

Experiencias de prácticas remotas de Electrónica Analógica basadas en 'RedPitaya'

Carlos J. García-Orellana, Miguel Macías-Macías, Horacio González-Velasco,
Antonio García-Manso y Ramón Gallardo-Caballero
Dpto. de Ing. Eléctrica, Electrónica y Automática
Universidad de Extremadura
Badajoz - SPAIN
Email: cjgarcia@unex.es

Resumen—La docencia virtual empieza a ser relevante en la oferta de muchas Universidades. Las plataformas de 'Campus Virtual' permiten la distribución de contenidos y la comunicación con los alumnos. Sin embargo, parte de los problemas los encontramos a la hora de la realización de prácticas. Estas prácticas juegan un papel fundamental en la docencia de Electrónica y aunque pueden ser complementados con simulación, ésta no puede sustituirlas. La alternativa presentada en este trabajo es el uso de laboratorios remotos, en particular, presentamos la realización de una práctica remota de Electrónica Analógica mediante el uso del sistema conocido como 'RedPitaya'. El alumno puede interactuar con el montaje previamente realizado de la práctica con un entorno adaptado a la misma.

I. INTRODUCCIÓN

La realización de las prácticas de las asignaturas de los estudios universitarios en los laboratorios tradicionales (reales) suele ser costosa en tiempo y dinero y está ligada al mantenimiento de ciertas infraestructuras bastante delicadas. Además, suelen imponer a los alumnos una presencialidad y una rigidez en los horarios, que en muchos casos particulares, les imposibilitan realizar los estudios deseados.

Existen soluciones a estos problemas denominadas laboratorios remotos y virtuales. Un laboratorio remoto es aquél que existe físicamente y puede ser manipulado de forma remota a través de Internet, haciendo uso de Webcams y hardware específico para la adquisición local de datos. En cambio un laboratorio virtual (local o remoto) es aquel que utiliza software informático genérico o específico para recrear el comportamiento de plantas de experimentación que sólo existen en ordenadores usados para la simulación [1]. La clasificación de los laboratorios en función de la forma de acceder a sus recursos (local o remota) y de la naturaleza del sistema donde se realiza el experimento (real o virtual) se puede resumir en la siguiente tabla [2]:

	Real	Virtual
Local	Laboratorios presenciales con plantas reales	Laboratorios presenciales con plantas simuladas
Remoto	Teleoperación en una planta real	Laboratorio remoto con plantas simuladas

De manera pormenorizada el uso de laboratorios remotos presenta las siguientes ventajas con respecto a la docencia tradicional:

- **Económica:** No es necesario multiplicar los puestos de prácticas para que todos los alumnos experimenten a la vez durante el tiempo en el que se realizan las prácticas en los centros presenciales.
- **Flexibilidad de horarios:** Los alumnos se pueden conectar de manera remota para realizar el experimento en diferentes horarios y utilizando siempre el mismo puesto.
- **Formación en competencias TICs:** El uso de este tipo de laboratorios no solo tiene interés desde el punto de vista de adquisición de las competencias propias de las asignaturas, sino que además capacitan a los alumnos en competencias transversales como el uso de las TIC o la interacción entre los propios alumnos y con los profesores de manera virtual.
- **Aprendizaje constructivista:** Un laboratorio remoto permite una enseñanza constructivista generando aprendizaje significativo y autónomo.
- **Interés científico:** Cabe señalar un interés creciente a nivel científico en este tipo de herramientas que se plasma en el aumento de comunicaciones en congresos y revistas que incluso no son específicas de las áreas didácticas.

La construcción de un laboratorio remoto suele estar basada en un entorno cliente-servidor, donde los clientes (estudiantes) solicitan servicios o contactan a un servidor a través de Internet. De manera general este servidor debe cumplir las siguientes pautas: [3]

- **Agendamiento:** La programación y reserva de horarios es fundamental para la optimización del ingreso de los clientes a la plataforma remota.
- **Autenticación:** Debe requerir autenticación para sólo permitir el acceso a usuarios registrados y con un horario previamente reservado.
- **Interfaz de usuario:** Debe facilitar la comunicación entre el cliente y el experimento a desarrollar. Se debe basar en un navegador web.
- **Base de datos:** Debe contener registros con respecto a usuarios, perfiles, horarios, experimentos, resultados e informes.

En este sentido, existen herramientas de gestión basadas en Moodle [4] que son compatibles con el campus virtual con el que los profesores de muchas universidades españolas gestionamos la docencia [5]. Son varios los plugins de Moodle que facilitan este proceso como 'mod_OpenDesktop', 'mod_vpl' (*virtual programming lab*) y 'mod_ejsapp' (*easy javascript simulations*).

El uso de estos laboratorios remotos se ha extendido durante los últimos años en muchos campos de la ciencia y la ingeniería. Como ejemplos más destacados podemos citar: Ingeniería Eléctrica [6], Electrónica Analógica [7], [17], [18], Robótica [8], Automatización y Control [9], Física [10]. En España existen trabajos muy interesantes y de amplia trayectoria como UNILabs [11] desarrollado por la Universidad de Educación a distancia (UNED) y WebLab-Deusto [12] desarrollado por la Universidad de Deusto. Ambas plataformas suelen estar integradas por una red de universidades que comparten sus laboratorios. A nivel internacional destacan proyectos como el Global Online Laboratory Consortium (GOLC) [13], la Red de Laboratorios Remotos RexNet [14] y, especialmente la plataforma iLab [15] desarrollada por el MIT. El interés mostrado por los laboratorios remotos también se pone de manifiesto con la financiación de proyectos de investigación en el ámbito de la Unión Europea, MARVEL [16], PEARL [19].

En el caso de la disciplina que nos ocupa (Electrónica Analógica), tenemos varios ejemplos de laboratorios remotos como pueden ser aquellos similares a ISILab [17], en el que las prácticas están previamente montadas y el alumno interactúa con los instrumentos disponibles, pero los alumnos no pueden cambiar el circuito. También tenemos aquellos en los que el alumno pueden construir el circuito (dentro de ciertos límites), como pueden ser los basados en VISIR [7], [18], para ello, se utiliza una matriz de conmutación que permite la construcción del circuito introducido por el estudiante a través de un interfaz web. La mayoría de los laboratorios remotos para Electrónica Analógica presentan unas características comunes: utilizan instrumentos con conectividad avanzada (GPIB, LXI, PXI, ...) y en muchos casos 'LabView' como software de control. Estas características suponen un coste por práctica remota importante.

Otros trabajos están poniendo interés en el uso de sistemas de bajo coste para los servidores web de los laboratorios y de los experimentos. Concretamente en [19] se presenta ArPi Lab, un laboratorio remoto totalmente operativo con un coste aproximado de 1000 €, de los cuales, la mayor parte del gasto se invirtió en las cámaras web para la grabación de los experimentos. Este sistema está formado por una Raspberry Pi como servidor de laboratorio en comunicación con placas de Arduino YUN y Arduino UNO equipados con módulos de ethernet como servidores de experimentos.

El presente trabajo se centra en la implementación de



Figura 1. Red Pitaya, con la localización de sus elementos fundamentales.

los componentes de la práctica remota en 'RedPitaya' (PC, instrumentos, ...), exceptuando la parte relacionada con la reserva y autenticación del experimento.

En la sección II expondremos las características principales de 'RedPitaya', así como la estructura de su 'ecosistema'. En la sección III, describiremos los desarrollos realizados y las características de la práctica realizada. Finalizaremos con las conclusiones del trabajo y las posibles líneas futuras de actuación.

II. 'REDPITAYA' Y SU 'ECOSISTEMA'

'RedPitaya' [20] es una placa hardware con un tamaño ligeramente superior al de una tarjeta de crédito, diseñada para utilizarse como instrumento de medida y de control. Se accede a ella a través de red ethernet y está pensada para utilizar un navegador web como interfaz. Para la captura y generación de señales incluye ADCs y DACs de alta y baja velocidad, que permiten su interacción con el exterior en multitud de aplicaciones, con conectores estándar tipo SMA-F. Por otro lado, dispone de un doble ARM que permite ejecutar una versión propia del sistema operativo Linux para la gestión de todo el sistema, y además incluye una FPGA de altas prestaciones con la que se realiza el procesamiento digital de las señales más exigente. Por último, proporciona un entorno para el desarrollo sencillo de aplicaciones propias, lo cual la convierte en una plataforma muy versátil, ideal para la elaboración de un sistema autónomo de prácticas remotas.

En primer lugar describiremos en detalle el hardware que incluye la plataforma, lo cual nos permitirá hacernos una idea de las posibilidades que aporta. Posteriormente analizaremos el software que se distribuye con el aparato de manera totalmente gratuita y con código abierto, para terminar presentando la metodología que debe seguirse en el desarrollo de aplicaciones propias (o modificación de las ya existentes)

Descripción del hardware

Como se ha indicado, el hardware de 'RedPitaya' consiste en una placa de dimensiones similares a las de una tarjeta de crédito (107 x 60 x 21 mm), cuya imagen se presenta en la figura 1. El sistema está construido alrededor de un *system-on-chip* (SoC) Zynq 7010 de Xilinx [21], el cual incluye, en el mismo circuito integrado, un procesador ARM, periféricos y una FPGA. Esto hace que sea completamente programable, tanto el software que ejecuta el procesador, como el propio hardware que se implementa en la FPGA.

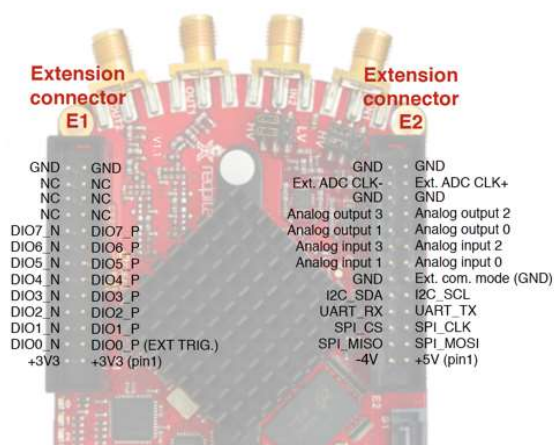


Figura 2. Conectores de extensión de 'RedPitaya', donde se localizan las entradas y salidas analógicas lentas, los buses I2C y SPI, y las entradas/salidas digitales.

Tal y como se describe en [21], este SoC consta de dos partes: el sistema de procesamiento (SP) y la lógica programable (LP), ambas separadas e interconectadas mediante un interfaz de alta velocidad. El sistema de procesamiento tiene como componente principal un procesador Dual-Core ARM Cortex-A9 funcionando a 667 MHz, y proporciona el computador sobre el cual se ejecutarán tanto el sistema operativo como las aplicaciones. Aunque el propio SoC tiene algo de memoria RAM de doble puerto, accesible también para la FPGA, la memoria principal de 512 MB (DDR3 RAM, 4 Gb) se encuentra en un chip externo, conectado a través de interfaces de memoria específicos. Además del procesador, el SP también se incluyen periféricos de entrada salida e interfaces para buses estándar: dos controladores de acceso al medio (MAC) ethernet de hasta Gigabit, dos puertos USB 2.0 OTG, dos controladores de SD/SDIO 2.0, dos puertos SPI, dos UARTs de alta velocidad (hasta 1 Mb/s), dos interfaces I2C maestro y esclavo, y varios bancos de GPIOs, que se pueden hacer accesibles para la lógica programable o para el exterior. De esta manera, el sistema tiene gran capacidad de conectividad a dispositivos externos, a través de los conectores que se describen en las figuras 1 y 2.

Por otro lado, en la sección de lógica programable se incluye un hardware equivalente a una FPGA Artix-7, con 28000 celdas lógicas (17600 LUTs), bloques de memoria RAM hasta 240 KB, y 80 bloques específicos para DSP. En esta FPGA se implementa la parte de interfaz con los convertidores ADC y DAC de alta velocidad, y permite además programar otros procesamientos por hardware (como filtrado digital) para funciones que requieran una computación intensiva o muy alta velocidad.

Para la conexión de las señales analógicas 'RedPitaya' está dotada de dos convertidores analógico-digital de alta velocidad, que pueden muestrear hasta 125 MS/s con una resolución de 14 bits. Dichos convertidores se encuentran conectados a la FPGA que, tras un primer procesamiento de

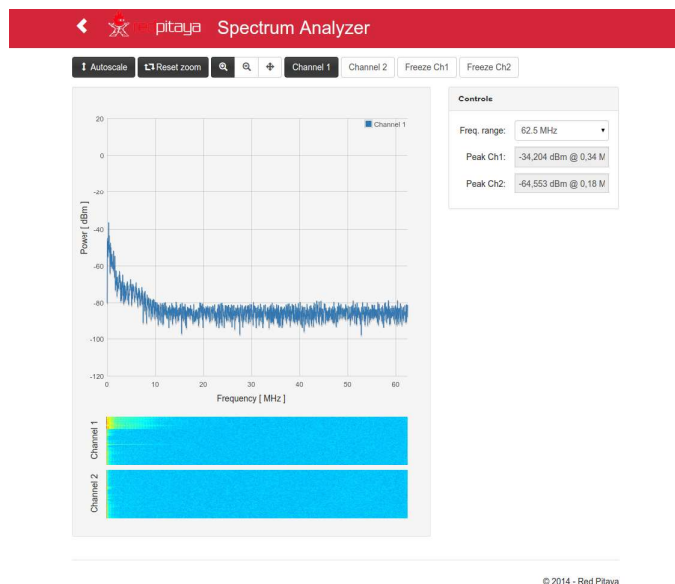


Figura 3. Interfaz web de la aplicación de analizador de espectro ofrecida por 'RedPitaya'.

las muestras (filtrado digital y disparo), las ofrece al SP a través del bus de interconexión dentro del SoC. Los conectores utilizados para estos canales son SMA-F, y se pueden ver en la figura 1. Con esto se consigue una entrada analógica con una impedancia de entrada de 1 MOhm/10 pF), y permite un ancho de banda de hasta 50 MHz, con una escala de voltaje máxima de ± 1 V o ± 20 V (seleccionable mediante jumpers). Además, 'RedPitaya' dispone de cuatro entradas analógicas adicionales de baja velocidad, cada una capaz de muestrear a 100 kS/s y 12 bits de resolución, disponibles a través del conector de extensión.

Por lo que respecta a las salidas, 'RedPitaya' también distingue entre alta y baja velocidad. Por un lado, en los conectores SMA-F correspondientes hay conectados dos DAC de 14 bits capaces de operar a 125 MS/s, con un rango de voltaje máximo de ± 1 V y una impedancia de salida de 50 Ohm. Por otro lado, en el conector de extensión tenemos 4 salidas analógicas con resolución de 12 bits y 100 kS/s, que pueden generar voltajes en el rango de 0-1.8 V.

Por último, 'RedPitaya' también dispone 16 entradas/salidas digitales (conector de extensión E1) conectadas directamente a la FPGA y varios LEDs que pueden ser utilizados como indicadores, todos ellos accesibles también desde el SP a través de registros mapeados en la memoria del procesador.

Software incluido

Como ya hemos indicado, los fabricantes de 'RedPitaya' tienen disponible en su web una imagen de memoria SD con una distribución de Linux basada en el kernel oficial mantenido por Xilinx, en la cual se incluye el sistema mínimo para poder poner a funcionar la placa. Una vez introducida la tarjeta SD en el conector, y conectada la placa a la red, el sistema arrancará y configurará su dirección IP mediante

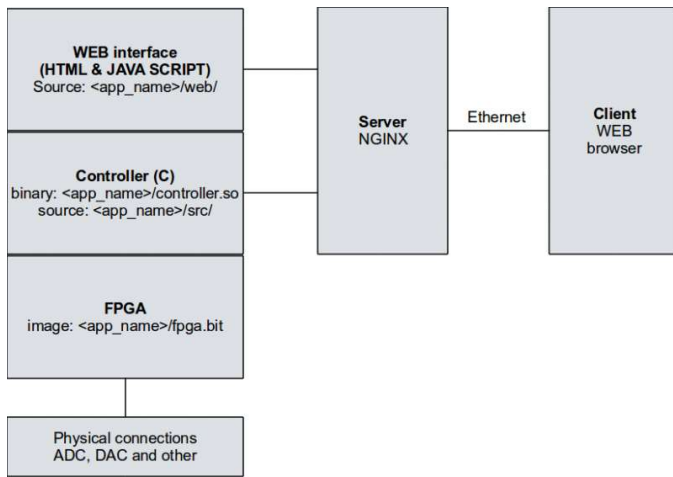


Figura 4. Estructura de las aplicaciones desarrolladas para 'RedPitaya'.

DHCP. Como es importante conocer dicha dirección, ya que todo el interfaz se realiza a través de un navegador en otro ordenador, 'RedPitaya' implementa un sistema para asociar tu placa a una cuenta en sus servidores centrales (a través de la dirección MAC de ethernet), de forma que cada vez que la placa cambia la IP, la comunica al servidor de 'RedPitaya', y cada vez que nosotros accedemos a la cuenta, podemos consultarla. De todos modos, esto no es completamente necesario ya que la IP también se puede conocer a través de una consola serie.

Al conectarnos a través del navegador a la IP de la placa, podemos ver una lista de las aplicaciones que tenemos instaladas, así como instalar más o desinstalar las que no nos interesen. Para ello, 'RedPitaya' ofrece en su "Application marketplace" una serie de aplicaciones gratuitas que incluyen generador de funciones, osciloscopio, analizador de espectro, analizador de impedancias, o analizador de respuestas en frecuencias, y además se ofrecen aplicaciones desarrolladas por otros miembros de la comunidad. A modo de ejemplo, en la figura 3 podemos ver el interfaz de la aplicación de analizador de espectro, con un canal activado, y realizando medidas.

Desarrollo de aplicaciones con 'RedPitaya'

Además de proporcionarnos aplicaciones concretas, en la web de 'RedPitaya' también encontramos información sobre cómo se organizan dichas aplicaciones y cómo podemos desarrollar otras nuevas nosotros mismos. La estructura de las aplicaciones web está formada por tres elementos básicos, que encontramos esquematizados en la figura 4:

- **Interfaz web:** esta primera parte de la aplicación consiste fundamentalmente en un fichero programado en HTML y JavaScript con JQuery, que el servidor web NGINX (un servidor web de altas prestaciones y bajo consumo de memoria) envía al navegador web (el cliente) cuando éste solicita iniciar la aplicación. Durante la ejecución de la aplicación, el cliente trabaja con dos tipos de datos: señales y parámetros, los cuales se intercambian

con el servidor utilizando el formato JSON, mediante comandos GET o POST, y que normalmente tienen relación con datos que provienen de la FPGA o con parámetros que deben configurarse en la misma. Para gestionar este intercambio, en el servidor se definen determinados *indicadores* o *location* que, cuando son solicitados por el cliente, hacen que el servidor ejecute un módulo específico que gestiona la carga del siguiente elemento en la estructura: el *controlador*.

- **Controlador:** es un conjunto de funciones programadas en C, que se compilan como una librería dinámica, la cual es cargada por el módulo del servidor web cuando se requiere alguna comunicación con la FPGA. Podrá tratarse, por ejemplo, de la transmisión de señales captadas por el ADC de la placa y que deben visualizarse en el cliente (tras ser procesadas por la FPGA), o el envío de parámetros de configuración desde el navegador hasta la propia FPGA, todo lo cual se realiza mediante lectura o escritura en ciertos registros de la misma.
- **FPGA:** el control de los dispositivos ADC y DAC, y el procesamiento digital de las señales que demande mayores prestaciones debe llevarse a cabo mediante técnicas hardware, en la FPGA. Todo esto se puede desarrollar mediante lenguajes de descripción de hardware, en el entorno que Xilinx proporciona a tal efecto, y que generan en último extremo un fichero de configuración de la FPGA. Cada aplicación (generador de funciones, osciloscopio, analizador de espectro) requerirá diferentes configuraciones y procesamientos iniciales de las señales antes de obtener los datos que el interfaz web debe representar, y por tanto tienen diferentes programaciones para la FPGA.

En general, cuando las tareas que queramos realizar en nuestra aplicación estén directamente relacionadas con las que realizan el osciloscopio o el generador de funciones, lo más ventajoso será tratar de tomar como "plantilla" alguna de las aplicaciones ya realizadas, y centrarse en las partes de interfaz web y controlador, adoptando las desarrolladas por 'RedPitaya' para la FPGA.

III. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

El objetivo de nuestro trabajo es evaluar el uso de 'RedPitaya' como elemento único para la realización de prácticas remotas de Electrónica Analógica. Cuando decimos *elemento único*, nos referimos a que queremos utilizar 'RedPitaya' como sustituto de la instrumentación y del ordenador que gestiona dicha instrumentación.

En particular, nos hemos centrado en plantear el interfaz, mediante 'RedPitaya', a una sencilla práctica remota utilizando dos circuitos basados en amplificadores operacionales. En concreto, hemos utilizado un amplificador inversor y un seguidor, tal y como podemos observar en las figuras 5 y 6.

Para realizar las pruebas, hemos montado en una placa de pruebas los circuitos utilizando el doble amplificador operacional LM358. En la figura 7 podemos observar una imagen del

montaje. Las líneas de color naranja corresponden al circuito seguidor y las azules al amplificador inversor.

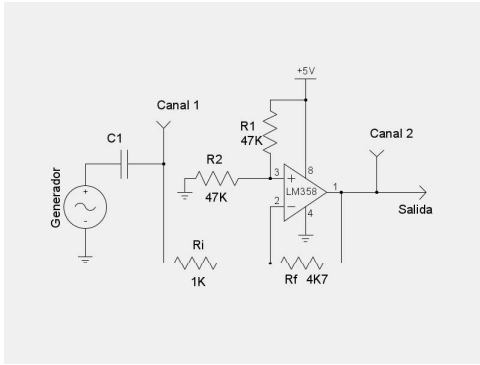


Figura 5. Esquema del circuito inversor utilizado en la práctica remota.

Para realizar esta prueba 'piloto', hemos decidido modificar una aplicación existente de 'RedPitaya' y adaptarla a nuestras necesidades. En nuestro caso, la aplicación que mejor se adapta es el 'Osciloscopio+Generador', incluido como aplicación libre con 'RedPitaya'.

Nuestro objetivo se ha centrado en adaptar el intefaz web para poder elegir entre cada uno de los circuitos de la prácticas (figuras 5 y 6). Para ello, hemos conectado la 'Salida 1' del generador y el 'Canal 1' del osciloscopio a cada uno de los dos circuitos, con el fin de no tener que conmutar entre ambos circuitos. Lógicamente, las salidas si tenemos que conmutarlas y para ello hemos utilizado un relé.

Para manejar dicho relé podemos utilizar una de las múltiples E/S de las que dispone la 'RedPitaya', sin embargo, con el fin de darle más versatilidad a nuestro desarrollo, hemos decido utilizar un módulo de relés controlado por bus I2C, lo cual nos permitiría utilizar una gran cantidad de relés sin agotar las E/S de la 'RedPitaya'.

En definitiva, con nuestro planteamiento, para preparar una práctica remota con 'RedPitaya' necesitaríamos desarrollar o modificar los siguientes aspectos:

- **Interfaz web:** Necesitamos adaptar (o crear) el interfaz web de nuestra aplicación. Lo más cómodo es modificar una aplicación ya existente. Como se comentó en

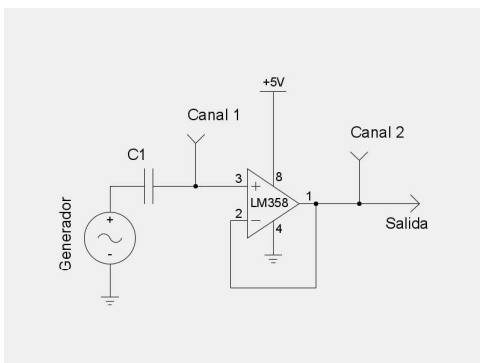


Figura 6. Esquema del circuito seguidor utilizado.

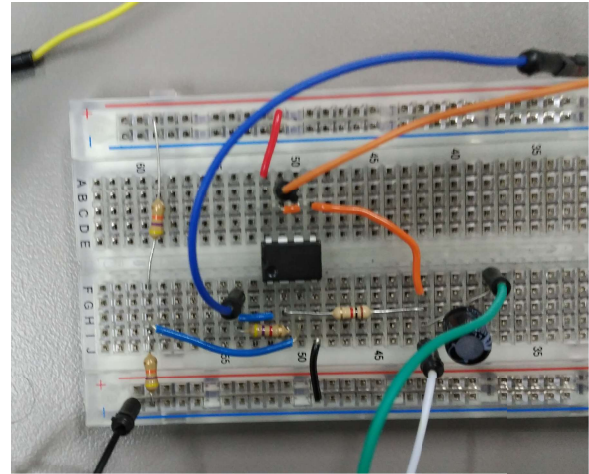


Figura 7. Imagen con el montaje de los circuitos utilizados en la práctica.

la sección II, esto incluye programación en HTML y JavaScript con JQuery e intercambio de información en formato JSON.

- **Controlador:** Como también se comentó en la sección II, el controlador es la parte de nuestra aplicación que comunica la FPGA y el sistema Linux de 'RedPitaya' con el *interfaz web* a través del servidor web. En este caso partiremos de uno ya existente e incluiremos aquellas modificaciones necesarias, principalmente para controlar el módulo de relés.
- **Módulo de control de la práctica:** Nos referimos en general a un módulo que deberemos desarrollar para cada práctica, y que en el ejemplo desarrollado en este trabajo se trata de un módulo de relés. También podría ser más complejo para, por ejemplo, medir tensiones adicionales utilizando los otros convertidores A/D disponibles en 'RedPitaya'.
- **Modificación de la FPGA:** En general esto no será necesario si queremos utilizar como base alguna de las aplicaciones estándar. No obstante, podríamos incluir nuevos módulos digitales para realizar filtrados adicionales, por ejemplo, para simular un multímetro de DC con una de las entradas analógicas mencionadas anteriormente.

En la práctica presentada en este trabajo hemos modificado los dos primeros puntos, creado una versión inicial del tercero y hemos dejado el cuarto tal y como estaba en la aplicación de partida (Osciloscopio+Generador). Pasamos a continuación a describir estos aspectos.

Interfaz Web

El interfaz del alumno a la práctica es el *Interfaz Web*. Para analizar los dos circuitos de esta prueba piloto necesitamos principalmente un generador de funciones y un osciloscopio, por ello, nuestro interfaz nos muestra los controles del osciloscopio y del generador junto al esquema del circuito bajo estudio. En las figuras 8 y 9 podemos ver dicho interfaz para cada uno de los circuitos.

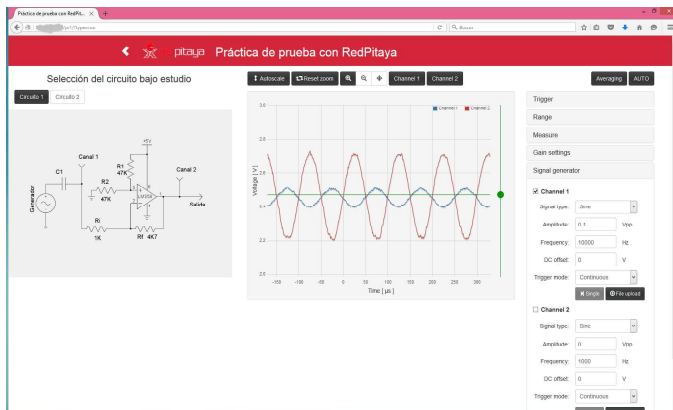


Figura 8. Interfaz web de la práctica remota en el que podemos ver el estudio de la ganancia del amplificador inversor.



Figura 9. Interfaz web de la práctica remota en el que podemos ver el estudio de la *slew-rate* del seguidor.

Como hemos comentado con anterioridad, nos hemos basado en la aplicación 'Osciloscopio+Generador', ya que nos ofrece una excelente base de partida. Como se puede apreciar en las figuras 8 y 9, hemos añadido una imagen del circuito y unos botones para poder seleccionar entre los circuitos de la práctica.

Controlador

Esta parte se ejecuta en la 'RedPitaya' y controla el acceso al hardware (principalmente la FPGA), recoge los cambios de configuración procedentes del interfaz web y responde a las peticiones de datos de dicho interfaz. En nuestro caso, hemos tenido que incluir el control de los relés mediante el bus I2C, para lo cual hemos ampliado los mensajes de cambio de configuración procedentes del interfaz web para así responder a las peticiones de cambio de circuito desde dicho interfaz.

Módulo de control de la práctica

Este módulo es el encargado de cambiar las conexiones del circuito o de modificar los puntos de medidas. En la práctica piloto, hemos reducido este módulo al caso más simple (solamente al cambio del 'Canal 2' del osciloscopio),

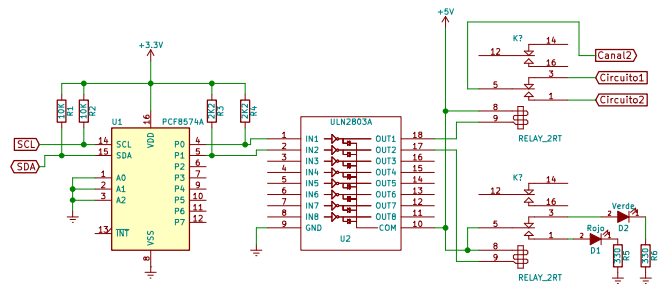


Figura 10. Esquema del circuito para controlar los relés utilizados en la práctica de prueba. Los dos LEDs son utilizados para indicar el circuito activo.

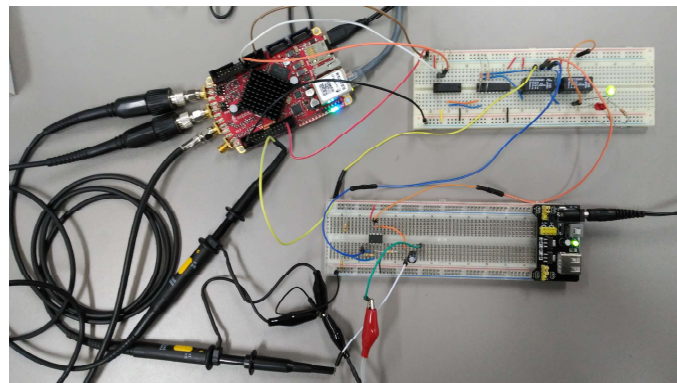


Figura 11. Imagen del montaje global de la experiencia piloto.

pero manteniendo la posibilidad de ampliarlo de forma considerable. Para ello, hemos utilizado un expansor de E/S basado en bus I2C para conectarlo a la 'RedPitaya' (terminales 9 y 10 del conector E2). Concretamente hemos utilizado el chip PCF8574, que nos ofrece 8 canales de E/S, junto con el driver ULN2803 para manejar relés. Esta configuración podría repetirse 8 veces (cambiando los identificadores I2C) para disponer de 64 E/S en total.

En la figura 10 tenemos el esquema que hemos utilizado para implementar este módulo, en nuestro caso hemos puesto únicamente dos relés (aunque utilizamos realmente uno de ellos en la práctica, el otro es para los LEDs que nos indican el circuito activo).

En la figura 11 podemos observar el montaje completo que hemos realizado para esta experiencia piloto. Se puede observar la 'RedPitaya', junto a los circuitos de la práctica y al módulo de control.

IV. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

La conclusión fundamental del trabajo es que 'RedPitaya' puede ser utilizada de forma satisfactoria como elemento integrado (instrumento+PC) para la realización de prácticas de Electrónica Analógica. No obstante, también tiene sus inconvenientes.

Entre las ventajas y puntos a favor, podríamos enumerar los siguientes:

- Es un sistema compacto, estable, económico (cuesta unos 220 € sin sondas) y abierto que combina un instrumento muy configurable y el computador para gestionarlo.
- Ofrece buenas prestaciones para la realización de prácticas, combinando osciloscopio y generador con canales adicionales A/D, E/S digital y buses específicos.
- Permite crear entornos muy adaptados a la práctica a desarrollar, creando los instrumentos necesarios para dicha práctica concreta.
- Puede ser controlada mediante MatLab, LabView, SciLab, Python, etc. Sin embargo, al hacerlo así es necesario un ordenador externo y perdemos muchas de las ventajas (sería como un instrumento más de Laboratorio controlado por un ordenador).

Sin embargo, a pesar de estas importantes ventajas, también tenemos algunos inconvenientes, que aunque algunos de ellos ya han sido comentados, pasamos a enumerarlos:

- 'RedPitaya' no es un instrumento de laboratorio, y aunque para realizar prácticas puede no ser un problema, no debemos olvidarlo.
- La adaptación de las partes de la aplicación de 'RedPitaya' a la práctica concreta requiere un cierto esfuerzo y aunque una vez conocido el 'ecosistema' puede ser sencillo, al principio puede ser tedioso.
- Los rangos de entrada del osciloscopio (± 1 V o ± 20 V) y de salida del generador (± 1 V) son bastante limitados comparados con un osciloscopio y un generador tradicionales, lo que obliga a que el diseño de la práctica considere esta restricción.
- En nuestro caso, nos hemos basado en una aplicación ya existente (osciloscopio y generador), la cual tiene inconvenientes como por ejemplo: no tiene selector AC-DC, no tiene cursores, la ganancia es común para los dos canales, etc ...

En cuanto a posibles futuras líneas de trabajo, la intención es mejorar la aplicación de osciloscopio y generador, añadiendo escalas diferentes para los dos canales y la introducción de cursores. Además, por un lado, queremos preparar una placa compacta con 8 o 16 relés para así poder realizar de forma más sistemática prácticas más completas y, por otro lado, incorporar un 'multímetro' para medir determinadas tensiones o corrientes, utilizando los canales A/D adicionales de la 'RedPitaya'.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido parcialmente financiado por la Junta de Extremadura y FEDER a través de la ayuda GR15101.

REFERENCIAS

[1] Calvo I. *Laboratorios remotos y virtuales en enseñanzas técnicas y científicas*, Ikastorrata, e-Revista de didáctica, ISSN-e 1988-5911, N.º. 3, 2008.

[2] Dormido S. *Control Learning: Present and Future*. Annual Reviews in Control, vol. 28 (1), 2004 pp 115-136.

[3] Zamora R. *Laboratorios Remotos: Actualidad y tendencias futuras*, Scientia et Technica Año XVII, No 51, 2012.

[4] Descripción de la plataforma Moodle [Online]. URL https://docs.moodle.org/all/es/Acerca_de_Moodle.

[5] Javier García-Zubia, Pablo Orduña, Jaime Irurzun, Ignacio Angulo, Unai Hernández-Jayo. *Integración del laboratorio remoto WebLab-Deusto en Moodle*. In MoodleMoot Euskadi, 2009.

[6] Pradyumna, P., Tarun, C., and Bhanot, S. *Remote experimentation of no-load tests on a transformer*, in electrical engineering. In IEEE International Conference on Engineering Education: Innovative Practices and Future Trends (AICERA), 1-6. Kottayam, Kerala, India, 2012. doi:10.1109/AICERA.2012.6306740.

[7] Unai Hernandez-Jayo y Javier García-Zubia. *Remote measurement and instrumentation laboratory for training in real analog electronic experiments*, Measurements 82 (2016) 123-134.

[8] Prieto, G.A. and Mendoza, J.P. *Low cost didactic robotic platform based on player/stage software architecture and la fonera hardware*. IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje, 8(3), 2013, 126-132. doi:10.1109/RITA.2013.2273112.

[9] Santana, I., Ferre, M., Izaguirre, E., Aracil, R., and Hernandez, L. *Remote laboratories for education and research purposes in automatic control systems*. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 9(1), 2013, 547-556. doi:10.1109/TH.2011.2182518.

[10] Zimin, A.M., Korshunov, S.V., Shumov, A.V., and Troynov, V.I. *Remote access laboratories for training of engineers in the 21st century*. In 8th International Forum on Strategic Technology (IFOST), UNED, 2013.

[11] University Network of Interactive Laboratories, Nov. 8, 2013 [Online]. URL <http://unilabs.dia.uned.es/>.

[12] WebLab-Deusto research group (2013). WebLab- Deusto, Nov. 8, 2013 [Online]. URL <https://www.weblab.deusto.es/web/>.

[13] Página web de UNILABS. <http://online-lab.org/>.

[14] Página web de RexNet. <http://www.rexlab.net>.

[15] Página web de iLab. <http://ilab.mit.edu/>.

[16] Müller, D., Ferreira, J. *MARVEL: A Mixed Reality Learning Environment for Vocational Training in Mechatronics*. International Conference on Technology Enhanced Learning (TEL), Nov. 2003, Milano, Italy.

[17] A. Bagnasco, A. Poggi, G. Parodi, A. M. Scapolla, *A Configurable Remote Laboratory for the Flexible Setup of Experiments in Electronics*, in Advances on remote laboratories and e-learning experiences, edited by L. Gomes and J. Garcia Zubia, University of Deusto, Bilbao, 2007, ISBN: 978-84-9830-077-2.

[18] J. Zackrisson, I. Gustavsson, and L. Håkansson, *An Overview of the VISIR Open Source Software Distribution 2007*, Proceedings of the 2007 REV Conference, Porto, Portugal, June 25 - 27, 2007.

[19] Cooper, M., Colwell, C., Amaral, T. *Accessibility and usability in complex web based learning applications: Lessons from the PEARL project* in Proceedings of World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education, 2002, pp. 1358-1365.

[20] Página web de 'RedPitaya'. <http://redpitaya.com>.

[21] *Zynq-7000 All Programmable SoC Overview*. Xilinx, 2016 (disponible en <http://www.xilinx.com>).