

# Control Automático 1

Profesor: Julio Braslavsky  
Auxiliar: Virginia Mazzone

**Código:** CAUT1  
**Característica:** Núcleo Básico  
**Clases:** Lunes y Miércoles de 19 a 22  
**Consultas:** Martes y Jueves de 15 a 18  
**Email:** [jbrasla@unq.edu.ar](mailto:jbrasla@unq.edu.ar)  
**Oficina:** 9.5, Automatización y Control, UNQ F. Varela  
**Teléfono:** 011.4275.7714 / 7717 (int. 220)

# Panorama de la clase

1. Información práctica sobre la asignatura
2. Motivación a Ingeniería de Control
3. Tipos de diseños de sistemas de control
4. Integración de sistemas
5. Ejemplo: control *on-off*

# Información práctica sobre CAUT1

Esta asignatura es una introducción al control automático. Se presentan principios, conceptos y técnicas fundamentales para el análisis y diseño de sistemas de control.

Los sistemas que estudiaremos son lineales e invariantes en el tiempo, descritos por su función transferencia en transformada Laplace. Nos restringiremos a sistemas de **una entrada y una salida** (SISO: *single-input single-output*).

**Los objetivos de la asignatura:** Aprender a

- Analizar y diseñar sistemas de control para plantas SISO.
- Usar herramientas de software moderno para analizar y resolver problemas de diseño de control.

**Conocimientos previos:** Señales y sistemas, Procesos y máquinas industriales 1.

**Régimen de promoción:**

- Aprobar los 3 Parciales teórico-prácticos (75 % de la nota final)
- Aprobar los 2 Laboratorios (15 % de la nota final)
- Optativos: 4 o 5 Trabajos prácticos (10 % de la nota final)

**Aprobar** significa obtener un rendimiento no menor al 60 %.

**Recuperatorios:** como máximo

- 2 de los 3 parciales
- 1 de los 2 laboratorios

## **Software:** MATLAB + SIMULINK + CONTROL SYSTEMS TOOLBOX

### **Libros:**

- ★ Goodwin, Graebe & Salgado, *Control System Design*. Prentice Hall, 2001.
- Ogata, *Ingeniería de Control Moderna*, Prentice Hall, 1980.
- Franklin, Powell & Emami-Naeini, *Control de sistemas dinámicos con realimentación*, Addison-Wesley, 1991.

### **Material en internet:**

- <http://iacci.unq.edu.ar/caut1>
- <http://csd.newcastle.edu.au/control>

# Temas

1. Introducción al control automático
2. Principios de realimentación
3. Modelos, señales y sistemas
4. Análisis de sistemas realimentados
5. Control PID clásico
6. Diseño básico de controladores SISO
7. Consideraciones prácticas de diseño
8. Diseño avanzado de controladores SISO

# Introducción al Control Automático

- Motivación a Ingeniería de Control
- Tipos de diseños de control
- Integración de sistemas
- Ejemplo: control *on-off*

# Motivación a Ingeniería de Control

El control por realimentación tiene una larga historia que comenzó con el deseo primordial de los seres humanos de dominar los materiales y las fuerzas de la naturaleza en su provecho.

Los primeros ejemplos de dispositivos de control incluyen los sistemas de regulación de relojes y los mecanismos para mantener los molinos de viento orientados en la dirección del viento.

Las plantas industriales modernas poseen sofisticados sistemas de control que son cruciales para su operación correcta.





Una planta industrial moderna: una sección de la refinería de petróleo austríaca OMV.

La ingeniería de control ha tenido un enorme impacto en nuestra sociedad.

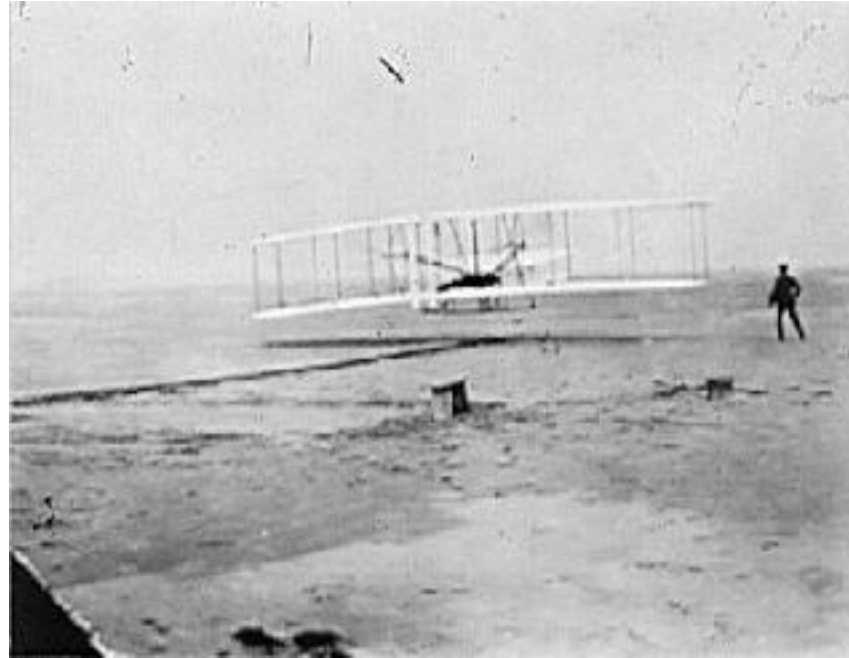
Åström cita a Wilbur Wright (1901):

« *Sabemos como construir aeroplanos.* »

« *Sabemos como construir motores.* »

« *El no saber cómo **equilibrar** y **maniobrar** aún desafía a los estudiantes del problema de vuelo.* »

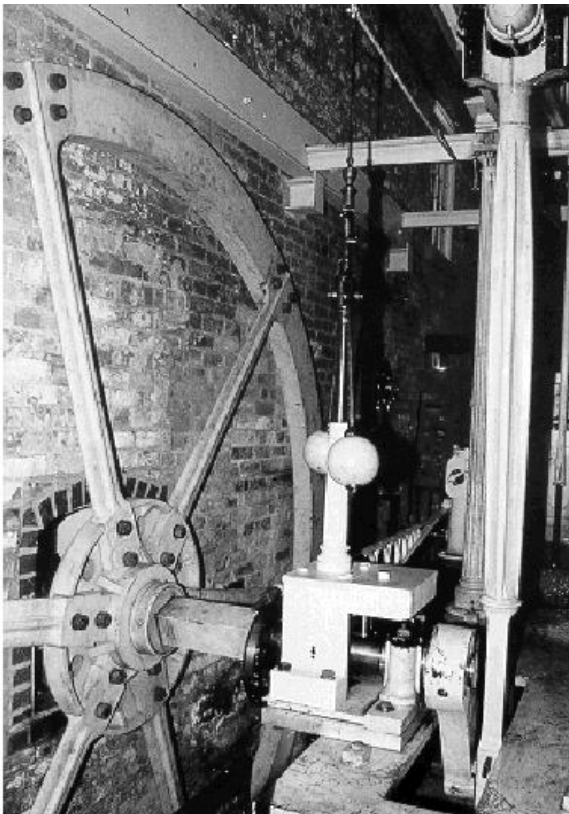
« *Cuando esta única dificultad sea resuelta, la era del vuelo habrá arribado, ya que todas las demás dificultades son de menor importancia.* »



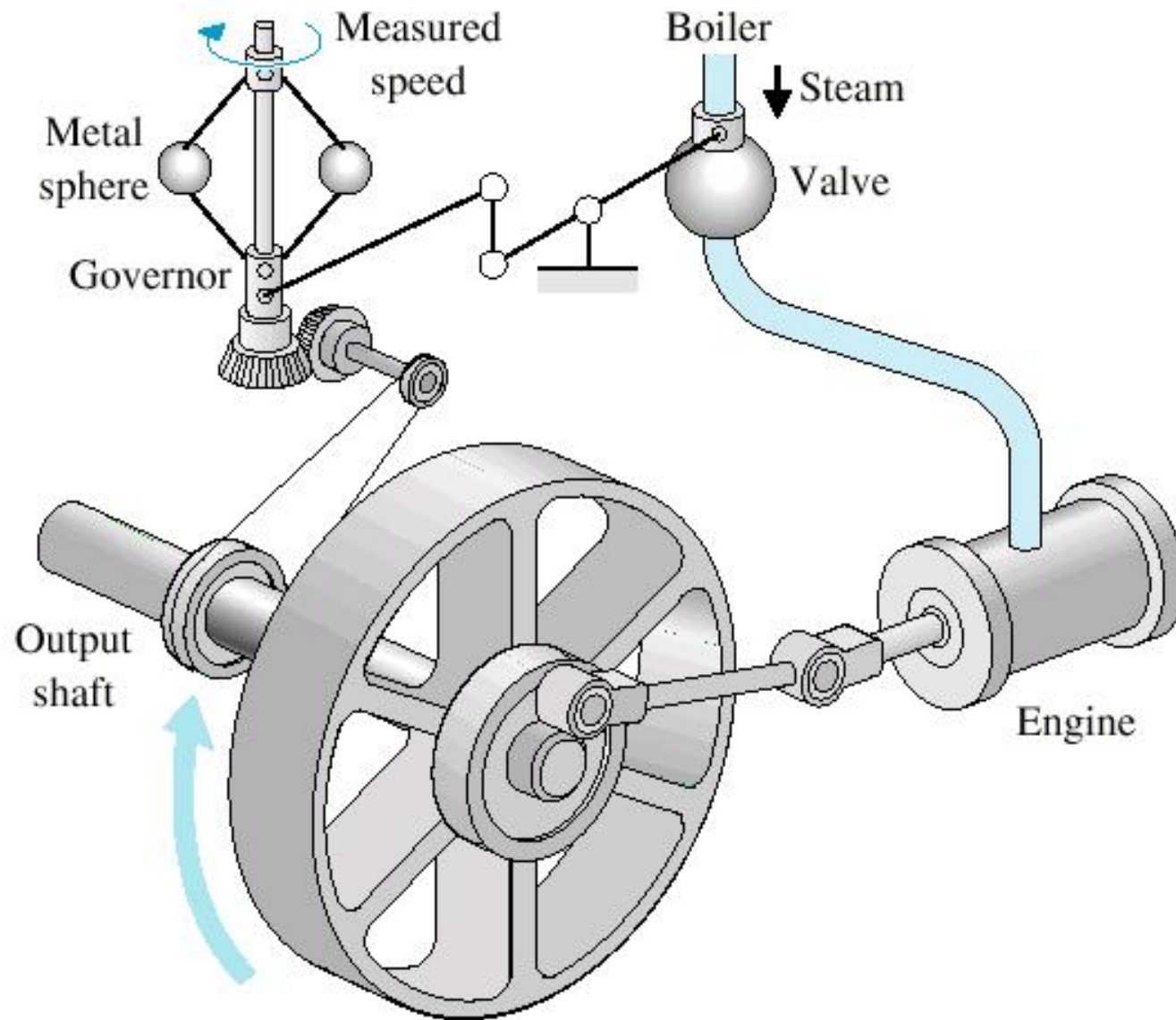
¡Los hermanos Wright resolvieron cómo **equilibrar** y **manio-  
brar** y volaron el *Kitty Hawk* el 17 de diciembre de 1903!

De hecho, ninguno de los sistemas modernos (aviones, trenes de alta velocidad, reproductores de CD, etc.) podrían operar sin la ayuda de sofisticados sistemas de control.

Por ejemplo, el **regulador centrífugo de Watt** tuvo un impacto fundamental durante la revolución industrial.



La fotografía muestra un regulador centrífugo de Watt usado en una máquina de vapor en una fábrica de telas cerca de Manchester, en el Reino Unido. Manchester fue el centro de la revolución industrial. La fábrica de telas está aún en operación.



## Regulador centrífugo de Watt

(Figura de Dorf & Bishop, *Modern Control Systems*, 9a Ed.)

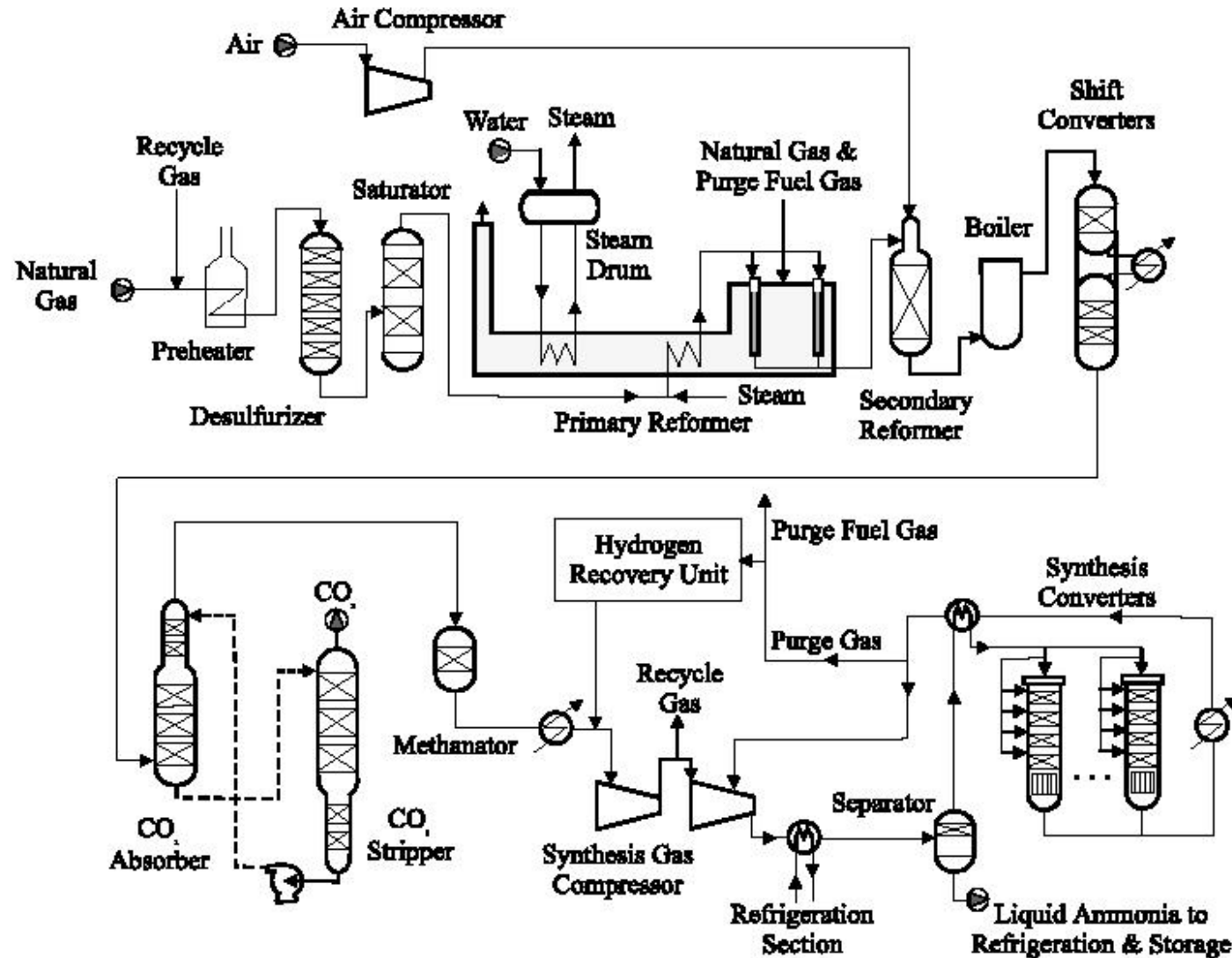
## ¿Dónde se usa control?

- Procesos industriales
- Transporte
  - Autos
  - Trenes
  - Barcos
  - Aviones
  - Naves espaciales
- Generación de energía
- Transmisión de energía
- Mecatrónica
- Instrumentación
- Artefactos electrónicos
- Economía
- Medicina

Un mejor control es la clave tecnológica para lograr

- productos de mayor calidad
- minimización de desperdicios
- protección del medio ambiente
- mayor rendimiento de la capacidad instalada
- mayores márgenes de seguridad

Todas estos elementos son relevantes en el control de una planta integrada como la planta de amoníaco de la figura.



# Tipos de diseños de control

El diseño de sistemas de control también toma distintas formas, cada una de las cuales requiere enfoques ligeramente distintos.

L@s ingenier@s de control deben resolver problemas en las distintas etapas de la «vida» de un sistema de control, por ejemplo:

- Diseño inicial «de base»
- Construcción y ajuste
- Refinamiento y actualización
- Estudio «forense»



# Integración de sistemas

El éxito en ingeniería de control se apoya en tener un enfoque «global» de los problemas. Algunos de los elementos a tener en cuenta:

- la planta, el proceso a ser controlado
- los objetivos
- los sensores
- los actuadores
- las comunicaciones
- el cómputo
- la configuración e interfaces
- los algoritmos
- las perturbaciones e incertidumbres

# La planta

La estructura física de la planta es una parte intrínseca del problema de control.

Por lo tanto, los ingenieros de control deben estar familiarizados con la «física» del proceso bajo estudio.

Esto incluye conocimientos básicos de balances de energía, balances de masas, y flujo de materiales en el sistema.

# Objetivos

Antes de diseñar sensores, actuadores, o configuraciones de control, es importante conocer los objetivos de control.

Estos incluyen

- Qué es lo que se pretende alcanzar (reducción de energía, mayor producción, etc.).
- Qué variables deben controlarse para alcanzar los objetivos.
- Qué nivel de calidad se necesita (precisión, velocidad, etc.).

# Los sensores

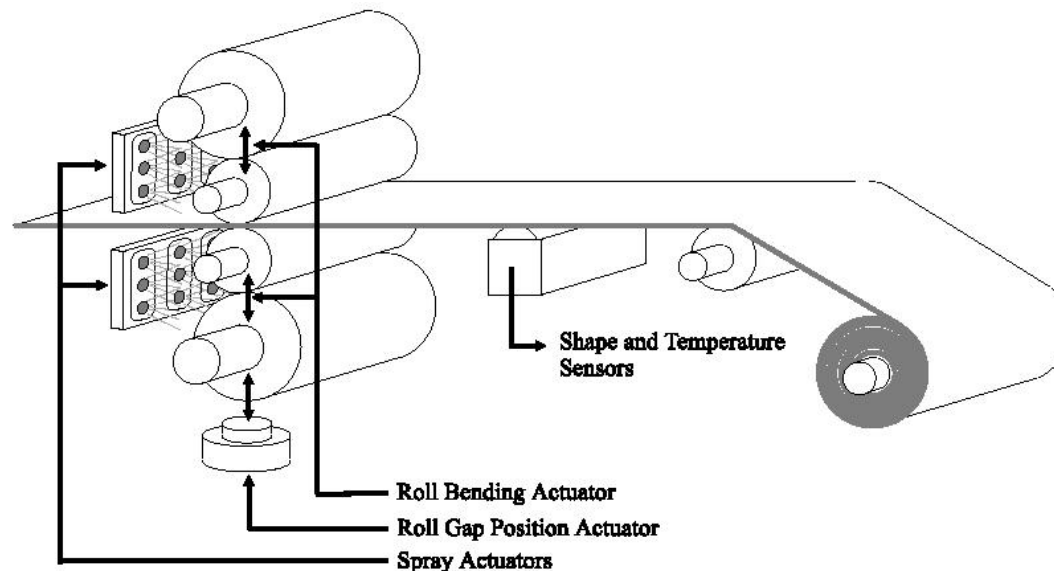
Los sensores son los *ojos* del sistema de control, que le permiten *ver* qué está pasando. De hecho, algo que suele decirse en control es:

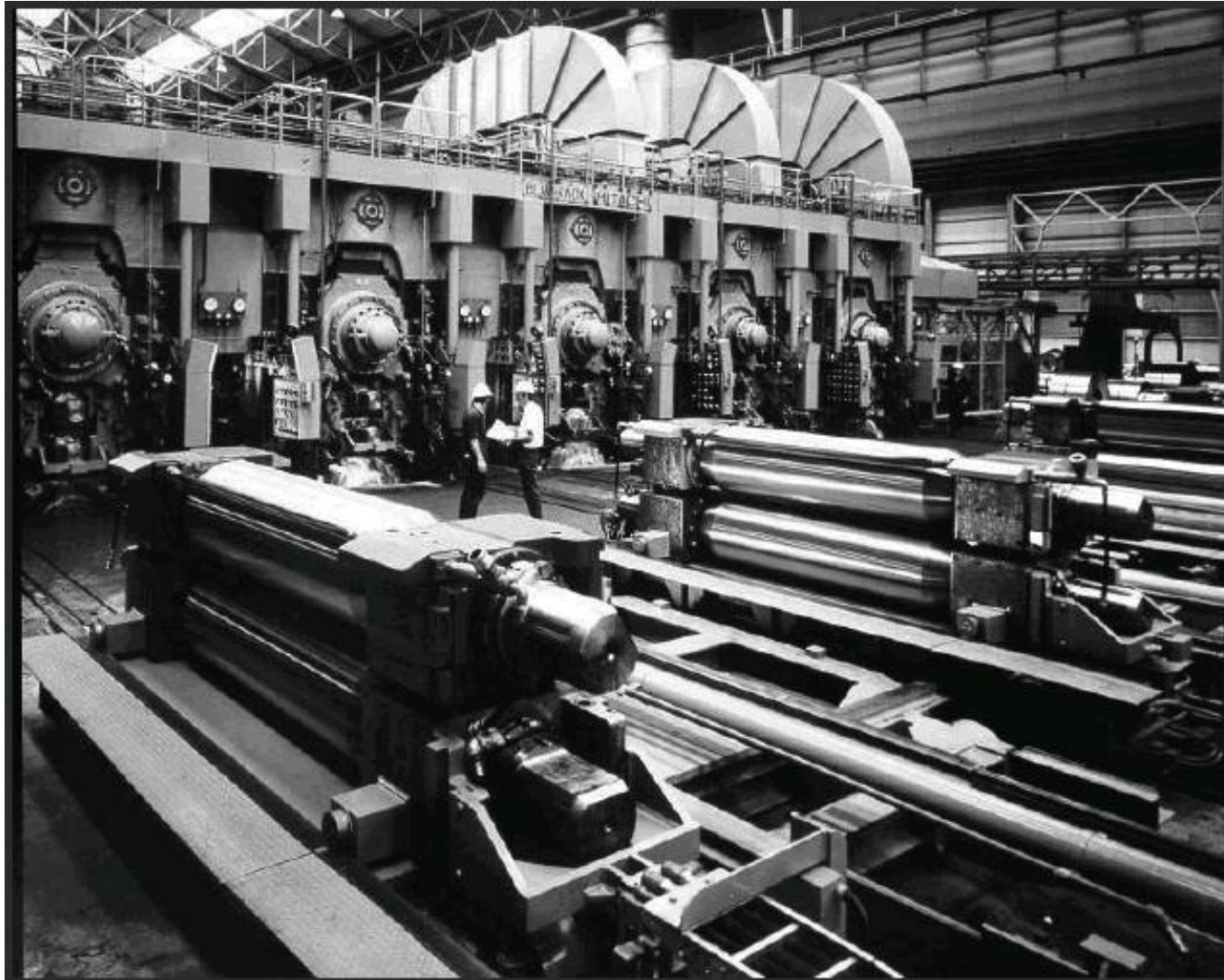
*Si se puede medir, se puede controlar.*

# Los actuadores

Una vez ubicados los sensores para informar el *estado* de un proceso, sigue determinar la forma de *actuar* sobre el sistema para hacerlo ir del estado actual al estado deseado.

Un problema de control industrial típicamente involucrará varios actuadores distintos (ejemplo: tren de laminación).





Tren de laminación moderno.

# Las comunicaciones

La interconexión de sensores y actuadores requieren el uso de sistemas de comunicación.

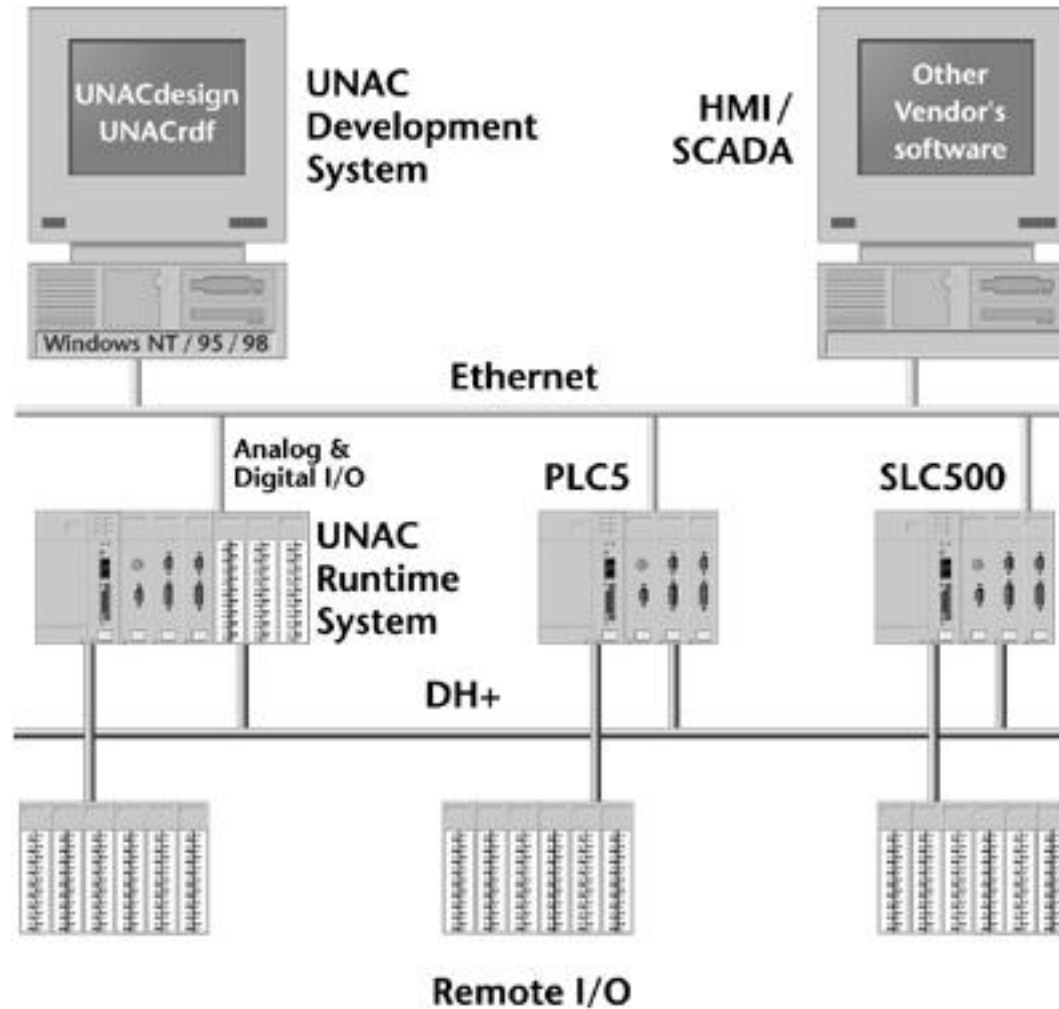
Una planta típica va a tener miles de señales diferentes que deberán ser transmitidas largas distancias. Así, el diseño de sistemas de comunicación y sus protocolos asociados es un aspecto cada vez más importante de la ingeniería de control moderna.

# El cómputo

En los sistemas de control modernos la interconexión de sensores y actuadores se hace invariablemente a través de una computadora de algún tipo. Por lo tanto, los aspectos computacionales son necesariamente una parte del diseño general.

Los sistemas de control actuales usan una gama de dispositivos de cómputo, que incluyen DCS (sistemas de control distribuido), PLC (controladores lógicos programables), PC (computadoras personales), etc.





UNAC-PC: un entorno para implementación rápida de control de procesos.

# Configuración e interfaces

La cuestión de qué se conecta con qué no es trivial en el diseño de un sistema de control. Podría pensarse que lo mejor siempre sería llevar todas las señales a un punto central, de manera que cada acción de control esté basada en información completa (el denominado *control centralizado*).

Sin embargo, esta raramente es la mejor solución en la práctica. De hecho, hay muy buenas razones por las que no conviene llevar todas las señales a un punto común. Algunas obvias son complejidad, costos, limitaciones en tiempo de cómputo, mantenimiento, confiabilidad, etc.

## Típica jerarquía de control

<b>Nivel</b>	<b>Descripción</b>	<b>Meta</b>	<b>Tiempos</b>	<b>Herramienta de diseño típica</b>
4	Optimización global de la planta	Satisfacer los pedidos de los clientes y organizar el suministro de materiales	C/día	Optimización estática
3	Optimización en régimen permanente a nivel unidad operacional	Lograr la operación eficiente de una unidad (e.g., columna de destilación)	C/hora	Optimización estática
2	Control dinámico a nivel unidad operacional	Lograr los puntos de operación especificados en el nivel 3 con rápida recuperación de perturbaciones	C/minuto	Control multivariable (e.g., control predictivo basado en modelo)
1	Control dinámico a nivel de actuador	Lograr los caudales de flujo especificados en el nivel 2 mediante manipulación de los actuadores disponibles	C/segundo	Control monovariable (e.g. PID)

# Algoritmos

Finalmente, llegamos al *corazón* de la ingeniería de control: los algoritmos que conectan sensores y actuadores. Es muy fácil subestimar este aspecto final del problema.

Como ejemplo simple de nuestra experiencia diaria, consideremos el problema de jugar tenis a primer nivel internacional. Claramente, se necesita buena visión (sensores) y fuerza muscular (actuadores) para jugar tenis en este nivel, pero estos atributos no son suficientes. De hecho, la coordinación entre ojos y brazo es también crucial para el éxito.

En resumen:

*Los sensores proveen los ojos, y los actuadores los músculos; la teoría de control provee la destreza.*

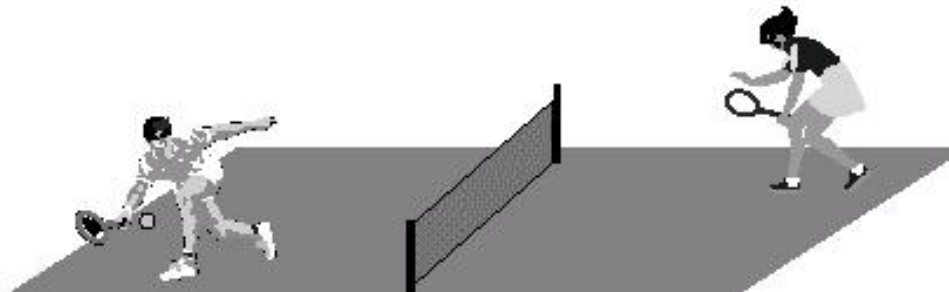
- **Mejores sensores** dan mejor visión



- **Mejores actuadores** dan más músculos



- **Mejor control** da más destreza al combinar *sensores* y *actuadores* de forma más inteligente



# Perturbaciones e incertidumbre

Uno de los factores que hacen a la ciencia del control interesante es que todos los sistemas reales están afectados por ruido y perturbaciones externas.

Estos factores pueden tener un impacto significativo en el rendimiento del sistema. Como ejemplo simple, los aviones están sujetos a ráfagas de vientos y pozos de aire; los controladores de crucero de los automóviles deben adecuarse a diferentes condiciones de la ruta y diferentes cargas del vehículo.

# Homogeneidad

Finalmente, todos los sistemas interconectados, incluyendo sistemas de control, sólo pueden ser tan buenos como el elemento más débil.

Las consecuencias de este hecho en el diseño de control son que debe tenderse a que todos los componentes (planta, sensores, actuadores, comunicaciones, cómputo, interfaces, algoritmos, etc.) sean de una precisión y calidad aproximadamente comparable.

## Análisis costo-beneficio

Para poder avanzar en ingeniería de control (como en muchas otras disciplinas) es importante saber justificar los gastos asociados. Esta justificación usualmente toma la forma de un **análisis costo-beneficio**. Las etapas típicas incluyen:

- Evaluación de un rango de oportunidades de control.
- Selección de una lista corta a examinar en más detalle.
- Decidir entre un proyecto de alto impacto económico o al medio ambiente.
- Consultar personal adecuado (gerencial, de operación, de producción, de mantenimiento, etc.).
- Identificar los puntos claves de acción.
- Obtener información de desempeño de un caso base para comparación ulterior.
- Decidir modificaciones a las especificaciones de operación.



- Actualizar actuadores, sensores, etc.
- Desarrollar de algoritmos.
- Probar algoritmos vía simulación.
- Probar de algoritmos sobre la planta usando sistemas de desarrollo rápido de prototipos.
- Obtener información de desempeño para comparar con el caso base.
- Realizar la implementación definitiva.
- Obtener información de desempeño final alcanzado.
- Realizar el informe final del proyecto.

# Resumen

- La Ingeniería de Control está presente en virtualmente todos los sistemas modernos de ingeniería.
- El control es una tecnología a menudo «invisible», ya que el éxito mismo de su aplicación la vuelve indetectable.
- El control es la clave tecnológica para lograr
  - productos de mayor calidad
  - minimización de desperdicios
  - protección del medio ambiente
  - mayor rendimiento de la capacidad instalada
  - mayores márgenes de seguridad
- El control es multidisciplinario (incluye sensores, actuadores, comunicaciones, cómputo, algoritmos, etc.)
- El diseño de control tiene como meta lograr un nivel de rendimiento deseado frente a perturbaciones e incertidumbre.