

# Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

# CONTROL DE CORRIENTE EN UN CONVERTIDOR CC - CA MEDIANTE MICROCONTROLADOR

# Protocolo de Prácticas

Autor: Jorge Suárez Porras

Director: Aurelio García Cerrada

> Madrid Mayo 2020

# Contents

1	Introducción	2
2	Trabajo previo y Simulaciones	2
3	Implementación en el dispositivo    3.1 Volcar el programa en el LaunchPad	
4	Anexo I: Instalación del Paquete TI C2000 para Matlab	7

#### 1 Introducción

El laboratorio de esta práctica se divide en dos partes.

- Trabajo previo y simulaciones, Sección 2.
- Trabajo de laboratorio e implementación real, Sección 3.

Todos los archivos necesarios se encuentran en el siguiente repositorio web:

https://github.com/JorgeSuarezPorras/ConvertidorElectronicoCC-CA

### 2 Trabajo previo y Simulaciones

El trabajo previo de esta práctica consiste principalmente en el diseño de reguladores proporcionales y proporcionales-integrales mediante su respuesta en frecuencia, para implementar en el dispositivo del laboratorio. La referencia de seguimiento que se proporcionará al control, serán las corrientes de eje d y de eje q, con distintas formas de onda.

El código y los modelos de Simulink han sido realizados en MATLAB R2019b, de manera que si se dispone de una versión anterior, solo será necesario que un compañero que sí disponga de dicha versión exporte el modelo a una versión anterior.

#### Código Matlab

El código se encuentra en 'Software\_Matlab.m'. Para el diseño del control proporcional, solo será necesario diseñar apropiadamente un margen de fase óptimo. Para el diseño del control proporcional-integral, será necesario diseñar apropiadamente un margen de fase óptimo y una pulsación de cruce.

Ambos controles han de diseñarse en función de los parámetros de la planta. Dichos parámetros variarán para cada grupo de trabajo, ya que cada dispositivo y cada elemento del circuito será único y diferente del resto. No obstante, orientativamente, pueden tomarse para las simulaciones previas los siguientes parámetros:

- Resistencia Serie de la inductancia: 1  $\Omega$ . En caso de conectar una resistencia en serie, habría que sumar dicha resistencia al valor anterior.
- Reactancia (X) de la inductancia: 6 mH.

Una vez calculadas apropiadamente los valores de las ganancias (K) y/o constantes de integracion (I), y tras ejecutar el código 'Software\_Matlab.m', abrir 'Simulador\_Simulink.slx'.

En dicha ventana que se abre, hacer doble click sobre 'Simulador VSC', y aparecerá una ventana como la mostrada en la Fig. 1.

En la pestaña 'Controles' debe seleccionarse tanto el tipo de control que desea implementarse, como los valores calculados. Así mismo en la pestaña 'Lazo' debe seleccionarse 'lazo cerrado'.

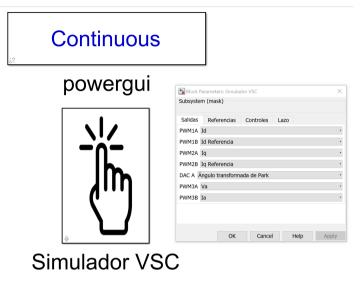


Figure 1: Simulink VSC - Interfaz.

En la pestaña 'Salidas', se encuentran nombradas siete salidas. Los nombres corresponden a los pines de la tarjeta real que se usará en el laboratorio, ya que la interfaz es la misma tanto para el simulador como para la implementación real.

Una vez realizados los cambios, aceptar y cerrar dicha ventana y ejecutar el simulador. Al ejecutarlo, aparecerán 3 ventanas distintas.

- Referencias y salidas: En dicho *scope* aparecen las referencias declaradas en la pestaña 'Referencias', aplicadas en los instantes t=0.05s y t=0.25s para las corrientes de eje d y eje q respectivamente, así como las corrientes de salida del convertidor en ejes d y q, ambos en pu.
- Mandos acoplo/desacoplo: Se muestran las tensiones de eje d y de eje q antes y después de producirse el desacoplo de las bobinas, ambos en pu.
- Salidas Seleccionada Medidas: Se muestran las salidas seleccionadas en la interfaz de la Fig. 1 en valores por unidad teóricos.
- Salidas Seleccionadas Osciloscopio Real (V): Se muestran las salidas seleccionadas en la interfaz de la Fig. 1 en valores reales de voltios que se obtendrían en el osciloscopio tras su implantación real.

### 3 Implementación en el dispositivo

Conocidos los valores de los controles calculados, y llevadas a cabo las simulaciones que aseguran el correcto funcionamiento del prototipo es hora de llevar a cabo la implementación real en el laboratorio.

#### 3.1 Volcar el programa en el LaunchPad

Antes de volcar el código en el LaunchPad, es necesario que la fuente de tensión de 48V no esté suministrando tensión al LaunchPad. En su defecto, no se volvará el código y saltará un error. Será necesario determinar un valor para el Fixed-Step de la pestaña Solver. Dicho valor a de ser el valor de tiempo más pequeño que se utiliza en el sistema. En el prototipo, el más pequeño es el periodo de conmutación de los PWM. Por ello, el Fixed-Step del programa será el periodo de conmutación. En la Fig. 2, el valor de la variable  $T_{pwm}$  es de 0.1ms.

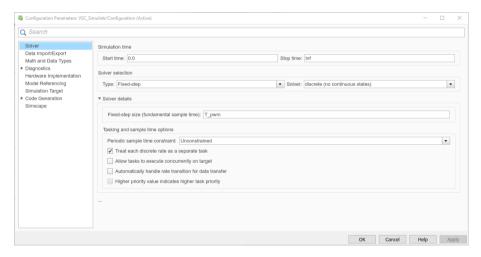


Figure 2: Configuración de la pestaña Solver para implemntación en el prototipo.

Para poder volcar el programa en el LaunchPad, es necesario comunicar al programa cuál es el LaunchPad. Esto se realiza en las configuraciones del *Configuration Properties > Hardware Implementation*. En esta ventana, se selecciona el LaunchPad. En el presente proyecto, es el *TI Delfino LaunchPad F28379D*.

Se recomienda no cargar el programa en la memoria flash del LaunchPad. De esta manera, al retirar la alimentación de la fuente de tensión y del puerto USB, se detiene la ejecución y al volver a alimentar el microcontrolador, no se ejecuta el programa. En la Fig. 3 se muestra como queda la configuración de la pestaña Hardware Implementation. También se recomienda verificar que en la pestaña Code Generation se utiliza el compilador de Texas Instruments en el cuadro de diálogo

Toolchain. Dicho compilador se ha de instalar cuando se instala el paquete Embebbed Coder Support Package for Texas Instruments C2000 Processors, explicado en el Anexo I.

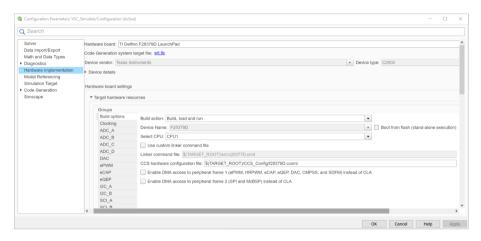


Figure 3: Configuración de la pestaña *Hardware Implementation* para implementación en el prototipo.

Realizados los pasos anteriores, hacer click en 'Deploy to Hardware' o 'Build, Deploy & Start' (dependiendo de la versión de Matlab instalada).

Cuando ya está el código ejecutandose en tiempo real en el LaunchPad, se iluminará el LED 1 parpadeando intermitentemente. En su defecto, permanecerá apagado.

Con el LED 1 parpadeando intermitentemente, proseguir con Sección 3.2.

#### 3.2 Montaje del circuito

Conectar los elementos como se muestra en la Fig. 4.

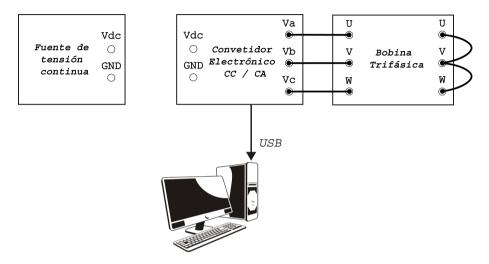


Figure 4: Montaje sin conectar la fuente de tensión.

Una vez asegurado el montaje y con el LED 1 Parpadeando intermitentemente, ajustar la tensión de continua de la siguiente forma:

- 1. Conectar la fuente de tensión continua a la red, manteniendo la tensión de salida a 0V.
- 2. Limitar la corriente de salida a 2.5 A.
- 3. Conectar el positivo de salida de la fuente de tensión a Vdc del convertidor, y el negativo a GND.
- 4. Llevar la tensión de salida desde 0V a 48V gradualmente.

# 4 Anexo I: Instalación del Paquete TI C2000 para Matlab

La instalación del paquete Embedded Coder Support Package for Texas Instruments C2000 Processors necesita los siguientes requirimientos del sistema:

- Tener instado Matlab R2017a o versiones posteriores, a pesar de que existen versiones de este paquete que puede ejecutarse en Matlab de versiones 2014a hasta 2019b.
- El sistema operativo debe ser Windows, no está disponible para MacOS ni Linux

En la ventana emergente que aparece, buscar el paquete: Embedded Coder Support Package for Texas Instruments C2000 Processors. En la Fig. 5 se muestra la pantalla principal del paquete a instalar.

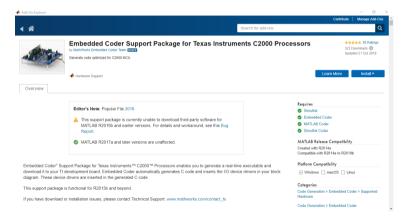


Figure 5: Menu Add-Ons de Matlab.

La instalación del paquete para C2000 Microcontrollers necesita la previa instalación de los paquetes de Matlab:

- Simulink.
- Embedded Coder.
- Matlab Coder.
- Simulink Coder.

Las Fig. 6, 7 y 8 muestran las pantallas siguientes en la configuración. En todas las necesarias, hacer click en *Continuar* y *Setup Now*.

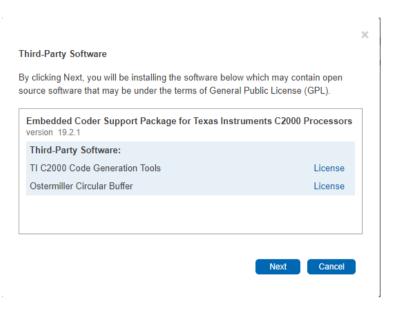


Figure 6: Pantalla de Configuración 1 de la librería C2000 Processors.

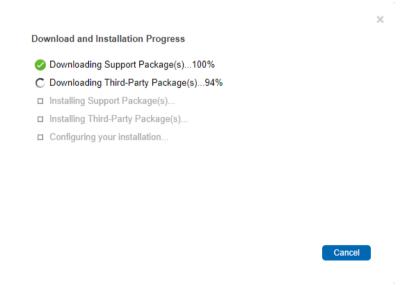


Figure 7: Pantalla de Configuración 2 de la librería C2000 Processors.

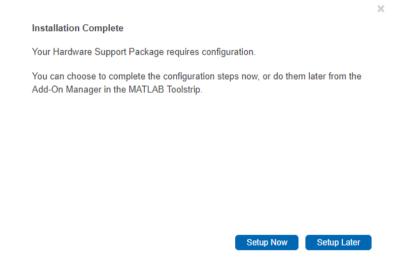


Figure 8: Pantalla de Configuración 3 de la librería C2000 Processors.

En la Fig. 9 se muestra la pantalla en la que se ha de elegir el procesador del LaunchPad del prototipo (o en su defecto, el que se quiera utilizar), en éste caso, se instala para el procesador *TI Delfino F2837xD*.

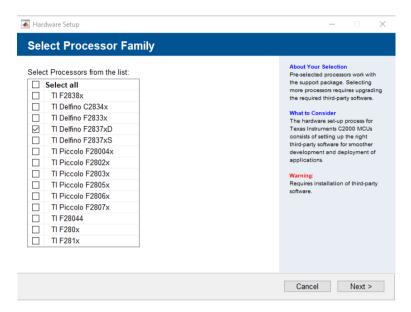


Figure 9: Pantalla de Configuración 4 de la librería C2000 Processors.

Una vez se llega a la pantalla de la Fig. 10, se han de instalar los componentes que aparecen en la ventana y se describen en la Tabla 1.

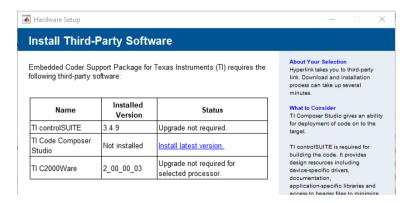


Figure 10: Pantalla de Configuración 5 de la librería C2000 Processors.

Programa	Descripción
TI controlSUITE <sup>1</sup>	Sotfware and Development Tools
TI Code Composer Studio <sup>2</sup>	TI Compiler
TI C2000Ware <sup>3</sup>	Documentation for C2000 Microcontrollers

Table 1: Tabla con los componentes necesarios a instalar.

 $<sup>^{1} \</sup>mbox{Recuperado de: http://ti.com/tool/CONTROLSUITE}$ . Último acceso el día 03/01/2020.

 $<sup>^2</sup> Recuperado$  de: http://software-dl.ti.com/ccs/esd/documents/ccs\_downloads.html. Último acceso el día 03/01/2020.

 $<sup>^3 \</sup>rm Recuperado$  de: http://www.ti.com/tool/download/C2000WARE. Último acceso el día 03/01/2020.

Las Fig. 11, 12 y 13 muestran las páginas web en las que se descargan los programas.

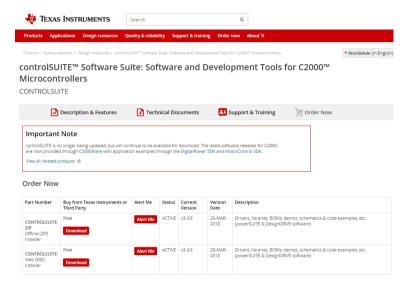


Figure 11: Página de descarga del TI controlSUITE.

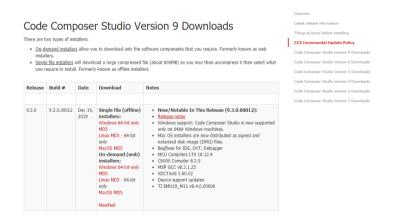


Figure 12: Página de descarga del TI Code Composer Studio.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup>Es necesario suministrar información personal para poder realizar la descarga.

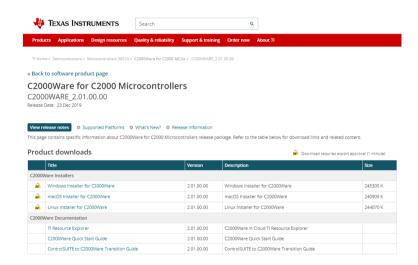


Figure 13: Página de descarga del TI C2000Ware.

Por último una vez descargados los tres programas, volviendo al instalador del paquete en la ventana emergente de Matlab, ubicamos los programas instalados, mostrado en las Fig. 14, 15 y 16.



Figure 14: Pantalla de ubicación de la descarga del TI controlSUITE.



Figure 15: Pantalla de ubicación de la descarga del TI controlSUITE.

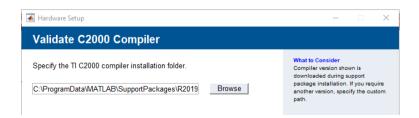


Figure 16: Pantalla de ubicación de la descarga del TI controlSUITE.