

TEORÍA DE SISTEMAS

PRÁCTICA 6c. IDENTIFICACIÓN SERVOMOTOR

OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA

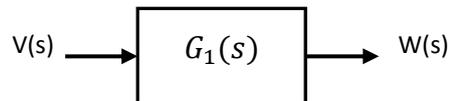
- Comprender el proceso general a seguir para la identificación de un sistema:
 - modelado teórico
 - medidas experimentales
- Modelar el comportamiento del conjunto motor-freno de la práctica en cuanto a dos variables de salida:
 - Velocidad alcanzada por el motor
 - Intensidad consumida por el motor

1. IDENTIFICACIONES A REALIZAR

Primera identificación:

- Variable de entrada: tensión aplicada al motor
- Variable de salida: velocidad en el eje del motor

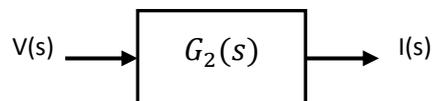
El objetivo será obtener la función de transferencia que relaciona la tensión aplicada al motor con la velocidad del mismo:



Segunda identificación:

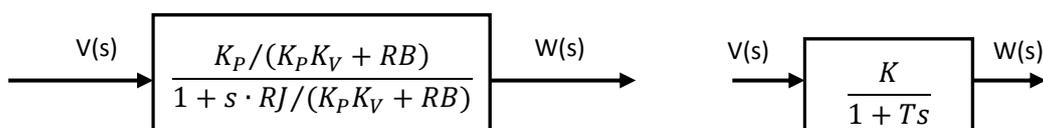
- Variable de entrada: tensión aplicada al motor
- Variable de salida: intensidad en los devanados del motor

El objetivo será obtener la función de transferencia que relaciona la tensión aplicada al motor con la intensidad que circula por sus devanados:



2. RESULTADOS TEORICOS PREVIOS

De acuerdo con los desarrollos llevados a cabo en la práctica realizada anteriormente con el servomotor, la función de transferencia $G_I(s)$ tiene el siguiente aspecto:



Las variables que intervienen en la función de transferencia son:

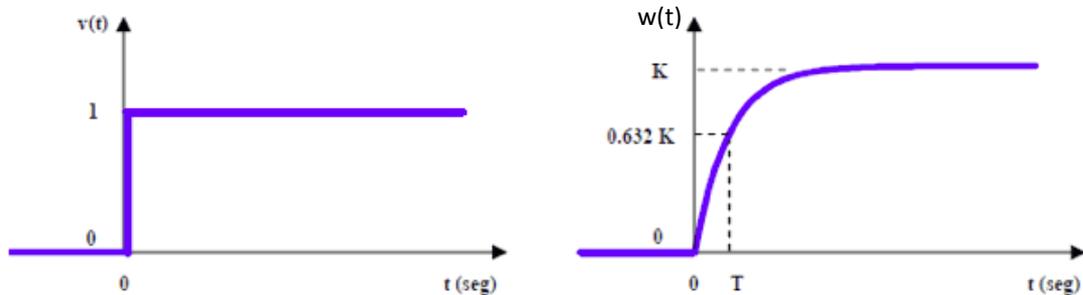
- K_p : constante de par del motor
- K_v : constante de velocidad del motor (relación velocidad / fuerza electromotriz)
- R : resistencia de los devanados del motor
- J : momento de inercia del conjunto motor-freno
- B : coeficiente de rozamiento viscoso del freno (se supone constante durante cada experimento)

Y los coeficientes K y T equivalen a:

$$K = \frac{K_p}{K_p K_v + RB}$$

$$T = \frac{R \cdot J}{K_p K_v + RB}$$

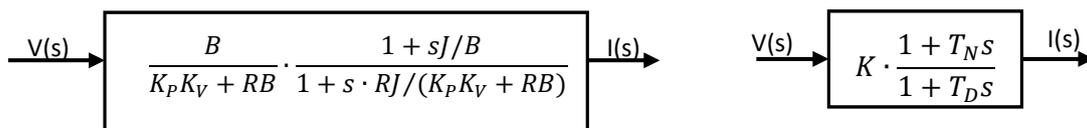
Los desarrollos de la práctica anterior también nos llevaban a representar la respuesta ante entrada escalón correspondiente a una función de transferencia de primer orden como la obtenida; en otras palabras: cómo se comporta la velocidad del motor si se incrementa bruscamente la tensión que se aplica al mismo:



Por lo tanto, el experimento a realizar consistirá en aplicar un escalón de tensión al motor y observar el comportamiento de la velocidad del eje. A partir de la gráfica obtenida en el osciloscopio, se podrán determinar los valores para los coeficientes K y T .

$G_2(s)$: relación voltaje/intensidad en los devanados

De acuerdo también con los desarrollos llevados a cabo en la práctica anterior, la función de transferencia $G_2(s)$ tiene el siguiente aspecto:

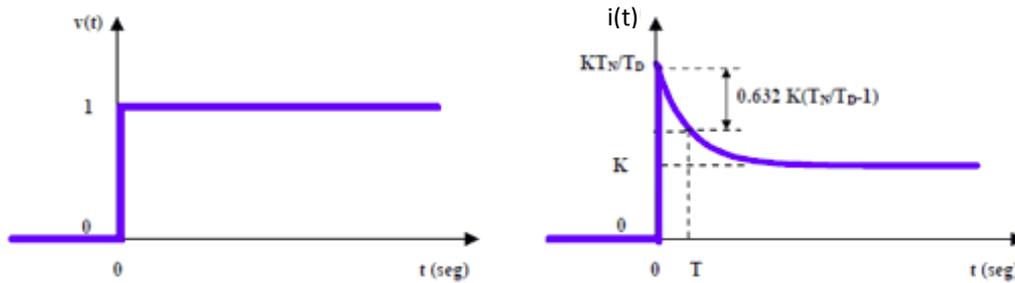


Las variables que intervienen en la función de transferencia son conocidas del ejemplo anterior.

Y los coeficientes K , T_N y T_D equivalen a:

$$K = \frac{B}{K_p K_v + RB} \quad T_N = \frac{J}{B} \quad T_D = \frac{R \cdot J}{K_p K_v + RB}$$

Los desarrollos de la práctica anterior también nos llevaban a representar la respuesta a escalón correspondiente a una función de transferencia de primer orden con un cero como la obtenida; en otras palabras: qué sucede con la intensidad que circula por los devanados del motor si se incrementa bruscamente la tensión que se aplica al mismo:



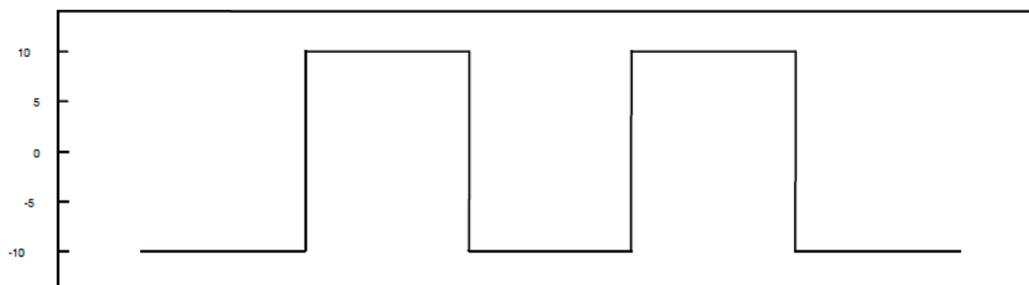
Por lo tanto, el experimento a realizar consistirá en aplicar un escalón de tensión al motor y observar el comportamiento de la intensidad. A partir de la gráfica obtenida en el osciloscopio, se podrán determinar los valores para los coeficientes K , T_N y T_D .

3. OBTENCION DE LA FUNCION DE TRANSFERENCIA $G_1(s)$

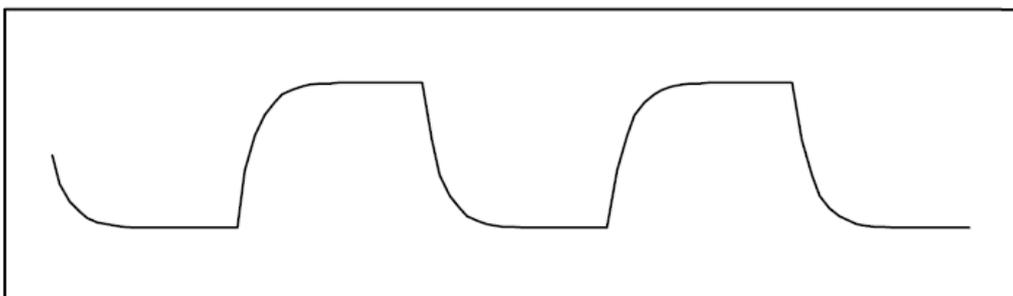
En este experimento introduciremos una entrada de tipo escalón (variación brusca de la tensión aplicada al motor) y comprobaremos su efecto. A partir de las gráficas reales obtenidas podremos verificar si el comportamiento previsto teóricamente se ajusta a la realidad y además podremos obtener valores para los parámetros K y T de la función de transferencia.

¿Como introducir un escalón de voltaje al sistema?

En la práctica anterior comprobamos cómo era posible introducir una señal **cuadrada** al motor. Esta señal está accesible en la regleta de conexiones, en el conector '*Generador de señales: señal cuadrada*' (Pin 36) y tiene un aspecto similar al que se muestra en la figura siguiente: sus valores extremos son +10 y -10V y su frecuencia es ajustable desde el equipo.



La velocidad que toma el motor cuando es excitado con una señal de ese tipo, puede ser visualizada en el osciloscopio (esta señal está accesible en la regleta de conexiones, en el conector '*Tacogenerador: señal positiva*' pin 35) y tiene un aspecto similar al siguiente:



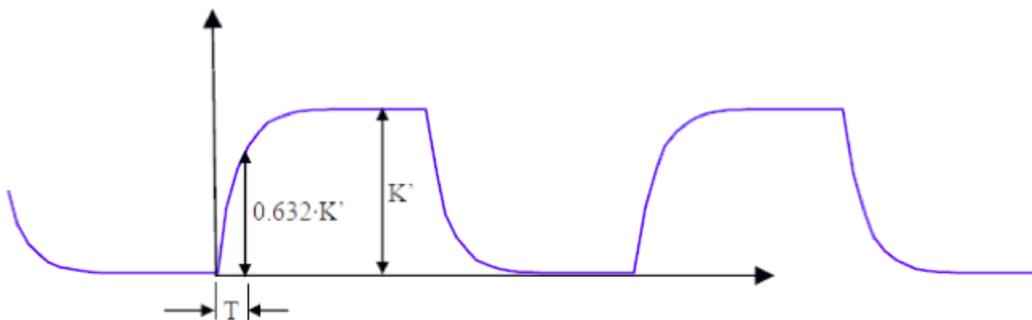
NOTA: pueden mostrarse las dos señales simultáneamente utilizando los canales 1 y 2 del osciloscopio. Esto ayuda a comprobar la relación entre la entrada y la salida del sistema.

A la vista de la segunda figura puede afirmarse que la velocidad del motor alcanza el régimen permanente antes de la llegada de un nuevo pulso. Esto sucederá siempre que la frecuencia de los pulsos sea suficientemente lenta (el motor tiene tiempo de estabilizarse).

Por tanto, puede considerarse cada cambio en la tensión aplicada al motor como un escalón de valor **20V** (paso de $-10V$ a $+10V$) o de valor **-20V** (paso de $+10V$ a $-10V$). Y la gráfica de la velocidad del motor lo que nos está mostrando es la **respuesta a ese escalón**.

El aspecto de la respuesta del motor confirma que el sistema se comporta tal y como se calculó teóricamente y permite tomar medidas para determinar los parámetros de la función de transferencia. Los valores **$K'=20K$** (respuesta a un escalón de amplitud 20V) y **T** se pueden medir sobre un periodo cualquiera de la señal de respuesta, tal y como se indica a continuación.

Un periodo cualquiera de la señal de respuesta representa la respuesta ante un escalón de 20 unidades (de $-10V$ a $+10V$) del sistema. Tal y como indica el dibujo, sobre ese gráfico se puede medir el valor final (**K'**) y la constante de tiempo (**T**), esta última calculada como el tiempo que tarda la señal en alcanzar el 63.2% del valor final:



Nota: el valor de **K'** deberá ser dividido por 20 para obtener **K** dado que la entrada es un escalón de 20 unidades y no un escalón unitario.

PRUEBA 1: DETERMINACION DE LA FUNCION DE TRANSFERENCIA $G_1(S)$

Se obtendrán las medidas experimentales necesarias para poder calcular la función de transferencia $G_1(s)$. Del desarrollo teórico previo se llegó a una expresión de $G_1(s)$ en la que aparece el término B o rozamiento viscoso. El valor del rozamiento dependerá de la posición del freno y, por tanto, para distintas posiciones del freno se obtendrán también distintas funciones de transferencia.

Para la práctica, se obtendrán tres funciones de transferencia correspondientes a tres posiciones del freno:

- Frenado máximo
- Frenado medio
- Frenado mínimo

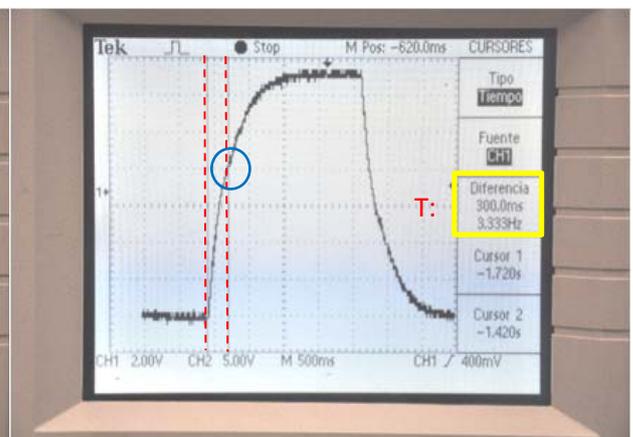
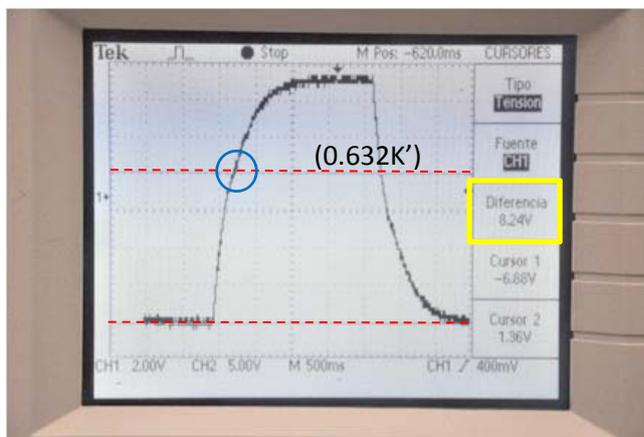
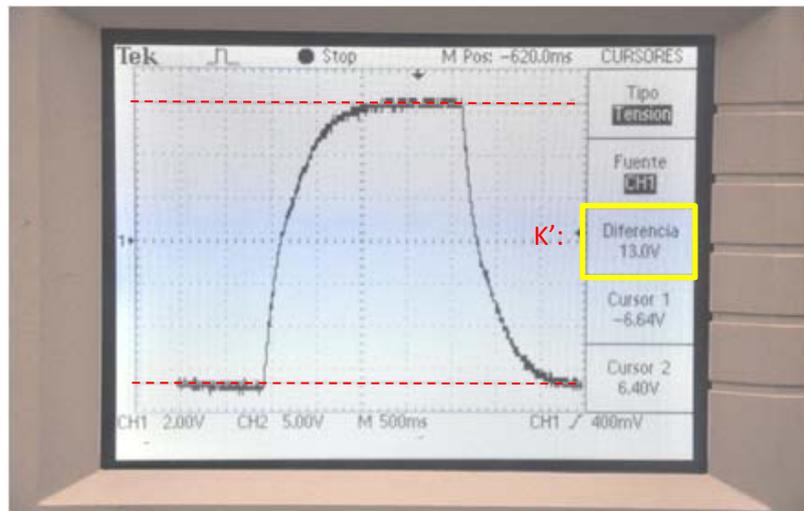
El procedimiento que seguiremos, para cada una de las posiciones del freno, será el siguiente:

- Aplicar al motor la onda cuadrada de tensiones (conectar la señal '**Generador de señales: señal cuadrada**' Pin 36, a la entrada '**Amplificador: entrada positiva**' Pin 33).
- Ajustar el valor de la frecuencia de la señal cuadrada al mínimo valor posible, de modo que nos aseguremos de que el motor alcanza el régimen permanente entre dos pulsos
- Registrar la velocidad de salida del motor en el osciloscopio (desde el conector '**Tacogenerador: señal positiva**' Pin 35 de la regleta de conexiones)
- Medir, sobre esa gráfica del osciloscopio, los valores necesarios para obtener los parámetros de la función de transferencia.

NOTA: a la hora de considerar la señal de salida proveniente del tacogenerador, se debe tener presente que lo que se mide en la gráfica del osciloscopio son voltios, y los datos que realmente se desea conocer para la obtención de la función de transferencia son datos de velocidad en RPM. La relación entre voltios y RPM se obtuvo en la práctica anterior.

Ejercicio:

- Apuntar los valores experimentales obtenidos para cada valor del freno.
- Obtener funciones de transferencia acordes con esos datos.
- Representar en Matlab o Simulink las funciones de transferencia obtenidas y comprobar que responden de la forma que se ha obtenido experimentalmente a un escalón de 20V.

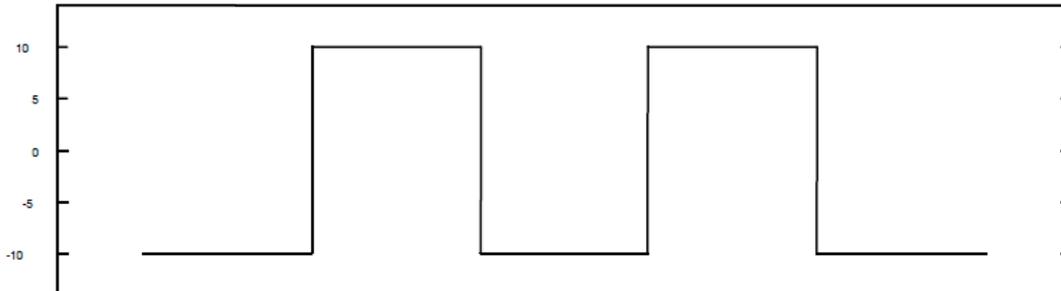


4. OBTENCIÓN DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA $G_2(s)$

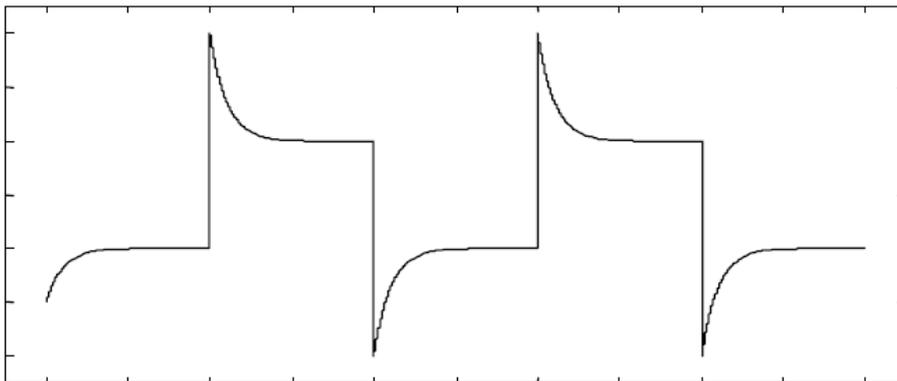
Al igual que antes, introduciremos una entrada de tipo escalón (variación brusca de la tensión aplicada al motor) y comprobaremos su efecto. A partir de las gráficas reales obtenidas podremos verificar si el comportamiento previsto teóricamente se ajusta a la realidad y además podremos obtener valores para los parámetros K , T_N y T_D de la función de transferencia.

¿Como introducir un escalón de voltaje al sistema?

Al igual que en el ejercicio anterior, utilizaremos la señal cuadrada disponible en la regleta de conexiones:



La intensidad que consume el motor cuando es excitado con una señal de ese tipo, puede ser visualizada en el osciloscopio (está accesible desde el **panel de la maqueta**, en la borna 'Armature Current') y tiene un aspecto similar al siguiente:



NOTA: pueden mostrarse las dos señales simultáneamente utilizando los canales 1 y 2 del osciloscopio. Esto ayuda a comprobar la relación entre la entrada y la salida del sistema.

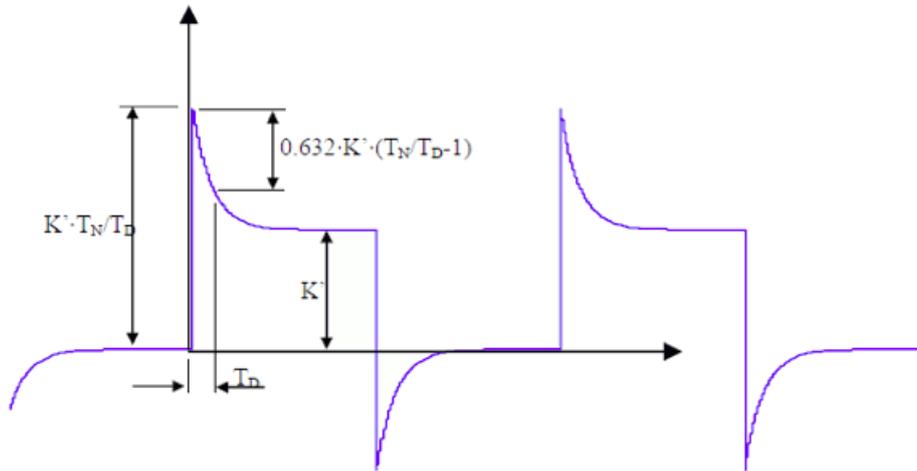
A la vista de la segunda figura puede afirmarse, igual que en el caso anterior, que la intensidad consumida por el motor alcanza el **régimen permanente** antes de la llegada de un nuevo pulso. Esto sucederá siempre que la **frecuencia** de los pulsos sea suficientemente **lenta** (el motor tiene tiempo de estabilizarse).

Por tanto, puede considerarse cada cambio en la **tensión** aplicada al motor como un escalón de valor **20V** (paso de -10V a +10V) o de valor **-20V** (paso de +10V a -10V). Y la gráfica de la intensidad consumida por el motor lo que nos está mostrando es la **respuesta a ese escalón**.

Como aspecto a considerar, cabe señalar los picos de intensidad que se producen. Estos picos lo que reflejan es que el consumo es máximo en los momentos en que se obliga al motor a cambiar de sentido de giro, de modo similar a cómo el consumo también es máximo en el momento de arranque de un motor.

El aspecto de la respuesta del motor confirma que el sistema se comporta tal y como se calculó teóricamente y permite tomar medidas para determinar los parámetros de la función de transferencia. Los valores $K'=20K$ (respuesta a un escalón de amplitud 20V), T_N y T_D se pueden medir sobre un periodo cualquiera de la señal de respuesta, tal y como se indica a continuación.

Un periodo cualquiera de la señal de respuesta representa la respuesta ante un escalón de 20 unidades (de -10V a +10V) del sistema. Tal y como indica el dibujo, sobre ese gráfico se puede medir el valor final (K') el valor de pico ($K' \cdot T_N / T_D$) y la constante de tiempo (T), esta última calculada como el tiempo que tarda la señal en alcanzar el 63.2% de la variación exponencial:



Nota: el valor de K' deberá ser dividido por 20 para obtener K dado que la entrada es un escalón de 20 unidades y no un escalón unitario.

PRUEBA 2: DETERMINACION DE LA FUNCION DE TRANSFERENCIA $G_2(S)$

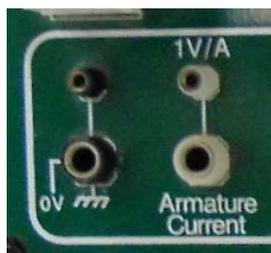
Se obtendrán las medidas experimentales necesarias para poder calcular la función de transferencia $G_2(s)$. Al igual que con la función $G_1(s)$, el desarrollo teórico previo lleva a una expresión de $G_2(s)$ en la que aparece el término B o rozamiento viscoso. El valor del rozamiento dependerá de la posición del freno y, por tanto, para distintas posiciones del freno se obtendrán también distintas funciones de transferencia.

Para la práctica, se obtendrán tres funciones de transferencia correspondientes a tres posiciones del freno:

- Frenado máximo
- Frenado medio
- Frenado mínimo

El procedimiento que seguiremos, para cada una de las posiciones del freno, será el siguiente:

- Aplicar al motor la onda cuadrada de tensiones (conectar la señal '**Generador de señales: señal cuadrada**' a la entrada '**Amplificador: entrada positiva**').
- Ajustar el valor de la frecuencia de la señal cuadrada al mínimo valor posible, de modo que nos aseguremos de que el motor alcanza el régimen permanente entre dos pulsos
- Registrar la intensidad consumida por el motor en el osciloscopio (desde la borna '**Armature Current**' de la maqueta)
- Medir, sobre esa gráfica del osciloscopio, los valores necesarios para obtener los parámetros de la función de transferencia.

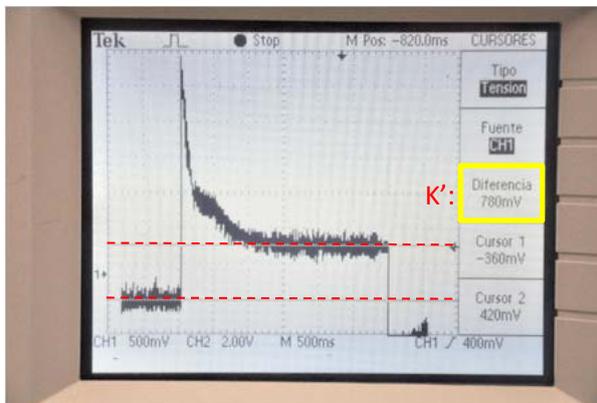


NOTA: En este caso el valor de la señal medida en voltios coincide con el valor de la intensidad en amperios, ya que la borna Armature Current nos proporciona una señal con la relación 1A/1V.

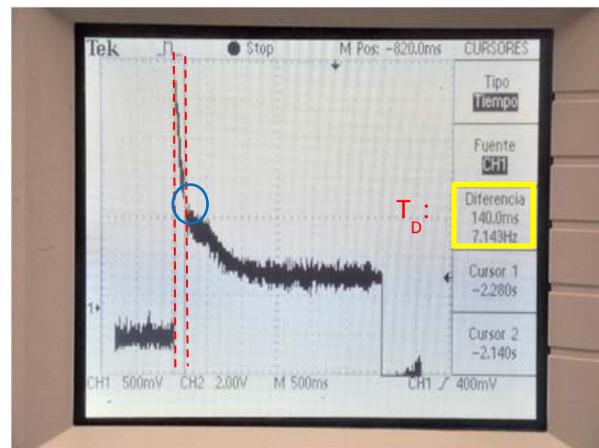
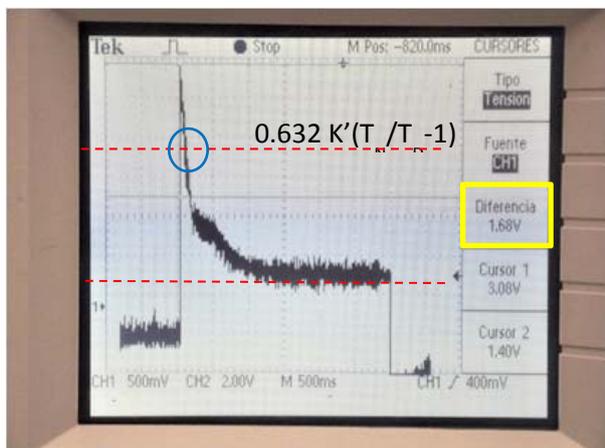
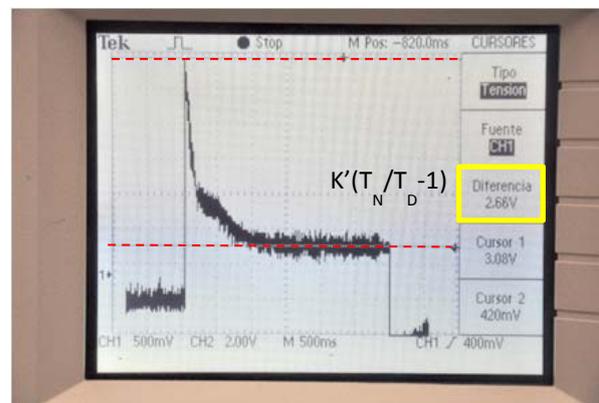
Ejercicio:

- Apuntar los valores experimentales obtenidos para cada valor del freno.
- Obtener funciones de transferencia acordes con esos datos.
- Representar en Matlab o Simulink las funciones de transferencia obtenidas y comprobar que responden de la forma que se ha obtenido experimentalmente a un escalón de 20V.

Cálculo K' :



Cálculo T_D :



PRUEBA 3: Motor realimentado en Posición (SERVOMOTOR)

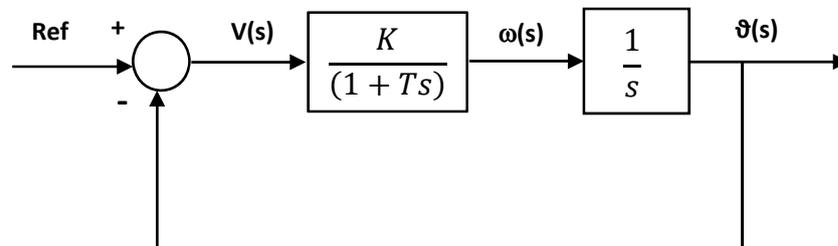
Como se ha podido observar en los experimentos realizados, el comportamiento del motor de corriente continua depende de la carga aplicada (dada una acción de control la velocidad de giro depende de la posición del freno). Cuando queremos una respuesta estable debemos regular la acción de control utilizando para ello el mecanismo de **realimentación**. En un sistema realimentado la entrada de control depende de valor real de la variable física de salida.

En un motor de corriente continua podemos establecer dos tipos de esquemas de control:

- **Realimentación de velocidad:** nos permite obtener una velocidad estable ajustable con una referencia
- **Realimentación en posición:** nos permite controlar la posición del eje del motor

Utilizaremos este último esquema de Realimentación en Posición que corresponde al siguiente diagrama de bloques. En el que podemos observar los bloques identificados:

- Modelo de sistema con salida velocidad y entra tensión: $G_1(s)$
- Integrador que proporciona la posición a partir de la velocidad angular
- Realimentación negativa de la medida de posición.

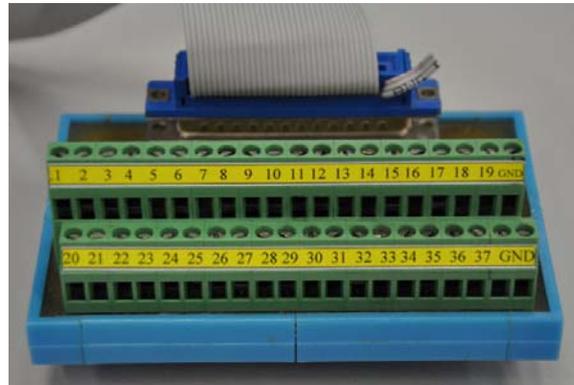


El procedimiento que seguiremos será el siguiente:

- Aplicar la salida del comparador (conectar la señal '*Señal de referencia- potencómetro del eje del motor*' a la entrada '*Amplificador: entrada positiva*').
- Moveremos la referencia manipulando el eje de referencia (*Input shaft*)
- Comprobaremos como el eje del motor sigue a la referencia independientemente de la carga del freno.



ANEXO: A continuación se incluye un listado de todas las conexiones accesibles a través de la regleta de conexión del servomotor.



SEÑAL N° conector	Tipo	N° conector
Encoder absoluto: bit 0	S	1
bit 1	S	20
bit 2	S	2
bit 3	S	21
bit 4	S	3
bit 5	S	22
Encoder incremental: señal desfasada		
señal sin desfasar	S	4
referencia	S	23
Comando PWM		
	E	5
Fuente de alimentación:		
-15 V	S	9
+15 V	S	28
-10 V	S	10
+10 V	S	29
0 V	E/S	11
+5 V	S	30
Potenciómetros:		
eje motor	S	12
eje referencia	S	31
referencia-motor (señal de error)	S	32
Amplificador:		
entrada negativa	E	14
entrada positiva	E	33
señal cero	E	34
Tacogenerador:		
señal negativa	S	16
señal positiva	S	35
Generador de señales:		
señal triangular	S	17
señal cuadrada	S	36