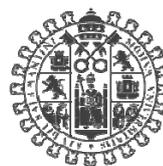


PROGRAMA DE MEJORA DE LA CALIDAD
PLAN ESTRATEGICO GENERAL 2013-2018
Planes de formación e innovación
Universidad de Salamanca



VNiVERSiDAD
D SALAMANCA

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL

Ref. ID17/098

Centro de ejecución

Departamento y Área de Ejecución

Miembros del equipo

Facultad de Ciencias

Física Aplicada / Electrónica

Yahya Moubarak MEZIANI

María Susana PÉREZ SANTOS

Jesús Enrique VELÁZQUEZ PÉREZ

OBJETIVOS Y MOTIVACIÓN

Este Proyecto de Innovación Docente (PID) titulado, “Medida y tratamiento de señales eléctricas: Desarrollo de contenidos prácticos”, se ha orientado a la docencia en Instrumentación Electrónica para la generación, adquisición y tratamiento de señales eléctricas en varias asignaturas de diferentes titulaciones en dos campus (Ciencias y EPSZA). La enseñanza de Instrumentación Electrónica se ha orientado tradicionalmente a alumnos con conocimientos específicos y sólidos de componentes y circuitos electrónicos antes de la asistencia a las sesiones de laboratorio. Sin embargo, las necesidades de medidas eléctricas son transversales y se plantean en todas las ciencias experimentales (Química, Física, ...) dado que los sistemas de medida exigen instrumentación electrónica al hacer la medida. En estas circunstancias han de presentarse contenidos no triviales en laboratorio a estudiantes con un background muy somero en medidas e instrumentación lo que conlleva la necesidad de reducir la complejidad de los montajes manteniendo la misma funcionalidad en los circuitos. Adicionalmente, de acuerdo con el objetivo #4, para optimizar los recursos hemos procurado que la metodología y casos prácticos puedan ser aprovechados transversalmente en la docencia de las siguientes asignaturas:

1. Instrumentación Electrónica - Grado en Física (Facultad de Ciencias)
2. Electrónica y Electrotecnia - Grado en Ingeniería Química(Facultad de Ciencias Químicas)
3. Instrumentación Electrónica - Grado en Ingeniería de Materiales EPSZA
4. Electrónica de Comunicaciones - Grado en Física (Facultad de Ciencias)
5. Caracterización de materiales y dispositivos - Máster en Física y Matemáticas (Facultad de Ciencias)
6. Física de Sensores - Máster en Física y Matemáticas (Facultad de Ciencias)

El objetivo general inicial del proyecto fue doble: Por un lado, el desarrollo y puesta a punto de implementaciones prácticas de circuitos y elementos de medida que pudieran ser usados de manera transversal en diversas asignaturas del Área de Electrónica. Por otro lado, la generación de contenidos para dos simuladores de reciente adquisición: Ultiboard y Multisim de la empresa National Instruments.

Los objetivos concretos derivados del doble objetivo principal fueron:

1. **Generación de contenidos de tipo hardware:** Desarrollo de placas PCB utilizando un nuevo software (Ultiboard) y para el diseño de placas de circuitos básicos usados en prácticas. Este objetivo incluye la fabricación de las placas PCB en el Taller de Electrónica en el I+D+i para ser usadas por los estudiantes en diversas titulaciones tras montar los componentes (se financiarán con este PID en la fase de prototipo). Los estudiantes usarán Ultiboard de National Instruments para generar los ficheros usados por la máquina CNC y medirán en laboratorio los PCBs finalizados.
2. **Generación de contenidos de tipo software:** La incorporación del software Multisim de National Instruments a la docencia nos exige rehacer toda la librería de ejemplos de circuitos que el grupo ejecutor ha generado a lo largo de los últimos años usando la aplicación PSPICE de Cadence (una aplicación comercial basada en el lenguaje de simulación de circuitos electrónicos SPICE que se desarrolló en el Electronics Research Laboratory de la Universidad de California, Berkeley, que se usa a nivel mundial para la simulación y diseño de

circuitos integrados). El presente proyecto ha cubierto sólo parcialmente la reescritura de la biblioteca de circuitos de simulación que usamos en docencia y hemos desarrollado a lo largo de más de una década. Los ficheros desarrollados están disponibles para los estudiantes en la plataforma Studium y se han generado tutoriales para autoaprendizaje. El uso por parte del alumno de los circuitos y modelos se podrá hacer con carácter presencial y no presencial.

3. **Aplicación a la enseñanza mediante el desarrollo de casos prácticos** específicos para cada asignatura/titulación. Esto permitirá la organización de prácticas en las que los alumnos puedan hacer aprendizaje basado en casos prácticos (circuitos, placas PCB, ...) e, incluso, Instrumentos Virtuales por parte del alumno en todas sus fases: concepción, implementación, test y optimización.

4. **Optimización de recursos técnicos y materiales** mediante el uso compartido de contenidos e infraestructuras de laboratorio entre diversas asignaturas y titulaciones de la USAL.

Los anteriores objetivos han sido plenamente alcanzados en el presente proyecto, como hemos indicado más arriba, en los próximos años continuaremos el esfuerzo de traducir la biblioteca de circuitos generada en PSPICE a Multisim.

EJECUCIÓN DEL PROYECTO

La Instrumentación Electrónica está presente de manera subyacente en cualquier instrumento de medida, observación o diagnóstico. Aunque desde sus inicios es una materia de tipo "hardware" extremadamente especializada y limitada en uso a ingenieros y técnicos con una formación larga y costosa, en los últimos años ha pasado a poder virtualizarse usando el paradigma sensor+DAQ (tarjeta de adquisición de datos)+Ordenador+Software de Control/Comunicación. Este paradigma permite una gran flexibilidad de diseño, disponibilidad de datos, sinergias entre equipos de desarrollo, etc. y, no lo menos importante, a facilitar su uso por personal no altamente especializado (es decir, accesible a estudiantes de los primeros cursos de Grado).

Nuestro grupo ha sido pionero en la USAL en la introducción de tecnología de virtualización de la instrumentación electrónica tanto en laboratorios de investigación como en su uso en docencia utilizando LabView como software de Control/Comunicación. Las ventajas de la Instrumentación Virtual son sobradamente conocidas en términos de coste frente a una instrumentación tradicional y esas ventajas nos animaron a su implementación en docencia. Sin embargo, los costes siguen siendo elevados en plataformas profesionales basadas en soluciones de National Instruments (NI) propietario de LabView. Estos costes se derivan en buena medida de su carácter propietario, pero no existen programas de reemplazo open source.

Nuestro área de conocimiento adquirió hace 8 años 10 licencias de LabView para educación, desde entonces las ha puesto a punto e implementado entornos completos de instrumentación virtual junto con tarjetas DAQ PCI en ordenadores Windows. Esta solución, sobre la que ya hemos desarrollado un número considerable de instrumentos virtuales para docencia en Grado y Máster, nos ha permitido la formación de un buen número de estudiantes y adquirir experiencia docente en el campo.

La principal limitación en la aplicabilidad y mejora de la enseñanza en el entorno descrito es que en términos prácticos necesita la presencia en el laboratorio para desarrollar instrumentos virtuales y para utilizar LabView. Aunque en los últimos dos cursos National Instruments cambió su política y permitió instalar LabView a los estudiantes de manera gratuita en su ordenador personal durante seis meses. Bajo estas condiciones el desarrollo del instrumento virtual se pudo realizar por los estudiantes de manera no presencial antes de las sesiones de laboratorio. Esto nos ha permitido ganar una notable productividad en el desarrollo docente al permitir usar la herramienta de desarrollo software al estudiante un número de horas no limitado al de las sesiones prácticas. Desafortunadamente, la política de National Instruments cambió en 2017 y volvió a aplicarse una política restrictiva no gratuita. Mediante proyectos de renovación de prácticas y software para docencia, hemos obtenido financiación para adquirir licencias de Multisim, Ultiboard y LabView de National Instruments que hemos incorporado como una extensión de nuestra actividad en el presente proyecto de innovación.

Como hemos señalado, una parte substancial del proyecto se ha dedicado a trasladar contenidos, ahora desarrollados por nuestro grupo en software SPICE, para su uso en las nuevas herramientas por los estudiantes. Esto nos ha permitido actualizar y mejorar un gran número de prácticas de laboratorio correspondientes a más de una decena de asignaturas del Grado de Física y del Máster Universitario en Física y Matemáticas, los Grados de Ingeniería Informática en Zamora y Salamanca y Doble Grado en Ingeniería Mecánica e Ingeniería de Materiales y Grados en Ing. Mecánica e Ing. de Materiales. En concreto, la adquisición del software de National Instruments

sobre el que se ha trabajado produce un beneficio transversal en las todas las asignaturas que se relacionan.

El plan de trabajo que planteamos tuvo esencialmente dos partes que se ejecutaron de manera secuencial: la primera parte fue, como hemos señalado, el desarrollo de la simulación de circuitos clave en Multisim™, esto nos permite disponer de una batería de ficheros de entrada para Multisim que situaremos en Studium para que los estudiantes puedan simular tanto en el laboratorio como con sus licencias individuales fuera de la USAL. La segunda parte se dedicó a hacer implementación hardware tanto en bread-board como en PCB (usando Ultiboard™) de los circuitos clave para la docencia (osciladores, amplificadores, filtros, ...).

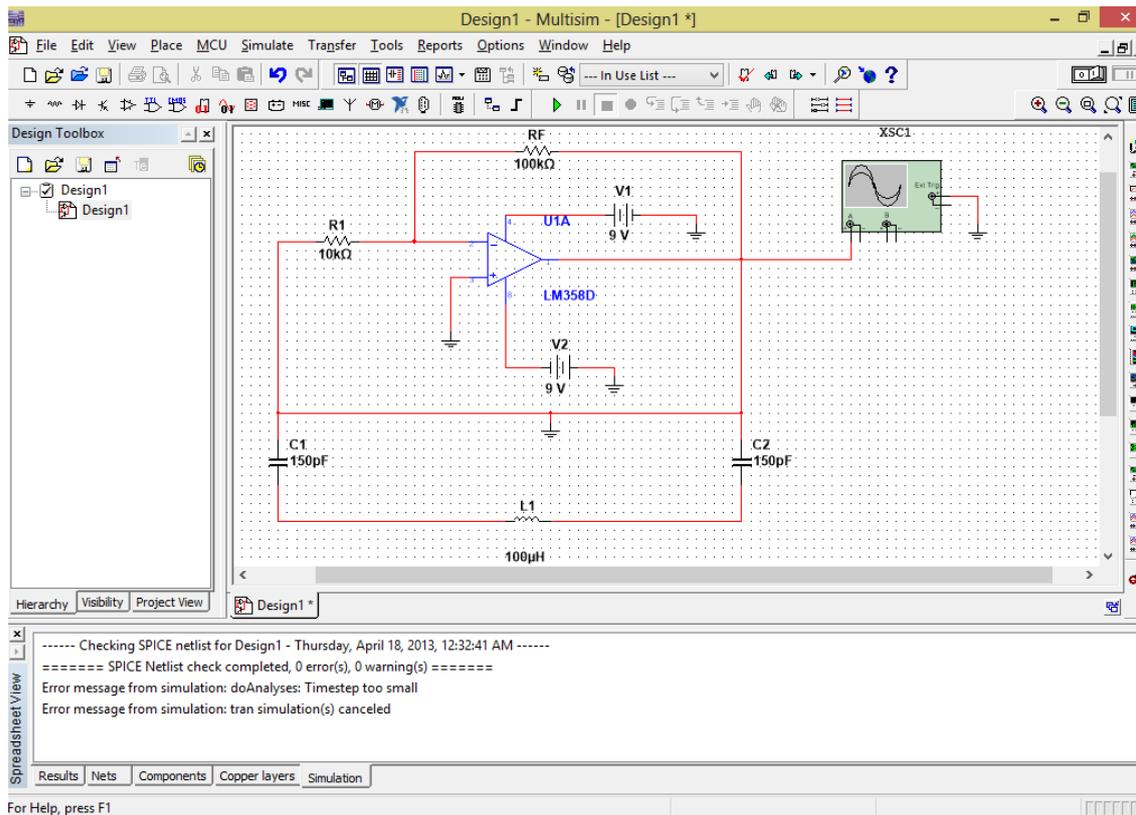


Figura 1. Interfaz gráfica de usuario de NI Multisim mostrando el esquema de un circuito oscilador Colpitts constituido por un amplificador operacional y elementos pasivos. También se muestra la simulación de un equipo de medida (osciloscopio). Esta funcionalidad hace especialmente interesante a Multisim para la docencia de asignaturas de Electrónica al incluir en la simulación equipos de medida replicando el procedimiento seguido en el laboratorio. El tiempo de aprendizaje para el uso básico es muy corto (una o dos sesiones) y permite simular el laboratorio real antes de enfrentarse a él para hacer los montajes y realizar medidas.

Los miembros del PID han desarrollado las acciones siguientes:

- Generación de contenidos, circuitos, para el entorno Multisim+Ultiboard+LabView de National Instruments.
- Montaje de prototipos de circuitos a nivel de hardware tanto en bread-board como fabricación PCB (usando Ultiboard para generar el layout que enviaremos a nuestra CNC)

- Generación de material de aprendizaje y autoayuda virtual que se hace disponible en Studium para los estudiantes matriculados en cada asignatura.

La nueva herramienta de simulación de circuitos electrónicos Multisim proporciona un entorno de simulación CAD (Computer Aided Design) usado en la industria que conserva el motor SPICE pero, a diferencia de la versión gratuita de PSpice que usábamos hasta ahora, aporta grandes ventajas en términos de simplicidad de uso de la interfaz y disponibilidad de bibliotecas de componentes comerciales actuales (transistores, diodos, etc). Es el principio básico de la solución para la enseñanza de circuitos que permite adquirir experiencia a través de la aplicación práctica del diseño, generación de prototipos y pruebas de circuitos eléctricos. El enfoque de diseño de Multisim ayuda a reducir las iteraciones de prototipos y a optimizar los diseños de tarjetas de circuito impreso (PCBs que fabricamos en la USAL en nuestras instalaciones del Laboratorio de Nanotecnología del I+D+i) desde el inicio del proceso. Los estudiantes pueden usar 20 análisis diferentes en Multisim para comprender completamente el comportamiento de numerosas clases de circuitos analógicos, digitales y de potencia. Multisim incluye análisis desde simulación básica AC y transitoria hasta simulación avanzada de ruido, barridos de parámetros y análisis espectral. En la Figura 1 mostramos la interfaz intuitiva y sencilla que permite la simulación de cualquier circuito electrónico. Multisim permite, como se enuncia en el título de este Proyecto de Innovación Docente simular el entorno real del laboratorio con componentes que se montan en el breadboard, conexiones metálicas, elementos de excitación (fuentes de señal), equipos de medida (osciloscopios, analizadores de espectro, ...).

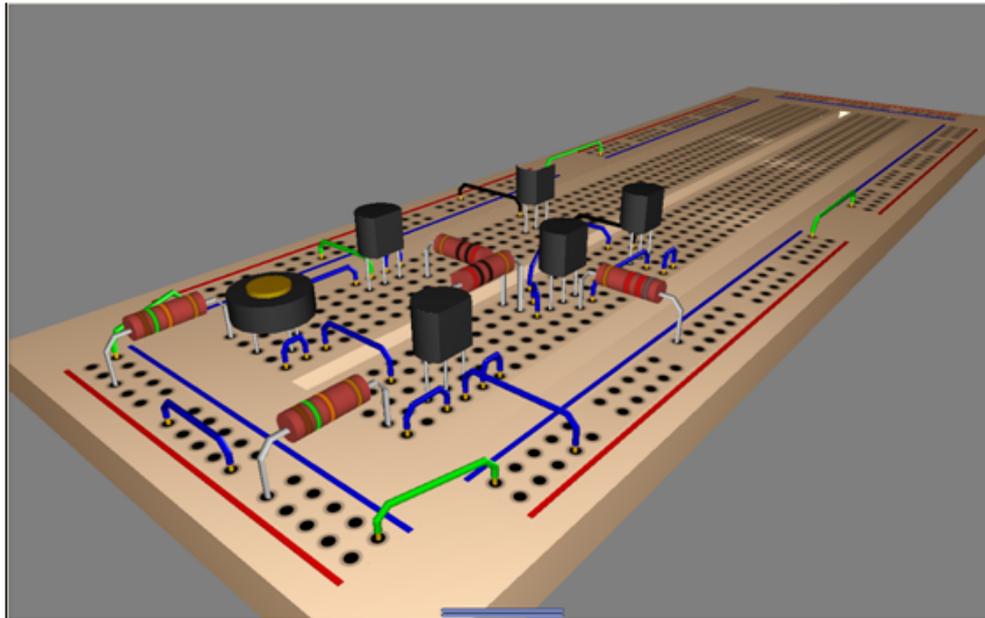


Figura 2. Prototipo de un circuito en breadboard generado de manera automática por Multisim una vez dibujado el circuito en el la interfaz de dibujo (esquemático).

En la Figura 2 mostramos un ejemplo particularmente significativo: una vez definido el esquema del circuito en

la interfaz gráfica (Figura 1) Multisim genera automáticamente la disposición de componentes en el breadboard que es lo que los estudiantes montan manualmente en el laboratorio antes de proceder a la medida.

Los recursos que se han empleado a lo largo de este PID son:

- Moodle (Studium) para la presentación, acceso a contenidos y entrega de informes por parte de los alumnos.
- Ultiboard y Multisim de National Instruments instalado en PCs para desarrollo (disponemos de 25 licencias a partir de octubre de 2017, más de 200 para que los estudiantes las usen fuera del laboratorio durante un año académico).
- LabView para generar instrumentos virtuales.
- Una DAQ de tipo MyDAQ de National Instruments para instrumentación digital de la señal medida (que hemos adquirido con cargo al presupuesto del área y otra con financiación del presente proyecto), dispositivos (sensores, circuitos integrados, elementos pasivos, ... algunos adquiridos con fondos del presente proyecto) para fabricar los prototipos. Conectores (parte de ellos serán comprados con fondos del área y parte con fondos de este proyecto). La tarjeta MyDAQ es de menor coste que las DAQs disponibles en nuestro laboratorio (disponemos de 7 que usamos con LabView). MyDAQ proporciona un entorno de desarrollo mucho más simple que el tradicional: puede ser controlada por LabView pero tiene funciones predefinidas que facilitan su uso (por ejemplo, generación de formas de onda).
- Instrumentos de medida de banco, ya disponibles en nuestros laboratorios de prácticas, que se usan para comprobación de resultados. 12 puestos de trabajo que incluyen entrenador, osciloscopio Keysight/Agilent de 2 canales de la serie 1000, Generador de Formas de onda Tektronix AFG1022 de 2 canales y multímetro portátil.
- Ordenadores PC. Disponemos de uno por puesto de laboratorio. Adicionalmente, los estudiantes pueden utilizar su ordenador personal fuera del laboratorio mediante una licencia de 1 año académico y/o crear una cuenta para usar una versión limitada online en <https://www.multisim.com/create/>

Las tareas que se han desarrollado en este PID siguen aproximadamente el mismo flujo de trabajo que deben seguir los estudiantes en cada circuito bajo estudio:

- Desarrollo e implementación del circuito (el proceso suele involucrar cálculos realizados a mano, búsqueda de componentes, consulta de hojas de datos técnicas de componentes, etc.).
- Simulación en Multisim y verificación de resultados obtenidos comparándolos con los esperados
- Montaje en un breadboard en el laboratorio.
- Medida (normalmente con el osciloscopio digital).
- Generación de layouts de placas PCB usando Ultiboard y realización de placas PCB por fresado mecánico.
- Generación de tutoriales y guiones (esta tarea, obviamente, no la realiza el estudiante).
- Redacción del informe final.
- Integración en la plataforma Studium.

RESULTADOS

En esta sección, presentamos brevemente algunos ejemplos concretos de entre el conjunto desarrollado para estudiantes.

Caso 1. Circuito montado en PCB. Dentro del ciclo de trabajo para construir un circuito los estudiantes deben comprender el alcance de cada fase del diseño.

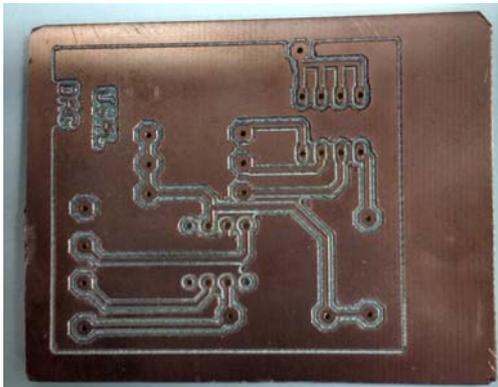


Figura 3a. Circuito grabado en PCB de una placa de circuito impreso (vista del reverso de cobre). En la USAL hemos implementado dos técnicas: el grabado por ataque químico a la lámina de cobre y una eliminación mecánica del cobre mediante una fresadora CNC.

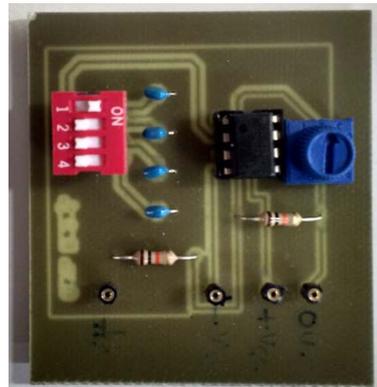


Figura 3b. Placa PCB de circuito impreso (vista del anverso) en la que aparecen los conectores para alimentación (positiva y negativa), de tierra y de salida. El circuito es un generador de onda cuadrada por relajación cuya frecuencia puede variarse con el switch de 4 posiciones que sirve para conectar/desconectar en paralelo 4 condensadores de igual valor.

La primera fase es el diseño con cálculos manuales en el que se utilizan modelos simplificados de los componentes más complejos (diodos y transistores). Esta fase puede recibir una gran atención en asignaturas avanzadas del Máster de Física y Matemáticas o Electrónica de Comunicaciones (4º curso del Grado en Física) o tratarse muy someramente en asignaturas de primeros cursos (Instrumentación Electrónica en el Grado de Física ó Fundamentos Físicos en Grados de Ingeniería Informática).

Tras esta fase, puede optarse por abordar las de montaje y medida directamente o mejorar el diseño obtenido en la fase de diseño mediante una simulación con Multisim antes de las fases finales de montaje y medida.

La fase de montaje suele desdoblarse en otras dos: en la primera se hace un montaje no definitivo (ver Figura 2) de los componentes en breadboard para verificación experimental de funcionamiento y prestaciones en comparación con los cálculos/simulaciones previos. En la mayoría de los circuitos estudiados tras las medidas se pasa a la fase de preparación de informes. Pero en circuitos que se montan de manera definitiva para su uso un montaje en breadboard no es satisfactorio por falta de estabilidad mecánica. En estos casos es necesario un montaje sobre PCB (Figuras 3a y 3b) que permite la soldadura de los componentes - a menudo se sueldan zócalos

en vez de los propios componentes para poder reemplazarlos en caso de destrucción de los componentes, en la Figura 3b puede apreciarse que el amplificador operacional y el switch se han montado sobre zócalos DIL de 8 pines.

En la asignatura de Instrumentación Electrónica del Grado de Física comenzamos la experiencia docente de crear miniproyectos PCB basados en Eagle permitiendo que cada grupo de estudiantes eligiese libremente qué circuito montar y generase el layout de la PCB que se fabrica mediante ataque químico. El inconveniente es que el ataque químico es peligroso y debe hacerse en un laboratorio de química del que no disponemos. Normalmente, el profesor fabricaba los PCBs para los estudiantes para seguridad de éstos. Los estudiantes recibían los PCBs, montaban los componentes y medían su respuesta como verificación del diseño de la PCB que ellos habían realizado. El modelo tenía los inconveniente de generar desechos que deben reciclarse y exigía una dedicación temporal del profesor para la fabricación inasumible. Con la puesta en marcha de una fresadora CNC para investigación en el Edificio del I+D+i hemos podido reemplazar el modelo: los estudiantes simulan el circuito con Multisim, transfieren el esquema a Ultiboard y el layout se envía para ser tratado por la máquina CNC que genera la placa PCB.

Caso 2. Modelización y Visualización de funcionamiento de circuitos básicos. Finalmente, señalamos otra necesidad docente que suele aparecer en asignaturas de primeros cursos de grado (especialmente en la docencia del área de Electrónica en la EPSZA, pero también en el Grado en Física). Normalmente, el estudiante tiene unos conocimientos básicos previos de Electricidad de carácter exclusivamente teórico y no ha recibido formación de ningún tipo en componentes electrónicos.

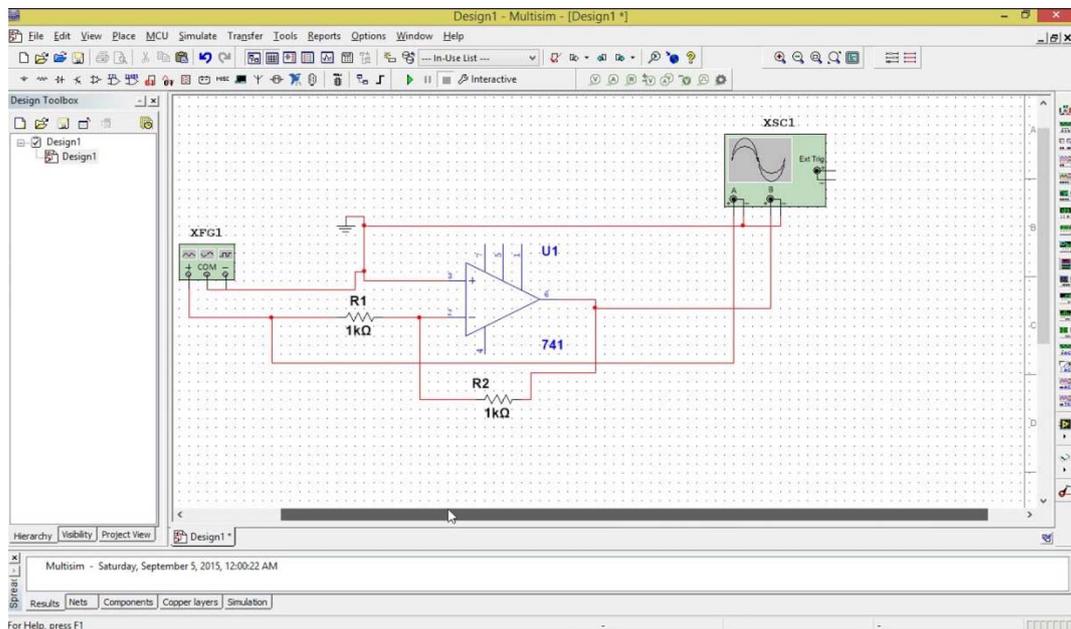


Figura 4. Interfaz de dibujo de Multisim mostrando la simulación de la excitación con un generador de funciones sinusoidal genérico (XFG1) de un amplificador inversor que utiliza un amplificador operacional (U1). La medida - visualización - se realiza con un osciloscopio genérico (XSC1).

En estas circunstancias en la docencia es deseable introducir herramientas de visualización de la respuesta del circuito. En la Figura 4, a modo de ejemplo, hemos mostrado la simulación de una operación de amplificación de señal (un concepto totalmente nuevo para el estudiante de primeros cursos de diferentes Grados). La visualización permite comprender los conceptos teóricos minimizando el tiempo necesario de asimilación de los mismos, incluso de algunos relativamente complejos.

Una ventaja clara de Multisim frente a PSPICE radica en que en Multisim se pueden integrar los elementos de excitación (generación de funciones) y medida (osciloscopio) directamente en el esquema imitando el entorno de trabajo físico que el estudiante debe operar en el banco de trabajo. De hecho, existe una biblioteca de modelos de equipos de los principales fabricantes que se pueden usar en vez de los genéricos mostrados en la Figura 4 haciendo más realista la simulación.

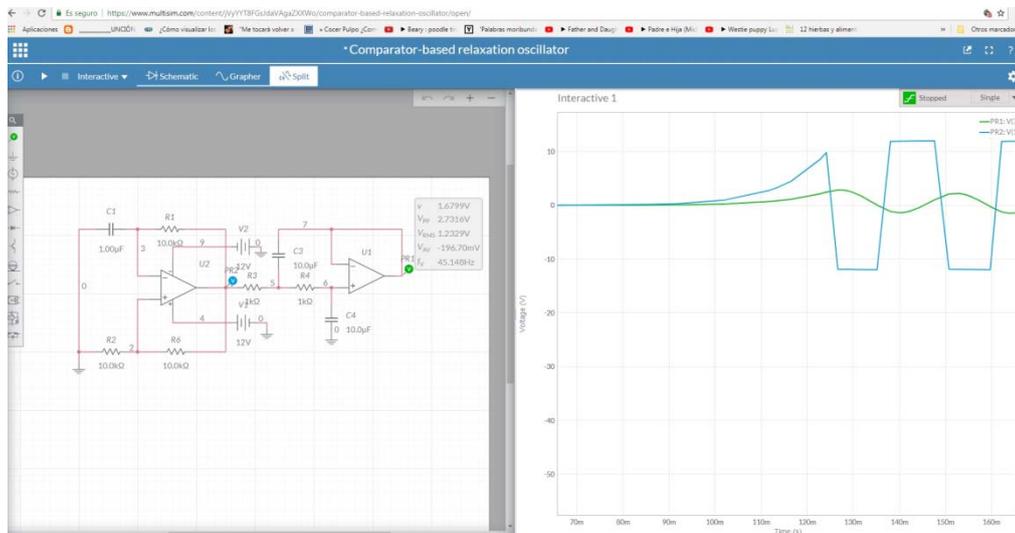


Figura 5. Interfaz online de Multisim mostrando la simulación de un oscilador basado en amplificadores operacionales (izquierda) junto con la medida - visualización -(derecha) que se realizaría con un osciloscopio de dos canales aplicando las sondas a los puntos en azul y verde.

National Instruments ofrece una versión online simplificada de MultiSim, gratuita simple e intuitiva (el aprendizaje de su uso no lleva mucho más de 30 minutos) que permite el dibujo del esquema eléctrico, la simulación y la visualización que permite al estudiante fijar rápidamente conceptos mientras estudia o asiste a clases de teoría. Un ejemplo de simulación online se muestra en la Figura 5.

Caso 3. Modelización y Visualización de funcionamiento de circuitos básicos. Para mostrar la capacidad de integración del pack de herramientas de desarrollo de National Instruments en las Figuras 6a y 6b mostramos los fronts ends de instrumentos virtuales desarrollados en la USAL usando LabView y un DAQ. El primero de ellos (Figura 6a) muestra la interfaz desarrollada para medir la respuesta de un sensor de luz de tipo LDR (light-dependent resistor) que se monta en serie con una resistencia de valor conocido para constituir un puente con la

LDR cuyo valor en $k\Omega$ se determina en la medida y varía en función de la potencia de luz incidente.

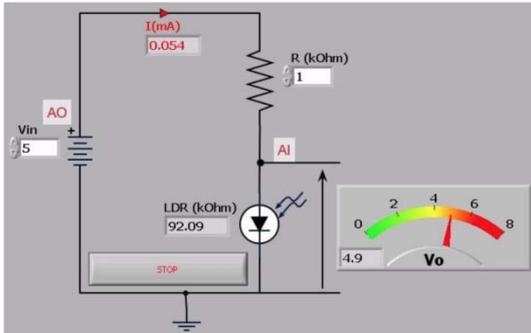


Figura 6a. Front End de un instrumento virtual capaz de medir la respuesta de un sensor LDR.

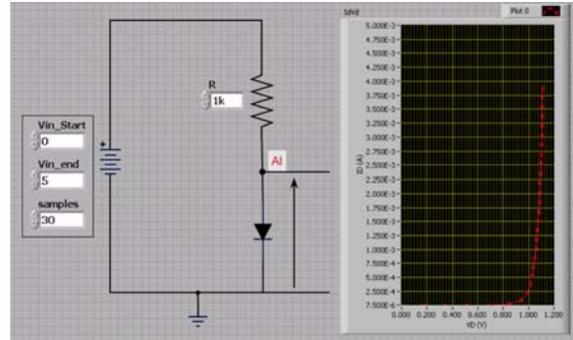


Figura 6b. Front End de un instrumento virtual capaz de medir la respuesta DC corriente tensión de un diodo usando una resistencia $R=1k\Omega$ en serie.

El segundo ejemplo (Figura 6b) presenta la interfaz desarrollada para medir la respuesta de un diodo de tipo p-n que, siguiendo el ejemplo anterior, también usa un divisor de tensión montando el diodo en serie con una resistencia conocida, el instrumento desarrollado permite obtener la curva I-V del diodo bajo estudio (ver gráfica en la Figura 6b).

CONCLUSIONES

Tradicionalmente la enseñanza de Instrumentación Electrónica se ha orientado a alumnos con conocimientos específicos de componentes y circuitos electrónicos. Sin embargo, las necesidades de medidas eléctricas se plantean en cualquier dominio de las ciencias experimentales (Medicina, Química, Física, etc.) dado que los sistemas de medida exigen instrumentación, que es siempre electrónica, tras el sensor. El uso de herramientas CAD Multisim y Ultiboard combinado en LabView en la docencia en este proyecto ha demostrado que ayuda a soslayar las dificultades matemáticas en el diseño de circuitos y visualizar el resultado de la función del mismo.

De hecho, hemos detectado una mayor implicación de los estudiantes en su propio aprendizaje usando herramientas CAD en razón de su participación activa. Las nuevas herramientas CAD (a diferencia de, por ejemplo, PSPICE) simulan no sólo el circuito si no el entorno total del laboratorio: incluyendo los instrumentos de medida que se seleccionan por su fabricante y modelo y se visualizan emulando el tablero de instrumento y la pantalla del equipo real en el laboratorio.

La estructura de la enseñanza basada en casos, como los mostrados en la Sección previa, se extiende creando circuitos y equipos de medida específicos adaptados a los contenidos de cada asignatura modulando que el estudiante se involucre en un grado mayor ya que puede simular los circuitos antes de venir al laboratorio o hacerlo a posteriori sin necesidad de acceder de nuevo al laboratorio (que normalmente tiene una alta ocupación). Esto permite hacer realidad el paradigma de Laboratorio Virtual más allá de la Instrumentación Virtual que ya hemos implementado hace una década en la USAL.

Globalmente hemos obtenido una mejora significativa de la práctica docente permitiendo la formación de alumnos en una disciplina experimental con un coste relativamente bajo usando, no obstante, elementos prácticos de última generación. Las bases objetivas de esta mejora se basan en que la metodología permite la mejora del aprendizaje al dotar de mayor autonomía (y tiempo no presencial) en la fase de desarrollo del circuito y la medida de la señal dejando más tiempo real de laboratorio para las pruebas experimentales y la medida de tipo hardware. Adicionalmente, la simulación del circuito bajo estudio desarrollado en el ordenador personal antes de la entrada al laboratorio deja más tiempo para realizar el montaje y la medida (antes se hacía en el propio laboratorio y, en algunos casos, los estudiantes no finalizaban el trabajo debiendo finalizarlo en la siguiente sesión).

Finalmente, debemos considerar que la capacitación básica de los estudiantes de la USAL se ha mejorado con el uso de herramientas de grado profesional y se logra una economías de escala en el aprendizaje ya que, por ejemplo en el Grado de Física, se aprende el uso de herramientas en 2º curso del Grado que se utilizan de nuevo en 4º y en el Máster.

En conclusión, la innovación docente está asegurada por el uso de herramientas innovadoras (las mismas que se usan en la industria Electrónica), lo que proporciona un valor añadido a la formación que la USAL imparte a sus estudiantes.