

## VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA

### EL SECRETARIADO DE INFRAESTRUCTURA CIENTÍFICA Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

# INFORMA

## LABORATORIO DE PROTOTIPADO Y MEDIDAS DE RADIOFRECUENCIA

El Grupo de Telecomunicación de la Universidad de Extremadura ha incorporado la adquisición de un “**LABORATORIO DE PROTOTIPADO Y MEDIDAS DE RADIOFRECUENCIA**” con cargo al proyecto **EQC2019-005583-P** concedido por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades a través de las Ayudas para la Adquisición de Equipamiento Científico-Técnico correspondientes al Subprograma Estatal de Infraestructuras de Investigación y Equipamiento Científico-Técnico (Plan Estatal I+D+i 2017-2020) (convocatoria 2019), cofinanciado por la Agencia Estatal de Investigación (AEI) y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), y la Junta de Extremadura, cuyo Responsable Científico es el investigador **Yolanda Campos Roca**.

**ADQUISICIÓN DE INFRAESTRUCTURA CIENTÍFICO-TECNOLÓGICA PARA LA  
UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA****LABORATORIO DE PROTOTIPADO Y MEDIDAS DE RADIOFRECUENCIA  
(EQC2019-005583-P)*****OBJETIVO Y FUNCIONALIDAD DEL EQUIPAMIENTO ADQUIRIDO***

El equipamiento adquirido ha permitido la creación en la Universidad de Extremadura, concretamente en la Escuela Politécnica, de un laboratorio de prototipado de circuitos de microondas y antenas, y de medidas de radiofrecuencia.

***Características del equipamiento adquirido***

El equipamiento consta de una microfresadora basada en tecnología de láser verde de elevada precisión, que se complementa con un sistema de metalización de agujeros de contacto basado en galvanizado. Incluye también un analizador de señal con funcionalidad de receptor de interferencias electromagnéticas (EMI) y un medidor de campo electromagnético (EM) en banda ancha o selectiva. Se detallan a continuación las principales características técnicas de los equipos:

<b>Microfresadora LPKF Protolaser S4</b>
Longitud de onda de 532 nm (láser verde) Área de layout: 229 mm x 305 mm x 7 mm Frecuencia de pulso del láser: 25 kHz–300 kHz Velocidad de estructuración: 650 mm/s sobre cobre de 18 µm (sobre FR4) Diámetro del punto láser en posición de enfoque: 23 µm Mínimo ancho de línea/espacio: 50 µm/15 µm sobre cobre de 18 µm (en FR4) Suministro de aire comprimido Unidad de escape Medidor de espesor de material Microscopio Software CircuitPro
<b>Sistema de metalización de vías mediante galvanizado LPKF Contac S4</b>
Tanques separados para limpieza, activación y recubrimiento de cobre Posibilidad de aplicar un paso opcional de estañado para un acabado superficial superior y una mejor soldabilidad Capacidad de procesamiento multicapa, hasta 8 capas, con una relación de aspecto 1:10 (diámetro de orificio a espesor de PCB) Tamaño máximo del material (X x Y): 230 mm x 330 mm

Tamaño máximo de layout (X x Y): 200 mm x 300 mm  
Diámetro del agujero mínimo: 0.2 mm  
Tolerancia: +- 2  $\mu$ m (revestimiento de cobre)  
Duración del proceso: aprox. 90-120 min  
Tecnología de recubrimiento de pulso inverso ajustable

**Analizador de señal N9010B EXA de Keysight Technologies**

Rango de frecuencia: 10 Hz- 26.5 GHz.  
Máximo ancho de banda de análisis: 40 MHz  
Atenuador con un rango de 0 a 60 dB e incremento de 10 dB  
Aplicación de medida de EMI  
Ruido de fase a 1 GHz (offset de 10 kHz): -109 dBc/Hz  
Ruido de fase a 1 GHz (offset de 1 MHz): -136 dBc/Hz  
Equipo modular, que permita futuras extensiones para añadir nueva funcionalidad.  
Preamplificador de 100kHz a 26.5 GHz, con ganancia de 35 dB

**Medidor de campo electromagnético EME Spy Evolution**

88-6000 MHz  
Permite la monitorización de 20 bandas de frecuencia definidas por el usuario de entre 74 bandas predefinidas.  
Baterías recargables de al menos hasta 20 días de duración en periodos de medición de 1 minuto y una banda y de al menos 23 horas en caso de varias bandas con periodos de medición de 6 segundos  
3 sondas isotrópicas ortogonales 80 MHz -6 GHz  
Sensibilidad de 0.05 V/m (80 MHz-0,7 GHz, 3 GHz -6 GHz) y 0.02 V/m (0,7 GHz - 3 GHz)  
Rango dinámico de 56 dB (hasta 6 V/m)  
Isotropía +/- 1,5 dB (80 MHz - 4 GHz) y +/- 2.5 dB (4 GHz - 6 GHz)  
Software de configuración

Las figuras 1-5 muestran el equipamiento adquirido.



Fig. 1. Microfresadora LPKF protoláser S4.



Fig. 2. Suministro de aire comprimido de la microfresadora LPKF protoláser S4.



Fig. 3. Otros accesorios de la microfresadora LPKF protoláser S4: microscopio y calibre.



Fig. 4. Sistema de metalización de vías mediante galvanizado LPKF Contac S4.



Fig. 5. Analizador de señal N9010B EXA de Keysight Technologies.



Fig. 6. Parte posterior del analizador de señal N9010B EXA de Keysight Technologies.



Fig. 7. Medidor de campo electromagnético EME SPY.

Valor añadido e impacto científico-tecnológico de la adquisición

El Laboratorio de Prototipado y Medidas de Radiofrecuencia que se ha creado permite llevar a cabo el ciclo completo de desarrollo de tecnología de microondas dentro de las

instalaciones de la Escuela Politécnica de Cáceres. La disponibilidad de este equipamiento reduce tiempos de fabricación y evita la necesidad de intermediarios entre el diseñador y las personas encargadas de la fabricación cuando los prototipos se realizan por encargo a una empresa. La posibilidad de generar fácilmente resultados experimentales aumenta en gran medida el impacto científico-tecnológico de las líneas de investigación asociadas. Por otro lado, el fresado láser ofrece una excelente precisión y es más respetuoso con el medio ambiente que el grabado químico, lo que supone un valor añadido también en cuanto a sostenibilidad.

Por todo ello, el equipamiento abre grandes posibilidades de transferencia de conocimiento al sector productivo regional. Por ejemplo, el Grupo de Telecomunicación (GTCOM) está colaborando con la empresa Diferenza Enabler (Mérida) en un proyecto de investigación industrial dirigido a la detección del estrés hídrico en olivos mediante tecnología de microondas (<https://www.diferenzaenabler.es/>). Esta línea de investigación ha recibido financiación de la Junta de Extremadura a través de la convocatoria de Ayudas para la Realización de Proyectos de Investigación Industrial y Desarrollo Experimental. Actualmente se están fabricando las primeras antenas planares para este proyecto.

Por otro lado, el equipamiento adquirido resulta útil para la línea de investigación sobre diseño de la configuración electromagnética de sistemas complejos que lideran los investigadores José Manuel Taboada y Luis Landesa, pertenecientes al GTCOM, en colaboración con la Universidad de Vigo. Esta línea ha dado lugar a la creación de la spin-off EM3Works. En el marco de esta línea se destacan tres convenios recientes:

- TÍTULO: Contrato de asesoramiento entre el profesor de la Universidad de Extremadura, D. José Manuel Taboada Varela, y la empresa Electromagnetic 3 Works S. L. (EM3 Works) para el asesoramiento científico y tecnológico
- ENTIDAD CONTRATANTE: ELECTROMAGNETIC 3 WORKS S. L. (EM3 WORKS)
- DURACIÓN TOTAL Y PLAZOS: Dos años, prorrogable (desde octubre 2021)
  
- TÍTULO: Estudio de RADHAZS para sistema DIGE
- ENTIDAD CONTRATANTE: Universidad de Vigo
- DURACIÓN TOTAL Y PLAZOS: Dos meses (desde octubre 2021)

- TÍTULO/OBJETO: Estudio EMC y cobertura de diagramas de los NODOS básicos y maestros del sistema SSI.
- ENTIDAD CONTRATANTE: Universidad de Vigo
- DURACIÓN TOTAL Y PLAZOS: Dos meses (desde octubre 2021)

El laboratorio que se solicita supone también un gran valor añadido para el Programa de Doctorado en Tecnología Aeroespacial: Ingenierías Electromagnética, Electrónica, Informática y Mecánica) al ofrecer a los estudiantes que desarrollan tesis doctorales en las líneas mencionadas la posibilidad de fabricar y medir prototipos dentro de las instalaciones de la Escuela Politécnica. En concreto, los siguientes investigadores predoctorales se están formando ya en el manejo del equipamiento: Alfonso Gómez García, David Larios Benítez, Juan Manuel Santos Hidalgo, Víctor Francisco Martín Martínez y Javier Losada. También se está formando actualmente en el manejo del equipamiento Manuel Parejo (personal contratado investigador). Además, Yolanda Campos en colaboración con la empresa Diferenza Enabler, ha presentado una solicitud en el marco de la Convocatoria para el Fomento de la Contratación de Personal de Apoyo a la Investigación (PAI) 2021. Esta solicitud está siendo evaluada en este momento y uno de sus objetivos fundamentales es la formación de la persona contratada en el manejo de este equipamiento para el desarrollo de circuitería de lectura asociada a sensores de microondas.

#### *Técnicas o investigaciones que el equipo permitirá desarrollar o abordar*

Las líneas de investigación que se beneficiarán del equipamiento son las siguientes:

- Diseño experimental de antenas en tecnología de guíaonda integrada en sustrato (SIW, substrate integrated waveguide) para comunicaciones 5G. Esta línea cuenta con financiación de la ayuda a grupos de investigación de la Junta de Extremadura al GTCOM (GR21072, cuya duración es el año 2022). Está relacionada con un objetivo específico incluido en la solicitud de un proyecto del plan nacional, coordinado con la UPM, que se está evaluando en este momento.
- Desarrollo experimental de sensores planares de microondas de alta sensibilidad para la caracterización dieléctrica de líquidos y sólidos. Esta línea engloba el diseño de los elementos sensibles (resonadores y antenas) y el diseño de la circuitería de lectura (que incluye la investigación en circuitos activos). Como



fuelle de financiación para esta línea se ha mencionado ya el convenio con la empresa Diferenza Enabler (activo hasta finales de 2022) y la ayuda GR21072 (duración: 2022). Por otro lado, dos solicitudes de financiación relacionadas con esta línea se encuentran actualmente bajo evaluación (proyecto del plan nacional y Convocatoria para el Fomento de la Contratación de Personal de Apoyo a la Investigación 2021).

- Diseño integral de la configuración EM de sistemas complejos mediante el desarrollo de proyectos de supercomputación basados en el software propio HEMCUVE++. En la actualidad, esta línea de investigación se financia mediante 3 convenios Art. 83 activos, un proyecto activo del plan nacional titulado “Simulación Electromagnética Multialgorítmica para el Análisis de Problemas Extremadamente Complejos” (01/09/2021 - 31/08/2024) y la ayuda GR21072.
- Evaluación de la exposición personal a radiación EM. El medidor de campo EM SPY está permitiendo a algunos de los investigadores que han apoyado este proyecto (liderados por el catedrático Jesús Paniagua) un estudio de exposición a campos EM con mayor ancho de banda que el que proporcionaba el equipamiento al que tenían acceso antes, así como la posibilidad de seleccionar bandas de servicios actuales de telecomunicación. Esta línea cuenta con financiación a través de la ayuda de la Junta de Extremadura al grupo de investigación “Radiaciones no ionizantes e inspección ultrasónica” (GR21052, duración: año 2022).
- Desarrollo de sistemas electrónicos para la mejora y control de procesos. Esta línea de investigación incluye el desarrollo de toda la circuitería electrónica necesaria para la mejora de procesos, generalmente industriales. Esta línea cuenta con financiación a través de la ayuda de la Junta de Extremadura al grupo de investigación “Clasificación de patrones y análisis de imágenes” (GR21087, duración: año 2022).

*Equipo responsable y potencial de utilización por parte de otros grupos de investigación*

El Grupo de Telecomunicación y, en particular, Yolanda Campos, se hace responsable de la gestión del equipamiento. Los investigadores de los grupos de investigación que han

apoyado esta petición tienen acceso al equipamiento tras recibir un entrenamiento previo.

Además, se establecerán los convenios pertinentes para que este laboratorio se pueda utilizar en beneficio de otros grupos de la UEx o instituciones externas. La utilización de los equipos o, como mínimo, su supervisión, será realizada por un investigador de los grupos participantes en la solicitud. Una parte de la cuantía del convenio se reservará para gastos del laboratorio de manera que este uso no suponga un problema para el mantenimiento de este.

### Producción Científica

Recientemente se ha terminado el siguiente artículo científico, relacionado con la línea de investigación sobre diseño experimental de antenas en tecnología SIW mencionada anteriormente:

Alfonso Gómez García, Jesús Rubio, José Luis Masa-Campos, Juan Córcoles, Yolanda Campos-Roca, and Rafael Gómez Alcalá, Accelerated Design of SIW-Fed Antenna Arrays using a Fast Full-Wave Methodology, bajo evaluación en IEEE Transactions on Antennas and Propagation.

Siguiendo las instrucciones de la convocatoria, garantizaremos la publicación en acceso abierto de los resultados obtenidos utilizando este equipamiento. Esto se hará depositando las publicaciones en el repositorio abierto de Zenodo (<https://zenodo.org>) y otros repositorios institucionales, por ejemplo, Dehesa (<https://dehesa.unex.es>), en modalidad de autoarchivo (green open access) o utilizando la modalidad gold open access (teniendo en cuenta las limitaciones presupuestarias y los convenios transformadores suscritos entre la Conferencia de Rectores de las Universidades Españolas (CRUE) y las editoriales más relevantes).

### Divulgación científica

En dos ocasiones (13/01/22 y 08/02/22) investigadores predoctorales (Alfonso Gómez y David Larios) han realizado demostraciones del uso del equipamiento a grupos de estudiantes de secundaria que se encontraban de visita en la Escuela Politécnica.



Fig. 6. Actividad de difusión (13/01/22) en la Escuela Politécnica.