

Memoria de proyectos de innovación y buenas prácticas docentes

A. Datos generales del proyecto de innovación y buenas prácticas docentes

Título	Procedimientos semipresenciales para el diseño y fabricación de filtros en asignaturas de RF y microondas.		
Código	20-68	Fecha de Realización:	Curso 2020-2021
Coordinación	Apellidos	González Marín	
	Nombre	Enrique	
Tipología	Tipología de proyecto	3. Adecuación de la docencia e innovación educativa a la sociedad actual.	
	Rama del Conocimiento	Electrónica	
	Línea de innovación	3.1 Mejora de las competencias docentes en la universidad actual	

B. Objetivo Principal

La docencia de asignaturas de radiofrecuencia y microondas, de marcado carácter multidisciplinar, está generalmente condicionada por un número de créditos limitado con respecto a un contenido de materia extenso, por lo que el proceso de aprendizaje autónomo del alumno/a es de capital importancia. Esta perspectiva, de autonomía e independencia del alumnado ha adquirido un carácter aún más marcado, si cabe, en el contexto de docencia semipresencial asociada a la crisis ocasionada por la pandemia de COVID-19.

Este proyecto ha estado centrado en el estudio de viabilidad de la implantación de una herramienta docente, desarrollada por los miembros del equipo docente, para la mejora del proceso de enseñanza/aprendizaje semipresencial de asignaturas de electrónica de microondas y radiofrecuencia. La herramienta implantada consistía en un *software* de diseño de filtros sobre tecnología *microstrip*, con capacidad para exportar los *layout* de los diseños para su posterior fabricación y caracterización en las prácticas de laboratorio.

C. Descripción del proyecto de innovación y buenas prácticas docentes

Resumen del proyecto realizado: Objetivos, metodología, logros alcanzados, aplicación práctica a la docencia habitual, etc.

La mayor parte de las sofisticadas y potentes herramientas disponibles dedicadas a la simulación de circuitos y sistemas de radiofrecuencia y microondas tienen como principales defectos un elevado coste y una baja pendiente de aprendizaje de alumnado, haciendo complicado su uso de cara a la formación semipresencial del estudiante con una alta carga de trabajo autónomo. Un segundo hándicap, más general, en el ámbito de la enseñanza de la ingeniería de microondas aparece en las deficiencias para conectar apropiadamente los marcos teórico y experimental del proceso de aprendizaje del estudiantado, cuestión que resulta especialmente delicada por la alta complejidad conceptual de las asignaturas en este campo.

Para tratar de solventar estas dificultades, observadas a partir de la experiencia docente de los miembros del equipo, en esta propuesta se estudió la viabilidad de la implantación, en dos asignaturas de electrónica de microondas y radiofrecuencia, de un simulador de circuitos que permitía al alumno la construcción de filtros *microstrip* y su simulación mediante el modelado de cada una de sus partes para

su posterior fabricación y medida en el laboratorio. La herramienta objeto de estudio debía cumplir con los siguientes objetivos:

1) Contribuir al aprendizaje autónomo de los alumnos/as, permitiéndoles autoevaluar su nivel de competencias y guiándolos en el proceso de adquisición de las mismas. El *software* empleado debía disponer de una interfaz de uso intuitivo con un número de herramientas limitado, lo que permitiría su uso completo tras un corto tutorial. Además, el *software* debía poder ser usado fuera del laboratorio, frente a herramientas con licencia comercial solo disponibles en las aulas de la Universidad, explotando sus posibilidades ante posibles escenarios de docencia semipresencial.

2) Ser una herramienta útil en el laboratorio para la realización de prácticas, así como para la conexión teórico-experimental de las asignaturas de microondas y radiofrecuencia. La capacidad del *software* de generar elementos *hardware* a partir de los diseños de los estudiantes, debía ayudar a construir relaciones entre los conocimientos teóricos y las habilidades prácticas (medida de circuitos en el laboratorio) del alumnado.

3) Facilitar la comprensión y transferencia de conocimiento a los alumnos. La herramienta de visualización debía ayudar a comprender el flujo de diseño y los procedimientos involucrados a los alumnos permitiéndoles hacer las conexiones pertinentes entre los *layout* en que consisten los circuitos de alta frecuencia y su aprendizaje previo a baja frecuencia en los primeros cursos del grado. Asimismo, debía servir de apoyo en las clases teórico-prácticas al docente para abordar y ejemplificar los diseños.

Para llevar a cabo el proyecto se contó con un equipo de trabajo con experiencia docente demostrada en el ámbito de la ingeniería de microondas y radiofrecuencia, estructurado en torno a la realización de las siguientes tareas:

1. Diseño de un programa de prácticas soportado en el software de simulación.

Uno de los objetivos de este proyecto fue estudiar la integrabilidad del software de simulación dentro de los programas de prácticas de las asignaturas de microondas y radiofrecuencia. En particular, en la primera fase de estudio se consideraron las asignaturas de Electrónica de Microondas del Grado de Ingeniería en Tecnologías de Telecomunicación y Electrónica de Alta Frecuencia y Optoelectrónica del Master Universitario en Ingeniería de Telecomunicación. El software permitiría enriquecer el contenido de los seminarios de laboratorio actualmente en activo y buscar cubrir las carencias que el profesorado de estas asignaturas ha detectado en la conexión teórico-experimental de los contenidos de la asignatura.

2. Desarrollo de un guía de trabajo autónomo para el uso del software de simulación

Se creó una guía de aprendizaje autónomo para el diseño de filtros de microondas que usaba como soporte la herramienta el software desarrollado. Adicionalmente se desarrollaron guiones de laboratorio para el diseño de los filtros con el objetivo de potenciar el posible trabajo autónomo en una situación de confinamiento. Para facilitar el trabajo independiente y evitar escenarios injustos en el desarrollo del trabajo del estudiantado los diseños contenidos en estos guiones fueron particularizados para cada estudiante, por ejemplo, fijando la frecuencia de diseño del filtro en función de las cifras de su documento de identidad.

3. Revisión y actualización del software didáctico y comprobación de su compatibilidad con los elementos hardware.

En esta tarea se revisó y actualizó el paquete software objeto de estudio en este proyecto para su aplicación en clases, prácticas y como herramienta de trabajo autónomo para los alumnos. Se trata de un paquete ya desarrollado por un alumno de la extinta Ingeniería de Telecomunicación durante su Proyecto Fin de Carrera cuya capacidad de simulación y de exportación de *layout* fueron verificadas. En esta tarea se comprobó y actualizó el software para garantizar su compatibilidad en la exportación de *layout*.

4. Caracterización de los filtros sobre tecnología microstrip

Los diseños realizados mediante el *software* y los *layout* para su fabricación se compararon con diseños ya fabricados sobre tecnología *microstrip* disponibles en el laboratorio. Estos circuitos son los que actualmente están a disposición de los estudiantes para su medida y comparación con los resultados teóricos durante las sesiones presenciales de laboratorio.

5. Evaluación del proyecto

Finalmente se implementaron las herramientas de consulta y evaluación necesarias para conocer cual sería la experiencia de los alumnos ante una implantación de la herramienta desarrollada y detectar deficiencias.

Summary of the Project (In English):

Most of the sophisticated and powerful tools dedicated to the simulation of radiofrequency and microwave circuits systems have as their main defects: a high cost and a low slope of student learning, making their use difficult for the student's self-learning specially when they carry with a high load of autonomous work. A second and more general handicap in the field of microwave engineering teaching regards the deficiencies to properly connect the theoretical and experimental frameworks during the student's learning process, an issue that is especially delicate due to the high conceptual complexity of the subjects in this field.

In order to try to solve these difficulties, observed from the teaching experience of the team members, this proposal studied the implementation viability in two subjects of microwave and radio frequency electronics of a circuit simulator that allowed the student to build microstrip filters and simulate them by modeling each of its parts for subsequent fabrication and measurement in the laboratory. The studied tool should be intended to meet the following objectives:

1) To contribute to the autonomous learning of students, allowing them to self-assess their level of skills and guiding them in the process of learning. The software should have an intuitive user interface with a limited number of tools, which allowed its full use after a short tutorial. The possibility of using the software outside the laboratory, contrary to those tools with a commercial license only available in University classrooms, should enhance its possibilities in the face of possible mixed teaching scenarios.

2) To be a useful tool in the laboratory to carry out practical lessons, as well as to enhance the theoretical-experimental connection for microwave and radio frequency subjects. The ability of the software to generate hardware elements from the students' designs would help to build connections

between the theoretical knowledge and the practical skills (measurement of circuits in the laboratory) of the students.

3) To facilitate the understanding and transfer of knowledge to students. The visualization tool would help students understand the design flow and the procedures involved on it, allowing them to make the pertinent connections between the layouts of the high-frequency circuits and their previous low-frequency knowledge in the first years of the degree. Likewise, it would serve as support in the theoretical-practical classes for the teacher to approach and exemplify the designs.

In order to carry out the project, there was a work team with demonstrated teaching experience in the field of microwave and radio frequency engineering, structured around the following tasks:

1. Design of a lab syllabus supported by the simulation software.

One of the objectives of this project was to study the integration of the simulation software within the practical programs of microwave and radio frequency courses. In particular, in the first phase of the implementation viability, the Microwave Electronics course of the Engineering Degree in Telecommunication Technologies and the High Frequency Electronics and Optoelectronics course of the Master Degree in Telecommunications Engineering were considered. The software was used to enrich the content of the currently active laboratory seminars and sought to cover the gaps that the teachers of these subjects have detected in the theoretical-experimental connection of the subject's contents.

2. Development of an autonomous work guide for the use of the simulation software

An autonomous learning guide for the design of microwave filters was created, using the developed software as support. Additionally, laboratory scripts were developed for the design of the filters in order to promote the possible autonomous work in a lock-down situation. In order to facilitate the student independent work and avoid unfair scenarios in its development, the designs contained in these scripts were individualized for each student, for example, by setting the filter design frequency based on the figures on their identity document.

3. Review and update of the didactic software and check its compatibility with the hardware elements.

In this task, the software package used in the project was reviewed and updated for its application in the lessons, lab practices and as an autonomous work tool for students. It is a package already developed by a student of the old Telecommunication Engineering Degree during his Final Degree Project whose simulation and layout export capacity were verified. In this task the in-house software was checked and updated in order to validate its compatibility with the layout exportation.

4. Characterization of the filters on microstrip technology

The designs made using the in-house software and their layout for their fabrication were compared with designs already manufactured using microstrip technology available in the laboratory. These circuits are the ones that are currently available to students for their measurement and comparison with the theoretical results during the laboratory sessions.

5. Project evaluation

Finally, the necessary consultation and evaluation tools were implemented to find out what the students' experience would be in the case of an implementation of the developed tool and detect deficiencies.

D. Resultados obtenidos

En este apartado se detallan los resultados obtenidos a partir del proyecto de innovación docente.

En primer lugar, se ha desarrollado un programa de prácticas coordinado para las asignaturas de Electrónica de Microondas (3º Ingeniería en Tecnologías de Telecomunicación) y Electrónica de Alta Frecuencia y Optoelectrónica (Máster en Ingeniería de Telecomunicación). Puesto que la educación en competencias está íntimamente relacionada con la experiencia práctica, con la necesidad de relacionar y usar conocimientos para lograr un fin determinado, el programa práctico de la asignatura constituye una herramienta esencial en el proceso de aprendizaje en el EEES.

Por ello, el objetivo más importante que se planteó constituía el diseño de un programa de prácticas adecuado a las necesidades de las dos asignaturas desde una perspectiva semi-presencial. Actualmente se está trabajando en la redacción de un manual de laboratorio de radio-frecuencia y microondas que cubra las necesidades del programa de prácticas desde esta perspectiva.

En segundo lugar, se ha comprobado y actualizado un paquete de herramientas software (MWSim) destinado a cubrir las distintas fases de la formación del alumnado con el propósito de:

- a) Apoyar la docencia teórica y práctica con la visualización de los fenómenos físicos que gobiernan el comportamiento de los circuitos de muy alta frecuencia o la simulación de dichos circuitos.
- b) Mejorar del proceso de formación autónoma del alumnado mediante herramientas *software* de simulación numérica que permitan la fijación de los conceptos introducidos en clase. Estas herramientas deben solventar los problemas existentes (ya mencionados) en las que se encuentran actualmente disponibles que son herramientas comerciales.

El objetivo de esta segunda acción está básicamente relacionado con la fijación del conocimiento a través de experiencias prácticas y ejemplos de circuitos reales con interés en el diseño de circuitos de alta frecuencia.

Con respecto al primer punto: el diseño del programa de prácticas se dividió esencialmente en dos partes: el laboratorio de instrumentación y el laboratorio de simulación numérica.

- a) En el laboratorio de instrumentación, se desarrolló un sistema de prácticas que optimiza el uso de los recursos hardware del laboratorio, potenciando el trabajo en grupo del alumnado. Los alumnos acceden al uso de algunos de los principales instrumentos en el rango de las microondas, como el Analizador de Redes, el Analizador de Espectros o el Analizador de Figura de Ruido.
- b) Para el laboratorio de simulación numérica, se estudiaron las denominadas versiones de

evaluación ofrecidas por programas profesionales de diseño de circuitos (*PSPICE, Ansoft Designer, Microwave Studio...*). Se comprobó que las principales herramientas disponibles de forma gratuita, como *Agilent ADS* y *Ansoft Designer*, son versiones de funcionalidad limitada, que no permiten realizar algunas de las funciones deseadas en el programa de prácticas. En particular, carecen de un sistema adecuado de importación/exportación de datos y geometrías de circuitos. Sin embargo, el uso de cualquiera de estos dos programas para la comparación con los resultados de simulaciones con el simulador MWSim es muy útil y por tanto altamente recomendado su uso en un laboratorio avanzado de microondas. Sin embargo, para la realización del proceso de diseño/optimización/fabricación que se considera en una potencial implantación del programa prácticas, se consideró el paquete de herramientas MWSim.

Con respecto al segundo punto, de comprobación y actualización del software MWSim, se resumen a continuación las principales características del mismo.

Simulador básico de microondas MWSim

Existen numerosas herramientas comerciales de simulación de circuitos de RF y microondas. La mayor parte de ellas consisten en la integración de simuladores electromagnéticos 3D o 2.5D (simuladores 2D que tienen en cuenta la presencia del plano de tierra en estructuras microstrip) en el diseño de sistemas basados en bloques (mediante modelado de parámetros S, en este caso). Algunos ejemplos de este tipo de paquetes comerciales son el sistema de *Agilent Advanced Design System (ADS)*, *AWR Corp. Microwave Office* o el programa *Ansoft Designer*.

Sin embargo, el uso adecuado de estas herramientas hace necesario un entrenamiento intenso que no se puede alcanzar en un curso introductorio de microondas. Además, como ya se ha mencionado sólo algunos de estos códigos están disponibles en versiones de estudiantes, y estas versiones están habitualmente truncadas de forma que buena parte de su funcionalidad desaparece. Como la solución de las ecuaciones de Maxwell mediante métodos numéricos es inherentemente necesaria en el diseño de antenas, hemos considerado que la docencia de microondas debe centrarse en el modelado mediante parámetros de *scattering* y que por tanto el diseño CAD (Computer-Aided Design) en la asignatura de microondas se centraría en la simulación basada en modelos de líneas de transmisión planares.

Un código excelente basado en modelos de líneas de transmisión y de marcado carácter docente es PUFF. Este código fue desarrollado a finales de la década de 1980 y ha sido usado durante casi tres décadas con asiduidad en el entorno académico. Sus principales ventajas respecto a los códigos comerciales son:

1. Es más intuitivo, pues permite a los estudiantes ver el circuito que simulan, en contraste con otros simuladores basados en modelo (por ejemplo, el de ADS).
2. Los modelos implementados son simples pero suficientemente precisos para un curso introductorio.
3. Es una herramienta gratuita, en contraste con los carísimos códigos comerciales.

Sin embargo, PUFF fue diseñado para MS-DOS y por tanto su estética y manejo difieren de los estándares actuales. Siguiendo el ejemplo de PUFF, en este proyecto de innovación docente se ha chequeado y actualizado MWSim, un simulador basado en modelos. Sus principales diferencias con PUFF son:

i) interfaz gráfico actualizado a los estándares actuales.

ii) una mayor variedad de modelos microstrip, lo que le permite obtener resultados más precisos similares a los de herramientas comerciales.

iii) un formato de entrada/salida totalmente compatible con el estándar *Touchstone* (que permite el uso de técnicas de *embedding* y *de-embedding* con medidas del analizador vectorial de redes (VNA) del laboratorio, con simuladores electromagnéticos y con los datos proporcionados por fabricantes de semiconductores.

iv) incluye la posibilidad de exportar ficheros al formato Gerber. La última característica es especialmente importante pues permitirá a los estudiantes exportar sus diseños a ficheros de geometría y fabricarlos usando máquinas automáticas de fresado, como las existentes en el laboratorio 3.11 de la ETSIIT.

Las figuras 1 y 2 muestran dos de las pantallas del simulador (introducción de datos y resultados). En las figuras 3 y 4 se muestra un filtro paso bajo diseñado que fue fabricado haciendo uso de las características de exportación de MWSim. Se han redactado manuales de ayuda y de explicación del método numérico empleado.

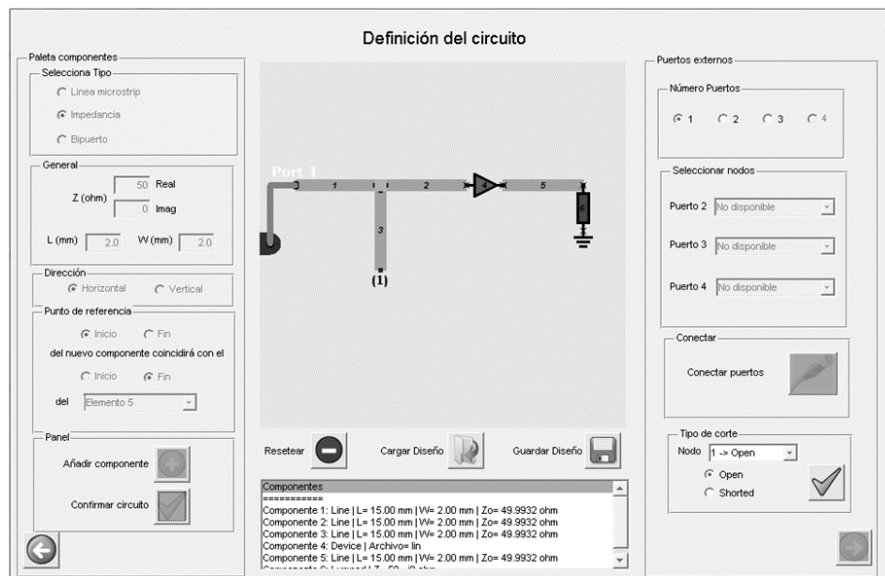


Figura 1. Interfaz de usuario del simulador MWSim

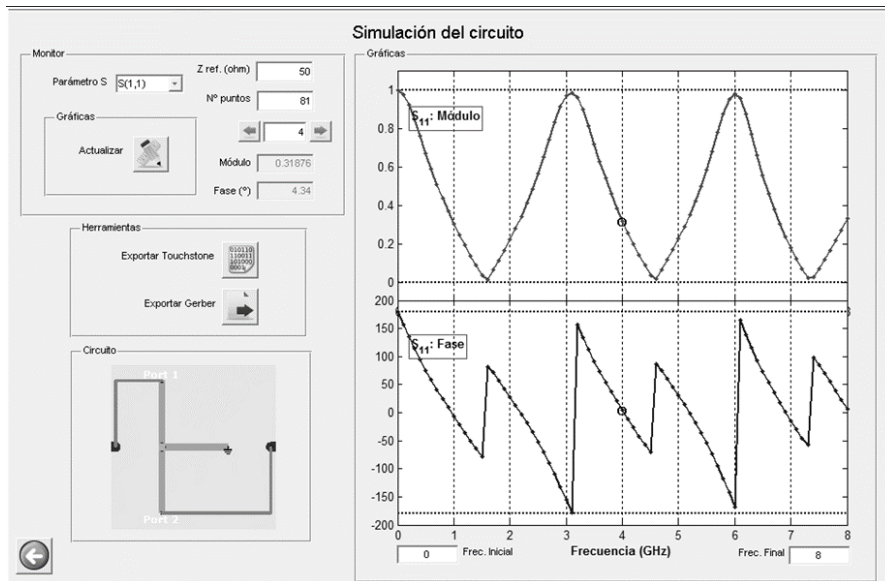


Figura 2. Pantalla de resultados del simulador MWSim

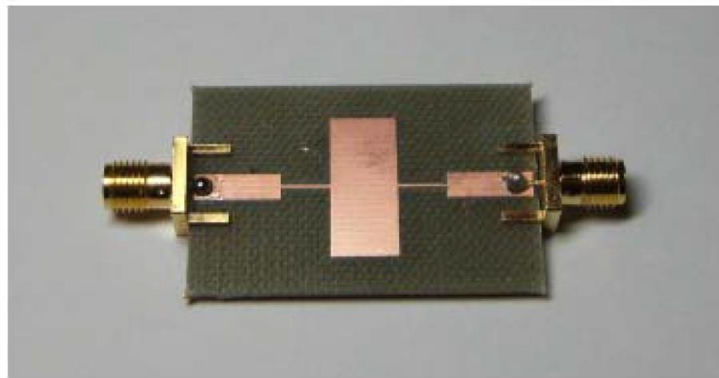


Figura 3. Filtro paso bajo fabricado a partir de un diseño realizado en MWSim

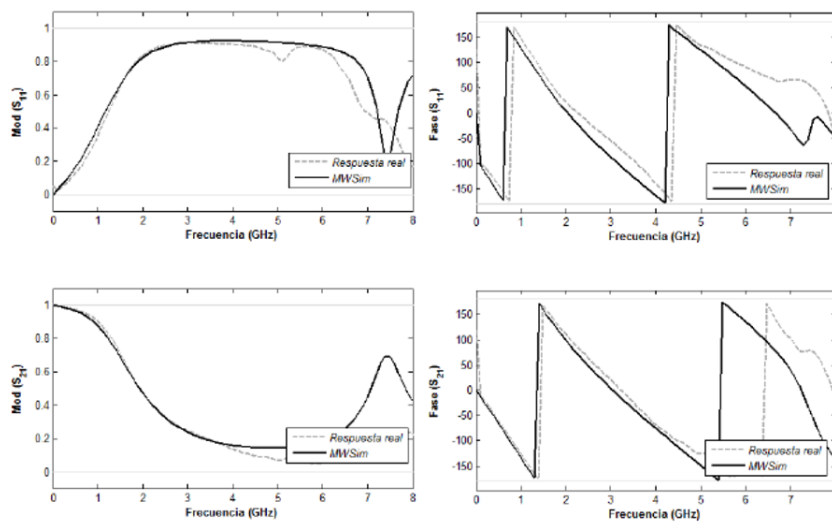


Figura 4. Respuesta del filtro diseñado y fabricado con MWSim y medido con el VNA.

Results obtained (In English)

This section details the results obtained from the teaching innovation project, which consists of:

In the first place, a coordinated program has been developed for the subjects of Microwave Electronics (3rd Engineering in Telecommunications Technologies) and High Frequency Electronics and Optoelectronics (Master in Telecommunications Engineering). Since education in skills is closely related to practical experience, with the need to relate and use knowledge to achieve a specific purpose, the practical program of the subject is an essential tool in the learning process in the EHEA.

For this reason, the most important objective that was raised was the design of a laboratory syllabus adapted to the needs of the two subjects from a semi-face-to-face perspective. Currently, work is being done on the drafting of a radio-frequency and microwave laboratory manual that covers the necessities of the laboratory syllabus from this perspective.

Secondly, a software tool package (MWSim) has been checked and updated to cover the different phases of student training in order to:

- a) Support theoretical and practical teaching with the visualization of the physical phenomena that govern the behavior of very high frequency circuits or their simulation.
- b) Improve the process of autonomous training of students through numerical simulation software tools that allow the assimilation of the concepts introduced in class. These tools should solve the existing problems in commercial tools.

The objective of this second action is basically related to the establishment of knowledge through practical experiences and examples of real circuits with an interest in the design of high frequency circuits.

Regarding the first point: the design of the practical program has been essentially divided into two parts: the instrumentation laboratory and the numerical simulation laboratory.

- a) In the instrumentation laboratory, a system has been developed to optimize the use of the laboratory hardware resources, enhancing the group work of the students. Students have access to the use of some of the main instruments in the microwave range, such as the Network Analyzer, the Spectrum Analyzer or the Noise Figure Analyzer.
- b) For the numerical simulation laboratory, the so-called evaluation versions offered by professional circuit design programs (PSpice, Ansoft Designer, Microwave Studio...) have been considered. The main tools available for free, such as Agilent ADS and Ansoft Designer, have been found to be limited-functionality versions, which do not allow you to perform some of the desired functions in the lab syllabus. In particular, they lack an adequate system for importing / exporting data and circuit geometries. However, the use of either of these two programs for comparison with the simulation results with the MWSim simulator is very useful and therefore highly recommended for use in an advanced microwave laboratory. However, to carry out the design / optimization / manufacturing process that is intended to be carried out in the lab, the MWSim tool package has been considered.

Regarding the second point, of checking and updating the MWSim software, the main characteristics of the same are summarized below.

MWSim microwave basic simulator

There are numerous commercial RF and microwave circuit simulation tools. Most of them consist of the integration of 3D or 2.5D electromagnetic simulators (2D simulators that take into account the presence of the ground plane in microstrip structures) in the design of block-based systems (by modeling S parameters). Examples of such commercial packages are the Agilent Advanced Design System (ADS), AWR Corp. Microwave Office, or the Ansoft Designer program. However, proper use of these tools necessitates intense training that cannot be achieved in an introductory microwave course. Furthermore, as already mentioned, only some of these codes are available in student versions, and these versions are usually truncated so that a good part of their functionality disappears. As the solution of Maxwell's equations through numerical methods is inherently necessary in antenna design, we have considered that microwave teaching should focus on modeling using scattering parameters and that therefore CAD (Computer-Aided Design) design in the microwave subject would focus on simulation based on planar transmission lines models.

An excellent code based on models of transmission lines and with a marked teaching character is PUFF. This code was developed in the late 1980s and has been used extensively for nearly three decades in academic settings. Its main advantages over commercial codes are:

1. It is more intuitive, allowing students to see the circuit they simulate, in contrast to other model-based simulators (eg ADS).
2. The implemented models are simple but accurate enough for an introductory course.
3. It is a low cost tool, in contrast to the very expensive commercial codes.

However, PUFF was designed for MS-DOS and therefore its interface and handling differ from current standards. Following the example of PUFF, in this teaching innovation project, MWSim, a model-based simulator, has been checked and updated. Its main differences with PUFF are:

- i) a graphical interface updated to current standards.
- ii) a greater variety of microstrip models, which allows to obtain more precise results similar to those of commercial tools.
- iii) a totally input / output format. compatible with the Touchstone standard (which allows the use of embedding and de-embedding techniques with measurements from the laboratory vector network analyzer (VNA), with electromagnetic simulators and with the data provided by semiconductor manufacturers.
- iv) includes the possibility to export files to Gerber format. The last feature is especially important as it will allow students to export their designs to geometry files and manufacture them using automatic milling machines, such as those in laboratory 3.11 of the ETSII

Figures 1 and 2 show two of the simulator screens (data entry and results). Figures 3 and 4 show a designed low-pass filter that was manufactured using the export features of MWSim. Help manuals and explanations of the numerical method used have been written.

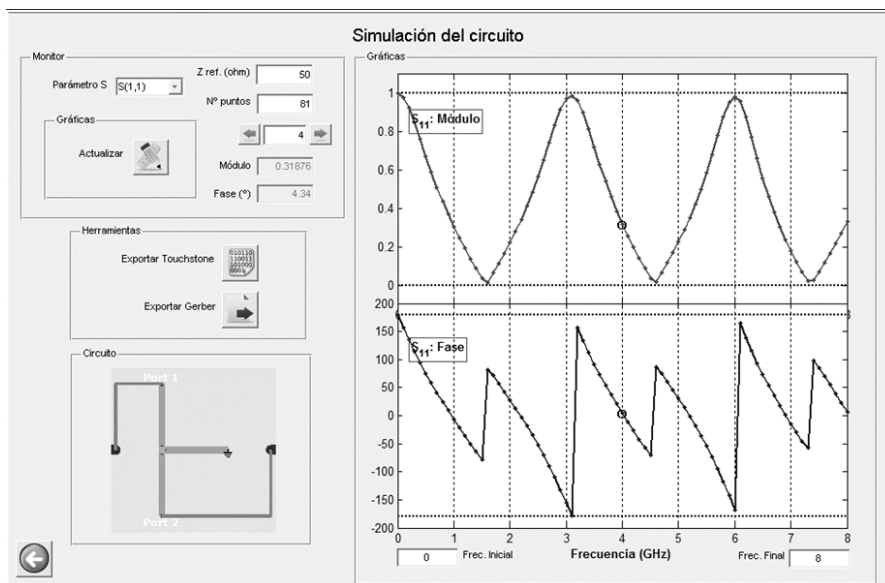


Figure 1. MWSim simulator user interface

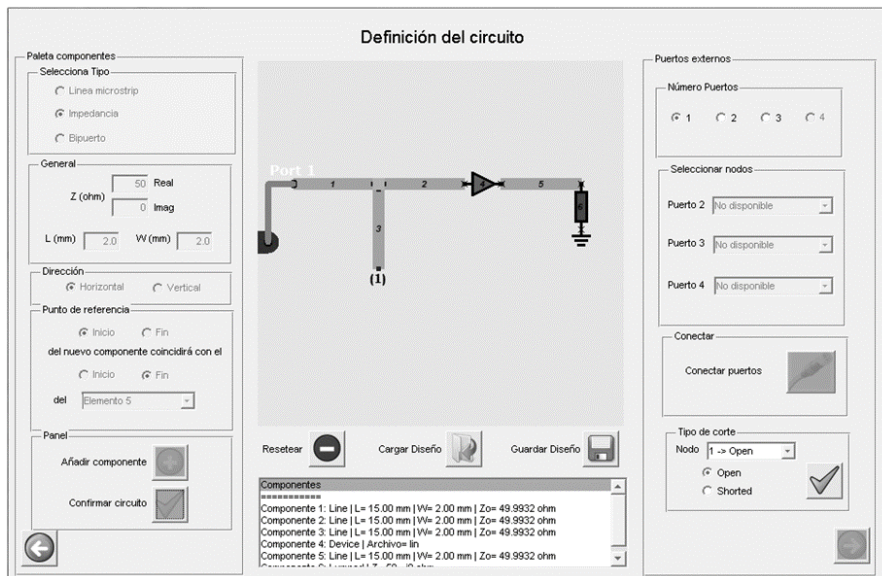


Figura 2. Results screenshot of the MWSim simulator

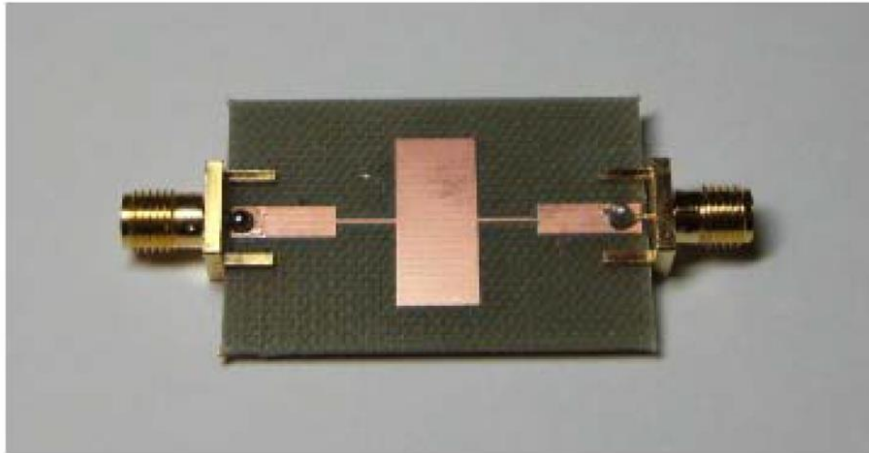


Figure 3. Low-pass filter fabricated from a design carried out with MWSim

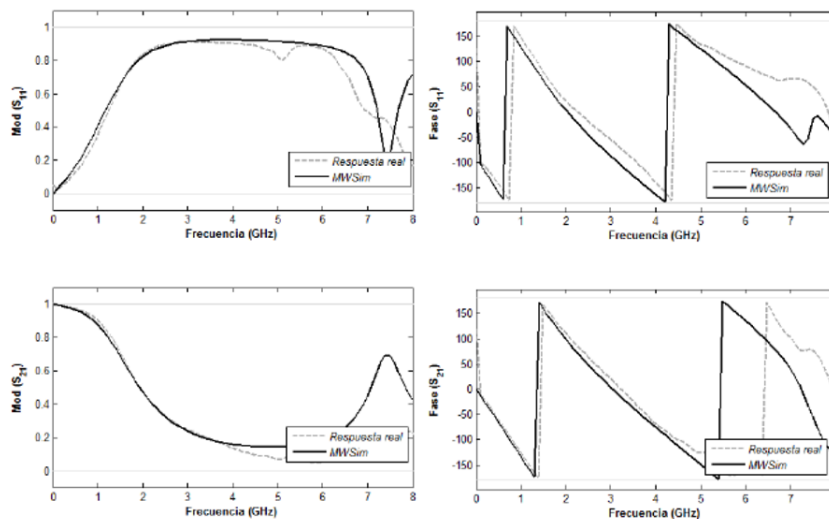


Figura 4. Response of the microwave filter designed and fabricated with MWSim and measured with VNA

E. Difusión y aplicación del proyecto a otras áreas de conocimiento y universidades

En el Grado en Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicaciones y en el Máster Universitario de Ingeniería de Telecomunicación existen varias asignaturas que pueden beneficiarse de este proyecto de innovación tanto de forma directa como indirecta. Entre las que se ven afectadas de forma directa, se encuentran las asignaturas de “Electrónica de Microondas” y “Electrónica de Radiofrecuencia y Optoelectrónica”, donde todo el alumnado podría acceder al material resultante del proyecto para su uso en la resolución de los problemas planteados por los profesores.

De forma indirecta, los alumnos y profesores de las asignaturas de “Transmisión de Ondas” y “Antenas y Propagación” pueden beneficiarse de los resultados obtenidos en el proyecto, ya que algunas de las herramientas propuestas pueden ser también de utilidad en el desarrollo de la docencia teórica y en la formación autónoma del alumnado de estas asignaturas.

Por último, se pretende desarrollar una línea de investigación docente en circuitos y subsistemas de microondas basada en varias de las herramientas que se han evaluado en este proyecto mediante la colaboración de alumnos de Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación y de Ingeniería Electrónica Industrial a través de sus Trabajos Fin de Grado, por lo que la asignatura correspondiente en cada una de estas titulaciones también se vería beneficiada por los resultados de este proyecto.

Dissemination and application of the project to other areas of knowledge and universities (In English)

In the Telecommunications Technology Engineering Degree and in the Master Degree in Telecommunications Engineering, there are several subjects that can benefit from this innovation project both directly and indirectly. Among those that are directly affected are the subjects of "Microwave Electronics" and "Radio Frequency Electronics and Optoelectronics", where all students could access the material resulting from the project for use in solving the problems raised by the teachers.

Indirectly, students and teachers of the subjects of "Wave Transmission" and "Antennas and Propagation" can benefit from the results obtained in the project, since some of the proposed tools may also be useful in the development of the theoretical teaching and in the autonomous training of students in these subjects.

Finally, the work team of the project is intended to develop a line of teaching research in microwave circuits and subsystems based on several of the tools that have been evaluated in this PID through the collaboration of students of Telecommunication Technologies Engineering and Industrial Electronic Engineering through their Final Degree Projects, so the corresponding subject in each of these degrees would also benefit from the results of this project.

F. Estudio de las necesidades para incorporación a la docencia habitual

El uso de las TIC puede ser de gran ayuda para mejorar la calidad de la docencia teórica y ayudar al desarrollo autónomo del alumnado. Este aspecto es de especial relevancia en el ámbito formativo de la Ingeniería en Tecnologías de Telecomunicación, en el que éste plan de innovación docente se ha circunscrito mayoritariamente, puesto que las TIC son expresión directa del ámbito competencial del alumnado

En particular, este proyecto de innovación docente ha estado dirigido a asignaturas de los últimos cursos de la carrera, en las que, por tanto, los alumnos están próximos a egresar del ámbito universitario y pasar al mundo laboral donde deberán enfrentarse a nuevos retos y problemas propios de la ingeniería.

Los alumnos de estos últimos cursos de los grados y másteres universitarios, y en particular aquellas enseñanzas con un marcado carácter técnico, experimentan una transición en su proceso de formación: el abanico de competencias básicas que han desarrollado durante los primeros cursos debe evolucionar hacia problemas de alto nivel enfocados a su futuro desarrollo profesional. De esta manera, deben de ser capaces de analizar y usar la información a su disposición para investigar y generar nuevos procesos y técnicas que supongan una innovación o mejora sobre los ya existentes prestando así un servicio a la sociedad. Este proceso se manifiesta muy marcadamente en la ingeniería electrónica y telecomunicaciones.

De acuerdo con el análisis previo, la creación de nuevas herramientas que permitan el aprendizaje independiente de los estudiantes debe ser uno de los pilares básicos para la mejora y evolución de las asignaturas de RF y microondas en el EEES (en un contexto general) y en la situación ocasionada por el SAR-CoV-2 (en el contexto específico actual).

El proceso de aprendizaje puede acelerarse en gran medida mediante el uso de herramientas *software* que les permitan afianzar los conceptos teóricos. En particular, el acceso por parte de los alumnos a programas de simulación numérica es una de las técnicas más adecuadas para la docencia de circuitos de radiofrecuencia y microondas, y para su formación autónoma. Para completar el círculo teórico-práctico, tan necesario en las enseñanzas técnicas, es importante trasladar los conocimientos teóricos adquiridos a una experiencia práctica. La implementación de los diseños realizados sobre un soporte físico y su validación experimental son esenciales para reforzar la comprensión de los conceptos por parte de los estudiantes y adicionalmente incentivar su curiosidad y motivación por temáticas técnicamente complejas.

Esto hace más evidente la necesidad de un aprendizaje diferente al existente hasta el momento donde las competencias tomen un papel relevante. Es por esto precisamente que se ha intentado poner especial atención a la adquisición de las competencias detalladas en las guías oficiales tanto a la hora de elaborar el programa de prácticas como en la evaluación de la herramientas de apoyo a la docencia que fundamentan este proyecto, que buscaba conseguir un equilibrio entre conocimiento, habilidades y competencias

G. Puntos fuertes, las dificultades y posibles opciones de mejora

En este proyecto se ha abordado la viabilidad de la implantación de una herramienta software de simulación de circuitos de microondas que permita facilitar a los alumnos el estudio autónomo de filtros de microondas. También se ha desarrollado un sistema de prácticas que permita al alumnado alcanzar las competencias necesarias para su ingreso en un entorno profesional.

Por una parte, la adecuada selección de las prácticas a realizar y la correcta coordinación con la docencia teórica implican una mejora en los procesos de entendimiento (paso de teoría a prácticas) y abstracción (paso de práctica a teoría) del alumnado.

Al proporcionar herramientas para la formación autónoma del alumno, se puede incrementar su interés por la asignatura, facilitándole guías para la solución de problemas complejos, mejorando su intuición respecto al funcionamiento de los sistemas estudiados en función de determinados parámetros, y potenciando cualidades y metodologías que les permitan un mejor acceso al mercado laboral.

Mediante el uso de herramientas de visualización adecuadas, con tecnologías informáticas a las que el alumnado suele estar muy habituado, se puede alcanzar un mayor grado de comprensión de la fenomenología implicada en los procesos físicos involucrados en el diseño de circuitos de muy alta frecuencia.

El proyecto es extensible a otros elementos temáticos de la asignatura como redes de adaptación y es dependiente de la materialización de los layouts diseñados por los propios alumnos, lo que conlleva algunas dificultades relacionadas con la programación temporal del trabajo de laboratorio y el gasto en fungibles requerido para el trabajo individualizado de los estudiantes.

En este sentido las limitaciones presupuestarias del proyecto no han permitido una implantación plena de la propuesta metodológica, aunque sí el estudio positivo de su viabilidad. Cabe destacar que el proyecto constituye un primer paso en el camino de implantación de un sistema de prácticas autónomas para el estudiantado de asignatura de microondas y radiofrecuencia para cuya aplicabilidad sostenida en próximos cursos ya se están estudiando vías de financiación a través del programa de ayuda a la docencia práctica de la Universidad. Para una evaluación más detallada de las potencialidades de mejora es necesario poder evaluar durante el medio plazo las dificultades que los alumnos puedan afrontar en el aprendizaje y explotación de la herramienta analizada una vez implantada.