

SIMULACIÓN Y CONTROL DE PROCESOS

Curso 2014/2015

CARÁCTER: obligatoria, anual

CURSO: 3°

MATERIA: Ingeniería de la producción química

MÓDULO: Tecnología química

TITULACIÓN: Ingeniería Química

Asignatura en el Campus Virtual

Presentación: CONTROL DE PROCESOS

Profesores

PROFESORES DE TEORÍA:

Pedro Yustos Cuesta

M^a Isabel Guijarro Gil

PROFESORES DE PRÁCTICAS:

José Manuel Toledo

Emilio Gómez

Horario 2º Semestre



Lunes 11:30 h

Martes 10:30 h

Presentación: CONTROL DE PROCESOS

Estructura de la asignatura

CLASES TEÓRICAS

SEMINARIOS: RESOLUCIÓN de PROBLEMAS

(por el profesor y/o el alumno)

TUTORÍAS

PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Presentación: CONTROL DE PROCESOS

Criterios de evaluación

- Participación mínima **obligatoria**:
 - 70%** de las actividades presenciales.
 - 100%** de las tutorías dirigidas y seminarios.
- La **nota mínima** necesaria en uno de los parciales para compensar y poder aprobar por parciales, será de **4**.
- El **examen parcial** de esta parte de la asignatura se divide en teoría y problemas; la **nota mínima** en cada parte para **hacer media** será de **4**.
- La calificación de las **actividades dirigidas** supondrá un **15%** de la calificación final.
- La calificación de las **prácticas** supondrá un **15%** de la calificación final.
- Los alumnos que no hayan asistido a las tutorías y prácticas a lo largo del curso, realizarán un examen de dichas actividades en las convocatorias extraordinarias.

Presentación: CONTROL DE PROCESOS

Exámenes

SEGUNDO PARCIAL:

Lunes 1 de junio, 16:00 h

QA01

FINAL (Junio):

Jueves 18 de Junio, 12:00 h

QC01-QC03

FINAL (Septiembre):

Lunes 7 de Septiembre, 12:00 h

QC01

Presentación: CONTROL DE PROCESOS

Tutorías

SEGUNDA TUTORÍA:

Semana 23 -27 Marzo.

Lunes 23 de Marzo, 8:30 h Aula: QC21

Martes 24 de Marzo, 8:30 h Aula: QC21

Jueves 26 de Marzo, 8:30 h Aula: QC21

TERCERA TUTORÍA:

Semana 27 Abril a 1 Mayo.

Lunes 27 de Abril, 8:30 h Aula: QC21

Martes 28 de Abril, 8:30 h Aula: QC21

Jueves 30 de Abril, 8:30 h Aula: QC21

Presentación: CONTROL DE PROCESOS

Prácticas de laboratorio

3 sesiones de asistencia obligatoria

15:30 h-19:00 h

29-31 Semana curso 2014-2015:

- ✓ **Laboratorio planta baja Edificio A. Procesos**
- ✓ **Sala de Informática**

- **Seminario Sobre sintonización de controlador.**
- **Sintonización virtual, LABVIEW**
- **Sintonización de un controlador**

Presentación: CONTROL DE PROCESOS

Clases teóricas: Programa

□ Tema 5.- Dinámica. Dominio del tiempo

- Dinámica de sistemas.
- Sistemas lineales de primer orden
- Sistemas dinámicos de 2º orden.
- Sistemas no lineales y linealización.

□ Tema 6.- Dominio de Laplace y de la frecuencia

- Funciones de transferencia
- Diagrama de bloques
- Algebra de bloques
- Respuesta de frecuencia
- Diagrama de Bode

Presentación: CONTROL DE PROCESOS

Clases teóricas: Programa

□ Tema 7.- Instrumentación

- Especificaciones, normas.
- Instrumentación analógica.
- Instrumentación digital.
- Medidores, transmisores, controladores, actuadores.
- Instrumentación virtual: LABVIEW.

□ Tema 8.- Lazos de control

- Acciones de control
- Elemento final de control
- Lazos “feedback” y “feedforward”.
- Estabilidad absoluta y relativa.
- Aplicaciones a operaciones y procesos.

CONTROL DE PROCESOS

Bibliografía

- BÁSICA:
 - Luyben, W. L., **Process Modelling, Simulation, and Control for Chemical Engineers**. McGraw-Hill, 1973 (1st. ed.), 1990 (2nd ed.).
 - Seborg, D. E., Edgar, T. F. and Mellichamp, D. A., **Process Dynamics and Control**. John Wiley & Sons, 1989.
 - Perry, R. H. and Chilton, C. H., **Chemical Engineers' Handbook**, McGraw-Hill, 1986 (6th ed.).

CONTROL DE PROCESOS

Bibliografía

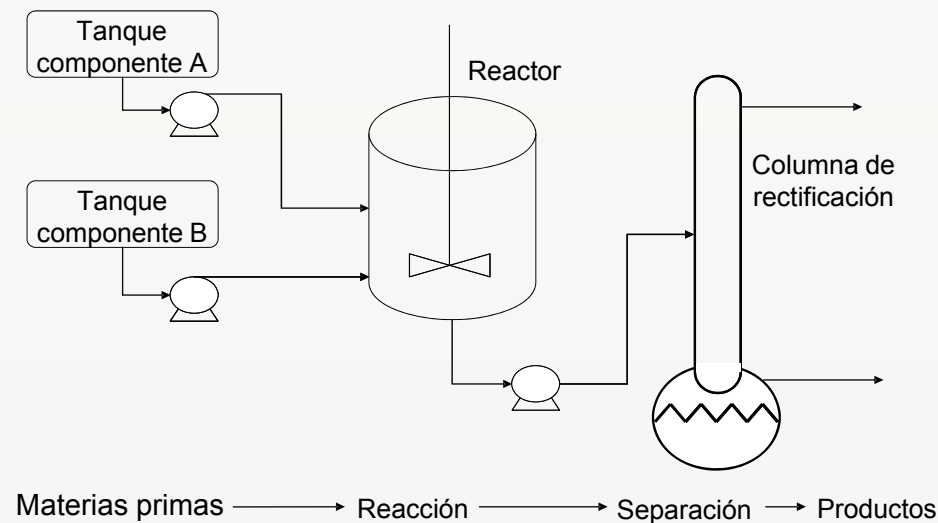
■ COMPLEMENTARIA:

- Ogata, K., **Ingeniería de Control Moderna**. Prentice-Hall Intern., 1979.
- Harriott, P., **Process Control**, McGraw-Hill, 1964.
- Considine, D. M., **Process/Industrial Instruments and Control Handbook**, Bergano Book Co., 1993.
- Johnson, C. D., **Process Control Instrumentation Technology**, John Wiley & Sons, 1982.
- Matley, J. (Editor) and Staff of Chemical Engineering, **Practical Process Instrumentation and Control**, McGraw-Hill, 1986.
- Creus, A., **Instrumentación Industrial**, Marcombo-Boixareu, 1993.

Introducción - Control de Procesos

➤ Planta química:

- ❑ Conjunto de unidades de proceso: reactores, cambiadores de calor, bombas, columnas destilación, absorbedores, evaporadores, etc.
- ❑ Unidades de proceso: integradas de forma racional y sistemática
- ❑ Objetivo: Transformación de materias primas en productos, consumiendo energía en el proceso



Introducción - Control de Procesos

➤ **Requerimientos que deben cumplirse durante la operación de una planta química:**

- Seguridad
- Regulaciones medioambientales
- Producción
- Restricciones de operación de los equipos
- Operación en el óptimo económico

Introducción - Control de Procesos

1. Seguridad:

- Evitar daños a las personas, entorno y medio ambiente
- Prevención de accidentes
- Objetivo: mantener las variables del proceso dentro de los límites permitidos.
- Variables: Presión, Temperatura, concentración,...

Ejemplo

- Mezcla reacción explosiva a $P > 10$ bar.
- Objetivo: P reactor < 10 bar

Introducción - Control de Procesos

2. Regulaciones ambientales:

- Cumplimiento con la normativa medioambiental
- Efluentes líquidos, sólidos o gaseosos de la planta: no superen ciertos valores de pH, T, concentración de especies químicas contaminantes,...

Ejemplo

- Objetivo: mantener el pH de una corriente líquida en valores próximos a la neutralidad

Introducción - Control de Procesos

3. Producción:

- ❑ Cumplir las especificaciones de producción

Ejemplo

- Objetivo: obtener en régimen estacionario 2 MM Tm/día etileno, con una pureza de 99.5%
- Si pureza < 99.5%: producto de menor calidad / valor

Introducción - Control de Procesos

4. No superar los límites de operación de los equipos:

- Evitar el deterioro de los equipos
- Evitar la pérdida de rendimiento del proceso

Ejemplo

Objetivo: No superar la temperatura de operación (T_{op}) de un lecho catalítico para evitar el deterioro del catalizador

Si $T > T_{op}$:

- Pérdida de actividad del catalizador
- Disminuye el rendimiento del proceso
- Impacto económico: cambio catalizador, parada de la planta

Introducción - Control de Procesos

5. Operación en el óptimo económico:

- ❑ Trabajar en condiciones de operación que aseguren los mínimos costes y el máximo beneficio

Introducción - Control de Procesos

➤ Operación de una planta química:

- ❑ Estos requerimientos de operación deben cumplirse **SIEMPRE**, incluso en presencia de **perturbaciones**
- ❑ **Perturbaciones:** influencias externas que pueden dar lugar a cambios en la operación de la planta :
 - Cambios en la composición de las materias primas
 - Cambios en la temperatura del agua de refrigeración
 - Cambios en la calidad del vapor suministrado por la planta auxiliar
 - Cambio en el caudal suministrado por una bomba (Ejemplo: obstrucción parcial)
 - Disminución gradual del flujo de calor en un cambiador debido al ensuciamiento

Introducción - Control de Procesos

➤ Cumplimiento de estos requerimientos requiere:

- ❑ Seguimiento continuo de la actividad de la planta
- ❑ Si es necesario, intervenir sobre el proceso para que se cumplan estos requerimientos
- ❑ Estas funciones son realizadas por el **SISTEMA DE CONTROL**

➤ Sistema de control

❑ Funciones:

- VIGILAR el proceso de forma continua
- ACTUAR, corrigiendo las desviaciones que se detecten
- Vigilar y actuar DE FORMA AUTOMÁTICA

❑ Elementos:

- Conjunto de instrumentos de medida y manipulación del proceso

Introducción - Control de Procesos

Ejemplos:

- Objetivo: Mantener la seguridad
- Premisa: Mezcla reacción explosiva a $P > 10$ bar.
- Objetivo de control: $P_{\text{reactor}} < 8$ bar (coeficiente de seguridad)
- Funciones sistema control:
 - Medir de forma continua la presión en el reactor (VIGILAR)
 - Si $P_{\text{reactor}} > 8$ bar: actuaciones posibles: ↓ el caudal de entrada al reactor, ó ↑ la refrigeración del reactor .. (ACTUAR)
 - Si P_{reactor} continua subiendo: saltar alarmas y actuación drástica: cerrar la válvula de alimentación, abrir una válvula de seguridad....(parada de la planta)

Introducción - Control de Procesos

- Objetivo: Cumplir la legislación medioambiental
- Premisa: Efluente líquido de una planta: pH= 3
- Objetivo de control: Mantener el pH de la corriente en valores próximos a la neutralidad antes de proceder a su vertido
- Funciones del sistema de control:
 - Medir de forma continua el pH de salida (VIGILAR)
 - Adicionar la cantidad de base necesaria en cada momento para conseguir la neutralidad (ACTUAR)

Introducción - Control de Procesos

- Objetivo: Evitar el deterioro de los equipos y operar en el óptimo económico
- Premisa: Proceso catalítico, elevada temperatura, reactor tubular.
 - Temperatura mínima operación (velocidad de reacción aceptable): T_{min} .
 - Aporte calor: horno eléctrico que envuelve al reactor.
 - Para $T > T_{cat}$:pérdida actividad del catalizador (sinterización)
- Objetivo de control: No superar la temperatura de operación en el lecho catalítico, y mantener la velocidad de reacción en un valor aceptable económicamente
- Funciones del sistema del sistema de control:
 - Medida continua de la T en el lecho catalítico (VIGILAR)
 - Para $T > T_{top}$: se desconecta la resistencia del horno: el lecho catalítico se enfría (ACTUAR)
 - Medida continua de la T en el lecho catalítico (VIGILAR)
 - Cuando $T < T_{min}$: horno empieza a calentar de nuevo (ACTUAR)

Introducción - Control de Procesos

➤ Diseño de un sistema de control

□ Diseño equipos:

- Tamaño reactor, longitud tuberías, potencia bombas, área cambiador, número pisos columna rectificación,...
- Uso mecánica fluidos, transmisión calor, transferencia de materia, cinética química, termodinámica,...
- Fisicoquímica, Operaciones básicas, Ingeniería de la Reacción Química,

□ Diseño de un sistema de control:

- Tarea compleja: gran cantidad de equipos, gran cantidad de variables en una planta química:
- Requiere:
 - Conocer el **comportamiento dinámico** del proceso
 - Conocimiento sobre **sintonización** de controladores
 - **Instrumentación** necesaria y disponible comercialmente

Introducción - Control de Procesos

➤ **Objetivos asignatura:**

- Comprender el papel de los Sistemas de Control en el sector industrial
 - concretamente, en la industria química

- Proporcionar el fundamento teórico y herramientas para
 - plantear, diseñar y especificar estrategias sencillas de control, y para analizar y entender estrategias más complejas.

Introducción - Control de Procesos

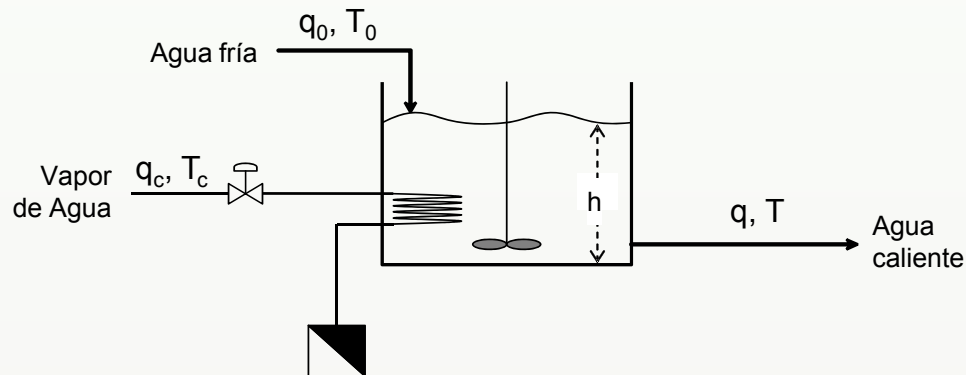
➤ Conceptos fundamentales

- ❑ Sistema de control: funciones, terminología, elementos.
- ❑ Clasificación de las variables de un proceso químico.
- ❑ Clasificación de sistemas de control
- ❑ Estudio de la dinámica de proceso
 - Comportamiento dinámico de un proceso: describe la evolución de las variables del proceso en función del tiempo, es decir, **descripción matemática** que establece las relaciones dinámicas existentes entre:
 - variables de salida (a controlar)
 - variables de entrada (perturbaciones y manipuladas)
 - Diseño de sistemas de control: en estado no estacionario
 - Informa del comportamiento entre estados estacionarios

Introducción - Control de Procesos

➤ EJEMPLO SISTEMA CONTROL

- ❑ Unidad: tanque agitado con calefacción
- ❑ Objetivo sistema: suministrar agua caliente a una temperatura determinada



q_0 : caudal de entrada (m^3/h)

q : caudal salida (m^3/h)

T_0 : temperatura entrada (K)

T : temperatura salida (K)

h : nivel del líquido en el tanque

q_c : caudal de vapor aportado (Kg/h)
para mantener la temperatura de salida en el valor deseado

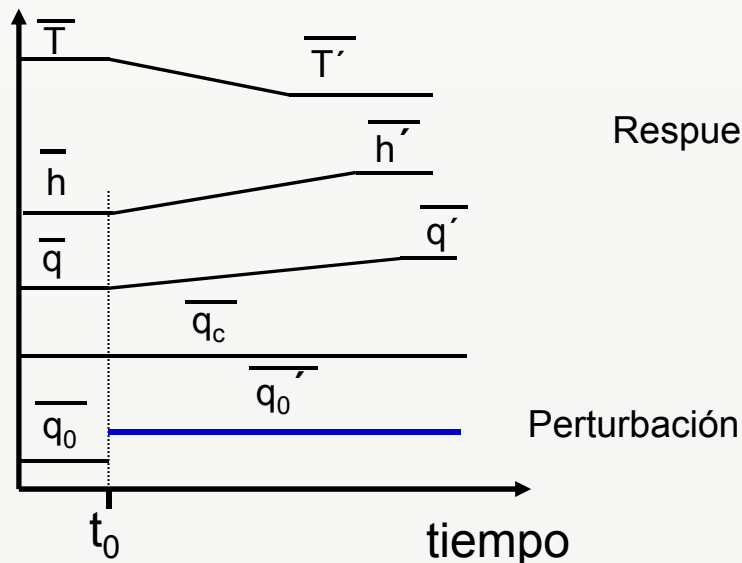
- ❑ Operación en estado estacionario:

$$q_0 = \bar{q}_0 \quad T_0 = \bar{T}_0 \quad q_c = \bar{q}_c \quad T = \bar{T} \quad q = \bar{q}$$

- ❑ Objetivo control: mantener constante la temperatura de salida del agua en el valor deseado

Introducción - Control de Procesos

- Perturbación: cambio (aumento) del caudal de entrada del agua
 - Consecuencias: si no cambiamos el caudal de vapor aportado q_c
 - la temperatura de salida del agua cambia (disminuye) : varía la calidad del producto
 - el caudal de salida del tanque cambia (aumenta) : posible efecto sobre las unidades aguas abajo
 - el nivel del tanque cambia (aumenta) : posibles problemas de seguridad
- Respuesta del sistema ante una perturbación: comportamiento dinámico del sistema
 - Ante un cambio en el caudal de entrada del agua, cómo evoluciona con el tiempo la temperatura de salida del agua, el caudal de salida del tanque, el nivel del tanque

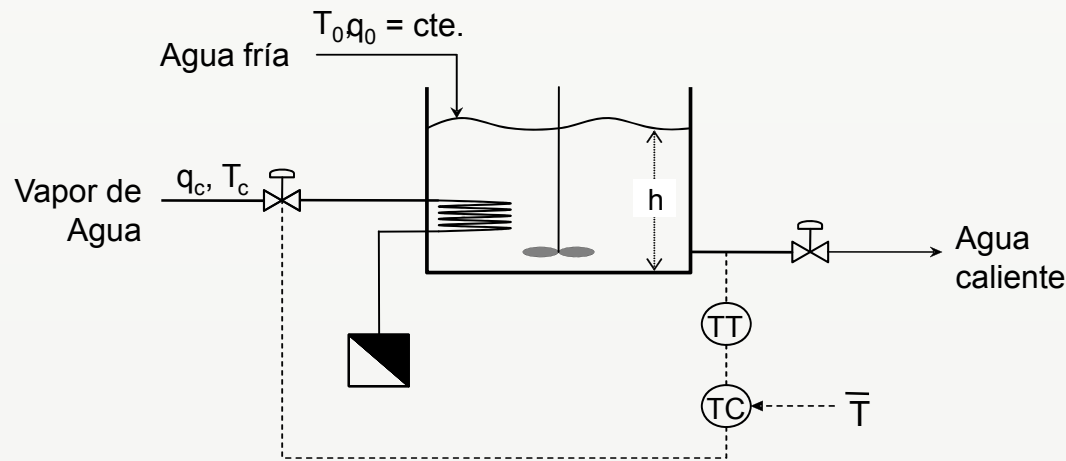


Respuesta dinámica sistema

LAZO ABIERTO

Introducción - Control de Procesos

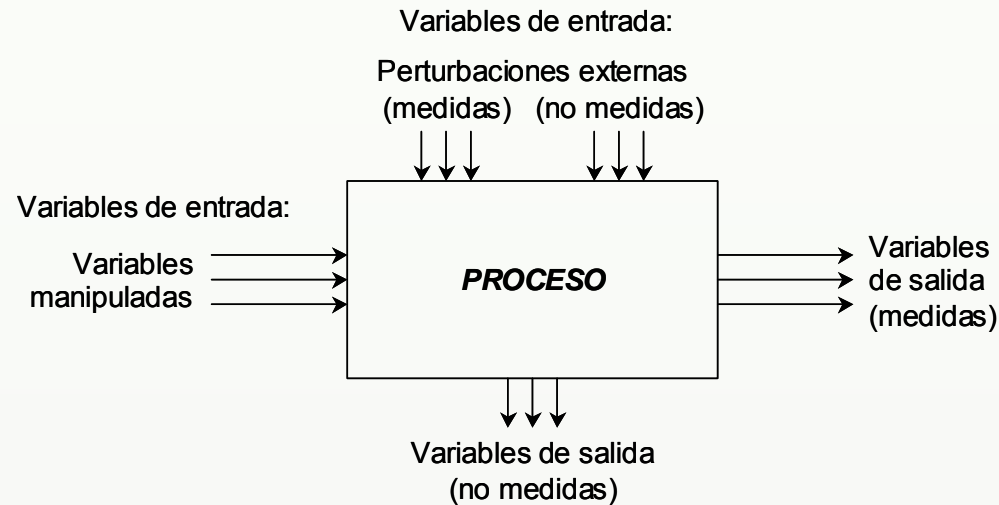
- Actuación del sistema de control ante una perturbación:
 - Intenta devolver el sistema al estado estacionario. Para ello:
 - Mide continuamente la temperatura de salida del agua
 - De forma continua compara la temperatura con la temperatura de salida T real en cada instante
$$\varepsilon = \bar{T} - T$$
 - Error o desviación:
 - En función del valor del error, actúa el sistema de control:
 - Si $\varepsilon = \bar{T} - T > 0$ aumenta el caudal de vapor de calefacción, abriendo la válvula
 - Si $\varepsilon = \bar{T} - T < 0$ disminuyendo el caudal de vapor de calefacción, cerrando la válvula



LAZO CERRADO

Introducción - Control de Procesos

Clasificación de las variables de un proceso químico



➤ Variables:

- ❑ **Entrada:** Denotan el efecto del entorno sobre el proceso químico
- ❑ **Salida:** Denotan el efecto del proceso sobre el entorno

Introducción - Control de Procesos

➤ Variables de entrada:

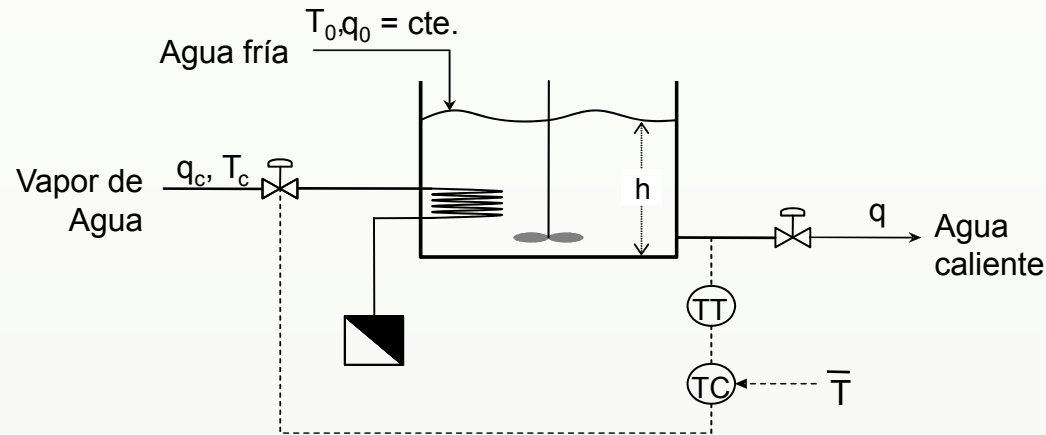
- ❑ **Manipuladas** (o ajustables): sus valores pueden ser ajustados libremente, sea por un operador humano o por el sistema de control
- ❑ **Perturbaciones**: sus valores NO son el resultado de un ajuste realizado por un operador o por un sistema de control.
 - Efectos del mundo exterior al sistema, del entorno, sobre el funcionamiento de los elementos de proceso de una planta química (reactor, cambiador de calor,...)
 - Efectos que NO pueden evitarse
 - Medidas: si se conocen sus valores por medida directa
 - No medidas: si no se conocen sus valores

➤ Variables de salida:

- ❑ **Medidas**: si se conocen sus valores por medida directa de los mismos
- ❑ **No medidas**: no se miden directamente sus valores

Introducción - Control de Procesos

➤ Ejemplo: tanque agitado con calefacción



$$q_0 = \overline{q_0}$$

$$T_0 = \overline{T_0}$$

$$q_c = \overline{q_c}$$

$$T = \overline{T}$$

$$q = \overline{q}$$

- ❑ Objetivo sistema: suministrar agua caliente a una temperatura determinada
- ❑ Objetivo control: Mantener constante la temperatura de salida del agua en el valor deseado
- ❑ Punto de consigna: Temperatura de salida deseada
- ❑ Clasificación de las variables:

<u>ENTRADA</u>		<u>SALIDA</u>	
<u>Perturbaciones</u>	<u>Manipuladas</u>	<u>Medidas</u>	<u>No medidas</u>
T_0, q_0	q_c	T	q, h

Introducción - Control de Procesos

➤ Otra terminología utilizada:

❑ Variable controlada:

- La que se quiere mantener en el valor deseado
- Ejemplo: temperatura de salida T

❑ Punto de consigna (“Set point”):

- Valor deseado para la variable a controlar
- Ejemplo: \bar{T}

❑ Variable de perturbación:

- Variable externa al sistema que afecta a la variable controlada
- Proceso químico: muchas variables de perturbación. Solamente algunas son significativas, porque:
 - Su efecto sea importante
 - Su valor cambie con mucha frecuencia
- Ejemplo: temperatura de entrada T_0

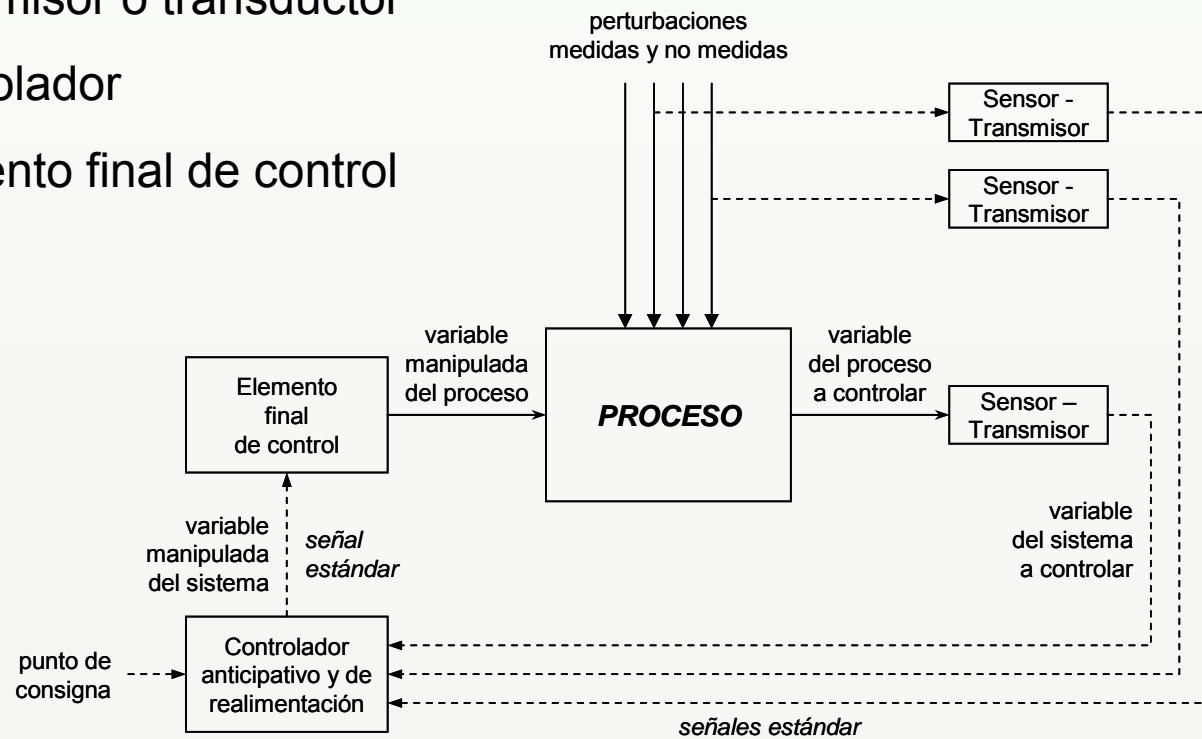
❑ Variable manipulada o variable de control:

- Variable del proceso que se emplea para corregir el efecto de las perturbaciones
- Ejemplo: caudal de vapor q_c

Introducción - Control de Procesos

Elementos de un sistema de control

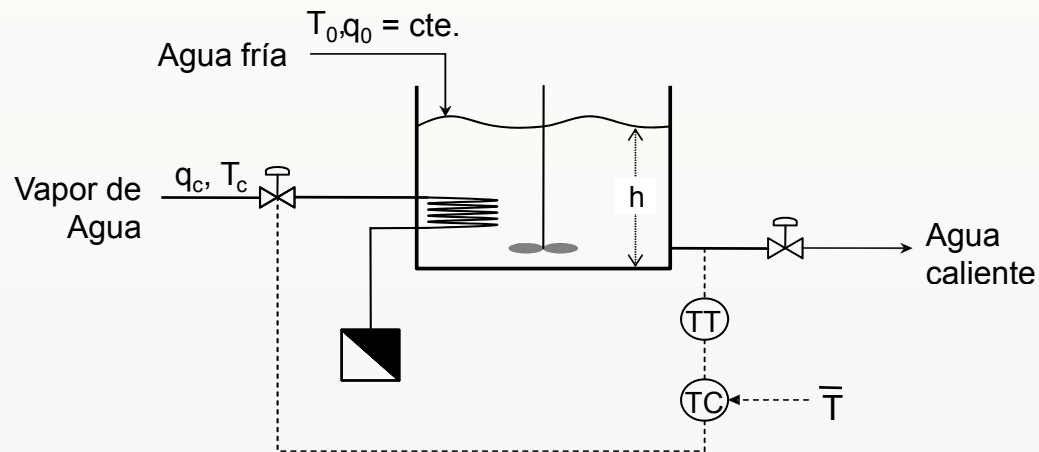
- Sistema de control automático de cualquier proceso podemos distinguir 4 tipos de elementos básicos:
 - ✓ Sensor
 - ✓ Transmisor o transductor
 - ✓ Controlador
 - ✓ Elemento final de control



Introducción - Control de Procesos

➤ Ejemplo proceso controlado: sistema tanque agitado con calefacción

- ❑ Objetivo control: mantener constante la temperatura de salida del agua en el valor de consigna



➤ Nomenclatura ISA (*Instrument Society of America*):

- ❑ LT: sensor-transmisor de nivel (*level transmitter*)
- ❑ TT: sensor-transmisor de temperatura (*temperature trasnsmitter*)
- ❑ FT: sensor-transmisor de caudal (*flow trasnsmitter*)
- ❑ LC: controlador de nivel (*level controller*)
- ❑ TC: controlador de temperatura (*temperature controller*)
- ❑ FC: controlador de caudal (*flow controller*)

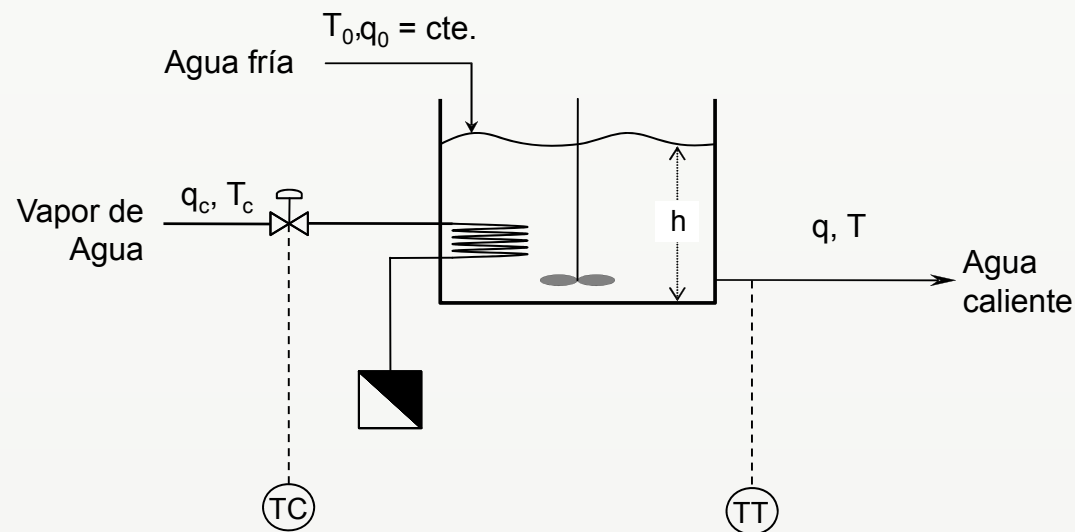
➤ Sistema de control cerrado o automático:

- ❑ El controlador está conectado al proceso
- ❑ Señal de salida del controlador: calculada por éste en función de la ley de control implementada en el mismo
- ❑ Se emplea durante el funcionamiento normal de una planta

Introducción - Control de Procesos

➤ Sistema de control abierto o manual

- ❑ El controlador no está conectado al proceso
- ❑ Por tanto, la acción correctora del controlador NO origina un cambio en la variable manipulada
- ❑ Actuación sobre el proceso: a través del controlador, realizada por el operador
- ❑ El operador cambia manualmente la señal que sale del controlador hacia el elemento final de control
- ❑ Se emplea en el arranque y parada de una planta



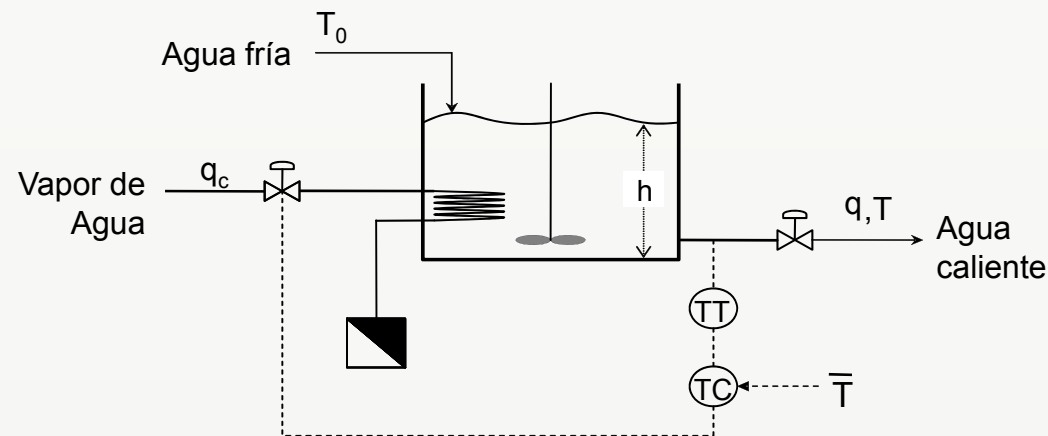
Introducción - Control de Procesos

➤ Clasificación de sistemas de control

En función del N° de salidas controladas/N° de entradas manipuladas:
SISO, MIMO

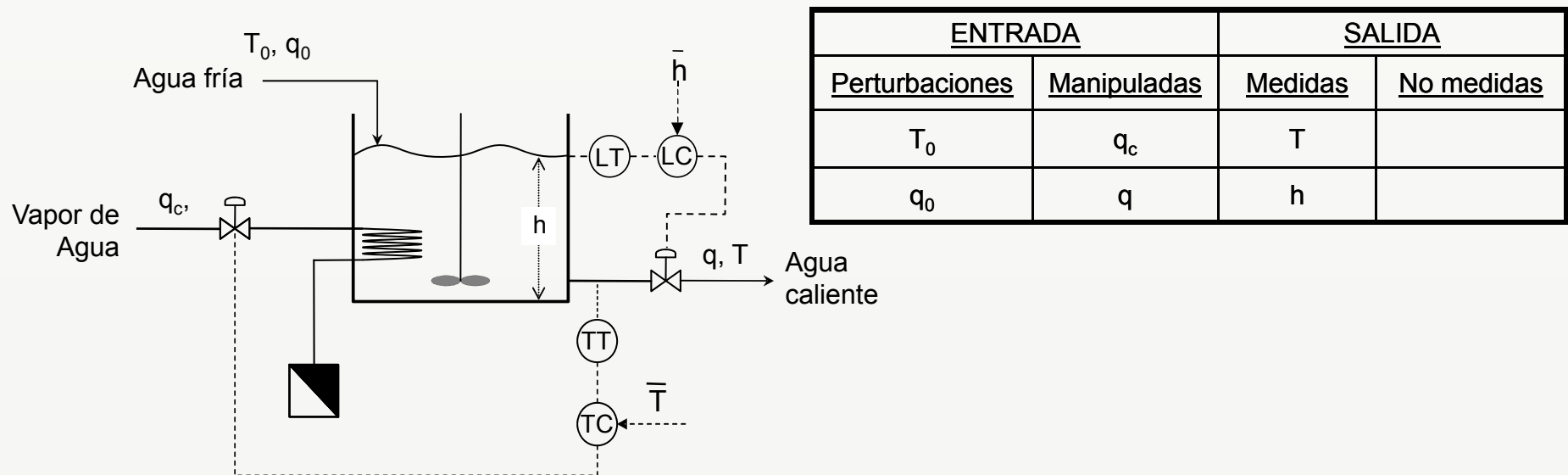
❑ Configuración de control **SISO** (single-input/single output)

- Único objetivo de control
- Ejemplo: mantener la temperatura de salida del agua en el valor deseado



Introducción - Control de Procesos

- ❑ Configuración de control **MIMO** (multiple-input/multiple output)
 - Más de un objetivo de control
 - Manipulación de más de una variable
 - Mayoría de los procesos industriales
 - Ejemplo configuración control MIMO tanque agitado con calefacción.
 - Mantener la temperatura de salida en el valor deseado
 - Mantener el nivel del tanque en el valor deseado para evitar que rebose (peligro) o que quede al descubierto el serpentín (daño a equipos)



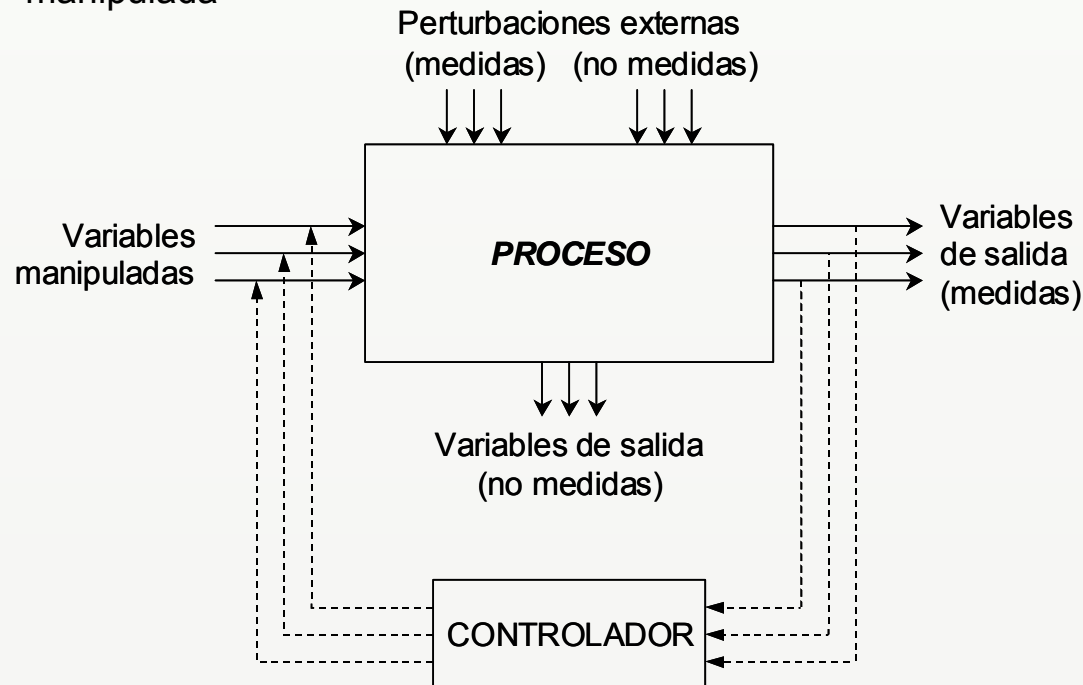
Introducción - Control de Procesos

Configuraciones habituales de control en los procesos químicos

En realimentación, “feedback”; anticipativo, “feedforward”

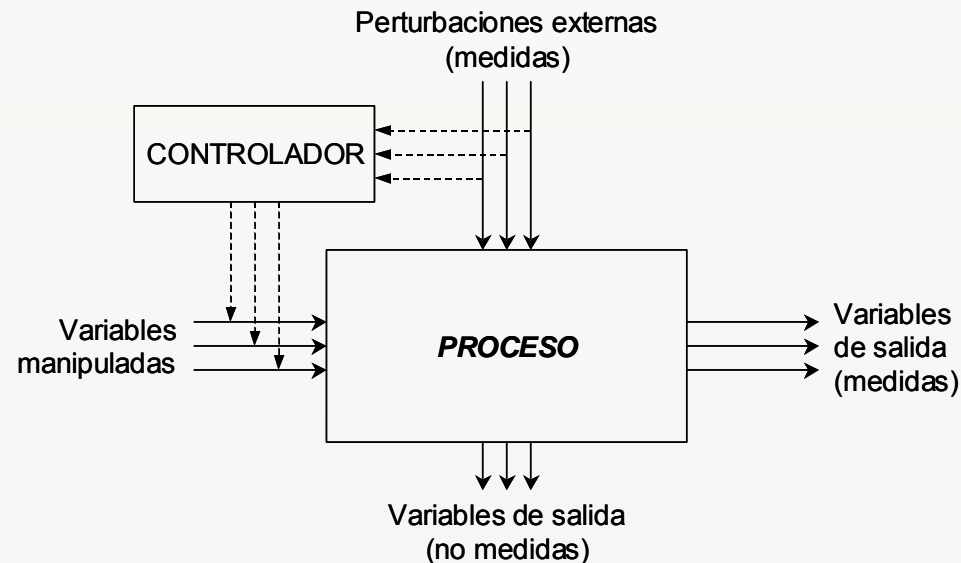
➤ Control en retroalimentación (“feedback”):

- ❑ Objetivo: mantener las variables controladas y medidas en el punto de consigna
- ❑ Configuración: medida directa de la variable controlada para actuar sobre la variable manipulada



Introducción - Control de Procesos

- Configuración de control en adelanto o anticipativo (“feedforward”):
 - ❑ Objetivo: mantener los valores de las variables de salida en los valores deseados
 - ❑ Configuración: usa medidas directas de las perturbaciones para ajustar los valores de las variables manipuladas
 - ❑ Características:
 - NO se actúa sobre el proceso en función del error observado en la variable controlada
 - NO se espera a que se produzca el error para empezar a compensar
 - Se actúa desde el momento en que se detecta el cambio en la variable de perturbación

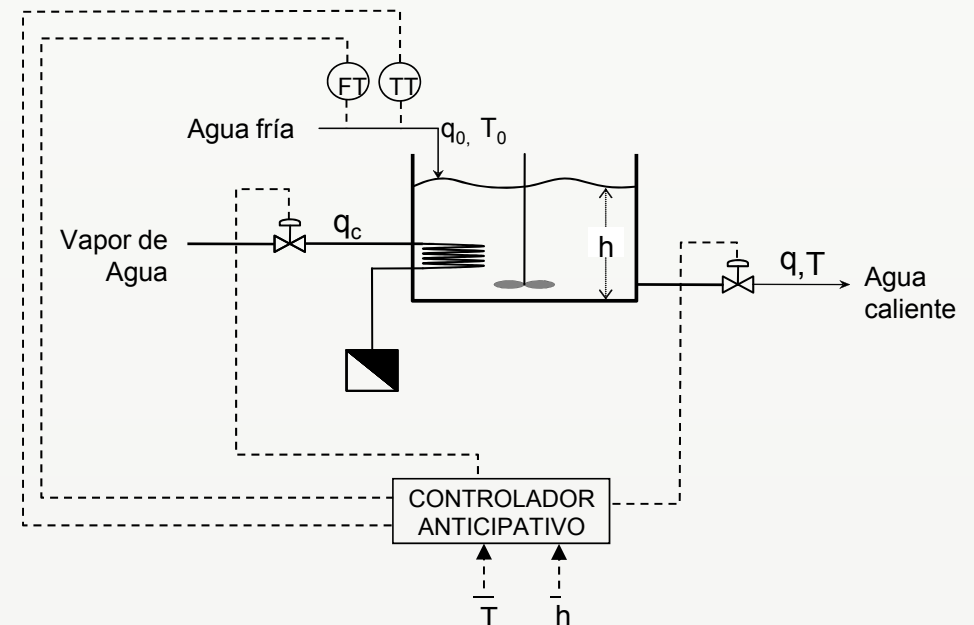
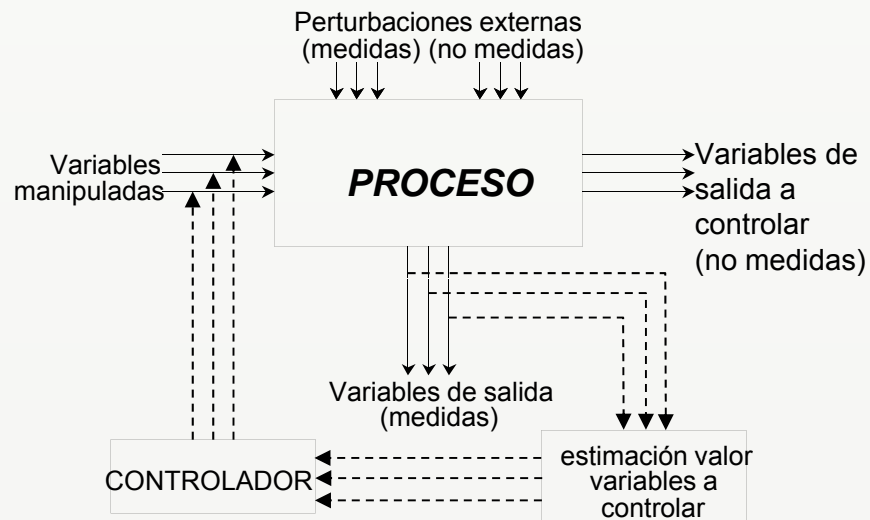


Introducción - Control de Procesos

□ Ejemplo: Configuración de control anticipativo en el sistema tanque agitado con calefacción

- Objetivos:
 - Mantener la temperatura de salida en el valor deseado
 - Mantener el nivel del tanque en el valor deseado

<u>ENTRADA</u>		<u>SALIDA</u>	
<u>Perturbaciones</u>	<u>Manipuladas</u>	<u>Medidas</u>	<u>No medidas</u>
T_0 (medida)	q_c		T
q_0 (medida)	q		h



Introducción - Control de Procesos

Diseño de un sistema de control

➤ Puntos importantes

- ❑ Debe realizarse al mismo tiempo que el diseño de la planta
- ❑ Si se hace a posteriori:
 - puede ser un proceso difícil de controlar
 - o difícil de alcanzar un buen control a coste razonable
- ❑ Cuestiones clave a la hora de diseñar una planta química:
 - Que el proceso responda rápidamente a cambios en las variables manipuladas
 - Que la frecuencia (n°) y magnitud (valor) de las perturbaciones sea reducida

Introducción - Control de Procesos


➤ Fases de diseño de un sistema de control:

1. Definir los objetivos de control
2. Identificar las variables medidas y las manipuladas
3. Seleccionar la configuración del sistema de control:
 - Lazos simples regulación, Lazos en cascada
 - Control anticipativo en ciertas perturbaciones
 - Emparejamiento variables a controlar- variables manipuladas
4. Especificar: Instrumentos de medida, Controladores, Elementos finales de control e instrumentación ofertada
5. Diseño de los controladores

Introducción - Control de Procesos

Niveles de control de procesos

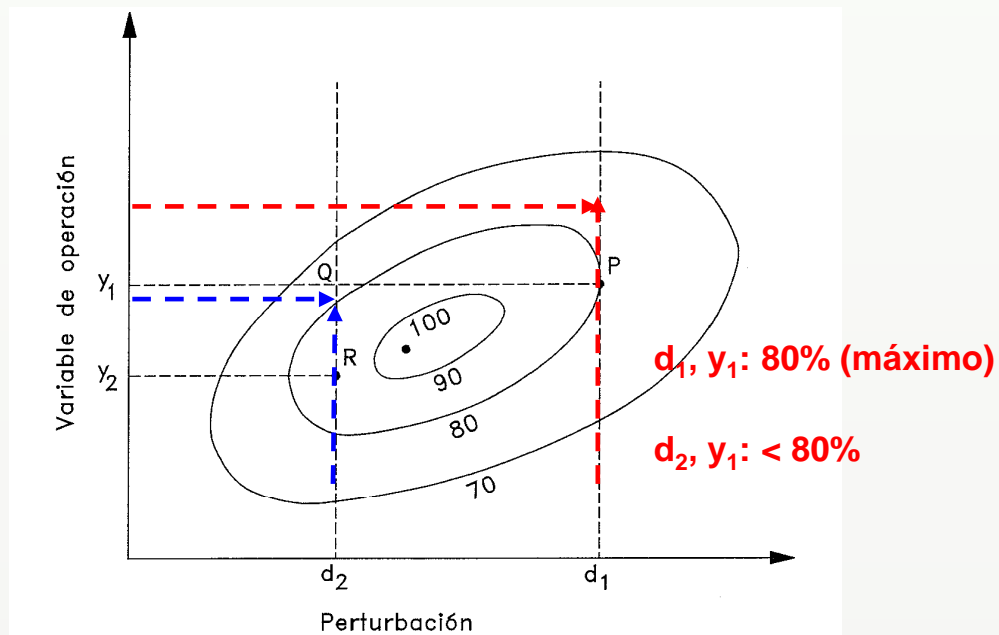
- Planta química:
 - Compuesta de varias unidades: reactores, separadores, cambiadores de calor, tanques, bombas, compresores,....interconectadas
 - Corrientes procedentes de una unidad: alimento para la siguiente
 - Tendencia actual: maximizar el aprovechamiento de materias primas y energía
 - Cada unidad en sí misma: compleja
 - Gran número de variables de entrada y salida
 - Relación entre variables controladas y manipuladas: compleja

 - En función del objetivo de control deseado en una planta química: Sistemas de control más o menos complejos:
 - Control regulatorio básico (CRB)
 - Control regulatorio avanzado (CRA)
 - Control multivariable (CMV)
 - Optimización en línea
-  **Objetivos de control más ambiciosos**

Introducción - Control de Procesos

➤ Optimización en línea:

- ❑ Optimizar un proceso: determinar las condiciones de operación con las que se obtiene el máximo beneficio económico
- ❑ Condiciones de operación de una planta: se fijan ajustando los puntos de consigna de los lazos de control
- ❑ Óptimo: a cada valor de la variable de perturbación le corresponde un valor de la variable controlada de operación



$d_1, y_1: 80\%$ (máximo)

$d_2, y_1: < 80\%$

Curvas de nivel de rendimiento económico

Introducción - Control de Procesos

□ Sistema de optimización en línea:

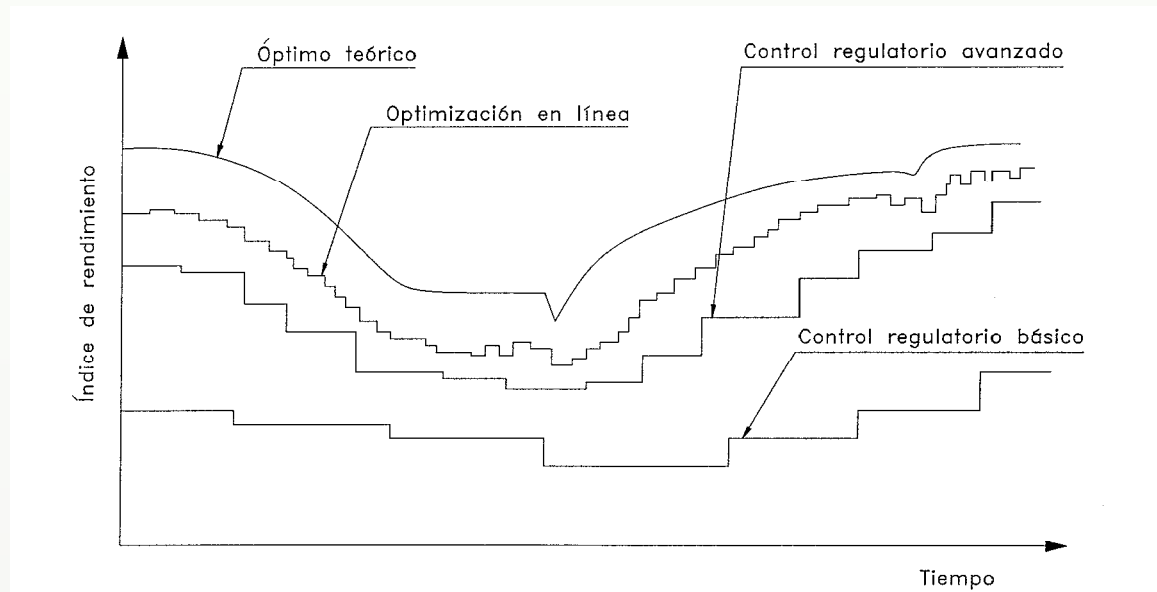
- Recibe información en tiempo real de las variables externas
- Actúa en tiempo real sobre los puntos de consigna de las variables controladas para que el proceso esté continuamente operando en condiciones óptimas
- Requiere:
 - Ordenador
 - Modelo del proceso y una función beneficio implementado en el ordenador

Introducción - Control de Procesos

- Eficiencia de los distintos niveles de control de un proceso
 - ❑ Óptimo teórico: Se alcanza si:
 - El modelo del proceso es perfecto
 - Se dispone de información perfecta en tiempo real de las perturbaciones
 - Se pudiera actuar de forma perfecta sobre el proceso
 - ❑ Optimización en línea:
 - Frecuencia de actuación muy elevada. Depende de:
 - Frecuencia con que se recibe información de las variables de perturbación
 - Del tiempo de cálculo para calcular el óptimo
 - Buen seguimiento del óptimo teórico
 - ❑ CRA: La frecuencia de las correcciones es menor
 - ❑ CRB: Reajustes poco frecuentes
 - Reajustes conservadores para evitar las oscilaciones propias de este tipo de control

(oscilaciones: pueden causar la violación de las condiciones de seguridad y de las especificaciones de calidad)

Introducción - Control de Procesos



Introducción - Control de Procesos