



COMES

MECANICA DE LOS MEDIOS CONTINUOS,
INGENIERIA DE ESTRUCTURAS Y MATERIALES

PRESENTACIÓN GRUPO DE INVESTIGACIÓN COMES



Toledo, 2022

Índice

1	¿Qué es el grupo COMES?	1
2	Miembros	2
2.1	Personal Docente e Investigador	2
2.2	Personal Investigador en Formación	9
3	Equipamiento y ubicaciones	10
3.1	ETSII-CR, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Ciudad Real	10
3.2	INEI, Instituto de Investigaciones Energéticas y Aplicaciones Industriales	11
3.3	INAI, Instituto de Investigaciones Aplicadas a la Industria Aeronáutica	12
4	Investigación	13
5	Colaboraciones	14
5.1	MSOC Nanochemistry	14
5.2	IGOID-Sportec	14
5.3	SPORTLAB	15
5.4	Computer-Aided Aerospace and Mechanical Engineering Team (CA2M)	15
5.5	WASA-FRS en GSI-FAIR	16
6	Ensayos	17
6.1	Ensayo biaxial	17
7	Ejemplo consultoría mediante artículo 83	19
7.1	Altran	19

1 | ¿Qué es el grupo COMES?

El objetivo del grupo COMES es el estudio del comportamiento de las estructuras y los materiales con el fin de realizar diseños que sean eficientes, óptimos y respetuosos con el medio ambiente. Todo esto en un mundo en el que los requisitos que se le piden a estas estructuras y materiales son cada vez más exigentes, por ejemplo, en cuanto a la ligereza o al comportamiento ante ambientes agresivos.

El grupo lo constituyen siete profesores doctores a tiempo completo de la Universidad de Castilla-La Mancha, en concreto de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Ciudad Real (ETSII-CR) y de la Escuela de Ingeniería Industrial y Aeroespacial de Toledo (EIIA-To). Imparten docencia fundamentalmente en los grados en Ingeniería Mecánica, Ingeniería Aeroespacial, Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Electrónica Industrial y Automática, así como en el máster en Ingeniería Industrial.

Para la realización de sus labores el grupo dispone de equipamiento experimental de máquinas de ensayos en los laboratorios de la ETSII-CR y la EIIA-To, también en los laboratorios del Instituto de Investigaciones Energéticas y Aplicaciones Industriales (INEI) y del Instituto de Investigación Aplicada a la Industria Aeronáutica (INAIA). También disponemos de herramientas informáticas de programas de simulación por ordenador para el desarrollo de modelos computacionales de cálculo de estructuras, que también son aplicados en las asignaturas impartidas y por los estudiantes que realizan los Trabajos Fin de Grado y Máster con nosotros.

Las líneas de investigación del grupo COMES son, de forma general:

- Mecánica computacional: Método de los Elementos Finitos aplicado al análisis del comportamiento de materiales y estructuras.
- Procesado, caracterización microestructural y mecánica de materiales metálicos y compuestos reforzados con fibras de carbono (CFRP) y de vidrio (GFRP).
- Materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibra CFRP y GFRP. Efecto de la configuración, uso de resinas reforzadas con nanopartículas y métodos avanzados de fabricación aditiva en el comportamiento mecánico y tolerancia al daño.
- Modificación superficial y procesado de materiales mediante energía solar concentrada.

2 | Miembros

2.1 | Personal Docente e Investigador

2.1.1 | Juan José López Cela



Figura 2.1: Juan José López Cela en el despacho del vicerrectorado

Juan José López Cela es ingeniero industrial desde 1989 y doctor en ingeniería en 1993, ambos por la Universidad Politécnica de Madrid. Desde 1990 hasta 1993 trabajó como ingeniero en SINEX S.A. Después de defender su tesis doctoral, estuvo dos años como becario postdoctoral en el programa ‘Human Capital and Mobility’ de la Comisión Europea en el Centro Común de Investigación en Ispra, en Italia. En 1996, la Universidad de Castilla-La Mancha lo contrató como profesor asociado. En 1999, consiguió la posición de Titular de Universidad y desde el 2009 ocupa la posición de Catedrático de Universidad.

Su incorporación a la UCLM fue en la creada nueva Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Ciudad Real en el área de mecánica de los medios continuos y teoría de estructuras. Durante ese primer año, estuvo como responsable de los programas de las asignaturas y de la dotación e instalación de los laboratorios docentes del área; además, he tenido algunas responsabilidades de gestión siendo el Vicerrector más importante de personal docente de la UCLM durante 9 años (diciembre 2011- diciembre 2020).

Su trabajo de investigación puede dividirse en tres periodos. El primero, de 1990 a 2004, mientras preparaba el doctorado, durante la estancia postdoctoral y primeros años en la UCLM, continuó la línea de investigación introducida por su asesor: la dinámica estructural. En SINEX realizó varios estudios utilizando la simulación numérica por el método de los elementos finitos para problemas de ingeniería civil y mecánica (cálculos sísmicos, vibraciones en suelos, etc.) y aeronáutica (satélite Meteosat, sonda Huygens, etc.). En su tesis ‘Propagación de ondas laminares en medios laminares’ estudió los efectos producidos en la estructura por la explosión del cordón pirotécnico en el vehículo lanzador de satélites ARIANE 5.

El segundo período, entre 2005 y 2010, centró su interés en las inestabilidades en los sólidos acelerados. Estos trabajos, que involucran estructuras y materiales bajo condiciones extremas de presión y temperatura muy elevadas, fueron en colaboración con investigadores de Mecánica de Fluidos de la UCLM e investigadores del GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung en Darmstadt, Alemania. Finalmente, el tercer periodo, desde aproximadamente 2011, se pasó a otro campo de investigación, el comportamiento mecánico de los materiales compuestos. Este fue un cambio muy importante porque ha estado utilizando principalmente herramientas numéricas (simulaciones por el método de los elementos finitos, por ejemplo) y pasa a la investigación experimental. La oportunidad estaba ahí: Castilla La Mancha es una región donde las energías alternativas (palas de aerogeneradores de PRFV en VESTAS, por ejemplo) y la industria aeronáutica (materiales CFRP, AIRBUS, EUROCOPTER, AIRNOVA, ICSA) son sectores prioritarios. Consiguió formar un pequeño grupo que hoy es un grupo consolidado reconocido por la Universidad de Castilla-La Mancha, COMES, incorporando investigadores del área de Mecánica Continua y Teoría de Estructuras así como del área de Ciencia de Materiales.

2.1.2 | Gloria Patricia Rodríguez Donoso

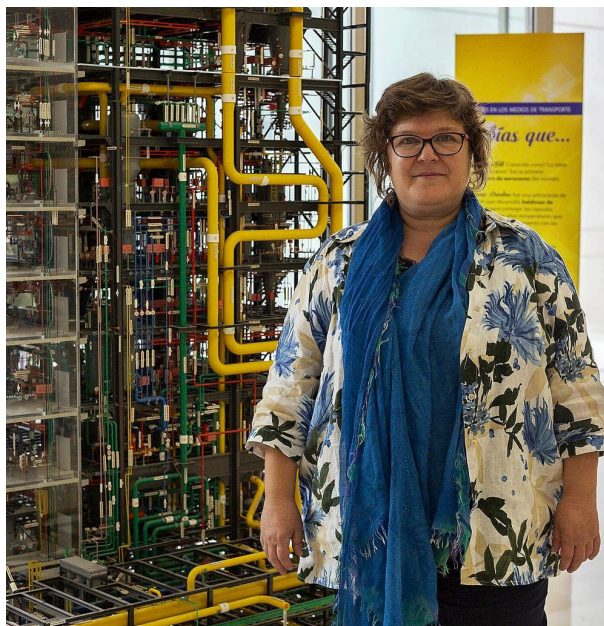


Figura 2.2: Gloria Patricia Rodríguez Donoso

Gloria Patricia Rodríguez Donoso es licenciada en Ciencias Químicas por la Universidad Complutense de Madrid (UCM, 1989). Realizó la tesis doctoral en el Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM-CSIC) con una beca FPI obteniendo el título de Doctora por la UCM en 1994. Durante la Tesis realiza numerosas estancias cortas en la Plataforma Solar de Almería, y una estancia de 2 meses (1991) en el Dpto. de Ciencia de Materiales e Ing. Metalúrgica de la Universidad Católica de Lovaina (Bélgica). Tras una estancia postdoctoral en el laboratorio Procédés, Matériaux et Energie Solaire (PROMES-CNRS) (1994-1995) financiada por el Programa Europeo ‘Human Capital and Mobility’ se incorpora a la E.T.S de Ingenieros Industriales de la Universidad de Castilla La Mancha (ETSII-UCLM, Ciudad Real) donde actualmente es Catedrática de Universidad. Además, es investigadora en el Instituto de Investigaciones Energéticas y Aplicaciones Industriales (INEI-UCLM). Codirige el grupo de investigación de Mecánica de los Medios Continuos e Ingeniería de Estructuras y Materiales de la UCLM, COMES.

Sus principales líneas de investigación están relacionadas con el procesado y modificación superficial de materiales metálicos con energía solar concentrada así como con la caracterización mecánica y microestructural de materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibras: Tolerancia al Daño por impacto de baja velocidad, envejecimiento térmico, fabricación convencional y aditiva, materiales CFRP (Polímeros Reforzados con Fibra de Carbono). Recientemente ha empezado a trabajar en la línea de investigación caracterización, propiedades y comportamiento en servicio de materiales metálicos procesados mediante fabricación aditiva. Ha participado en la redacción de 50 artículos científicos, 6 capítulos de libros, así como en la presentación de más de 93 trabajos a congresos nacionales e internacionales, una gran parte de ellos publicados en libros con ISBN. Ha sido Investigadora Principal de 22 proyectos: 3 Proyectos del Plan Nacional de I+D+I, 3 Proyectos Nacionales de Infraestructura FEDER; 3 Proyectos de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha; 6 Proyectos Internos de la UCLM, así como de 7 proyectos de Acceso a Instalaciones Científicas (5 Proyectos de la Unión Europea, Research Infrastructures Transnational Access, PROMES-CNRS, y 2 Proyectos del Plan Nacional I+D+I de Mejora y Acceso de Grandes Instalaciones Científicas, PSA-CIEMAT). Además, ha participado como Investigadora no principal en 20 proyectos. En la actualidad está dirigiendo una tesis doctoral en Fabricación aditiva de aleaciones metálicas mediante la tecnología FDM (Fused Deposition Modelling). Ha dirigido 2 tesis doctorales y más de 85 trabajos fin de estudios (Proyectos fin de carrera, TFM y TFG).

Es secretaria del Programa de Doctorado en Ciencias y Tecnologías Aplicadas a la Ingeniería Industrial de la UCLM. Su actividad se ve reflejada en los siguientes indicadores: 4 sexenios de investigación (solicitado el quinto), y un sexenio de transferencia. Pertenece a la Junta Directiva de la Sociedad Española de Materiales (SOCIEMAT), integrada en la COSCE (Confederación de Sociedades Científicas de España)

y en la FEMS (Federación de Sociedades de Materiales Europeas) y es Representante de la UCLM en la Fundación Centro Tecnológico del Metal de Castilla-La Mancha. Miembro del Comité Asesor de Revista Metalurgia desde mayo 2019. Es responsable de la propuesta aprobada por SOCIEMAT para la organización del XVII Congreso Nacional de Materiales en Ciudad Real (UCLM), 2022.

Es coordinadora del Proyecto Mujeres Ingeniosas: La ingeniería en femenino, financiado por la Fundación Española de Ciencia y Tecnología (FECYT) en 2018 y 2020 y comisaria de la exposición itinerante de Mujeres Ingeniosas. Ha publicado 12 trabajos de divulgación y 6 de innovación educativa en congresos nacionales e internacionales. Su trabajo de divulgación e innovación se ha visto merecedor del Premio del Consejo Social de la UCLM 2019 Reconocimiento a la Innovación Educativa.

2.1.3 | María del Carmen Serna Moreno



Figura 2.3: María del Carmen Serna Moreno

María del Carmen Serna Moreno es Ingeniero Industrial (Matrícula de Honor, 2002) por la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM) y Doctor Ingeniero Industrial (Cum Laude, 2006) por la UCLM. Ha sido Becaria Predoctoral y Postdoctoral de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, Profesor Ayudante, Profesor Ayudante Doctor y Profesor Contratado Doctor. Actualmente es Profesora Titular de Universidad de la UCLM y es responsable del Área de Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras de la Escuela de Ingeniería Industrial y Aeroespacial de Toledo. Durante estos años ha continuado su formación, realizando más de una treintena de cursos de especialización destacándose que es Técnico Medio en Prevención de Riesgos Laborales y que tiene un nivel B2 en los idiomas inglés, francés y alemán acreditados por la Escuela Oficial de Idiomas (EOI).

Su investigación se ha desarrollado en el grupo de investigación en Mecánica de los Medios Continuos, Ingeniería de Estructuras y Materiales (COMES) de la UCLM. Como miembro del grupo COMES ha participado en 15 proyectos de I+D obtenidos en convocatorias públicas competitivas (en dos de ellas ha sido IP) y en 3 contratos de I+D con empresas. Ha sido directora y co-directora de tres Tesis Doctorales, tiene una que está en proceso de realización en colaboración con el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial. La investigación en la que ha estado involucrada ha sido variada, siendo el denominador común el modelado de problemas mediante el Método de los Elementos Finitos. Parte de su actividad científica y movilidad ha sido financiada con 20 becas de distinta índole (15 UCLM, 4 regionales y 1 nacional). Fruto de ello son las estancias postdoctorales realizadas en los años 2007, 2008, 2016 y 2017 (20 meses) en el instituto de investigación GSI-Helmholtzzentrum de Darmstadt (Alemania). Como resultado, desde entonces se colabora con el organismo internacional GSI habiéndose participado en un total de 7 informes científico-técnicos. Además, en 2013 realizó una estancia de un mes en el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Sheffield (Inglaterra). Gracias a esta colaboración surgió la participación en el capítulo de un libro que presenta las cuestiones fundamentales que pueden afectar a la fiabilidad y la durabilidad de estructuras formadas por materiales compuestos. Actualmente su principal línea de

investigación se centra en el estudio del comportamiento estructural de materiales compuestos reforzados con fibra, haciendo especial hincapié en su respuesta ante cargas simultáneas aplicadas en dos direcciones perpendiculares (estado biaxial de cargas).

La relevancia de las contribuciones desarrolladas está avalada a nivel internacional por la publicación del trabajo que lidera en algunas de las revistas del JCR con mayor índice de impacto del sector de los materiales compuestos. En este sentido, ha colaborado en la realización de 24 artículos científico-técnicos indexados (20 JCR y 4 SJR), siendo primera autora en más de la mitad de ellos. Así mismo los resultados obtenidos en su investigación se han presentado en más de 50 congresos de reconocido prestigio a nivel nacional e internacional. A nivel nacional es miembro del consejo editorial de la revista Materiales Compuestos de la Asociación Española de Materiales Compuestos. Finalmente, en total relación al Proyecto PDC, cabe destacar la co-autoría en una solicitud de una patente nacional que está en proceso de evaluación.

2.1.4 | Miguel Ángel Caminero Torija



Figura 2.4: Miguel Ángel Caminero Torija

Ingeniero Industrial por la E.T.S. de Ingenieros Industriales de la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM) desde el año 2004 (3º de la 6ª Promoción de la E.T.S. de Ingenieros Industriales), Diplomado en Estudios Avanzados en Ingeniería Industrial en 2006 y Doctor por la UCLM en 2010. Ha sido galardonado con la beca honorífica de la Universidad de Castilla-La Mancha en 1998 por mejor nota de acceso y ha recibido el premio TECNOVE 2003 por su trayectoria académica.

En 2004, comienza su carrera profesional como becario del proyecto empresarial (posterior spin-off) FAISAN (Formación y Apoyo Industrial en Simulaciones y Análisis Numéricos), financiado por la Fundación General de la UCLM. Durante este periodo, realiza tareas de formación, asesoría y consultoría a empresas y universidades en el campo de análisis numéricos mediante el Método de los Elementos Finitos (MEF), así como venta, distribución y soporte técnico de un software comercial de elementos finitos denominado ADINA, de la empresa ADINA R&D que es a su vez una spin-off del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) de Estados Unidos. Posteriormente, recibe una Beca FPI durante los años 2005 y 2006 de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha para la realización de una tesis doctoral, siendo a su vez galardonado con una beca de doctorado del Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid.

Ha ocupado los puestos de Investigador Contratado, financiado por la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha (2007-2008), Ayudante (2009), Ayudante con Grado de Doctor (2010-2011), Profesor Ayudante Doctor (2012-2015), Profesor Contratado Doctor Temporal (2015-2016), Profesor Contratado Doctor Interino (2016-2020) y Profesor Titular de Universidad (2020), con cuatro trienios, tres quinquenios de docencia y dos sexenios de investigación reconocidos y desde 2013 acreditado por la ANECA en la figura de Titular de Universidad. Desde 2007, el solicitante colabora con el Profesor Francisco Javier Montáns Leal, catedrático de la E.T.S. de Ingenieros Aeronáuticos de la Universidad Politécnica de Madrid en el campo de la mecánica computacional (plasticidad computacional anisótropa en grandes deformaciones). También ha colaborado con el Profesor Klaus-Jürgen Bathe del MIT (EEUU), investigador de reconocido prestigio a nivel internacional.

En el año 2011, realiza una estancia postdoctoral financiada con una beca de movilidad del Ministerio de Educación de 13 meses de duración en el Composite Systems Innovation Centre (CSIC) de la Universidad de Sheffield (Reino Unido) bajo la supervisión del Profesor Constantinos Soutis, investigador de reconocido prestigio internacional en el campo de materiales compuestos con aplicaciones aeronáuticas (actualmente Profesor de Ingeniería Aeroespacial de la Universidad de Manchester y Director del Instituto de Investigación Aeroespacial (UMARI)). Esta estancia le ha permitido completar su formación en el campo de materiales compuestos reforzados e iniciar una nueva línea de investigación en la UCLM. La actividad investigadora desarrollada en el grupo de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras de la UCLM se centra en dos líneas principalmente: Plasticidad computacional dentro del marco del método de los elementos finitos y análisis experimental y numérico del daño en materiales compuestos reforzados procesados mediante técnicas avanzadas. Esta línea de investigación se encuadra dentro del proyecto autonómico Tolerancia al daño por impacto de estructuras de materiales compuestos avanzados de matriz polimérica procesados mediante fabricación aditiva y por moldeo de transferencia de resina (VARTM)", con referencia SBPLY/19/180501/000170 (2020-2023), donde es investigador principal.

2.1.5 | Ana Romero Gutiérrez



Figura 2.5: Ana Romero Gutiérrez

Ingeniera Industrial por la E.T.S. de Ingenieros Industriales de la UCLM desde el año 2010 con la obtención del premio al mejor proyecto Fin de carrera en Ingeniería Industrial concedido por la empresa Airbus S.A.S. Es Doctora CUM LAUDE por el programa de Doctorado en Ciencias y Tecnologías Aplicadas a la Ingeniería Industrial desde el año 2016 y cuenta con un segundo título de postgrado (Máster en Ingeniería Industrial) obtenido en la UCLM en el año 2012.

Comienza su carrera investigadora en el Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM-CSIC) en el año 2011 donde se incorporó a trabajar al amparo de un proyecto obtenido en el Plan Nacional de ayudas a la investigación, para a continuación seguir su trayectoria profesional como investigadora en la UCLM desde el año 2012 donde ha trabajado ininterrumpidamente en las figuras de Profesora Asociada y Profesora Ayudante Doctor, además de haber estado contratada con cargo a proyectos de investigación de financiación pública y privada. Cuenta con 3 trienios y 1 quinquenio de docencia reconocidos y desde 2020 está acreditada por la ANECA en la figura de Profesora Titular. Su formación ha continuado con la realización de 17 cursos de especialización, además de cursos de idiomas y de prevención de riesgos laborales.

De su carrera investigadora se puede destacar la publicación de 18 artículos científicos, 17 indexados en JCR del SCI (15 en Q1, 1 en Q2 y 1 en Q3) y 1 artículo indexado en RG Impact Factor, y 6 artículos de divulgación científica. La participación en 11 proyectos de investigación, 8 obtenidos en convocatorias públicas y competitivas (4 Europeas, 2 Nacionales y 2 Regionales) y 3 Art. 83 relacionados con la investigación y que han servido para realizar algunas de las publicaciones expuestas. La participación en 28 publicaciones (11 Orales, 2 Comunicaciones y 16 Pósteres) en Congresos Científicos de reconocido prestigio (11 internacionales y 13 Nacionales) además de comunicaciones en jornadas doctorales y en cursos internacionales. Revisora de artículos científicos en diferentes revistas indexadas en JCR. Obtuvo una beca

competitiva predoctoral y una ayuda de investigación competitiva concedida por la cátedra de innovación y desarrollo cooperativo y empresarial bajo el convenio de la fundación Caja Rural y UCLM, dentro de la II convocatoria de ayudas a la investigación relacionada con la innovación empresarial, la estrategia de internacionalización y el desarrollo cooperativo. Cuenta con 3 ayudas competitivas para la financiación de actividades de investigación dirigidas a grupos de la UCLM cofinanciada por el fondo europeo de desarrollo regional. Ha llevado a cabo 5 estancias de investigación, 4 Internacionales (7 semanas) y 1 Nacional (1 Semana). Ha codirigido 19 PFCs, TFGs y TFMs, y ha participado en multitud de tribunales de defensa de PFCs, TFGs y TFMs en diversas titulaciones.

Forma parte del grupo de investigación de Mecánica de Medios Continuos e ingeniería de Estructuras y Materiales de la UCLM, además de ser miembro de SOCIEMAT desde 2010 y de AEMAC desde 2016. Ha centrado su investigación en el desarrollo de nuevos materiales (metálicos y materiales compuestos de matriz metálica y polimérica), en la caracterización (física, mecánica y magnética) de los mismos y en el uso de técnicas de procesamiento pulvimetalúrgicas, avanzadas como el moldeo por inyección de polvos y de alta energía.

2.1.6 | Juan Luis Martínez Vicente



Figura 2.6: Juan Luis Martínez Vicente

Se incorpora en 2011 a la plantilla de Personal Docente e Investigador de la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM) con la figura de Ayudante en el Departamento de Mecánica Aplicada e Ingeniería de Proyectos. En 2016 defiende su Tesis Doctoral obteniendo la calificación de Sobresaliente y la mención Cum Laude. Tras ocupar diferentes puestos, en la actualidad es Profesor Contratado Doctor Interino en dicho Departamento de la UCLM. Durante este periodo, ha impartido docencia en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Ciudad Real (ETSII-CR) y en la Escuela de Arquitectura de Toledo (EAT), en sus Planes de Estudios de Grado y Máster.

Forma parte del Grupo de Investigación de Mecánica de los Medios Continuos e Ingeniería de Estructuras y de Materiales (COMES) de la UCLM y su actividad investigadora se ha centrado en el estudio del comportamiento de materiales compuestos reforzados con fibras ante situaciones complejas de carga, así como en el análisis de la influencia de discontinuidades geométricas en la resistencia de estos materiales. La producción investigadora desarrollada ha dado como resultado la publicación de una decena de artículos en revistas internacionales de primer nivel indexadas en el Journal Citation Reports (JCR), así como diversas ponencias presentadas en congresos nacionales e internacionales. La calidad e innovación de estos trabajos ha sido reconocida por la Fundación de los Ferrocarriles Españoles y por la empresa Tria Railway RD SL otorgando en 2013 el Primer Premio Nacional del Concurso Jóvenes Ingenieros Ferroviarios Tria Railway RD. En el Grupo COMES, ha participado como miembro del equipo investigador en Proyectos de Investigación financiados con fondos regionales y nacionales en convocatorias competitivas. Además, desde 2016 colabora activamente con el Grupo de Investigación Computer-Aided Aerospace and Mechanical Engineering Team (CA2M) de la Universidad de Sheffield (Reino Unido), siendo coautor de varias publicaciones.

2.1.7 | Sergio Horta Muñoz



Figura 2.7: Sergio Horta Muñoz

El investigador es Graduado en Ingeniería Mecánica (2015), Máster en Ingeniería Industrial (2017), reconocido con premio extraordinario fin de estudios al mejor expediente de la V promoción, y Doctor con Mención Internacional en el programa de Doctorado en Ciencias y Tecnologías Aplicadas a la Ingeniería Industrial (2020), todas titulaciones por la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM). Su investigación se desarrolla en el grupo de investigación en Mecánica de los Medios Continuos, Ingeniería de Estructuras y Materiales (COMES) de la UCLM.

Tras la obtención de dos becas predoctorales de iniciación a la investigación (2015-2017), desarrolló sus estudios de doctorado con una beca predoctoral de la JCCM (2017-2020) bajo la supervisión de la Dra. M^a del Carmen Serna Moreno en líneas de investigación relacionadas con la Mecánica de los Medios Continuos y, más específicamente, en caracterización numérica, analítica y experimental del comportamiento mecánico de materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibra y nanopartículas ante cargas multiaxiales. Remarcar la multidisciplinariedad de dicha línea de investigación, que destaca por la caracterización de la respuesta del material ante cargas biaxiales en probetas cruciformes. En el apartado numérico y analítico, realzar el desarrollo y la validación de modelos no-lineales de comportamiento, daño y fallo de materiales compuestos, complementados con una estancia de investigación en la Ghent University (3 meses) supervisada por el prestigioso profesor Wim Van Paepegem.

Actualmente es profesor Ayudante Doctor en el Área de Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras de la Escuela de Ingeniería Industrial y Aeroespacial de Toledo (UCLM). Cuenta con un trienio reconocido y desde enero de 2021 está acreditado por la ANECA en la figura de Profesor Contratado Doctor. El investigador ha sido galardonado con dos premios por sus Trabajos Fin de Grado y Máster, concedidos por el Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Industriales de Ciudad Real y la empresa Airbus, respectivamente. La relevancia de las contribuciones desarrolladas está avalada a nivel internacional por la publicación del trabajo en revistas del JCR (+10 artículos Q1) con mayor índice de impacto del sector de los materiales compuestos (Composites Science and Technology o Composite Part B). Así mismo los resultados obtenidos en su investigación se han presentado en 20 contribuciones a congresos de reconocido prestigio a nivel nacional e internacional, por ejemplo en el ECCM o el ICCS, además de comunicaciones en jornadas doctorales y en cursos internacionales.

Además, recientemente ha participado en un modelo de utilidad en coautoría, directamente vinculado con la investigación descrita. Por otra parte, ha participado como investigador colaborador a tiempo completo en proyectos de investigación financiados con fondos regionales y nacionales. La participación en 4 proyectos de investigación, 3 obtenidos en convocatorias públicas y competitivas (2 nacionales y 1 regional) y 3 artículos 83, uno de ellos como IP. Cuenta con 3 ayudas competitivas para la financiación de actividades de investigación dirigidas a grupos de la UCLM cofinanciada por el fondo europeo de desarrollo regional.

2.2 | Personal Investigador en Formación

En el grupo trabajan también varios miembros como personal en formación que están contratados para ayudar en el proyecto *‘Hacia la normalización del ensayo biaxial tracción-compresión para determinar propiedades mecánicas ante estados de cortadura pura en el plano’ (BISHEAR)*. Estos miembros son:

- **Antonio Cañadilla Sánchez:** Es graduado en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Castilla-La Mancha en 2019 y obtuvo el máster en Ciencia e Ingeniería de los Materiales en 2020. Se unió al grupo a finales del 2020 como doctorando en el programa de Ciencias e Ingeniería Aplicadas a la Ingeniería Industrial. Su principal línea de investigación es la fabricación aditiva de metales.
- **Manuel González Gallego:** Es Ingeniero Industrial especialidad en Mecánica por la Universidad de Castilla-La Mancha en 2014 y desde el 2017 es doctorando en Ciencias y Tecnologías Aplicadas a la Ingeniería Industrial y se unió al grupo COMES. Actualmente es investigador I+D+I en el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial ‘Esteban Terradas’ (INTA), y su principal línea de investigación es la ‘Monitorización de esfuerzos estructurales en cascos de modelos de buques de material compuesto, mediante sensores de fibra óptica en redes de Bragg’.
- **Carlos García Gómez:** Graduado en el Grado en Ingeniería Aeroespacial en Escuela de Ingeniería Industrial y Aeroespacial de Toledo en 2022. Se unió al grupo a principios del 2022.
- **José García Delgado:** Graduado en el Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática en Escuela de Ingeniería Industrial y Aeroespacial de Toledo en 2022. Se unió al grupo a mediados del 2022.

3 | Equipamiento y ubicaciones

El grupo **COMES** dispone de varios laboratorios en diferentes emplazamientos de la UCLM, concretamente en los campus de Ciudad Real y Toledo. Estos laboratorios están altamente equipados y podemos llevar a cabo diferentes tratamientos térmicos, analizar la estructura interna de los materiales y caracterizarlos tanto física, como química y mecánicamente, destacando la caracterización mediante ensayos mecánicos ante diferentes estados de carga, incluidas cargas multiaxiales. También investiga la obtención de diferentes materiales y estructuras a partir de nuevas técnicas de procesamiento. Estos laboratorios se encuentran en Ciudad Real en la ETSII-CR y en el INEI y en Toledo en el INAIA.

3.1 | ETSII-CR, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Ciudad Real

La **ETSII-CR** se encuentra en Ciudad Real, en el edificio politécnico de la Universidad de Castilla-La Mancha, en la Av. Camilo José Cela, 2. Aparte de impartir docencia y de tener los laboratorio docentes, el grupo cuenta con dos laboratorios en este emplazamiento, uno para estructuras y medios continuos y otro para materiales.

3.1.1 | Laboratorio de Medios Continuos y Teoría de Estructuras

En este laboratorio se encuentra la primera máquina triaxial de ensayos de España, se trata de la MICROTEST MAEFH, equipada además con un sistema DIC (por las siglas en inglés de correlación digital de imágenes) de LaVision. Este sistema permite examinar sin contacto el campo tridimensional completo de desplazamientos, deformaciones y amplitudes de vibración en prácticamente cualquier tipo de material, pudiendo así determinar la resistencia del mismo mediante los puntos concretos de deformación.

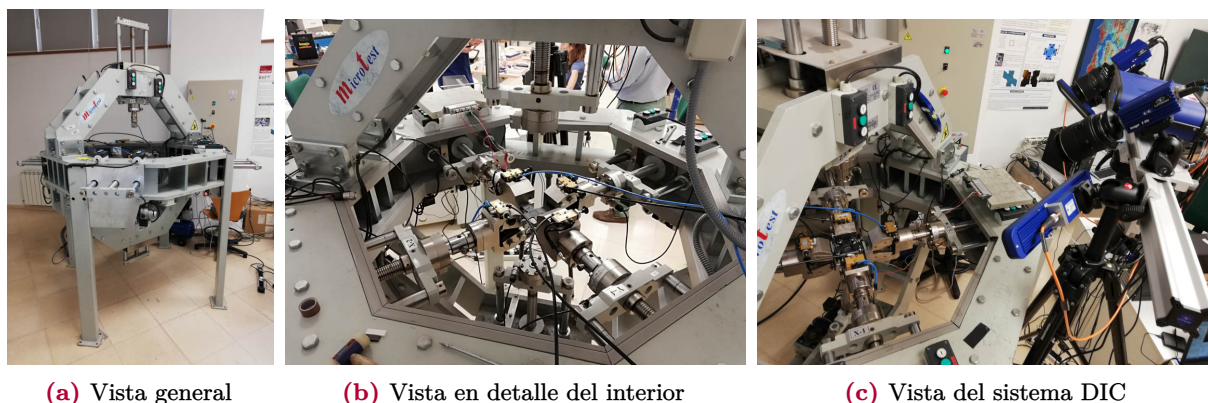


Figura 3.1: Máquina triaxial de ensayos MICROTEST MAEFH

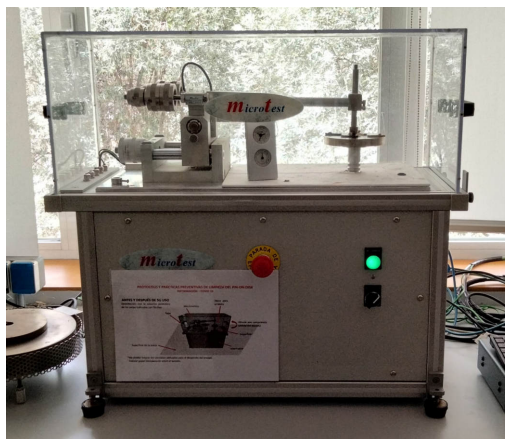
Este laboratorio cuenta también con un péndulo Charpy, impresoras FDM (por sus siglas en inglés, Fused Deposition Modeling, modelado por deposición de material fundido), una Markforged Metal X con sistema de debinding y sinterizado para la impresión 3D de metales, también cuenta con una impresora de polietileno-ter-cetona y varias impresoras de PLA y ABS como son la Ultimaker 2 o la Markforged Mark Two. Además dispone de una máquina de ultrasonidos Phased Array C-Scan Olympus Omniscan SX

3.1.2 | Laboratorio de materiales

Este laboratorio cuenta con varios microscopios de tipo óptico y electrónico SEM (Scanning Electron Microscope), máquina de ensayo uniaxial MICROTEST, durómetros convencionales y microdurómetro Vickers, equipos para preparación de muestras metalográficas (cortadora, embutidora, pulidora...), tribómetro Pin-on-Disk para medir la resistencia al desgaste abrasivo y dispone de una lente de FRESNEL en el tejado del edificio politécnico, la cual permite aprovechar la energía solar para la obtención de nuevos materiales o aleaciones.



(a) Lente de Fresnel



(b) Tribómetro



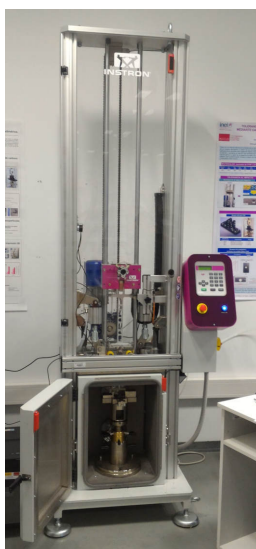
(c) Máquina MICROTTEST

Figura 3.2: Máquinas del laboratorio de materiales

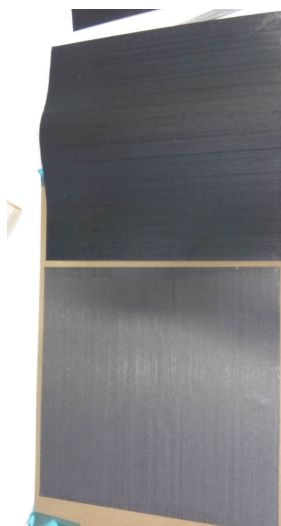
3.2 | INEI, Instituto de Investigaciones Energéticas y Aplicaciones Industriales

El **INEI** ha sido creado con el objetivo principal de realizar investigación básica y aplicada sobre cuestiones energéticas. Se **encuentra** en Camino Moledores, 33, en Ciudad Real. Aquí, el grupo investiga para hacer estructuras más eficientes y sostenibles.

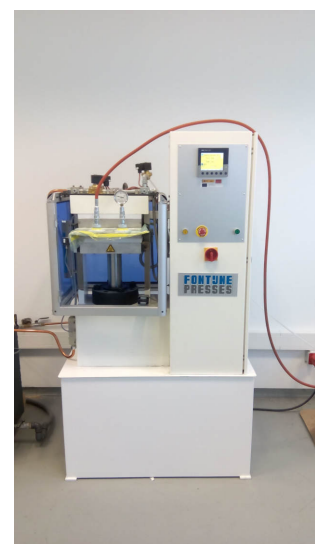
En este instituto disponemos de un laboratorio de los medios continuos y de teoría de estructuras equipado con lo necesario para la fabricación de materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibra mediante laminado manual o infusión de resina por vacío. Entre la equipación destacamos la prensa de platos calientes Fontijne LabEcon y la columna de impacto Instron CEAST 9340 equipada con cámara de temperatura.



(a) Columna de impacto



(b) Materiales compuestos



(c) Prensa de platos calientes

Figura 3.3: Máquinas del laboratorio del INEI

3.3 | INAIA, Instituto de Investigaciones Aplicadas a la Industria Aeronáutica

El **INAIA** se encuentra en el campus tecnológico Fábrica de Armas de Toledo. En este instituto, cuyos investigadores adscritos pertenecen su mayoría a la **Escuela de Ingeniería Industrial y Aeroespacial de Toledo (EIIA-To)**, se investiga en diferentes ámbitos de la industria aeroespacial como son la propulsión, las emisiones, los combustibles, las estructuras y nuevos materiales, entre otros. El grupo dispone de dos laboratorios en este instituto, centrándose en la investigación de nuevos materiales compuestos y su comportamiento ante situaciones reales para su utilización en la industria.

3.3.1 | Laboratorio de Medios Continuos y Estructuras

En este laboratorio contamos con una máquina de ensayos universal Instron 5969 para realizar ensayos tanto de tracción como de compresión, con una torre instrumentada de caída de peso Instron CEAST 9340, con una prensa de platos calientes Cortazar Systems para realizar operaciones básicas de procesamiento de polímeros y materiales compuestos ejerciendo una presión de 10 toneladas. Dispone de equipos DIC en dos y tres dimensiones para la medición de deformaciones en las superficies y un equipo de alta velocidad Photron Mini AX50 que permite recoger imágenes a una elevada tasa por segundo, pudiendo así capturar procesos al milisegundo. Para medir las deformaciones tenemos un extensómetro, un deflectómetro y una caja de extensometría KYOWA PCD-430A. Cuenta también con una impresora 3D y con un servidor de cálculo en red que dispone de licencia de investigación del software de cálculo con elementos finitos ABAQUS.



(a) Vista gral. del laboratorio



(b) Prensa de platos calientes



(c) Máquina uniaxial ensayos

Figura 3.4: Máquinas del laboratorio del INAIA

3.3.2 | Laboratorio de materiales

En este laboratorio hay para el desarrollo de nuevos materiales y conformado, un molino planetario de bolas PM100 de RETSCH y una bobinadora de filamentos de alta temperatura con módulo de secado y reciclado de 3devo. Para la realización de síntesis y tratamientos térmicos tenemos un horno tubular de alta temperatura (1700 °C) RHTH80-300/17/P470 de NABERTHERM, una estufa de alta Temperatura (850 °C) con controlador de temperatura C440 y de atmósfera de NABERTHERM y una estación de vacío turbomolecular T-Station 85H Dry NW40 200-240V de Edwards para tratamientos térmicos que requieran atmósfera de vacío.

Para la preparación metalográfica dispone de cortadora de precisión SECOTOM-20 de Struers, prensa de embutición automática CitoPress-5 de Struers, máquina de desbaste y pulido Tegramin-20 de Struers y máquina de pulido electrolítico LectroPol-5 de Struers. Para caracterización mecánica, microdurómetro para medir dureza Vickers/Knoop/HBS/HBW/Kc FM800 de FUTURE TECH, máquina universal de ensayos electromecánica (Tracción, compresión, flexión) EM1/200/FR con célula de carga de 200 kN de Microtest, tribómetro PIN-ON-DISK MT/60 de MICROTTEST. Para caracterización física, picnómetro de Helio Accupyc II 1340 para medida de densidad de materiales incluso en estado de polvo, set de determinación de densidad por el método de Arquímedes EMB 200-3V de KERN y medidor del índice de fluidez volumétrico MFI-500/AP-400C de Metrotec. Por último, para la caracterización macroestructural/microestructural dispone de un microscopio invertido GX53 de Olympus y un microscopio estereoscópico SZX10 de Olympus.

4 | Investigación

Las líneas de investigación del grupo COMES son varias y uno de los principales objetivos del grupo consiste en poder estudiar el comportamiento de diferentes materiales, principalmente metálicos y compuestos de matriz polimérica reforzados con fibra. Una línea de trabajo actual persigue estudiar la influencia de distintas técnicas de fabricación de piezas y de componentes de estructuras en lo que son las propiedades de los materiales. La fabricación aditiva, lo que es la impresión 3D, permite obtener geometrías bastante complejas y complicadas y además fabricar componentes de manera personalizada y esto hace que sea una tecnología bastante innovadora. Pero además, están introduciendo otro elemento innovador que consiste en utilizar energía solar altamente concentrada en una de las etapas de la fabricación aditiva de materiales metálicos, para tener un proceso menos contaminante, más eficiente y por supuesto, más sostenible.

5 | Colaboraciones

En esta sección conoceremos a los grupos de investigación, empresas o instituciones con las que el grupo COMES colabora o ha colaborado de manera conjunta para realizar algún trabajo.

5.1 | MSOC Nanochemistry

El grupo Microwave and Sustainable Organic Chemistry (**MSOC**) Nanochemistry de la UCLM está formado actualmente por 17 personas: cuatro de ellas son profesores de la UCLM, dos investigadores postdoctorales, siete estudiantes de doctorado, dos de máster y dos técnicos de investigación.

Han trabajado en diferentes líneas de investigación, que van desde la producción de nanomateriales 2D exfoliados para aplicaciones biológicas hasta el desarrollo de nuevos materiales blandos sensibles a estímulos, concretamente en hidrogeles híbridos inteligentes. También han trabajado en la funcionalización y purificación de nanoestructuras de carbono utilizando metodologías no convencionales.

El grupo COMES ha trabajado con ellos en el estudio y caracterización de materiales nanorreforzados con grafeno y otras nanopartículas derivadas del carbono.

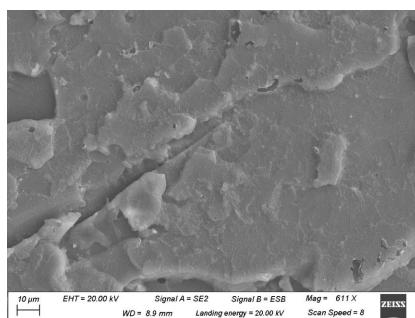


Figura 5.1: Microscopía SEM de una resina epoxi nanoreforzada con óxido de grafeno.

5.2 | IGOID-Sportec

Es una spin-off de la Universidad de Castilla-La Mancha, fundada en 2017. Su objetivo es facilitar la transferencia de los resultados de investigación y el conocimiento adquirido por el Grupo **IGOID** al sector de los servicios deportivos, instalaciones deportivas y el rendimiento deportivo.

El grupo COMES trabaja actualmente con ellos en el estudio y caracterización de superficies deportivas como, por ejemplo, realizando ensayos sobre céspedes artificiales (Figura 5.2) para su certificación ante la Federación Internacional de Fútbol Asociación (FIFA).



Figura 5.2: Ensayo de césped artificial

5.3 | SPORTLAB

SPORTLAB es un grupo de investigación de la Facultad de Ciencias del Deporte de Toledo cuyo principal responsable es el catedrático José María González Ravé. Sus principales líneas de investigación son:

- Análisis y valoración del rendimiento deportivo.
- Desarrollo tecnológico para aplicaciones en el entrenamiento deportivo y en el análisis del rendimiento deportivo.
- Eficacia de las técnicas de entrenamiento para la mejora del rendimiento deportivo.
- Investigación en metodología y desarrollo de las capacidades de prestación deportiva.

El grupo COMES trabaja actualmente con ellos en la caracterización y estudio de nuevos materiales para la fabricación de suelas de calzado deportivo para la mejora de las prestaciones deportivas.



Figura 5.3: Montaje del ensayo de flexión de zapatilla deportiva.

5.4 | Computer-Aided Aerospace and Mechanical Engineering Team (CA2M)

Grupo de investigación liderado por el Doctor José Luis Curiel-Sosa y adscrito a la Universidad de Sheffield (Reino Unido). El grupo investiga en un amplio rango de temas como son:

- Análisis computacional de estructuras no lineales
- Aerodinámica computacional
- Evaluación del fallo y predicción del daño (fatiga, fractura, delaminación)
- Contribución al avance de las metodologías de aeroelasticidad (divergencia, inversión de control, aerodinámica inestable, recolección de energía)

Las colaboraciones con este grupo se han centrado principalmente en el desarrollo simulaciones numéricas mediante programas de análisis de elementos finitos, con especial énfasis en el modelado de daño y grietas en ensayos biaxiales (Figura 5.4¹).

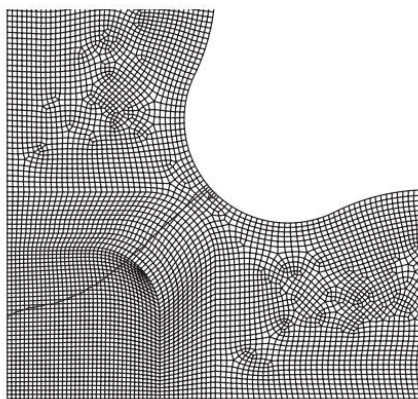


Figura 5.4: Simulación de propagación de grieta en probeta cruciforme mediante XFEM.

¹M.C. Serna Moreno et al., 'Crack propagation in a chopped glass-reinforced composite under biaxial testing by means of XFEM' Composite Structures 119, 264–271. 2015.

5.5 | WASA-FRS en GSI-FAIR

La colaboración internacional WASA-FRS se centra en el estudio experimental de la materia nuclear a alta energía, sus interacciones y estados ligados con partículas subatómicas (hadrones) como los núcleos mesónicos o hipernúcleos. Los experimentos de la colaboración se efectúan en el instituto de investigación internacional GSI-FAIR (Darmstadt, Alemania). El centro GSI opera una instalación de aceleradores líder en el mundo para fines de investigación. En el GSI se está construyendo FAIR, un acelerador para la investigación con antiprotones e iones.

El grupo COMES ha trabajado con la colaboración internacional WASA-FRS que está haciendo experimentos en las instalaciones del GSI-FAIR. En particular, ha participado en el diseño de la estructura soporte de un prototipo de detector de partículas (double sided silicon strip detector) para rastreo de partículas subatómicas (hadrones) en el experimento WASA-FRS en GSI-FAIR y en el futuro acelerador de iones pesados HIAF de Huizhou (China).

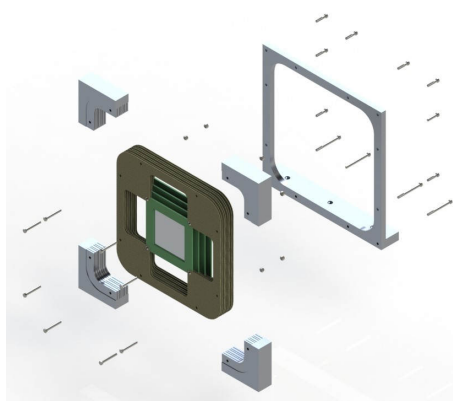


Figura 5.5: Explosionado del detector de partículas diseñado en colaboración UCLM-GSI.

6 | Ensayos

6.1 | Ensayo biaxial

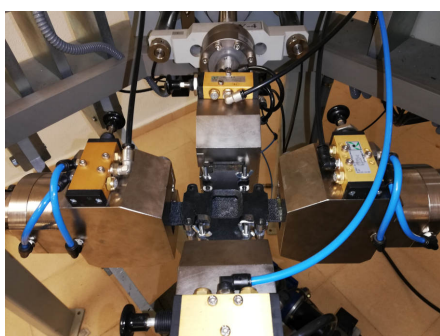
En primer lugar, cabe mencionar que este tipo de ensayos sólo está estandarizado para materiales metálicos, mientras que para el resto de materiales no existen estándares nacionales/internacionales relativos a ensayos biaxiales. El grupo COMES está trabajando en la elaboración de un documento técnico, para más adelante poder elaborar una norma UNE (en el marco del proyecto Prueba de Concepto *BISHEAR*), para realizar este tipo de ensayos en materiales compuestos cuya respuesta es mucho más compleja (presentan comportamientos ortótropos y en ciertos casos no-lineales) y que es de gran interés para el diseño de estructuras aeroespaciales.

Existen dos tipos de ensayos biaxiales, con tubos o con probeta cruciforme. El ensayo con tubos consiste en rellenar con un fluido a presión un tubo fabricado con el material de estudio. Este tipo de ensayo no es muy común y para encontrar un grupo de investigación de referencia en esta temática debemos buscar en Italia, en el grupo liderado por el profesor Marino Quaresimin en la Universidad de Padova.

El grupo COMES trabaja en la otra metodología predominante a nivel investigación para la realización de ensayos biaxiales con probetas cruciformes gracias a la máquina triaxial con la que cuenta en los laboratorios de la ETSII-CR, que fue además la **primera en España**, asemejando su configuración a una máquina triaxial diseñada en una colaboración entre la Federal Aviation Administration (FAA) y la Universidad de Wyoming (EEUU). En la actualidad podemos encontrar también máquinas para ensayos biaxiales en Madrid y en Sevilla.

Como es frecuente la aparición de estados de carga multiaxial sobre materiales compuestos en la industria aeroespacial o en la de producción de energía eólica, el ensayo biaxial reproduce un estado de carga biaxial. Para ello, se aplican fuerzas a tracción y compresión con diferentes ratios en cada uno de los brazos de una probeta cruciforme, pero permaneciendo el centro inmóvil. Para evitar el pandeo de la probeta, el grupo ha desarrollado un dispositivo antipandeo del cual se ha solicitado un modelo de utilidad (Figura 6.1a).

Destacar entre todo el abanico de ensayos biaxiales, el tracción-compresión con la aplicación de fuerzas de misma magnitud en ambas direcciones, ya que permite determinar las propiedades a cortadura del material. Aunque existen otros ensayos estandarizados de cortadura más baratos y simples, no aportan la misma precisión que este puesto que no pueden conseguir un estado de cortadura pura, o bien no pueden mantener este estado durante la realización de todo el ensayo.



(a) Dispositivo antipandeo instalado



(b) Varias probetas después del ensayo

Figura 6.1: Ensayo biaxial

Este ensayo se realiza aplicando fuerzas de tracción a uno de los ejes de la cruz y de compresión de igual magnitud en el otro. De esta forma, si nos situamos en el centro de la probeta y en un sistema de coordenadas a 45° de las fuerzas, se genera la cortadura pura (Figura 6.1b). Mediante la realización de este ensayo, obtenemos la rigidez a cortadura del material, esto es, la propiedad mecánica denominada módulo de cortadura (G) así como la tensión máxima a cortadura (τ) que el material puede soportar antes de romperse. Junto a estos valores, obtenemos la curva tensión-deformación de cortadura necesaria para el diseño de estructuras aeroespaciales.

En cuanto al tiempo que se tiene que emplear en la realización de este tipo de ensayos, sin contar el tiempo de fabricación de la probeta, y teniendo en cuenta que se necesitará repetir el procedimiento con al menos unas tres o cuatro probetas para poder llegar a unos resultados fiables, se necesitarán unas 15 horas como mínimo para realizar los ensayos y extraer los resultados.

6.1.1 | Conclusiones

Las conclusiones a las que llegamos tras este ensayo, del cual somos pioneros, son el módulo de cortadura (G), la tensión máxima de cortadura (τ) y la curva tensión-deformación de gran importancia para el diseño de estructuras aeroespaciales con materiales compuestos.

Además de ser los primeros en realizar un documento técnico para poder desarrollar una norma UNE y estandarizar este tipo de ensayos, hemos diseñado un dispositivo antipandeo para mejorar el ensayo del cual hemos solicitado propiedad industrial mediante un modelo de utilidad.

7 | Ejemplo consultoría mediante artículo 83

7.1 | Altran

Altran es una consultoría técnica que fue comprada por **Capgemini** en 2019. El trabajo que realizó el grupo COMES con Altran analizó la posibilidad de aumentar el porcentaje de energía disipada por la estructura de una aeronave en caso de impacto sin modificar la estructura sustancialmente, con el fin de disminuir el daño sufrido por los ocupantes. En la industria aeronáutica está muy extendido el uso de adhesivos para la unión de los distintos componentes estructurales hechos de material compuesto. Se propuso variar la geometría estándar de estas uniones adhesivas para aumentar la cantidad de energía disipada en el proceso de despegue en un posible impacto. En este trabajo se realizó un estudio mediante el FEM, en el que se comprueba que durante el proceso de daño del adhesivo la energía disipada por el mismo aumenta si la geometría de la unión adhesiva favorece que se desarrollen todos sus modos de fallo.