

Tema 1. Introducción a la Automática y a los Sistemas de control

Índice

- Definiciones de Automática
- Sistemas de control: Tipos y aplicaciones
- Historia de los Sistemas de control
- Elementos de un Sistema de control
- Representación y clasificación de Sistemas de control

Conceptos básicos

- ✓ Según el diccionario, la **automática** o “**regulación automática**” es la ciencia que estudia la **automatización y sus aplicaciones**, en especial las técnicas desarrolladas con el fin de reducir y eliminar la intervención humana en la producción o el funcionamiento de bienes y servicios.
- ✓ Según la **R.A.E.**, **automática** es la “ciencia que trata de sustituir en un proceso el operador humano por dispositivos mecánicos o electrónicos”.



Definición de automática

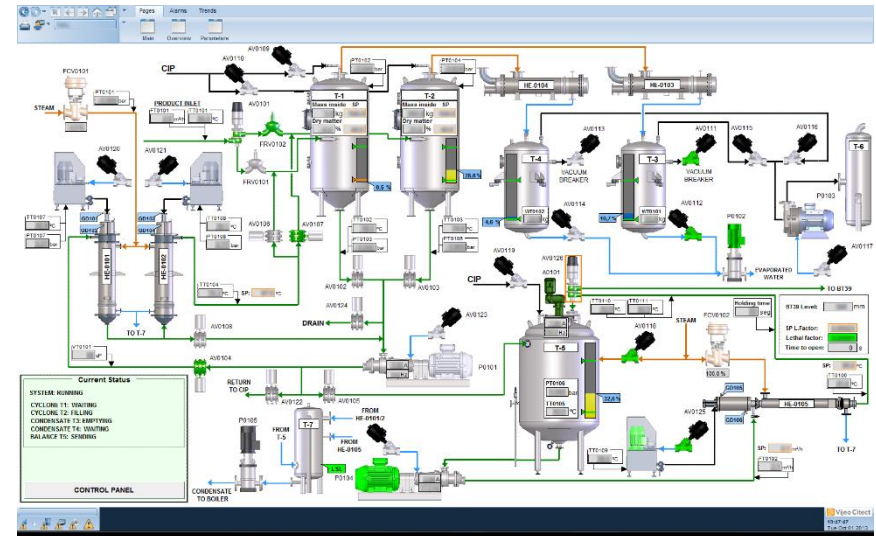
- ✓ Desde un punto de vista más específico, la **automática** es la **ingeniería de los sistemas de control**.
- ✓ Es una **rama de la ingeniería** que se ocupa del **control de un proceso en un estado determinado**; por ejemplo, mantener la temperatura de una calefacción, el rumbo de un avión o la velocidad de un automóvil en un valor establecido.

*En el contexto de esta asignatura vamos a definir **automática** como...*

Es la ciencia que trata el **modelado matemático, análisis y diseño de los sistemas de control** sobre procesos, para que estos se mantengan estables en su ciclo de trabajo ante cualquier perturbación y respondan según lo esperado ante los estímulos internos y/o externos del sistema.

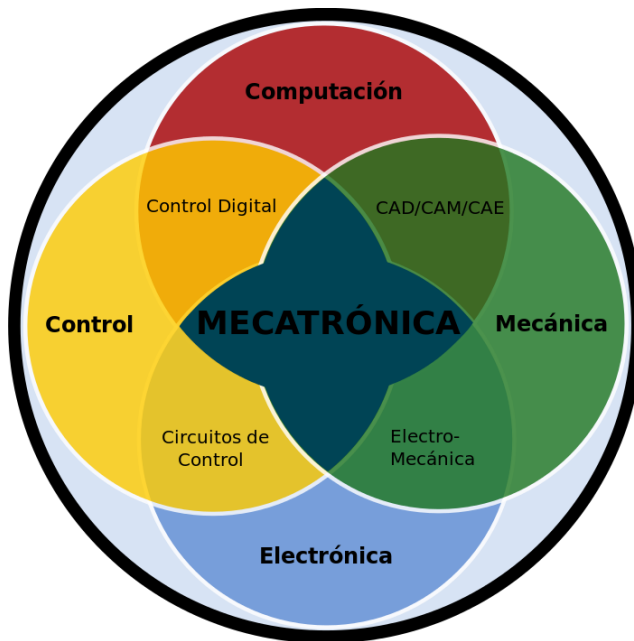
Y entonces, ¿a qué se conoce como automatización?...

- ✓ La automatización (industrial) se puede ver como la aplicación práctica de la automática al control de procesos industriales.
- ✓ Se sirve de la instrumentación de control, autómatas programables (PLC), reguladores industriales, protocolos de comunicaciones industriales, sensores, actuadores...

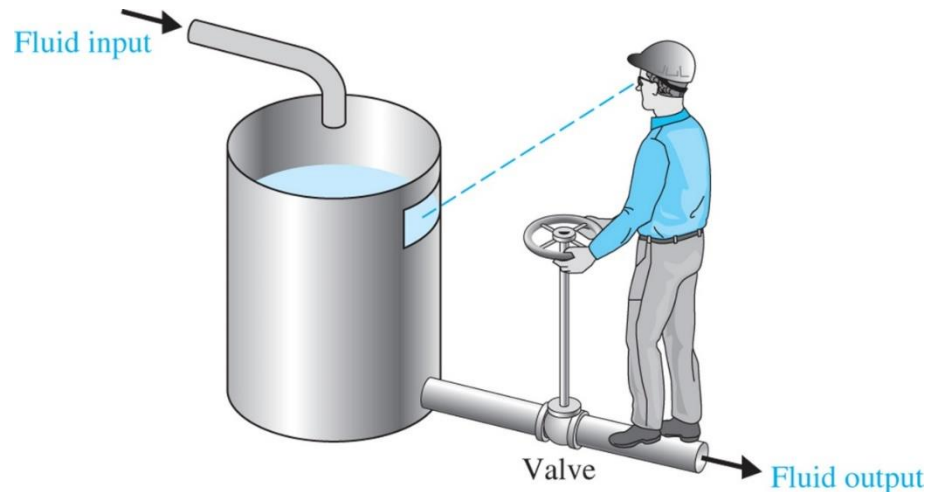
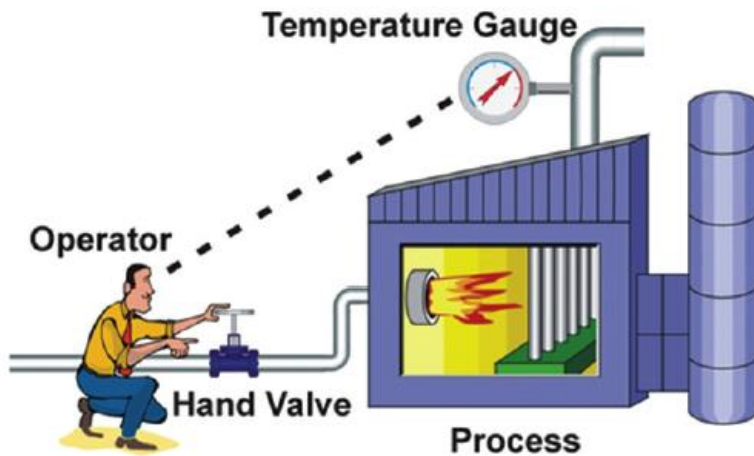


Otros conceptos: Mecatrónica

- ✓ Terminó acuñado en Japón en los años 70.
- ✓ **Mecatrónica** es la “combinación sinérgica de la **ingeniería mecánica de precisión, de la electrónica, del control automático** y de los sistemas para el diseño de productos y procesos”.
- ✓ Unifica disciplinas que han estado **tradicionalmente separadas** para diseñar y desarrollar productos y maquinaria más compleja e integrada.

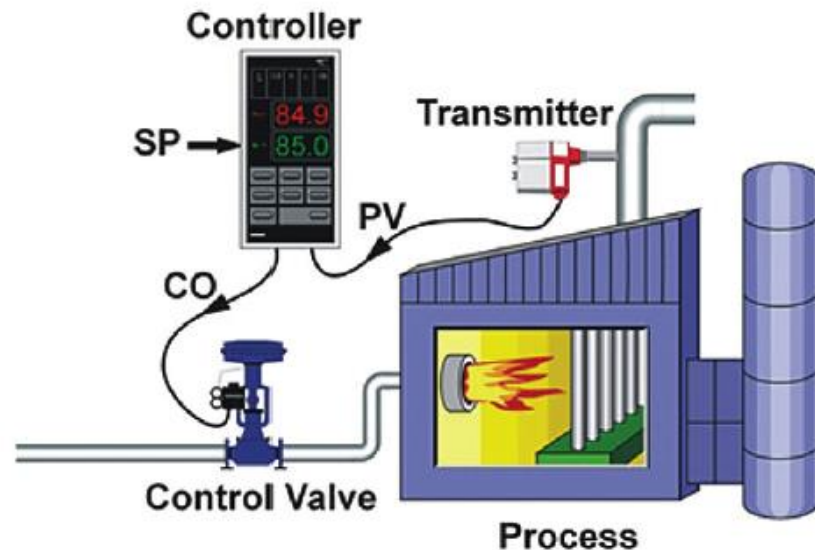
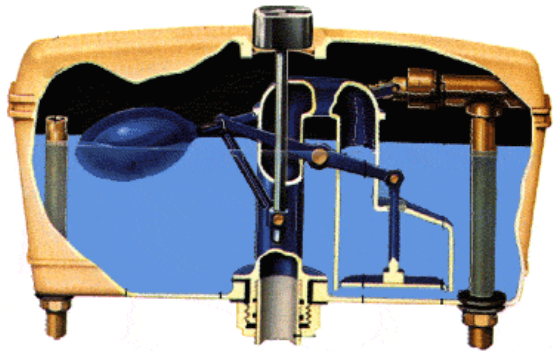


- ✓ Un **sistema de control** es una interconexión de elementos y dispositivos encargados de regular y dirigir el comportamiento de un proceso o planta.
- ✓ En función de la **naturaleza del controlador** se pueden clasificar en:
 - **Sistemas de control manual**: el controlador es un operador humano:



Sistemas de control automático

- **Sistemas de control automático:** El controlador es un dispositivo mecánico, neumático, hidráulico, eléctrico o electrónico.



- **Sistemas de control semiautomático:** Parte de las operaciones se realizan de forma automática y otras las realiza un operador humano.



Ejemplo: Vuelo de un multicóptero (drone) en modo semiautomático.

- El drone mantiene automáticamente su altura y su posición.
- El operador da las órdenes de movimiento y controla la cámara.



Ejemplo: Piloto automático de tres ejes en un helicóptero (ATT mode).

- El piloto automático mantiene los ángulos del helicóptero (alabeo/cabeceo/guiñada).
- El operador (piloto humano) regula esos ángulos para seguir la ruta y mantener la altitud y velocidad de la aeronave.

Sistemas de control. Aplicaciones

Centro de Control Eléctrico (Cecoe) de **Red Eléctrica de España (REE)**. Es el centro de control responsable de la operación y supervisión coordinada en tiempo real de las instalaciones de generación y transporte del sistema eléctrico español.



El Cecoe **controla de forma permanente el estado de la red y sus parámetros eléctricos** mediante una red de telecomunicaciones, **actuando sobre las variables de control para mantener la seguridad y la calidad del suministro** o para restablecer el servicio en caso de que se haya producido un incidente.

- <http://www.ree.es/es/actividades/operacion-del-sistema-electrico/centro-de-control-electrico>



Cabina del Airbus A380. Por primera vez en la historia de la aviación civil, la administración básica de todos los sistemas (hidráulico, motores, eléctricos...) son controlados por un sistema de control de vuelo automatizado.

Sistemas de control. Aplicaciones

Estación Espacial Internacional. El control se realiza desde tierra, 24 horas al día, 7 días a la semana. Las salas de control de la NASA se han dispuesto siempre de modo que varias filas de consolas se ocupan de todos y cada uno de los aspectos de la estación espacial.



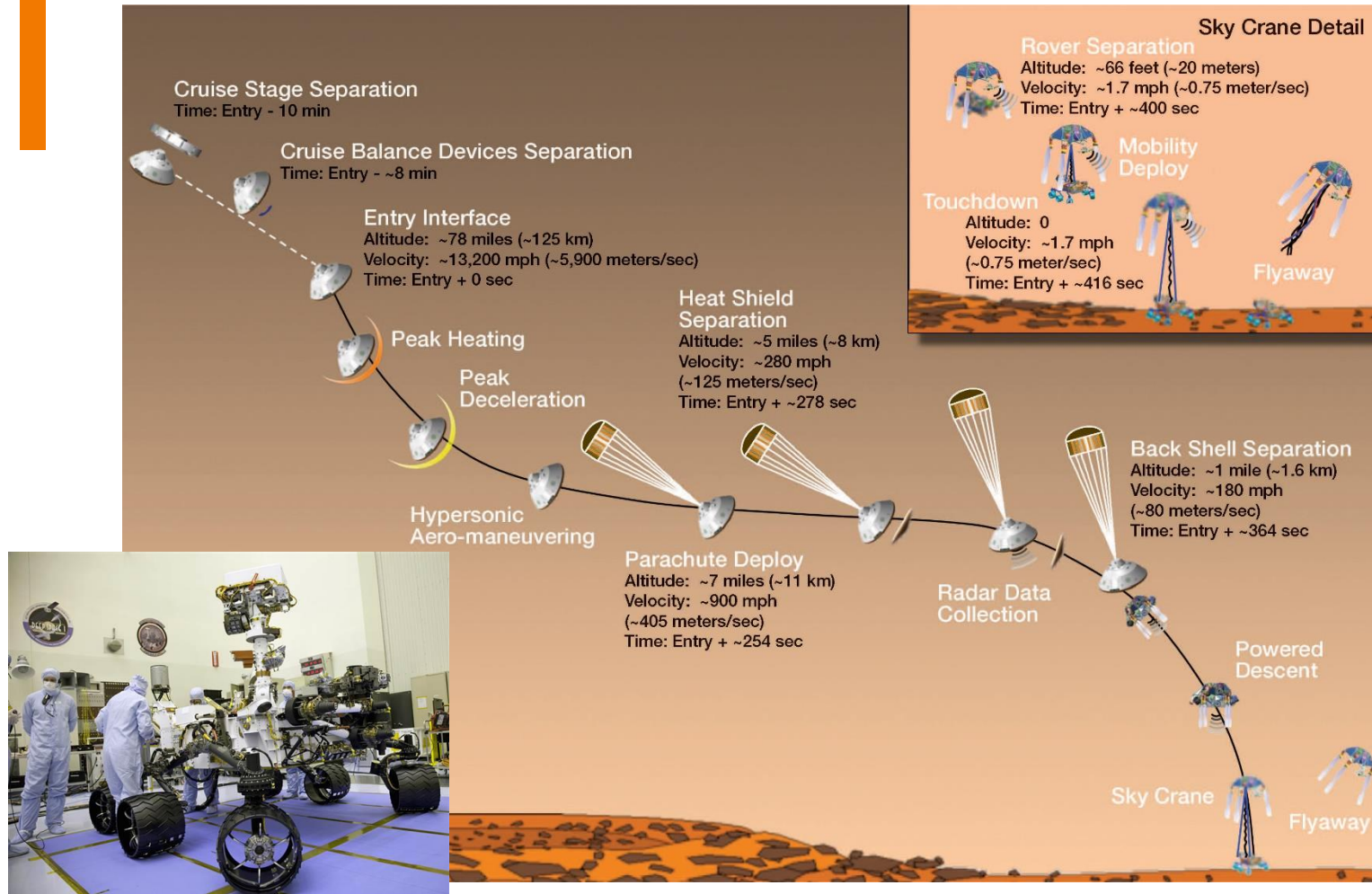
S128E010004

Estación Espacial Internacional (ISS). El centro de control que goza de mayor visibilidad es el que posee la NASA en Houston, pero hay otros distribuidos en otras partes del mundo.

Sala de Control de Vuelo de la ISS en la NASA

Hay consolas para dirigir las salidas extravehiculares, para los momentos en que hay vehículos acoplados, para vigilar los sistemas energéticos, la trayectoria del complejo, la salud de los astronautas, etc.

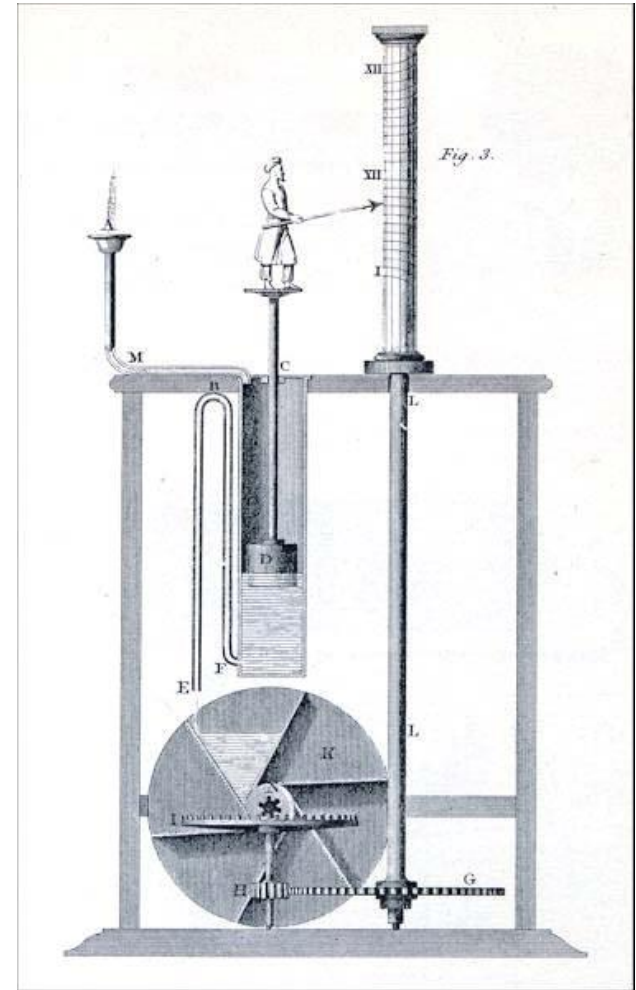
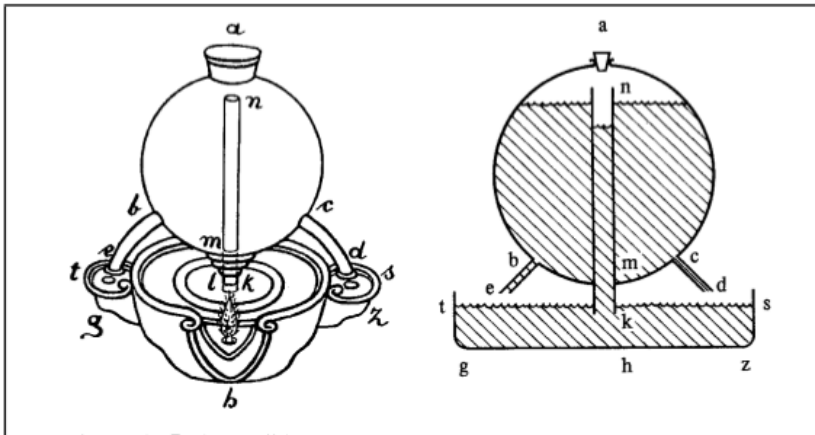




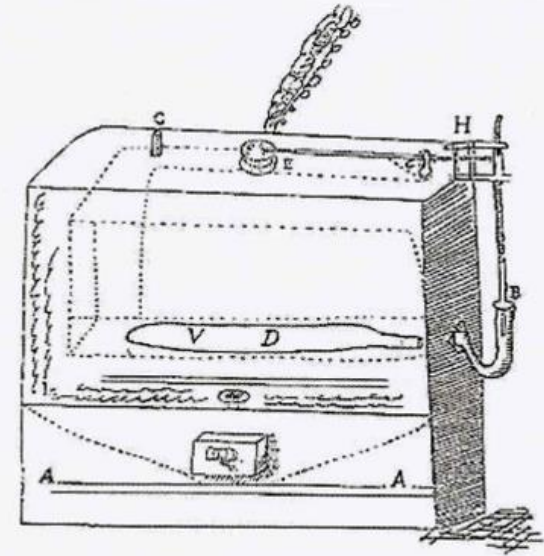
Fase final de la aproximación a la superficie de Marte del Mars Curiosity Rover (2012). Conocida como los “siete minutos de terror”, se considera la maniobra de descenso controlada automáticamente más compleja realizada con éxito por un robot de exploración planetaria. Todo el proceso fue controlado automáticamente por los sistemas embarcados.

https://www.youtube.com/watch?v=Ki_Af_o9Q9s

- **Ctesibio** (inventor y matemático griego de la primera mitad s. III a.c) construyo varios autómatas neumáticos. Destaca su **clepsidra (reloj de agua)**, que usaba un regulador con flotador.
- En el año 250 a.C. su discípulo **Filón de Bizancio** (autor de múltiples obras de mecánica), construyo un **sistema de regulación automático de nivel de una lámpara de aceite**.



- En 1618, **Cornelis Drebbel** (Holanda, 1572-1634) desarrolló una **incubadora** (para pollos) con una realimentación para **regular la temperatura (termostato de mercurio)**.
- Drebbel es más conocido porque construyó el primer microscopio de lentes convexas (1619), el primer submarino tripulado útil (1620) y el primer termómetro.
- En 1681, **Denis Papin** (Francia, 1647-1712) inventó **el regulador de presión** para calderas de vapor:



Drebbel's thermostat, early 17th century.
 Origins of Feedback Control, Q Mayr, Scientific American, Oct 1976

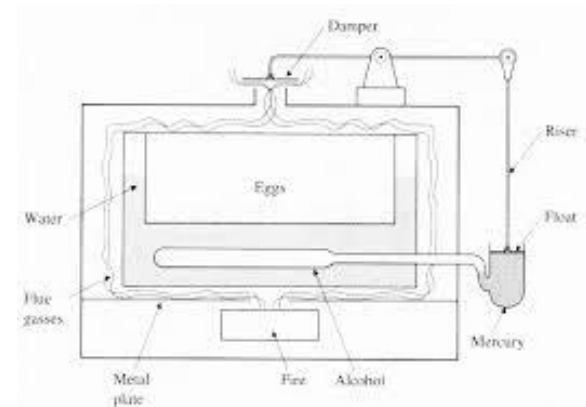
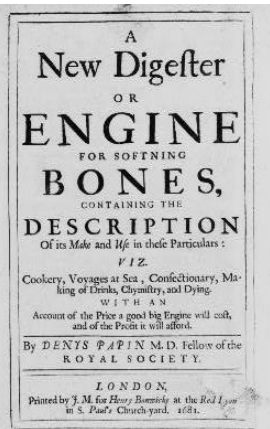
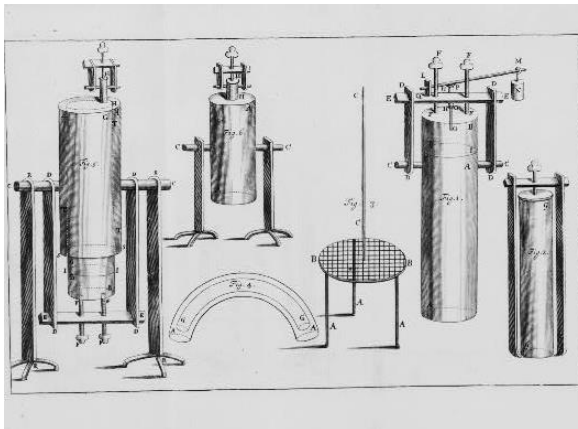
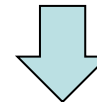
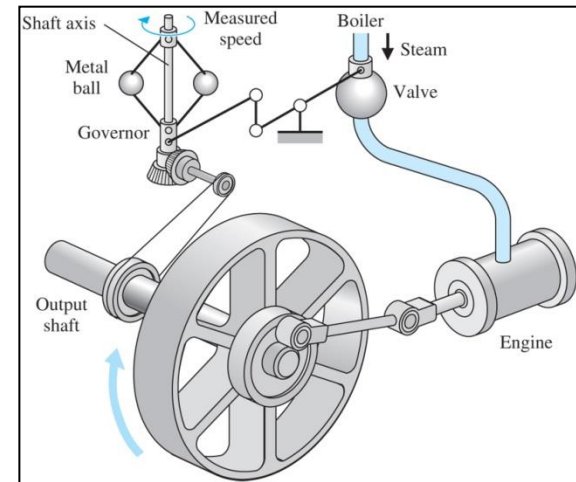
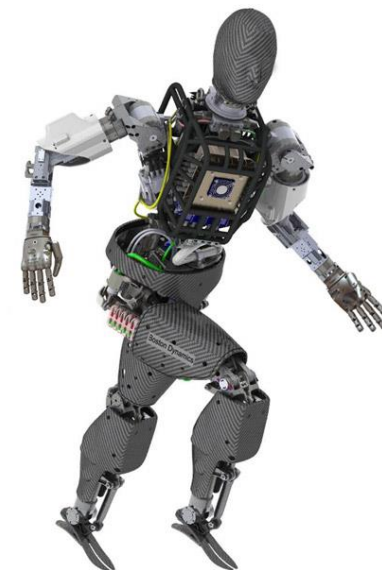


Tabla 1.1. Desarrollo histórico seleccionado de los sistemas de control

1769	Máquina de vapor y controlador desarrollado por James Watt. La máquina de vapor de Watt se utiliza con frecuencia para marcar el comienzo de la Revolución Industrial en Gran Bretaña. Durante la Revolución Industrial, se produjeron grandes logros en el desarrollo de la mecanización una tecnología que precede a la automatización.
1800	El concepto de Eli Whitney de fabricación de piezas intercambiables se demostró en la producción de fusiles. El desarrollo de Whitney se considera a menudo como el comienzo de la producción en masa.
1868	J. C. Maxwell formula un modelo matemático para el controlador de la máquina de vapor.
1913	Introducción de la máquina de ensamblaje mecanizado de Henry Ford para la producción de automóviles.
1927	H. W. Bode analiza los amplificadores realimentados.
1932	H. Nyquist desarrolla un método para analizar la estabilidad de sistemas.
1952	Control numérico (CN) desarrollado en el Massachusetts Institute of Technology para el control de ejes de máquinas de herramientas.
1954	George Devol desarrolla el concepto de «transferencia de artículos programados» considerado como el primer diseño de robot industrial.
1960	Introducido el primer robot Unimate, basado en los diseños de Devol. Unimate se instaló en 1961 para atender máquinas de fundición.
1970	Desarrollados los modelos de variables de estado y el control óptimo.
1980	Estudios amplios sobre el diseño de sistemas de control robusto.
1990	Empresas de fabricación orientadas a la exportación apuestan por la automatización.
1994	Uso generalizado de los sistemas de control con realimentación en los automóviles. En los procesos de fabricación se demandan sistemas fiables y robustos.
1997	El primer vehículo de exploración autónoma, conocido como <i>Sojourner</i> , explora la superficie marciana.
1998-2003	Avances en micro y nanotecnología. Se desarrollan las primeras micromáquinas inteligentes y se crean nanomáquinas que funcionan.



1769: Regulador centrífugo de Watt



<http://www.bostondynamics.com/>

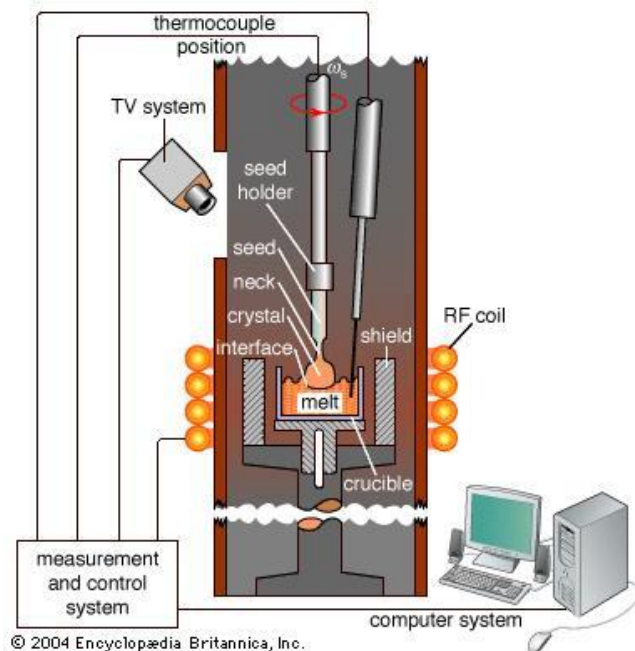
Sistemas de Control Moderno. Richard C. Dorf.
Pearson - Prentice Hall. 10ª edición.

La planta (o proceso)

La planta es cualquier objeto físico que se va a controlar (por ejemplo un dispositivo mecánico, horno, reactor químico, automóvil...).

Una **planta** puede ser una parte de un equipo o un conjunto de las partes de una máquina que funcionan juntas, el propósito de la cual es ejecutar una operación particular.

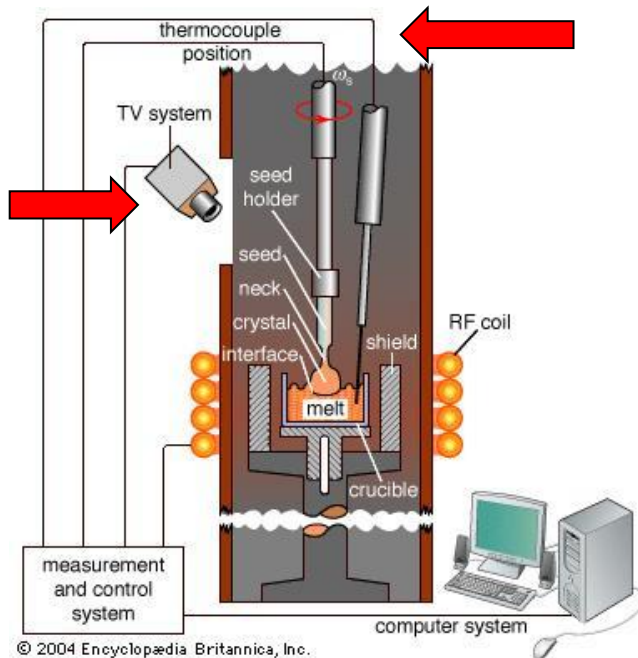
*Ingeniería de control moderna. Katshuhiko Ogata.
Pearson - Prentice Hall. 5ª edición.*



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:

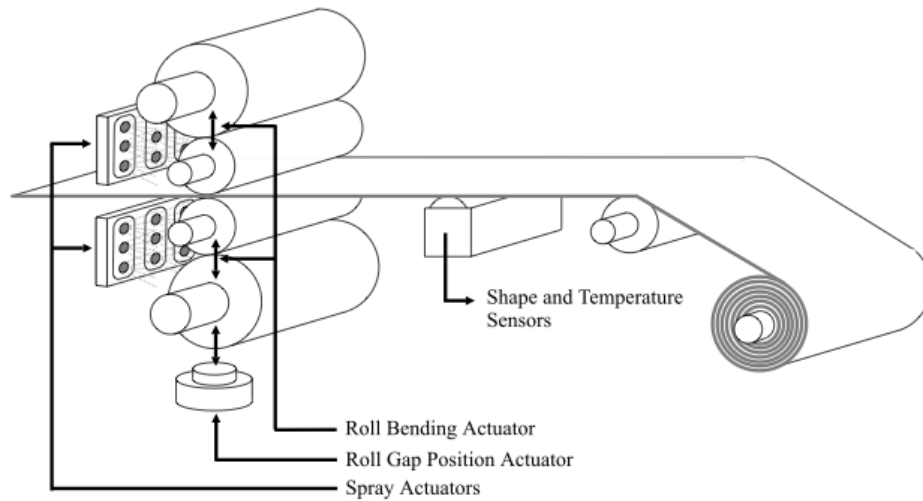
Si se puede medir, se puede controlar.



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).



Actuadores en un multicoptero: los motores
(normalmente tres, cuatro, seis u ocho)

Elementos de un Sistema de control

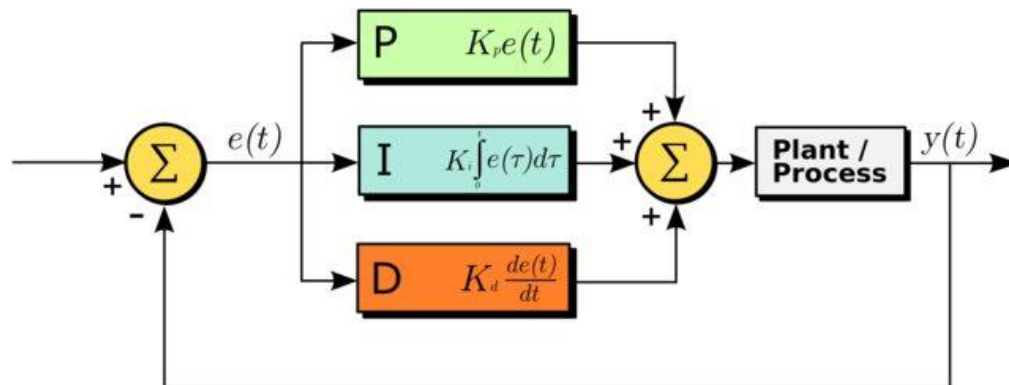
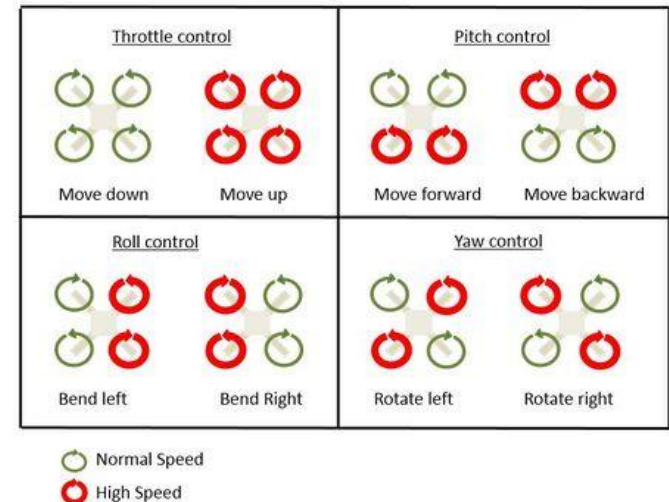
Algoritmos

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.



$$u(t) = \underbrace{K_p e(t)}_{\text{Proportional}} + \underbrace{K_i \int_0^t e(\tau) d\tau}_{\text{Integral}} + \underbrace{K_d \frac{d}{dt} e(t)}_{\text{Derivative}}$$

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.

Razor 6DOF - gyros - 1x and 4x HawkSky - motor bench test

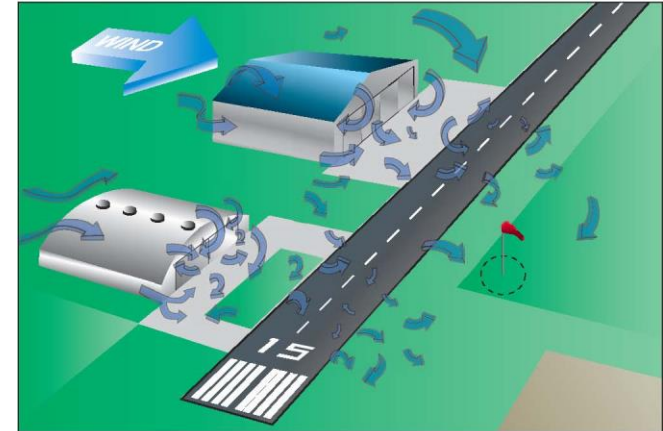
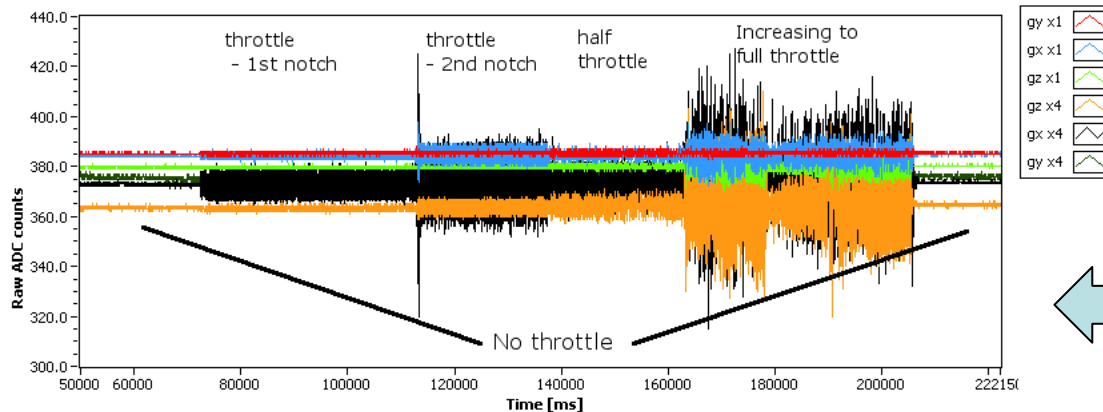


Figure 10-15. Turbulence caused by manmade obstructions.



Perturbaciones externas: turbulencias

Perturbación interna: ruido en los sensores de un multicoptero provocado por las vibraciones de los motores

- Un **sistema de control** se describe mediante la **interconexión de los componentes que lo configuran** para dar la respuesta deseada.
 - La base para el análisis de sistemas de control lo proporciona la **teoría de sistemas lineales**.
- Un **componente, proceso o actividad** se representa mediante un bloque:



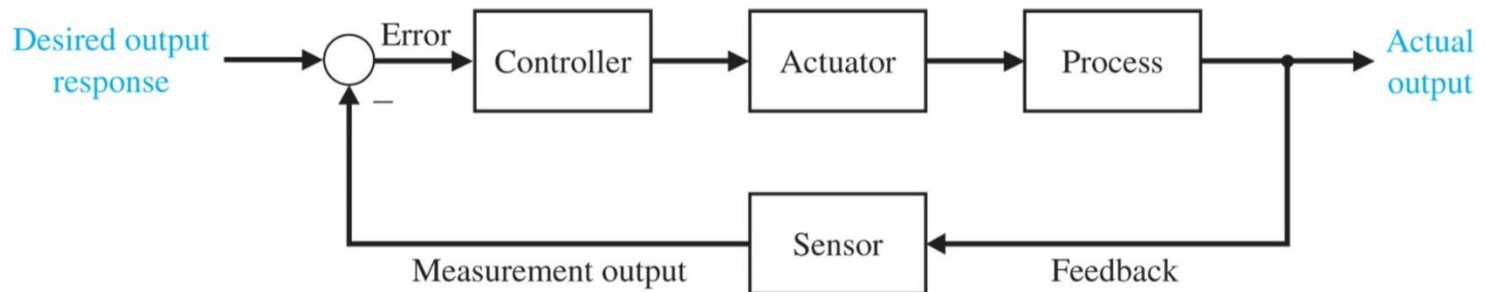
- La relación causa-efecto viene definida por la **FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA o FT (relación entrada-salida del proceso)**.
- En función de si se comparan o no la entrada y la salida, los sistemas de control se clasifican en dos grandes categorías: **sistemas de lazo abierto y sistemas de lazo cerrado**.

Sistemas de control en lazo abierto: la salida no tiene efecto sobre la acción de control



- En estos sistemas la **salida** no se compara con la entrada (**salida deseada**). A cada entrada (**salida deseada**) le corresponde una condición de operación fija.
- La precisión del sistema depende de la calibración previa. Ante la presencia de perturbaciones, estos sistemas no realizan la tarea deseada.
- **Ejemplos:**
 - Un **tostador eléctrico**: El control es un regulador de tiempo que debe ser estipulado previamente por el usuario. El sistema no tiene ninguna información sobre el acabado de la tostada.
 - Una **lavadora**. El controlador gestiona las etapas del lavado sin tener ninguna información sobre el grado de limpieza conseguida.
 - Un **semáforo**.

Sistemas de control en lazo cerrado o sistemas realimentados: la acción de control es dependiente de la salida



- La **salida** se mide mediante un sensor, y se compara con la entrada (**salida deseada**). El controlador utiliza esa diferencia como **medio de control para reducir el error** y llevar la salida al valor deseado.
- **Ejemplos:**
 - Sistema de **control de temperatura de una habitación**: se mide la T real y se compara con la entrada (T deseada). El termostato activa o desactiva el sistema de calefacción (o enfriamiento) para mantener la temperatura igual a la deseada.
 - Sistema de control de vuelo de un **multicóptero**: se mide la posición y orientación del aparato y se compara con la posición y orientación deseadas, actuando sobre los motores para reducir el error.

Sistemas de control en lazo cerrado

- REALIMENTACIÓN (negativa):** Es la propiedad de un sistema de control en lazo cerrado que permite que **la salida sea comparada con la entrada del sistema**, de tal manera que se pueda establecer la acción de control apropiada como función de la entrada y la salida

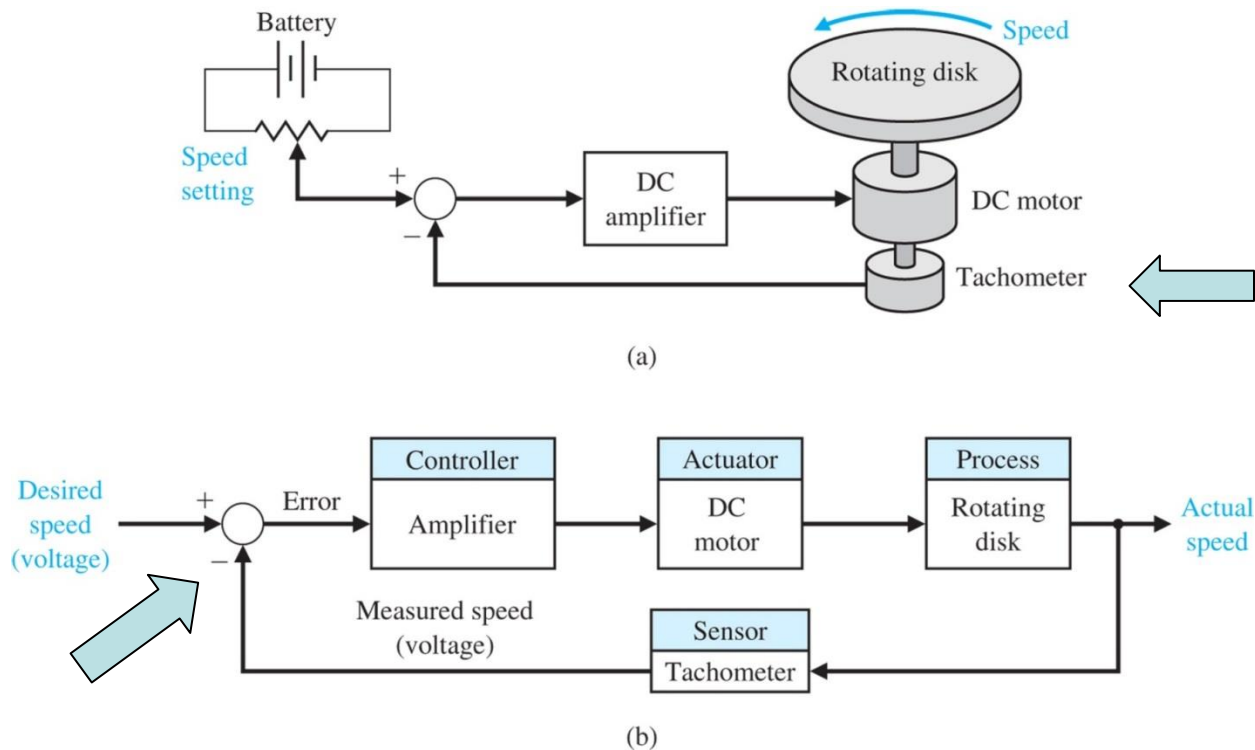
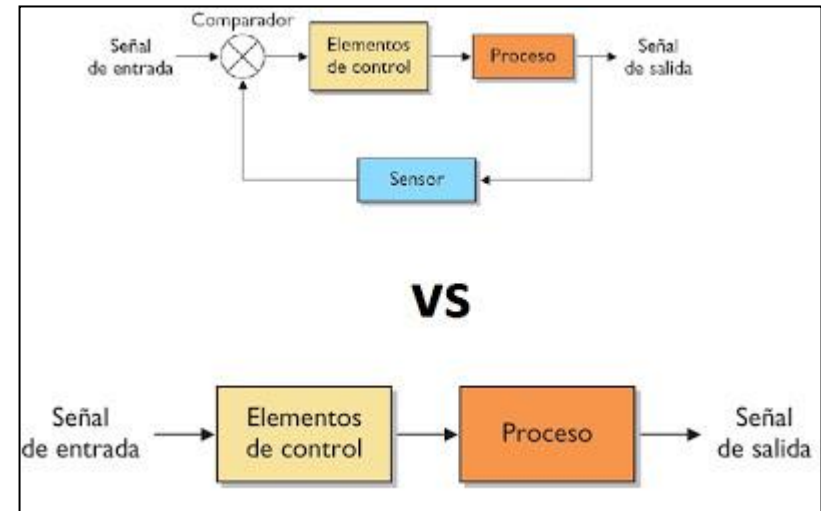


Figure 1.22 (a) Closed-loop control of the speed of a rotating disk. (b) Block diagram model.

Sistemas de control en lazo cerrado: Ventajas

Un sistema de control en lazo cerrado presenta las siguientes ventajas con respecto al control en lazo abierto:

- Corrección de las perturbaciones internas y externas (tales como rozamiento impredecible en un motor).
- Buen comportamiento incluso con incertidumbre en el modelo, es decir, en aquellos casos en que la estructura del modelo no representa perfectamente la realidad del proceso o los parámetros del modelo no se pueden medir con absoluta precisión.
- Permite estabilizar procesos inestables.
- Tolerancia a variaciones en los parámetros.



- *Sistemas de Control Moderno*. Richard C. Dorf. Pearson - Prentice Hall. 10ª edición.
- *Ingeniería de Control Moderna*. Katsuhiko Ogata. Pearson - Prentice Hall. 5ª edición.

BIBLIOGRAFÍA