



Sistemas de Control



Presentación y objetivo del curso



M. I. Ricardo Garibay
Jiménez

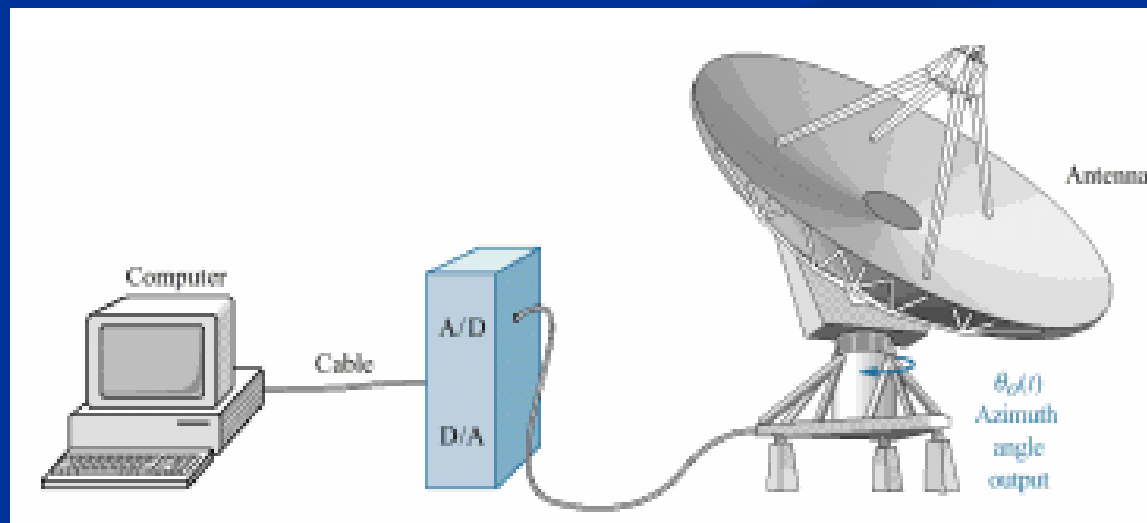
rgaribay@gmail.com



Sistemas de Control



Objetivo: El alumno comprenderá y analizará sistemas de control continuo y discreto utilizando métodos del dominio del tiempo y la frecuencia.

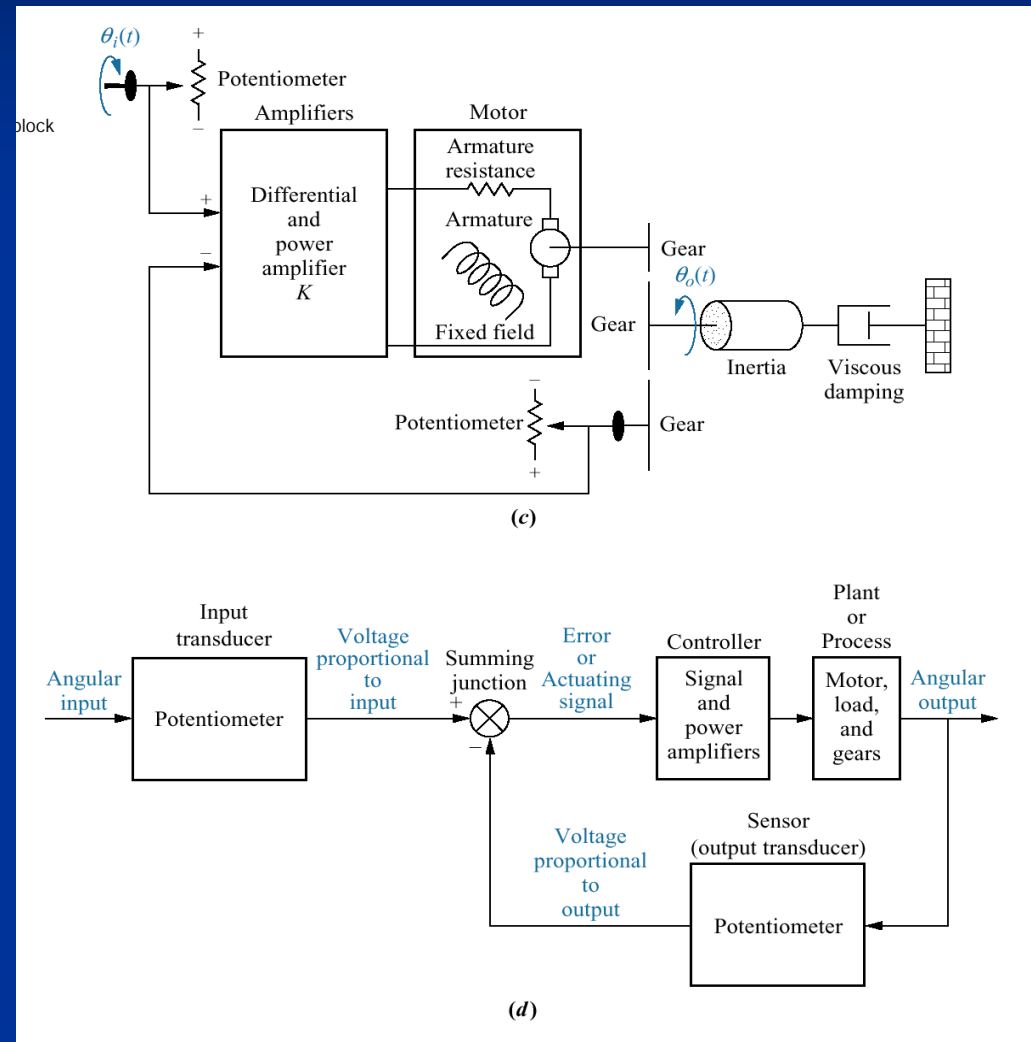
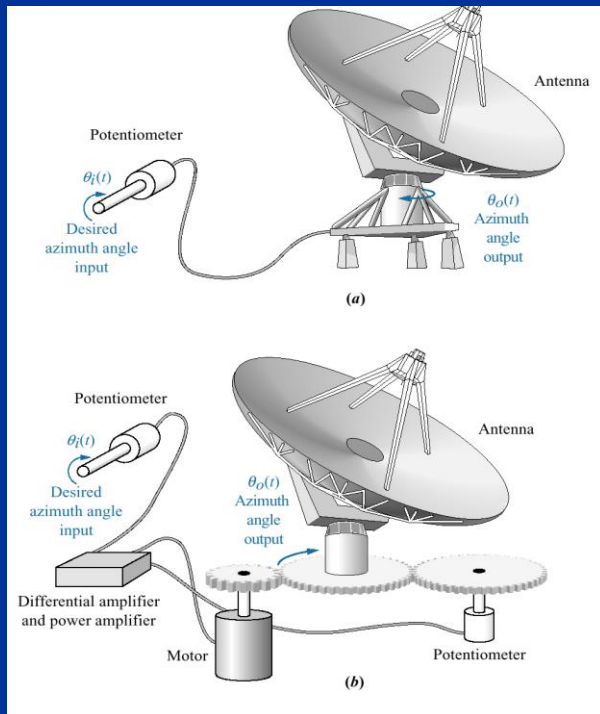




Sistemas de Control



- system concept;
- detailed layout;
- schematic;
- functional block diagram





Sistemas de Control

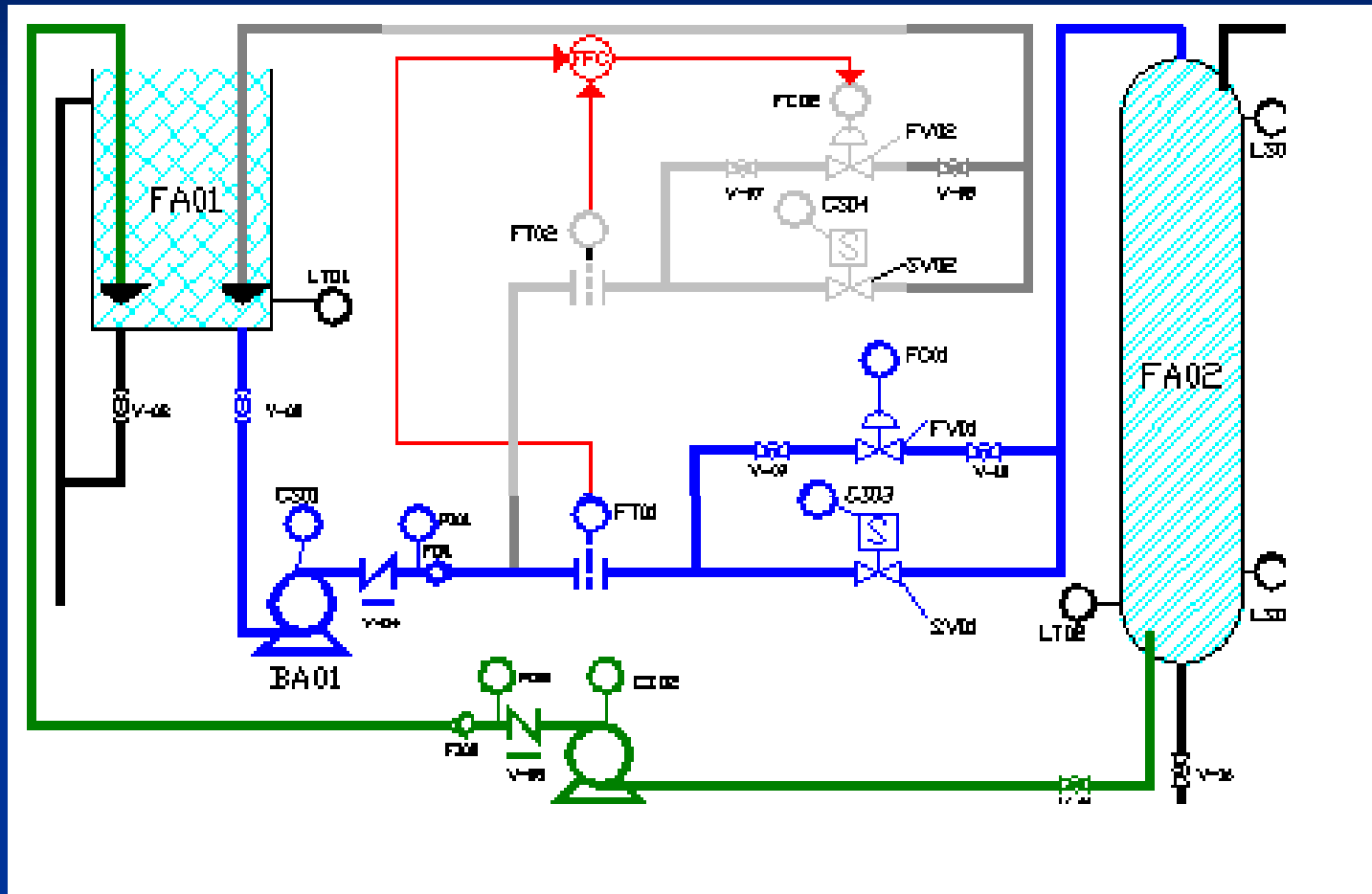


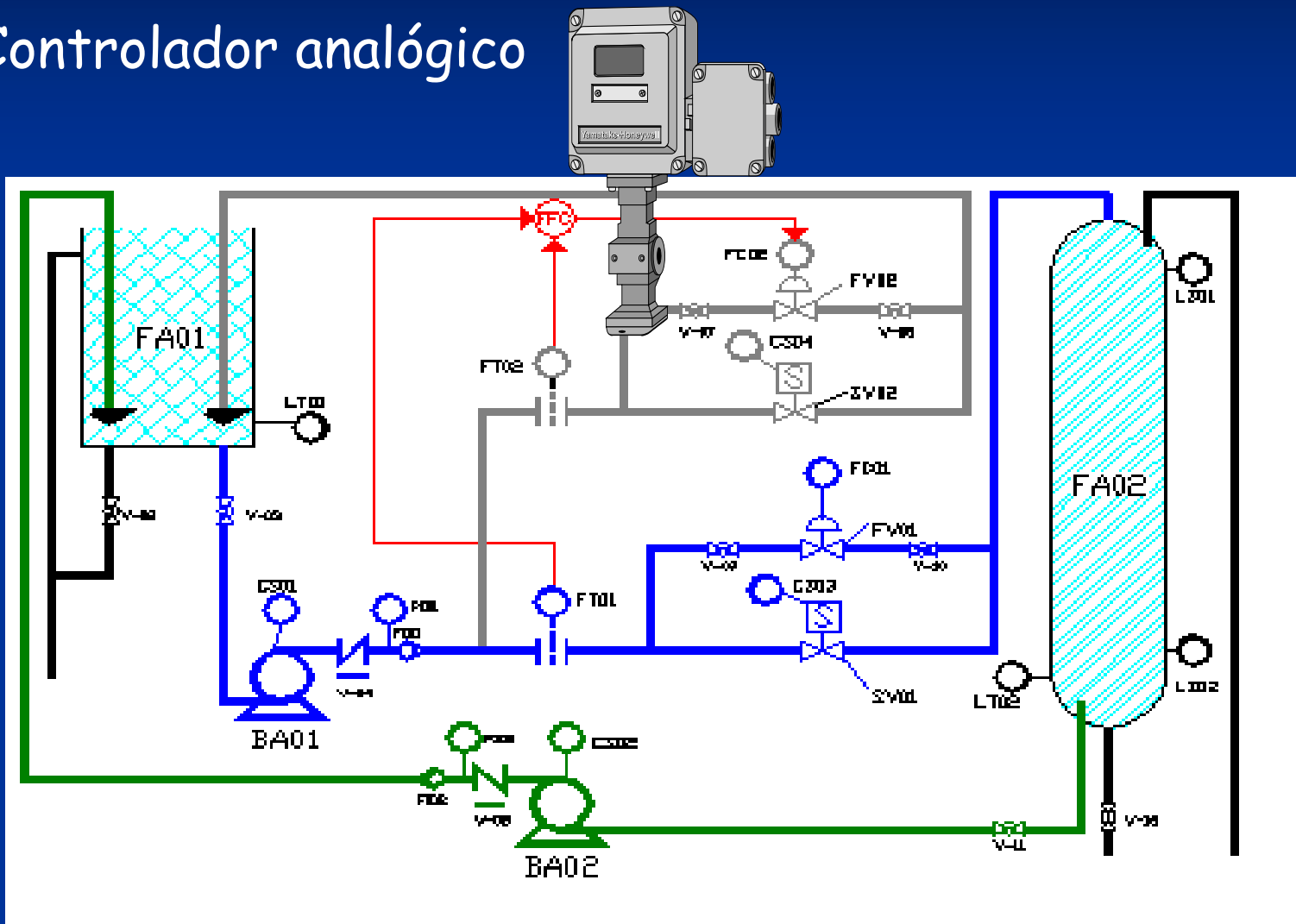
Diagrama de una planta industrial con lazo de control de relación FFC



Sistemas de Control



Controlador analógico

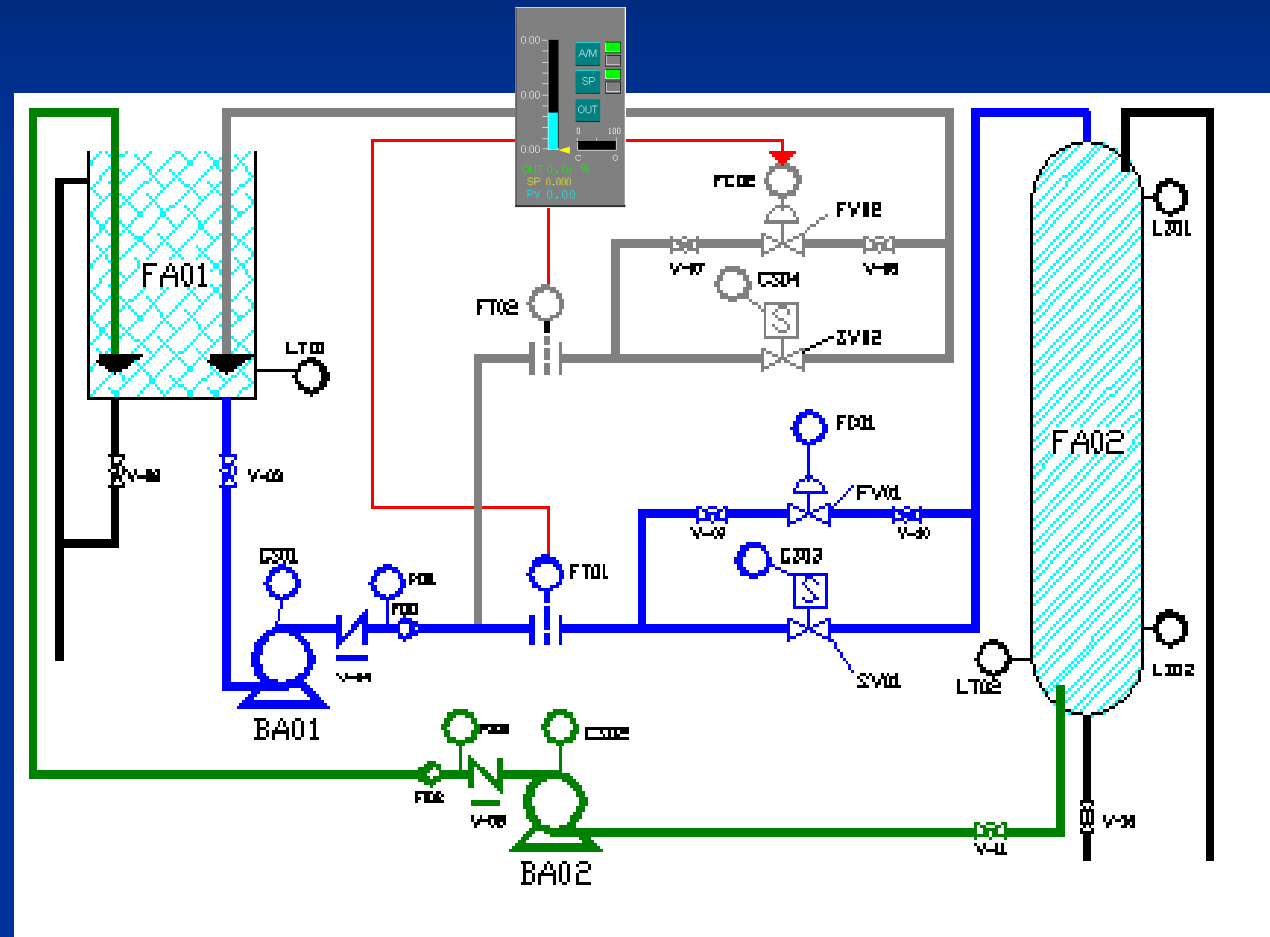
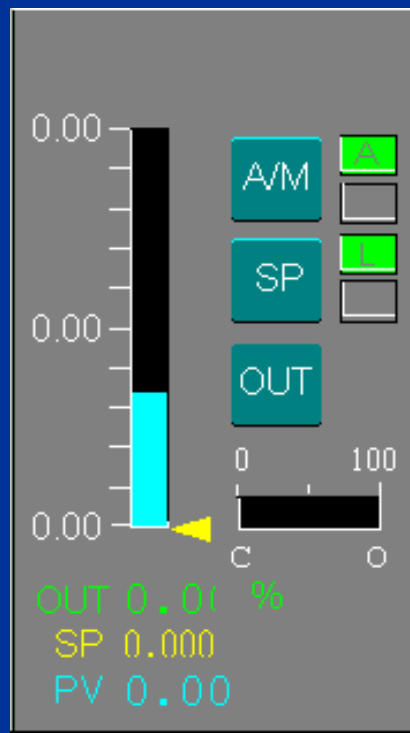




Sistemas de Control



Controlador digital de un lazo

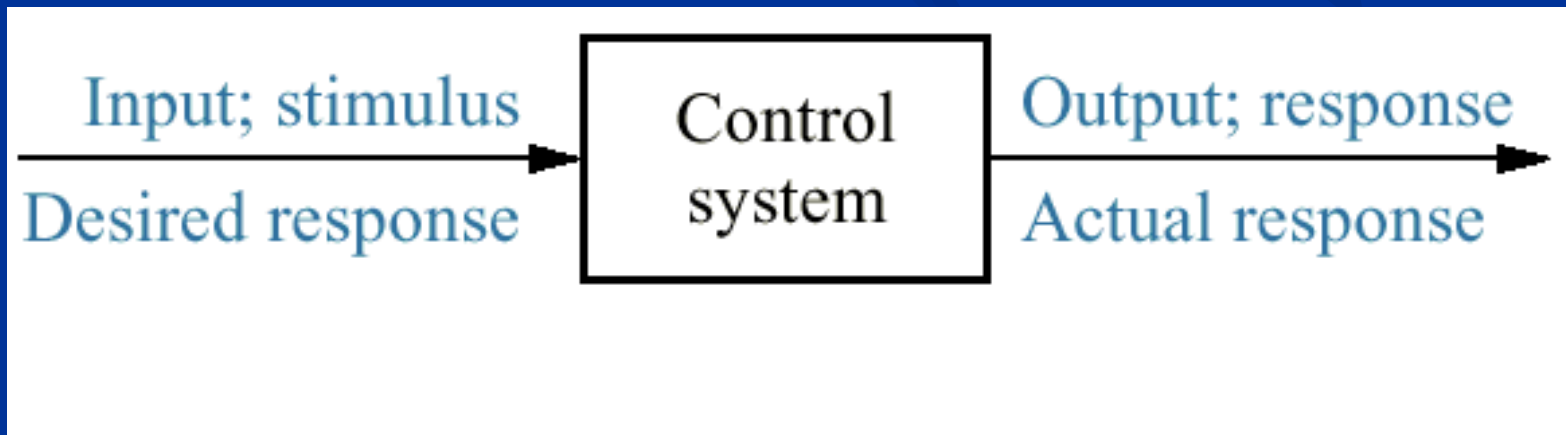




Sistemas de Control



Objetivo de los sistemas de control: la respuesta real debe seguir al valor deseado, el mayor tiempo posible, lo más cerca posible, en presencia de cambios en la entrada y perturbaciones

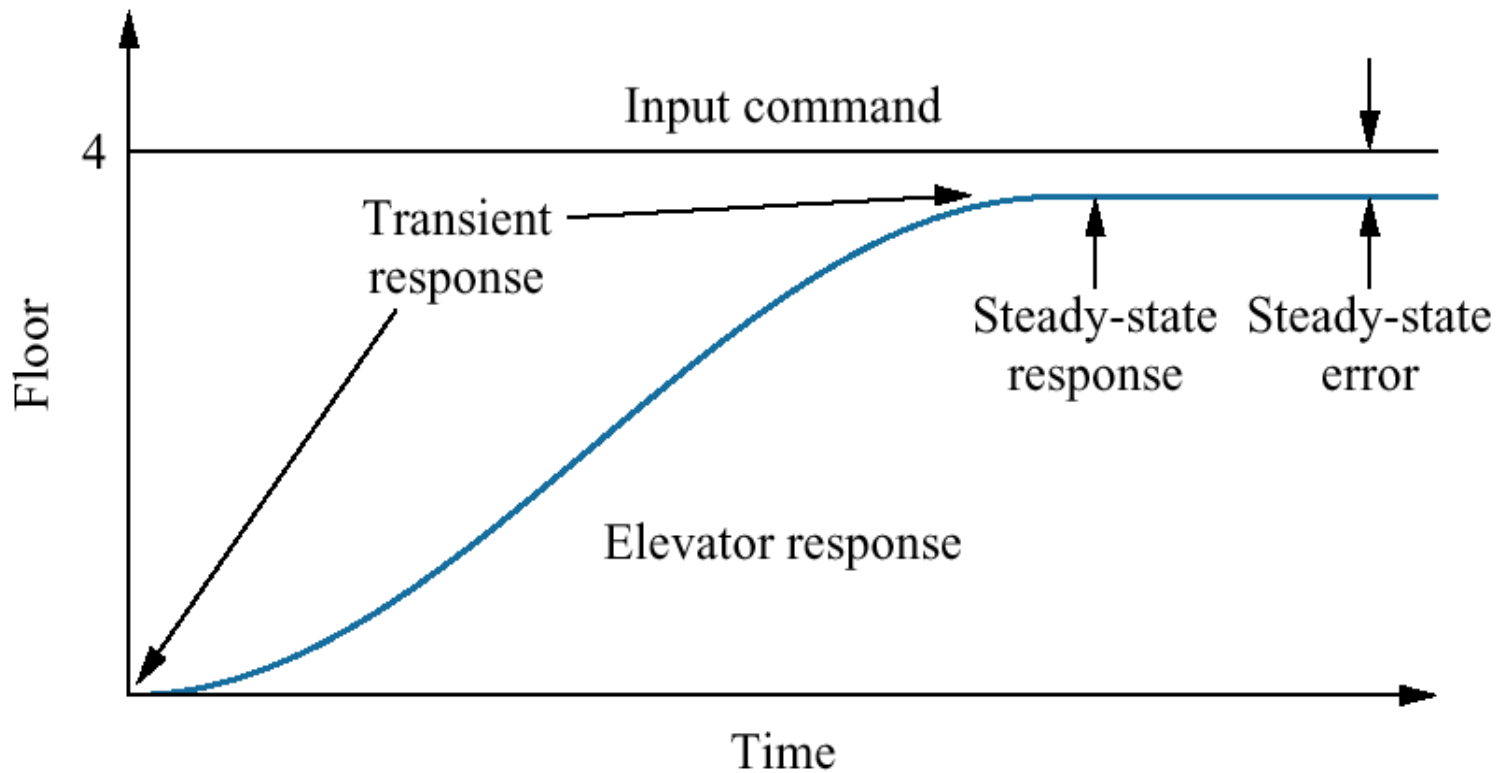




Sistemas de Control



Respuesta permanente y transitoria

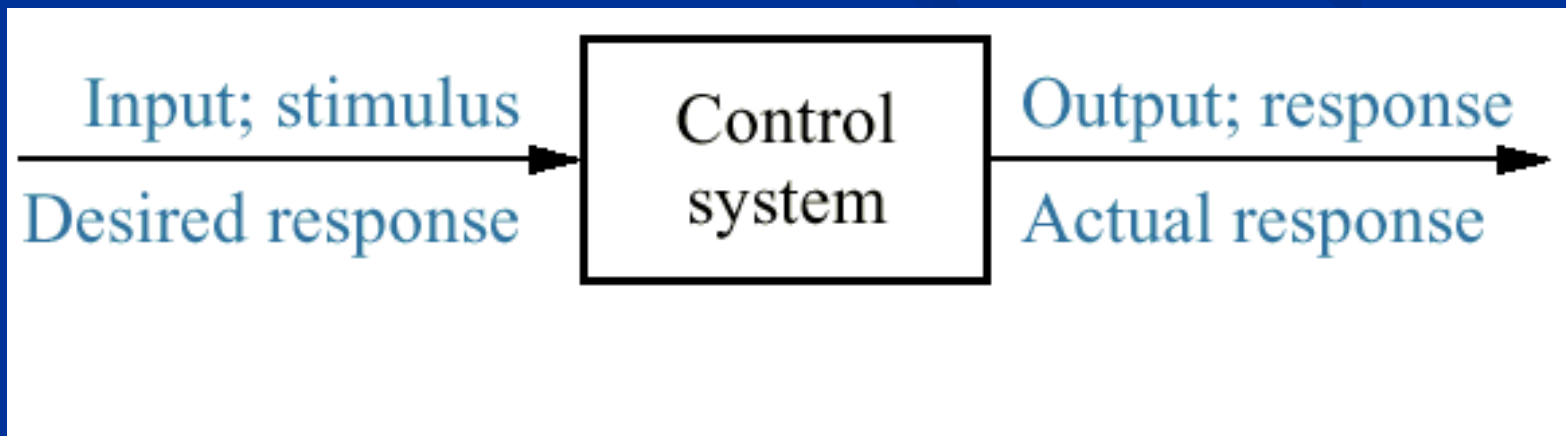




Sistemas de Control



Los sistemas de control no realimentados requieren de una calibración exacta para operar confiablemente, pero tienen la gran desventaja de que son vulnerables a las perturbaciones.

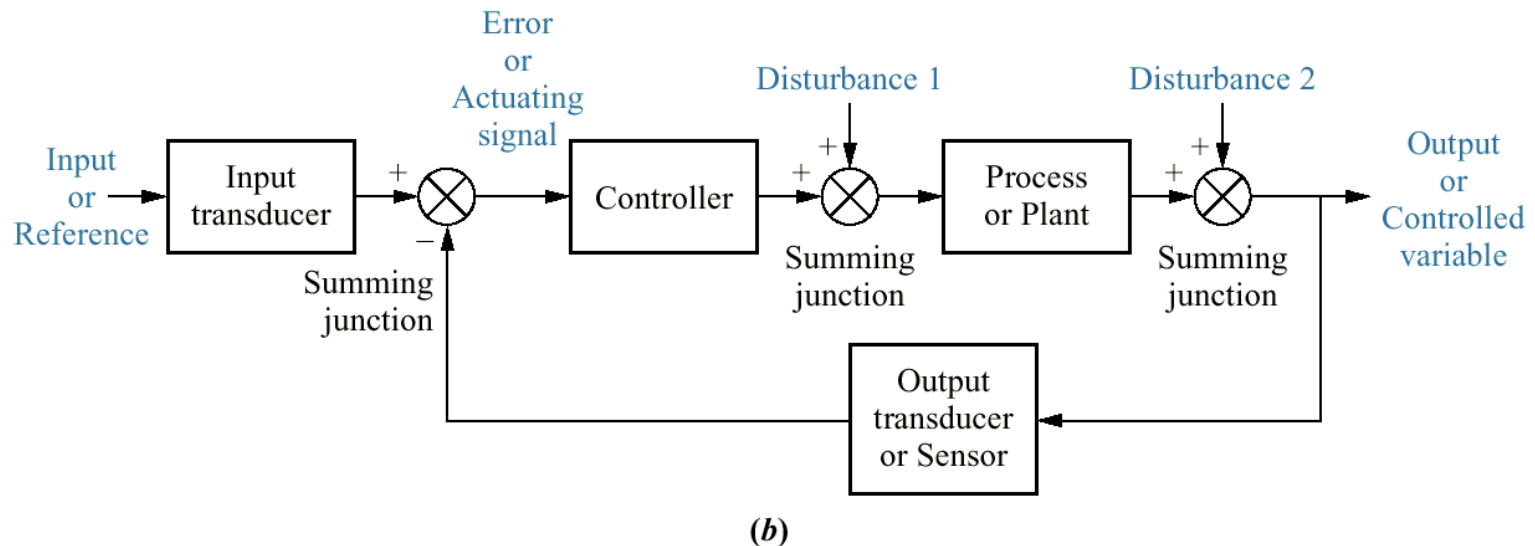
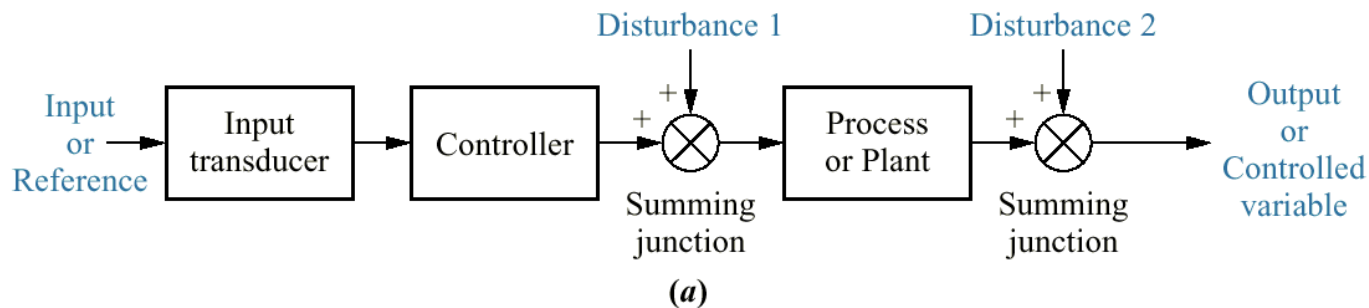




Sistemas de Control



- a. Control de lazo abierto;
- b. Control realimentado





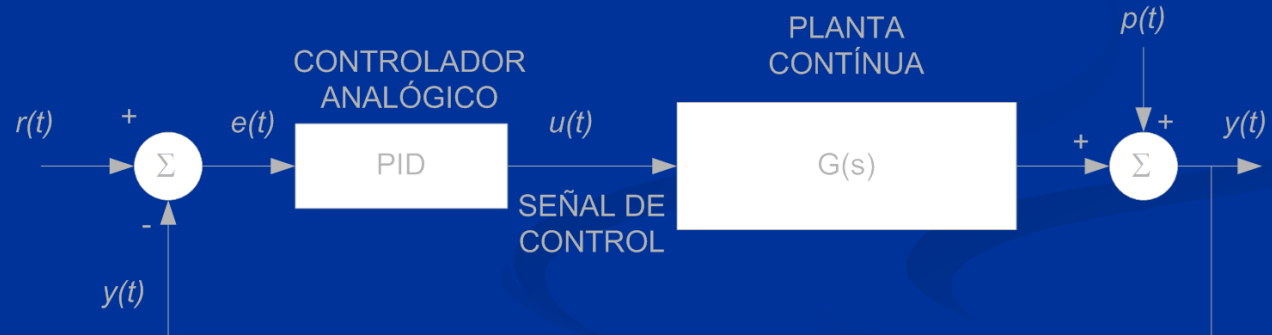
Sistemas de Control



El objetivo de control en un sistema realimentado o de malla cerrada

consiste en mantener el error en valores cercanos a cero, el mayor tiempo posible, frente a cambios de la referencia r y perturbaciones externas p

ESQUEMA DE CONTROL ANALÓGICO



VARIABLES CONTÍNUAS: $r(t)$, $e(t)$, $y(t)$, $u(t)$

ACCIÓN DE CONTROL PID

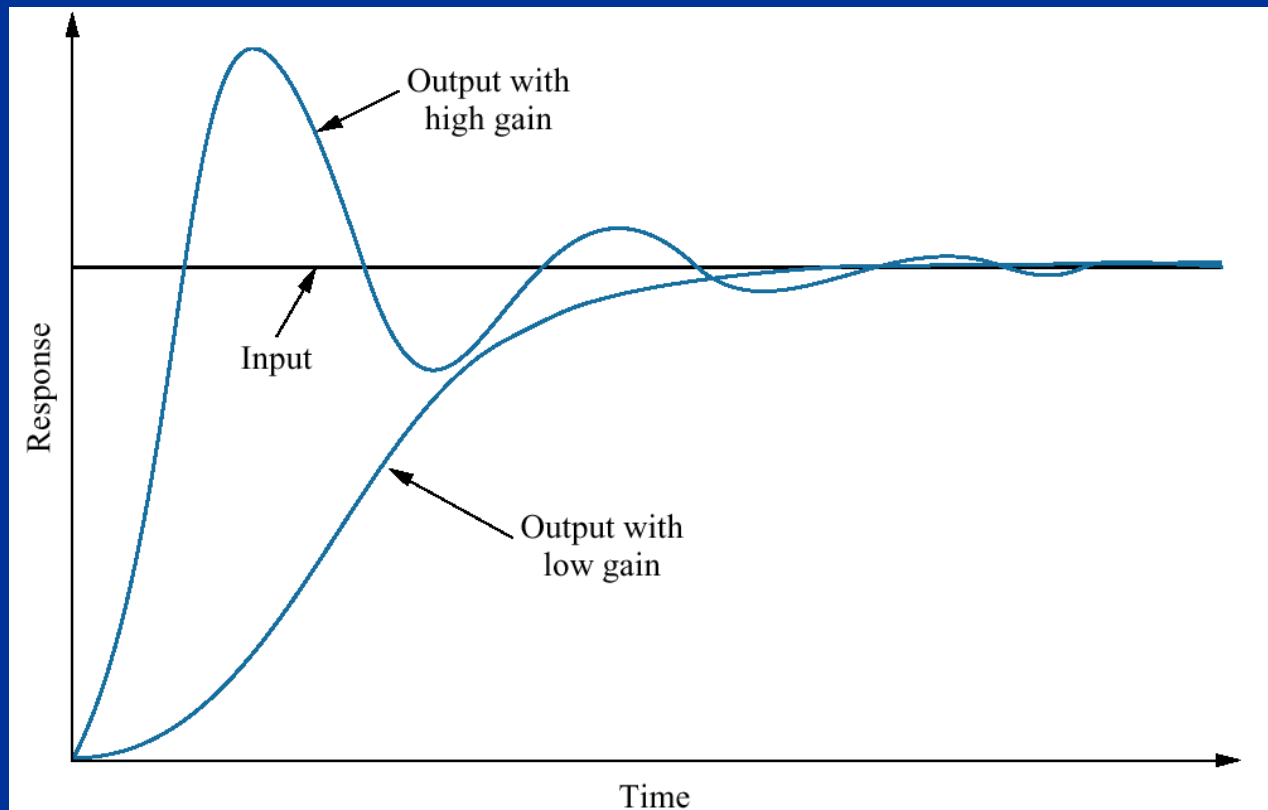
$$u(t) = k_c \left[e(t) + \frac{1}{T_I} \int_{t_0}^t e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right]$$



Sistemas de Control



Efecto de los parámetros de control: alta y baja ganancia del controlador sobre la salida





Sistemas de Control

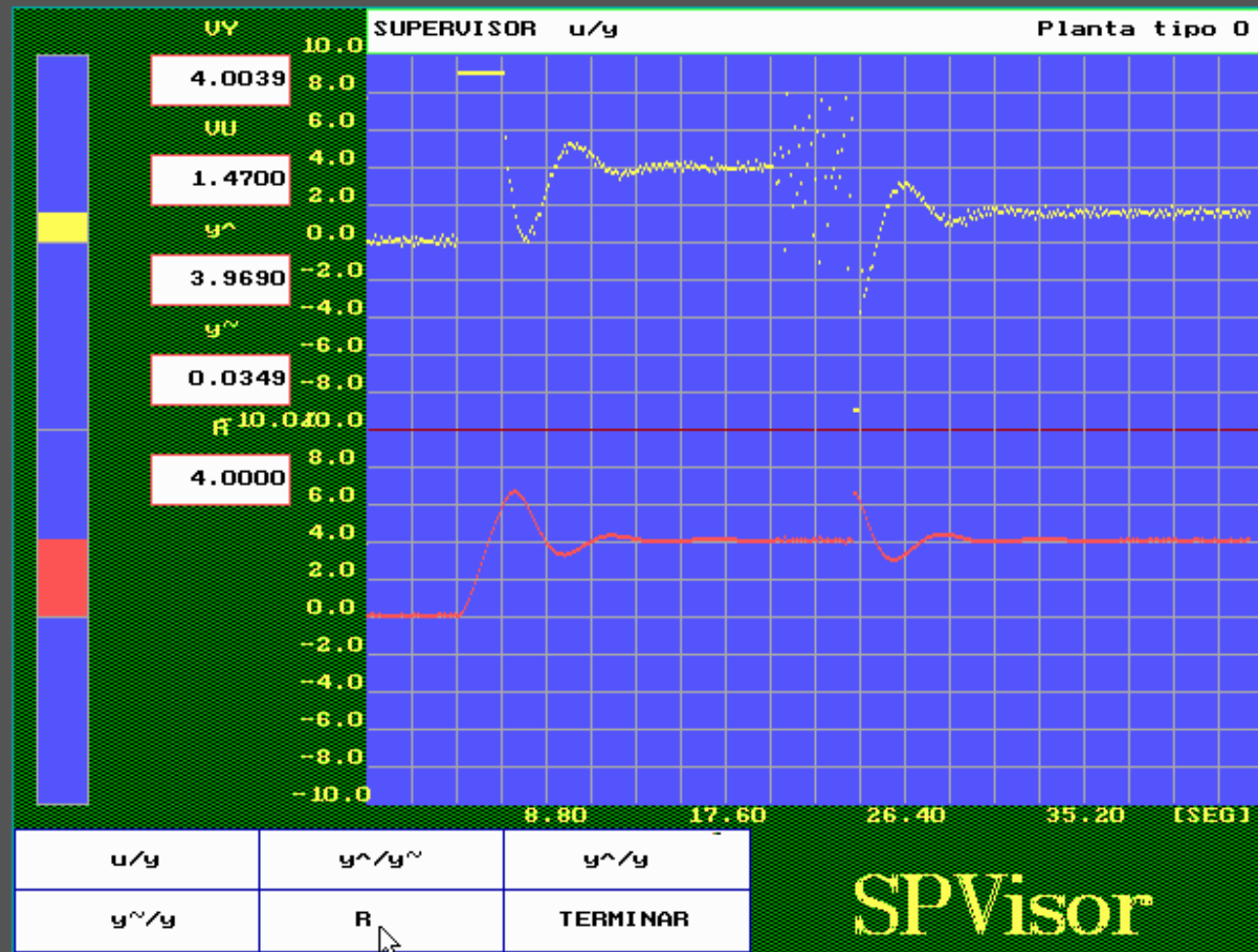


Experimento 3

Control por
realimentación de
estado y
observador

Señal de control
en color claro

Salida del sistema
de en color rojo

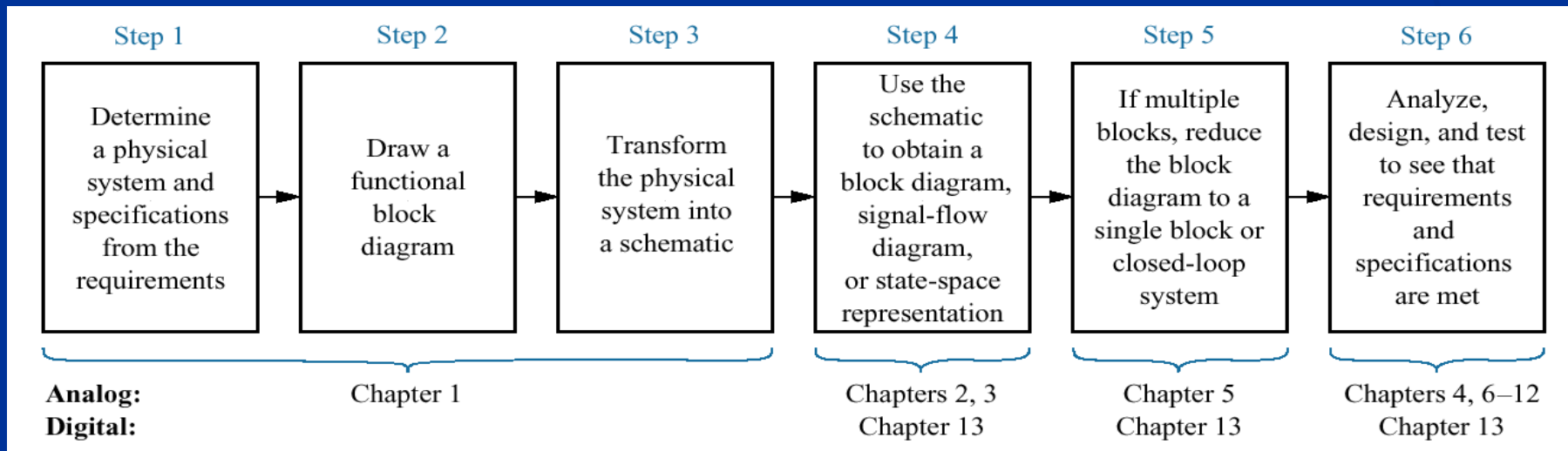




Sistemas de Control



Diseño de sistemas de control

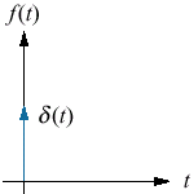
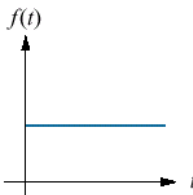
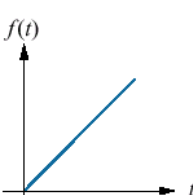
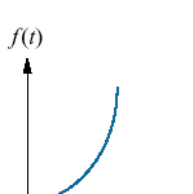
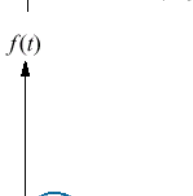




Sistemas de Control



Formas de
onda
empleadas para
probar
sistemas de
control

Input	Function	Description	Sketch	Use
Impulse	$\delta(t)$	$\delta(t) = \infty$ for $0- < t < 0+$ $= 0$ elsewhere $\int_{0-}^{0+} \delta(t) dt = 1$		Transient response Modeling
Step	$u(t)$	$u(t) = 1$ for $t > 0$ $= 0$ for $t < 0$		Transient response Steady-state error
Ramp	$tu(t)$	$tu(t) = t$ for $t \geq 0$ $= 0$ elsewhere		Steady-state error
Parabola	$\frac{1}{2}t^2u(t)$	$\frac{1}{2}t^2u(t) = \frac{1}{2}t^2$ for $t \geq 0$ $= 0$ elsewhere		Steady-state error
Sinusoid	$\sin \omega t$			Transient response Modeling Steady-state error



Sistemas de Control



Transformadas de Laplace y Z de funciones comunes

	$f(t)$	$F(s)$	$F(z)$	$f(kT)$
1.	$u(t)$	$\frac{1}{s}$	$\frac{z}{z-1}$	$u(kT)$
2.	t	$\frac{1}{s^2}$	$\frac{Tz}{(z-1)^2}$	kT
3.	t^n	$\frac{n!}{s^{n+1}}$	$\lim_{a \rightarrow 0} (-1)^n \frac{d^n}{da^n} \left[\frac{z}{z - e^{-aT}} \right]$	$(kT)^n$
4.	e^{-at}	$\frac{1}{s+a}$	$\frac{z}{z - e^{-aT}}$	e^{-akT}
5.	$t^n e^{-at}$	$\frac{n!}{(s+a)^{n+1}}$	$(-1)^n \frac{d^n}{da^n} \left[\frac{z}{z - e^{-aT}} \right]$	$(kT)^n e^{-akT}$
6.	$\sin \omega t$	$\frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$	$\frac{z \sin \omega T}{z^2 - 2z \cos \omega T + 1}$	$\sin \omega kT$
7.	$\cos \omega t$	$\frac{s}{s^2 + \omega^2}$	$\frac{z(z - \cos \omega T)}{z^2 - 2z \cos \omega T + 1}$	$\cos \omega kT$
8.	$e^{-at} \sin \omega t$	$\frac{\omega}{(s+a)^2 + \omega^2}$	$\frac{ze^{-aT} \sin \omega T}{z^2 - 2ze^{-aT} \cos \omega T + e^{-2aT}}$	$e^{-akT} \sin \omega kT$
9.	$e^{-at} \cos \omega t$	$\frac{s+a}{(s+a)^2 + \omega^2}$	$\frac{z^2 - ze^{-aT} \cos \omega T}{z^2 - 2ze^{-aT} \cos \omega T + e^{-2aT}}$	$e^{-akT} \cos \omega kT$



Sistemas de Control



Propiedades de la Transformada de Laplace

Item no.	Theorem	Name
1.	$\mathcal{L}[f(t)] = F(s) = \int_{0-}^{\infty} f(t)e^{-st} dt$	Definition
2.	$\mathcal{L}[kf(t)] = kF(s)$	Linearity theorem
3.	$\mathcal{L}[f_1(t) + f_2(t)] = F_1(s) + F_2(s)$	Linearity theorem
4.	$\mathcal{L}[e^{-at}f(t)] = F(s + a)$	Frequency shift theorem
5.	$\mathcal{L}[f(t - T)] = e^{-sT}F(s)$	Time shift theorem
6.	$\mathcal{L}[f(at)] = \frac{1}{a}F\left(\frac{s}{a}\right)$	Scaling theorem
7.	$\mathcal{L}\left[\frac{df}{dt}\right] = sF(s) - f(0-)$	Differentiation theorem
8.	$\mathcal{L}\left[\frac{d^2f}{dt^2}\right] = s^2F(s) - sf(0-) - \dot{f}(0-)$	Differentiation theorem
9.	$\mathcal{L}\left[\frac{d^nf}{dt^n}\right] = s^nF(s) - \sum_{k=1}^n s^{n-k}f^{(k-1)}(0-)$	Differentiation theorem
10.	$\mathcal{L}\left[\int_{0-}^t f(\tau) d\tau\right] = \frac{F(s)}{s}$	Integration theorem
11.	$f(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} sF(s)$	Final value theorem ¹
12.	$f(0+) = \lim_{s \rightarrow \infty} sF(s)$	Initial value theorem ²

¹ For this theorem to yield correct finite results, all roots of the denominator of $F(s)$ must have negative real parts and no more than one can be at the origin.

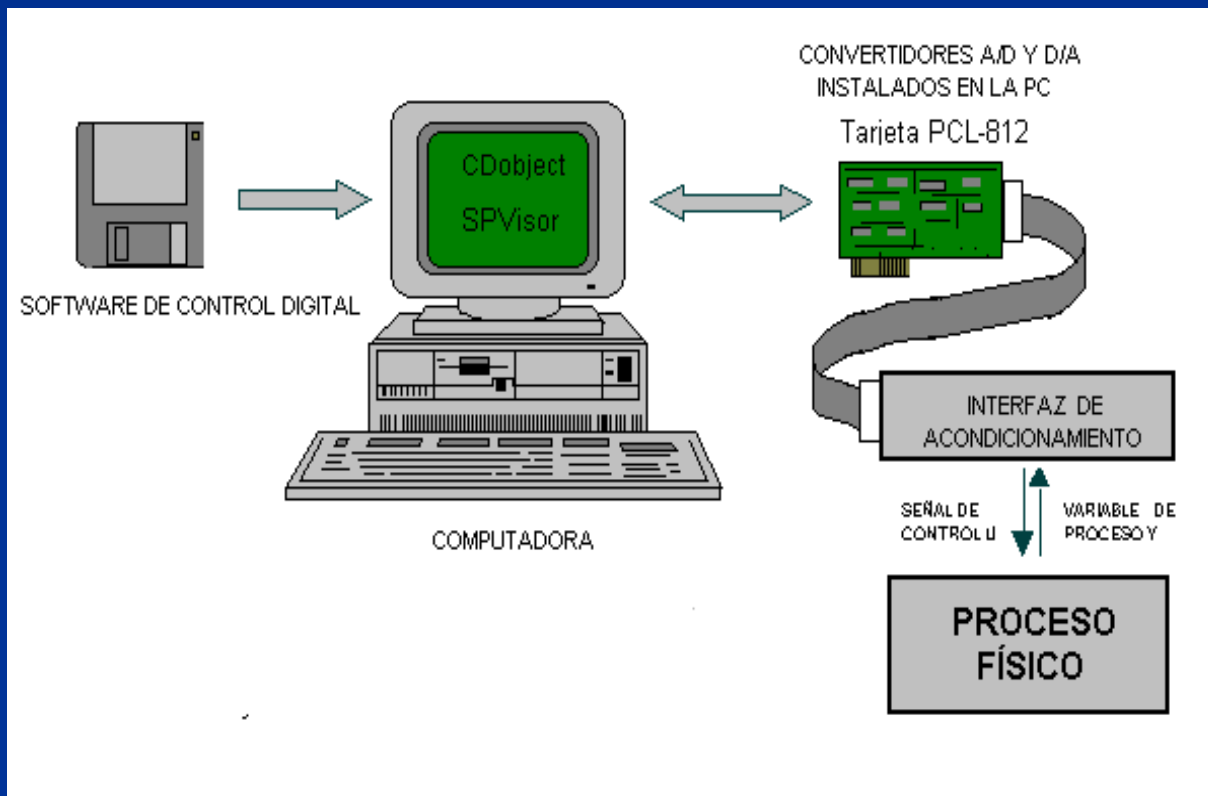
² For this theorem to be valid, $f(t)$ must be continuous or have a step discontinuity at $t = 0$ (i.e., no impulses or their derivatives at $t = 0$).



Sistemas de Control

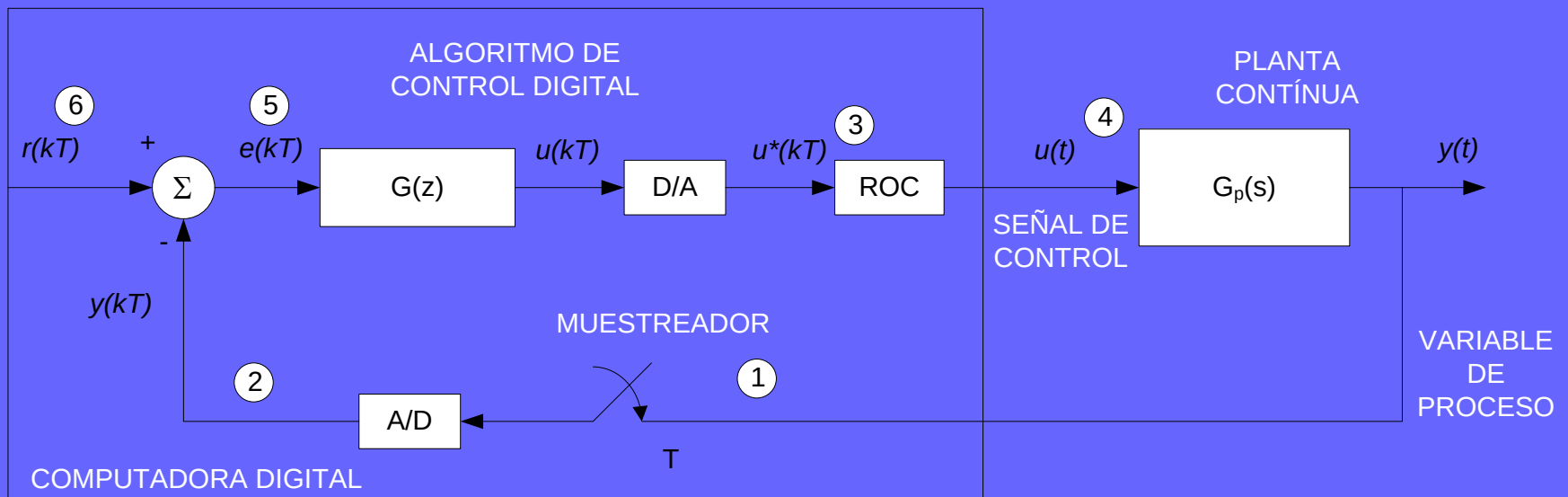


Componentes de un controlador basado en PC



- PC de propósito general
- Paquete de software de adquisición, control y monitoreo
- Tarjetas de adquisición, conversión A/D, conversión D/A, entradas y salidas binarias

Sistema de control digital típico



VARIABLES DIGITALES : $r(kT)$, $e(kT)$, $y(kT)$, $u(kT)$

VARIABLES CONTINUAS: $u(t)$, $y(t)$

VARIABLES DISCRETAS: $u^*(kT)$

- LA SEÑAL 2 ES DISCRETA EN EL TIEMPO Y DISCRETA EN MAGNITUD

- LA SEÑAL 3 ES DIGITAL PRODUCIDA POR EL ALGORITMO CON BASE EN $e(kT)$



Sistemas de Control

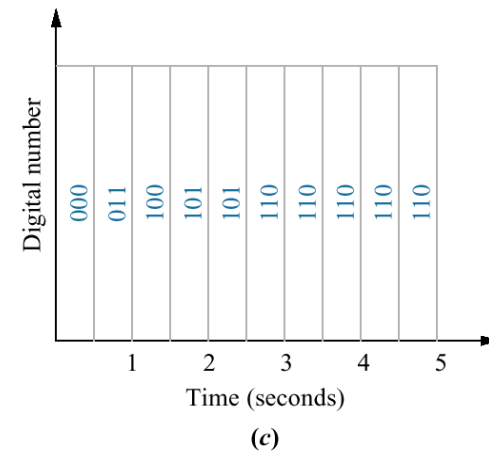
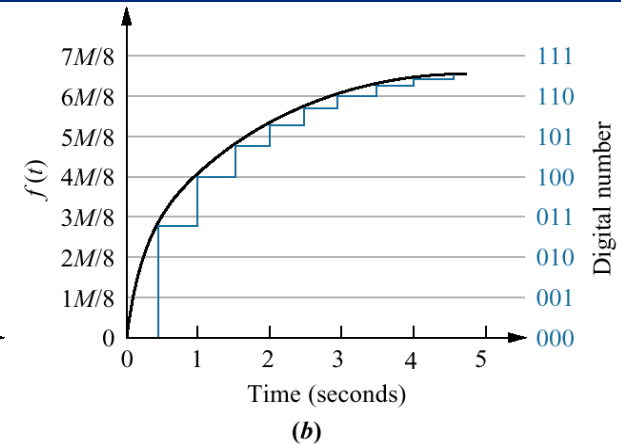
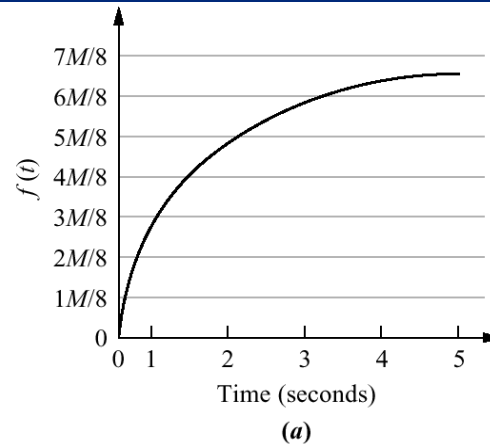


conversión
analógico/digital

a. señal analógica;

b. señal analógica
muestreada y
extrapolada con
ROC;

c. conversión de
muestras a valores
digitales





Sistemas de Control



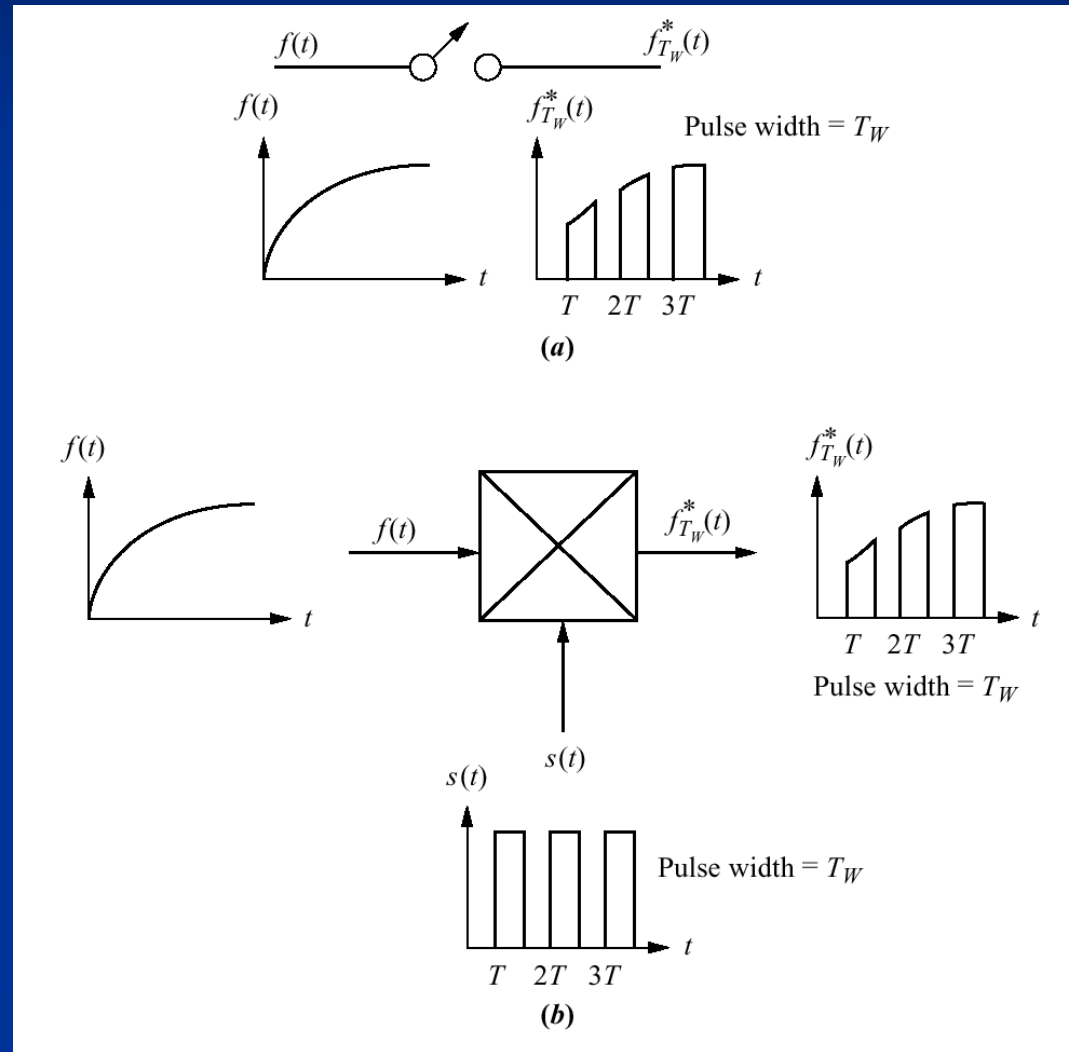
Dos formas de interpretar el muestreo uniforme:

a. operación cíclica de un interruptor;

b. producto de la señal continua $f(t)$ y la muestreadora $s(t)$;

Período de muestreo T

Ancho del pulso T_w

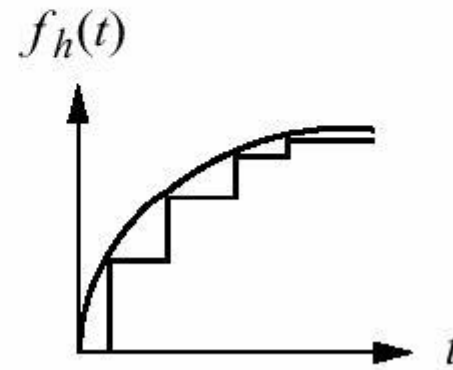
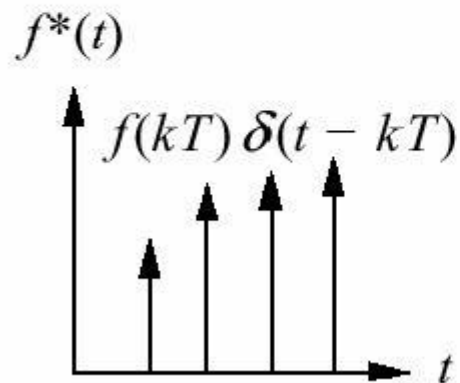
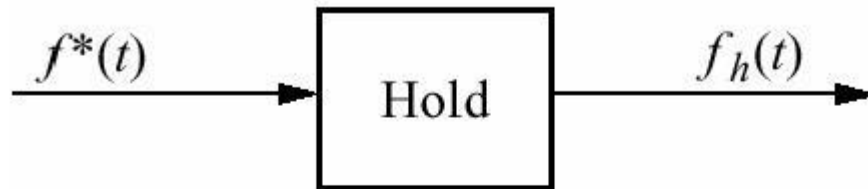


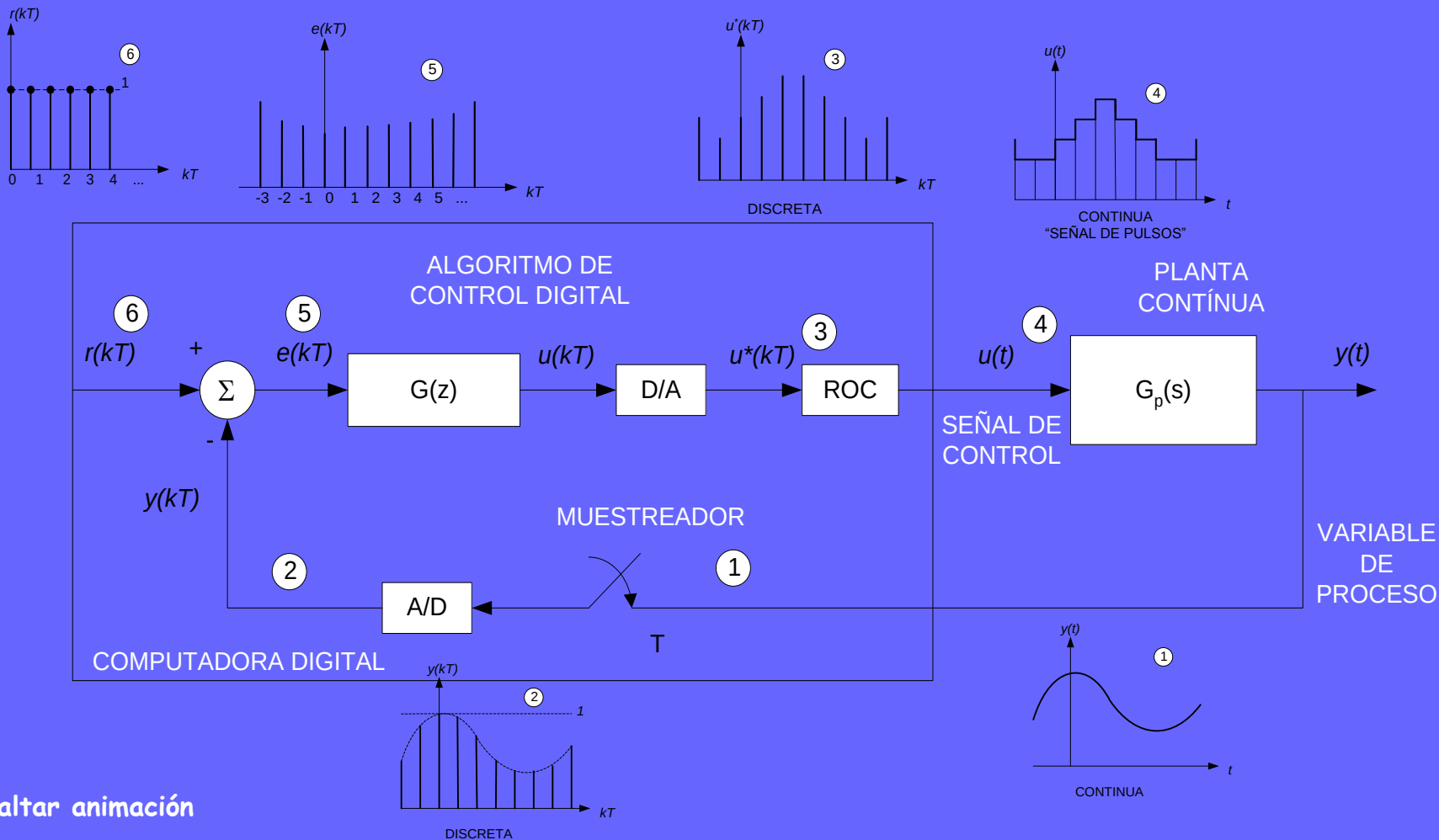


Sistemas de Control



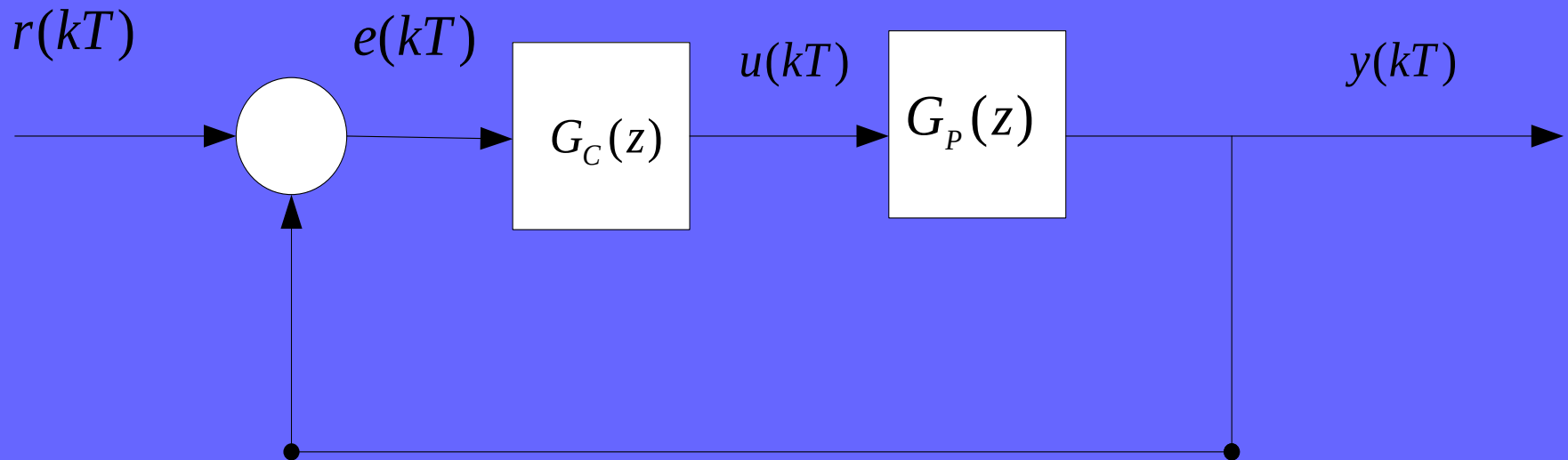
Retén de orden cero





Saltar animación

El lazo de control digital se representa enteramente como un sistema discreto, el controlador se expresa por la función de transferencia $G_C(z)$ y la planta por $G_P(z)$.

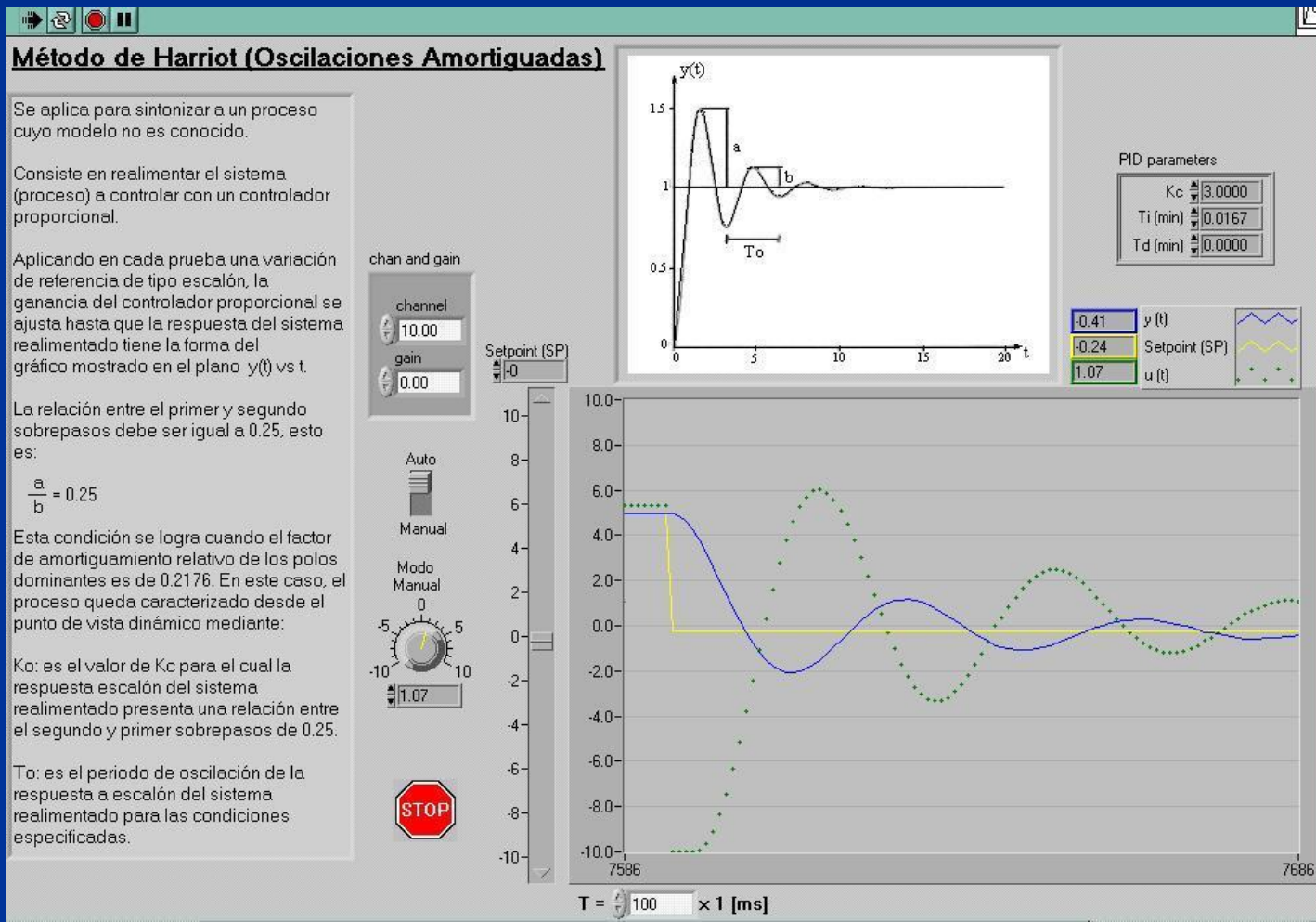




Sistemas de Control



Ejemplo de realización de un controlador PI discreto en el Lab. de Control Digital.





Sistemas de Control



Transformadas de Laplace y Z de funciones comunes

	$f(t)$	$F(s)$	$F(z)$	$f(kT)$
1.	$u(t)$	$\frac{1}{s}$	$\frac{z}{z-1}$	$u(kT)$
2.	t	$\frac{1}{s^2}$	$\frac{Tz}{(z-1)^2}$	kT
3.	t^n	$\frac{n!}{s^{n+1}}$	$\lim_{a \rightarrow 0} (-1)^n \frac{d^n}{da^n} \left[\frac{z}{z - e^{-aT}} \right]$	$(kT)^n$
4.	e^{-at}	$\frac{1}{s+a}$	$\frac{z}{z - e^{-aT}}$	e^{-akT}
5.	$t^n e^{-at}$	$\frac{n!}{(s+a)^{n+1}}$	$(-1)^n \frac{d^n}{da^n} \left[\frac{z}{z - e^{-aT}} \right]$	$(kT)^n e^{-akT}$
6.	$\sin \omega t$	$\frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$	$\frac{z \sin \omega T}{z^2 - 2z \cos \omega T + 1}$	$\sin \omega kT$
7.	$\cos \omega t$	$\frac{s}{s^2 + \omega^2}$	$\frac{z(z - \cos \omega T)}{z^2 - 2z \cos \omega T + 1}$	$\cos \omega kT$
8.	$e^{-at} \sin \omega t$	$\frac{\omega}{(s+a)^2 + \omega^2}$	$\frac{ze^{-aT} \sin \omega T}{z^2 - 2ze^{-aT} \cos \omega T + e^{-2aT}}$	$e^{-akT} \sin \omega kT$
9.	$e^{-at} \cos \omega t$	$\frac{s+a}{(s+a)^2 + \omega^2}$	$\frac{z^2 - ze^{-aT} \cos \omega T}{z^2 - 2ze^{-aT} \cos \omega T + e^{-2aT}}$	$e^{-akT} \cos \omega kT$



Sistemas de Control



Propiedades de la transformada Z

Theorem		Name
1.	$z\{af(t)\} = aF(z)$	Linearity theorem
2.	$z\{f_1(t) + f_2(t)\} = F_1(z) + F_2(z)$	Linearity theorem
3.	$z\{e^{-at}f(t)\} = F(e^{aT}z)$	Complex differentiation
4.	$z\{f(t - nT)\} = z^{-n}F(z)$	Real translation
5.	$z\{tf(t)\} = -Tz \frac{dF(z)}{dz}$	Complex differentiation
6.	$f(0) = \lim_{z \rightarrow \infty} F(z)$	Initial value theorem
7.	$f(\infty) = \lim_{z \rightarrow 1} (1 - z^{-1})F(z)$	Final value theorem

Note: kT may be substituted for t in the table.