

PLAN DOCENTE DE LA ASIGNATURA

Curso académico: 2024/2025

Identificación y características de la asignatura			
Código	401091	Créditos ECTS	6
Denominación (español)	Dispositivos de Radiofrecuencia y de Comunicaciones Ópticas		
Denominación (inglés)	Devices for Radiofrequency and Optical Communications		
Titulaciones	Máster en Ingeniería de Telecomunicación		
Centro	Escuela Politécnica		
Semestre	2º	Carácter	Obligatorio
Módulo	Tecnologías de Telecomunicación		
Materia	Sistemas y Tecnologías de las Comunicaciones		
Profesor/es			
Nombre	Despacho	Correo-e	Página web
Yolanda Campos Roca	27 (Pabellón de Telecomunicación)	ycampos@unex.es	Campus virtual
Rafael Gómez Alcalá	7 (Pabellón de Telecomunicación)	rgomezal@unex.es	Campus virtual
Área de conocimiento	Teoría de la Señal y Comunicaciones		
Departamento	Tecnologías de los Computadores y las Comunicaciones		
Profesor coordinador (si hay más de uno)	Yolanda Campos Roca		
Competencias*			
Competencias básicas			
<p>CB6. Poseer y comprender conocimientos que aporten una base u oportunidad de ser originales en el desarrollo y/o aplicación de ideas, a menudo en un contexto de investigación</p> <p>CB7. Que los estudiantes sepan aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio</p> <p>CB8. Que los estudiantes sean capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios</p> <p>CB9. Que los estudiantes sepan comunicar sus conclusiones y los conocimientos y razones últimas que las sustentan a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades</p> <p>CB10. Que los estudiantes posean las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.</p>			

*Los apartados relativos a competencias, breve descripción del contenido, actividades formativas, metodologías docentes, resultados de aprendizaje y sistemas de evaluación deben ajustarse a lo recogido en la memoria verificada del título.

Competencias generales
<p>CG1. Capacidad para proyectar, calcular y diseñar productos, procesos e instalaciones en todos los ámbitos de la ingeniería de telecomunicación.</p> <p>CG4. Capacidad para el modelado matemático, cálculo y simulación en centros tecnológicos y de ingeniería de empresa, particularmente en tareas de investigación, desarrollo e innovación en todos los ámbitos relacionados con la Ingeniería de Telecomunicación y campos multidisciplinares afines.</p> <p>CG8. Capacidad para la aplicación de los conocimientos adquiridos y resolver problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios y multidisciplinarios, siendo capaces de integrar conocimientos.</p> <p>CG9. Capacidad para comprender la responsabilidad ética y la deontología profesional de la actividad de la profesión de Ingeniero de Telecomunicación.</p> <p>CG11. Capacidad para saber comunicar (de forma oral y escrita) las conclusiones- y los conocimientos y razones últimas que las sustentan- a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades.</p> <p>CG12. Poseer habilidades para el aprendizaje continuado, autodirigido y autónomo.</p>
Competencias transversales
<p>CT01: Espíritu innovador y emprendedor.</p> <p>CT04: Capacidad de comunicar conclusiones y los conocimientos y razones últimas que las sustentan a públicos especializados y no especializados, de manera oral y escrita, en castellano y en inglés.</p> <p>CT05: Capacidad de trabajo en equipo.</p> <p>CT07: Capacidad de razonamiento crítico y creatividad, como medios para tener la oportunidad de ser originales en la generación, desarrollo y/o aplicación de ideas en un contexto de investigación o profesional.</p> <p>CT8: Responsabilidad y compromiso ético en el desempeño de la actividad profesional e investigadora.</p> <p>CT9 - Respeto y promoción de los derechos humanos, los principios democráticos, los principios de igualdad entre mujeres y hombres, de solidaridad, de accesibilidad universal y diseño para todos, de prevención de riesgos laborales, de protección del medio ambiente y de fomento de la cultura de la paz.</p> <p>CT10: Orientación a la calidad y a la mejora continua.</p> <p>CT11: Capacidad de aprendizaje autónomo.</p> <p>CT12: Capacidad para resolver problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinarios).</p> <p>CT13: Capacidad de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información incompleta.</p>
Competencias específicas
<p>CETT10. Capacidad para diseñar y fabricar circuitos integrados.</p> <p>CETT13. Capacidad para diseñar componentes de comunicaciones como por ejemplo encaminadores, conmutadores, concentradores, emisores y receptores en diferentes bandas.</p> <p>CETT14. Capacidad para aplicar conocimientos avanzados de fotónica y optoelectrónica, así como electrónica de alta frecuencia.</p>
Contenidos
Breve descripción del contenido*
<p>Aplicaciones de los circuitos integrados de radiofrecuencia y microondas. Tecnologías disponibles. Dispositivos de dos terminales. Dispositivos de tres terminales. Caracterización experimental y modelado. Introducción al diseño de circuitos de RF y microondas: metodología de diseño; circuitos pasivos; circuitos activos. Diseño asistido por ordenador. Introducción a los procesos de fabricación de circuitos integrados de radiofrecuencia y microondas. Introducción a los dispositivos de comunicaciones ópticas. Fabricación, cableado y unión de fibras ópticas. Dispositivos ópticos pasivos. Amplificadores ópticos. Efectos anisótropos y no lineales en</p>

<p>dieléctricos y fibras ópticas. Dispositivos ópticos integrados para comunicaciones ópticas. Medidas e instrumentación de comunicaciones ópticas.</p>
<p>Temario de la asignatura</p>
<p>La asignatura se estructura en dos bloques: Bloque 1: Análisis y diseño de circuitos de radiofrecuencia. Bloque 2: Dispositivos de comunicaciones ópticas.</p>
<p>BLOQUE 1. ANÁLISIS Y DISEÑO DE CIRCUITOS DE RADIOFRECUENCIA</p>
<p>Denominación del tema 1: Presentación de la asignatura</p>
<p>Denominación del tema 2: Análisis y caracterización de redes de microondas</p> <p>Contenidos del tema 2:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Introducción 2. La matriz de parámetros S. 3. El analizador de redes. <p>Descripción de las actividades prácticas del tema 2:</p> <p>Práctica 1. Introducción al simulador de circuitos y simulación de parámetros S.</p> <p>Práctica 2. Simulación de líneas de transmisión ideales.</p>
<p>Denominación del tema 3: Líneas de transmisión planares</p> <p>Contenidos del tema 3:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tipos de las líneas de transmisión planares. 2. Líneas de transmisión microstrip. 3. Líneas de transmisión coplanar y coplanar con plano de tierra <p>Descripción de las actividades prácticas del tema 3:</p> <p>Práctica 3. Diseño y simulación de líneas microstrip. Optimización de parámetros.</p> <p>Práctica 4. Simulación electromagnética.</p>
<p>Denominación del tema 4: Dispositivos semiconductores de microondas</p> <p>Contenidos del tema 4:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Materiales. 2. Dispositivos semiconductores de alta frecuencia. 3. Transistores bipolares y de efecto de campo. 4. Modelos de transistores. <p>Descripción de las actividades prácticas del tema 4: no tiene.</p>
<p>Denominación del tema 5:</p> <p>Contenidos del tema 5:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Introducción al diseño de circuitos pasivos y activos. 2. Tipos de circuitos de microondas. 3. Metodología general de diseño. 4. Ejemplo de diseño: amplificador de bajo ruido. <p>Descripción de las actividades prácticas del tema 5:</p> <p>Práctica 5. Diseño de circuitos activos.</p>

Práctica 6. Simulación de un diseño pasivo a partir de sus especificaciones.
Práctica 7. Realización del prototipo correspondiente al diseño pasivo como circuito impreso, y caracterización experimental.

Denominación del tema 6: Actividades relacionadas con el diseño y fabricación de circuitos de radiofrecuencia en Extremadura, en España y en la Unión Europea

Contenidos del tema 6:

1. Actividades profesionales
2. Actividades de investigación.

Descripción de las actividades prácticas del tema 6: no tiene.

BLOQUE 2. DISPOSITIVOS DE COMUNICACIONES ÓPTICAS.

Denominación del tema 7: Introducción a los dispositivos pasivos

Contenidos del tema 7:

1. Introducción y clasificación
2. Caracterización matricial
3. Descripción de la propagación en fibra óptica
4. Atenuadores

Descripción de las actividades prácticas del tema 7:

Práctica 8. Propagación en fibra óptica.

Denominación del tema 8: Dispositivos de control de la polarización

Contenidos del tema 8:

1. Polarizadores ópticos
2. Retardadores de onda
3. Rotadores de polarización
4. Divisores y combinadores de polarización

Descripción de las actividades prácticas del tema 8: no tiene.

Denominación del tema 9: Dispositivos de control del encaminamiento

Contenidos del tema 9:

1. Aisladores
2. Circuladores
3. Guías de onda integradas
4. Acoplamiento de modos

Descripción de las actividades prácticas del tema 9:

Práctica 9. Guías integradas.

Denominación del tema 10: Filtros ópticos

Contenidos del tema 10:

1. Filtro Fabry-Perot
2. Interferómetro Mach-Zehnder
3. Interferómetro Sagnac
4. Anillos resonantes de fibra óptica
5. Filtros basados en óptica de bloque

Descripción de las actividades prácticas del tema 10:
Práctica 10. Filtros ópticos.

Denominación del tema 11: Introducción a la amplificación óptica
Contenidos del tema 11:

1. Principio de funcionamiento
2. Saturación de ganancia
3. Ecuaciones del amplificador de cuatro niveles
4. Ecuaciones del amplificador de tres niveles
5. Respuesta dinámica y distorsión de señal
6. Ruido en amplificadores ópticos

Descripción de las actividades prácticas del tema 11: no tiene

Denominación del tema 12: Amplificadores de láser de semiconductor
Contenidos del tema 12:

1. Estructura y diseño del amplificador
2. Modelo del amplificador láser de semiconductor
3. El amplificador láser en régimen dinámico
4. Consideraciones sobre ruido en amplificadores SLA
5. Láser de semiconductor

Descripción de las actividades prácticas del tema 12: no tiene

Denominación del tema 13: Amplificadores de fibra dopada

Contenidos del tema 13:

1. Principios generales

Descripción de las actividades prácticas del tema 13:
Práctica 11. Amplificador de fibra dopada

Actividades formativas*

Horas de trabajo del alumno por tema		Horas teóricas	Actividades prácticas				Actividad de seguimiento	No presencia I
Tema	Total	GG	PCH	LAB	ORD	SEM	TP	EP
Bloque 1: Dispositivos de radiofrecuencia								
1	1	1						
2	7	2			1			4
3	9.5	3			2			4.5
4	7	3						4
5	44	9			5			30
6	3	2						1
Bloque 2: Dispositivos de comunicaciones ópticas								

7	7	2			2		3
8	2.5	1					1.5
9	7	2			2		3
10	7	2			2		3
11	14	4					10
12	13	4					9
13	13	4			1		8
Evaluación **	15	3+3					9
TOTAL	150	45			15		90

GG: Grupo Grande (100 estudiantes).

PCH: prácticas clínicas hospitalarias (7 estudiantes)

LAB: prácticas laboratorio o campo (15 estudiantes)

ORD: prácticas sala ordenador o laboratorio de idiomas (20 estudiantes)

SEM: clases problemas o seminarios o casos prácticos (40 estudiantes).

TP: Tutorías Programadas (seguimiento docente, tipo tutorías ECTS).

EP: Estudio personal, trabajos individuales o en grupo, y lectura de bibliografía.

Metodologías docentes*

- 1. Clases expositivas y participativas (GG).** Actividades formativas presenciales para grupo completo. La metodología utilizada combinará la lección magistral con el planteamiento de ejercicios prácticos. Se promoverá la participación de los estudiantes. En las partes expositivas, la explicación se apoyará en el uso del cañón de video y, ocasionalmente, de la pizarra. Las transparencias (todas ellas en inglés, para desarrollar la competencia CT04) se pondrán a disposición de los estudiantes con anterioridad a la explicación de cada tema. La asignatura participa en el Programa de Acercamiento a Lenguas Extranjeras (modalidad básica).
- 2. Prácticas guiadas (S/L).** En relación al bloque 1 de la asignatura, se realizarán prácticas guiadas en equipo, dirigidas a la familiarización de los estudiantes con software de simulación de circuitos. Estas prácticas ofrecerán al estudiante una preparación para poder abordar el proyecto de diseño que se describe en el punto 3. En relación al bloque 2 de la asignatura (Dispositivos de Comunicaciones Ópticas), los estudiantes utilizarán una versión de demostración del software comercial Optiwave y otros paquetes de software de código abierto.
- 3. Prácticas relacionadas con el diseño, fabricación y caracterización experimental de un prototipo.** Los estudiantes deberán desarrollar un proyecto de diseño, fabricación y medida de uno o varios circuitos de microondas. En la realización de este proyecto, se utilizará la metodología conocida como Aprendizaje Colaborativo Basado en Proyectos (ACBP). La elaboración del proyecto involucra varias fases, algunas de las cuales se realizarán de manera presencial y otras de manera no presencial: diseño teórico, simulación, fabricación y medida. A diferencia de las prácticas guiadas, para la realización de este proyecto el estudiante deberá trabajar de manera autónoma, mientras que el profesor realizará actividades de dirección y orientación (garantizando así el desarrollo de las competencias CT11 y CT12).
- 4. Trabajo no presencial.** En este bloque se incluyen todas las actividades realizadas por el estudiante en horario no presencial. En relación a las clases expositivas y participativas, el estudiante debe repasar los conceptos y técnicas presentados en éstas. Con respecto a las prácticas guiadas de laboratorio, el estudiante debe leer los guiones previamente a su realización. Con respecto al proyecto de diseño, los estudiantes deberán buscar información relativa al tipo de circuito que se proponga y

** Indicar el número total de horas de evaluación de esta asignatura.

realizar los cálculos correspondientes al diseño teórico. Además, una vez fabricado el circuito y caracterizado experimentalmente, deberán escribir un informe sobre este. Con el fin de desarrollar la competencia CT04 y siguiendo las recomendaciones del plan de estudios, se les facilitará a los estudiantes material audiovisual en inglés relacionado con la asignatura para que lo utilicen en horario no presencial. En lo que respecta a las prácticas sobre dispositivos de comunicaciones ópticas, los estudiantes deberán escribir el informe en horario no presencial.

Resultados de aprendizaje*

1. Capacidad para proyectar, calcular y diseñar productos, procesos e instalaciones en todos los ámbitos de la Ingeniería de Telecomunicación. Contribuyen a la consecución de este resultado de aprendizaje las competencias específicas de esta asignatura y las siguientes competencias transversales: CT01, CT07, CT10-CT13.
2. Capacidad para dirigir, planificar y supervisar equipos multidisciplinares. El desarrollo de las competencias CT05, CT07, CT10-CT13 contribuye a alcanzar este objetivo.
3. Capacidad para el modelado matemático, cálculo y simulación en centros tecnológicos y de ingeniería de empresa, particularmente en tareas de investigación, desarrollo e innovación en todos los ámbitos relacionados con la Ingeniería de Telecomunicación y campos multidisciplinares afines. Este objetivo se trabaja a través de las competencias específicas de la asignatura y de las siguientes competencias transversales: CT01, CT07, CT10-CT13
4. Capacidad para la elaboración, planificación estratégica, dirección, coordinación y gestión técnica y económica de proyectos en todos los ámbitos de la Ingeniería de Telecomunicación siguiendo criterios de calidad y medioambientales.
5. Capacidad para la dirección general, dirección técnica y dirección de proyectos de investigación, desarrollo e innovación, en empresas y centros tecnológicos.
6. Capacidad para la puesta en marcha, dirección y gestión de procesos de fabricación de equipos electrónicos y de telecomunicaciones, con garantía de la seguridad para las personas y bienes, la calidad final de los productos y su homologación. Este objetivo se trabaja a través de todas las competencias específicas y transversales de la asignatura
7. Capacidad para la aplicación de los conocimientos adquiridos y resolver problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios y multidisciplinares, siendo capaces de integrar conocimientos. Este objetivo se trabaja a través de las competencias transversales: CT01, CT07, CT11, CT13
8. Capacidad para aplicar los principios de la economía y de la gestión de recursos humanos y proyectos, así como la legislación, regulación y normalización de las telecomunicaciones. La capacidad para aplicar la legislación, regulación y normalización de las telecomunicaciones se trabaja a través de todas las competencias específicas de la asignatura.
9. Capacidad para saber comunicar (de forma oral y escrita) las conclusiones- y los conocimientos y razones últimas que las sustentan- a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades. La competencia CT04 está vinculada con este objetivo.
10. Poseer habilidades para el aprendizaje continuado, autodirigido y autónomo. La competencia CT11 está vinculada directamente con este objetivo.

11. Conocimiento, comprensión y capacidad para aplicar la legislación necesaria en el ejercicio de la profesión de Ingeniero de Telecomunicación. Este objetivo se trabaja a través de todas las competencias específicas de la asignatura.

Sistemas de evaluación*

Durante las tres primeras semanas del periodo de clases el estudiante podrá acogerse a uno de los dos siguientes tipos de evaluación: continua y global. Para ello, se establecerá una consulta en el campus virtual.

1. Modalidad de evaluación continua. La evaluación constará de:

- **Pruebas escritas (60%).** Actividades recuperables en todas las convocatorias. Se realizarán dos exámenes parciales (uno aproximadamente a la mitad del semestre, al finalizar el primer bloque, y otro en los últimos días del semestre). El estudiante debe alcanzar una nota mínima de 4 puntos (sobre 10) en cada uno de los parciales y una nota media igual o superior a 5 puntos (sobre 10). Los exámenes escritos serán de opción múltiple (tipo test) e incluirán algunas preguntas en inglés relativas a los vídeos que se facilitarán a los estudiantes (véase competencia CT04). Estos exámenes podrán incluir también algunas preguntas relativas a las prácticas.
- **Proyecto de diseño, realización y caracterización experimental de circuitos de microondas (25%).** La evaluación del proyecto se basará en el prototipo construido, el informe presentado y, en su caso, la defensa del proyecto. La nota mínima de este proyecto para poder optar al aprobado es 3 sobre 10. Esta actividad es no recuperable en la convocatoria de mayo-junio, y recuperable en las convocatorias de julio y extraordinaria de enero a través de una prueba práctica específica, como la que se describe en la modalidad de evaluación global.
- **Trabajo de simulación de dispositivos de comunicaciones ópticas (15%).** La evaluación de las prácticas realizadas consistirá en la realización de un informe sobre un aspecto concreto de las simulaciones que los estudiantes desarrollen en las prácticas. Se tendrá en cuenta la originalidad del informe presentado en la calificación de esta parte. Es necesario entregar un informe sobre todas las prácticas. La nota mínima de este proyecto para poder optar al aprobado es 3 sobre 10. Esta actividad es no recuperable en la convocatoria de mayo-junio, y recuperable en las convocatorias de julio y extraordinaria de enero a través de una prueba práctica específica, como la que se describe en la modalidad de evaluación global.

Las calificaciones de todas las actividades de evaluación continua que alcancen la nota mínima establecida se guardan hasta la convocatoria extraordinaria de enero del siguiente curso, pero no para convocatorias posteriores. En el caso de que un estudiante tenga una nota guardada y se presente de nuevo para tratar de mejorarla, la media se calculará con la última nota obtenida.

2. Modalidad de evaluación global. Se realizarán pruebas finales en la fecha establecida por la Junta de Escuela. Son las siguientes:

- **Pruebas escritas (60%).** Se trata de pruebas con características análogas (exámenes parciales tipo test) a las que se utilizan en el sistema de evaluación continua descrito anteriormente. Se establecen las mismas notas mínimas.
- **Prueba práctica específica sobre circuitos de RF (25%).** Un examen sobre las prácticas de laboratorio. La nota mínima para poder optar al aprobado es 3 sobre 10.

- **Prueba práctica específica sobre simulación de dispositivos de comunicaciones ópticas (15%).** Un examen sobre las prácticas de laboratorio.

Para aprobar la asignatura con las dos modalidades de evaluación es necesario que se cumplan las siguientes condiciones:

- 1) Que el estudiante obtenga las notas mínimas indicadas anteriormente.
- 2) Que el estudiante obtenga una nota mínima de 5 aplicando la expresión siguiente:

$$\text{Nota} = 0.60 \cdot (P1 + P2) / 2 + 0.25 \cdot \text{PractRF} + 0.15 \cdot \text{PractComOpticas}$$

donde P1 y P2 son las notas de los dos exámenes parciales tipo test, PractRF es la nota del proyecto o bien de la prueba práctica específica de la parte de RF y PractComOpticas es la nota del trabajo práctico o bien de la prueba práctica sobre simulación de dispositivos de comunicaciones ópticas.

Si el alumno no alcanza alguna de las notas mínimas exigidas, la calificación final en esa convocatoria se obtendrá calculando el mínimo entre la nota global y un 4.

Medidas previstas para responder a necesidades particulares:

- Estudiantes con alguna discapacidad: La Unidad de Atención al Estudiante en colaboración con los profesores establecerán una adaptación a las circunstancias particulares.
- Estudiantes extranjeros: Posibilidad de hacer el examen en inglés. Ponerse en contacto con los profesores de la asignatura.

Bibliografía (básica y complementaria)

Bibliografía sobre dispositivos de radiofrecuencia:

- [1] Michael Steer, Microwave and RF Design. Open Textbook Library (<https://open.umn.edu/opentextbooks/>). 2019.
- [2] David Pozar. Microwave Engineering. John Wiley & Sons, 3rd Edition, 2004.
- [3] I. A. Glover, S. R. Pennock, P. R. Shepherd. Microwave devices, circuits and subsystems for communications engineering, John Wiley & Sons, 2005.
- [4] Inder Bahl, Prakash Bhartia. Microwave Solid State Circuit Design, Wiley, 2003.
- [5] S. Maas. Nonlinear Microwave and RF Circuits. 2nd Edition, Artech House, 2003
- [6] Rowan Gilmore, Les Besser. Practical RF Circuit Design for Modern Wireless Systems. Vol I: Passive Circuits and systems, Artech House, 2003.
- [7] E. Sánchez, Introducción a los dispositivos y circuitos semiconductores de microondas”, Pearson Educación, 2012.

Bibliografía sobre dispositivos de comunicaciones ópticas:

- [8] J. Capmany, F.J. Fraile Peláez, J. Martí. Dispositivos de Comunicaciones Ópticas, Editorial Síntesis, 1999.
- [9] Binh, Le Nguyen. Optical fiber communications systems: theory and practice with MATLAB and Simulink models, CRC Press, 2010.
- [10] G. P. Agrawal, Lightwave Technology: Components and Devices, Wiley. 2004.

Otros recursos y materiales docentes complementarios

Aula virtual de la asignatura (descarga de transparencias, enunciados de prácticas, material de apoyo para el Aprendizaje Basado en Proyectos, foros, etc.): <http://campusvirtual.unex.es/>

Referencias web sobre circuitos de radiofrecuencia (Acceso el 15/05/2023):

[11] <https://www.qsl.net/va3iul/> Página web con una recopilación muy extensa de recursos de RF.

[12] S. J. Orfanidis. Electromagnetic Waves and Antennas, <http://eceweb1.rutgers.edu/~orfanidi/ewa/ewa-1up.pdf> Libro completo gratuito.

[13] <http://www.amanogawa.com/archive/transmissionB.html> *Applets* sobre teoría de líneas de transmisión.

[14] <http://sss-mag.com/smith.html#tutor> Recursos sobre la Carta de Smith.

[15] John Bushie and Anaya Vardya. 2018. BR Publishing, Inc. https://www.ieee.li/pdf/essay/rf-microwave_pcb_fundamentals.pdf

[16] Dr. Raymond Rumpf. Microwave Engineering. https://empossible.net/academics/emp4301_5302/

[17] <https://rickettslab.org/radio-system-design/lectures/lecture/> Colección de clases en formato video del profesor David S. Ricketts.

[18] https://www.youtube.com/channel/UCXNEq_4ocEpNtHTiAMER84Q/videos Canal de YouTube que ofrece tutoriales para diseñar y simular componentes como antenas y circuitos pasivos y activos de microondas utilizando diferentes simuladores.