

# 1 Otros Esquemas de Control

El esquema de control en retroalimentación simple como el mostrado en la Fig. 1.1 es el más utilizado para lograr que las variables de un proceso tengan un comportamiento en particular, pero existen ciertos casos que pueden ser mejorados con el uso de diferentes tipos de esquemas de control que atiendan sus necesidades específicas.

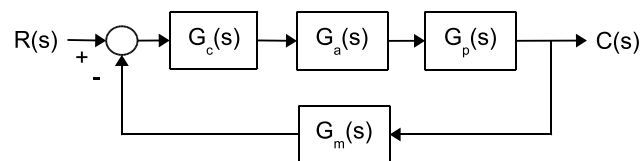


Figura 1.1: Esquema de Control en Retroalimentación Simple

En el esquema en retroalimentación simple la variable controlada es siempre medida y comparada con una referencia para determinar el error, según el cual se tomará la acción de control correspondiente. Una vez que el sistema de control se encuentra en equilibrio, la acción de control solamente ocurrirá si la variable a controlar no cumple con las restricciones impuestas, lo cual hace que el retorno al equilibrio sea más lento en comparación con otros tipos de esquema.

En este capítulo se estudiarán los esquemas o estructuras de control más comunes y se mostrarán diferentes ejemplos de procesos reales. Entre otros, los esquemas de control a estudiar serán los que se mencionan a continuación:

- Esquema de control en cascada
- Esquema de control de alimentación adelantada
- Esquema de control de relación
- Override
- Control Selectivo
- Rango Partido

## 1.1. Esquema de Control en Cascada

Para un sistema de control como el que se muestra en la Fig. 1.2 la temperatura a la salida del horno ( $T_s$ ) es controlada manipulando el flujo de gas en los quemadores, para lo cual se utiliza un lazo de retroalimentación simple. Dicho esquema no es sensible a perturbaciones tales como, variaciones en el flujo de gas, en la temperatura o en el flujo de entrada, las cuales pudiesen modificar el valor de la variable controlada.

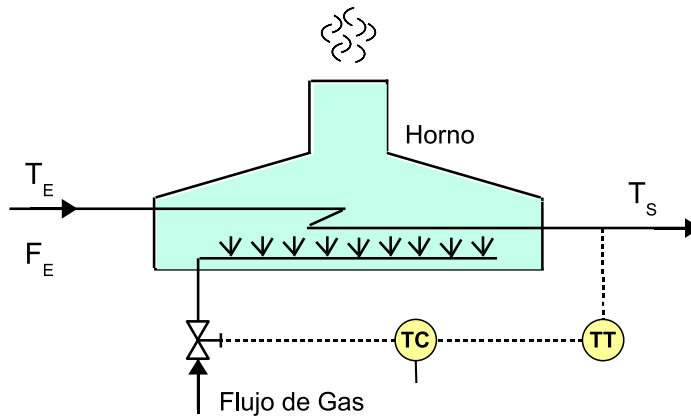


Figura 1.2: Control del Horno (Retroalimentación Simple)

Un esquema de control en cascada tiene como objetivo fundamental minimizar el efecto de perturbaciones que pertenezcan al lazo de retroalimentación simple tratando de anticiparse a la variación de la variable a controlar. Como puede observarse en la Fig. 1.2, si la temperatura  $T_s$  se encuentra en su valor de referencia y ocurriese una variación en el flujo de la línea de gas, el esquema de control en retroalimentación simple no tomará ninguna acción sino hasta que la temperatura de salida presente alguna modificación. Dicha variación en el flujo de la línea de gas puede ser considerada como una perturbación perteneciente al lazo de retroalimentación simple por lo que su efecto sobre la variable a controlar puede ser minimizado si se introduce un esquema de control en cascada como el que se muestra en la Fig. 1.3.

En dicho esquema el flujo de gas es controlado con un esquema similar al de retroalimentación simple, en el cual el flujo es medido constantemente y comparado con un valor de referencia que, a diferencia del esquema tradicional, viene establecido por el control de temperatura. Es decir, el esquema de control de temperatura decide cual debe ser el flujo de gas de referencia para mantener la temperatura en el valor deseado. Gracias a este tipo de esquema, al ocurrir una variación en el flujo de gas, se toma una acción

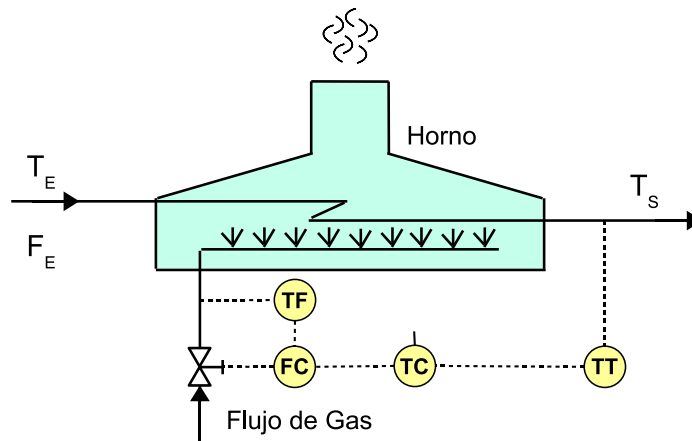


Figura 1.3: Control del Horno (Cascada)

correctiva aún antes de que la temperatura de salida se modifique, con lo cual se logra que la variable controlada se mantenga un mayor tiempo en el valor de referencia.

El diagrama de bloques para este esquema de control se muestra en la Fig. 1.4, en el cual se puede observar que existen dos lazos de retroalimentación simple, uno dentro del otro, los cuales se conocen como Lazo Primario y Lazo Secundario. El primero está relacionado con la variable principal a controlar, en tanto que el segundo se utiliza para controlar la perturbación o variable secundaria en función de las necesidades del primer lazo.

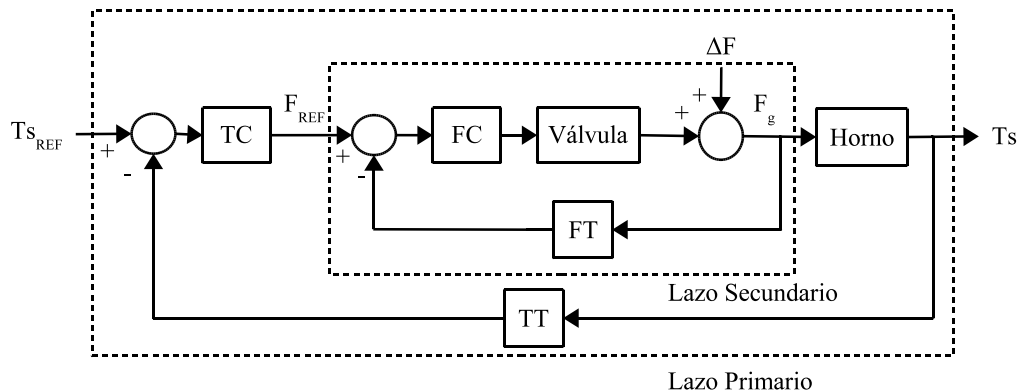


Figura 1.4: Diagrama de Bloques del Control del Horno (Cascada)

Adicionalmente, en la Fig. 1.5 se muestra un esquema de un reactor en el cual se muestran dos lazos de retroalimentación simple, uno que controla la temperatura en el reactor manipulando el flujo de refrigerante y otro que controla la concentración A en el reactor manipulando la salida de producto. En ambos casos existen perturbaciones internas a los lazos de retroalimentación simple cuyos efectos sobre las variables a controlar pueden ser minimizados utilizando esquemas de control en cascada.

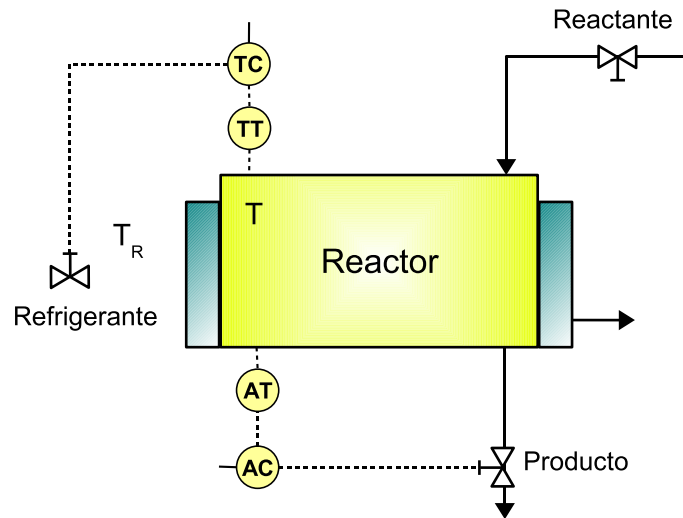


Figura 1.5: Control del Reactor (Retroalimentación Simple)

Para el caso del control de temperatura, la variación en la temperatura del refrigerante, provoca una posterior variación en la variable principal a controlar, la cual puede ser minimizada si se añade un lazo de control secundario para la temperatura del refrigerante manipulando el flujo del mismo. De igual forma, para el caso del control de la concentración, la variación en el nivel provocará una variación en la variable principal a controlar, lo cual puede manejarse añadiendo un lazo secundario que controle dicha concentración manipulando el flujo del producto. Ambos esquemas pueden observarse en la Fig. 1.6, en la cual se añaden los lazos que corrigen las variables secundarias antes de que ello afecte mayormente a las variables principales a controlar.

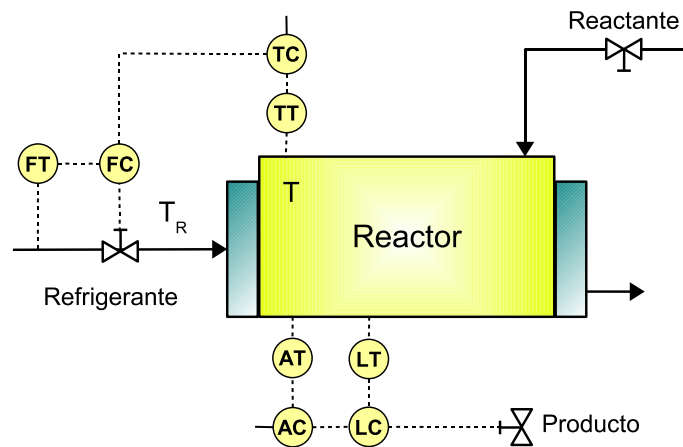


Figura 1.6: Control del Reactor (Cascada)

Adicionalmente pueden observarse, en las Figs. 1.7 y 1.8 los diagramas de bloques de ambos esquemas, en los cuales se destacan los lazos primario y secundario de cada diagrama. En ambos esquemas se observa la presencia del lazo principal, que mantiene la variable principal en el valor deseado, y del lazo secundario que mantiene la variable secundaria en la referencia establecida por el controlador principal.

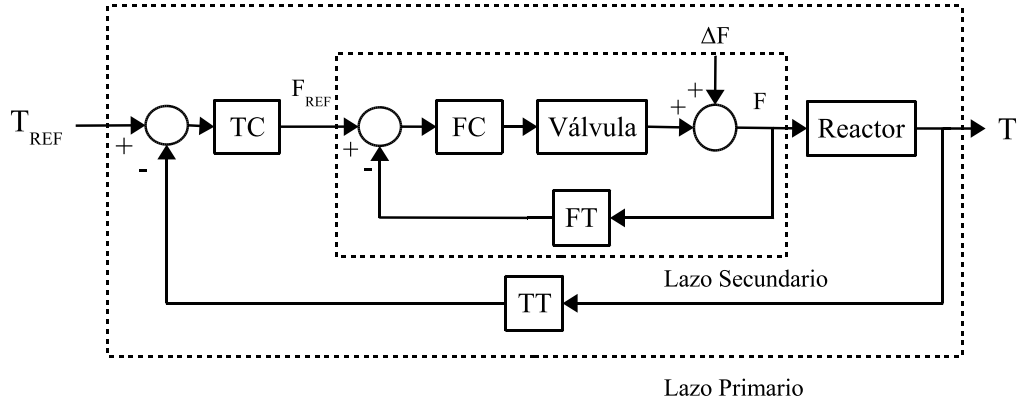


Figura 1.7: Cascada I. Diagrama de Bloques

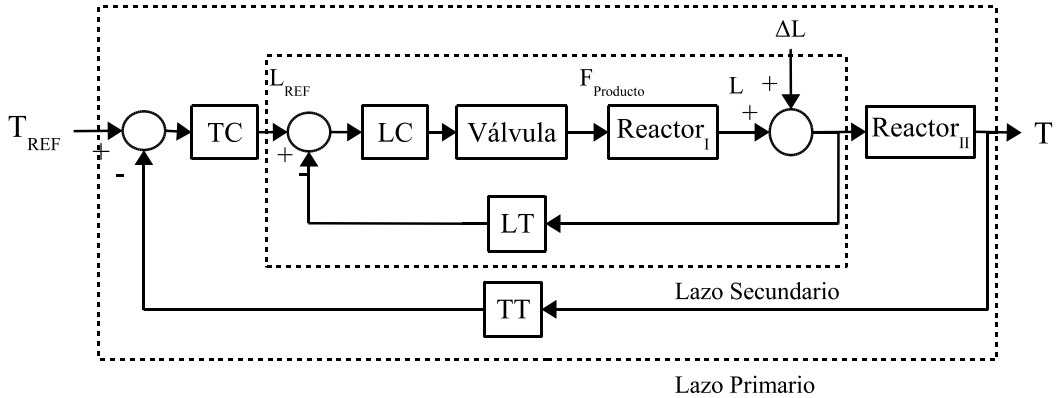


Figura 1.8: Cascada II. Diagrama de Bloques

En líneas generales se puede concluir que un esquema de control en cascada corrige perturbaciones internas al lazo de retroalimentación simple antes de que afecten mayormente a la variable a controlar, pudiéndose generalizar su diagrama de bloques tal y como se muestra en la Fig. 1.9. En dicha figura  $C(s)$  es la variable principal a controlar y su referencia viene establecida por  $R(s)$ , el lazo principal tiene un controlador principal que compara el valor de  $C(s)$  con su referencia y fija el valor de la referencia para el lazo de control secundario, cuyo controlador compara la señal proveniente del medidor secundario, o perturbación a minimizar, con el valor de su referencia. Finalmente se ejecuta una acción sobre la

variable manipulada de forma tal que los valores de la variable principal y la secundaria se acerquen a sus referencias.

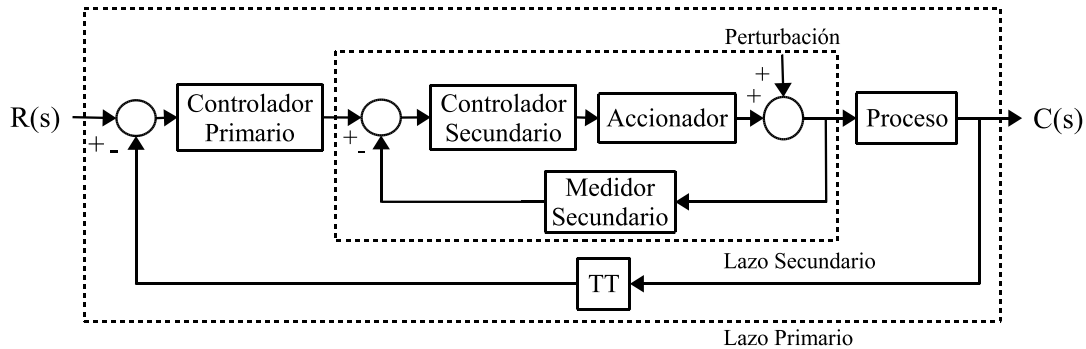


Figura 1.9: Diagrama de Bloques General (Cascada)

## 1.2. Esquema de Control en Alimentación Adelantada (Feed Forward)

Un esquema de control en alimentación adelantada también se utiliza para minimizar efectos de perturbaciones. A diferencia del esquema de control en cascada, la alimentación adelantada corrige las variaciones de perturbaciones, externas al lazo de retroalimentación simple, antes de que éstas afecten a la variable a controlar.

El proceso mostrado en la Fig. 1.2 muestra un esquema de retroalimentación simple para controlar la temperatura a la salida de un horno, tal como se describió en la Sec. 1.1, el mismo podría presentar perturbaciones en la temperatura de entrada al horno ( $T_E$ ), lo cual no puede ser minimizado utilizando una cascada pues dicha perturbación es externa al lazo de retroalimentación simple. Para ello se añade un esquema en alimentación adelantada, tal como se muestra en la Fig. 1.10, en la cual se mide constantemente la perturbación y se toma una acción en caso de ser necesario.

## 1.2 Esquema de Control en Alimentación Adelantada (Feed Forward)

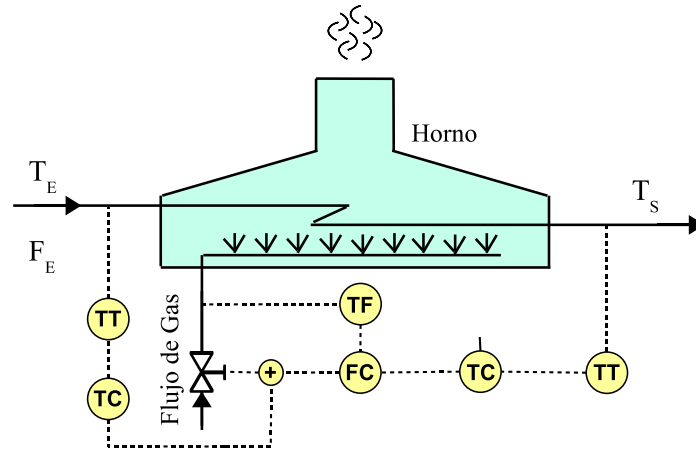


Figura 1.10: Control del Horno (Alimentación Adelantada)

El esquema en alimentación adelantada presenta un controlador que debe ser capaz de decidir que acción tomar para evitar la modificación de la temperatura de salida en caso de que la temperatura de entrada presente perturbaciones. Para ello, dicho controlador contiene información particular sobre el proceso que se está controlando, o lo que es lo mismo, su función de transferencia se fundamenta en el conocimiento del modelo del proceso. En la Fig. 1.11 se muestra el diagrama de bloques de los dos esquemas implantados sobre el horno.

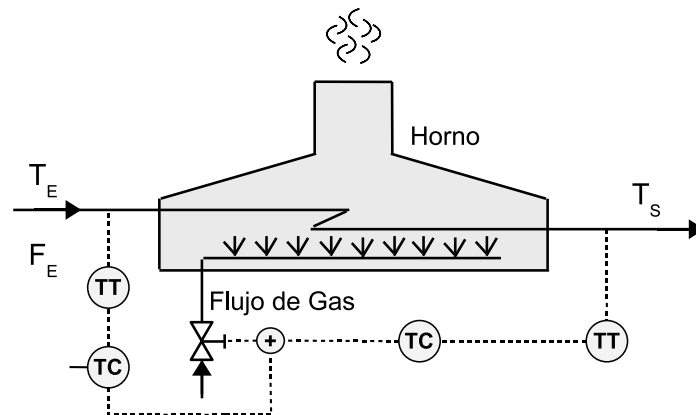


Figura 1.11: Diagrama de Bloques del Control del Horno (Alimentación Adelantada)

Para el caso del reactor mostrado en la Fig. 1.5, si se considera que la temperatura y el flujo de entrada del reactante tuviesen una variabilidad considerable, se verían afectadas, tanto la temperatura interna del reactor, como la concentración del producto. Los esquemas de retroalimentación simple que controlan dichas variables solamente tomarán una acción correctiva cuando las mismas se vean modificadas, lo

cual puede ser mejorado utilizando dos lazos en alimentación adelantada como se muestra en la Fig. 1.12, en los cuales las perturbaciones mencionadas son medidas y las acciones correctivas se realizarán antes de que las variables controladas se vean modificadas.

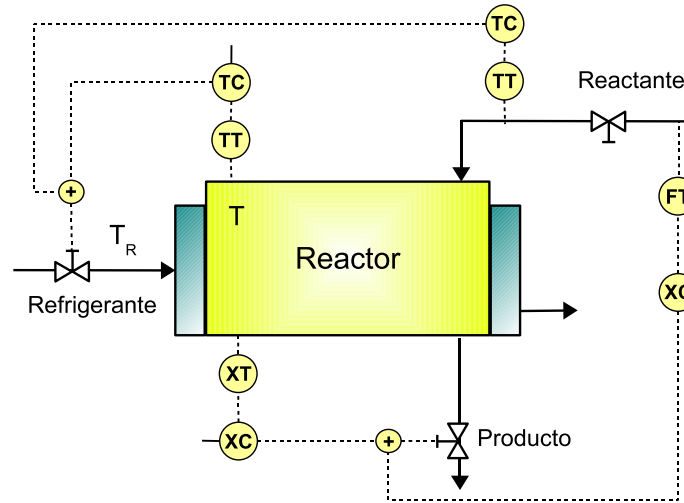


Figura 1.12: Control del Reactor (Alimentación Adelantada)

El diagrama de bloques correspondiente al control de la temperatura del reactor se muestra en la Fig. 1.13 y el del control de la concentración se muestra en la Fig. 1.14. Se puede observar en ambos que la perturbación es medida y que se toma una acción que se adelanta a la modificación de la variable controlada una vez que detecta variaciones en la perturbación.

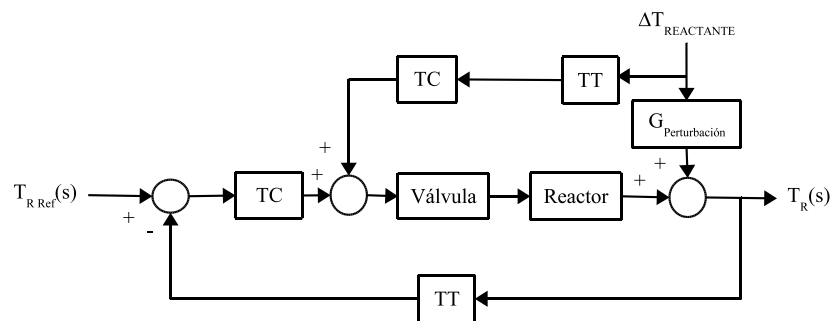


Figura 1.13: Diagrama de Bloques del Control del Reactor. Temperatura del reactante. (Alimentación Adelantada)



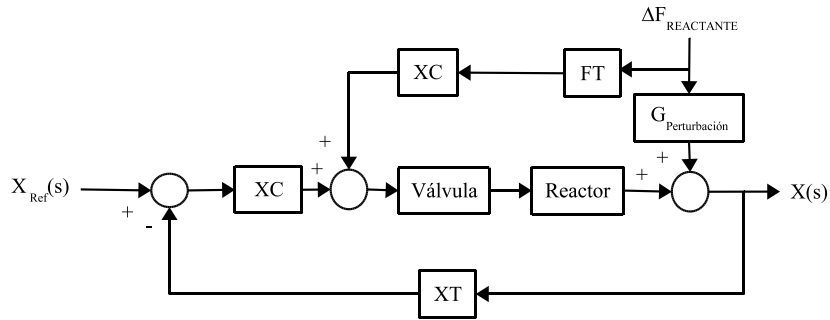


Figura 1.14: Diagrama de Bloques del Control del Reactor. Flujo del reactante. (Alimentación Adelantada)

Como se puede observar en los ejemplos mostrados, el diagrama de bloques para una alimentación adelantada es semejante en todos los casos y el mismo puede ser generalizado tal como se muestra en la Fig. 1.15, en donde cada una de las funciones de transferencia y cada una de las variables se deberán particularizarse para cada caso estudio.

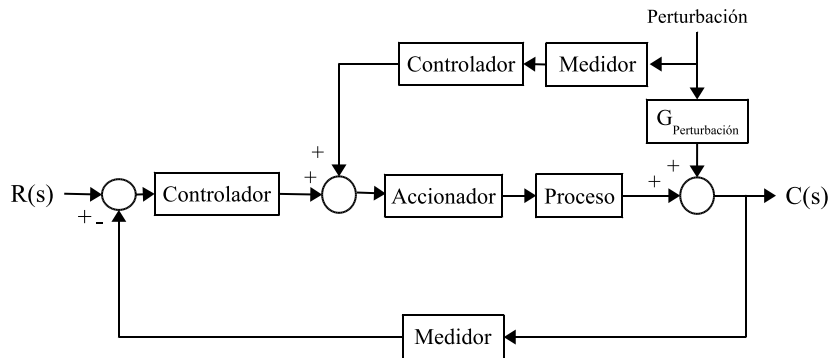


Figura 1.15: Diagrama de Bloques General Alimentación Adelantada

Resumiendo, para este tipo de esquema de control se pueden resaltar a continuación sus características, ventajas y desventajas.

- Se toma una acción correctiva cuando se presenta una perturbación externa al lazo de retroalimentación simple.
- El controlador asociado a este tipo de esquema está fundamentado en el conocimiento matemático del proceso, lo cual representa su mayor debilidad pues el buen desempeño del esquema dependerá directamente de la calidad del modelo disponible.
- La variable a controlar no es medida, pues lo que se desea es minimizar el efecto de la perturbación.

- Debido a que la variable a controlar no es medida, es preferible acompañarlo por un lazo en retroalimentación simple que comprueba constantemente el valor de dicha variable y realice correcciones en caso de que otro tipo de perturbaciones la aparten de su valor de referencia.

### 1.3. Esquema de Control de Relación

Hay numerosos procesos químicos en los cuales la relación entre dos flujos es una variable que debe ser mantenida en un valor particular de forma tal que la eficiencia de los procesos alcance valores óptimos. Por ejemplo, se pueden mencionar, el proceso de combustión de un horno en donde la relación entre el aire y el combustible debe mantener una proporción fija, o la mezcla en un reactor de dos sustancias para obtener una tercera en donde la relación de los reactantes determinará el producto deseado. En ambos casos, es importante resaltar que lo que se desea no es mantener el valor de los flujos sino de la relación entre ellos.

De allí que, surge la necesidad de plantear un esquema de control que se utilice para controlar la relación entre dos flujos, en el cual los dos flujos deben ser medidos pero sólo se requiere manipular uno para lograr el objetivo deseado. Para ello se pueden plantear dos configuraciones para el control de relación, las cuales se muestran en las Figs. 1.16 (a) y (b).

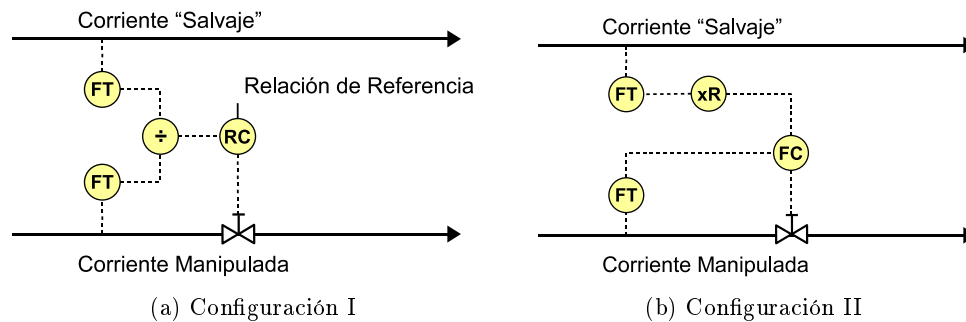


Figura 1.16: Esquema de Control de Relación

En el esquema planteado en la Fig. 1.16 (a) se miden ambos flujos, se llevan a un elemento que nos proporciona la relación entre ellos, con lo cual se obtiene la relación medida, se compara ésta con la relación deseada (referencia) y se manipula uno de los flujos.

En el esquema planteado en la Fig. 1.16 (b) se miden ambos flujos, se multiplica el flujo no manipulado por la relación deseada, con lo cual se obtiene la referencia para un controlador de flujo que manipulará el otro flujo de forma tal de obtener el resultado deseado.

En ambos casos, siempre se deben medir ambas corrientes y solo una será manipulada, cuya elección dependerá del proceso en particular, la otra corriente se conoce como corriente "salvaje" o no manipulada.

## 1.4. Esquema de Control *Override*

Este es un tipo de esquema de control selectivo con el cual es posible controlar más de una variable teniendo una sola variable manipulada, para lo cual se transfiere la acción de control de un controlador a otro según sea la necesidad. Es utilizado para evitar que algunas variables puedan alcanzar límites peligrosos, inferiores o superiores, que puedan perjudicar el buen funcionamiento del proceso. Para ello se utilizan ciertos tipos de *switches*, el HSS (*High Selector Switch*) y el LSS (*Low Selector Switch*), los cuales se utilizan para evitar que una variable pueda exceder de un valor máximo o mínimo, respectivamente.

Un ejemplo típico para este tipo de esquema de control se puede implantar en una caldera, donde la presión del vapor de salida es una variable controlada, pero el nivel del líquido dentro de la caldera debe mantenerse en observación, pues no puede bajar más allá de un valor mínimo. En la Fig. 1.17 se muestra un esquema de control en *Override*, en el cual el Lazo I se utiliza para mantener el control sobre la presión de salida y si el nivel presenta un valor menor al mínimo establecido, el LSS cambia de esquema de control y pone en funcionamiento el Lazo II, con la intención de controlar el nivel.

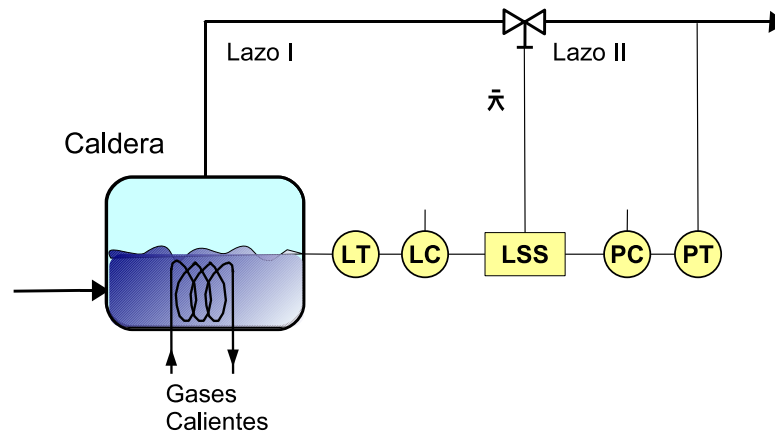


Figura 1.17: Esquema de control en *Override* de una caldera