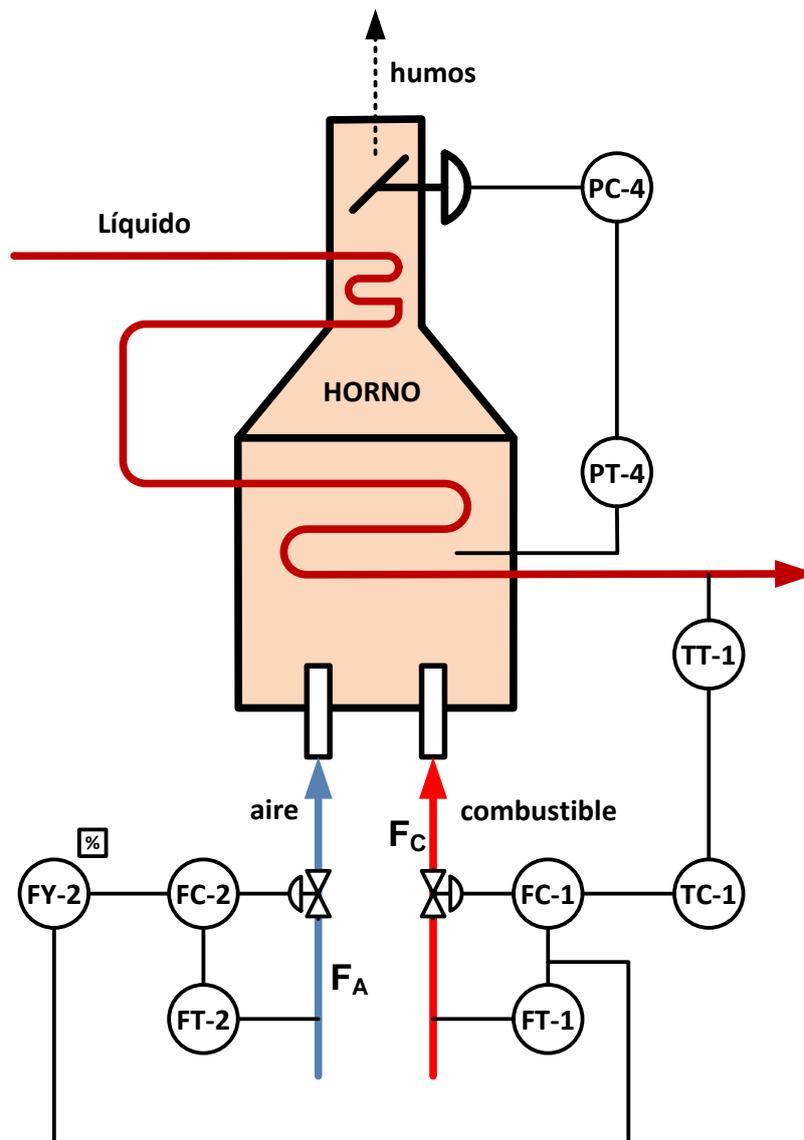
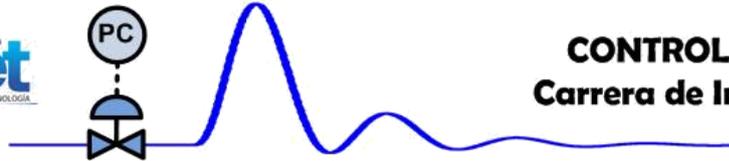


### Sistemas de control de un horno

En la figura se muestra el diagrama P&I correspondiente a un horno de una compañía petroquímica. En esta unidad se calienta un líquido aprovechando el calor liberado en la combustión de un combustible residual. Puede suponerse que el fluido sólo aumenta su temperatura y que no se producen reacciones químicas.



- a) Para cada variable que se controla:
- Indicar la/s estrategia/s de control empleadas
  - Determinar los objetivos de las estrategias de control
  - Confeccionar una lista completa de perturbaciones que inciden en el sistema de control.
  - Seleccionar de la acción de válvulas y controladores.
  - Seleccionar los tipos de controladores que estima más convenientes (justificar).
- b) Construir un diagrama en bloques que considere todos los sistemas de control.



A partir del diagrama P&I de la instalación, se distinguen tres lazos de control que se analizan individualmente

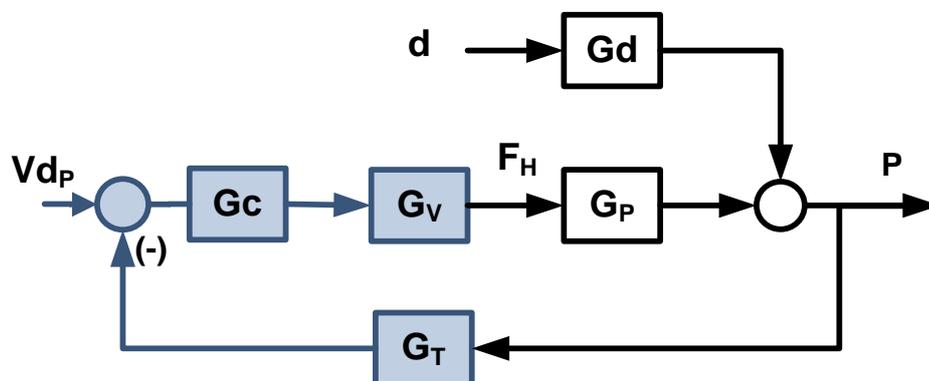
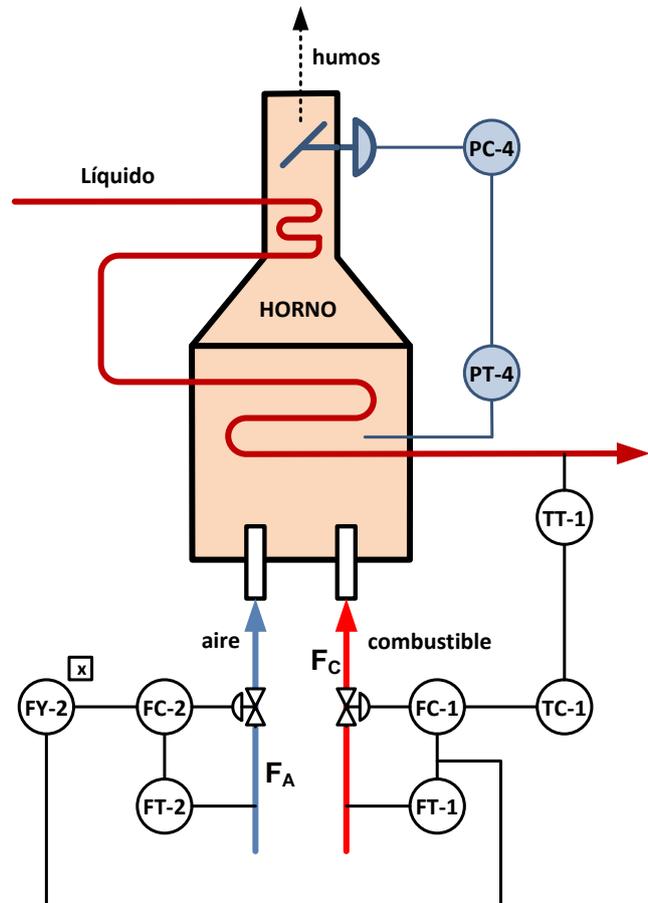
### Control de la depresión en el hogar

La variable controlada, por feedback, es la depresión en el hogar donde se produce la combustión. La depresión debe mantenerse en forma estricta de manera que no haya fuga de fuegos hacia el exterior del horno y simultáneamente minimizar el ingreso de aire frío por las aberturas del hogar.

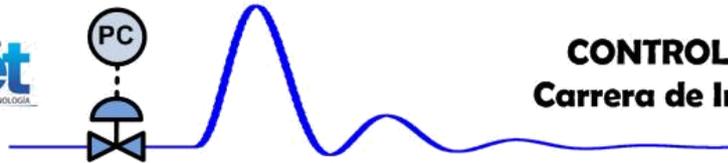
Este lazo de control está relacionado con el balance de materia en el hogar, equilibrando la cantidad de humos que se generan (por reacción química del combustible y el aire) con los que salen a través de la chimenea.

La variable manipulada es el caudal de humos evacuados por la chimenea. El elemento final de control consta de registros con un actuador neumático.

Las perturbaciones más importantes son: caudal de aire y caudal de combustible. Por simplicidad se coloca sólo una (d) en forma genérica en el diagrama en bloques.



El elemento final de control debe ser, por seguridad, SAA ( $K_V < 0$ ) para evitar que en caso de corte de suministro de aire, la presión en el interior del hogar aumente en relación a la exterior, y cuando el sistema arranque nuevamente, pueda haber transferencia de fuegos hacia el exterior. Cuando se aumenta el caudal de humos que se extrae, la depresión aumenta ( $K_P > 0$ )

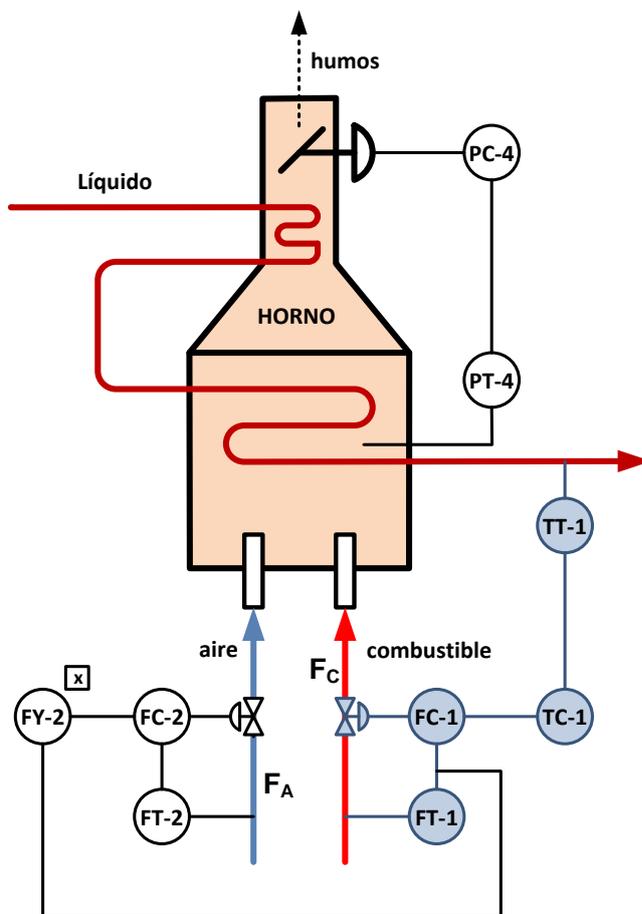


El controlador debe ser de acción directa ( $K_c < 0$ ) de tipo PI ya que se requiere un error de estado estacionario cero. La acción derivativa sería innecesaria, ya que este lazo se caracteriza por una capacidad importante y varias menores que permite ajustar el lazo con grandes ganancias, por lo que puede esperarse velocidades de respuestas altas.

### Control de la temperatura de salida del líquido

Se usa control en cascada para controlar la temperatura del líquido que se calienta, a través del serpentín del horno, con la energía proveniente de la combustión. La variable manipulada es el caudal de combustible y las perturbaciones más importantes son:

- **Secundarias:** presión aguas arriba de la válvula de combustible
- **Primarias:** caudal de líquido a calentar, temperatura de alimentación del mismo, caudal y temperatura del aire, temperatura y poder calorífico del combustible.

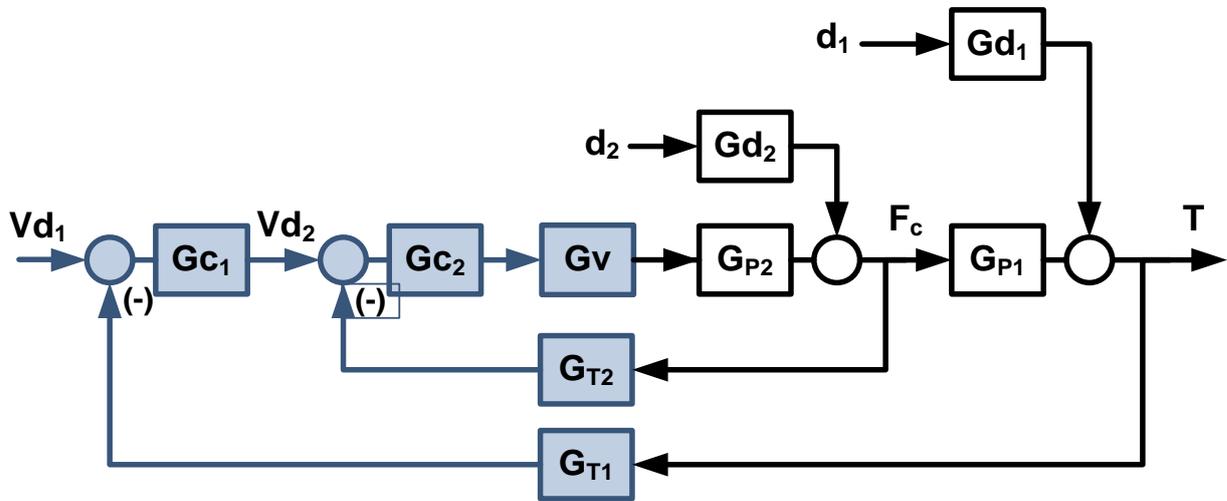
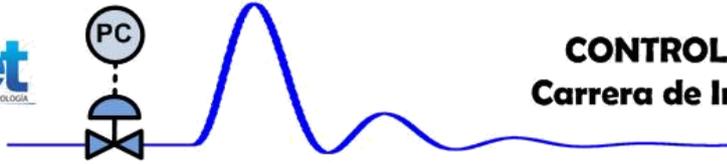


El uso del control en cascada y no feedback simplemente se apoya en el hecho que la presión aguas arriba de la válvula varía en forma apreciable y frecuente. Apreciable significa que su cambio tiene una gran influencia en la variable controlada, la frecuencia se mide respecto de la frecuencia de oscilación de la variable controlada en relación a feedback solo.

Suponiendo que la variable temperatura tiene un período de oscilación de 10 minutos (con el lazo simple), si la frecuencia con la que ingresa una perturbación secundaria es de 8 minutos, resulta que la variable controlada se pasaría todo el tiempo oscilando sin llegar a estabilizarse.

Para ilustrar este ejemplo consideremos que baja el caudal de líquido a calentar, entonces el controlador (feedback solamente) manda a la válvula que cierre, en ese momento aumenta la presión aguas arriba de la válvula y el caudal de combustible es mayor que el pedido por el controlador.

El lazo simple no se restableció de la perturbación y actúa otra que puede ser en sentido contrario de la anterior. Esto muestra porque el feedback no es efectivo.



Por otra parte se dan todos los requisitos necesarios para control en cascada:

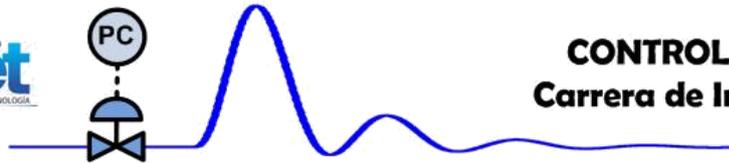
- Existe una variable intermedia que puede medirse
- El lazo interno es un lazo de control de caudal que es mucho más rápido que el primario por que la variable controlada es la manipulada y entre el transmisor de caudal y la variable manipulada hay un tramo de cañería recta. En el caso del lazo primario la dinámica es bastante lenta ya que entre que se manipula el combustible y cambia la temperatura a la salida se atraviesan al menos tres grandes capacidades interactuantes. Por otra parte el serpentín es un sistema distribuido que tendrá asociado un tiempo muerto que puede ser también importante.

Un detalle adicional es que el lazo interno (de caudal), al tener acción integral el controlador secundario, asegura que el valor de caudal pedido por el controlador primario sea efectivamente proporcionado por la válvula. De esta forma se logra obviar el inconveniente de la característica de flujo del elemento final de control (ganancia constante entre  $SP_2$  y  $F_c$ ). El problema de la no linealidad asociada a la característica de flujo se traslada ahora al lazo interno en donde debería ser compensada.

La válvula de combustible es SAC para asegurar que en caso de falla no se produzca una fuga de combustible con el consiguiente riesgo de explosión o liberación excesiva de energía.

*El controlador primario* es conveniente que sea PID, ya que se analizó que la dinámica con que se restablece la temperatura de líquido ante una perturbación es lenta y se necesita que se la controle en un valor exacto. Debe ser inverso ya que si la temperatura aumenta, su salida (set point del controlador secundario) debe disminuir para que baje el caudal de combustible.

*El controlador secundario* debería ser PI ya que como el caudal es una variable ruidosa se deben poner valores bajos en  $K_c$  con lo que, de no haber acción integral, el error de estado estacionario sería grande. La otra razón es la expuesta antes: la acción integral asegura que el flujo pedido sea el efectivamente liberado (ganancia entre  $SP_2$  y  $F_c$  constante). La acción debe ser inversa ya que si el caudal de combustible que se mide baja, la válvula debe abrir para lo cual la señal que sale del controlador secundario debe aumentar.

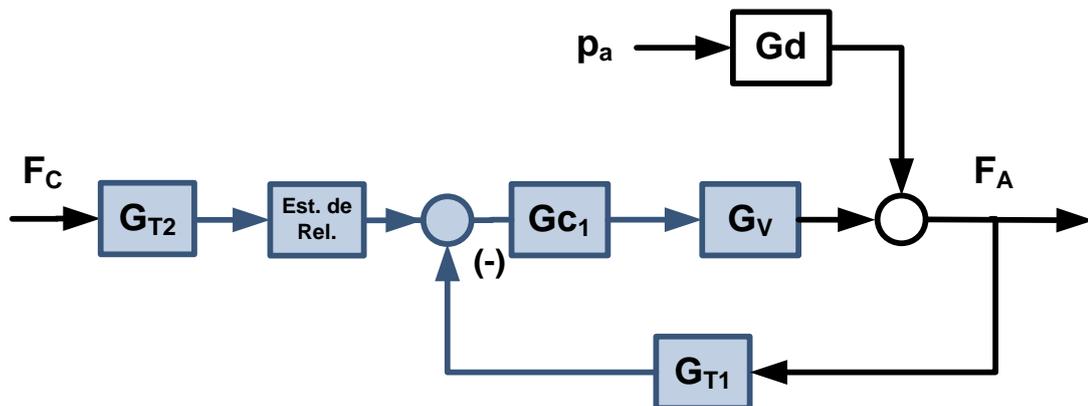
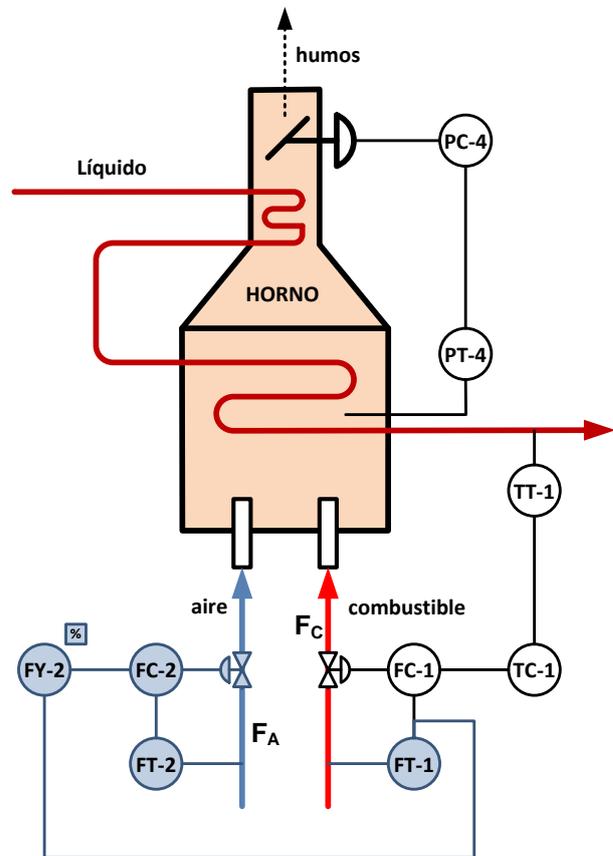


### Control de la relación aire-combustible

Para quemar en forma eficiente un combustible debe haber un exceso de aire respecto de la cantidad estequiométrica. En el diagrama P&I del sistema de control cada vez que se manipula el caudal de combustible para restablecer la temperatura del horno, se debe cambiar el caudal de aire en forma proporcional. Esto se logra con un sistema de *Control de Relación*.

La variable controlada y manipulada es la misma: caudal de aire. La principal perturbación que existe es el caudal de combustible que actúa a través de la estación de relación fijando el set point del controlador. La válvula es SAA (para asegurar que en caso de falla, se libere aire en exceso y se evite la posibilidad de tener combustible sin quemar y en condiciones explosivas).

El controlador es PI por las razones expuestas para el controlador secundario del lazo de control de temperatura y como antes tiene acción directa.



La función de transferencia de la estación de relación es simplemente una ganancia que tiene en cuenta cuál es la relación aire-combustible y los alcances de los transmisores de caudal de combustible y de aire.