

# Maqueta open hardware para asignaturas de electrónica programable

Javier García Zubía  
Universidad de Deusto  
Bilbao, España  
[zubia@deusto.es](mailto:zubia@deusto.es)

Ignacio Angulo Martínez  
Universidad de Deusto  
Bilbao, España  
[ignacio.angulo@deusto.es](mailto:ignacio.angulo@deusto.es)

Javier Vicente Sáez  
Universidad de Deusto  
Bilbao, España  
[jvicente@deusto.es](mailto:jvicente@deusto.es)

**Abstract**— El objetivo de esta demo es presentar una maqueta sofisticada que pueda ser usada por distintas asignaturas del área de electrónica. La maqueta consta de distintos actuadores y sensores bajo distintos protocolos de comunicación y está siendo usada este curso en varias asignaturas para distintas plataformas: C/ARM, VHDL/FPGA y C-VHDL/SoC. El trabajo presentará los resultados y el modo de uso en la Universidad XXX, así como la manera de utilizarla en otras universidades ya que el diseño es abierto a la comunidad de profesores.

**Keywords**— *Sistemas electrónicos programables, Electrónica digital, Laboratorio de electrónica, Sensores y actuadores, FPGA/VHDL, ARM/C*

## I. INTRODUCCIÓN Y MOTIVACIÓN

El trabajo de laboratorio en ciertas asignaturas de electrónica es fundamental. En el laboratorio el alumno caracteriza sensores y actuadores, y en el laboratorio el alumno aprende a programar un dispositivo para controlarlos. Este enfoque es válido para plataformas C/ARM-PIC, VHDL/FPGA, VHDL-C/SoC, LabVIEW/NI, etc. y para asignaturas con nombres como Instrumentación electrónica, Microprocesadores, Lógica programable, Sistemas digitales programables, Sistemas ciberfísicos, etc.

En estas asignaturas en general el profesor enseña cómo controlar un actuador o sensor desde la doble perspectiva de la programación y la electrónica. Es decir, para escribir el algoritmo que controle al actuador o sensor es necesario entender el fundamento electrónico de dichos dispositivos y sus protocolos de comunicación.

Por tanto, y por ejemplo, primero se explica cómo funciona un sensor de distancia por ultrasonidos tipo HCSR04 y luego se escribe en C, Python, VHDL, etc. el algoritmo que lo controla. Este proceso se repite con distintos actuadores (motores, calefactores, relés, 7-segmentos, OLED, etc.) y sensores (distancia, corriente, ultrasonidos, pulsadores, etc.) para finalmente, y no en todos los casos, abordar un proyecto final de asignatura [1]. No suele ser muy común que distintos profesores de distintas asignaturas se coordinen para abordar las prácticas de laboratorio y los proyectos finales, pero este esfuerzo redundará en un mejor aprovechamiento de los recursos y en una mejor percepción por parte del alumno.

En este caso tres profesores de la Universidad de XXXX de varias asignaturas hemos abordado el diseño, fabricación y uso de una maqueta que sea utilizable por todos los alumnos atendiendo a las necesidades de todas las asignaturas. Los requisitos deben contemplar tanto lo común a todas las asignaturas, como lo particular a cada una de ellas.

Todo el trabajo realizado es Open Hardware y por tanto cualquier profesor interesado puede acceder a la maqueta, sus planos y sus programas de ejemplo, incluyendo la totalidad de los modelos 3D y CAD para el mecanizado necesarios para la fabricación de la maqueta, los diseños de las tarjetas de circuito impreso empleadas en el control de la maqueta y en la adecuación a distintos sistemas de desarrollo y los diseños de ejemplo utilizados en las distintas asignaturas.

El resto del artículo se articula en 3 apartados. En primer lugar se describe funcional y electrónicamente la Maqueta-XXXX-Prog v1, luego se describen las asignaturas y el modo en el que usan la maqueta para finalmente indicar cómo construir y usar la maqueta en una universidad distinta.

## II. DESCRIPCIÓN DE LA MAQUETA-XXX-PROG V1

La maqueta esta compuestas principalmente de dos partes. La primera parte está conformada por la estructura física junto con los elementos mecánicos, mientras que la segunda parte (PCB de Control) integra un conector que permite la conexión de distintos equipos programables (ARM, FPGA, Arduino...), circuitos electrónicos de potencia (drivers) y de adaptación de tensiones, un conversor A/D y sistemas de comunicaciones.

Los recursos que proporciona la maqueta son resumidamente los siguientes:

- Un motor de continua que contiene encoders para determinar la velocidad de giro. Este motor tiene incorporada una hélice por lo que puede mover el aire de su alrededor, enviando aire frío hacia el calefactor. FIT0458.
- Un motor paso a paso mueve un husillo que provoca el desplazamiento longitudinal de la plataforma móvil. 17HS4401.
- Un sensor de ultrasonidos para poder calcular a qué distancia se encuentra la plataforma. HCSR04.
- Un sensor de temperatura digital ubicado en la plataforma bajo protocolo 1-wire. DS18B20.
- Finales de carrera para determinar si la plataforma ha llegado a los extremos del recorrido.
- Un calefactor de impresora 3D que puede alcanzar los 200 °C.
- Un sensor de temperatura NTC situado junto al calefactor. 3950NTC100k.
- Dos finales de carrera de parada de emergencia que funcionan en caso de fallo por parte del algoritmo de control del usuario.

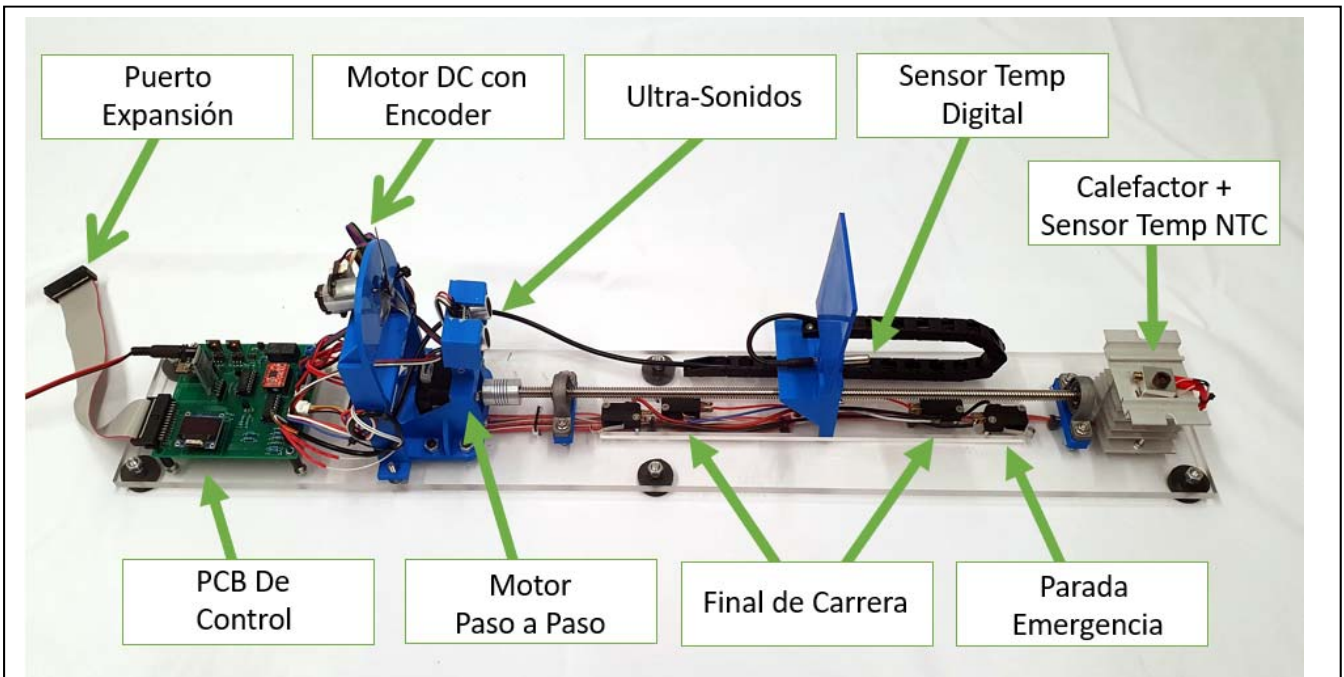


Fig. 1. Aspecto de la Maqueta-XXX-Prog v1

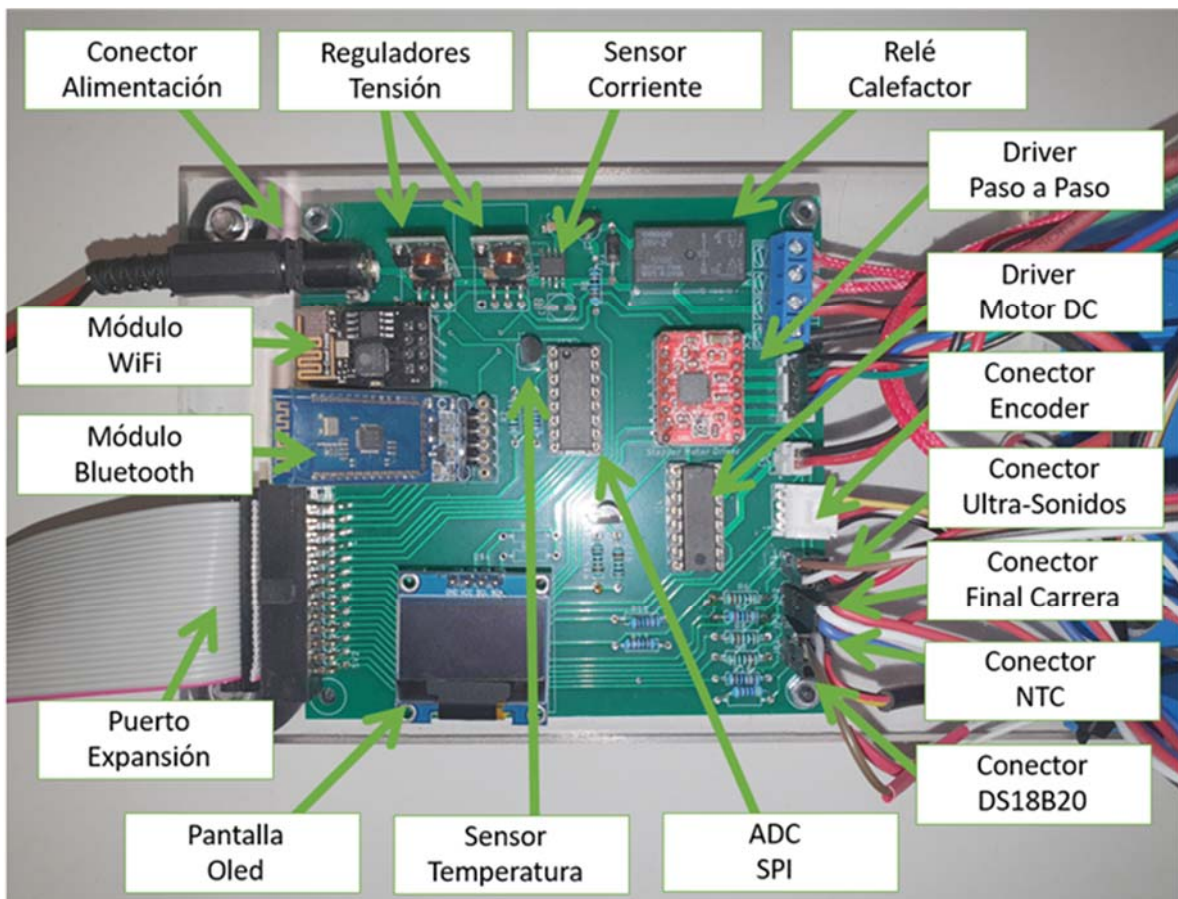


Fig. 2. Descripción de la PCB-Control de la Maqueta-XXX-Prog v1

- Sensor de corriente para medir cuánto está consumiendo la maqueta. ACS722.
- Sensor de temperatura analógico lineal con el que se puede saber la temperatura en la PCB-Control. LM35.
- Conversor analógico digital controlado por SPI con el que poder convertir en digitales las señales analógicas del sensor de corriente, del sensor de temperatura lineal y del sensor de temperatura NTC. MCP3008.
- Pantalla Oled gestionada por I2C en la que poder mostrar información. 098SSD1306.
- Módulo de comunicaciones BlueTooth clásico con el que poder enviar y recibir información desde un teléfono móvil. HC05.
- Módulo de comunicaciones WiFi gestionado por comandos AT con el que poder enviar datos a un servicio en la nube como puede ser ThingSpeak. ESP-01S.

Todos los dispositivos anteriores están repartidos entre la maqueta en sí y la tarjeta de control, tal y como describen las Fig. 1 y Fig. 2. Pero además de lo anterior la tarjeta de control contiene:

- Reguladores de tensión de 5 V y 3,3 V desde una tensión de entrada de 12 V.
- Conectores para poder conectar los dispositivos ubicados en la maqueta.
- Drivers para los distintos dispositivos.

Por ejemplo, el motor paso a paso se controla desde un driver A4988, típico de impresoras. La Fig. 3 muestra el esquemático que mediante tres señales (pulso, direction y enable) controla la posición del carro. Si este control excediera los límites de la maqueta, los finales de carrera de emergencia lo pararían.

El conector de la tarjeta de control permite que la maqueta se conecte a distintas plataformas de distintas asignaturas: Arduino, ARM, FPGA/Xilinx, SoC/Xilinx, etc. La Fig. 4 muestra el conexionado del conector, donde todas las señales están a 3,3 V.

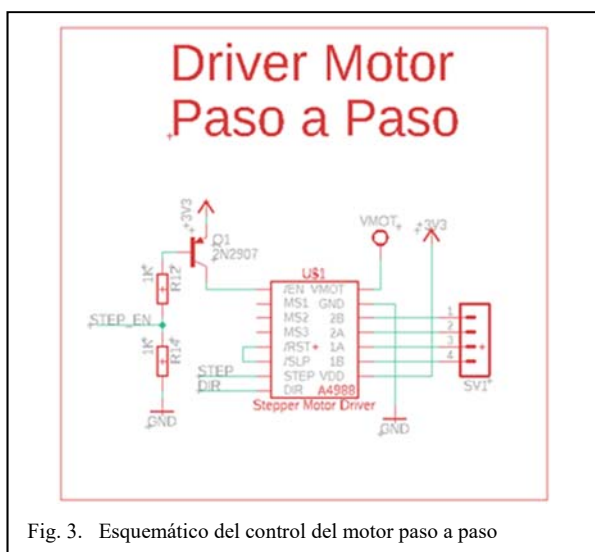


Fig. 3. Esquemático del control del motor paso a paso

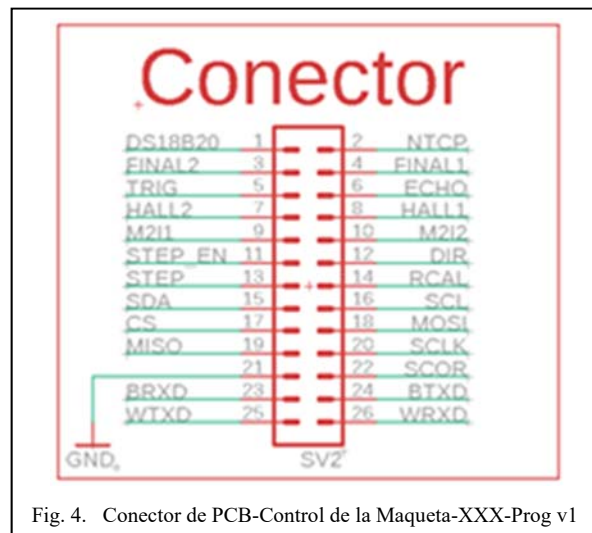


Fig. 4. Conector de PCB-Control de la Maqueta-XXX-Prog v1

La Tabla 1 resume la funcionalidad y conexionado de la maqueta.

### III. ASIGNATURAS DE LA MAQUETA-XXX-PROG V1

La maqueta descrita en el anterior punto toma importancia cuando sirve a distintas asignaturas y tecnologías. A continuación se va a describir su uso en dos de ellas, pero antes es importante destacar el beneficio que supone utilizar la misma maqueta en diferentes asignaturas. Los alumnos se familiarizan con un equipamiento industrial que es controlado de distinta forma en cada asignatura. De esta forma ni el profesor ni el alumno reinventan la rueda en cada asignatura.

En la actualidad la Maqueta-XXX-Prog v1 es usada o va a ser usada en seis asignaturas: Instrumentación electrónica, Microprocesadores, Lógica programable, Diseño avanzado de sistemas digitales, Sistemas embebidos y Sistemas electrónicos. Las tres primeras lo son del Grado en Electrónica Industrial, las dos siguientes del Máster Universitario en Automatización, Electrónica y Control Industrial, mientras que la última se imparte en el Máster Universitario en Ingeniería Industrial. Cada asignatura aborda la maqueta desde una distinta perspectiva (electrónica y/o programable) y con un distinto grado de detalle y complejidad.

TABLE I. PPINES Y SEÑALES DE MAQUETA-XXX-PROG V1

Pin	Dir	Tipo	Función
DS18B2	Salida	1-Wire	Sensor de temperatura 1-Wire
NTCP	Salida	Analóg	Sensor de temperatura NTC
FINAL1	Salida	Digital	Final de carrera derecho
FINAL1	Salida	Digital	Final de carrera izquierdo
TRIG	Entrada	Digital	Disparo el ultrasonido
ECHO	Salida	Digital	Rebote del ultrasonido
HALL1	Salida	Digital	Encoder del motor de continua a 0°
HALL2	Salida	Digital	Encoder del motor de continua a 90°
M2I1	Entrada	PWM	Señal para giro del motor DC en sentido horario
M2I2	Entrada	PWM	Señal para giro del motor DC en sentido antihorario
STEP	Entrada	Digital	Con un pulso avanza un paso el motor paso a paso
ST_EN	Entrada	Digital	Habilita el motor de paso a paso por nivel alto

DIR	Entrada	Digital	Establece avance o el retroceso
RCAL	Entrada	Digital	Señal de activación del calefactor
SDA	Bidir	I2C	Señal de datos del I2C para la pantalla OLED
SCL	Entrada	I2C	Señal de reloj del I2C para la pantalla OLED
MOSI	Entrada	SPI	Salida de datos del Máster SPI al ADC
MISO	Salida	SPI	Entrada de datos al Master SPI desde el ADC
SCK	Entrada	SPI	Señal de reloj del SPI
CS	Entrada	SPI	Señal de activación del SPI del ADC
SCOR	Salida	Analóg	Señal del sensor de corriente
BRXD	Entrada	Serie	Pin de recepción del módulo Bluetooth
BTXD	Salida	Serie	Pin de transmisión del módulo Bluetooth
WRXD	Entrada	Serie	Pin de recepción del módulo WiFi
WTXD	Salida	Serie	Pin de transmisión del módulo Wifi

#### IV. ASIGNATURAS DE LA MAQUETA-XXX-PROG V1

Por ejemplo la Fig. 5 muestra la Maqueta-XXX-prog conectada a una tarjeta de NI para implementar el control desde LabVIEW. Mientras que la Fig. 6 muestra la tarjeta que permite la conexión y el control de la Maqueta-XXX-Prog desde un ARM/STM32 o desde un Arduino.



Fig. 5. Maqueta-XXX-Prog v1 conectada a myRIO de NI

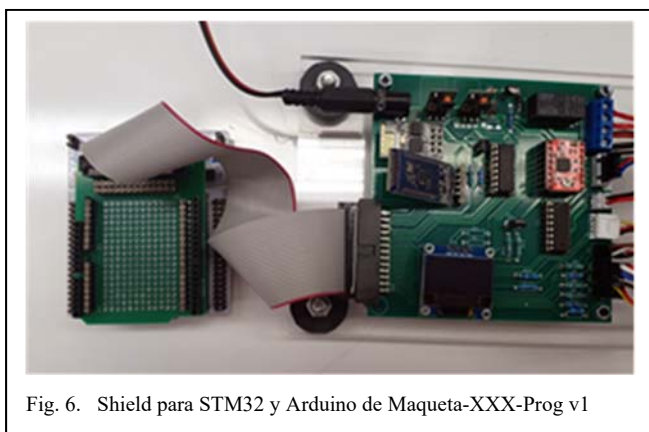


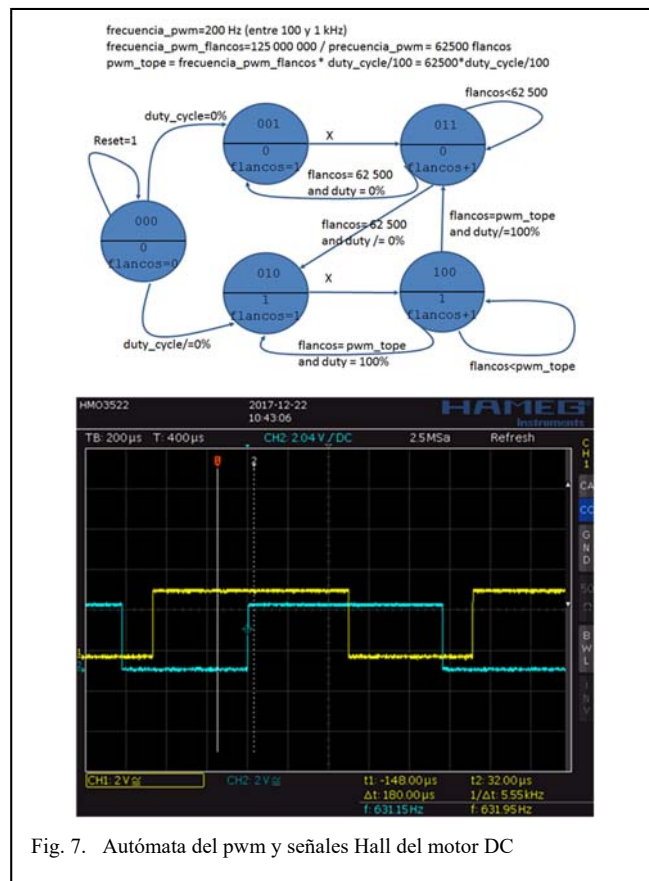
Fig. 6. Shield para STM32 y Arduino de Maqueta-XXX-Prog v1

A continuación se describe brevemente el uso de la Maqueta-XXX-Prog en dos asignaturas. Esta descripción no quiere en absoluto fijar el modo de uso de la maqueta, sino ser un simple ejemplo de la riqueza y versatilidad de la misma que permita intuir al lector cómo podría usarla él en el aula.

#### A. Lógica programable

Esta asignatura se imparte en el segundo semestre del tercer curso del Grado en Electrónica Industrial. Su objetivo principal es diseñar sistemas basados en VHDL/FPGA. En la parte teórica el alumno aprende las bases del diseño MOS y la estructura de la FPGA. En nuestro caso usamos la FPGA Artix-7 de Xilinx (en la plataforma Basys 3 de Digilent) y la plataforma Vivado de la misma compañía.

En la parte práctica el alumno aprende, tras los fundamentos básicos de descripción de hardware en VHDL, a controlar en VHDL dispositivos de cierta complejidad. En esta segunda fase el diseño e implementación de autómatas es principal.



Además el alumno debe montar el circuito capaz de controlar del motor DC, tal y como muestra la Fig. 8.

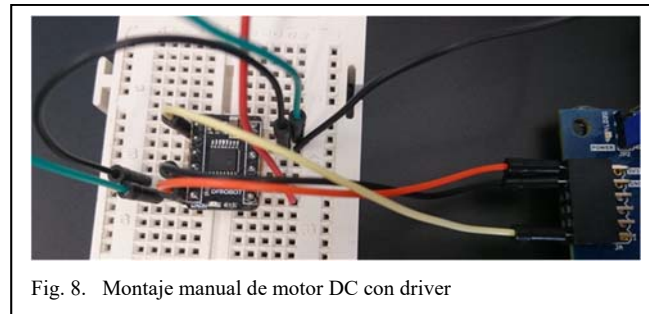


Fig. 8. Montaje manual de motor DC con driver

Este enfoque facilita la estrategia PBL: los alumnos bajo supervisión del profesor aprenden a controlar varios dispositivos de la Basys y de la maqueta individualmente. El proyecto final se desarrolla en dos pasos. En un primer paso cada grupo de alumnos integra los módulos básicos en una aplicación sencilla (Proyecto Básico), para luego, en un

segundo paso, integrar dispositivos no explicados en clase e implementar una aplicación más compleja y sofisticada (Proyecto Final). Para estos últimos dispositivos los alumnos cuentan con material explicativo y con el apoyo del profesor.

Siguiendo el enfoque de [2] las ocho primeras semanas se dedican a los módulos básicos, las tres siguientes se dedican al prototipo y al Proyecto Básico, mientras que las cuatro últimas se dedican al Proyecto Final. En mitad de la asignatura el profesor plantea un examen de mínimos.

A continuación se describen algunas de las funciones que los alumnos pueden combinar en su proyecto, siendo todas ellas orientativas:

- El motor paso a paso mueve el husillo central con la plataforma hasta situarla a una distancia determinada del extremo de la maqueta utilizando el sensor de distancia.
- En la plataforma se encuentra el sensor de temperatura para medir la temperatura a una determinada distancia del calefactor.
- En función de la temperatura se activa el ventilador (motor de continua) a una determinada velocidad.
- Los valores medidos y los parámetros introducidos se visualizan en el OLED.
- La posición de la plataforma o la velocidad del motor de continua pueden dar lugar a diseñar reguladores gracias a los sensores de distancia y de velocidad.
- Gracias al UART-BlueTooth la maqueta se puede conectar a un teléfono móvil o similar para parametrizar el comportamiento de la maqueta.
- Utilizar el conversor A/D de la Maqueta-XXX-Prog o el de la Basys 3 para visualizar señales analógicas.

La asignatura de Lógica programable está centrada en FPGA/VHDL pero es fácil imaginar un enfoque similar en otras asignaturas que se basen en ARM/C, Arduino, etc. En cada caso el profesor pondrá énfasis en una forma u otra de enseñar a programar y controlar la maqueta.

### B. Instrumentación Electrónica

Esta asignatura se imparte en el segundo semestre del tercer curso del Grado en Electrónica Industrial. Su objetivo principal es estudiar cómo funcionan los transductores para captar magnitudes físicas a medir y todo el acondicionamiento de señal que hay que hacer, para poder adecuar la señal a un Sistema de adquisición de datos.

En la asignatura se estudia el lenguaje de programación LabVIEW y cómo adquirir señales utilizando la tarjeta myRIO de National Instruments. En la Fig 5 se puede ver cómo se conecta esta tarjeta a la maqueta. Los alumnos deben capturar la señal procedente de 3 sensores analógicos que contiene la maqueta. El sensor de corriente ACS722, que proporciona una tensión de 1,65 V si no circula corriente por la maqueta y desvía esta tensión 264 mv/A. El Sensor NTC

de 100K de R0 y 3950 de B, que se encuentra configurado como un divisor resistivo con otra resistencia fija de 100 k. Por último, el sensor de temperatura LM35, un sensor que proporciona una tensión lineal de 10 mV/°C.

Los alumnos deben crear un panel en LabVIEW en el que se visualicen los datos acondicionados de los tres sensores mencionados.

Para forzar el cambio de estos parámetros pueden activar el calefactor utilizando la propia tarjeta de adquisición de datos conectada a la maqueta.

Es evidente que tras las anteriores prácticas el alumno puede abordar un proyecto que controle la maqueta utilizando LabVIEW/NI como plataforma.

### V. MAQUETA-XXX-PROG v1 EN OTRA UNIVERSIDAD

La Maqueta-XXX-Prog v1 está siendo usada en el segundo semestre del curso 2021-2022 por primera vez y sus resultados son satisfactorios hasta ahora, al menos en cuanto a su uso por parte del profesor.

El planteamiento actual de la Universidad de XXX pasa por compartir con la comunidad universitaria el diseño de la maqueta. En la actualidad se están recopilando y adecuando los ficheros y otros documentos para que la maqueta sea reproducible por cualquier universidad que quiera replicar nuestra experiencia. Los ficheros necesarios para fabricar las piezas 3D que se utilizan en la maqueta y el plano de la base de metacrilato estarán disponibles en Thingiverse y ficheros de ejemplo para el microcontrolador STM32F091RC están disponibles en GitHub. La réplica de la maqueta tiene un costo asequible comparado con equipos comerciales orientados a la docencia. El costo de los componentes utilizados en la maqueta no supera los 150€, sin tener en cuenta el corte laser de la base, ni la impresión 3D, que seguramente se podrán hacer en cada una de las universidades.

### VI. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

La Maqueta-XXX-Prog v1 es un buen ejemplo de cómo varios profesores pueden aunar esfuerzos para crear una maqueta que sea útil y utilizable en varias asignaturas y bajo distintos enfoques didácticos. En la actualidad esta maqueta está comenzando su andadura, pero ya está dando sus frutos.

El trabajo futuro está enfocado en documentar la Maqueta-XXX-Prog v1, sobre todo en cuanto a ejemplos de uso en distintas tecnologías. Además se asume que al compartir esta maqueta con otras universidades surgirán mejoras que habrá que implementar.

### REFERENCES

- [1] C. Jiménez, P. Parra, C. Baena, M. Valencia y E. Potestad. G. Eason, "Medición de distancias como ejemplo práctico de diseño en FPGAs" en Actas TAAE 2018, 2018, pp: 593-596.
- [2] J. García Zubía, V. Canivell Castillo y M. Valero, "Experiencia PBL en la asignatura de Lógica Programable", en Actas TAAE 2012, 2012, pp: 402-407.