



Universidad Carlos III de Madrid.

Escuela Politécnica Superior.

## MÁQUINAS ELÉCTRICAS

### PRACTICA 3

# CONTROL DE MÁQUINAS ASÍNCRONAS DE ROTOR CORTOCIRCUITADO CON VARIADOR DE FRECUENCIA (UNIDRIVE)

# **CONTROL DE MÁQUINAS ASÍNCRONAS CON VARIADOR DE FRECUENCIA (UNIDRIVE)**

## **1. OBJETIVO**

Esta práctica se centrará en conocer el variador de frecuencia para motores de alterna UNIDRIVE 1403. Se dará una breve descripción de sus características y propiedades.

Estudiaremos las diferentes posibilidades de configuración y funcionamiento de este variador, aplicado al control de máquinas síncronas. Se analizarán los parámetros que se precisa introducir en cada uno de los modos de funcionamiento y las opciones que se ofrecen para realizar diferentes tipos de control sobre un mismo motor.

## **2. DESCRIPCIÓN DEL VARIADOR**

### **MODOS DE OPERACIÓN.**

UNIDRIVE es un accionamiento de velocidad variable de CA de tipo inversor que ofrece la capacidad de disponer de 5 modos de funcionamiento. Estos son:

1. Operación en lazo abierto.
2. Accionamiento vectorial sin sensor en bucle abierto.
3. Accionamiento vectorial en bucle cerrado.
4. Servoaccionamiento en bucle cerrado.
5. Unidad de regeneración.

#### **1. Operación en lazo abierto (V/f).**

Se emplea con motores AC convencionales y accionamientos polimotóricos. La velocidad del motor es función de la frecuencia de salida del variador y del deslizamiento debido a la carga mecánica. El accionamiento puede controlar una serie de motores conectados en paralelo, debiendo estar protegidos cada uno de ellos ante sobrecarga.

Es posible mejorar el funcionamiento del accionamiento empleando acciones tales como la compensación del deslizamiento para motores de inducción, variando la tensión aplicada en el arranque o manteniendo constante de forma dinámica el flujo en el motor, ajustando la tensión a la carga aplicada en cada momento. También se realiza un control automático del límite de intensidad, si se supera la intensidad máxima.

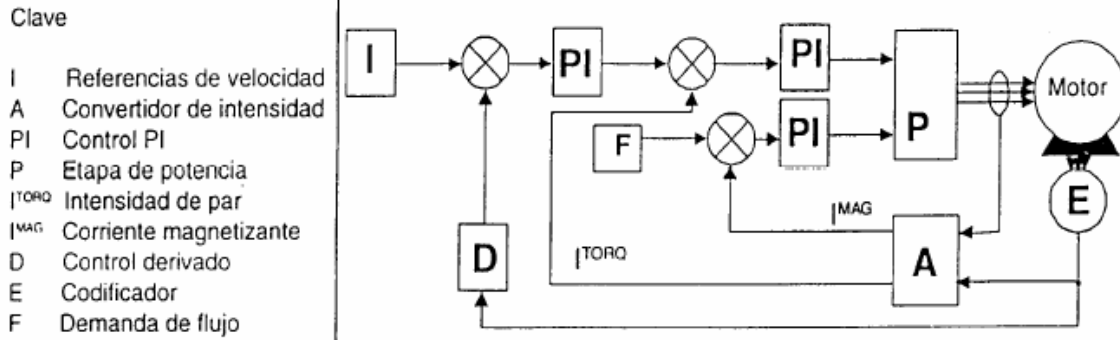
#### **2. Control vectorial en bucle abierto.**

Este tipo de control sustituye el refuerzo fijo de tensión del control en bucle abierto, con una tensión de salida mas precisa, que varia con la carga. Esta tensión se determina a partir de un modelo matemático del motor. El resultado es un mejor control del flujo y, por lo tanto, mas par en un rango de frecuencias más amplio.

Existen dos parámetros necesarios para el funcionamiento del modelo del motor, que son: potencia nominal y resistencia del motor. Ambos valores pueden determinarse durante la puesta en servicio del accionamiento.

### 3. Control vectorial en bucle cerrado.

Se emplea con motores AC acoplados a un encoder incremental. En este modo de operación el accionamiento controla directamente la velocidad del motor. El variador y el motor forman un sistema de bucle cerrado donde el encoder se emplea como realimentación del accionamiento, proporcionando la velocidad y la posición del rotor.



La realimentación del codificador controla la velocidad, que se compara con la demanda de entrada después de pasar por las etapas de rampas y entrada. El resultado es una demanda de par.

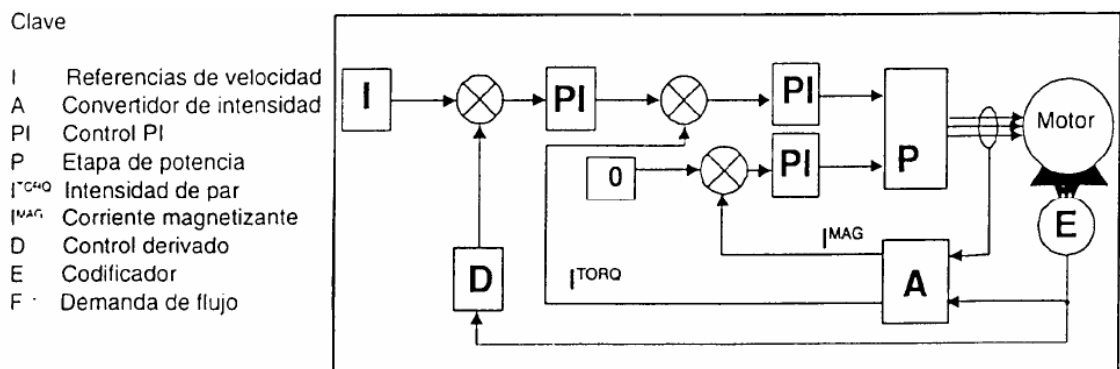
La realimentación de intensidad se divide en dos elementos, que son el componente magnetizante y el componente de par. Un modelo matemático permite determinar los niveles correctos de corriente de magnetización e intensidad que produce el par. Se proporcionan dos controladores PI y las demandas de tensión resultantes se pasan como una entrada a la salida PWM del Unidrive.

### 4. Servoaccionamiento en bucle cerrado.

Se emplea esta opción en el control de motores AC de imanes permanentes sin escobillas, acoplados a una adecuada realimentación, teniendo señales de salida de conmutación. El variador controla directamente la velocidad del motor en bucle cerrado, de forma análoga al caso anterior, salvo que no requiere un controlador de flujo.

Además de la realimentación de incremento de posición, se necesitan señales de código Gray para proporcionar la posición absoluta del rotor del motor.

Este será el tipo de control que implementaremos en la presente práctica, para controlar un motor síncrono.



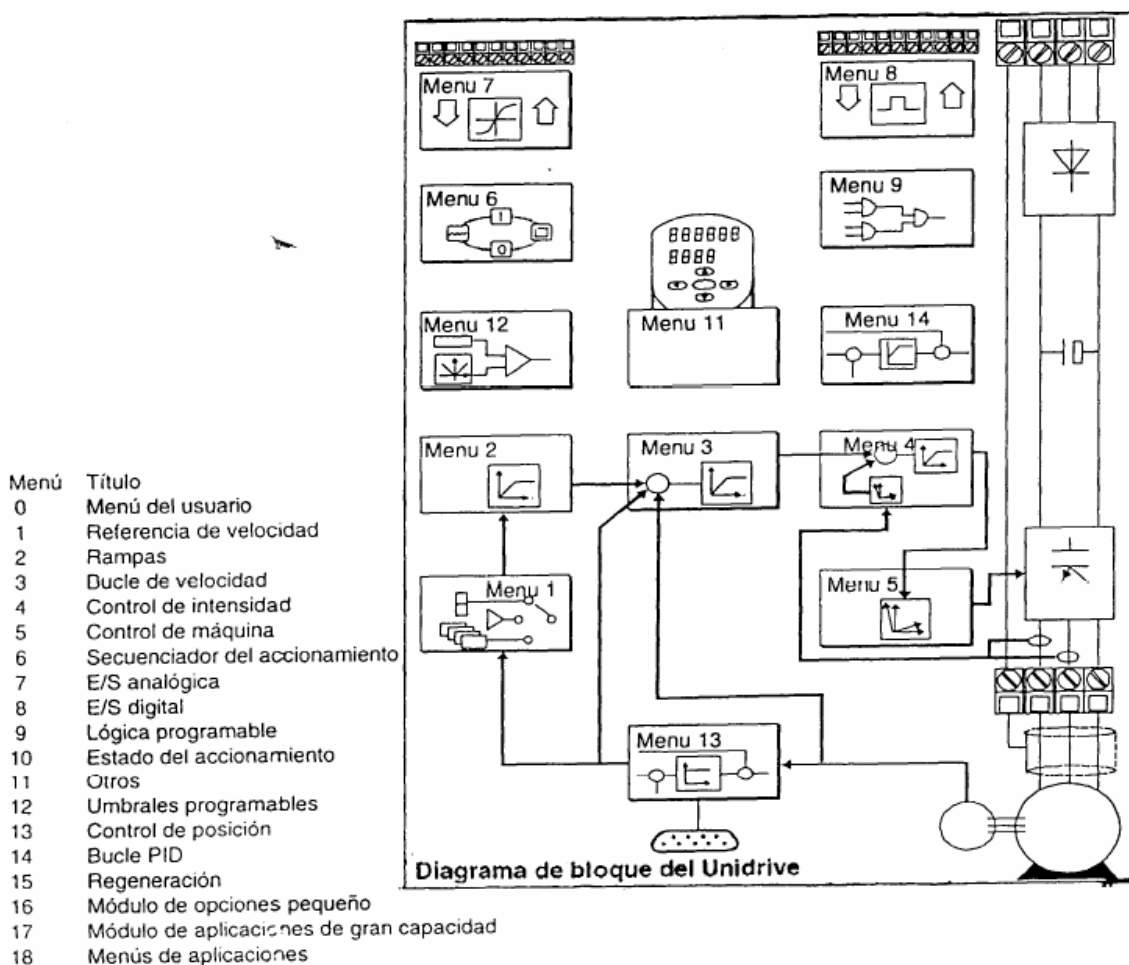
## 5. Regeneración.

La opción de regeneración empleada para trabajar en los cuatro cuadrantes también es posible con este accionamiento. Este modo de operación permite alimentar un motor de AC desde el elemento regenerativo o devolver parte de la potencia regenerada a la alimentación en vez de disiparla en resistencias de frenado.

Esta opción de configuración debe ser suministrada aparte por el fabricante y en nuestro caso no está disponible.

### DIAGRAMA DE BLOQUES.

El diagrama de bloques del variador UNIDRIVE 1403 se muestra en la siguiente figura, en función de los menús de configuración de que dispone.



### OPERACIÓN MEDIANTE *MACROS*.

Una opción de configuración de este accionamiento es la de controlar la velocidad del motor a través de funciones globales o *macros*. Esto precisa la configuración de pocos parámetros software, en función de cual sea la macro empleada. Algunas de ellas son las que se muestran en la siguiente tabla, aunque en la realización de esta práctica no será obligatoria la utilización de las mismas:

Nº macro	Función
1	<i>Easy mode</i> , control frecuencia/velocidad analógico para aplicaciones básicas (acceso a un número limitado de parámetros)
2	Potenciómetro motorizado (frecuencia/velocidad controlado por contactos)
3	Cuatro relaciones frecuencia/velocidad preestablecidas, seleccionadas a través de señales de control digitales externas.
4	Control de par.
5	Control PID.

Con el variador de frecuencia UNIDRIVE 1403 es posible arrancar y parar un motor, cambiar el sentido de rotación y variar la velocidad del mismo de dos modos diferentes:

- (a) *Modo terminal*: se aplican señales desde contactos eléctricos a entradas analógicas o digitales del accionamiento.
- (b) *Modo teclado*: se opera manualmente desde el teclado del panel frontal del accionamiento.

### 3. MODOS DE CONTROL

Con este accionamiento se puede controlar la velocidad del motor, de tres formas diferentes.

#### 1) *Control frecuencia/velocidad.*

Cuando la operación realizada es en lazo abierto, la frecuencia de salida del accionamiento se controla mediante una referencia de frecuencia. En el caso de lazo cerrado, la velocidad del motor es controlada a través de una referencia de velocidad.

Estas referencias se pueden introducir o bien en forma de señales analógicas (si realizamos el control desde terminales eléctricos), o bien desde el teclado frontal.

#### 2) *Control de par.*

Esta opción se configura mediante la programación de la macro número 4. El par se controla mediante una referencia de par analógica aplicada a un terminal eléctrico del dispositivo.

#### 3) *Control PID.*

La configuración de este tipo de control se hace a través de la macro nº 5. Así se opera con una referencia de frecuencia/velocidad, y un dispositivo de realimentación analógica para controlar dinámicamente la velocidad, bajo control de un PID.

### 4. MÉTODOS DE FRENADO.

Este variador permite realizar diferentes tipos de frenados, configurables a través del parámetro 0.16, y admite diferentes valores en función de si se opera en lazo abierto o cerrado.

<b>Lazo abierto.</b>		
COAST	0	El motor frena por rozamientos.
Rp	1	Rampa de frenado.
rP-dcl	2	Rampa de frenado seguida por 1 segundo de inyección de DC.
Dcl	3	Inyección de AC de frenado seguida por 1 segundo de inyección de DC.

td-dcl	4	Inyección de DC de frenado durante un tiempo programable.
<b>Lazo cerrado.</b>		
COASt	0	El motor frena por rozamientos.
RP	1	Rampa de frenado.
no.rP	2	Frenado por limitación de corriente.
rP-POS	3	Rampa, orientación y parada.

## 5. PARÁMETROS DEL VARIADOR

### 1) INTRODUCCIÓN.

Este accionamiento está equipado con un elevado número de parámetros, distribuidos en 14 menús de configuración (menús avanzados). Los parámetros que aparecen en el menú de configuración 0 son de acceso rápido y resumen los parámetros más importantes y más usados del resto de menús. Por ello en ocasiones se muestra un número entre paréntesis que corresponde a la denominación del parámetro en su correspondiente menú avanzado.

### 2) TIPOS DE PARÁMETROS.

La nomenclatura empleada en los parámetros del variador es un número seguido de un punto, que representa el número de menú al que corresponde dicho parámetro. Después del punto hay un número de dos cifras que identifica el número del parámetro dentro de ese menú.

Los diferentes tipos de parámetros se representan en la siguiente tabla, junto con los símbolos que los identifican:

#### Key

##### Type of parameter



RO Read-only



RW Read-write

...selector Select from a number of settings

...select Select from two settings

...enable Make or allow a function to operate

...disable Stop or disallow a function from operating

...indicator The value can only be read

### 3) DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS.

En la definición de cada uno de los parámetros, aparecen unos códigos referentes a las limitaciones de uso de cada uno. Estas básicamente se refieren a la posibilidad de modificación de los parámetros, según el modo de funcionamiento elegido. Asimismo aparece el rango de valores que puede adoptar el parámetro y el tipo de dato que es (bit, unipolar,...).

Estos códigos son:

- R El accionamiento debe ser *reseteado* para que el nuevo valor del parámetro tenga efecto.
- S El valor actualizado del parámetro es grabado en la memoria cuando la alimentación se desconecta del accionamiento.

P Parámetro protegido; Este parámetro no puede ser empleado como una entrada programable.

- RANGO.

Bit Parámetro representado por un bit (2 estados).

B Parámetro con rango de valores bipolar (valores positivos y negativos).

U Parámetro con rango de valores unipolar (solo valores positivos).

T Parámetro con valores textuales.

- SÍMBOLOS.



Valor por defecto.



Rango de valores.

[...] Indica el valor del parámetro.

~ Indica un rango de valores; en el caso de parámetros del tipo bit, equivale a *or*.

- CATEGORÍAS.

Los parámetros del menú básico de configuración (menú 0), están ordenados en las siguientes categorías:

<b>0.00</b>	Configuración.
<b>0.01 ~ 0.02</b>	Límites de velocidad.
<b>0.03 ~ 0.06</b>	Rampas. Selección de referencia de velocidad. Límite de corriente.
<b>0.07 ~ 0.09</b>	Tensión en el arranque (lazo abierto). Valores del PID (lazo cerrado).
<b>0.10 ~ 0.13</b>	Monitorización.
<b>0.14 ~ 0.17</b>	Referencia 'suave' (jog reference). Selector de modo de rampa. Selector de modo de parada y control de par.
<b>0.18 ~ 0.19</b>	Rampas suavizadas (S-ramp).
<b>0.20 ~ 0.23</b>	Bandas muertas.
<b>0.24 ~ 0.26</b>	Modos de entrada analógicas.
<b>0.27 ~ 0.34</b>	Varios.
<b>0.35</b>	Monitorización de la referencia del teclado.
<b>0.36 ~ 0.38</b>	Comunicaciones serie. Parámetros mostrados tras la conexión.
<b>0.39 ~ 0.41</b>	Sincronización a motor rotando. Autosintonización. Frecuencia de conmutación PWM.
<b>0.42 ~ 0.47</b>	Parámetros del motor.
<b>0.48</b>	Selección del modo de operación (lazo abierto, cerrado,...).
<b>0.49 ~ 0.50</b>	Información del estado del accionamiento.

- MODOS DE FUNCIONAMIENTO DE LA UNIDAD.

**Modo básico:** es el modo por defecto desde la conexión. En la línea superior muestra los valores de los parámetros y en la inferior el estado del Unidrive.

**Modo display:** puede seleccionarse el parámetro deseado y visualizar su valor. La línea superior muestra el valor del parámetro seleccionado y la inferior el número de parámetro.



**Modo Edit:** en este modo los valores de los parámetros pueden modificarse con un nuevo valor. La línea superior muestra el valor del parámetro y la inferior el parámetro seleccionado.

Tras 8 segundos sin pulsar ninguna tecla la pantalla volverá a modo básico.

- PARÁMETRO 0.

El parámetro 0 tiene un significado especial para algunas funciones:

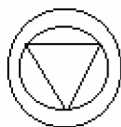
#### **Código Descripción**

149	Acceso a menús extendidos
1000	Memorización de nuevos valores de los parámetros
1253	Permiso para el cambio del modo de funcionamiento a través del parámetro #00.48
1255	Ajuste de parámetros en su estado por defecto
2000	Desactivación del acceso a menús extendidos

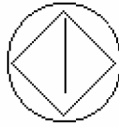
#### 4) UTILIZACIÓN DEL TECLADO

El ajuste de los parámetros del variador se realiza con 4 teclas del cursor (teclas de flechas) y la tecla MODE (M). Estas teclas permiten seleccionar el parámetro requerido y controlar o ajustar su valor. Pulsando la tecla M se visualiza el parámetro actual, con las flechas ↑ y ↓ se cambia de parámetro dentro del mismo menú; y las flechas ← y → permiten cambiar de menú. Una vez seleccionado el parámetro concreto, para modificarlo se pulsa de nuevo la tecla M, su valor parpadeará y con las 4 teclas del cursor se cambia su valor.

Las teclas de control están situadas debajo de las teclas de programación:



**RUN**



**STOP-RESET**



**ADELANTE-ATRAS**

Cada tecla de control puede activarse o desactivarse mediante software (#6.11...#6.14). Cuando el Unidrive está en modo teclado (#00.05=4) todas las teclas de control están activadas. Estas teclas pueden desactivarse cuando #00.05 está ajustado en cualquier otro valor.



## 6. REALIZACIÓN DE LA PRÁCTICA.

En esta práctica vamos a estudiar las distintas posibilidades de control que ofrece el variador de frecuencia UNIDRIVE. En primer lugar se realizarán diferentes arranques y frenados, variando las rampas de aceleración y deceleración. También deben programarse rampas en S. Por último se estudiará la respuesta del sistema ante un escalón de la velocidad de consigna y ante la variación de los valores del regulador PID del bucle de control de velocidad.

### 6.1. Configuración.

Al conectar el accionamiento se accede automáticamente al menú 0 en modo básico. Se deben ajustar los parámetros más importantes del variador:

- Parámetro 0: el usuario debe poder cambiar el valor de los parámetros y acceder a los menús extendidos.
- Parámetro 0.48 (#11.31): determina el modo de funcionamiento del variador y es el primer parámetro que debe ajustarse después del parámetro 0. En nuestro caso debemos seleccionar un control en modo **servo**. Para seleccionar un modo de funcionamiento distinto debe introducirse el valor 1253 en el parámetro 0, cambiar la entrada #0.48 según el valor deseado y posteriormente aplicar un RESET, de este modo el resto de parámetros se configurarán al valor que tengan por defecto para ese modo de control. **Este valor deberá ser comprobado antes de poner en marcha el accionamiento.**
- Parámetro 0.05 (#1.14): especifica el origen de la señal de consigna de velocidad, en nuestro caso la fuente viene dada por la “velocidad de referencia analógica 2”.
- Parámetro 0.17 (#4.11): indica si el control a realizar sobre el accionamiento es en par o en velocidad. Nosotros realizaremos un control en velocidad.

A continuación deben ajustarse los parámetros correspondientes a los datos característicos del motor y los valores de las rampas de aceleración y deceleración.

### 6.2. Autoajuste.

Con el motor PARADO se mueve el eje, se ajusta el parámetro #0.40 a 1, se cambia el interruptor de PARO a MARCHA. El accionamiento funcionará a mitad de su velocidad nominal, mide la corriente magnetizante y calcula y corrige el  $\cos\phi$ .

### 6.3. Arranque y frenado de la máquina.

#### a) Arranque con rampa de aceleración

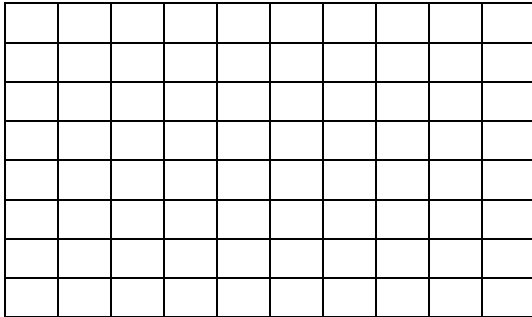
Para ajustar la rampa de aceleración de la máquina hay que actuar sobre los parámetros siguientes:

- Parámetro 2.02: activación de rampa.
- Parámetro 2.03: retención de rampa (debe desactivarse).
- Parámetro 2.05: tiempos de rampa ajustados en ms.
- Parámetro 2.06: activación de rampa en S, para este apartado debe permanecer desactivado.
- Parámetro 2.10: selector aceleración adelante. Su rango va de 0 a 8, elegimos el 0 para trabajar con aceleración adelante 1.
- Parámetro 2.11: aceleración adelante 1.
- Parámetro 3.26: Entrada 1 del codificador (RPM). Permite visualizar la velocidad (también se puede usar el parámetro 0.10).

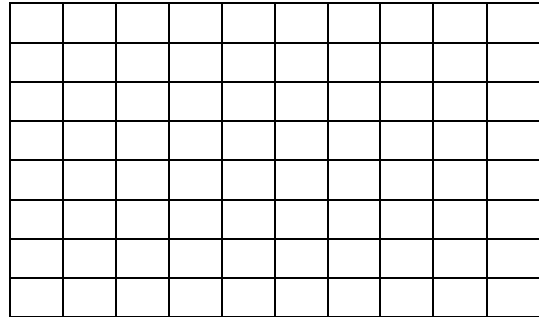
Visualizar la velocidad y la corriente para rampas de aceleración de 1s y 3s a una velocidad de 1000rpm.

VELOCIDAD:

**1s Voltios/div:      Tiempo/div:**

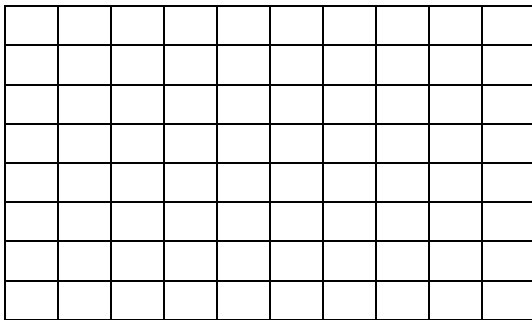


**3s Voltios/div:      Tiempo/div:**

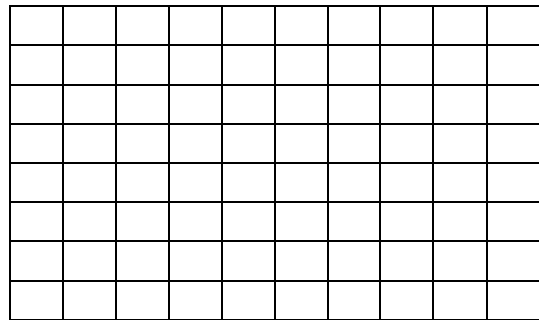


CORRIENTE:

**1s Voltios/div:      Tiempo/div:**



**3s Voltios/div:      Tiempo/div:**



Observaciones:

b) Rampa de frenado:

Las opciones de frenado de la máquina permitidas por este convertidor, se pueden configurar con los parámetros:

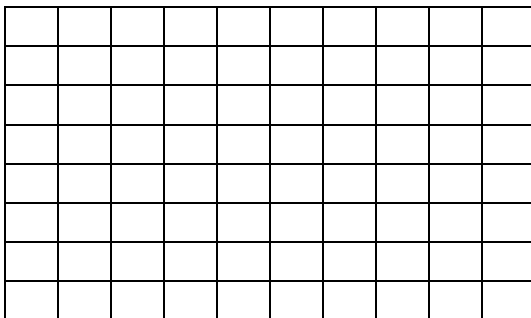
- Parámetro 0.15 (#2.04): selecciona rampa de deceleración. Debe elegirse un ajuste Stnd. Ct control estándar.
- Parámetro 0.16 (#6.01): modo de parada.
- Parámetro 2.20: selector de deceleración adelante. Su rango va de 0 a 8, elegimos el 0 para trabajar con deceleración adelante 1.
- Parámetro 2.21: Deceleración adelante 1.

Existen opciones para el funcionamiento tanto en bucle abierto como en bucle cerrado. Debe tenerse en cuenta el estado en el que se encuentre el parámetro 0.48 que indica el modo de control para configurar el modo de frenado. La rampa en S debe permanecer desactivada.

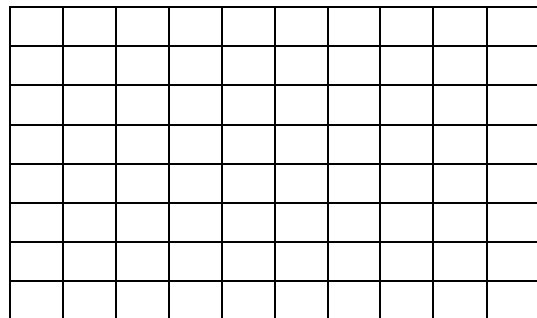
Visualizar la corriente y velocidad para rampas de frenado de 1s y 3s a una velocidad de 1000rpm.

VELOCIDAD:

**1s Voltios/div:      Tiempo/div:**

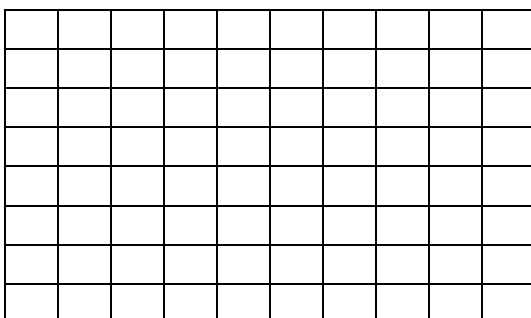


**3s Voltios/div:      Tiempo/div:**

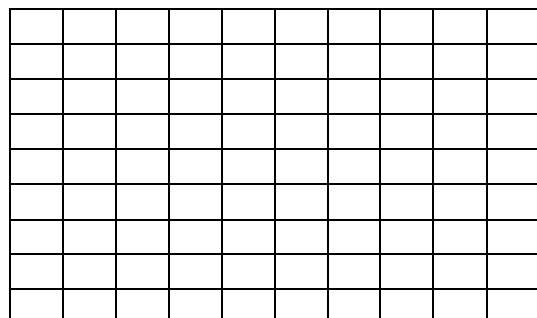


CORRIENTE:

**1s Voltios/div:      Tiempo/div:**



**3s Voltios/div:      Tiempo/div:**



Observaciones:

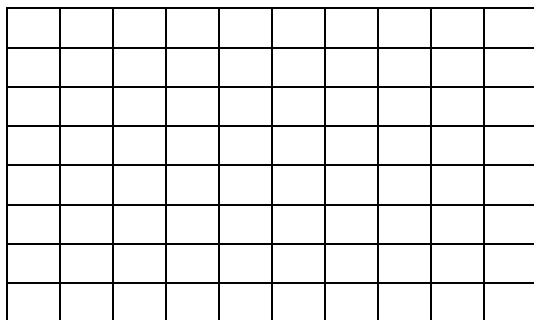
c) Rampa en S:

Por último estudiaremos el arranque y frenado de la máquina con distintas rampas en S. El parámetro 0.18 (#2.06) permite activar la rampa en S, el 0.19 (#2.07) la velocidad máxima del cambio de aceleración y deceleración, el 0.03 (#2.11) la rampa de aceleración y el 0.04 (#2.21) la rampa de deceleración.

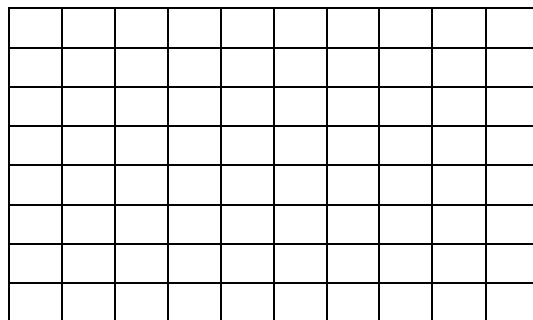
Para una rampa de aceleración de 0.5s y deceleración de 1s visualizar la velocidad de arranque y frenado para tiempos de rampa en S de 0.1 y 0.7s/1000rpm.

VELOCIDAD: ARRANQUE:

**0.1 Voltios/div:      Tiempo/div:**

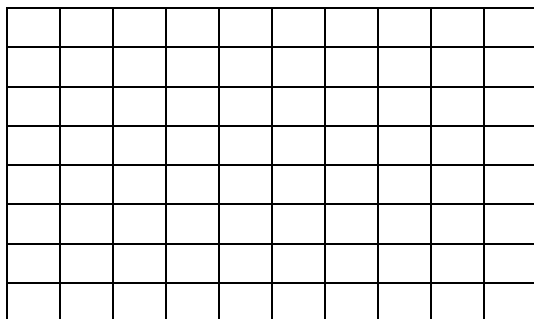


**0.7 Voltios/div:      Tiempo/div:**

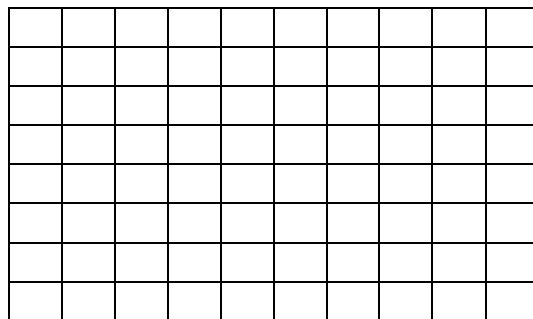


FRENADO:

**0.1 Voltios/div:      Tiempo/div:**



**0.7 Voltios/div:      Tiempo/div:**



Observaciones:

#### 6.4. Control en modo servo.

Configurar el variador para el control en modo *servo* como se ha explicado anteriormente (a través del parámetro 0.48). Antes de arrancar el conjunto motor-conversor, debe realizarse una comprobación de la correcta conexión y configuración del conjunto. Esta comprobación se realiza con el parámetro 0.40, siguiendo el procedimiento explicado en el apartado 6.2. **NO DEBE ARRANCARSE EL CONJUNTO VARIADOR-MOTOR HASTA QUE NO SE REALICE ESTA COMPROBACIÓN.**

Comprobar, además el estado del parámetro 0.17 y configurarlo para un control en velocidad. En caso de que la máquina funcionase en carga se podrían configurar otros tipos de control. Desactivar las rampas configuradas en el apartado anterior (parámetros 2.02, 0.16 y 0.18).

Se va a estudiar la respuesta dinámica del sistema ante un escalón de la velocidad de consigna. Este escalón se introducirá desde un potenciómetro de consigna.

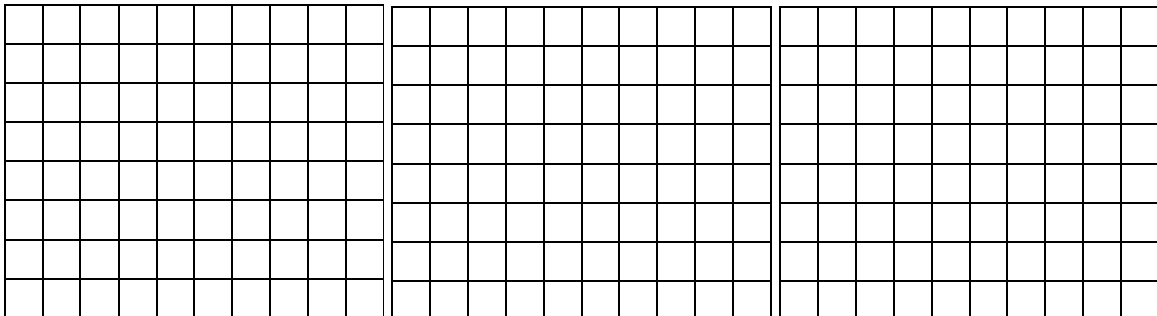
- a) Realizar varios ensayos para escalones del 30%, 60% y del 90%. Los valores del regulador PID dados por los parámetros 0.07, 0.08 y 0.09 respectivamente deben permanecer con sus valores por defecto. Con el parámetro 7.02 se varía el porcentaje del escalón de consigna para la entrada analógica 2.

VELOCIDAD:

30% Voltios/div: Tiempo/div:

60% Voltios/div: Tiempo/div:

90% Voltios/div: Tiempo/div:

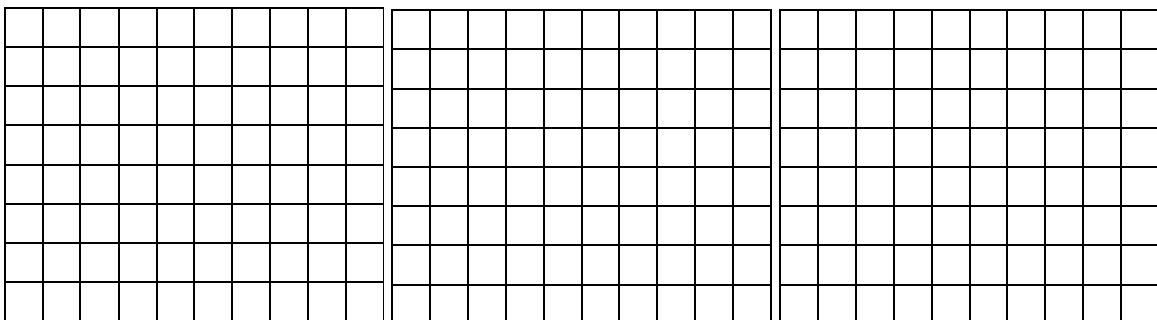


CORRIENTE:

30% Voltios/div: Tiempo/div:

60% Voltios/div: Tiempo/div:

90% Voltios/div: Tiempo/div:



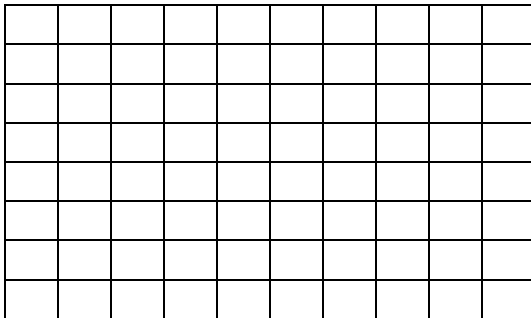
Observaciones:

b) Para un **escalón del 30%** realizar varios ensayos modificando los parámetros del regulador PID del bucle de control de velocidad en lazo cerrado (parámetros 0.07 a 0.09). Para cada ensayo dibujar la evolución de la velocidad y la intensidad en el tiempo. Acota el dibujo indicando la velocidad inicial, la velocidad final, la sobreoscilación y el tiempo de establecimiento.

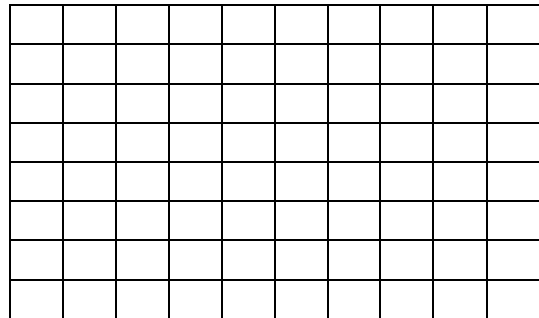
- Manteniendo  $I=100$  y  $D=0$  cambiar la ganancia proporcional a los valores 150 y 10.

VELOCIDAD:

**150 Voltios/div: Tiempo/div:**

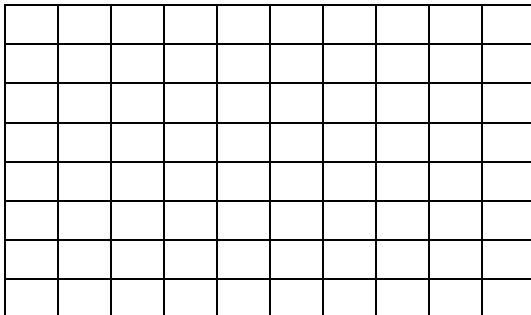


**10 Voltios/div: Tiempo/div:**

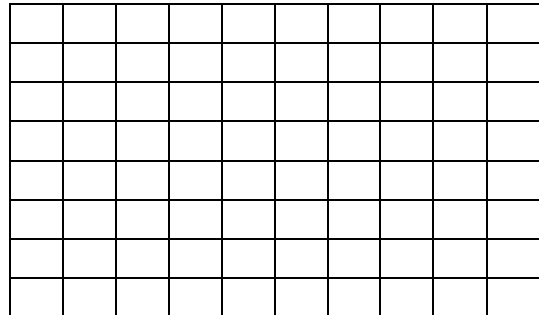


CORRIENTE:

**150 Voltios/div: Tiempo/div:**



**10 Voltios/div: Tiempo/div:**



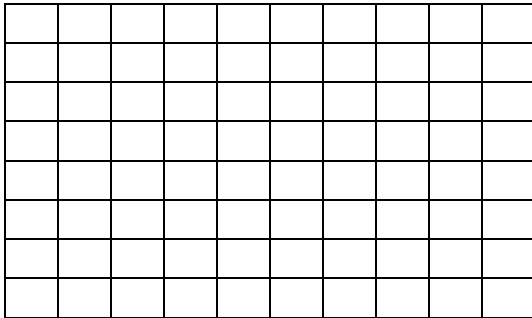
Observaciones:



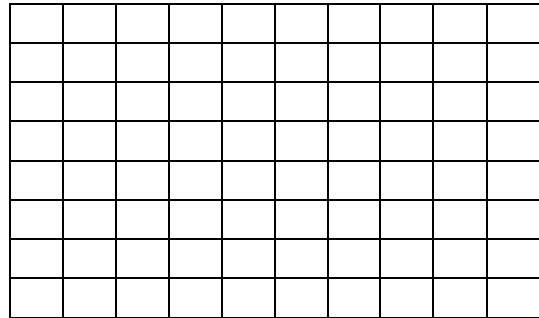
- Manteniendo  $P=200$  y  $D=0$  hacer que la ganancia integral tome los valores 50 y 10.

VELOCIDAD:

**50 Voltios/div:    Tiempo/div:**

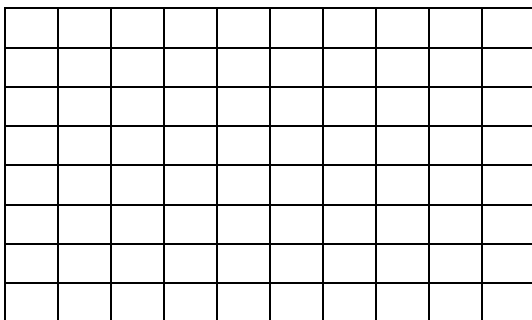


**10 Voltios/div:    Tiempo/div:**

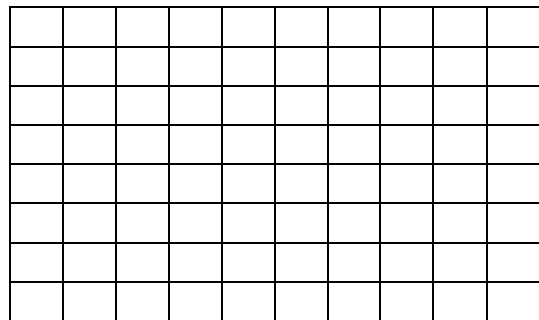


CORRIENTE:

**50 Voltios/div:    Tiempo/div:**



**10 Voltios/div:    Tiempo/div:**

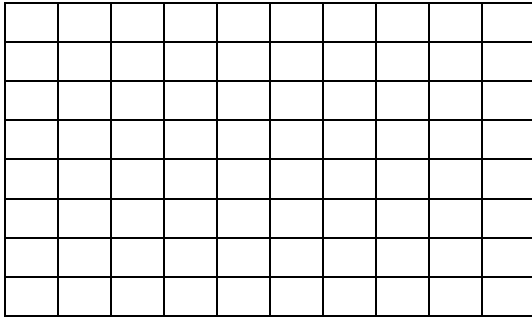


Observaciones:

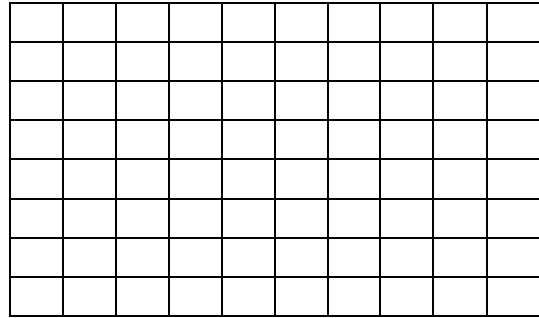
- Manteniendo  $P=200$  y  $I=200$  cambiar la ganancia diferencial a los valores 100 y 200.

VELOCIDAD:

**100 Voltios/div: Tiempo/div:**

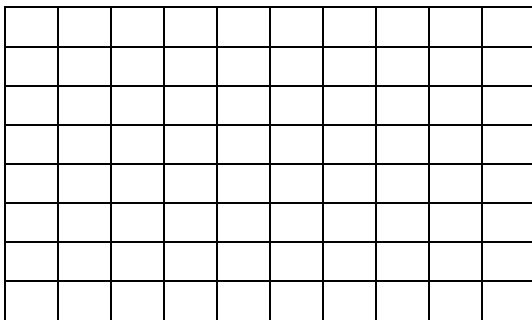


**10 Voltios/div: Tiempo/div:**

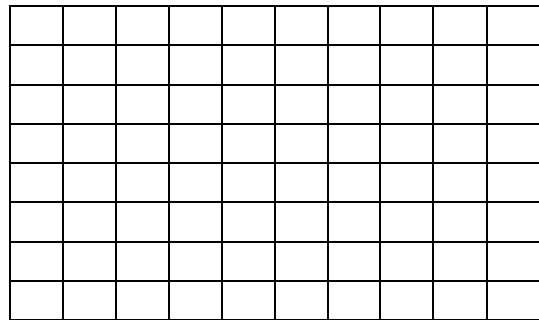


CORRIENTE:

**100 Voltios/div: Tiempo/div:**



**10 Voltios/div: Tiempo/div:**



Observaciones:

- c) ¿Consideras que el comportamiento del variador de velocidad es correcto?  
¿Por qué?