

El compromiso especificaciones / robustez

Consideraciones prácticas para diseño robusto

Presentación en vídeo disponible en:

<http://personales.upv.es/asala/YT/V/errmi.html>

<http://personales.upv.es/asala/YT/V/objcr.html>

<http://personales.upv.es/asala/YT/V/ceridea.html>

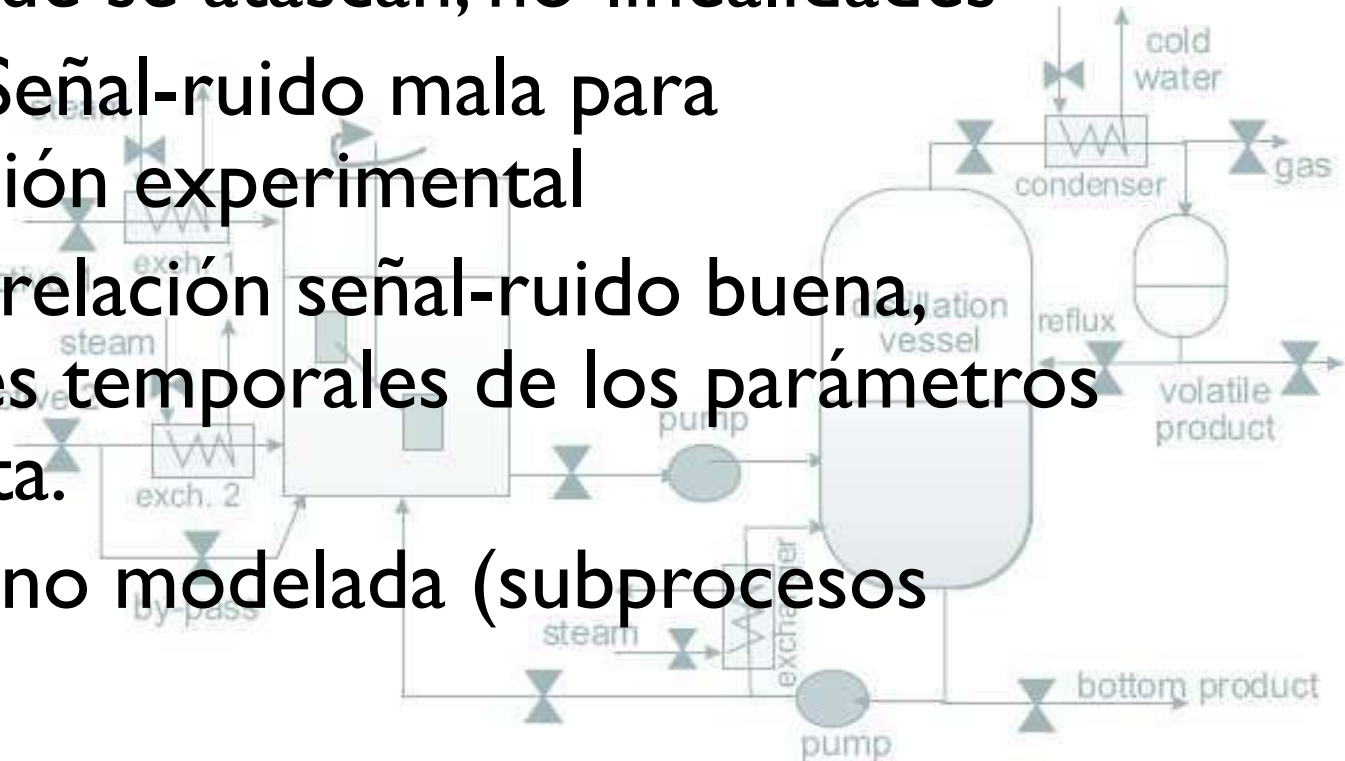
<http://personales.upv.es/asala/YT/V/limaf.html>

<http://personales.upv.es/asala/YT/V/cere1.html>

<http://personales.upv.es/asala/YT/V/cerit.html>

¿Cuál es el problema?

- Los procesos reales tienen modelos sujetos a GRANDES errores:
- Válvulas que se atascan, no-linealidades
- Relación Señal-ruido mala para identificación experimental
- Incluso si relación señal-ruido buena, variaciones temporales de los parámetros de la planta.
- Dinámica no modelada (subprocesos rápidos)



Planteamiento general

- **Objetivos de la instrumentación de control:**
 - **Aumentar el rendimiento (optimización)**
 - **Reducir la variabilidad (control) frente a:**
 - *perturbaciones*
 - *variaciones en las características del proceso*
 - **Respetando restricciones:**
 - *Frecuencia y amplitud de actuadores,*
 - *límites de variables internas*

Planteamiento general (II)

- Estrategias para conseguirlo:
 - Diseño de la planta para que sea poco afectada por perturbaciones (*Importante!): control y opt. B.A.
 - Control en bucle cerrado:
 - *Imitación de operador humano*
 - *Sintonización empírica de reguladores*
 - *Diseño de controladores y optimización basado en modelos* -- $\text{salida} = f(\text{entrada})$ --
 - ¿¿¿Cuánta “exactitud” es necesaria en el modelo???
 - ¿¿¿Qué variables debo modelar, medir, modificar???



Objetivos de un diseño “robusto”

- Objetivo: “simulación/proyecto” parecido a “experimento”
- Además, si es posible “simulación con prestaciones satisfactorias”



Consideraciones “prácticas”

- Para que “simulación” sea parecido a “experimento”, las entradas en bucle cerrado deben ser “parecidas” a las usadas para identificación:
 - Escalones
 - Senoidales
- Problema: las entradas para control “rápido y sin oscilaciones” difieren mucho del escalón o la senoidal.



El compromiso especificaciones-robustez

- Cuanto más “óptimo/rápido” es un controlador para un “modelo” en concreto, más sensible es a errores de modelado.
- Ejemplo de la idea:
 - el “just in time”
 - Subir 5°C la Temp del aula en 3 milisegundos.



Limitaciones del control:

FRECUENCIA

- Las entradas en B.C. no deben tener contenido de ALTA frecuencia:
 - Los datos experimentales previos (respuesta ante escalón) no los tienen, en muchos casos.
 - Incluso si los tienen, como la respuesta del proceso suele decrecer conforme aumenta la frecuencia, la relación señal-ruido empeora.
 - A frecuencias altas, los actuadores no se comportan como se espera:
 - Ancho de banda limitado, no linealidades (Coriolis wv),
 - Desgaste mecánico, pérdidas por calor, radiación electromagnética...



Limitaciones en frecuencia (II)

- Es IMPOSIBLE en la práctica tener un modelo correcto a altas frecuencias
- Para seguir referencias que varíen rápidamente los actuadores necesitan moverse:
 - Muy rápido
 - Con gran amplitud (la respuesta del proceso decae): saturación.
- **CONCLUSIÓN:** es imposible en la práctica tener controladores “muy rápidos” aunque lo sea en simulación. El ingeniero debe tener una idea de los límites “razonables”.



Limitaciones del control: amplitud de las señales

- Para tener un buen modelo “linealizado” las entradas deben tener una amplitud pequeña, pero...
- Entonces la relación señal/ruido decrece.
- Si la amplitud es grande, relación S/R mejor, pero NO-Linealidades deforman mis resultados:
- **CONCLUSIÓN: es difícil ajustar experimentalmente modelos linealizados en entornos ruidosos.**



Limitaciones del control: amplitud de las señales (II)

- Como es difícil ajustar modelos, los controladores lineales deben poder tolerar errores relativamente grandes.
- Como, además, para que sean rápidos requieren amplitudes grandes (que excitan no-linealidades)...
- Es difícil, en entornos ruidosos, diseñar controladores rápidos que funcionen bien en la práctica.
- Es difícil diseñar controladores que funcionen bien ante cambios BRUSCOS GRANDES del punto de funcionamiento.



Compromiso especificaciones-robustez

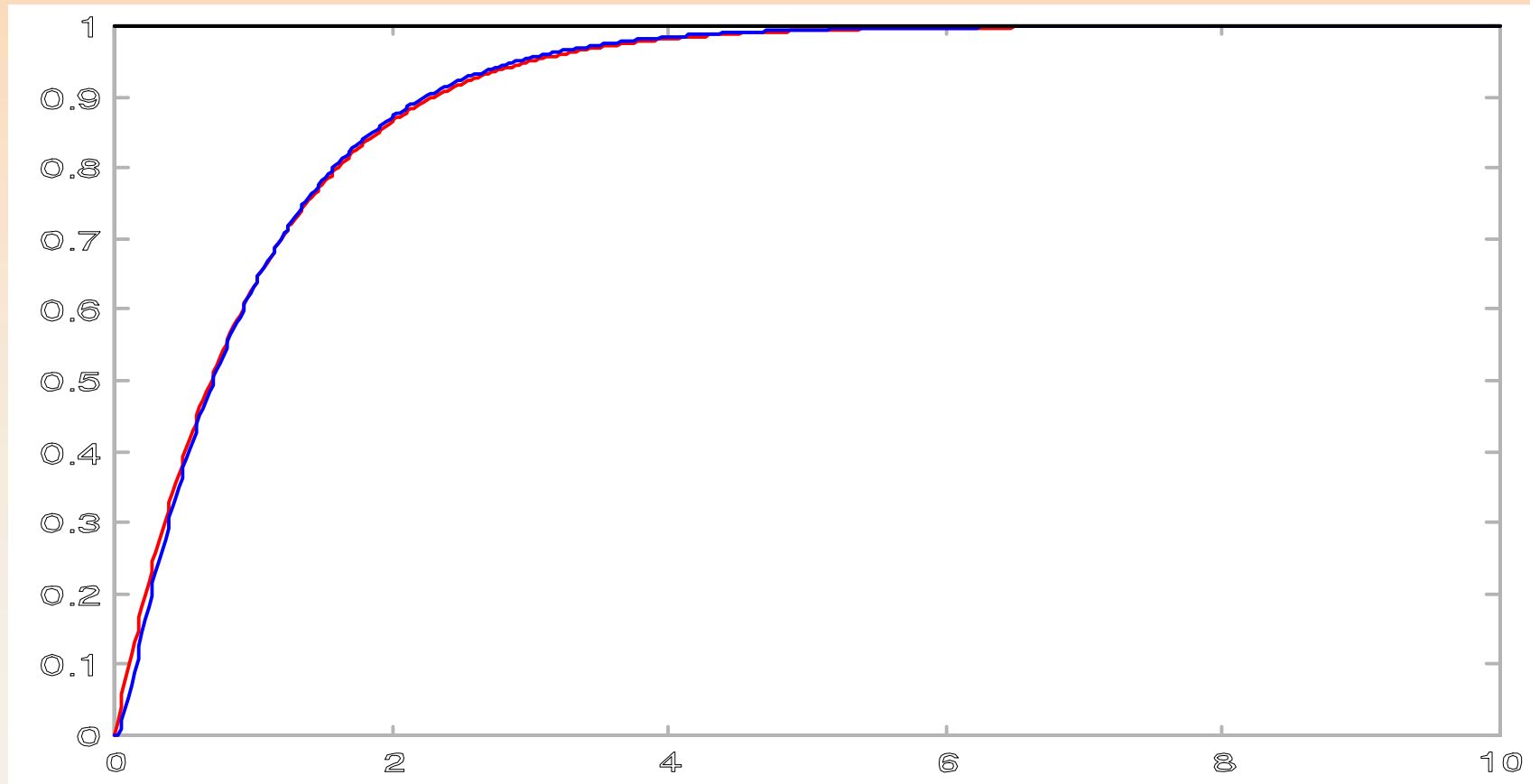
- Cuanto más rápido sea un controlador “en simulación” más probabilidad de que no funcione “en la práctica”.
- En entornos ruidosos, no lineales, es difícil diseñar reguladores rápidos basados en modelos complejos: **es difícil mejorar sobre un PID (2° orden)**.
- Suele ser mejor **añadir sensores y actuadores** en ruidoso/no-lineal que complicar el modelo (difícil “ajustarlo”).

Limitaciones fundamentales (3)

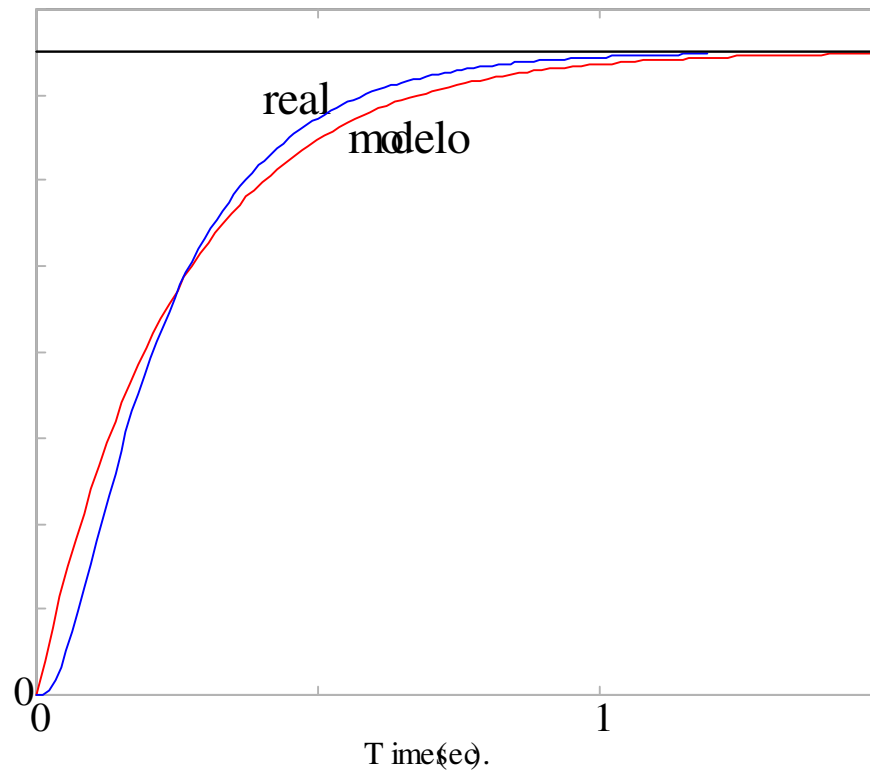
- Limitaciones para estabilidad interna: T debe contener ceros de fase no mínima de G , S debe contener polos inestables de G
- Significado práctico:
 - No puedo controlar un proceso de fase no mínima en menos tiempo del que tarda su respuesta en invertirse (tope superior de rapidez-ancho banda-)
 - No puedo controlar un proceso inestable si mi “rapidez de reacción” supera el tiempo que tarda la salida a duplicarse (tope mínimo de rapidez).
 - Ambas situaciones simultaneas proceso difícil de controlar. Diseño con muchas sobreoscilación, amplificando perturb., poco robusto.

Especif./Robustez: ejemplo

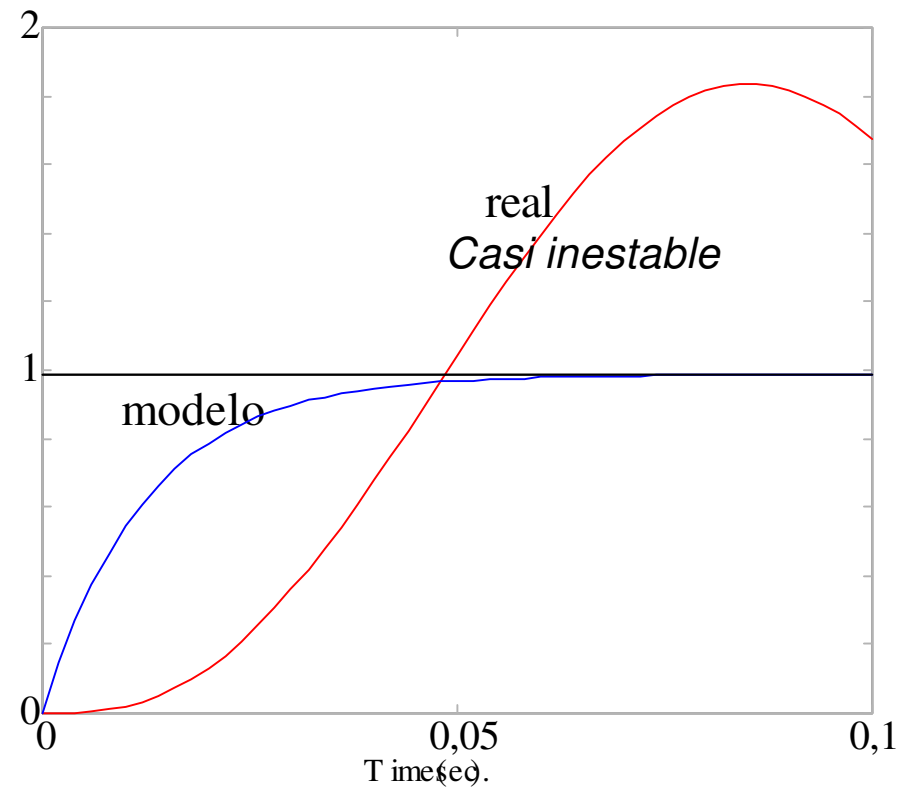
- Proceso desconocido; Modelo $1/(s+1)$. Respuesta ante escalón OK. Buen modelo para control?



Especif./Robustez: ejemplo (2)



$K=3$



$K=79$

Control basado en modelos

- En TEORÍA, dado un modelo $y=G u$, puede convertirse en otro $y=T r$:

- bucle abierto: $u=G^{-1} T r$

- bucle cerrado:

$$\frac{KG}{1+KG} = T \quad u = \frac{T}{(1-T)} G^{-1} (r - y)$$

- trivial si podemos usar controlador de la complejidad necesaria. (Un PID no puede hacer todo!)

- El “problema de control” es diseñar un T estable, o equivalentemente $S=(1-T)=e(s)/r(s)$, **S pequeño**
 - Regulador realizable, no cancelar polos/ceros > 0

Incertidumbre en control

- Por qué decidimos controlar en B.A. O B.C.?

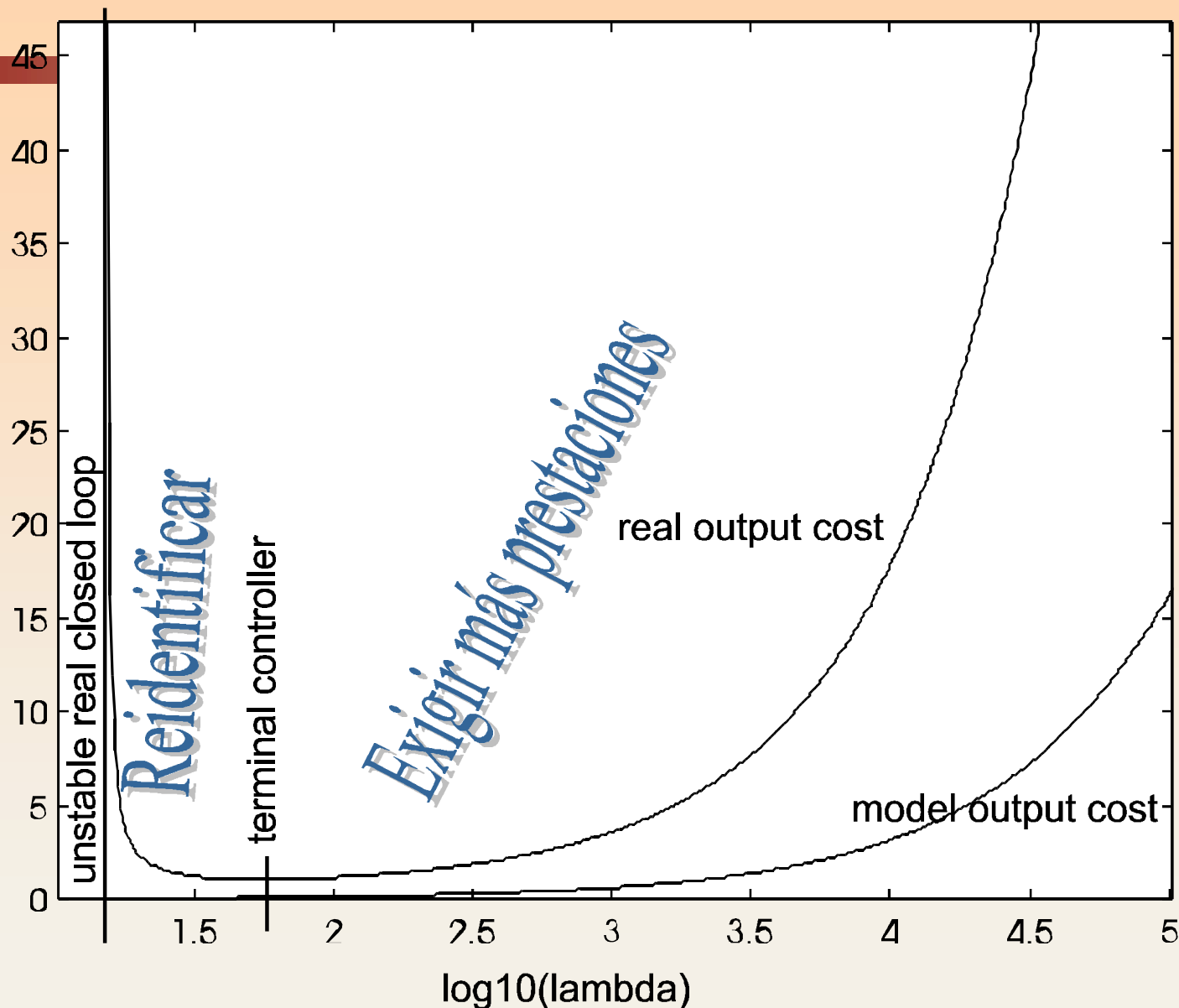
Lo decide la presencia de perturbaciones no medibles y errores de modelado. El seguimiento “perfecto” de referencias es conseguible de ambos modos.

B.A.: no cancela perturbaciones

B.C.: sí cancela perturbaciones, pero puede inestabilizar ante errores de modelado

- Dependiendo de la importancia de uno u otro factor se debe operar de una u otra forma.
- Esa importancia **puede variar según la frecuencia**

Límites del control óptimo



**Modelado
Teórico**

Esquema iterativo general

*Estructuras a priori
(orden, linealidad, parámetros clave)*

**Primer
Modelo**

Primer
experimento

*Especificaciones
poco agresivas*

**Diseñar
Regulador**

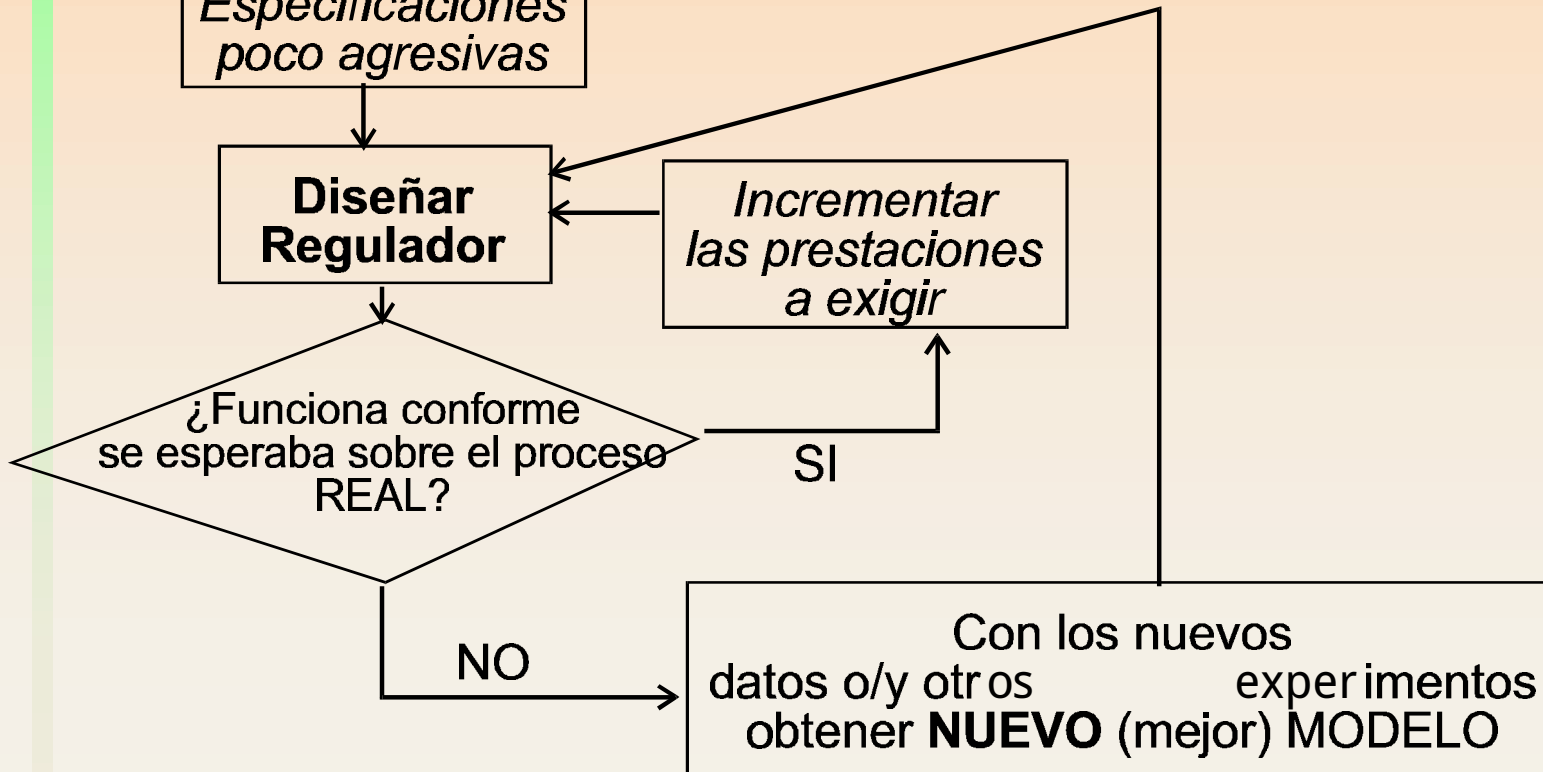
*Incrementar
las prestaciones
a exigir*

¿Funciona conforme
se esperaba sobre el proceso
REAL?

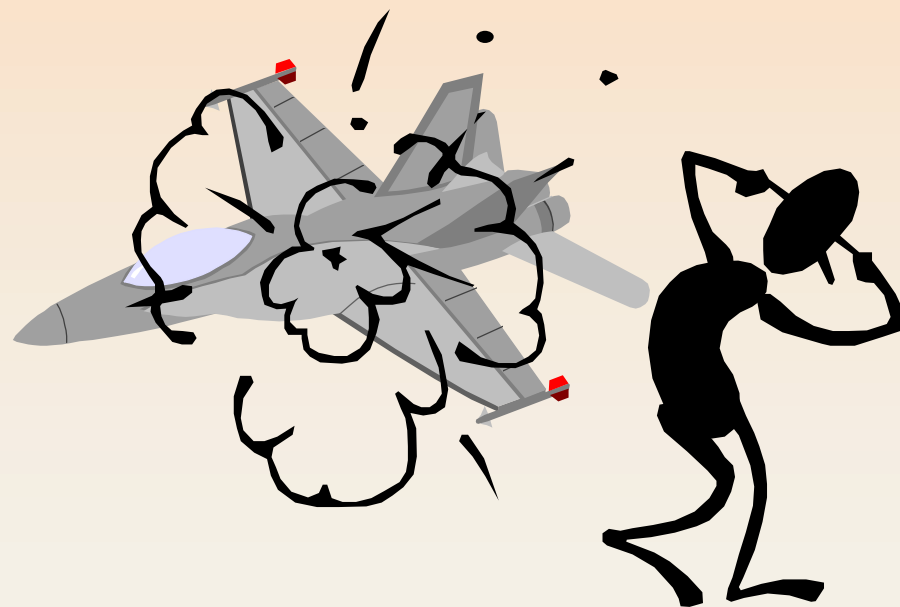
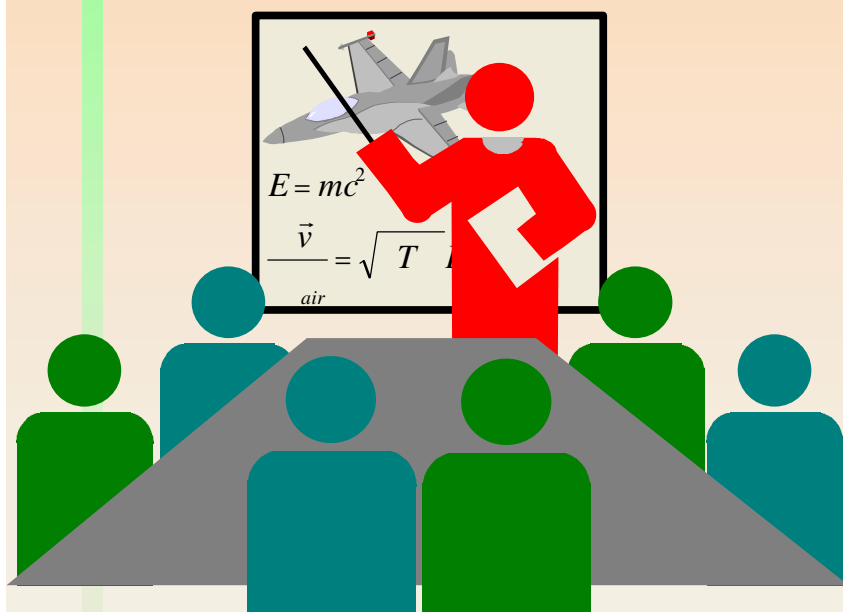
SI

NO

Con los nuevos
datos o/y otros experimentos
obtener **NUEVO** (mejor) MODELO



CONCLUSIONES



CONTROL ROBUSTO

- La optimización “agresiva” sobre un modelo es inútil si no se toma en cuenta la exactitud de dicho modelo:
 - **Compromiso ESPECIF./ROBUSTEZ:** cuanto más se optimiza más sensible se es a cambios inesperados
- El control basado en modelos (obtener una determinada FdT ante referencia o perturbaciones) es, hoy en día, un problema **TRIVIAL**, tanto en bucle abierto como cerrado como “intermedio”.
- El problema es **qué función de transferencia obtener...**

CONTROL ROBUSTO

- Los diseños están limitados:
 - en **FRECUENCIA**
 - *Todos los modelos son malos a altas frecuencias*
 - en **AMPLITUD**
 - *Todos los modelos tienen no linealidades que se manifiestan si las amplitudes (o las velocidades de variación) son demasiado grandes*
 - por no cancelar polos/ceros inestables
 - *Procesos inestables / fase no mínima son más difíciles de controlar*

Los reguladores lentos (FdT final parecida a FdT bucle abto) funcionan regular en teoría y práctica, los rápidos funcionan muy bien en muy mal (incluso inestable) en la práctica..***PID sigue vivo***