

Teoría de Control I

Práctica No. 1

**Control Proporcional (P) y control
Proporcional Integral (PI)**

Plan de la práctica

- Introducción.
- Simulación de un sistema de primer orden en lazo abierto: sistema estable, sistema inestable.
- Control en lazo cerrado de un sistema de primer orden. Algoritmos P y PI. Simulaciones numéricas,
- Caso de estudio: Control de la velocidad de un motor de corriente directa. Experimentos en tiempo real.

Introducción.

Modelo de un sistema de primer orden.

Sistema de primer orden.

Función de Transferencia

$$\frac{y(s)}{u(s)} = G(s) = \frac{b}{s + a}$$

b : ganancia

a : polo

y : Salida

u : Entrada

Ecuación diferencial

$$\dot{y} + ay = bu$$

o alternativamente

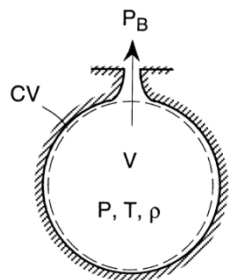
$$\dot{y} = -ay + bu$$

Modelo de un sistema de primer orden.

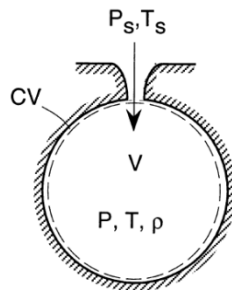
Ejemplos:

Sistemas Térmicos

Carga y descarga de gases de un recipiente



(a) Discharge



(b) Charge

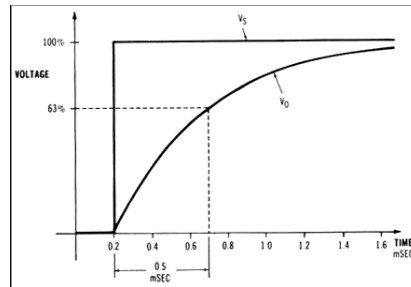
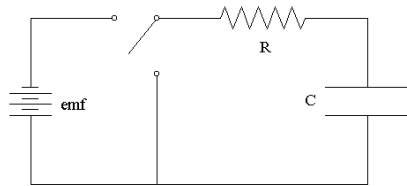


Horno

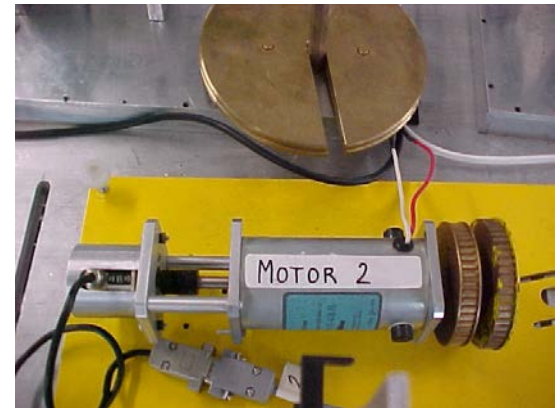
Modelo de un sistema de primer orden.

Ejemplos:

Circuito Resistencia Capacitancia



Motor de Corriente Directa:
Salida en velocidad



Estabilidad de un sistema de primer orden

Solución de la ecuación diferencial

$$\dot{y} = -ay + bu$$

$$y(t) = \underbrace{e^{-at} y(0)}_{\text{Respuesta Transitoria}} + \underbrace{b \int_0^t e^{-a(t-\sigma)} u(\sigma) d\sigma}_{\text{Respuesta Estacionaria}}$$

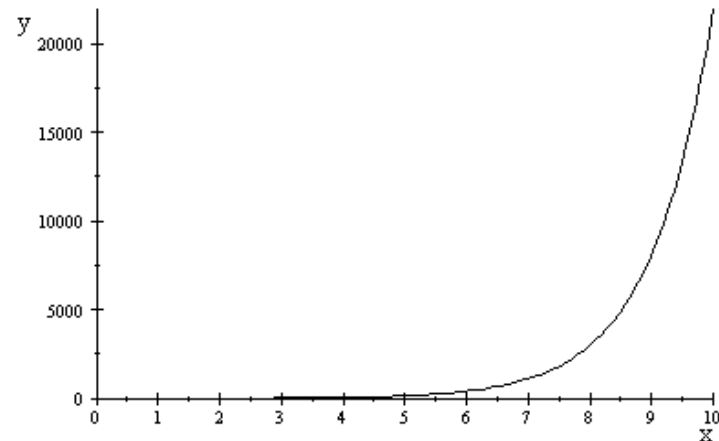
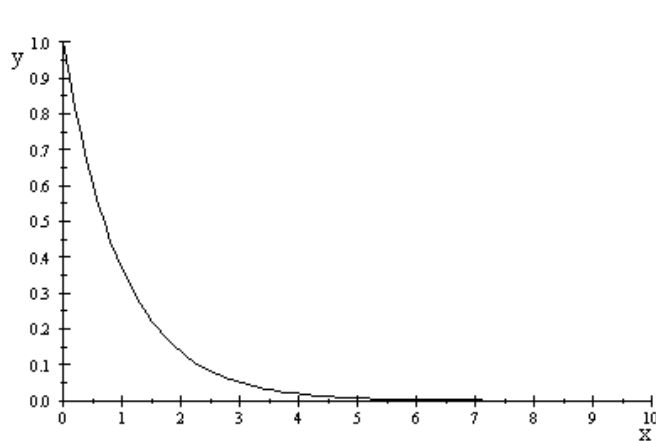
$y(t)$ es la solución de la ecuación diferencial.

$y(0)$ es la condición inicial.

Estabilidad de un sistema de primer orden

¿Cómo se comporta la solución cuando la entrada es cero y la condición inicial es diferente de cero?

$$y(t) = \underbrace{e^{-at}}_{\text{Respuesta Transitoria}} y(0)$$



$a > 0 \Rightarrow e^{-at}$ es decreciente

El polo $s = -a$ es negativo

SISTEMA ESTABLE

$a < 0 \Rightarrow e^{-at}$ es creciente

El polo $s = -a$ es positivo

SISTEMA INESTABLE

Estabilidad de un sistema de primer orden

¿Cómo se comporta la solución cuando la entrada es un escalón unitario y la condición inicial es cero?

$$y(t) = b \int_0^t e^{-a(t-\sigma)} u(\sigma) d\sigma = \frac{b}{a} (1 - e^{-at})$$

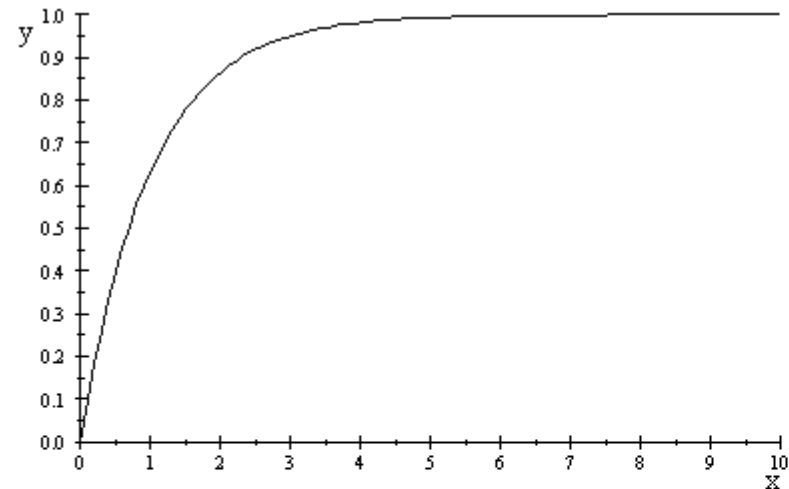
Estabilidad de un sistema de primer orden

¿Cómo se comporta la solución cuando la entrada es un escalón unitario y la condición inicial es cero?

$a > 0 \Rightarrow e^{-at}$ es decreciente

El polo $s = -a$ es negativo

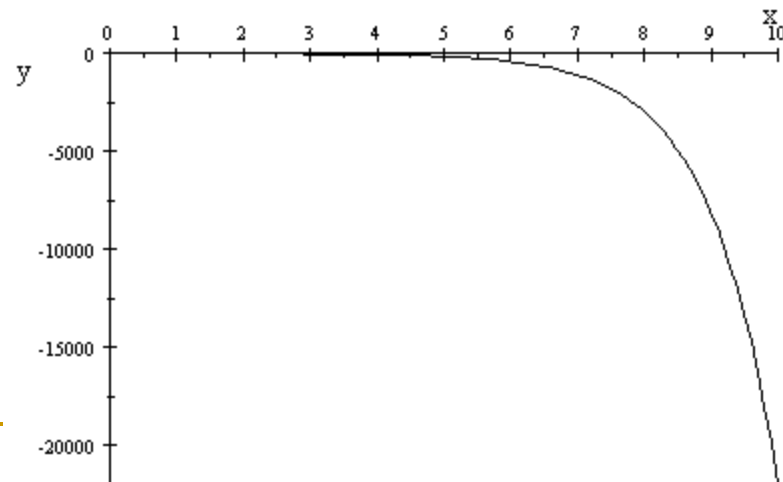
SISTEMA ESTABLE



$a < 0 \Rightarrow e^{-at}$ es decreciente

El polo $s = -a$ es positivo

SISTEMA INESTABLE



Características de un sistema de primer orden estable

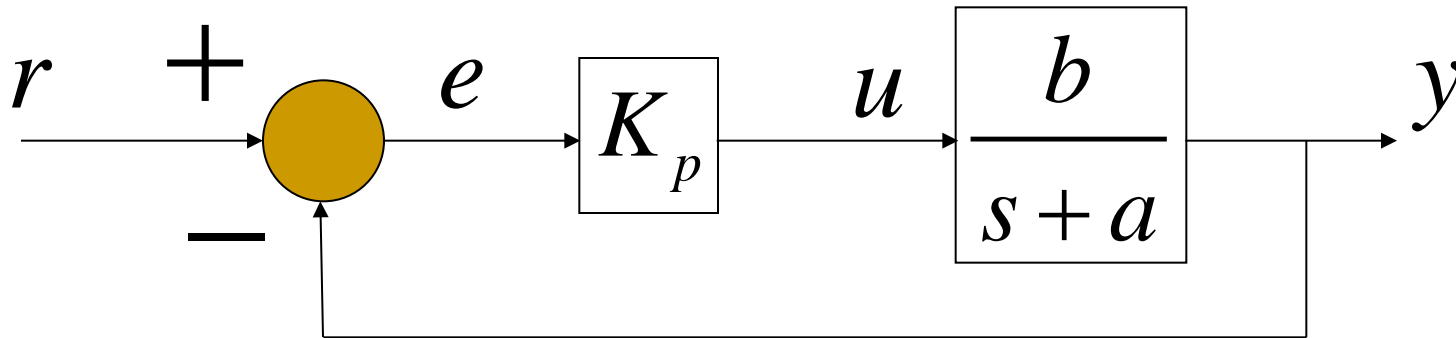
$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{b}{s + a}$$

$$U(s) = \frac{1}{s} \Rightarrow y_{\infty} = \frac{b}{a}$$

y_{∞} : Respuesta en estado estacionario

El sistema en lazo abierto **NO OSCILA**

Control Proporcional de un sistema de primer orden



r : Referencia constante

e : error

y : Salida

K_p : Ganancia Proporcional

u : Señal de control

Control Proporcional de un sistema de primer orden

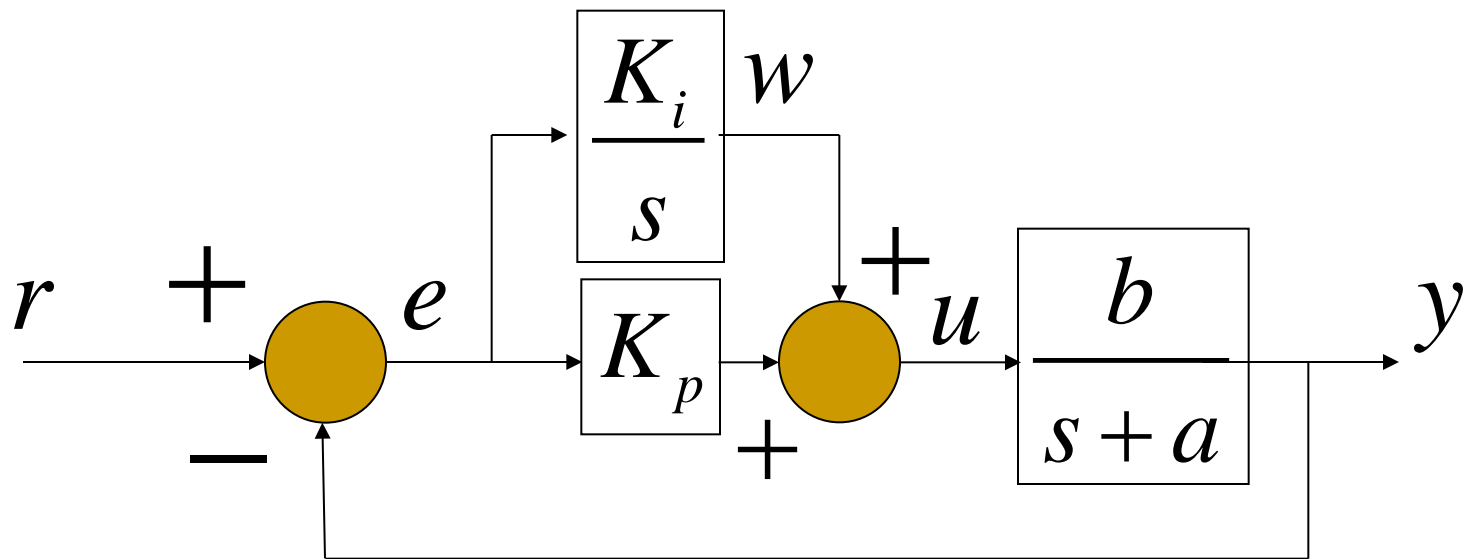
- Función de transferencia en lazo cerrado

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = F(s) = \frac{K_p b}{s + a + K_p b}$$

- Error y señal de control en estado estacionario:

$$e_{ss} = \frac{ar}{a + bK_p} \neq 0 \quad u_{ss} = \frac{aK_p r}{a + bK_p} \neq 0$$

Control Proporcional Integral (PI) de un sistema de primer orden



K_i : Ganancia Integral

w : Acción Integral

Control Proporcional Integral (PI) de un sistema de primer orden

Función de Transferencia en lazo cerrado

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = F(s) = \frac{K_p bs + K_i b}{s^2 + as + K_p bs + K_i b}$$

Error y señal de control en estado estacionario:

$$e_{ss} = 0$$

$$u_{ss} = \frac{ar}{b}$$

El sistema en lazo cerrado **PUEDE OSCILAR**

Control Proporcional Integral (PI) de un sistema de primer orden

El sistema en lazo cerrado **PUEDE OSCILAR**

Polinomio Característico

$$s^2 + (a + K_p b)s + K_i b = 0$$

$$s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2 = 0$$

$$\omega_n = \sqrt{K_i b} \ ; \ \zeta = \frac{1}{2\omega_n}(a + K_p b)$$

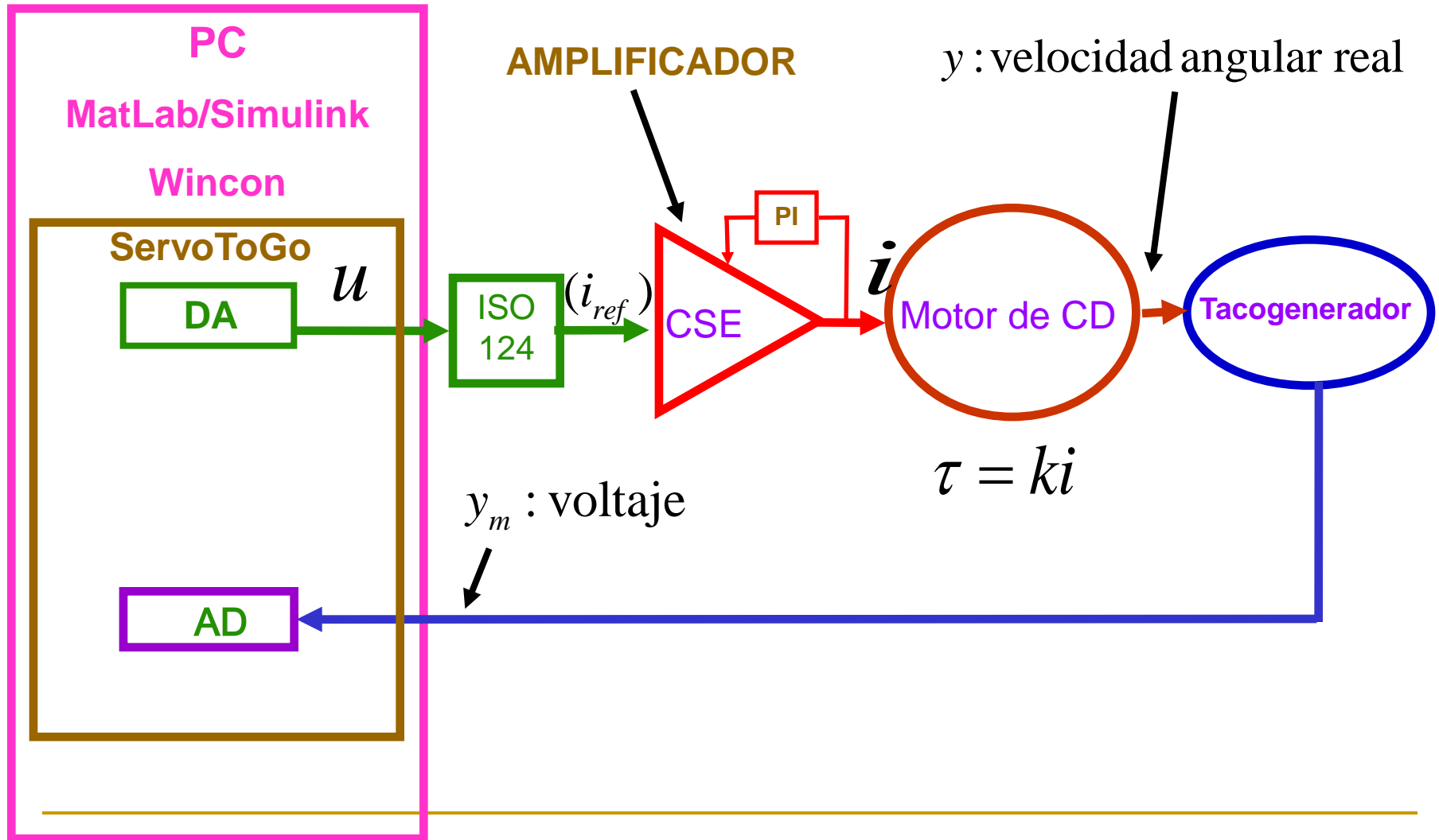
Estabilidad

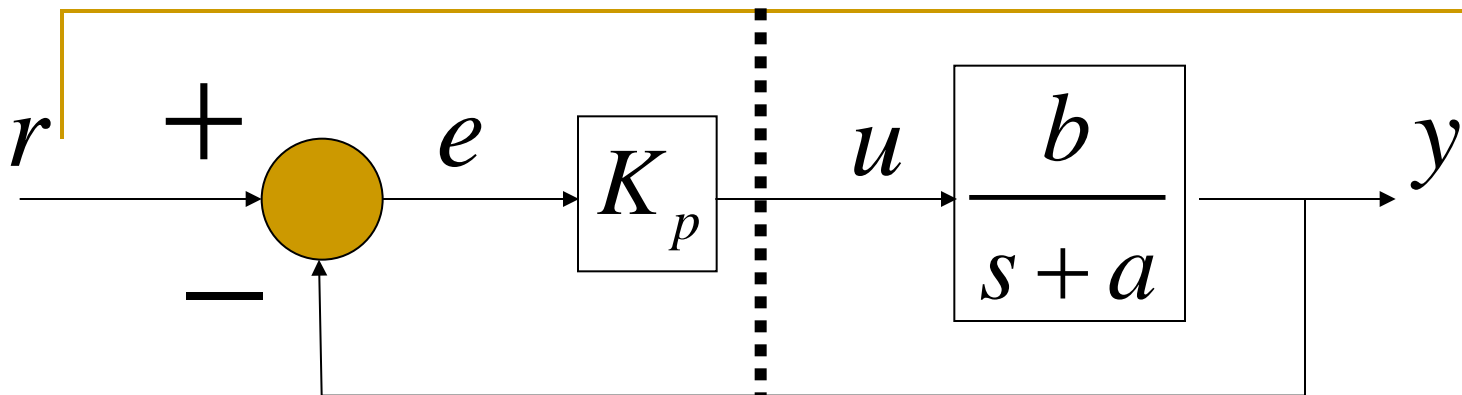
Criterio de Routh-Hurwitz: $a + K_p b > 0$; $K_i b > 0$

CASO DE ESTUDIO

Control en velocidad de un
motor de corriente directa.

Arquitectura de la plataforma de experimentación para el control en velocidad





Computadora

Algoritmo de control

DA

AD

u

ISO
124

Amplificador

Motor

Tacómetro

y

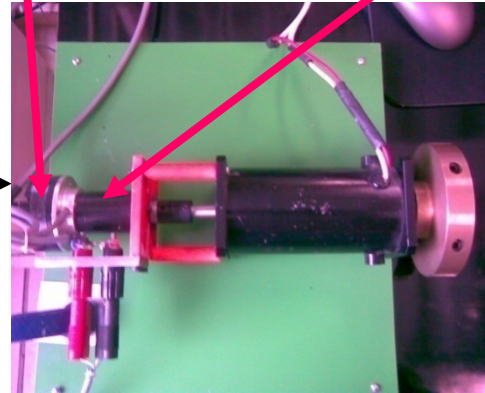
Aislamiento
galvánico



Amplificador
de potencia
CSE

Decodificador óptico

Tacogenerador



Motor

Medición de posición y
velocidad



Computadora
de control

Señal
de
control

PRACTICA

Simulación de un sistema de primer orden en lazo abierto:
sistema estable, sistema inestable.

- Sistema de primer orden.
- Sistema estable: $a > 0$
- Sistema inestable: $a < 0$
- Simulación Matlab.

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = G(s) = \frac{b}{s + a}$$

Simulación de un sistema de primer orden en lazo abierto:
sistema estable, sistema inestable.

Se emplea el programa **MATLAB SIMULINK**

Condiciones para la simulación

Parámetros : $a = 2; b = 50$.

Periodo de integración : 0.001 s

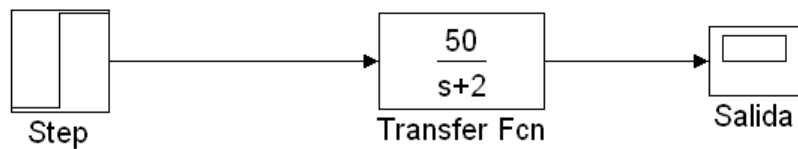
Método de integración: Runge-Kutta

Señal de entrada: Escalón unitario.

Tiempo de simulación : 5 s

PRUEBA_2 *

File Edit View Simulation Format Tools WinCon Help



Ready

100%

FixedStepDiscrete

Inicio

nero SEARCH



4 MA...

2 Wi...

PRUEB...

PRACTI...

Microso...

SCREE...

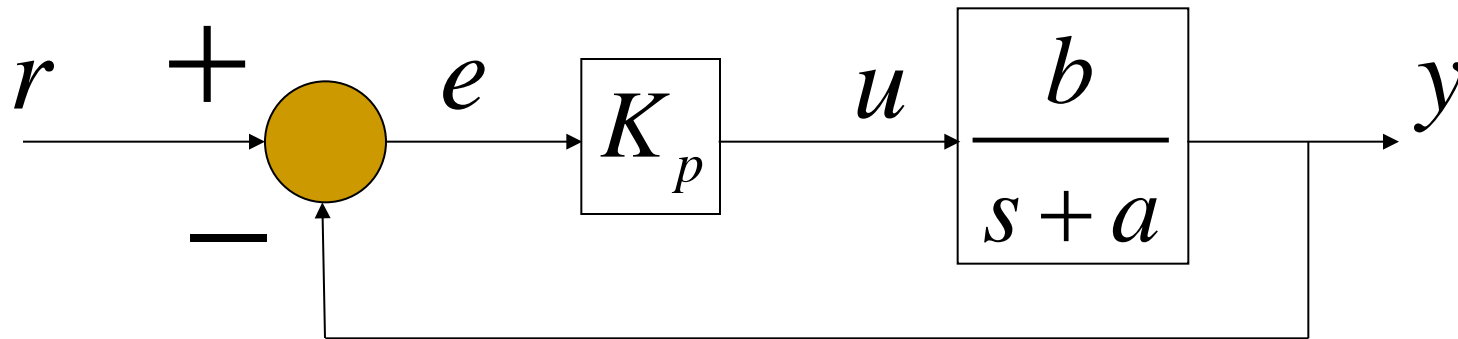


01:36 p.m.

Simulación de un sistema de primer orden en lazo abierto: sistema estable, sistema inestable.

- Probar también un valor negativo del parámetro a .
- Comparar el comportamiento del sistema con ambos valores del parámetro a .

Control en lazo cerrado de un sistema de primer orden en simulación: Control Proporcional.



r : Referencia constante

e : error

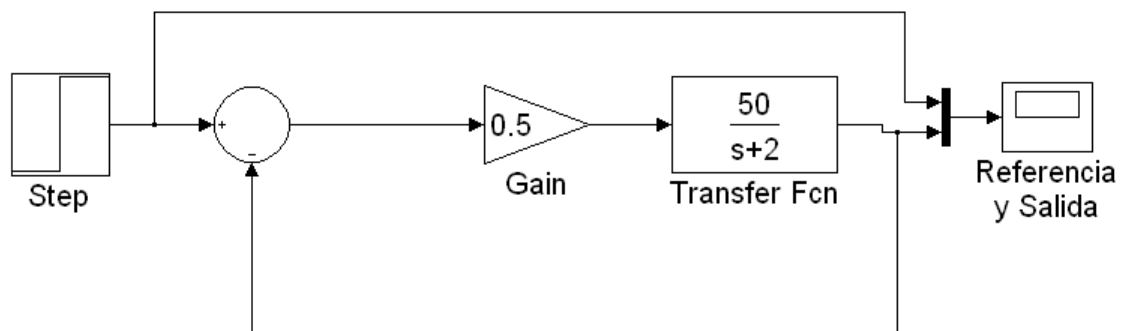
y : Salida

K_p : Ganancia Proporcional

u : Señal de control

PRUEBA_2 *

File Edit View Simulation Format Tools WinCon Help



Ready

100%

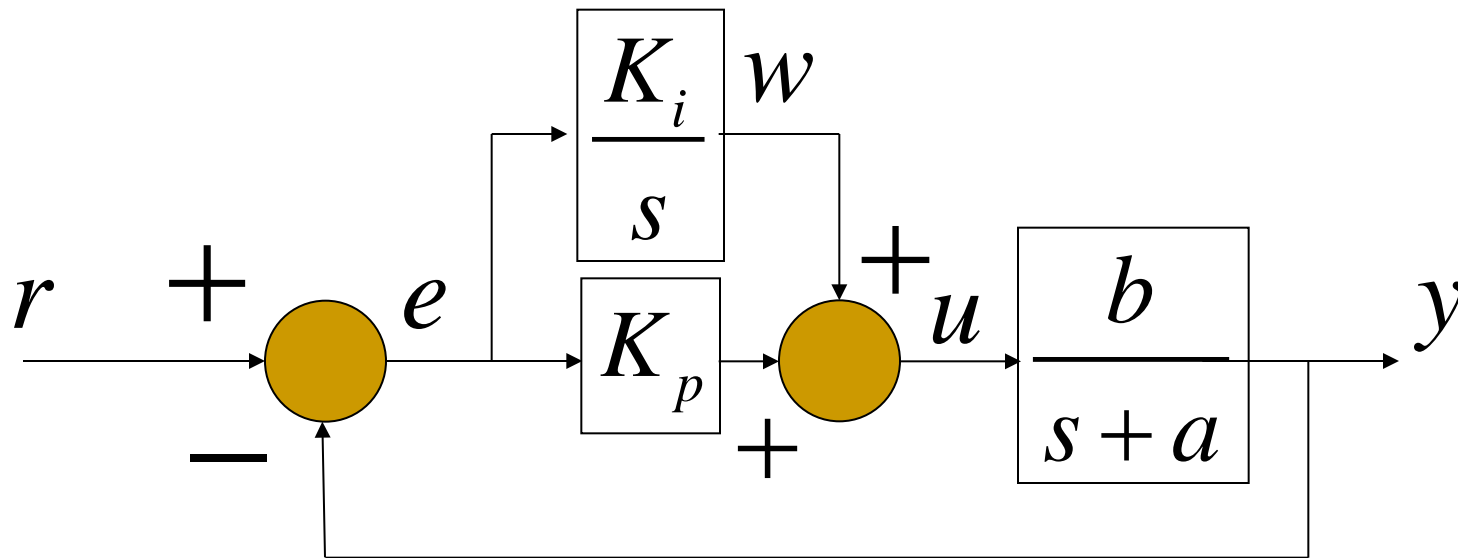
ode4

Inicio | nero | 4 MA... | 2 Wi... | PRUEB... | PRACTI... | Microso... | SCREE... | 01:42 p.m.

Control en lazo cerrado de un sistema de primer orden en simulación: Control Proporcional.

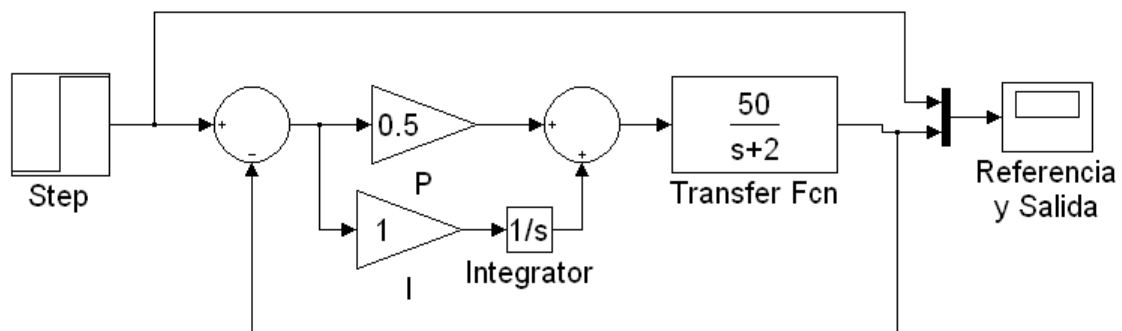
- ¿Existe error en estado estacionario?
- Observar el error en estado estacionario cuando se incrementa o disminuye la ganancia proporcional
- ¿El sistema en lazo cerrado tiene sobretiros?

Control en lazo cerrado de un sistema de primer orden en simulación: Control Proporcional Integral.



K_i : Ganancia Integral

w : Acción Integral



Control en lazo cerrado de un sistema de primer orden en simulación: Control Proporcional Integral.

- ¿Existe error en estado estacionario?
- Observar el comportamiento del sistema cuando se incrementa o disminuye la ganancia proporcional
- ¿El sistema en lazo cerrado tiene sobretiros?

Caso de estudio: Control en velocidad de un motor de corriente directa: Experimentos en tiempo real.

Motor en lazo abierto.

Abrir la Carpeta **taller experimental** localizada en el escritorio.

Abrir la carpeta **2014**.

Abrir el archivo **Plantilla_Servo_2014**.

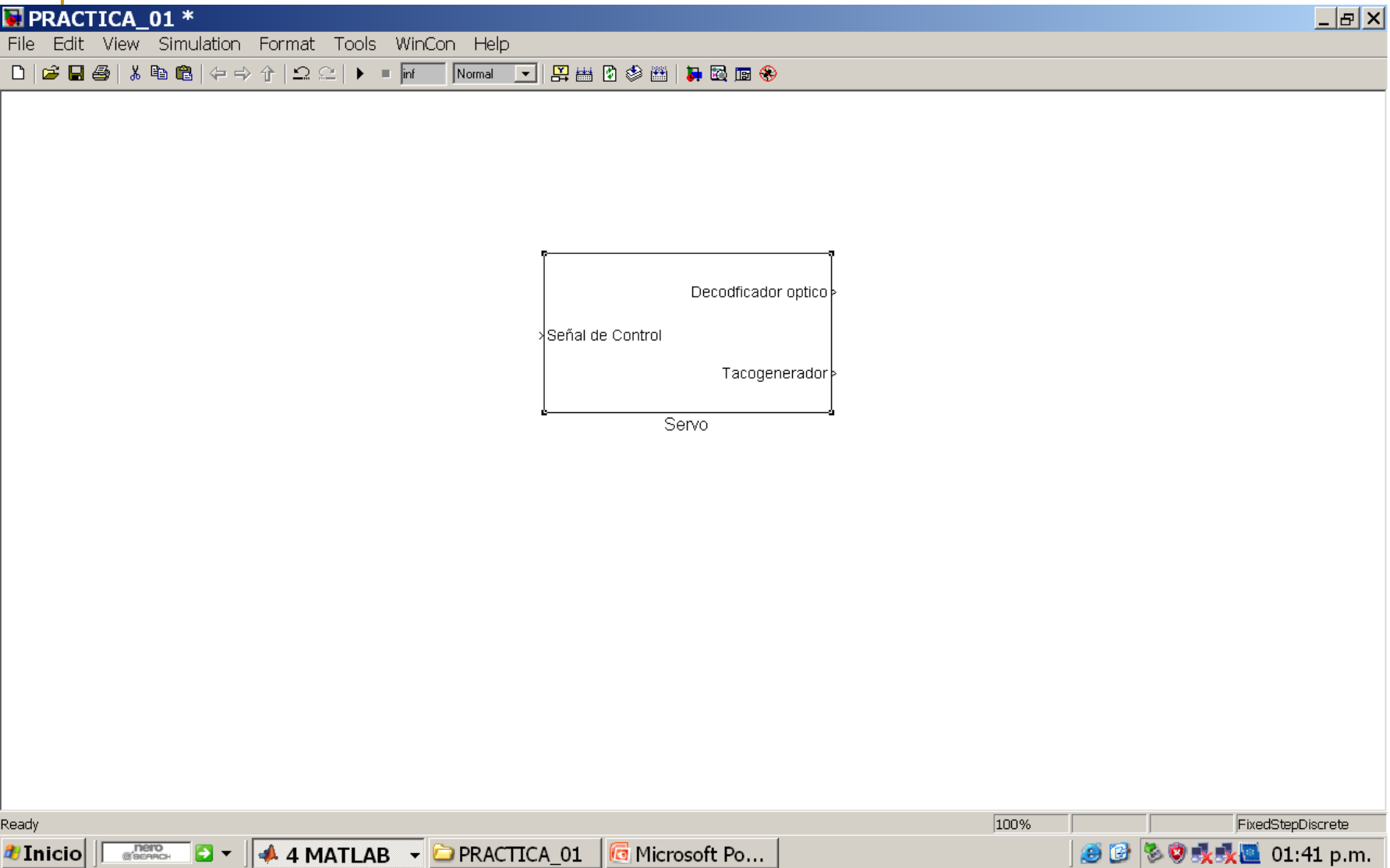
Crear un modelo nuevo en **SIMULINK** y guardarlo en la carpeta **2014** con un nombre que permita diferenciarlo de los archivos de otros estudiantes.

Copiar el bloque **Servo** que aparece en el archivo **Plantilla_Servo_2014** en el archivo correspondiente al nuevo modelo.

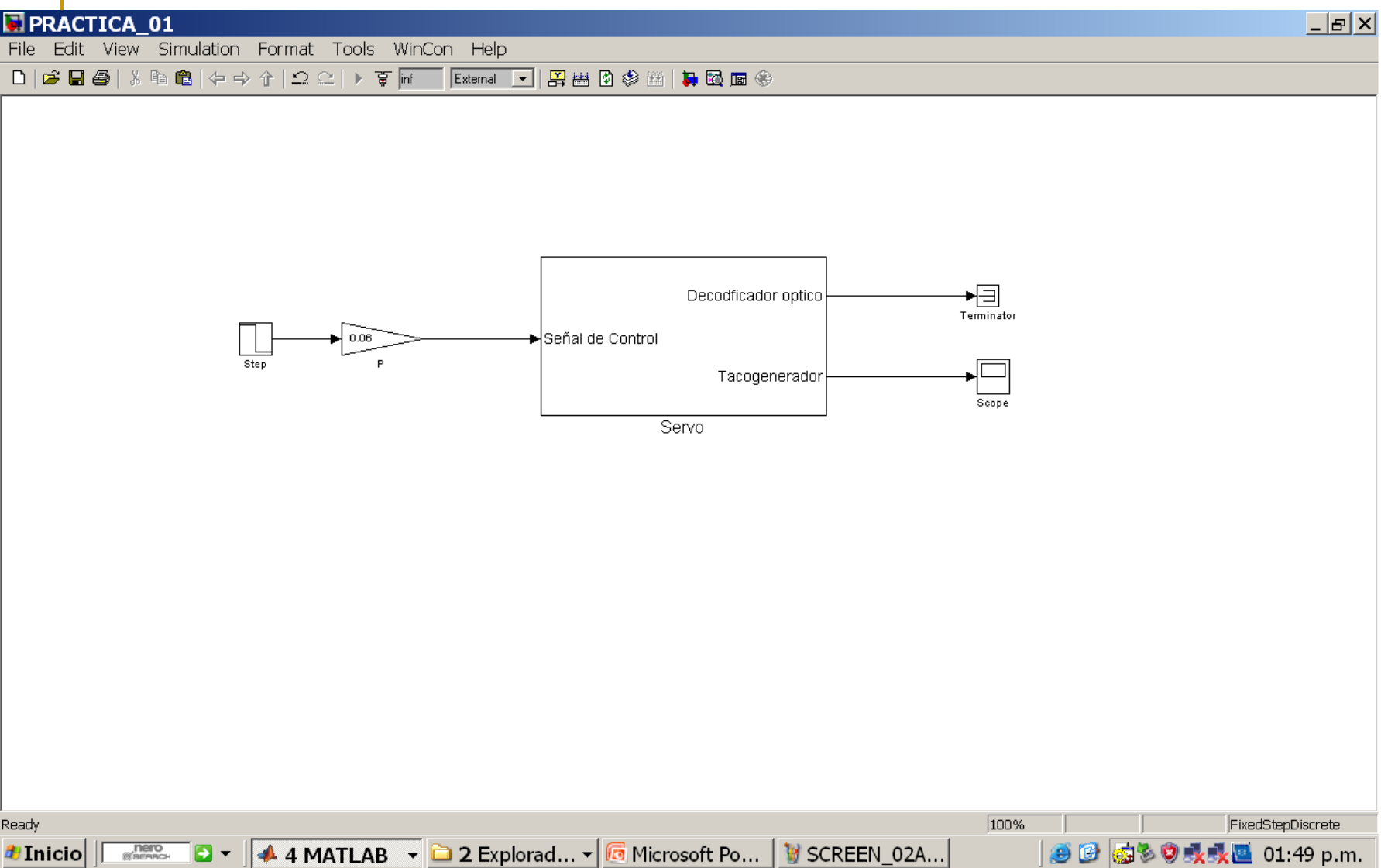
Mantener abierto el archivo **Plantilla_Servo_2014** durante toda la práctica.

Guardar los archivos de prácticas **únicamente** en la carpeta **2014**.

Archivo con el bloque **Servo**

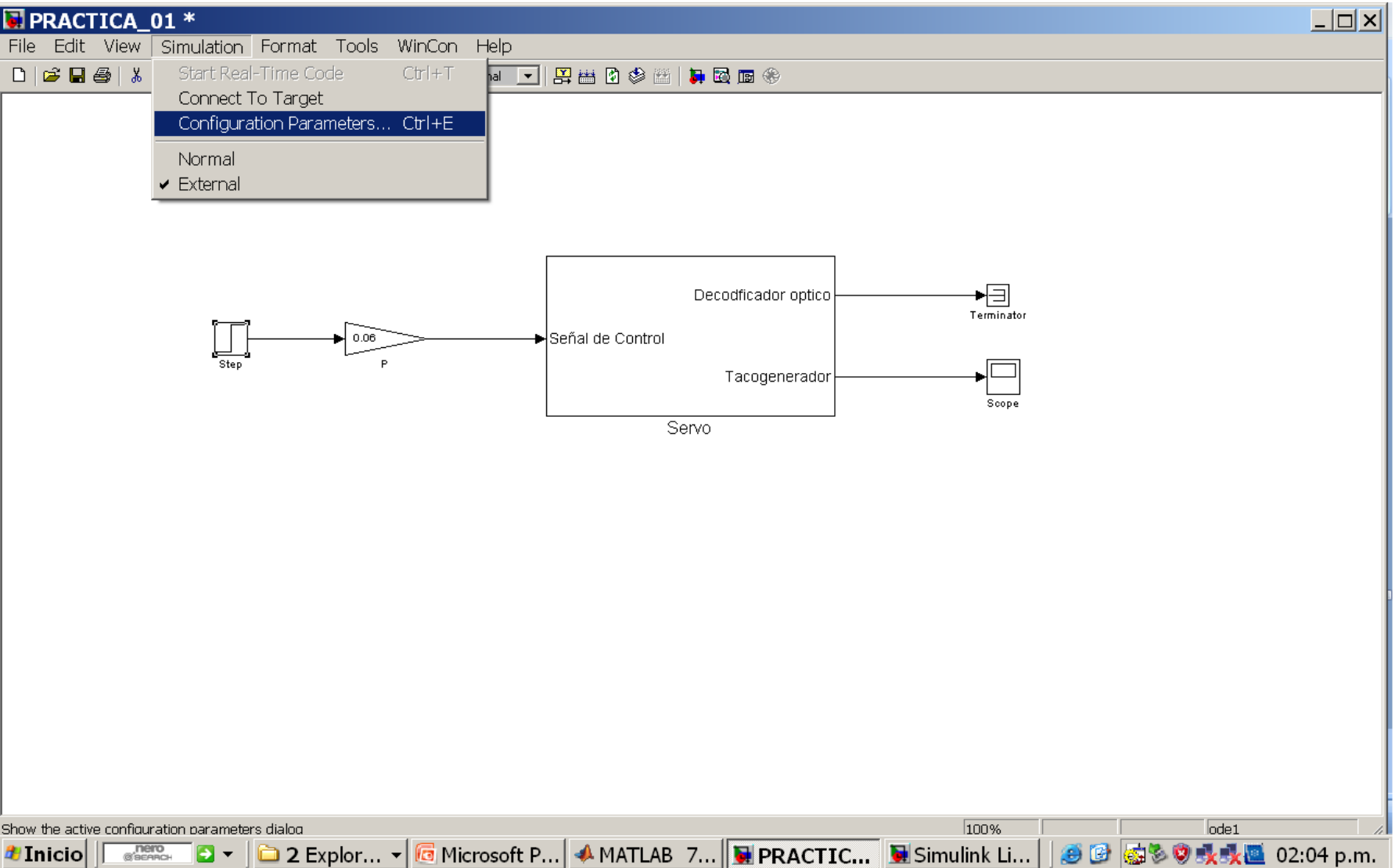


Construir el diagrama siguiente



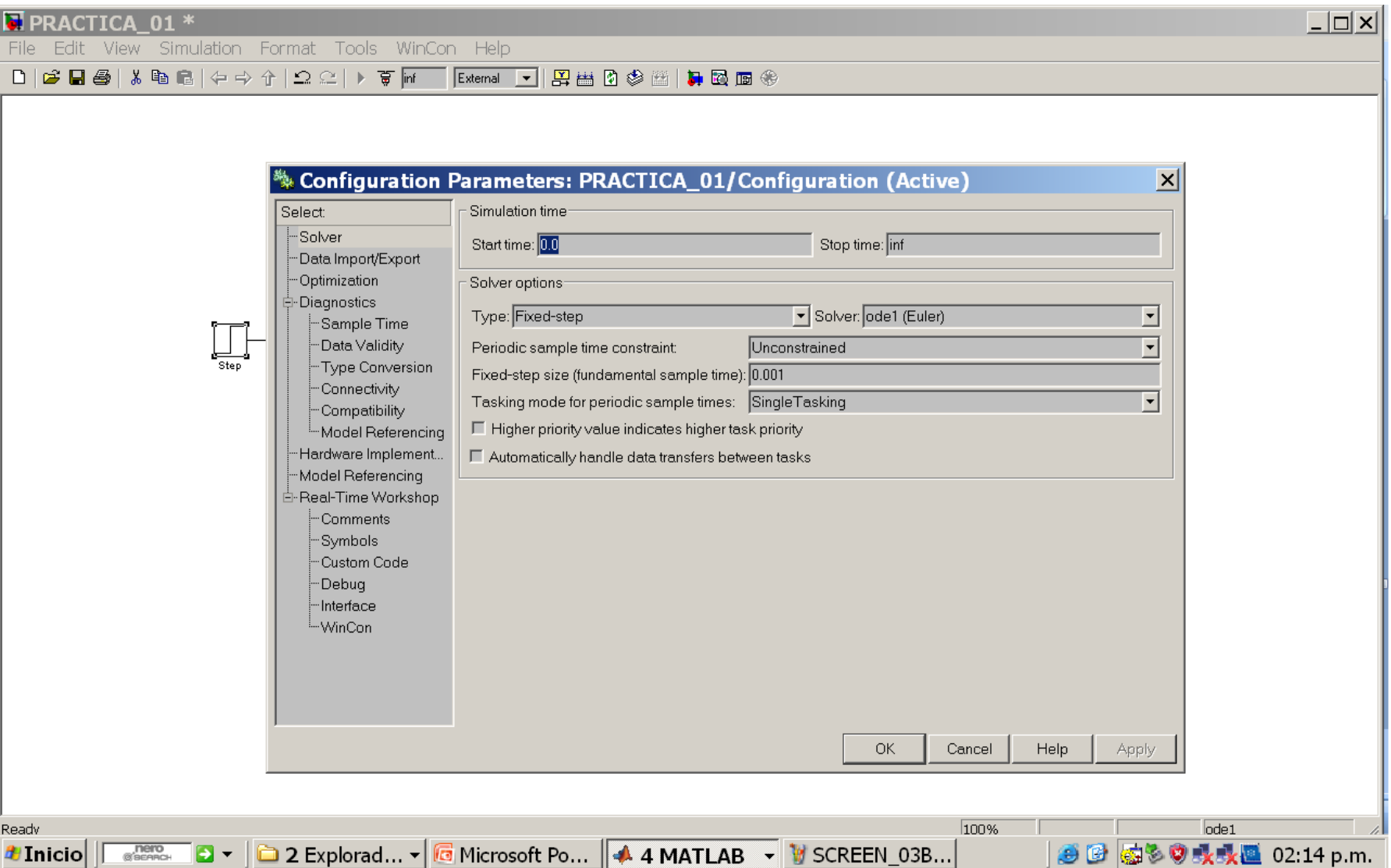
Configurar la simulación.

Solver (Método de Integración): ode1 (Euler)

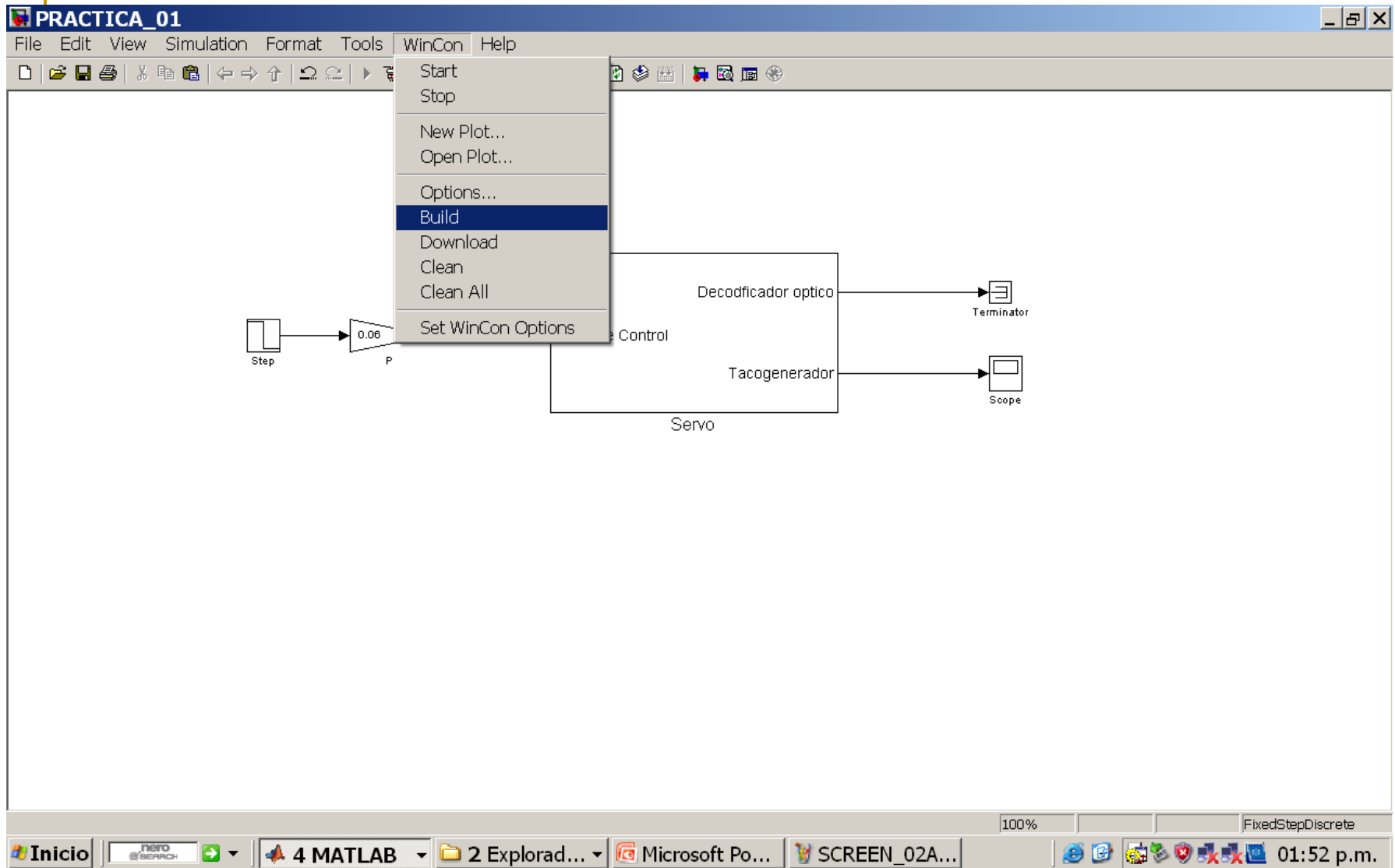


Configurar la simulación.

Solver (Método de Integración): ode1 (Euler)



Compilar el diagrama siguiente mediante WINCON



PRACTICA_01 *

File Edit View Simulation Format Tools WinCon Help

inf External

Step

0.06

P

Señal de Control

Decodificador optico

Tacogenerador

Servo

Terminator

Scope

Sin título - WinCon Server

File Client Model Plot Window View Help

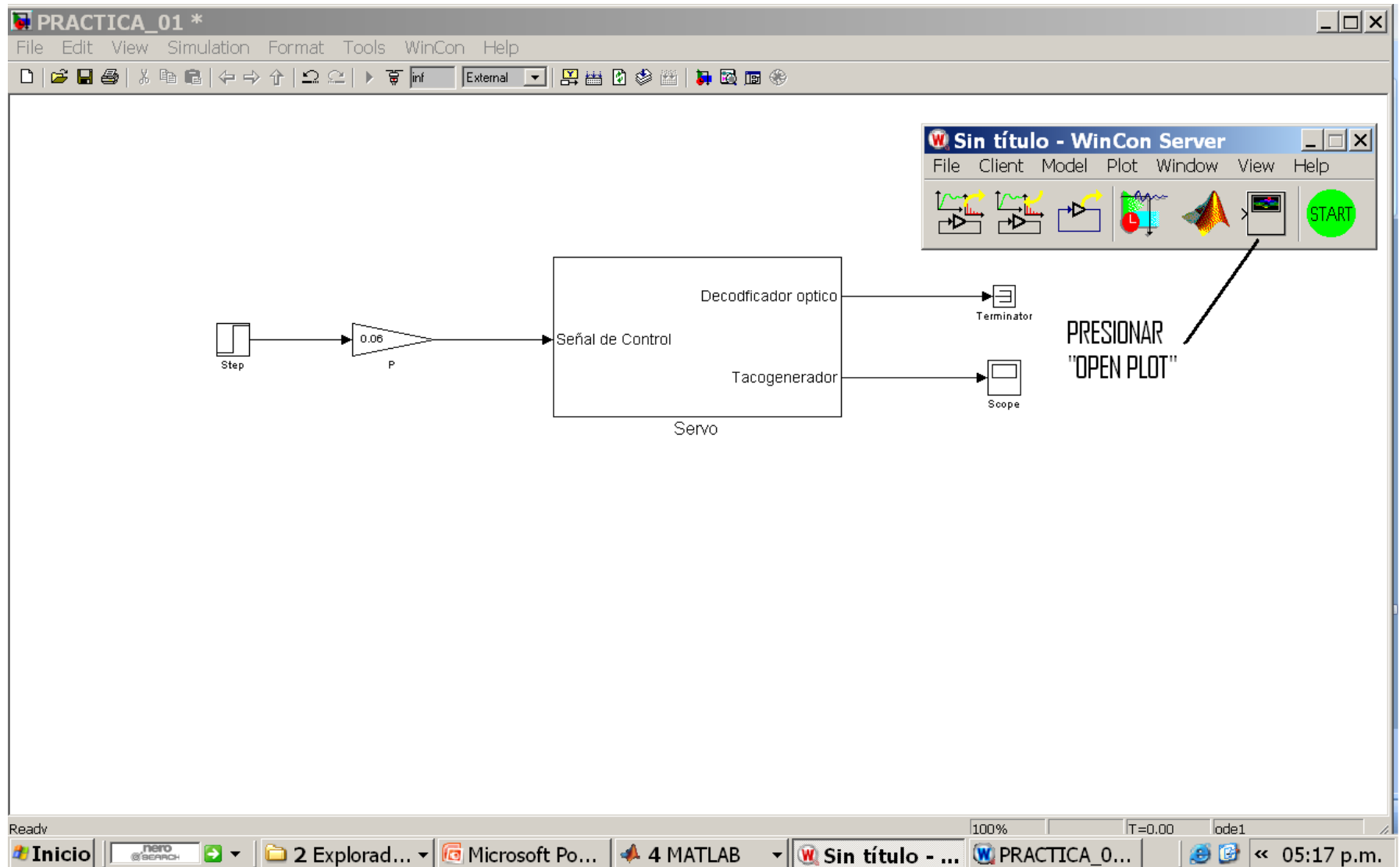
START

PRESIONAR "START" PARA INICIAR LA EJECUCION EN TIEMPO REAL

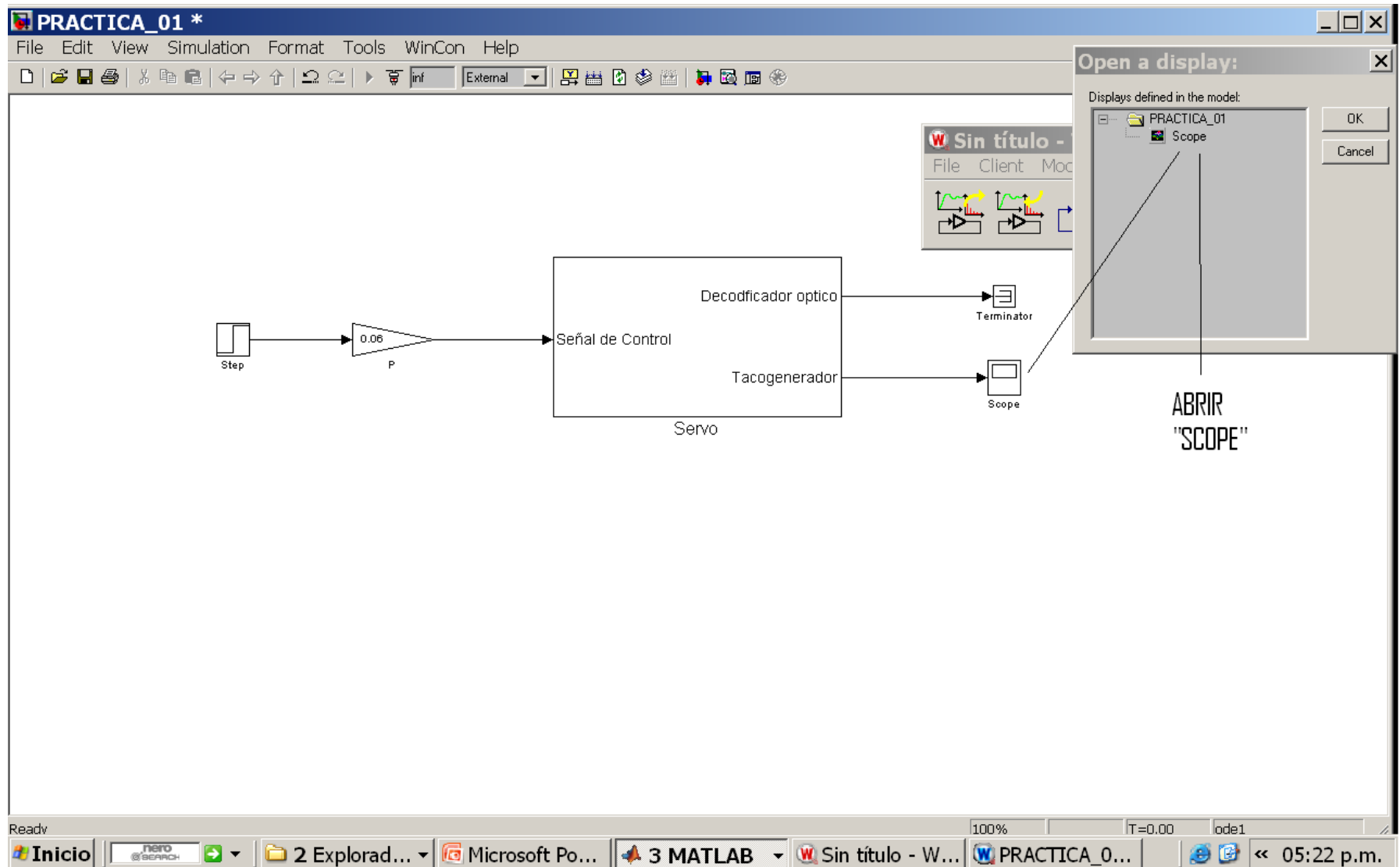
Ready 100% T=0.00 ode1

Inicio Inicio 2 Explorad... Microsoft Po... 4 MATLAB Sin título - ... PRACTICA_0... << 05:12 p.m.

Observar una señal en tiempo real de un osciloscopio



Observar una señal en tiempo real de un osciloscopio



Caso de estudio: Control en velocidad de un motor de corriente directa. Experimentos en tiempo real.

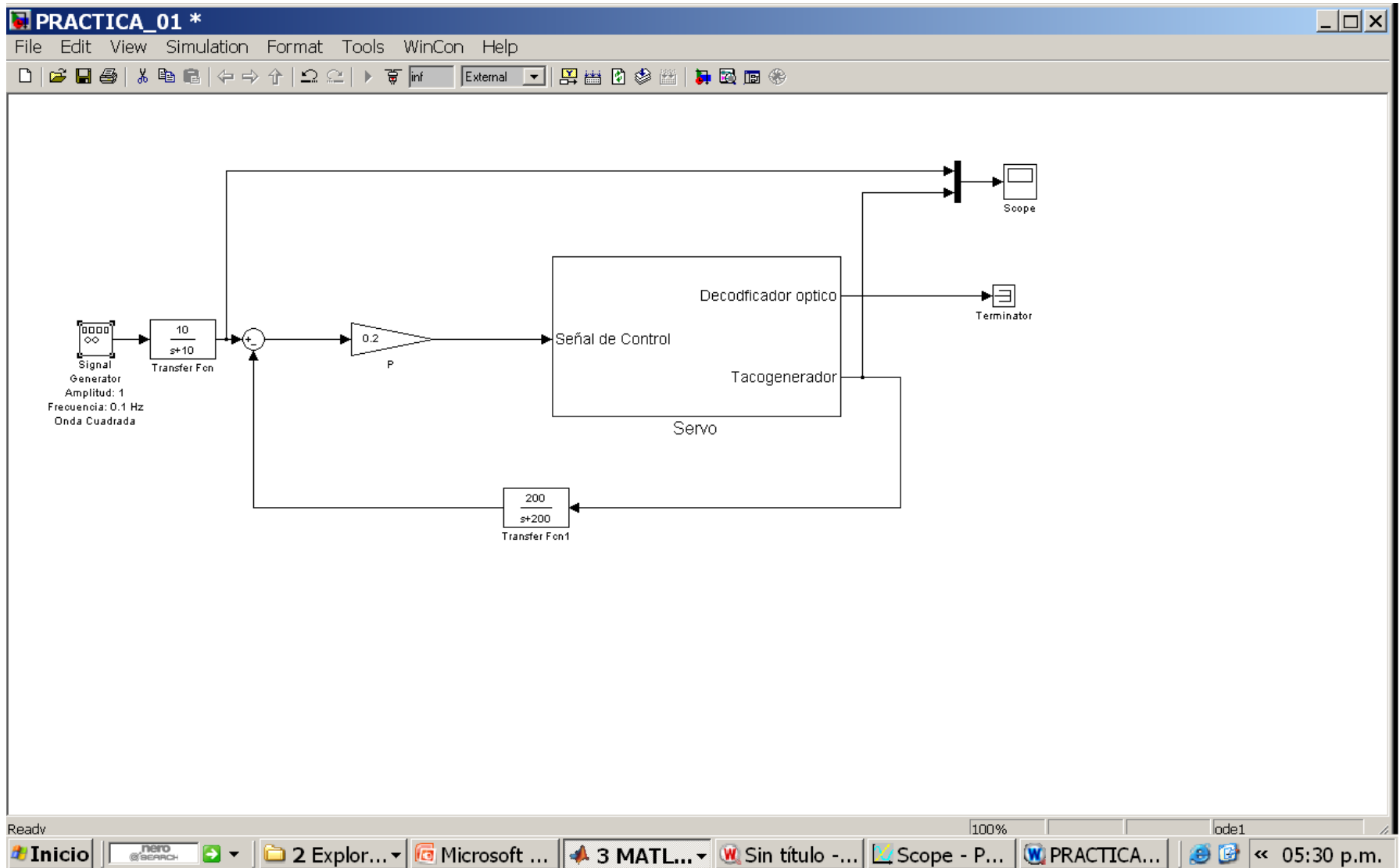
Motor en lazo abierto.

- Verificar la respuesta en el osciloscopio. ¿Qué se observa?
 - Probar también un valor negativo del escalón unitario.
-

Caso de estudio: Control en velocidad de un motor de corriente directa. Experimentos en tiempo real.

Control Proporcional

Construir , compilar y ejecutar el diagrama siguiente



Caso de estudio: Control en velocidad de un motor de corriente directa. Experimentos en tiempo real.

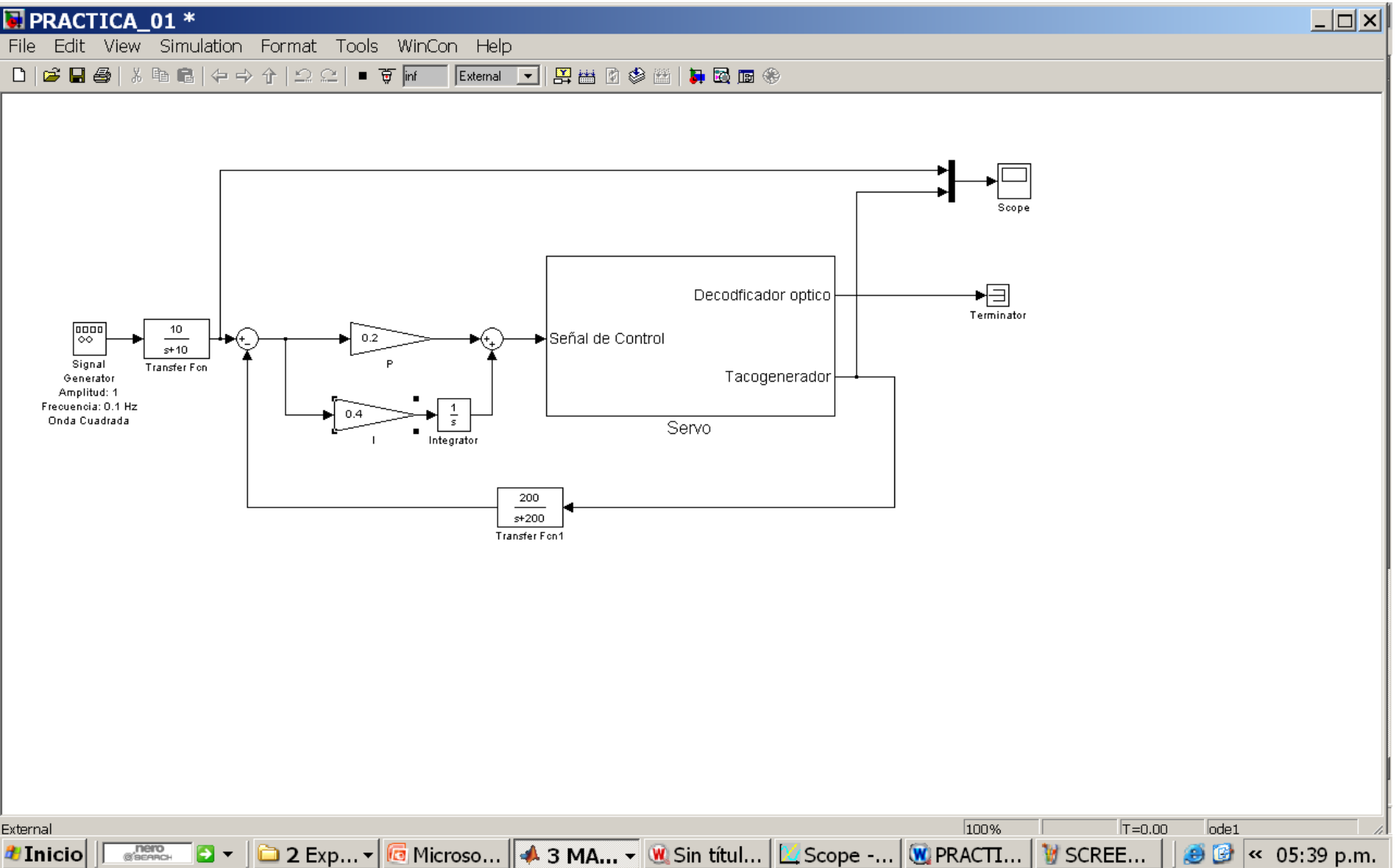
Control Proporcional.

- ¿Existe error en estado estacionario?
 - Observar el error en estado estacionario cuando se incrementa o disminuye la ganancia proporcional
 - ¿El sistema en lazo cerrado tiene sobretiros?
-

Caso de estudio: Control en velocidad de un motor de corriente directa. Experimentos en tiempo real.

Control Proporcional Integral

Construir , compilar y ejecutar el diagrama siguiente



Caso de estudio: Control en velocidad de un motor de corriente directa. Experimentos en tiempo real.

Control Proporcional Integral

- ¿Existe error en estado estacionario?
¿En qué parte del diagrama se encuentra la señal de error?
 - Observar el comportamiento del sistema cuando se incrementa o disminuye la ganancia proporcional
 - ¿El sistema en lazo cerrado tiene sobretiros?
 - Incrementar el valor de la ganancia integral y observar el comportamiento resultante
 - Obtener una respuesta rápida y sin sobretiros mediante el ajuste de las ganancias proporcional e integral.
-