

The background features a decorative graphic consisting of three overlapping green circles of varying sizes, arranged in a diagonal line from the top right towards the bottom right. Two thin green lines intersect at the top left, forming a large angle that encompasses the circles. The text is centered on the left side of the page.

CAPÍTULO

3

**“ Conceptos y esquemas
de control”**

Conceptos y esquemas de control

En este capítulo se presentan los diferentes esquemas de control aplicados a la planta piloto. Para ello se describe primero el diagrama de bloques general de un sistema de control y los conceptos fundamentales asociados.

De manera específica se presentan las siguientes acciones de control de nivel:

- ⊕ ON-OFF (para el tanque cerrado FA-02).
- ⊕ Proporcional, Integral y derivativo (para el tanque abierto FA-01).
- ⊕ Cascada (para el tanque abierto FA-01).

Posteriormente, se describen diversos esquemas de control de flujo.

- ⊕ Proporcional, Integral y derivativo (para la rama dos).
- ⊕ Relación (para la rama uno y rama dos)

El control de flujo y nivel de un líquido en tanques y tuberías son problemas básicos en la mayoría de los procesos industriales. Es por esta razón que a continuación se presentan diversos esquemas de control que ayudan a evitar dichos problemas. Para facilitar la explicación de cada esquema de control se recurre a los diagramas de bloques. En la ilustración 1 se presenta el diagrama de bloques de un sistema de control retroalimentado. Cada bloque representa una parte del proceso de control, que a continuación es explicada.

El bloque llamado PLANTA representa el proceso del sistema, tanques y tuberías cuyo nivel y flujo son precisamente las variables del proceso que se desean controlar.

El TRANSMISOR envía al controlador la magnitud de la variable del proceso a controlar.

El CONTROLADOR es el dispositivo que recibe datos de los transmisores de presión y los sensores de nivel, compara dichos valores con el de referencia y envía al actuador una señal de control correctiva.

El ACTUADOR recibe una orden del controlador, es la parte final del dispositivo de control que produce un cambio físico en el elemento final de control y en función de éste manipula una variable del proceso.

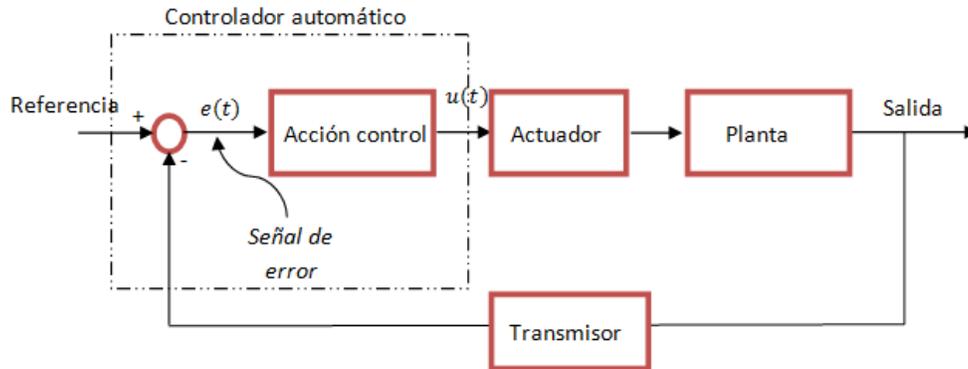


Ilustración 18. Diagrama de bloques

3.1 Acciones de Control

CONTROL ON/OFF

En un esquema de control ON/OFF el actuador tiene únicamente dos estados definidos, generalmente, encendido y apagado. En la planta, este esquema de control se aplica para controlar el nivel del tanque cerrado FA-02. Cuando dicho tanque está lleno de agua, la bomba BA-02 debe encenderse y se apagará hasta que el tanque FA-02 quede vacío.

El estado de la bomba BA-02, en este caso el actuador, se define de la siguiente manera:

$$BA - 02 = \begin{cases} 1 & HL = 1 \text{ ó } LL = 1 \\ 0 & HL = 0 \end{cases}$$

Donde HL es el indicador del nivel superior del tanque FA-02. El gabinete de la planta industrial tiene dos indicadores de nivel, el nivel alto HL y el nivel bajo LL . Si el tanque FA-02 está vacío los dos indicadores se encuentran apagados. Cuando el tanque tiene agua en su interior pero no está lleno, el indicador de nivel bajo LL se enciende y el indicador HL se mantiene apagado. Si el tanque se llena de agua, el indicador de nivel alto HL se enciende y el indicador LL se apaga, ambos indicadores permanecen en ese estado hasta que el tanque se vacía.

Por ésta razón la bomba BA-02 se enciende y apaga de acuerdo al indicador HL o bien puede ser encendida si el nivel LL esta prendido.

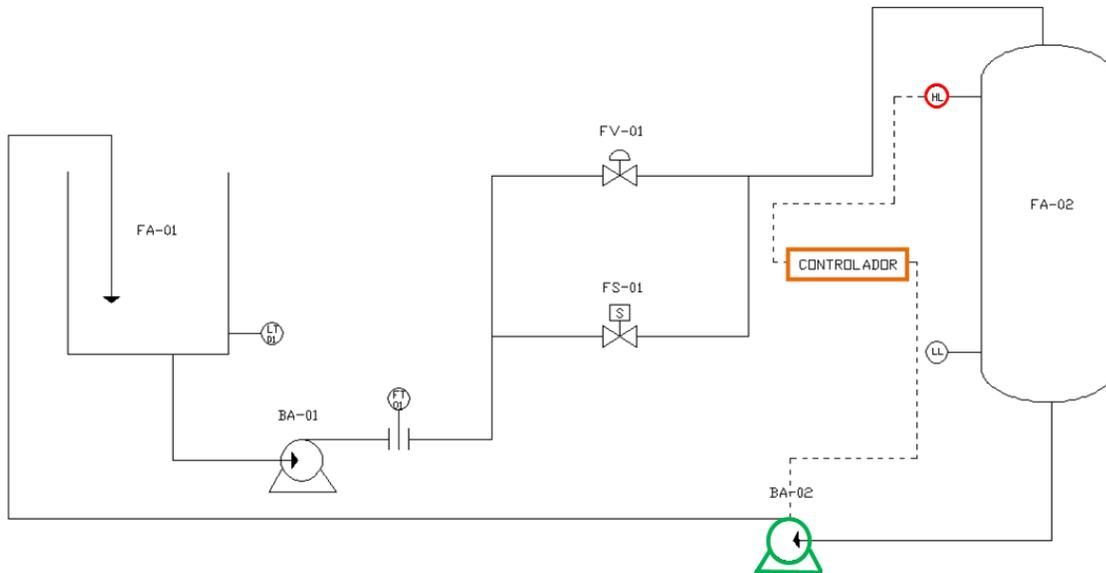


Ilustración 19. Control ON-OFF del tanque FA-02

El esquema de control ON/OFF también puede ser implementado en el tanque FA-01. Se deben establecer dos límites de nivel, uno alto y otro bajo. En función de ellos se determina el encendido y apagado de la bomba BA-01.

CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO

ACCIÓN DE CONTROL PROPORCIONAL

La acción de control proporcional es el producto de la señal de error y la constante proporcional para hacer que el error en estado estacionario sea casi nulo. La relación entre la salida del controlador $u(t)$ y la señal de error $e(t)$, es

$$u(t) = K_p e(t)$$

O bien, aplicando la transformada de Laplace:

$$U(s) = K_p E(s)$$

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p$$

Donde K_p es la ganancia proporcional. El controlador de acción proporcional es prácticamente un amplificador con ganancia ajustable. Con un controlador proporcional el error en estado estacionario nunca sería cero, debido a que la acción de control depende de la existencia de dicha señal.

ACCIÓN DE CONTROL INTEGRAL

La acción de control integral tiene como propósito eliminar el error en estado estacionario que se presenta con el control proporcional. En un control integral la razón de cambio de la salida del controlador $u(t)$ varía de manera proporcional a la señal de error $e(t)$. Es decir:

$$\frac{du(t)}{dt} = K_i e(t)$$

O bien, la salida del controlador es proporcional a la integral del error

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t) dt$$

Donde K_i es una constante ajustable y la función de transferencia del controlador integral es:

$$\begin{aligned} U(s)s &= K_i E(s) \\ \frac{U(s)}{E(s)} &= \frac{K_i}{s} \end{aligned}$$

ACCIÓN DE CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL

La respuesta del control integral es sumada con la respuesta del control proporcional con el propósito de obtener una respuesta estable del sistema sin error estacionario. Un controlador con acción proporcional integral corresponde a una combinación de ambas acciones y se define con la siguiente ecuación:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

Y la función de transferencia del controlador es

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

Donde K_p es la ganancia proporcional y T_i es el tiempo integral. Ambos valores son ajustables. El tiempo integral regula la acción de control integral y la ganancia proporcional afecta tanto a la parte integral como a la proporcional. La ganancia K_i es la ganancia proporcional dividida entre el tiempo integral.

$$K_i = \frac{K_p}{T_i}$$

ACCIÓN DE CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO

La acción de control derivativa se presenta cuando el valor de salida del controlador es proporcional a la razón de cambio de la señal de error. El tiempo derivativo T_d es el intervalo de tiempo en el que la acción derivativa se adelanta al efecto de la acción proporcional. La acción derivativa tiene la ventaja de anticiparse a la señal de error pero amplifica las señales de ruido y produce un efecto de saturación en el actuador. No es aconsejable

usar la acción de control derivativo de manera individual porque sólo es efectivo durante los periodos transitorios.

La combinación proporcional-integral-derivativo tiene las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales. La ecuación de un control con esta acción de control es

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Y la función de transferencia es

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

Donde K_p es la ganancia proporcional, T_i es el tiempo integral y T_d es el tiempo derivativo.

CONTROL DE FLUJO PID

El control de flujo se lleva a cabo en la rama de recirculación de la planta para mantener un flujo constante pese a perturbaciones. El usuario determina un flujo de circulación en la tubería, si se presenta un aumento o disminución de fluido el controlador ejercerá su acción sobre la válvula proporcional FV-02 para corregir el error.

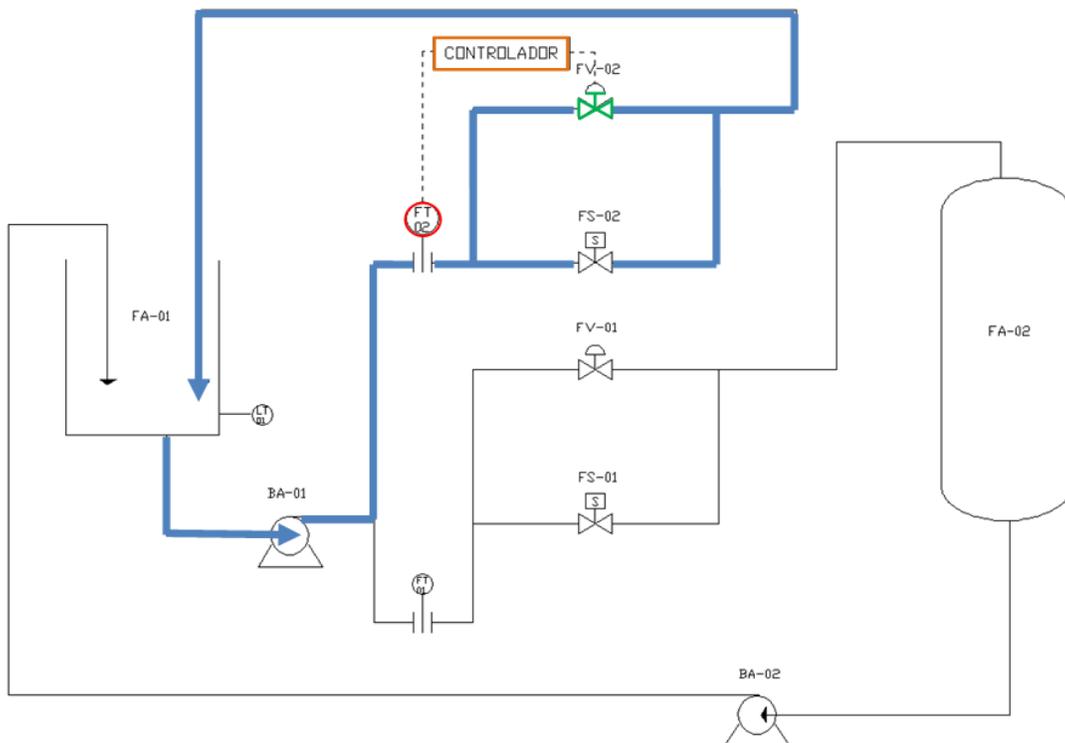


Ilustración 20. Control de flujo

El flujo circulante en la rama dos es monitoreado por el transmisor FT-02 y bajo este esquema la variación en la apertura de la válvula FV-01 provoca perturbaciones en el flujo de la rama 2.

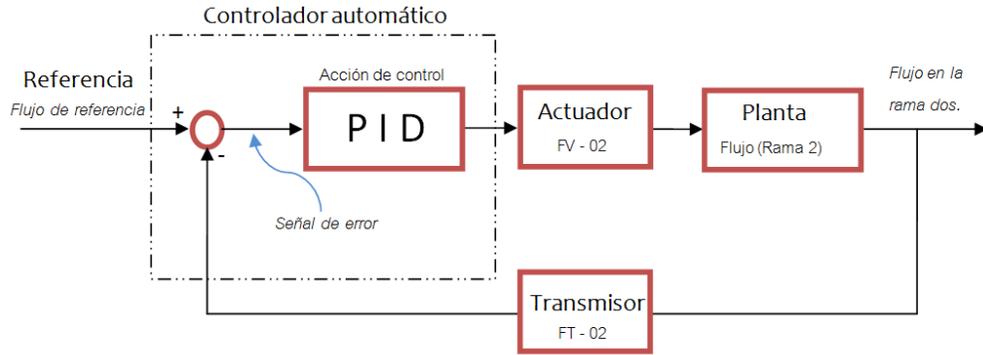


Ilustración 21. Control de flujo

El control de flujo también se puede aplicar en la rama 1, el transmisor usado sería el FT-01 y el actuador la válvula FV-01.

CONTROL DE NIVEL PID DE LA PLANTA

Para controlar el nivel del tanque FA-01 se usa la acción de un controlador proporcional integral derivativo. En la ilustración 5 se muestra su diagrama esquemático. El controlador recibe la señal del Transmisor de Nivel LT-01 y emite una acción de control sobre la válvula FV-02.

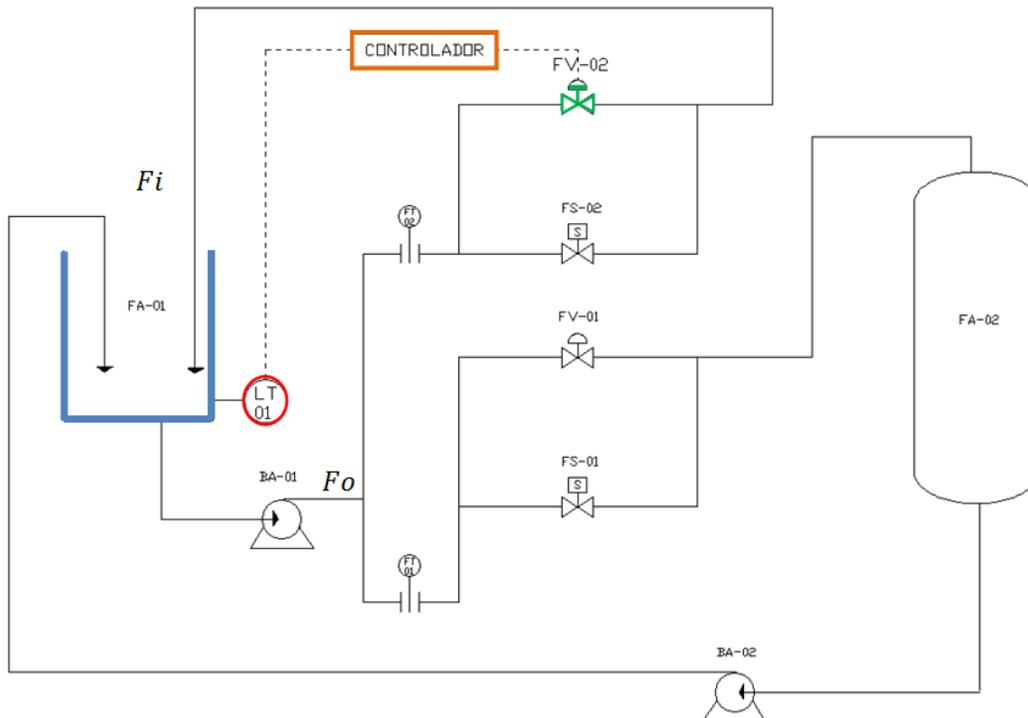


Ilustración 22. Control de nivel del tanque FA-01

La bomba BA-01 hace que el flujo de salida (F_o) al tanque FA-01 sea constante. El flujo de entrada (F_i) del tanque FA-01 también es constante, sin embargo puede ser controlado por la válvula proporcional FV-02.

En la ilustración 6 se muestra el diagrama de bloques del control de la planta. El usuario establece un nivel de referencia para el tanque FA-01. El nivel real del tanque es medido por el transmisor LT-01 y comparado con el nivel de referencia. La señal producida por la diferencia entre esas dos señales de nivel es la señal de error que posteriormente se traduce en la acción de control. La señal producida por el controlador automático es enviada a la válvula FV-02. Se produce un cambio en el flujo de entrada F_i del tanque FA-01 y por lo tanto se presenta un cambio de nivel.

El flujo de entrada varía respecto a la señal de error. Si el nivel de referencia es mayor al nivel real del tanque, la válvula debe abrirse para hacer que F_i sea mayor que F_o , de esta manera se logra un aumento en el nivel del tanque. Una vez que el nivel real es igual al nivel de referencia, el flujo de entrada se debe igualar al flujo de salida para mantener constante el nivel del tanque.

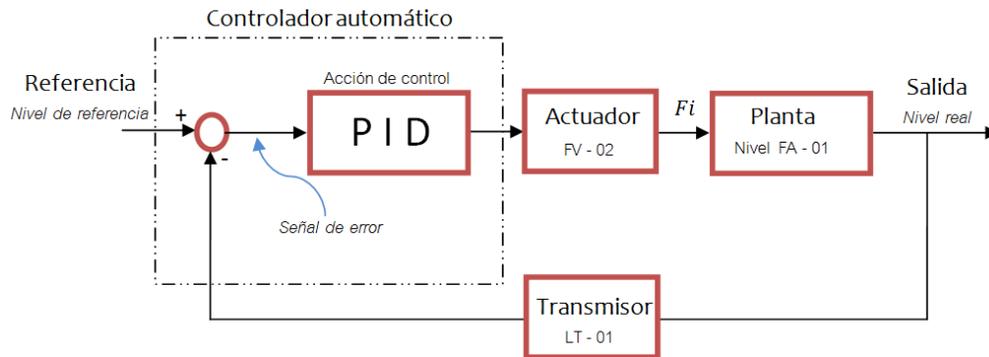


Ilustración 23. Diagrama de bloques del control de nivel

El esquema de control de nivel PID también se podría aplicar al tanque cerrado FA-02 con la ayuda de un transmisor de nivel. El flujo controlable sería el flujo de entrada del tanque ya que su flujo de salida no se puede modificar.

3.2 Lazos compuestos de control

CONTROL EN CASCADA

El control en cascada es una estructura de control utilizada para disminuir el efecto de perturbaciones. Consiste en realimentar variables intermedias entre el punto donde entra una perturbación y la salida del proceso. Este esquema se compone de dos lazos como se muestra en la ilustración 8.

Un lazo primario que incluye el controlador maestro (controlador 1), y un lazo secundario con un controlador esclavo (controlador 2). La salida del controlador maestro es la señal de referencia para el controlador esclavo. La variable del proceso esclavo es una variable intermedia del proceso maestro y es usada para tener un control más eficiente.

En este tipo de estructura el proceso es dividido en dos partes por lo se usan dos controladores, sin embargo, solo una variable del proceso es manipulada. Las perturbaciones que afectan la variable secundaria pueden ser

corregidas por el controlador secundario antes de que su efecto se vea reflejado en la variable primaria. En la planta, este tipo de control se usa para controlar el nivel del tanque FA-01.

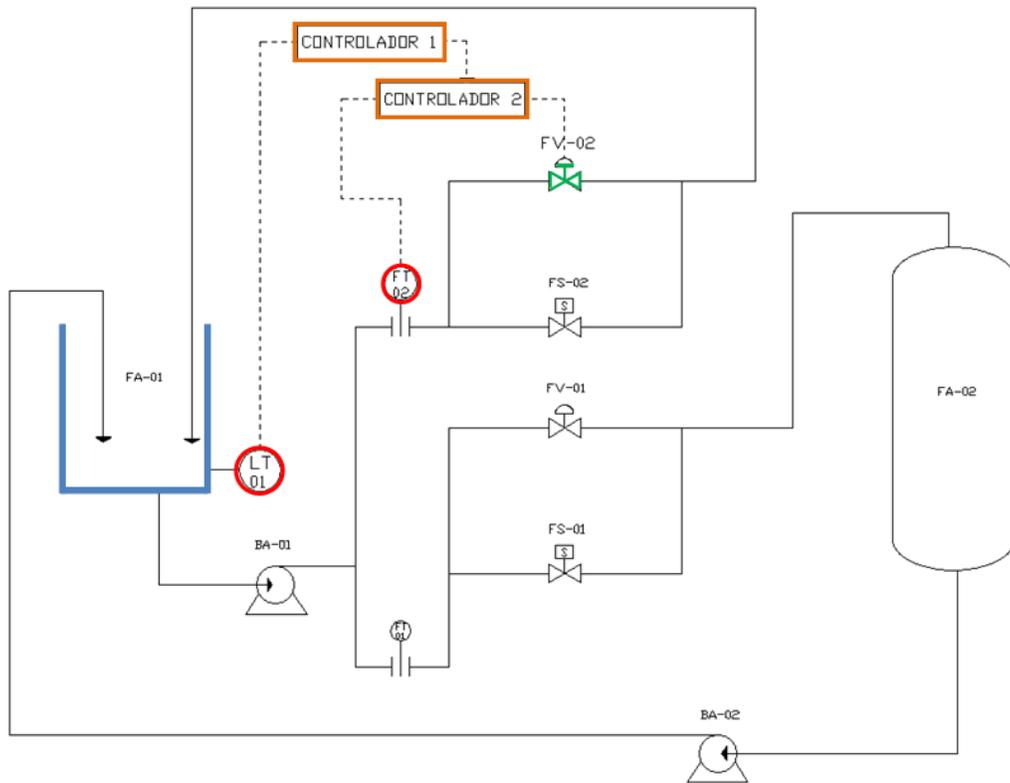


Ilustración 24. Control en cascada

El controlador maestro se encarga de comparar el nivel de referencia del tanque con su nivel real y determina un flujo de salida. El controlador secundario compara el flujo real con el flujo calculado por el controlador maestro y ejerce una acción de control sobre la válvula proporcional FV-02. De esta manera, al presentarse una perturbación en el flujo de entrada, el controlador esclavo es capaz de reducir el efecto de esta en el nivel del tanque.

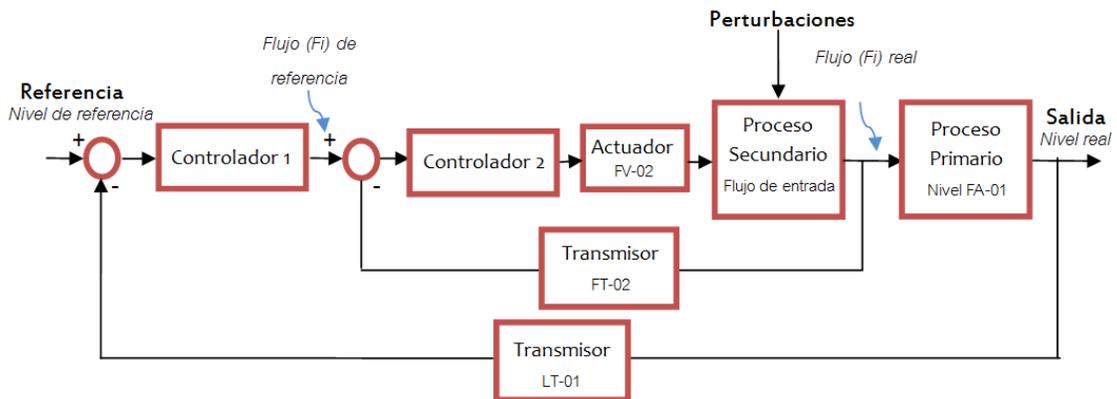


Ilustración 25. Diagrama de bloques del control en cascada

CONTROL DE RELACIÓN DE FLUJO

Su objetivo es mantener una relación entre dos o más variables. En la planta se busca guardar una relación definida entre el flujo de la rama UNO medido por FT-01 y el flujo de la rama DOS medido por FT-02. El factor de relación es simplemente un multiplicador con un factor de operación seleccionado según las necesidades del proceso o bien por el usuario. Se usa el flujo de relación en la rama uno y rama dos porque los flujos en dichas ramas son medibles.

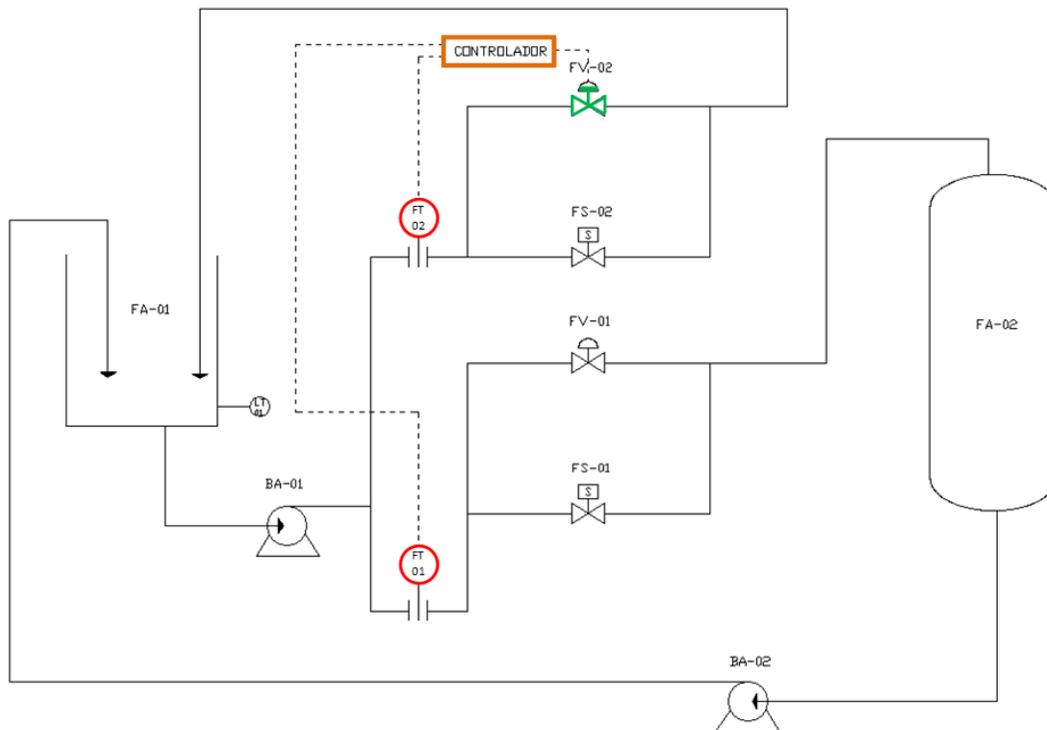


Ilustración 26. Control de relación

El flujo que circula por la rama UNO es medido por el transmisor FT-01, la señal obtenida es multiplicada por un factor de relación, el producto es el flujo de referencia para la rama DOS. El flujo de referencia es comparado con el flujo real de la rama DOS medido por el transmisor FT-02. La señal de error es procesada por una acción de control y genera una acción sobre la válvula FV-02.

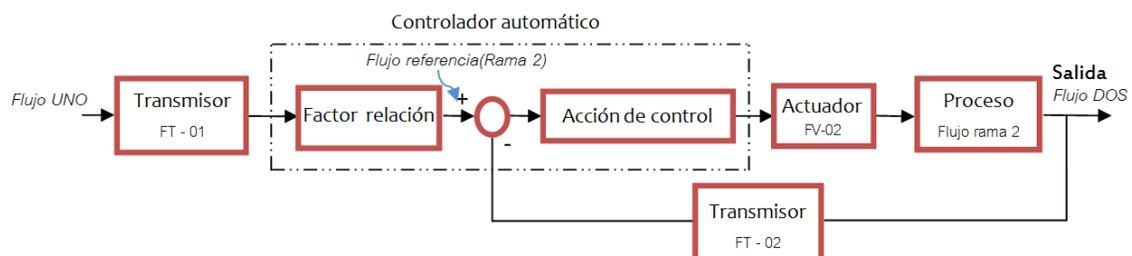


Ilustración 27. Diagrama de bloques del control de relación