

Ejemplo de Sistema de Control



Temas de la clase de hoy:



- Presentación del sistema a controlar
- Modelado simplificado
- Identificación
- Estrategia de control



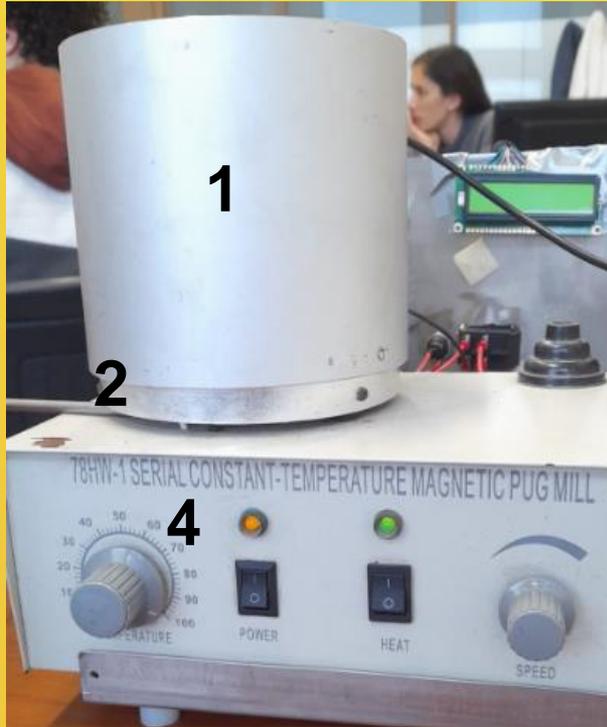


Temas de la clase de hoy:

- **Presentación del sistema a controlar**
- Modelado simplificado
- Identificación
- Estrategia de control



Sistema a controlar



Sistema a controlar



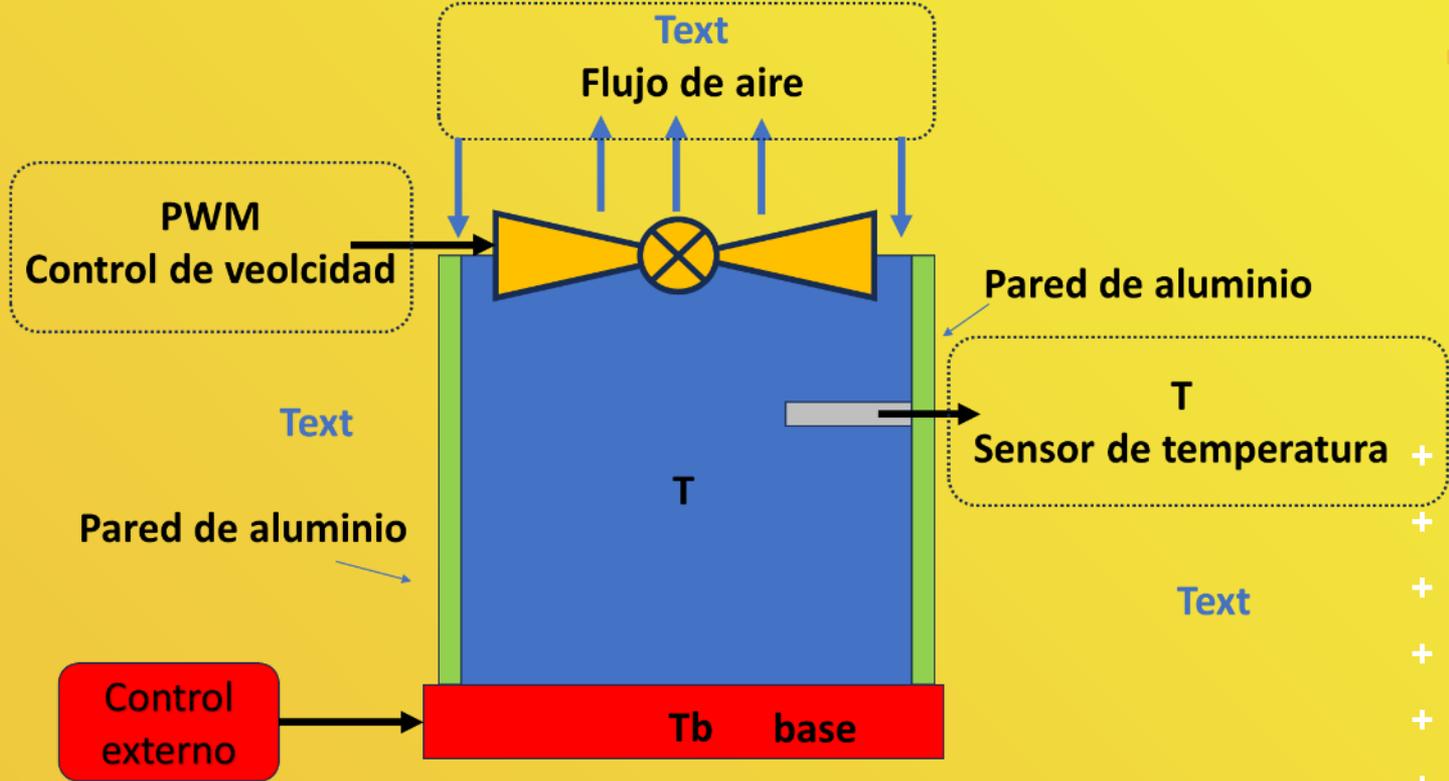
Sistema a controlar



Sistema a controlar

- Hay una temperatura externa, forzada por el calentador de la base, que lleva el sistema a una temperatura alta.
- La temperatura externa se fija con un controlador independiente. Las variaciones de esta temperatura son una perturbación al sistema.
- El objetivo del control es fijar la temperatura del aire en el interior de la columna. Como realimentación se tiene una medida de la temperatura en el interior de la columna.
- Como actuador se tiene un ventilador al que puede controlarse su velocidad de rotación.

Sistema a controlar



+ + + Sistema a controlar

+ T^+ Temperatura en el interior de la columna. Es medida por un sensor
+ colocado dentro de la misma.

+ T_b Temperatura de la base. Fija la condición de borde inferior, es controlada externamente por un calentador on-off al cual podemos fijar un punto aproximado de funcionamiento.

T_{ext} Temperatura exterior o temperatura de la sala. Es variable durante el proceso, su variación se toma como una perturbación externa al sistema.

PWM Es la acción de control para mantener la temperatura constante en el valor deseado. El motor es un motor DC que se controla su velocidad de rotación con modulación de ancho de pulsos (Pulse Wide Modulation)

Sistema a controlar





Temas de la clase de hoy:

- Presentación del sistema a controlar
- **Modelado simplificado**
- Identificación
- Estrategia de control



Modelado

El proceso de modelado puede resumirse en los siguientes pasos:

- Definir el objetivo de control del sistema.
- Identificar la dinámica de cada parte del sistema (subsistemas) y su relación con la variable objetivo.
- Estimar la incidencia de los subsistemas en la evolución de la variable objetivo.
- Definir entradas, salidas, perturbaciones y variables de estado.
- Escribir las ecuaciones simplificadas del modelo y las hipótesis simplificadoras del modelo.

+ + +

+ + Definir el objetivo de control del sistema.

+ + +

+ + +

+ + +

- + + El objetivo de nuestro control será alcanzar un setpoint fijado externamente en el menor tiempo posible y limitando el sobretiro

+ + +

+ + +

+ + +

+ + +

+ + +

+ + +



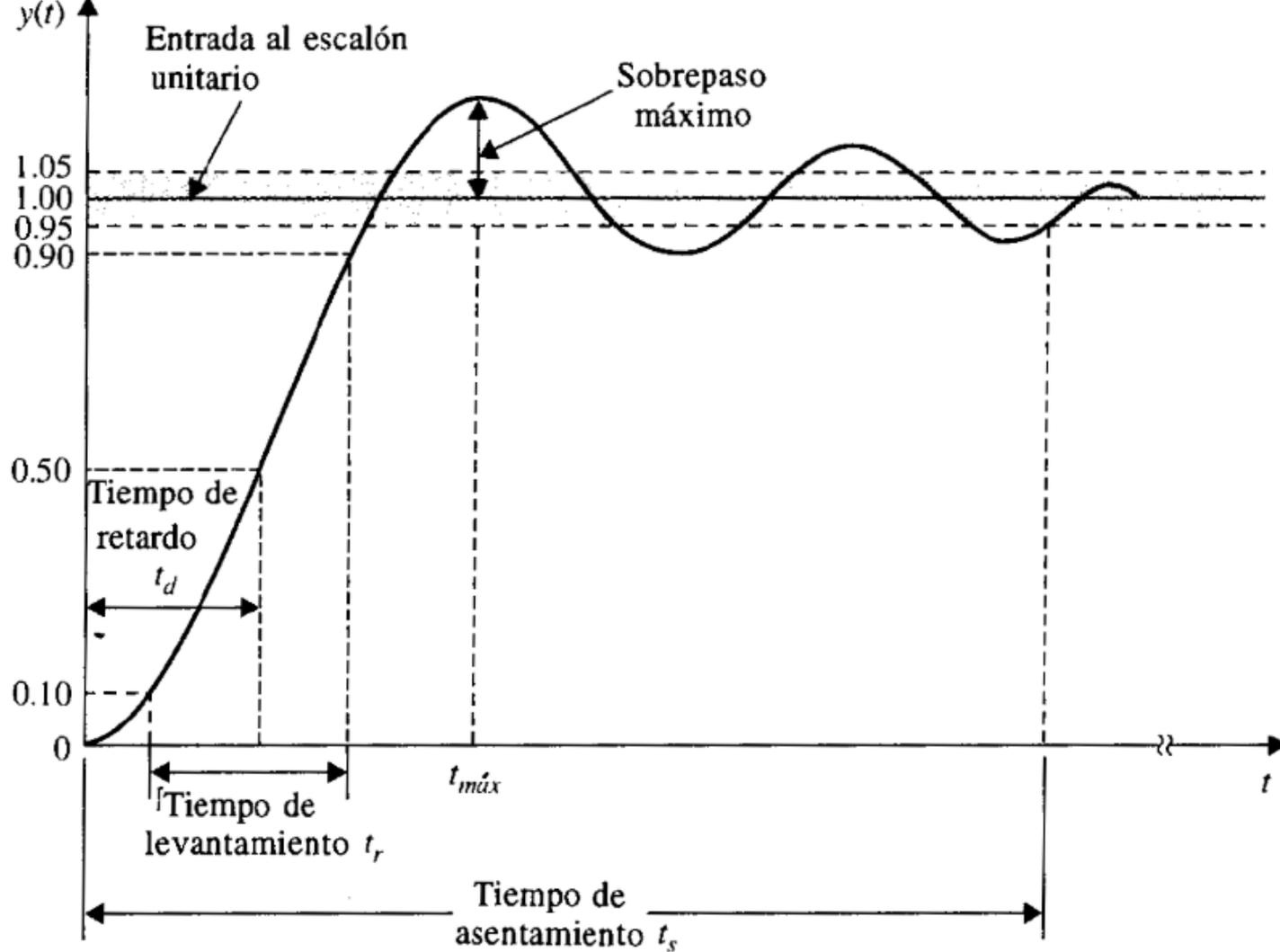


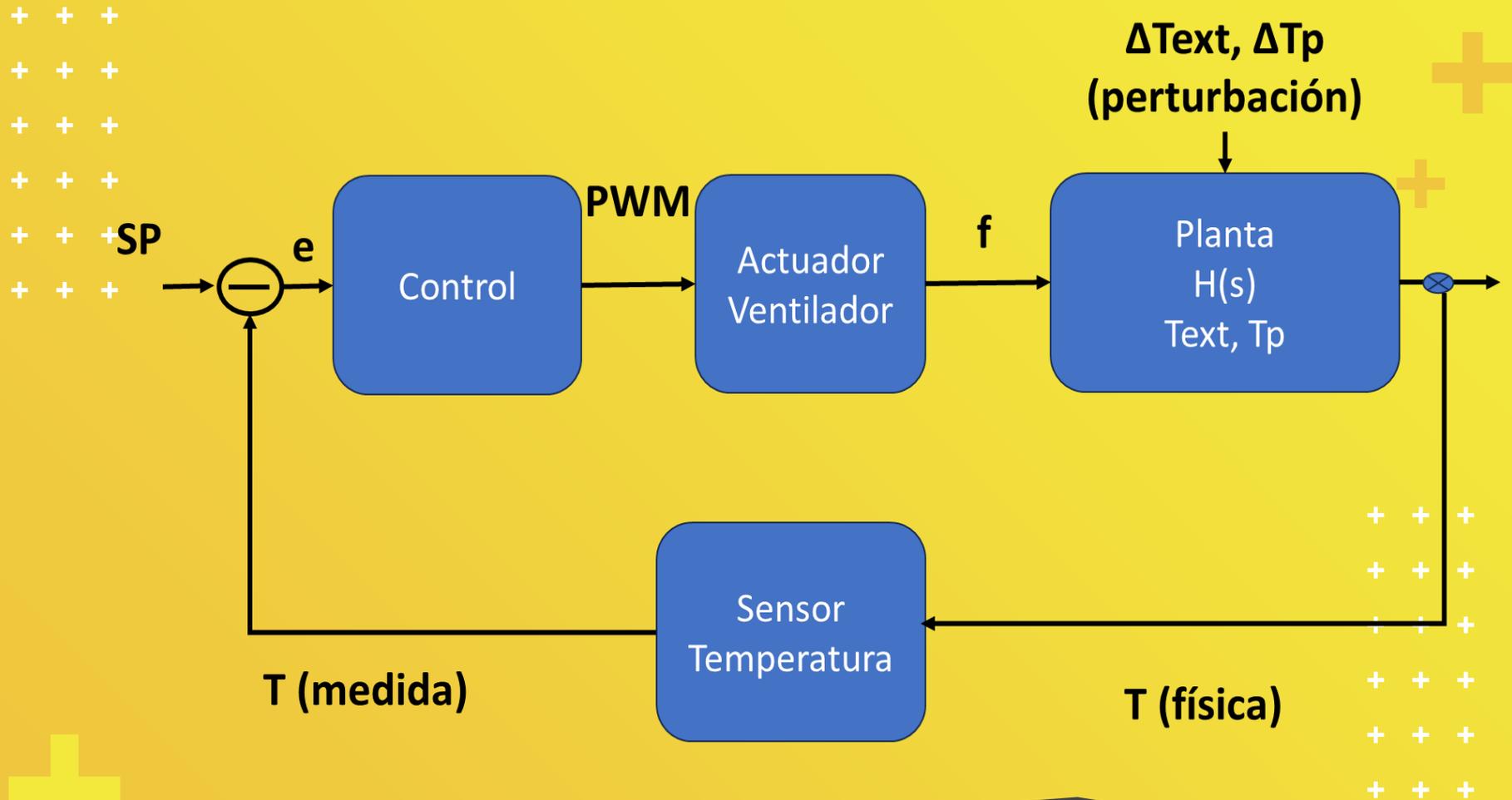


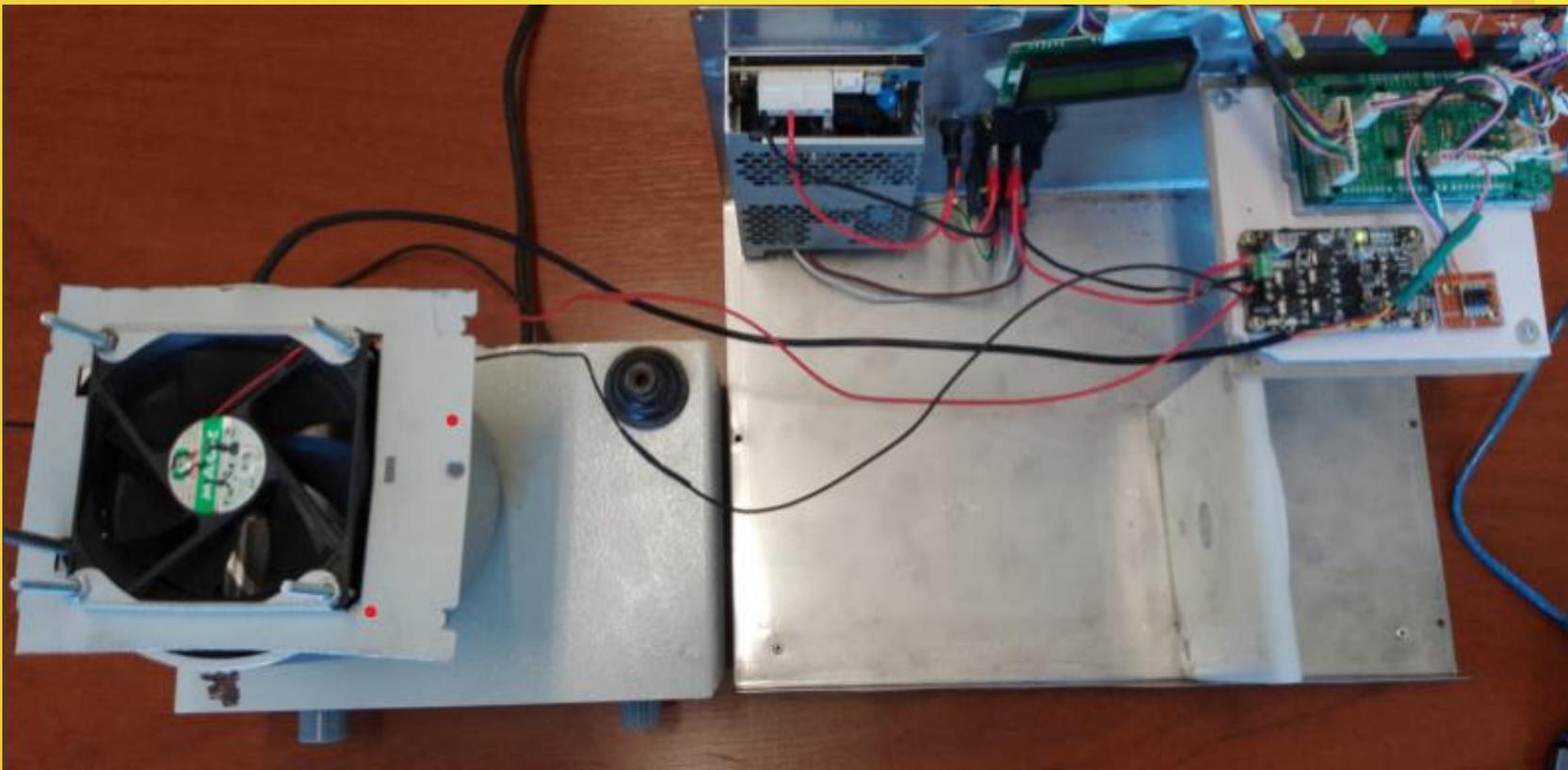
Diagrama de bloques y subsistemas.



Tenemos que identificar la planta, la entrada, la salida, las posibles perturbaciones, el sensor, el actuador







Dinámica de los subsistemas.



- Dinámica de la velocidad de giro del ventilador dependiendo del voltaje aplicado. Los motores eléctricos pueden modelarse como una masa (el rotor) que gira impulsada por un par eléctrico. El par eléctrico depende de la corriente por el bobinado del rotor que a su vez depende del voltaje aplicado. Esto da una dinámica de segundo orden.



+ + + + + + Dinámica de los subsistemas. + + +



- + + + • Dinámica del sensor de temperatura. El sensor tiene un tiempo de respuesta característico del orden de segundos. Esto afecta si queremos estudiar cambios bruscos de temperatura.
- + + +



Dinámica de los subsistemas.

- Dinámica de la energía intercambiada por el ventilador. La relación entre el intercambio de aire y la velocidad de giro depende de la geometría de la paleta y de régimen de flujo de aire. Es una relación complicada que en principio puede suponerse que hay una función $f(\omega, T, T_{ext})$ que describe el intercambio de energía producida por el flujo de aire.

Dinámica de los subsistemas.

- Dinámica de la temperatura de la base. Esta temperatura es fijada por un controlador externo de tipo on-off. Podemos asumir que tiene una temperatura media y que sus variaciones son una perturbación.

Dinámica de los subsistemas.

- Dinámica de la evolución de la temperatura en la columna de aire. Hay una evolución de la temperatura del aire (objetivo del control) y de la temperatura de la columna de aluminio. En principio puede modelarse como dos sistemas independientes (aire y columna de aluminio) o un sistema compuesto que engloba las características de los dos.

Dinámica de los subsistemas.

- Dinámica de la evolución de la temperatura en la columna de aire. Hay una evolución de la temperatura del aire (objetivo del control) y de la temperatura de la columna de aluminio. En principio puede modelarse como dos sistemas independientes (aire y columna de aluminio) o un sistema compuesto que engloba las características de los dos.

Dinámica de los subsistemas.

- Perturbaciones externas. Cambios en la temperatura del aire de la sala, cambios en la humedad de la sala, cambios en la temperatura de los componentes alrededor de la columna, etc. Esto afecta la dinámica, pero de una forma que no tenemos control ni realimentación, por ello los consideramos una perturbación que el sistema debe rechazar.

Hipótesis de modelado.

Hipótesis 1. Consideramos un sistema formado por la columna de aire y la pared de aluminio y el termómetro poseen coeficientes de capacidad calorífica y masa equivalentes del conjunto.

Hipótesis 2. El ventilador tiene una velocidad de giro proporcional al PWM (voltaje aplicado). En principio no consideraremos una zona muerta. Se describe el intercambio de energía por la función $f(\omega, T, T_{ext})$

Hipótesis 3. La temperatura de la plancha y la del ambiente se consideran constantes. Su variación es perturbación

Modelo

$$MC \frac{dT}{dt} = -k_e(T - T_{ext}) - k_p(T - T_p) - f(PWM, T, T_{ext})$$

MC es la masa y la capacidad calorífica del sistema conjunto formado por el aire y la pared de aluminio.

$k_e(T - T_{ext})$ intercambio de energía a través de la pared de aluminio y el ambiente.

$k_p(T - T_p)$ intercambio de energía con la plancha.

$f(PWM, T, T_{ext})$ intercambio de energía en el ventilador

Modelo linearizado

$$MC \frac{dT}{dt} = -k_e(T - T_{ext}) - k_p(T - T_p) - f(PWM, T, T_{ext})$$

$$f(PWM, T, T_{ext}) = f(PWM_{SP}, T_{SP}, T_{ext}) + \left. \frac{\partial f}{\partial PWM} \right|_{SP} \Delta PWM + \left. \frac{\partial f}{\partial T} \right|_{SP} \Delta T + \left. \frac{\partial f}{\partial T_{ext}} \right|_{SP} \Delta T_{ext}$$

$$\frac{dT}{dt} + \frac{1}{\tau} T = a \Delta PWM + b$$

Modelo linealizado

$$\frac{dT}{dt} + \frac{1}{\tau} T = a \Delta PWM + b$$

Los parámetros a y b dependen del setpoint y la temperatura externa.
Podemos realizar un cambio de variables del tipo $\Delta T = T - T_{eq}$

Con estas variables:

$$\frac{d\Delta T}{dt} + \frac{1}{\tau} \Delta T = a \Delta PWM$$

Temas de la clase de hoy:



- Presentación del sistema a controlar
- Modelado simplificado
- **Identificación**
- Estrategia de control



+ + + + + + Identificación

+ + +
+ + + Tenemos dos caminos:

- + + + 1) Identificar el modelo y aplicar alguna técnica de diseño analítico de las vistas en el curso
- 2) Identificar la respuesta del sistema y aplicar alguna técnica de diseño aproximado basada en la respuesta temporal o la respuesta oscilatoria

+ + +
+ + +
+ + +
+ + +
+ + +
+ + +



Vamos por la opción 2

Identificar la respuesta del sistema y aplicar alguna técnica de diseño aproximado basada en la respuesta temporal o la respuesta oscilatoria

Este es uno de los procedimientos más usados en la industria... aunque hay opciones menos elaboradas como el auto-set de los controladores (que de alguna manera implementan una respuesta transitoria pero no sabemos cómo) y el poner algún valor “a ojo”. Eso es más frecuente de lo que parece y hace que haya muchos controladores mal sintonizados.

+ + + Zileger – Nichols en lazo abierto

+ + +

+ + +

+ + + Esta técnica es indicada para plantas que responden como un sistema de primer orden con un retardo. Esto se aplica para nuestra planta. Típicamente el sistema responde con una forma de “S” debido al retardo. Determinando los tiempos están tabulados los valores para los controlados P, PI y PID.

+ + +

+ + +

+ + +

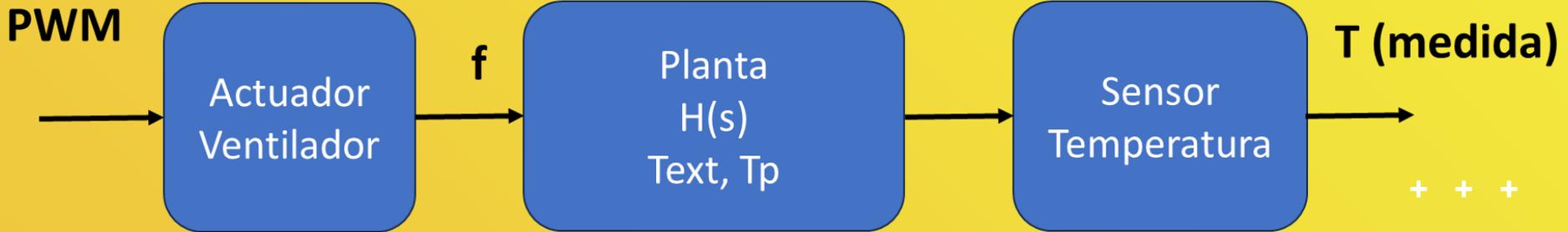
+ + +

+ + +

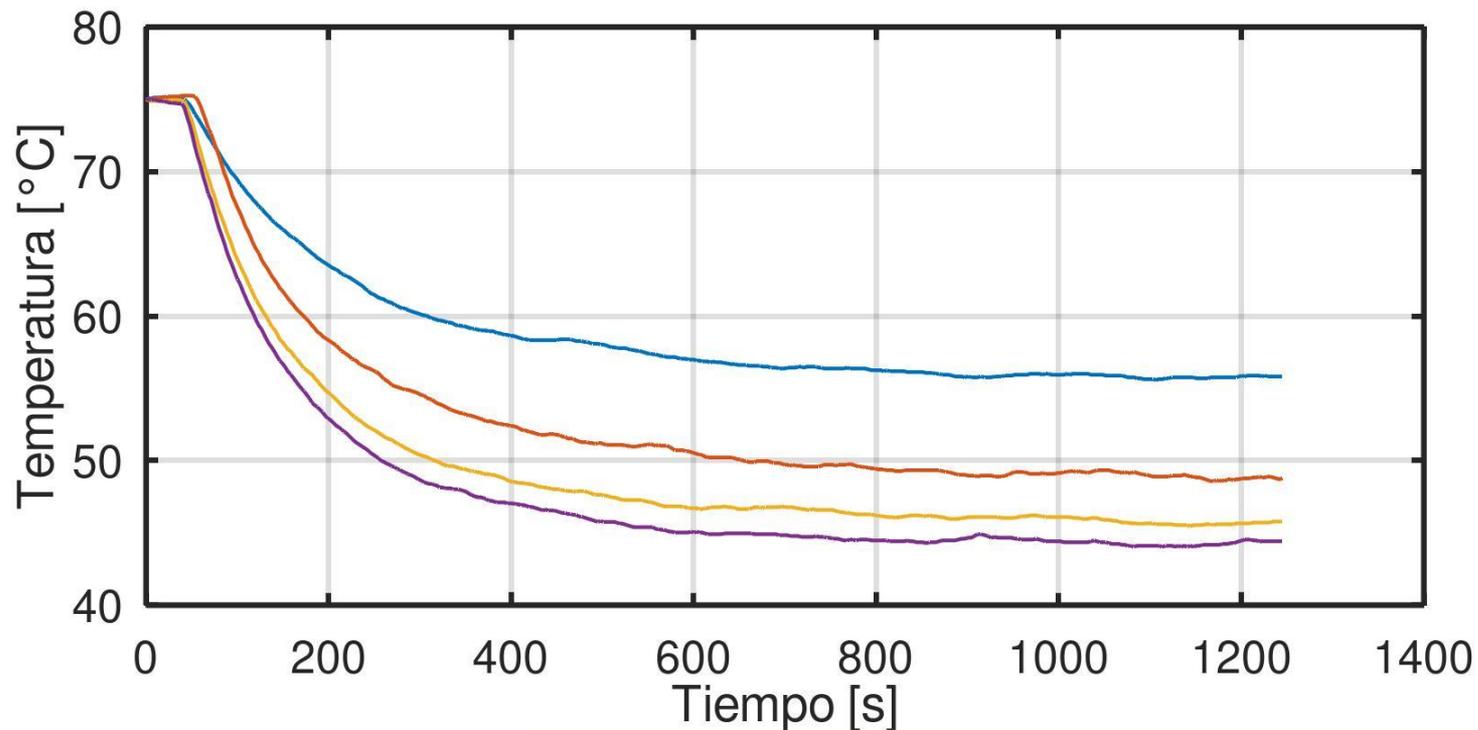
+ + +



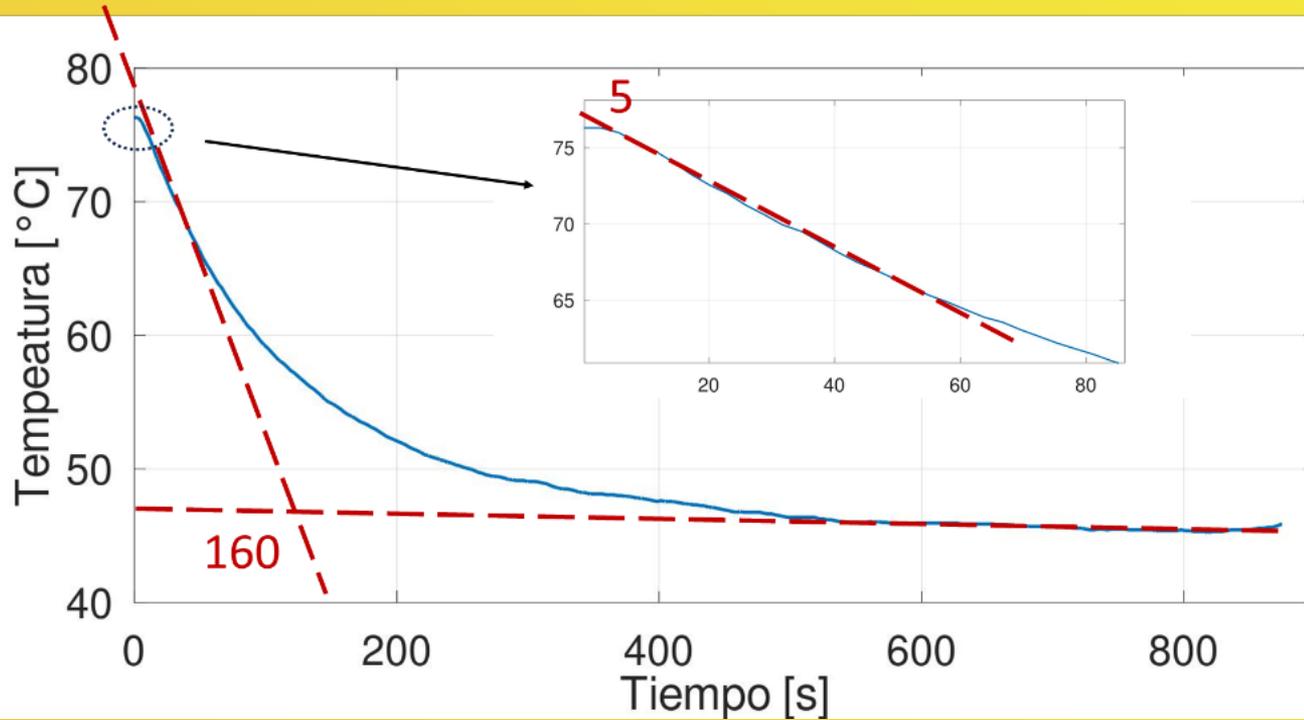
Zileger – Nichols en lazo abierto



Zileger – Nichols en lazo abierto



Zileger – Nichols en lazo abierto



Zileger – Nichols en lazo abierto

Se definen tres parámetros:

L “Lag”, es el retardo en el inicio de la respuesta. En la figura estimarlo entre 5 s y 20 s.

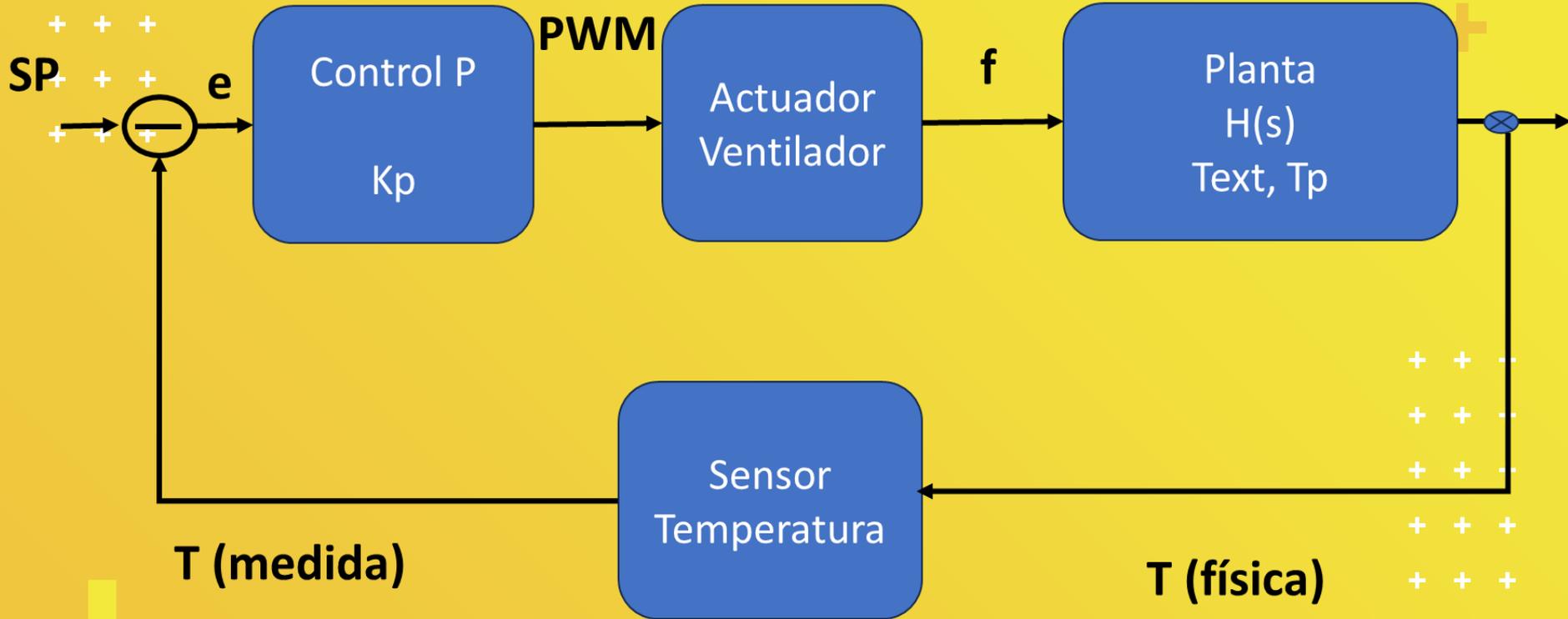
R “Rise”, es el tiempo de subida, tomando como referencia una recta por el punto de máxima pendiente o donde se anula la derivada segunda. En nuestro caso podemos estimarlo en 150 s y 200 s.

G, ganancia, es el valor del aumento de la salida dividido por la entrada escalón. En nuestro caso podemos estimar G entre 1.4 y 1.8

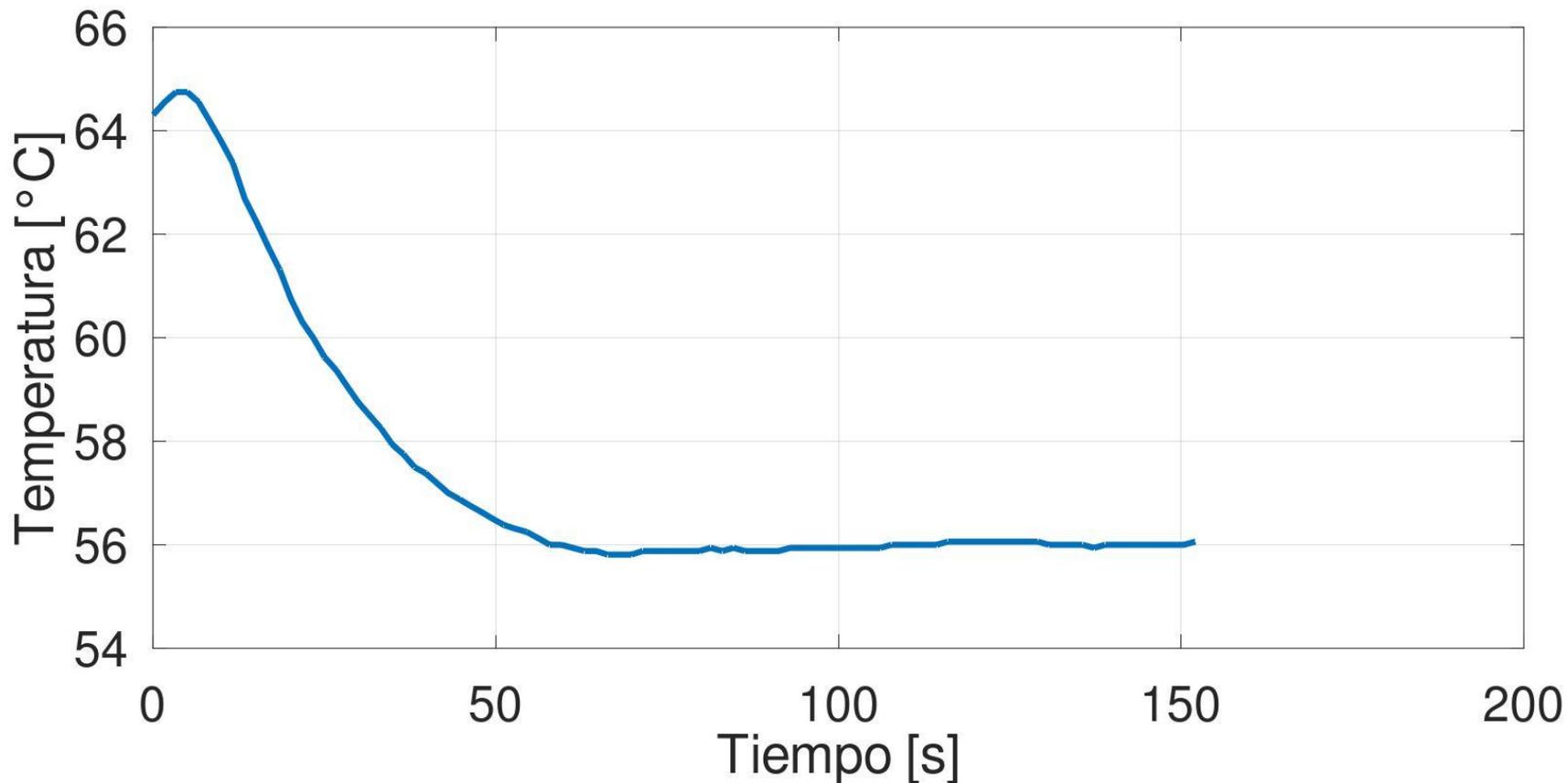
Zileger – Nichols en lazo cerrado

Esta técnica opera en lazo cerrado y consiste en aumentar la ganancia proporcional hasta que se observan oscilaciones sostenidas a la salida. Esta ganancia se llama ganancia crítica o $K_{Pcritico}$. Note que no todos los sistemas físicos admiten este tipo de ensayos. En la industria puede ser muy peligroso imponer una oscilación sobre la salida de una planta a controlar. Sin embargo, en nuestro es aplicable sin mayores problemas.

Zileger – Nichols en lazo cerrado

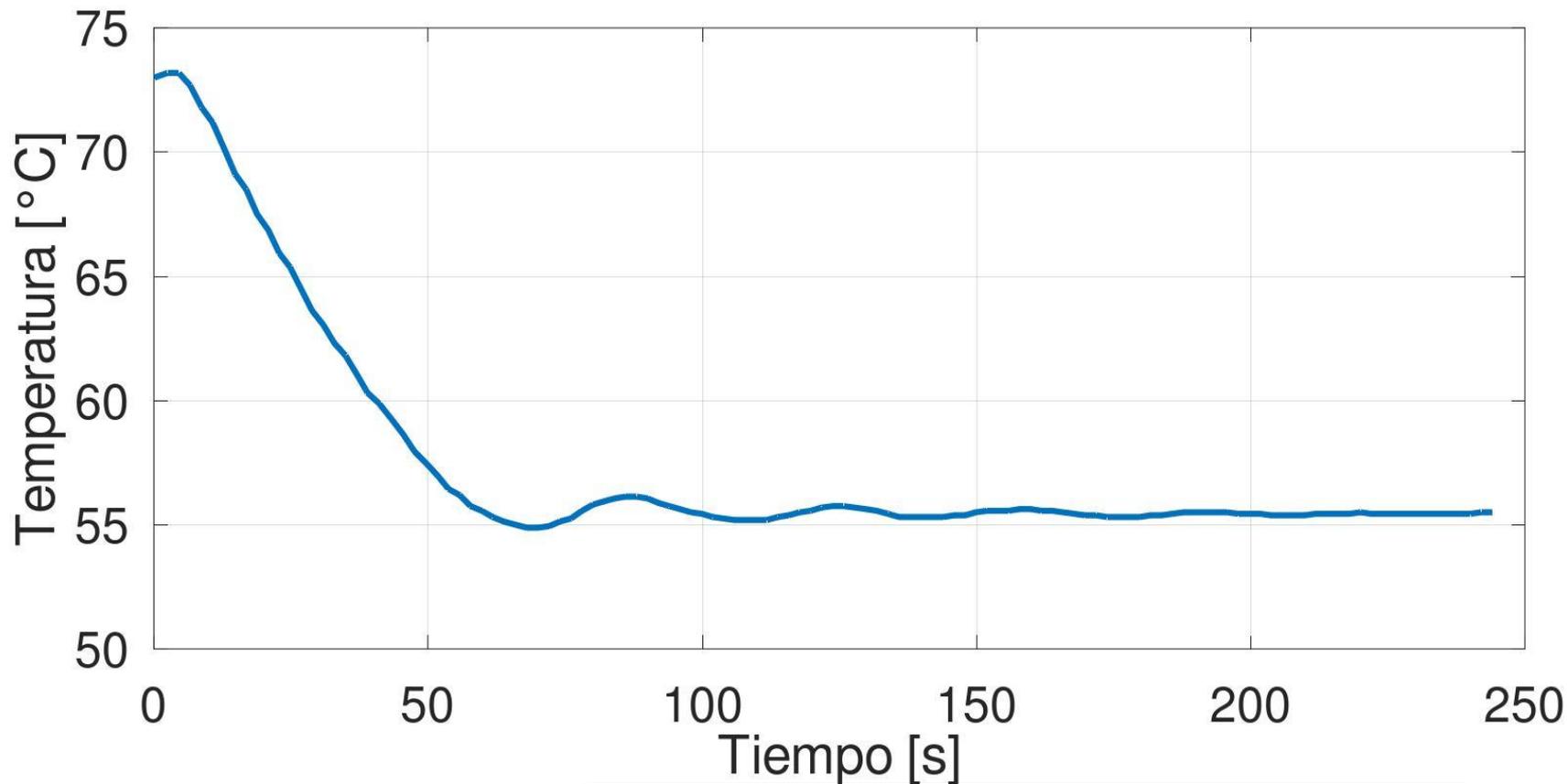


Zileger – Nichols en lazo abierto

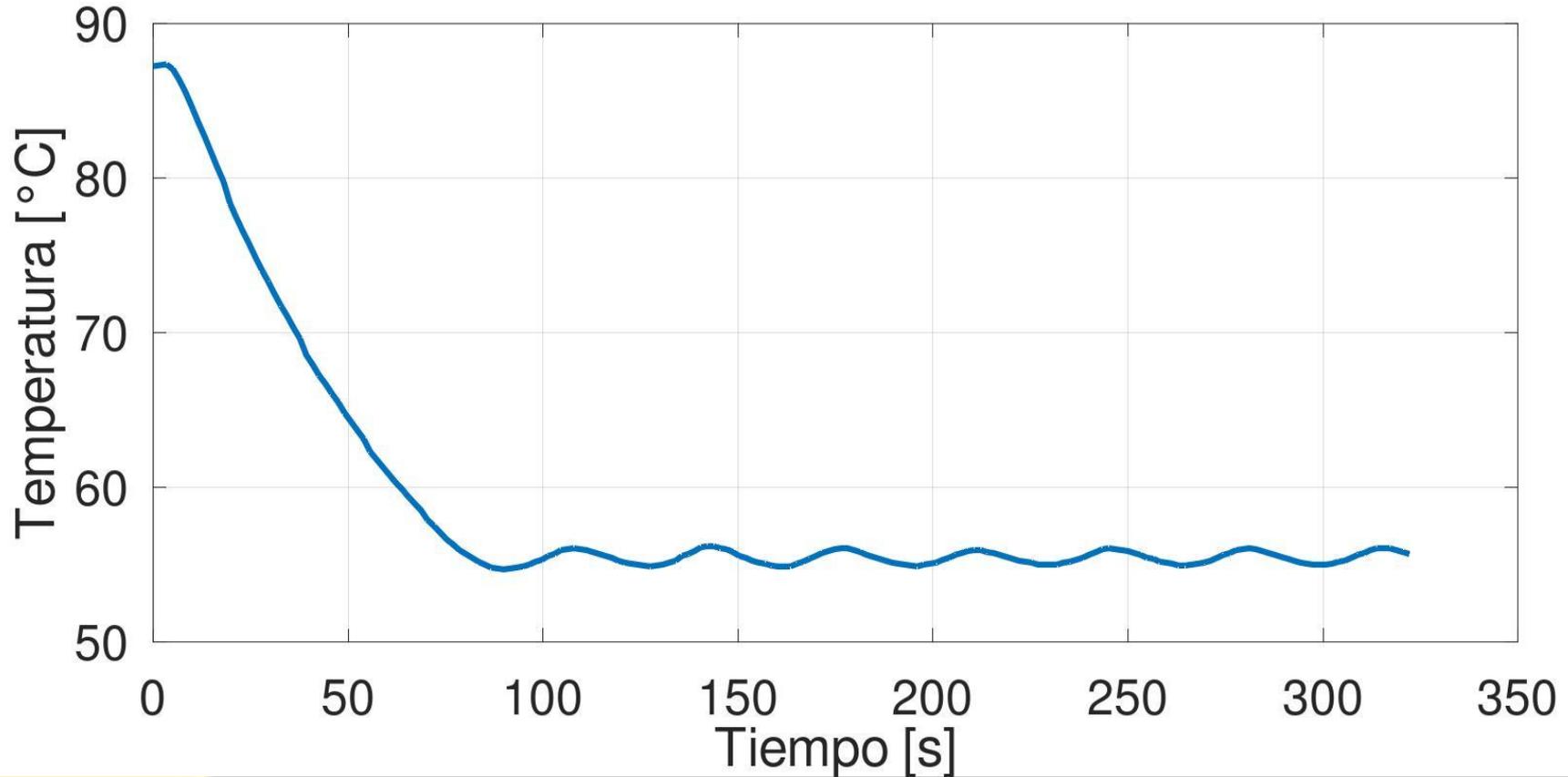




Zileger – Nichols en lazo abierto



Zileger – Nichols en lazo abierto



+ + + Zileger – Nichols en lazo abierto

+ + +

+ + +

Dos parametros:

+ + +

+ + + **T_c**, periodo de la oscilación (entre 30 s y 60 s) .

G_c, ganancia critica a la que comienza a oscilar (entre 40 y 70)

+ + +

+ + +

+ + +

+ + +

+ + +

+ + +





Temas de la clase de hoy:

- Presentación del sistema a controlar
- Modelado simplificado
- Identificación
- **Estrategia de control**





Control ON-OFF:

Una estrategia muy simple de control que es aplicable en nuestra planta es el control on-off. Para implementar este tipo de control debemos definir tres valores:

Setpoint (SP).

Ventana de histéresis (VH).

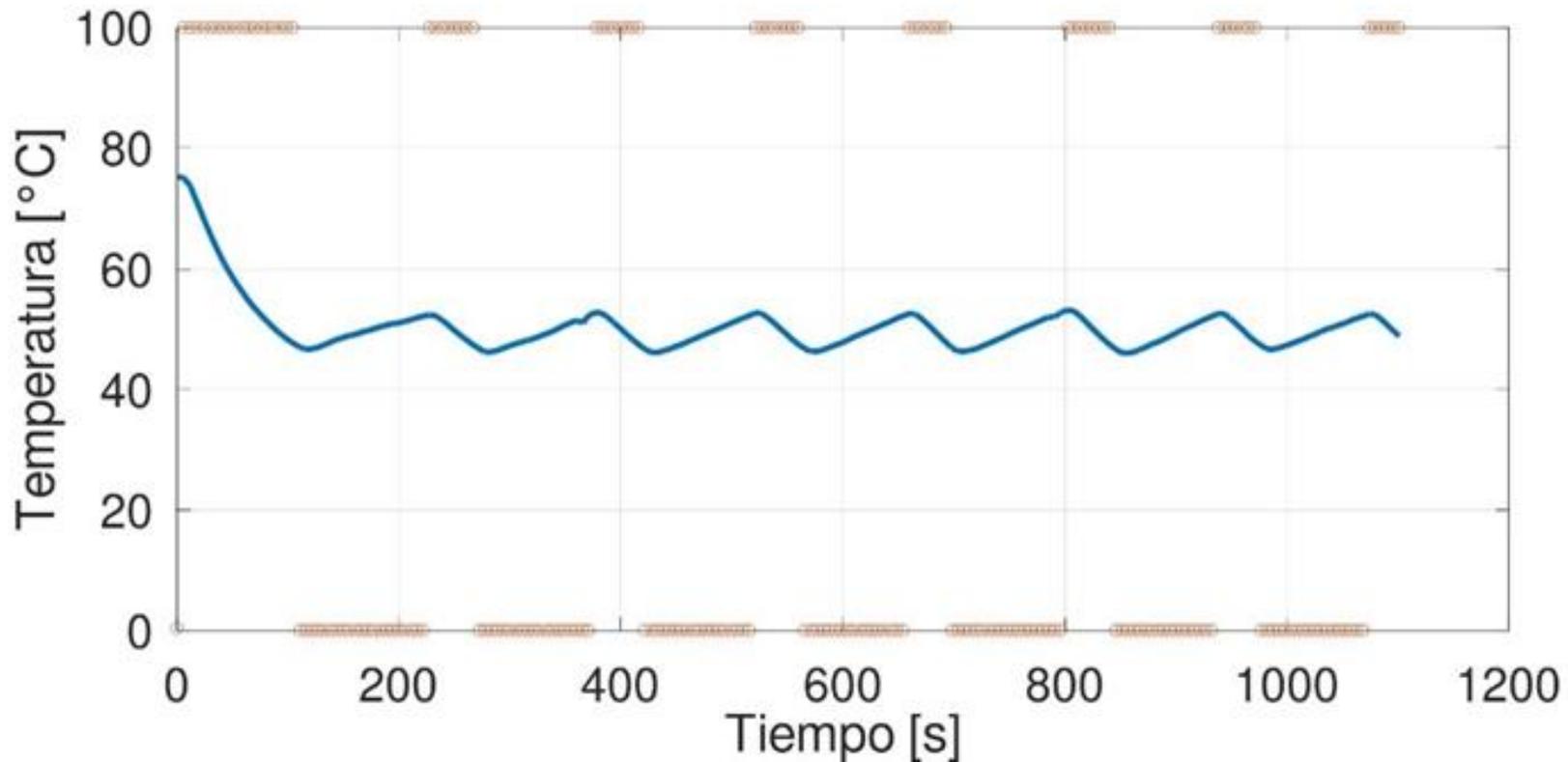
Error $e = T - SP$

$e > VH$ Prende el ventilador

$e < -VH$ Apaga el ventilador



Control ON-OFF:





Control PID:

Una segunda estrategia simple de control es el llamado control PID. Este control toma como variable de entrada el error e y genera una salida que es suma de tres términos, un proporcional, un integral y un derivativo. Como antes el error se calcula

Error $e = T - SP$

$$PWM = K_P e + K_I \sum e \Delta t + K_D \frac{\Delta e}{\Delta t}$$



Control PID:

