

REGULACIÓN AUTOMÁTICA

Prácticas de Control por Computador (3ºGIERM, UMA)

Práctica 6: Control de velocidad de motor de corriente continua

1. Introducción al equipo de motores de Alecop MV-541

En esta práctica se va a trabajar con el equipo didáctico MV-541 de Alecop para el control en velocidad de un motor de corriente continua. Dicho equipo consta, entre otros, de los siguientes elementos (Fig. 1):

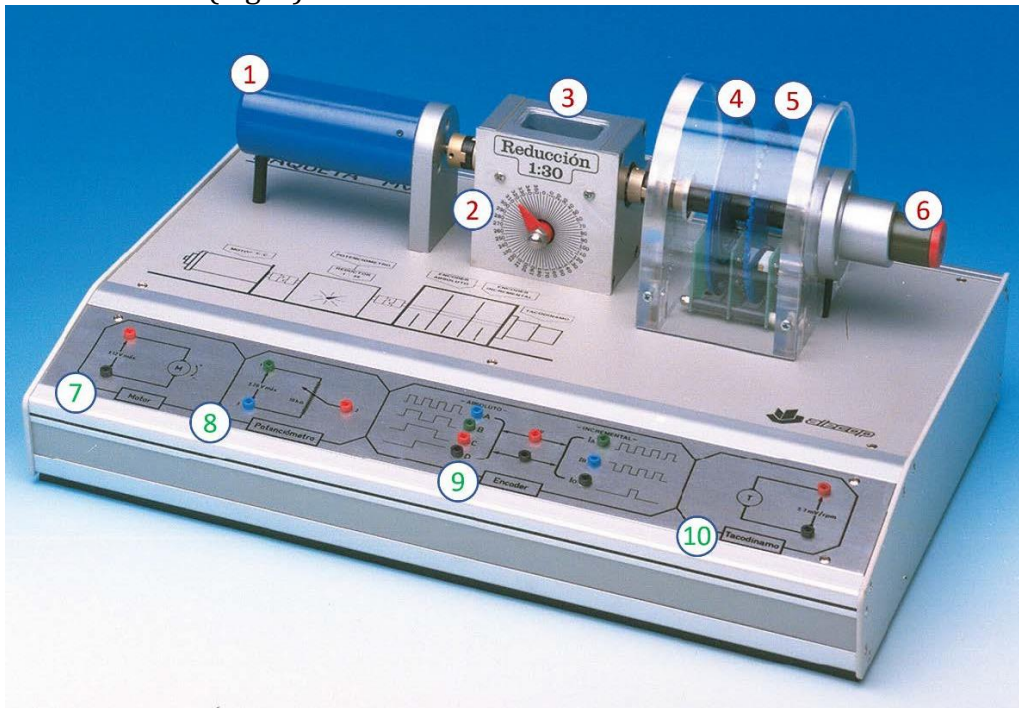


Figura 1: Esquema general del sistema MV/541.

- Motor de corriente continua (1) acoplado a un encoder óptico absoluto (4) y a un encoder incremental (5). La alimentación del motor (7) y la lectura de los encoders (9) se encuentran en la misma maqueta.
- Potenciómetro empleado como sensor de posición absoluto (2) y su lectura (8), así como una reductora (3) (30 vueltas del eje motriz provocan una vuelta del eje reducido).
- Tacómetro empleado como sensor de velocidad (6) y su salida (10).

Con objeto de utilizar el mismo equipo en todas las prácticas anotar su identificador situado en uno de sus laterales.

Como se ha comentado, las señales de los sensores de posición y velocidad, así como la actuación están accesibles a través de conectores según se muestra en la figura la Fig. 2 (parte inferior de la maqueta en la Fig. 1). El tipo de señal accesible en cada conector y su rango de valores se muestran en la Tabla1.

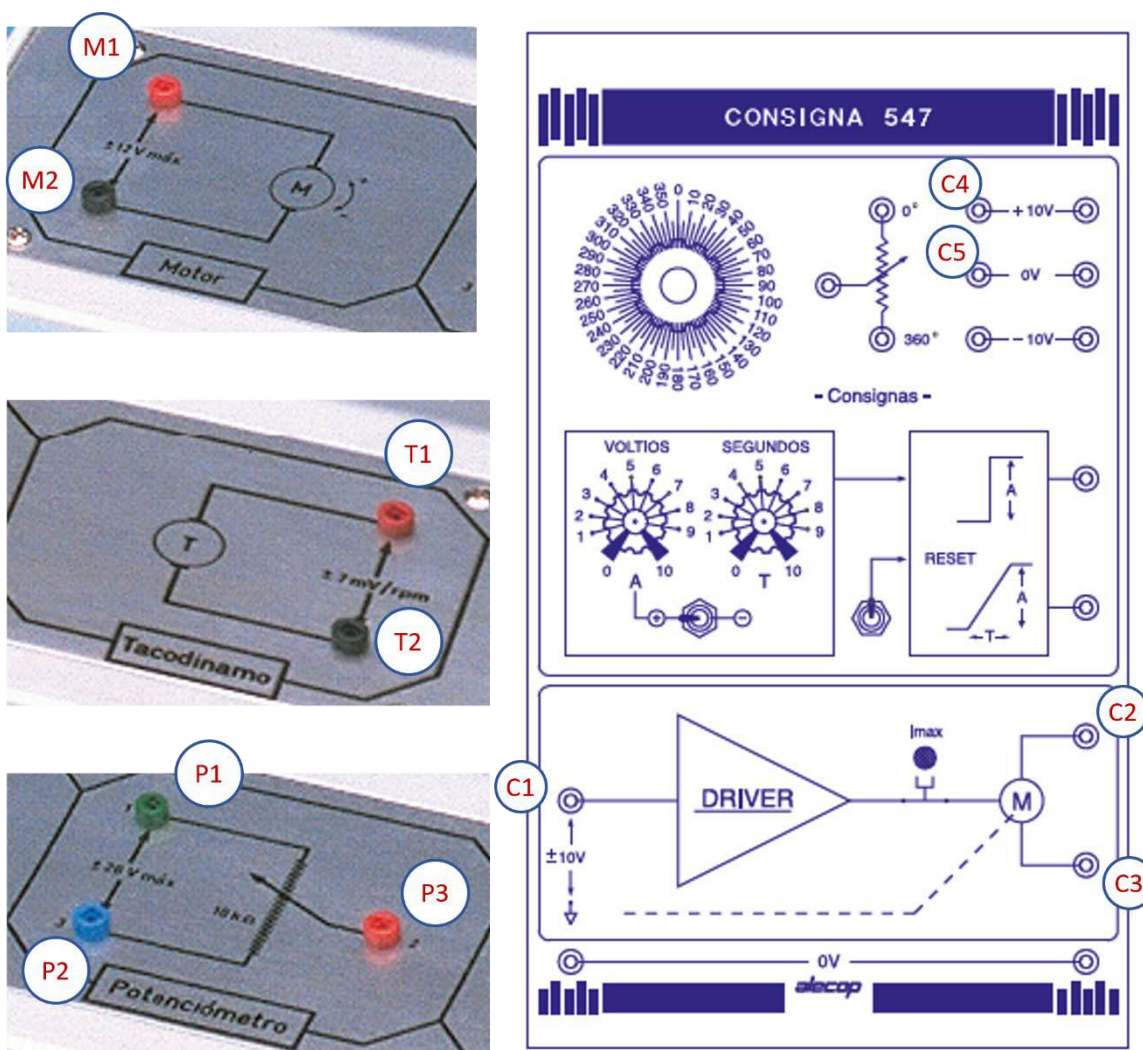


Figura 2: Izquierda, detalle de los conectores externos del motor, tacómetro (tacodinamo) y potenciómetro. Derecha, módulo Consigna 547 empleado para alimentar los distintos componentes de la maqueta.

Etiquetas	Señal	Rango
P3	Salida del potenciómetro	[0 (0grados), 10V (350grados)]
T1-T2	Salida del tacómetro	$\pm 7,5V$
M1-M2	Entrada de alimentación del motor	$\pm 12V$

Tabla 1: Conexiones externas del equipo MV-541.

Para realizar la adquisición de datos se van a utilizar el entorno de programación Simulink, la tarjeta de adquisición de datos (DAQ) NI-6014 o NI-6321 (que se encuentra integrada en el PC del laboratorio) y la placa de conexionado CB-68LP (Fig. 3), todos de National Instruments.



Figura 3: Placa de conexionado CB-68LP

2. Conexionado de señales

El conexionado se va a realizar en dos etapas, una primera de conexionado del motor y su alimentación, y una segunda del tacómetro, siguiendo las conexiones que se muestran en la Tabla 2, que contienen el Pinout de las tarjetas de adquisición de datos NI 601x o 632x (NI 601x/632x Family Specifications). Para ello se utilizarán las bananas y el cableado disponible en el laboratorio. El conexionado del potenciómetro no se realizará hasta haber completado la práctica. Nótese que hay conexiones que son propias de la maqueta, mientras que otras van a servir de entrada/salida.

Elemento	Conexión	Tarjeta DAQ	Placa CB-68LP	Notas
Motor	C2-M1			
	C3-M2			
Alimentación	C1	AO 0		
	M2	AO GND		Colocar una banana sobre la anterior
Tacómetro	T1	AI 1		
	T2	AI GND		
Potenciómetro				
----	----	AISENSE-AIGND		Válida cualquier AIGND de la tarjeta

Tabla 2: Conexionado de la maqueta y el sistema de adquisición de datos.

Se puede identificar el modelo de tarjeta ejecutando el programa *NI MAX* (MAX) y mirando en el panel izquierdo *Devices and Interfaces* (Fig. 4). Tener en cuenta que la numeración de los pines de la tarjeta DAQ coincide con la de la placa de conexionado CB-68LP. Por último, **conectar mediante un cable el terminal AI SENSE de la tarjeta a alguno de sus terminales AIGND.**

Antes de proceder con el siguiente apartado avisar al profesor/a para que compruebe el correcto conexionado de las señales.

Para identificar el modelo de la placa de adquisición de datos abrimos el programa **NIMAX**:

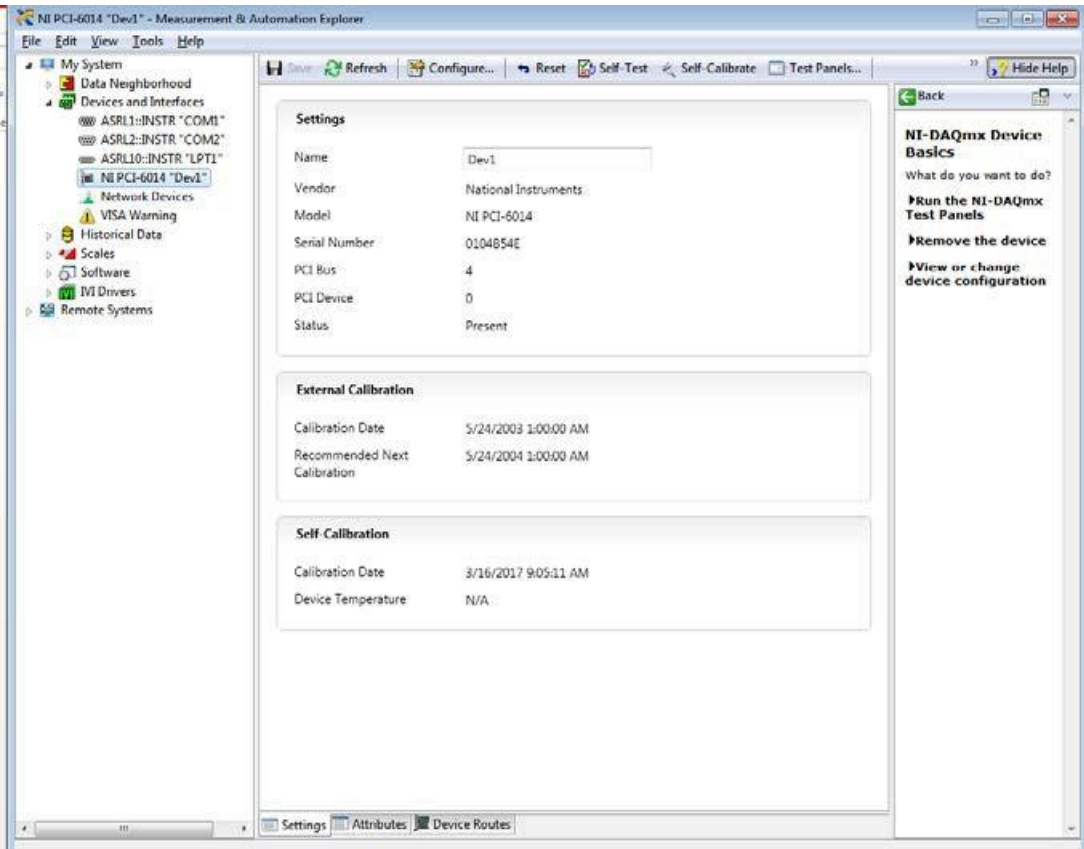


Figura 4: NI-MAX

AI 8	34	68	AI 0
AI 1	33	67	AI GND
AI GND	32	66	AI 9
AI 10	31	65	AI 2
AI 3	30	64	AI GND
AI GND	29	63	AI 11
AI 4	28	62	AI SENSE
AI GND	27	61	AI 12
AI 13	26	60	AI 5
AI 6	25	59	AI GND
AI GND	24	58	AI 14
AI 15	23	57	AI 7
AO 0	22	56	AI GND
AO 1	21	55	AO GND
NC	20	54	AO GND
P0.4	19	53	D GND
D GND	18	52	P0.0
P0.1	17	51	P0.5
P0.6	16	50	D GND
D GND	15	49	P0.2
+5 V	14	48	P0.7
D GND	13	47	P0.3
D GND	12	46	AI HOLD COMP
PFI 0/AI START TRIG	11	45	EXT STROBE
PFI 1/AI REF TRIG	10	44	D GND
D GND	9	43	PFI 2/AI CONV CLK
+5 V	8	42	PFI 3/CTR 1 SRC
D GND	7	41	PFI 4/CTR 1 GATE
PFI 5/AO SAMP CLK	6	40	CTR 1 OUT
PFI 6/AO START TRIG	5	39	D GND
D GND	4	38	PFI 7/AI SAMP CLK
PFI 9/CTR 0 GATE	3	37	PFI 8/CTR 0 SRC
CTR 0 OUT	2	36	D GND
FREQ OUT	1	35	D GND

NC = No Connect

Figura 5: NI 6014 Pinout

AI 0 (AI 0+)	68	34	AI 8 (AI 0-)
AI GND	67	33	AI 1 (AI 1+)
AI 9 (AI 1-)	66	32	AI GND
AI 2 (AI 2+)	65	31	AI 10 (AI 2-)
AI GND	64	30	AI 3 (AI 3+)
AI 11 (AI 3-)	63	29	AI GND
AI SENSE	62	28	AI 4 (AI 4+)
AI 12 (AI 4-)	61	27	AI GND
AI 5 (AI 5+)	60	26	AI 13 (AI 5-)
AI GND	59	25	AI 6 (AI 6+)
AI 14 (AI 6-)	58	24	AI GND
AI 7 (AI 7+)	57	23	AI 15 (AI 7-)
AI GND	56	22	AO 0
AO GND	55	21	AO 1
AO GND	54	20	NC
D GND	53	19	P0.4
P0.0	52	18	D GND
P0.5	51	17	P0.1
D GND	50	16	P0.6
P0.2	49	15	D GND
P0.7	48	14	+5 V
P0.3	47	13	D GND
PFI 11/P2.3	46	12	D GND
PFI 10/P2.2	45	11	PFI 0/P1.0
D GND	44	10	PFI 1/P1.1
PFI 2/P1.2	43	9	D GND
PFI 3/P1.3	42	8	+5 V
PFI 4/P1.4	41	7	D GND
PFI 13/P2.5	40	6	PFI 5/P1.5
PFI 15/P2.7	39	5	PFI 6/P1.6
PFI 7/P1.7	38	4	D GND
PFI 8/P2.0	37	3	PFI 9/P2.1
D GND	36	2	PFI 12/P2.4
D GND	35	1	PFI 14/P2.6

NC = No Connect

Figura 6: NI 6321 Pinout

3. Programación en Simulink de la tarjeta de adquisición de datos

3.1. Conexión de salida analógica en Simulink

Utilizamos **Matlab2020b**, lanzamos Simulink y la librería que permite conectar a tarjetas de adquisición de datos es “Simulink Desktop Real-Time”:

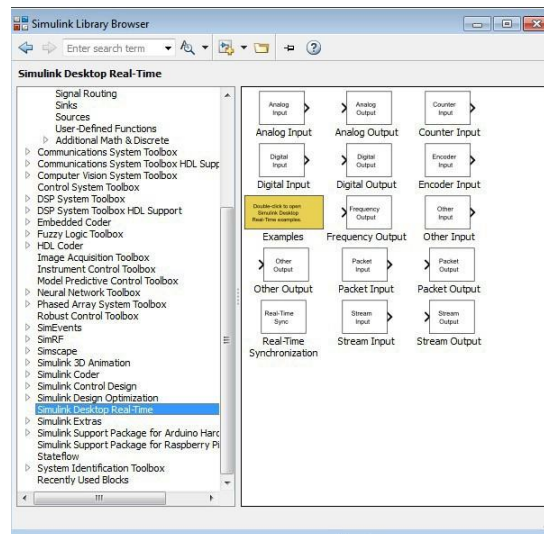


Figura 7: Simulink Library Browser

Se debe elegir el bloque “Analog Output”. Al pulsar dos veces sobre el bloque, accederemos a su configuración (Fig. 8). Se debe elegir el tipo de tarjeta con la que se está trabajando, para ello pulsar el botón “Install new board” y seleccionar la que está instalada en el equipo. Posteriormente pulsar el botón “Board setup” y configurar la tarjeta en el bloque de Simulink. La opción “A/D Connection” debe fijarse al valor NRSE. Pulsar el botón “Test” para comprobar que la comunicación con la placa funciona correctamente.

El tiempo de muestreo debe configurarse a 15ms., el número máximo de *ticks* perdidos a 100 y, por último, hay que configurar el canal de salida que se va a utilizar. Para ello tened en cuenta que en este bloque comienza la numeración de los puertos en 1 mientras que la especificación del Pinout de la tarjeta DAQ comienza en 0.

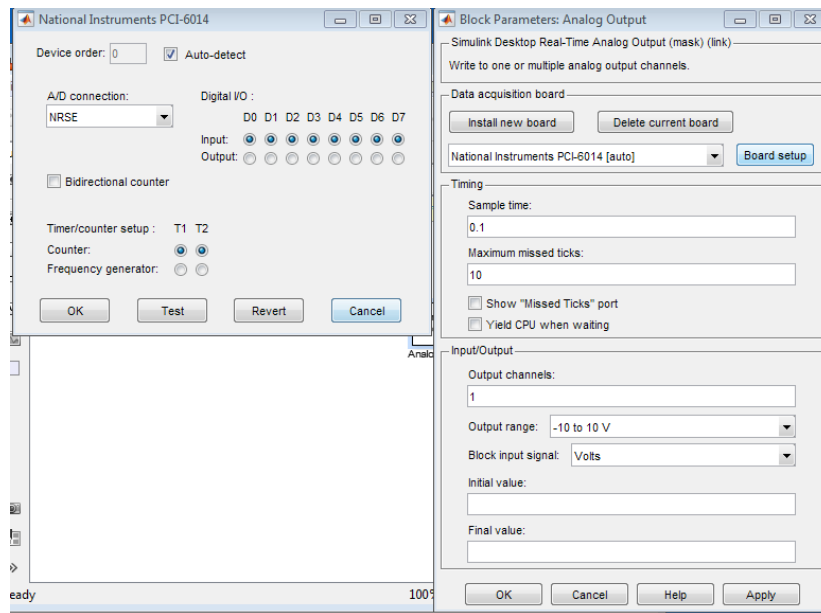


Figura 8: Configuración del bloque “Analog Output”

Una vez configurada la tarjeta, se puede conectar la señal que se necesite en el diagrama de Simulink (Fig. 9). Comprobar el correcto funcionamiento conectado al bloque una constante de valor 1. Encender la maqueta pulsando el interruptor del bloque ALI-700, compilar, ejecutar y comprobar que el motor comienza a andar. Si no llegara a andar, cambiar el valor de la constante por un 3. Volverlo a ejecutar con una constante de valor 0 y comprobar que el motor se para.

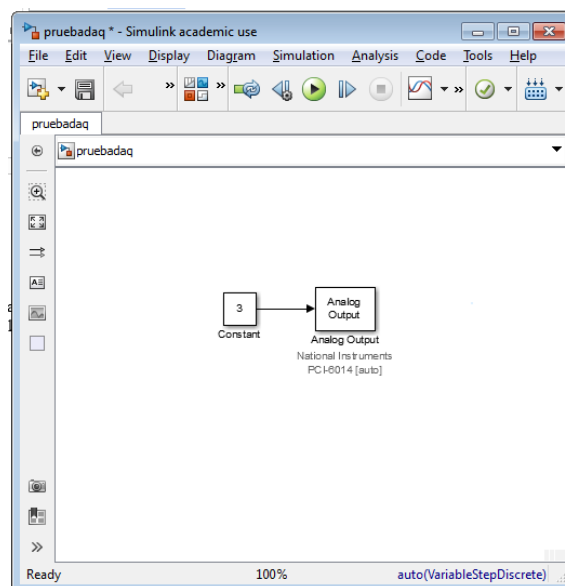


Figura 9: Diagrama Simulink con conexionado del bloque “Analog Output”

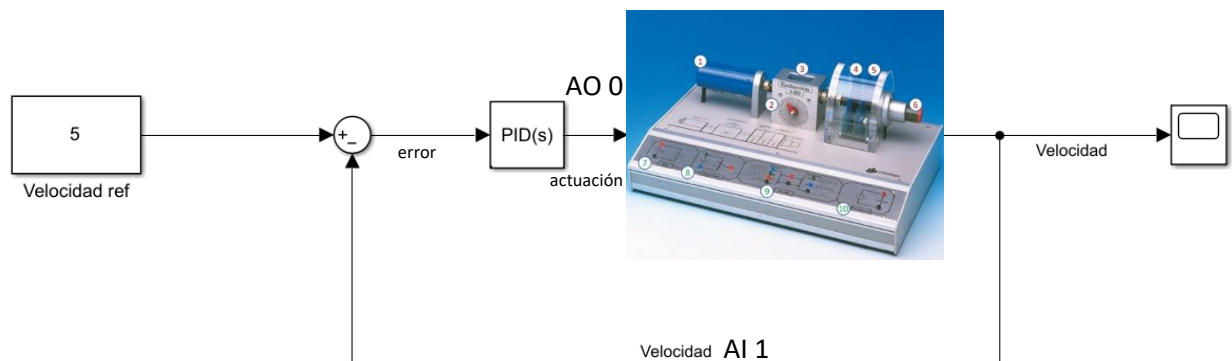
3.2. Conexión de entrada analógica en Simulink

El proceso es el mismo que el indicado en el apartado anterior, pero eligiendo el bloque “Analog Input” y configurando adecuadamente los puertos. Si se quisiera utilizar tanto el tacómetro como el potenciómetro habría que configurar 2 puertos, esto se haría utilizando el corchete y las comas para definirlos ([p1, p2]). **Atención:** seleccionar la tarjeta (Board) ya instalada en el desplegable, ya que instalarla de nuevo resultará en un funcionamiento erróneo.

Para comprobar el funcionamiento, completa el diagrama de Simulink con un Scope que esté conectado al bloque Analog Input. Configura la constante conectada al bloque Analog Output con un 1 y ejecuta. En el Scope deberá aparecer una señal en el caso de considerar sólo el tacómetro, o dos señales, una asociada al tacómetro (velocidad) y otra asociada al potenciómetro (posición).

4. Control de velocidad del motor

Implementar un control de velocidad del motor (en tensión) con un **bloque PID**. Para ello, la **realimentación negativa** del bucle de control deberemos hacerla con la lectura del canal de entrada del **tacómetro** (ya que estamos leyendo velocidad), y la actuación del sistema (salida del bloque PID), tendremos que conectarla con el bloque de escritura, de manera que se envíe la actuación deseada al motor.



Ejercicio 1. Ajuste de Ziegler-Nichols

Partiendo de la función de transferencia obtenida en la práctica anterior. Diseñar un controlador para realizar un control en velocidad del motor.

- Diseñar un controlador **PI** utilizando el método de Ziegler-Nichols y los parámetros obtenidos en la práctica anterior.

Tipo	K_p	T_i	T_d
P	$\tau / (d \cdot K)$		
PI	$(\tau \cdot 0.9) / (d \cdot K)$	$3.0 \cdot d$	
PID	$(\tau \cdot 1.2) / (d \cdot K)$	$2.0 \cdot d$	$0.5 \cdot d$

- Comprobar si se produce una saturación. Ajustar las ganancias del controlador para obtener una **respuesta sin saturación** del controlador.

Nota: se produce saturación si la actuación solicitada es superior a la que es capaz de entregar la salida analógica de la tarjeta de adquisición de datos ($\pm 10V$)

Ejercicio 2. Control proporcional puro

- a) Partiendo de $K_p = 1$, variar la ganancia proporcional en incrementos unitarios y analizar la respuesta del sistema en bucle cerrado para diferentes ganancias. ¿Cómo afecta el incremento de la ganancia a la respuesta del sistema? Analizar tanto el tiempo de respuesta y la oscilación como el error en estado estacionario de forma cualitativa, y calcular el error en régimen permanente y la sobreoscilación para una ganancia $K_p = 3$.
- b) Aplicar un **par en la carga inercial** en el eje del motor, tocándolo suavemente con el dedo. Observar el efecto de esta perturbación sobre la velocidad del motor.

Ejercicio 3. Control integral puro.

Para realizar este ejercicio se debe poner la ganancia proporcional a cero y fijar la ganancia integral en $K_i = 3$.

- a) Variar la ganancia integral en incrementos de 2 para analizar la respuesta del sistema en bucle cerrado con diferentes ganancias. ¿Cómo afecta el incremento de la ganancia a la respuesta del sistema? Analizar tanto el tiempo de respuesta y la oscilación como el error en estado estacionario.
- b) Aplicar un **par en la carga inercial** en el eje del motor, tocándolo suavemente con el dedo. Observar el efecto de esta perturbación sobre la velocidad del motor.

Ejercicio 4. Control proporcional e integral.

- a) Poner la ganancia proporcional a un valor constante, $K_p = 3$, y la ganancia integral en $K_i = 3$. Aumentar la ganancia integral en incrementos de 2 unidades y observar cómo afecta el incremento de la ganancia integral, K_i , a la respuesta del sistema.
- b) Poner la ganancia integral a un valor constante, $K_i = 3$, y variar el valor de la ganancia proporcional. Observar cómo afecta el incremento de la ganancia proporcional, K_p , a la respuesta del sistema.
- c) Proponer un controlador **PI** para que el tiempo de establecimiento sea menor a 0.5s y la sobreoscilación máxima porcentual sea menor al 10% sin tener error en régimen permanente. Comprobar el funcionamiento con el motor real.