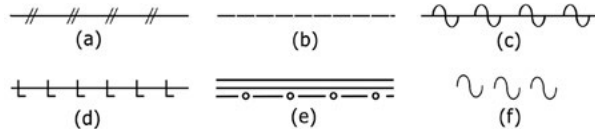


Figura 2.4: Símbolos usados para las líneas de señal: (a) neumáticas, (b) eléctricas o electrónicas, (c) guía electromagnética, sónica o fibra óptica, (d) hidráulicas, (e) de datos (comunicación), (f) inalámbricas.

Para las líneas de señal se usan modificaciones dependiendo de la naturaleza de la variable, como se ilustra en la Figura 2.4.

Para las válvulas se tienen diferentes representaciones en función del diseño y aplicación, como se muestra en la Figura 2.5.

Los diagramas de presión, instrumentación y tubería de un proceso se realizan siguiendo la norma ISA S5.1, la cual tiene como propósito establecer un medio uniforme o estandarizado para la representación gráfica y la identificación de instrumentos o dispositivos, sus funciones inherentes, los sistemas y funciones de instrumentación, las funciones de aplicación de *software utilizados* para medición, monitoreo y control. Esto se logra mediante la presentación de un sistema de designación que incluye la identificación de esquemas y símbolos gráficos (ANSI/ISA, 2009) –en este trabajo se usó la versión 2009–. Las reglas para la lectura y construcción del diagrama P&ID, siguiendo las recomendaciones de la norma ISA S5.1, se presentan en el Anexo II.

Materiales y equipos

En la Tabla 2.1 se listan los elementos necesarios para adelantar la experimentación.

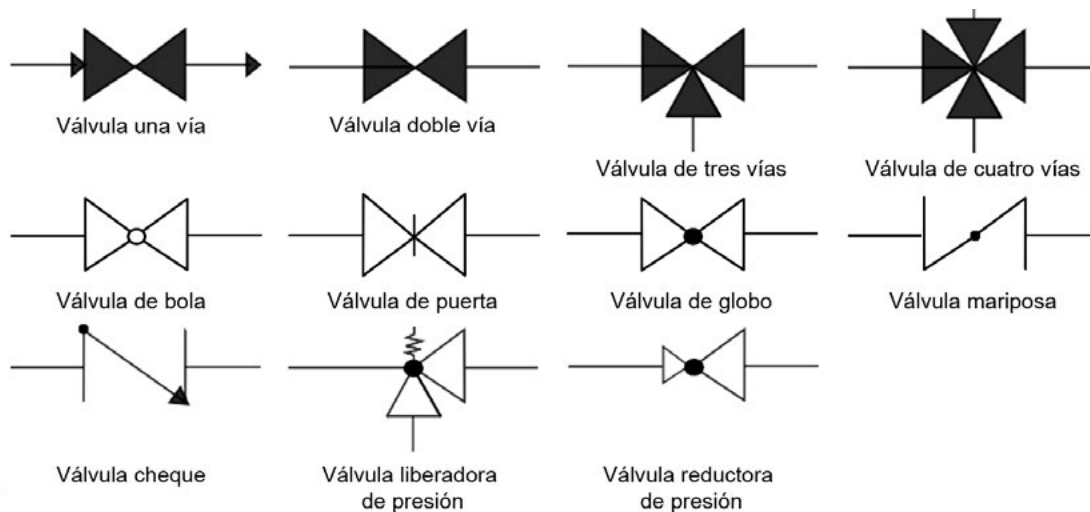


Figura 2.5: Algunos símbolos usados para las válvulas.
Fuente: adaptada de American National Standard (2009).

Tabla 2.1: Materiales y equipos.

Equipos			
Cantidad	Nombre	Marca/ modelo	Especificaciones
1	PC	Intel/ AMD	Procesador: para trabajar con MATLAB® local: Intel I5 o Ryzen 5, para MATLAB® online: Intel I3 o Ryzen 3. Memoria RAM: 8 GB. Espacio en disco duro: 20 GB.
Software			
1	Software	MATLAB®	Versión 2019 o superior.
1	Software	LabVIEW®	Versión 2020 o superior.

Procedimiento

Demostración

1. La primera parte de la práctica será demostrativa. Posteriormente los estudiantes pasarán a reconocer los elementos constitutivos, los tipos de señales y el lazo típico en la planta de proceso asignada a su grupo.

Nota 1. En caso de no disponer de ingreso al laboratorio, el profesor puede usar casos de la vida cotidiana. ▲

Identificación de la bucla típica

2. El profesor asignará a cada grupo un proceso o sistema. El grupo de estudiantes deberá reconocer los componentes, los tipos de señales y los lazos típicos que pueda encontrar en la planta de proceso.

3. El profesor asignará a cada grupo un proceso o sistema. El grupo deberá identificar los componentes, las señales y los lazos típicos de la planta de proceso asignada a su grupo. Luego, deberá investigar los elementos básicos de los lazos de control. Finalmente, deberá realizar el diagrama de P&ID siguiendo los lineamientos de la norma ANSI/ISA-S5.1.

Nota 2. Deberán documentarse adecuadamente sobre el funcionamiento del equipo asignado, la naturaleza de las señales que maneja, las precauciones y normas de seguridad para operarlo, pues este queda durante la estancia en el laboratorio bajo su responsabilidad. ▲

Informe

Para esta práctica, parte de la evaluación se hará oralmente durante el desarrollo de la misma; al final de la práctica cada grupo debe entregar por escrito el informe (o reporte) de forma estructurada, organizada y profesional. Puede usar la estructura sugerida en el Anexo II.