

## Problema de control On-Off

1. El control On-Off es la forma más simple de controlar.
2. Es comúnmente utilizado en la industria
3. Muestra muchos de los compromisos fundamentales inherentes a *todas* las soluciones de control.

## Control en realimentación con ganancia elevada

- Como veremos en el Capítulo 2, el control en realimentación con ganancia elevada posee ventajas.
- Un controlador On-Off es una forma sencilla de implementar un control en realimentación con alta ganancia.

Ilustraremos estas ideas en un problema simple, *la calefacción de una habitación*, donde

- $u(t)$ : La entrada (variable manipulada) es el calor entregado por la calefacción.
- $y(t)$ : La salida (variable de proceso) es la temperatura medida en la habitación.

## Modelo para la habitación

Modelamos la relación entre la entrada y la salida con la Función Transferencia

$$(1) \quad G(s) = \frac{10}{5s^2 + 50s + 1}.$$

*No es necesario entender transformadas de Laplace o Funciones Transferencias para entender el resto de módulo.*

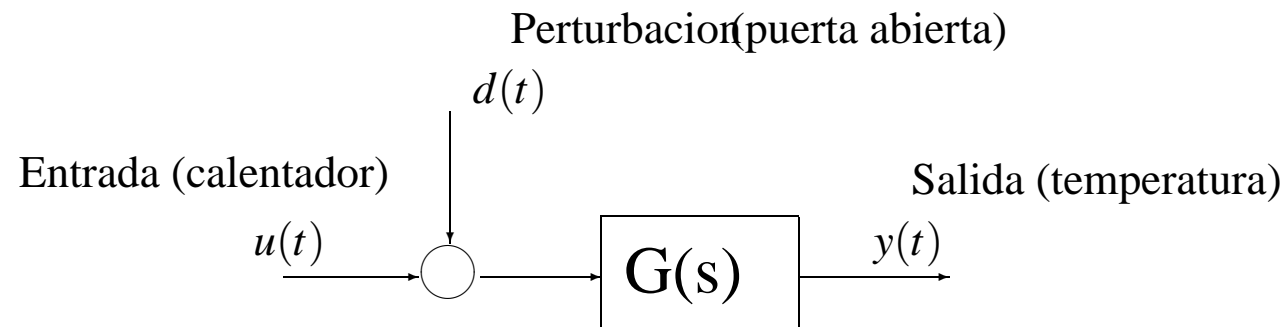
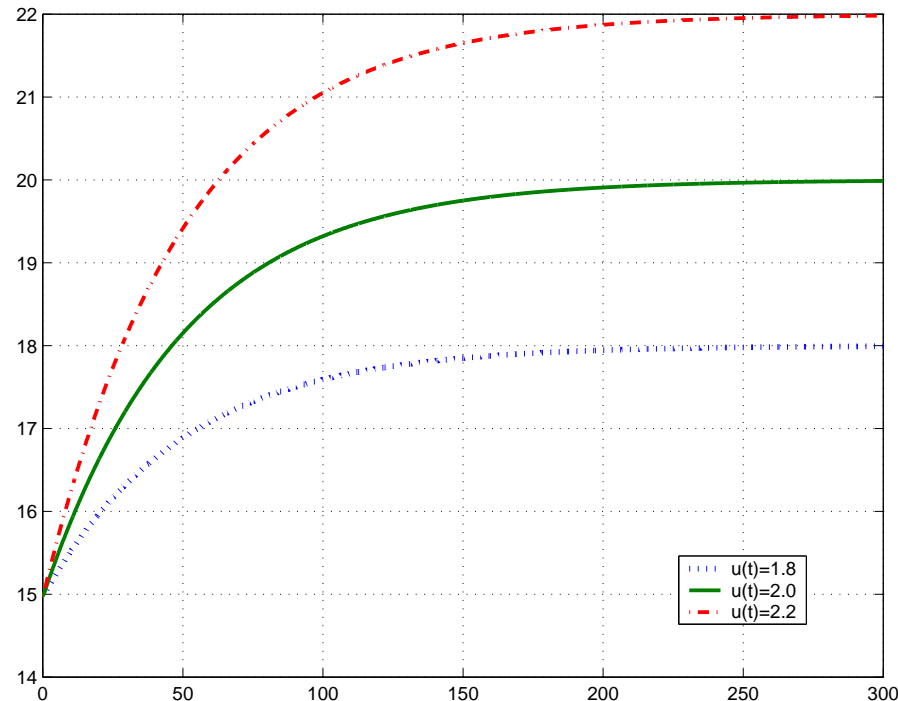


Figura 1: Sistema a Lazo Abierto

## Respuesta a Lazo Abierto

Si calculamos la temperatura de salida para distintos valores de la calefacción (1.8, 2.0, 2.2) obtenemos



- Del gráfico anterior vemos que le lleva 250 minutos a la habitación alcanzar la temperatura equilibrio.
- Vemos también que para alcanzar una temperatura de 20°C, necesitamos darle al calentador el valor 2.0.

## Efecto de las perturbaciones

- Supongamos que fijamos el calentador en 2.0 y luego de un tiempo (150 minutos) abrimos la puerta de la habitación. La Figura 2 muestra que esto causa un descenso de la temperatura de la habitación aún cuando la calefacción esté fija en 2.0.

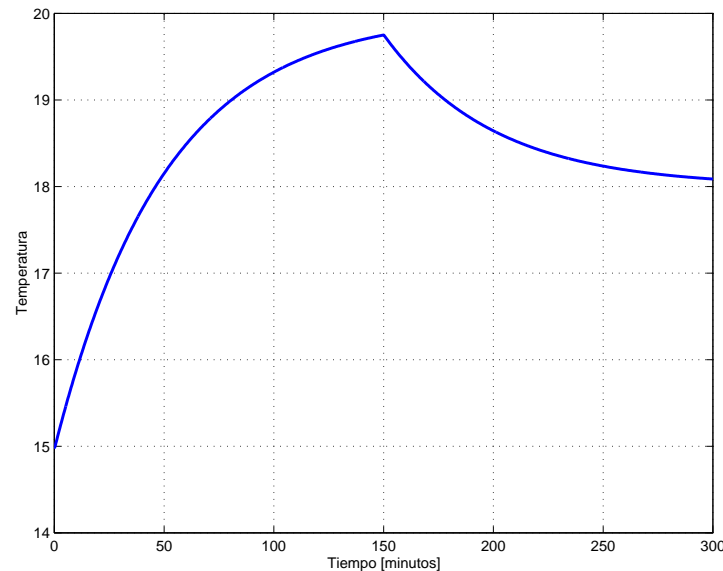


Figura 2: Respuesta a Lazo Abierto con una Perturbación

- Como esperábamos, el controlador a Lazo Abierto es muy sensible a perturbaciones.

## Control con un número finito de niveles

En lo visto hasta ahora asumimos que el calentador podía fijarse en cualquier valor deseado. Supongamos ahora, un poco más realistas, que el calentador solo tiene dos ajustes, llamado *Off* y *nivel M*.

**Control On-Off:** Llevemos ahora al sistema a un Lazo Cerrado utilizando un controlador On-Off, como muestran las Figura 3.

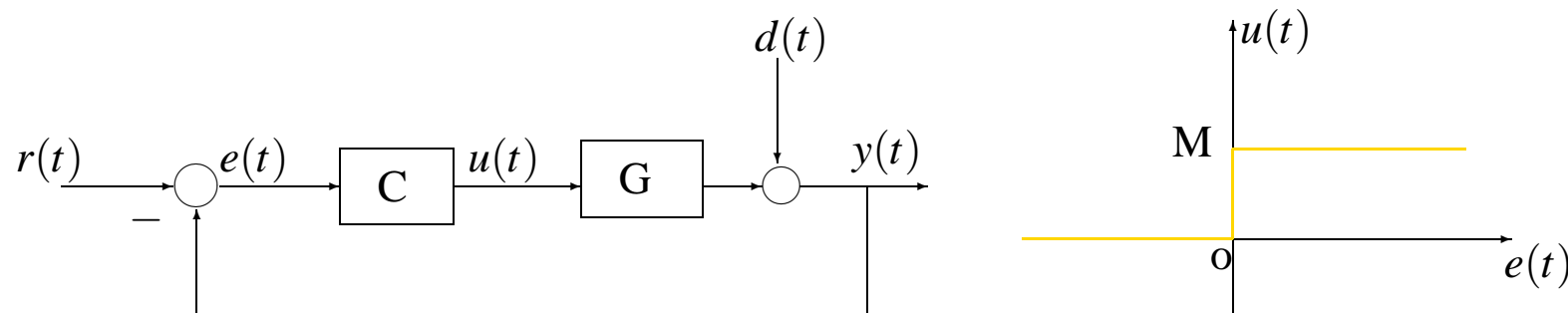


Figura 3: Sistema a Lazo cerrado con un controlador On-Off

## Respuesta a Lazo Cerrado

Simulamos el sistema cuando  $M = 5$  y obtenemos la respuesta de la Figura 4.

Figura 4: Respuesta a Lazo Cerrado para  $M = 5$

La perturbación fue aplicada luego de 9 minutos.

## Observaciones

- La respuesta se estabiliza en el valor deseado de la temperatura mucho más rápido que cuando utilizamos el control a Lazo Abierto.
- La perturbación ahora solo afecta un poco a la respuesta.
- Una vez que la temperatura deseada es alcanzada el controlador continúa variando entre On y Off rápidamente.
- El valor *promedio* de qué tan rápido el controlador cambia On-Off es 2.0 (*como lo esperábamos*).



## Efecto de un esfuerzo de control mayor

La Figura 5 muestra la respuesta cuando  $M$  es cambiado de  $M = 5$  (resultado anterior, Figura 4) a  $M = 10$ . Notemos que el sistema ahora alcanza el nuevo régimen permanente de  $20^{\circ}\text{C}$  en la mitad de tiempo que lo que le llevaba anteriormente.

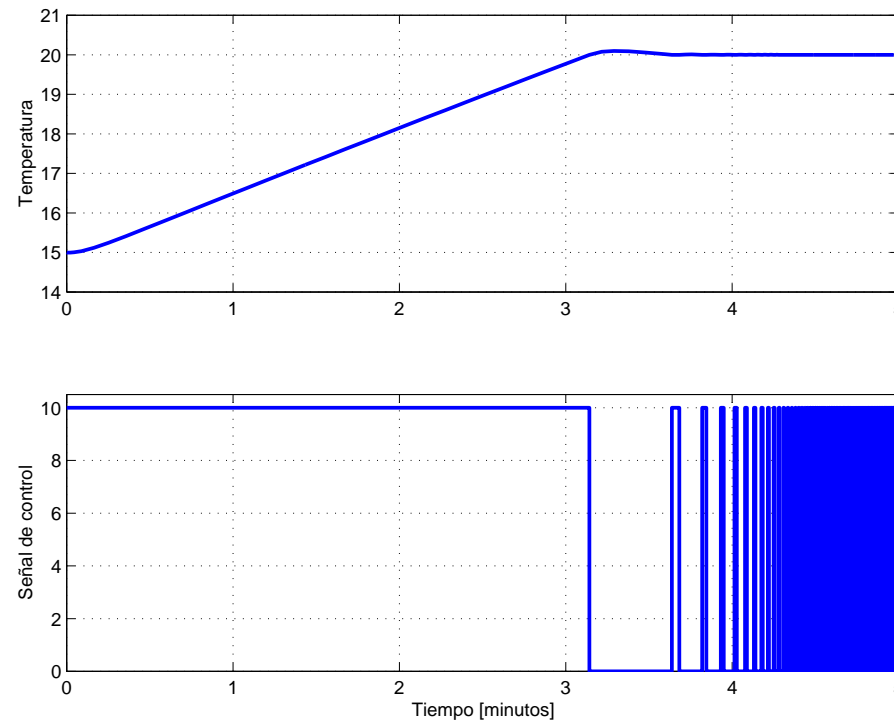


Figura 5: Respuesta a Lazo Cerrado para  $M = 10$

## Un grado de libertad extra en el diseño

Hemos conseguido resultados bastante buenos hasta ahora, en lo que se refiere a temperatura de salida. Aunque el precio que hemos pagado es un cambio muy rápido de la entrada. Esto probablemente no sea útil en la práctica ya que podría desgastar el calefactor.

El problema con nuestro diseño es que es muy simple - necesitamos agregarle, más sofisticación al controlador.

**Inclusión de Histéresis:** La Figura 6 muestra un controlador On-Off incorporando Histéresis. Notemos que el retardo en el cambio de la señal nos aporta *un grado de libertad extra* en el diseño.

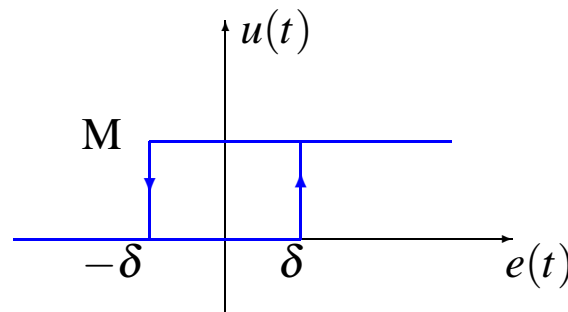


Figura 6: Inclusión de Histéresis

## Respuesta a Lazo Cerrado

La Figura 7 muestra la respuesta a Lazo Cerrado tomando  $M = 5$  y  $\delta = 0.05$ .

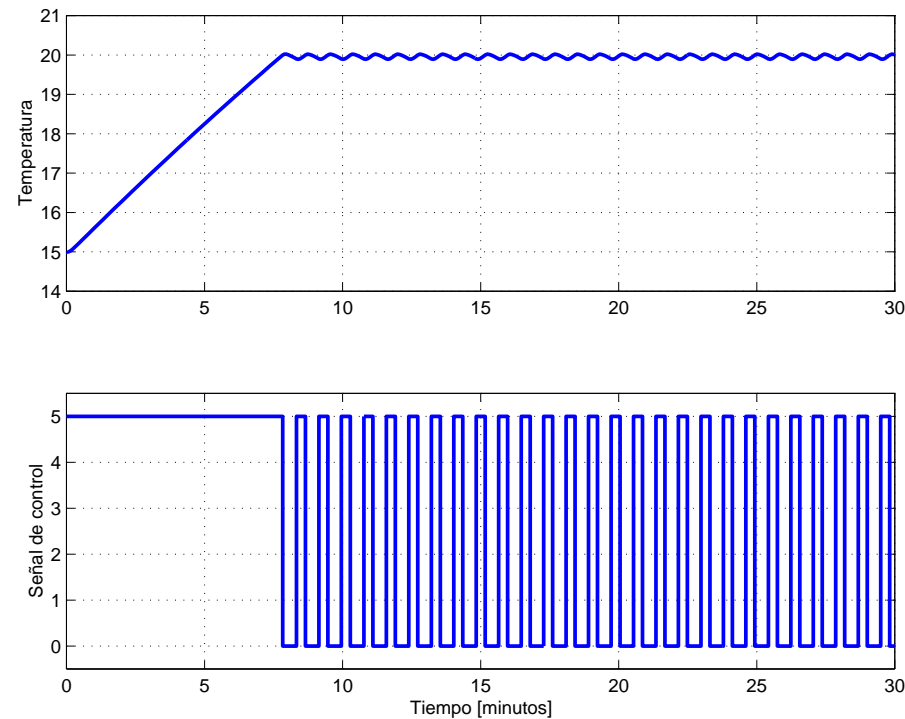


Figura 7: Respuesta a Lazo Cerrado con  $M = 5$  y  $\delta = 0.05$

## Observaciones:

Notemos que:

1. La entrada no cambia tan rápidamente

*pero*

2. El precio que pagamos es una oscilación (o *ciclo límite*) en la temperatura de salida.

Otro compromiso de diseño

## Parámetros alternativos de diseño

Si ahora simulamos el sistema a Lazo Cerrado tomando  $M = 5$  y primero  $\delta = 0.1$  y luego  $\delta = 0.5$  obtenemos la respuesta que mostramos en la Figura 8.

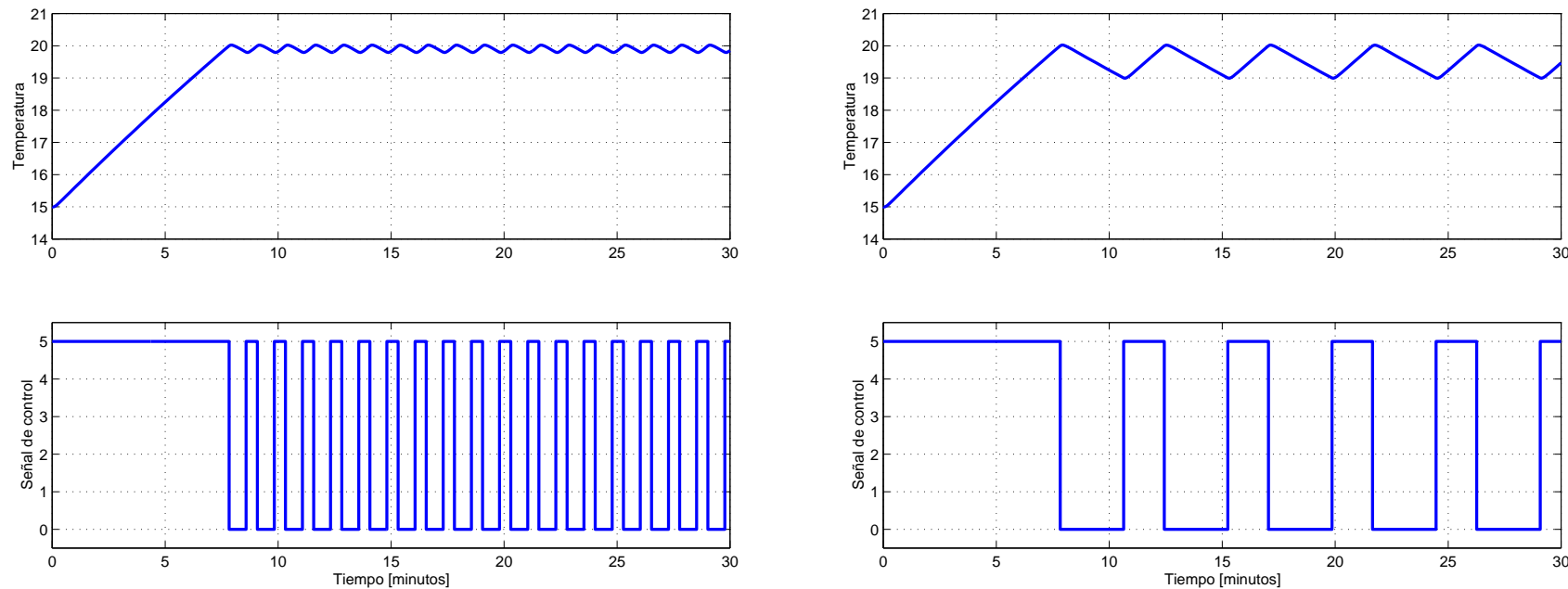


Figura 8: Respuesta a Lazo cerrado tomando  $M = 5$  y  $\delta = 0.1$  y  $\delta = 0.5$ , respectivamente

## Observaciones

De los resultados obtenidos, vemos que cuando el nivel de histéresis *crece*, la frecuencia de cambio de la señal de entrada *decrece*, **pero** la amplitud de las oscilaciones de la salida *crecen*.

Claramente vimos que en el diseño anterior existe un compromiso entre el ajuste de la regulación de la temperatura y el precio que pagamos en términos de velocidad de cambio de la entrada.

Este tipo de compromisos son los que aparecen en todos los diseños de control.

¡Nada viene a precio cero !

## ¿Un modelo más satisfactorio?

El modelo que hemos utilizado anteriormente, describe esencialmente la temperatura de la habitación, que comenzó a responder instantáneamente cuando la calefacción se encendió o apagó.

Podríamos pensar que esto puede no ser realista.

Un mejor modelo podría tener la misma función transferencia que antes pero podría incorporarse un retardo puro. Los retardos temporales puros son muy frecuentes en el control industrial.

La Figura 9 muestra la respuesta a Lazo Abierto de la habitación con un retardo puro.

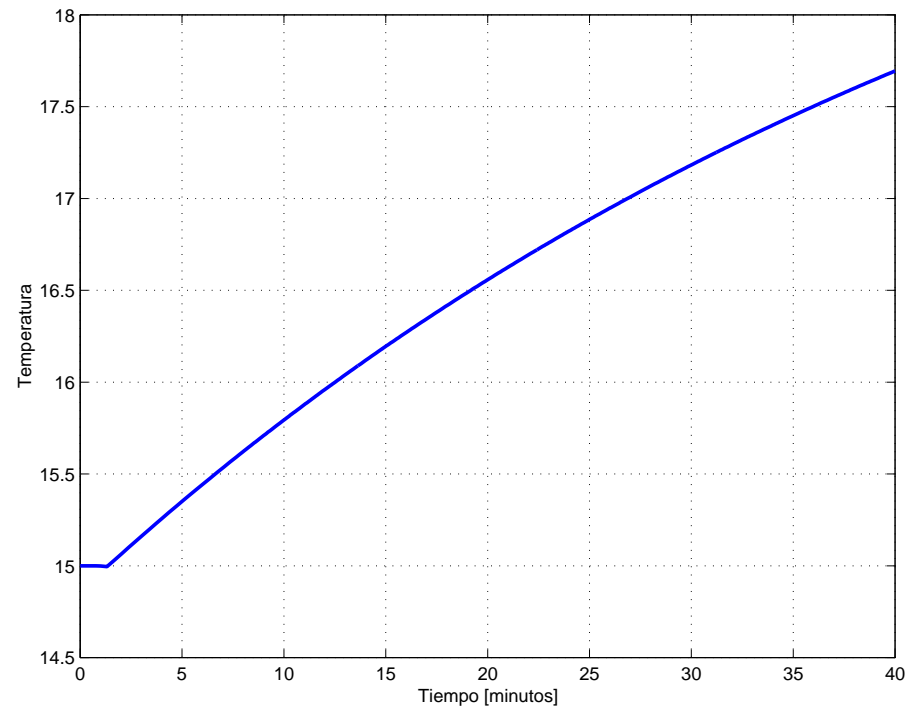


Figura 9: Respuesta a Lazo Abierto con retardo

Notemos que la calefacción no tiene ningún efecto durante un período de tiempo (el retardo puro). Luego la temperatura responde como lo hacía anteriormente.



Si ahora simulamos a Lazo Cerrado el sistema con  $M = 5$  y  $\delta = 0$ , obtenemos la Figura 10

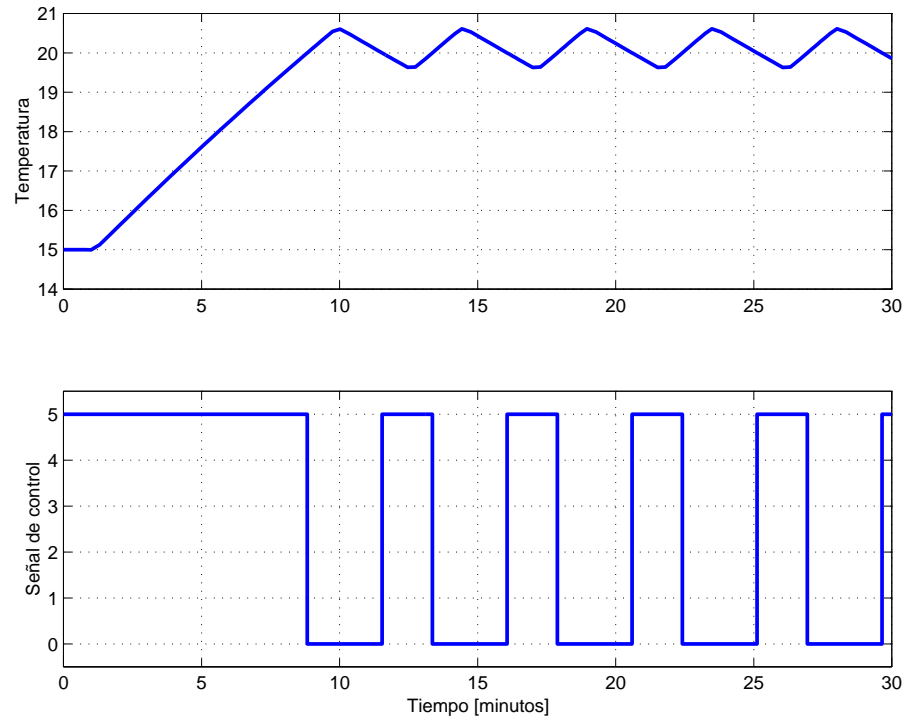


Figura 10: Respuesta a Lazo Cerrado con retardo

Vemos que la respuesta a Lazo Cerrado da un ciclo límite.

En la Figura 11 probamos con  $M = 10$  y  $\delta = 0$

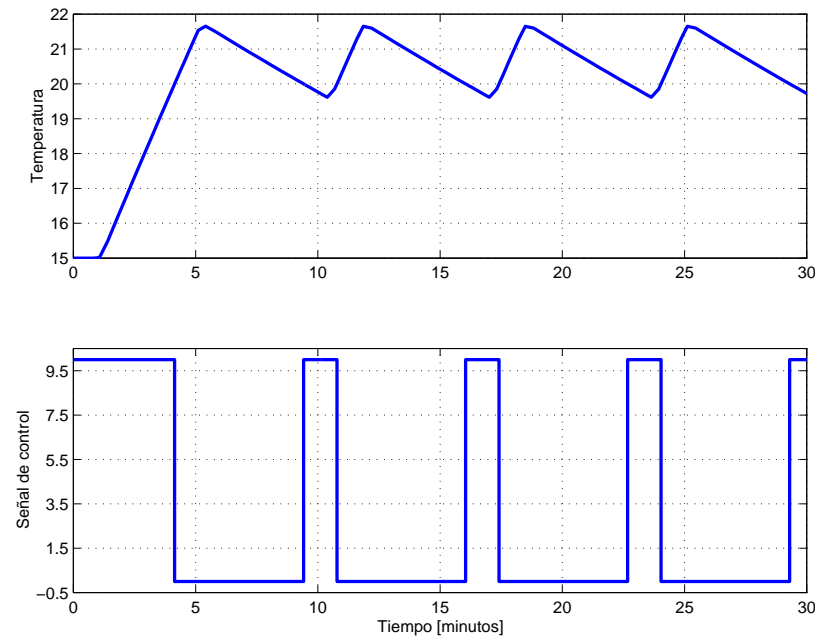


Figura 11: Respuesta a Lazo Cerrado con retardo

### Observaciones:

- Vemos que el ciclo límite es aún mayor ahora. El retardo temporal puro degrada la respuesta.
- Cuanto más agresivo es el controlador (mayor  $M$ ), mayor es el degrado del desempeño.

## Otro compromiso de diseño

- Vimos anteriormente que la presencia de un retardo temporal puro hace el control más difícil.
- Más aún, necesitamos tener controladores menos agresivos cuando tratamos con un retardo.

Estos son resultados generales en control

## Controladores más sofisticados

- Por supuesto un controlador On-Off es bastante simple. Pero muestra rangos limitados de comportamiento y respuestas de compromisos.
- Muchas de las cosas que hemos visto acá, se aplican en *todos* las leyes de control.
- Controladores más sofisticados dan mejores respuestas, pero sus diseños dependerán de la información extra, eg conocimiento de la dinámica de la habitación.

## Conclusiones:

1. Son preferibles controladores en *realimentación* a controladores a Lazo Abierto.
2. Controladores On-Off son una solución básica (al problema de control) con limitaciones inherentes.
3. Existen compromisos entre desempeño de la medida de la salida y el natural esfuerzo de control.
4. Necesitamos ser cuidadosos para no utilizar controles muy agresivos cuando están presente retardos temporales.