

MEMORIA IUTA

2022

RESULTADOS

PROYECTOS DE
INVESTIGACIÓN



Instituto Universitario de
Tecnología Industrial de
Asturias

RESULTADOS PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN IUTA 2022

Gijón, Asturias
2023



Universidad de
Oviedo



Ayuntamiento
de Gijón



Milla del
Conocimiento
de Gijón/Xixón
> Margarita Salas

Estimados amigos y colaboradores,

El Instituto Universitario de Tecnología Industrial de Asturias (IUTA), que inició su andadura en el año 1994, es un centro de investigación que actualmente cuenta con más de 200 profesores de la Universidad de Oviedo, con un perfil predominantemente tecnológico. En el Instituto también están presentes jóvenes investigadores contratados o ponentes que, de manera temporal, participan en algún proyecto.

El principal objetivo del IUTA es aumentar el valor del ecosistema tecnológico de Asturias, navegando hacia un sinfín de horizontes más digitales, innovadores y sostenibles. Para tal fin, el fomento y desarrollo de actividades de I+D+i es primordial, siendo la innovación uno de los principales pilares. Otro objetivo del Instituto, y no menos importante, es dar la oportunidad a los egresados universitarios de iniciarse en el mundo de la investigación, participando y adquiriendo nuevo conocimiento a través de actividades que forman parte de proyectos inmersos en empresas reales. Por consiguiente, el Instituto apuesta por fomentar una formación tecnológica más especializada e impulsar la empleabilidad de las nuevas generaciones.

La presentación de los Proyectos de Investigación 2022, es una gran oportunidad para los jóvenes investigadores donde exponer el trabajo realizado, fruto de su dedicación y esfuerzo. También cabe destacar el trabajo llevado a cabo por los investigadores que forman parte de los proyectos, siempre dispuestos a ayudar y enseñar, con el fin de alcanzar siempre el mejor resultado posible. Por lo tanto, espero que esta simbiosis entre universidad y empresa sea fructífera para ambas partes, y que la riqueza tecnológica alcanzada retorne a la innovación empresarial asturiana.

Quería aprovechar la oportunidad que se me brinda para agradecer al Vicerrectorado de Investigación la colaboración prestada en todo momento para el desarrollo de las actividades, y al Ayuntamiento de Gijón el apoyo económico prestado, sin el cual no sería posible su implementación.

Reciban un cordial saludo, y más sincero agradecimiento por su interés,



María Teresa González Aparicio

Secretaria del IUTA



Estimados amigos y colaboradores,

El Instituto Universitario de Tecnología Industrial de Asturias (IUTA), que inició su andadura en el año 1994, es un centro de investigación que actualmente cuenta con más de 200 profesores de la Universidad de Oviedo, con un perfil predominantemente tecnológico. En el Instituto también están presentes jóvenes investigadores contratados o ponentes que, de manera temporal, participan en algún proyecto.

El principal objetivo del IUTA es aumentar el valor del ecosistema tecnológico de Asturias, navegando hacia un sinfín de horizontes más digitales, innovadores y sostenibles. Para tal fin, el fomento y desarrollo de actividades de I+D+i es primordial, siendo la innovación uno de los principales pilares. Otro objetivo del Instituto, y no menos importante, es dar la oportunidad a los egresados universitarios de iniciarse en el mundo de la investigación, participando y adquiriendo nuevo conocimiento a través de actividades que forman parte de proyectos inmersos en empresas reales. Por consiguiente, el Instituto apuesta por fomentar una formación tecnológica más especializada e impulsar la empleabilidad de las nuevas generaciones.

La presentación de los Proyectos de Investigación 2022, es una gran oportunidad para los jóvenes investigadores donde exponer el trabajo realizado, fruto de su dedicación y esfuerzo. También cabe destacar el trabajo llevado a cabo por los investigadores que forman parte de los proyectos, siempre dispuestos a ayudar y enseñar, con el fin de alcanzar siempre el mejor resultado posible. Por lo tanto, espero que esta simbiosis entre universidad y empresa sea fructífera para ambas partes, y que la riqueza tecnológica alcanzada retorne a la innovación empresarial asturiana.

Quería aprovechar la oportunidad que se me brinda para agradecer al Vicerrectorado de Investigación la colaboración prestada en todo momento para el desarrollo de las actividades, y al Ayuntamiento de Gijón el apoyo económico prestado, sin el cual no sería posible su implementación.

Reciban un cordial saludo, y más sincero agradecimiento por su interés,

María Teresa González Aparicio

Secretaria del IUTA

INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-01	Pág. 3
Creación de un testbed para la evaluación de sistemas de apoyo a la conducción de vehículos industriales.	
INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-02	Pág. 10
Sistema de gestión de presencia biométrico para entornos laborales.	
INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-03	Pág. 16
Caracterización metrológica de materiales para aplicaciones de escaneo 3D sin contacto.	
INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-04	Pág. 27
Estudio numérico del flujo en una turbina hidráulica tipo Banki.	
INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-05	Pág. 33
Dosificación y prestaciones del Hormigón de Muy Alto Rendimiento (HMAR) fabricado utilizando lodos marinos procedentes del dragado de puertos.	
INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-06	Pág. 37
Análisis numérico de cámaras de mezcla para la condensación de vapores por absorción.	
INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-07	Pág. 42
Diseño de dispositivo para recolección de muestras de sangre por el propio paciente.	
INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-08	Pág. 47
Modelo para el estudio de la congelación en el circuito de descarga de aire de bombas de doble diafragma.	
INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-09	Pág. 52
Análisis de la dinámica de diques conformados por bloques de hormigón mediante técnicas de teledetección espacial en el puerto de Gijón.	
INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-10	Pág. 58
Desarrollo de un cabezal extrusor rotativo para aplicaciones de fabricación aditiva.	
INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-12	Pág. 67
Detección y diagnóstico en tiempo real de anomalías de funcionamiento de motores eléctricos en la industria del cemento mediante tecnologías IoT.	
INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-13	Pág. 74
Estrategias de diagnóstico del estado de funcionamiento de turbinas hidrocínicas aplicadas al mantenimiento predictivo.	
INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-15	Pág. 80
Diseño y desarrollo de un prototipo de magnetómetro inductivo para muestras ferromagnéticas masivas.	

INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-16	Pág. 87
Desarrollo de modelo digital de motor diésel marino a partir de medidas reales, válido para análisis de eficiencia energética y predicciones de mantenimiento.	
INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-17	Pág. 96
Incrustaciones en los cascos de los buques asturianos: problemática, efectos económicos, medioambientales y posibles mejoras.	
INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-18	Pág. 103
Nanopartículas magnéticas para tests rápidos de anticuerpos de SARS-CoV-2.	
INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-19	Pág. 110
Detección automática de fotoparoxismos en electroencefalogramas mediante Deep Learning. Aplicación al estudio del riesgo del uso de realidad virtual en personas con fotosensibilidad.	
INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-21	Pág. 117
Sistema de monitorización combinada de estructuras mediante aplicación de sensores convencionales y vibrometría láser.	
INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-22	Pág. 121
Análisis automático de cultivos de neuronas mediante Inteligencia Artificial. Identificación automática de neuronas.	
INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-23	Pág. 130
Modelado avanzado de uniones estructurales ligeras.	
INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-24	Pág. 154
Fabricación aditiva de piezas de rotor mediante extrusión de filamentos de materiales magnéticos.	
INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-25	Pág. 158
Caracterización de aditivos a partir de microalgas para la formulación de bio-lubricantes.	

INFORME DE LA ACTIVIDAD - 1	Pág. 171
IV Congreso Hispanoamericano y XII Congreso Nacional de Historia de la Construcción.	
INFORME DE LA ACTIVIDAD - 2	Pág. 174
3ª Edición del Curso Internacional Básico de Diseño y Planificación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible.	

INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-01

Creación de un testbed para la evaluación de sistemas de apoyo a la conducción de vehículos industriales

Fechas inicial y final del proyecto:

01 / 01 / 2022 al 30 / 12 / 2022

Investigador/a Principal:

Dan García Carrillo

Otros investigadores:

Laura Pozueco Álvarez, Xabiel García Pañeda, Roberto García Fernández, David Melendi Palacio y Víctor Corcoba Magaña

Personal contratado:

Javier Córcoba Velasco

Fechas inicial y final de contratación:

04 / 07 / 22 al 31 / 12 / 22

Empresas o instituciones colaboradoras:

ADN Context-Aware Mobile Solutions y ClusterTIC.

Redes sociales de investigadores y empresas:

<https://www.linkedin.com/in/dan-garcia-carrillo-64562958>

<https://www.linkedin.com/in/v%C3%ADctor-corcoba-maga%C3%B1a-54396b11b>

<https://www.linkedin.com/in/laura-pozueco-%C3%A1lvarez-4226073a/>

<https://www.linkedin.com/in/xabielg/>

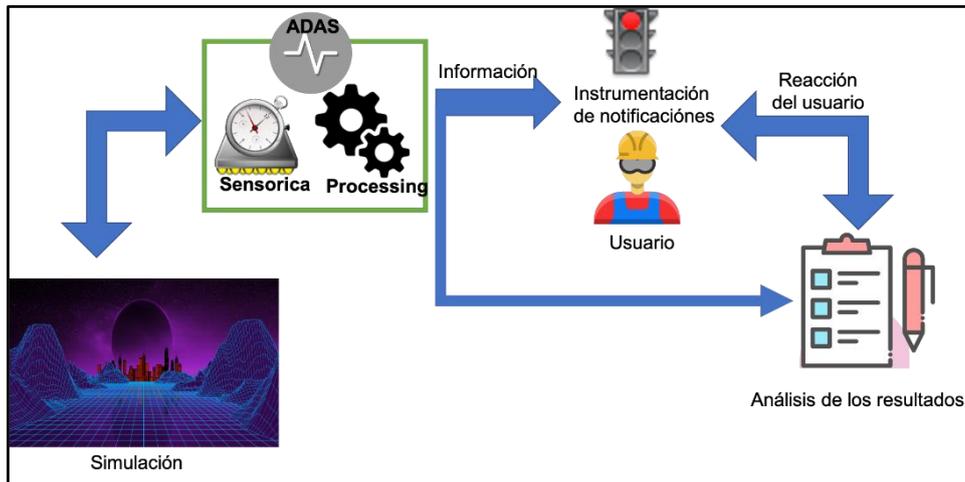
<https://www.linkedin.com/in/davidmelendi/>

<https://www.linkedin.com/in/roberto-garcia-a0522962/>

<https://www.linkedin.com/company/adn-mobile-solutions>

<https://www.linkedin.com/company/clustertic-asturias>

Resumen Gráfico



Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

La seguridad en el ámbito industrial es de gran importancia, ya que en estos entornos, la movilidad de vehículos pesados. Desarrollar un prototipo que ayude en el ámbito de la seguridad física de las personas físicas a través del uso de las nuevas tecnologías son la motivación de este proyecto. La investigación realizada en este ámbito a través de la generación del prototipo de este proyecto esperamos ayude a la implementación de mejoras en las medidas de seguridad en vehículos industriales.

En este proyecto se ha procedido al diseño e implementación de un sistema de apoyo a la conducción para vehículos industriales. El sistema tiene dos partes, una física y otra de software. La parte física nos permite simular la estructura de un vehículo industrial en el que el usuario realiza las pruebas. La parte de software nos permite emular un entorno por el que se moverá el vehículo industrial. El proyecto cubre cuatro elementos de la arquitectura: 1) Simulador (software), 2) Estructura física, 3) Advanced Driver Assistance System (ADAS) y 4) Usuario.

El simulador ubica al usuario en un entorno virtual con el objetivo de asemejarse a una nave industrial, con 3 elementos destacables: 1) Obstáculos visibles, como cajas y bidones metálicos, 2) Obstáculos invisibles y 3) Salida. En la simulación, el usuario ha de conducir el vehículo industrial e ir sorteando obstáculos visibles e invisibles con una serie de objetivos, siendo el más básico para el usuario, el de dirigirse a la salida.

Por otro lado, en la infraestructura física, tenemos una serie de interfaces entre el usuario y el vehículo (elementos de feedback) que se implementa por medio de tiras y matriz LED, así como un elemento vibrador que sería el análogo a un cinturón de seguridad. Estos elementos de feedback están gestionados por un dispositivo de asistencia al conductor conocido como. Por otro lado, el ADAS y el Simulador están conectados, siendo el simulador el que le envía información al ADAS para que haga de intermediario entre el "entorno" y el Usuario.

Los otros objetivos, tienen que ver en cómo el Usuario reacciona a los obstáculos repartidos por la nave. Los obstáculos visibles, por sus propias características, no suscitan una respuesta por parte de los elementos de feedback controlados por el ADAS, por que el propio usuario ya está apercebido de estos. Los otros elementos, los obstáculos invisibles, generarán una serie de eventos (según su localización y proximidad al vehículo) que son enviados al ADAS, y este, enviará las señales (lumínicas o hápticas) al usuario. En este sentido, si el vehículo se acerca a una distancia prudencial de un obstáculo invisible, el usuario recibirá información visual en forma de luz LED de color ámbar, y si la distancia se considera peligrosa, de color rojo. Esta información, busca suscitar una reacción del usuario, en este caso frenar el vehículo. De esta forma, evaluamos la efectividad y la eficiencia de los diferentes métodos de feedback para el usuario, ayudándonos en la búsqueda del mejor sistema de feedback para vehículos industriales.

1.1 Estructura física del simulador.



Figura 1: Estructura física del simulador

En la Figura 1 se puede observar la estructura que sirve como base para la interacción entre el usuario y el entorno simulador, a través del ADAS. En la estructura están colocadas una serie de tiras LED y una matriz LED, así como se dispone de un mecanismo de feedback háptico que emulará el vibrador en un cinturón de seguridad.

La estructura física cuenta también con un asiento, un volante con pomo, unos pedales y un cuadro de mandos con joystick que actualmente no se usa en la simulación, pero queda para trabajo futuro su integración para emular tareas complejas dentro del contexto industrial.

1.2 ADAS y elementos de feedback.

El elemento que controla los interfaces de comunicación visual y háptica con el usuario es el denominado ADAS. Este elemento está implementado con una Raspberry Pi a la cual están conectados todos los dispositivos mencionados. El ADAS y el Simulador están conectados a través de una red cableada.

1.3 Simulador de vehículo industrial y entorno virtual.



Figura 2: Entorno industrial simulado

El simulador es una implementación de un entorno industrial, como se puede apreciar en la Error: Reference source not found. En este entorno se distribuyen diferentes obstáculos visibles como cajas y bidones, los cuales no generan una reacción en el ADAS. Otros, invisibles son los que generan reacción y a los cuales se pide que el usuario responda, frenando el vehículo. El simulador, construido utilizando el motor gráfico UNITY nos permite la interacción con los otros elementos de la arquitectura.

1.4 Usuario – Interacción y obtención de información a través de banda cardíaca

Finalmente, el Usuario es el que interacciona con el entorno virtual y responde a los mensajes del ADAS. Para evaluar los diferentes mecanismos de feedback, disponemos de la información del propio simulador que nos dice desde el momento en el que se le envía un evento al ADAS, al momento en el que el usuario frena, distancia recorrida del vehículo, etc. Añadido a esto, medimos el ritmo cardíaco del usuario para detectar el estrés producido por la interacción y los diferentes elementos de feedback. Para validar el testbed, hemos realizado pruebas con usuarios reales, que nos han permitido obtener resultados de las interacciones. A través de la generación de logs detallados de la interacción, así como de la banda cardíaca, podemos analizar el comportamiento de los usuarios y a través de los mecanismos de análisis de resultados mencionados, añadimos una serie de encuestas siguiendo el método de la NASA TLX para contrastar la percepción subjetiva del usuario, con la objetiva de los datos de la simulación.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

Objetivo general:

El objetivo del proyecto es diseñar y desarrollar un entorno para la evaluación de sistema de apoyo a la conducción de vehículos industriales off-road.

Grado de consecución: **COMPLETADO**

Hemos conseguido, a través de la consecución de los objetivos específicos, diseñar y desarrollar los diferentes elementos necesarios para poder evaluar un sistema de apoyo a la conducción. Más aún, el prototipo diseñado está preparado para ser ampliado en el futuro con diferentes métodos de feedback y ser adaptados dentro del prototipo actual y así conseguir evaluar otros elementos de feedback distintos siempre y cuando sean compatibles con el entorno virtualizado. Así también, el sistema nos sirve para proporcionar a los usuarios un entorno de entrenamiento y familiarización con diferentes elementos de feedback de un asistente de conducción.

Este objetivo general puede desglosarse en los siguientes objetivos específicos:

A. Diseño e implementación del soporte físico para el testbed.

Grado de consecución: **COMPLETADO**

La estructura física, como se puede apreciar en las Figuras, se han construido, con elementos simples. Suficiente para emular la cabina de un vehículo industrial. Se ha provisto también de elementos de interacción como volante, pedales, etc. Proporcionando la base necesaria para tener el soporte físico necesario para soportar el testbed.

B. Diseño e implementación de un entorno simulado.

Grado de consecución: **COMPLETADO**

El sistema de simulación, se ha implementado usando herramientas como el motor gráfico UNITY. Se consigue por tanto, proporcionar por este medio, la interacción en un espacio virtual del usuario a través de medios físicos y viceversa. Este último supuesto es del que se encarga el objetivo siguiente.

C. Integración del entorno simulado y el soporte físico con el ADAS.

Grado de consecución: **COMPLETADO**

El sistema de simulación de vehículos industriales, consigue interactuar con el usuario usando soportes físicos, a través de la integración con el ADAS. Esto es, a través de eventos generados en el entorno virtual, hacemos conocer al usuario por medio de elementos físicos (p. ej., tiras LED) que algo sucedió en la simulación, permitiendo que el usuario actúe en consecuencia a la información recibida.

D. Diseño e implementación de los mecanismos de análisis de los resultados.

Grado de consecución: **COMPLETADO**

Para analizar los resultados, diseñamos tanto un sistema de log específico de acuerdo a las pruebas implementadas para medir tiempos de reacción, así como los algoritmos necesarios para tratar los datos obtenidos para poder analizar estadísticamente la eficiencia y/o efectividad de los diferentes mecanismos de feedback, incluso comparándolos entre sí.

E. Validación del testbed.

Grado de consecución: **COMPLETADO**

Se ha dispuesto de un sistema doble, no solamente a través del análisis de datos, si no del testeo con sujetos reales que prueban el simulador realizando una serie de interacciones con el mismo, y a través del cual recopilamos información de las interacciones de diferentes usuarios. Estas interacciones, además de con los datos objetivos del Objetivo D, con la información subjetiva de los propios usuarios que testean el simulador, proporcionándoles una visión más completa del funcionamiento, no solo del sistema de simulador en sí, si no también del la efectividad de los elementos de interacción con el usuario accionados por el ADAS.

3. Tareas realizadas:

- **Tarea 1:** Construcción de la estructura física.

Se realiza la construcción de la estructura física, y se ubican los diferentes elementos tanto físicos como los de interacción con la simulación (mandos, pedales, LEDs, etc). Se colocan también los elementos de hardware necesarios para dar soporte a todo el sistema, como el ordenador que se encarga de proyectar la simulación en una pantalla, el ADAS que se encarga de recibir los eventos del simulador instanciado en una Raspberry PI, así como los elementos de interacción como las tiras LED, altavoces, etc.

- **Tarea 2:** Construcción del simulador.

El desarrollo de software aquí tiene un componente mayoritario, ya que se trata de desarrollar una implementación en un motor gráfico como UNITY un entorno virtual con obstáculos visibles e invisibles a través de los cuales se interactúa con el usuario. Se implementan los mecanismos necesarios para generar los eventos necesarios para notificar al ADAS de la necesidad de informar al usuario. Esto, además de usar protocolos de comunicación de red, se usaron elementos de software (colliders) para evaluar la proximidad del usuario a un elemento invisible para gestionar la notificación al usuario. Hay que remarcar el trabajo necesario para sincronizar todos estos elementos así como el refinamiento de todos estos procesos, para que la experiencia del usuario sea la más realista posible.

- **Tarea 3:** Integración del soporte físico con el ADAS.

En relación con la tarea anterior, está la de la implementación en software y soporte hardware de los elementos de feedback gestionados por el ADAS. La implementación del software necesario para gestionar las tiras LED, matriz LED, vibrador, etc. son parte de esta tarea, así como los mecanismos de comunicación con la simulación y el protocolo definido para gestionar los diferentes eventos.

- **Tarea 4:** Construcción de las herramientas de análisis.

Una vez se obtienen a través de los logs correspondientes, que han de personalizar para poder realizar el análisis correspondiente de la reacción del usuario a la intervención del ADAS, tenemos que poder analizar dichos logs, y poder realizar conclusiones pertinentes, las cuales serán usadas para evaluar los diferentes mecanismos de feedback utilizado. Para analizar dichos datos, se realizaron tanto el parseo de todos los datos, “plotting” de los datos, así como los algoritmos de análisis de los mismos basados en las diferentes hipótesis planteadas sobre el desempeño de los elementos de feedback.

- **Tarea 5:** Evaluación del funcionamiento del sistema de evaluación.

Para evaluar el funcionamiento, se diseñó un protocolo de actuación para que usuarios probaran el sistema, y dieran su valoración objetiva a través del uso del entorno ciber físico, y la información recopilada, sino también a través de la percepción subjetiva del usuario a los diferentes elementos de feedback y sus comentarios sobre el sistema. Así, conseguimos una evaluación completa del sistema.

4. Resultados obtenidos:

Hemos realizado pruebas diferentes usuarios para probar que el sistema proporciona la estructura básica suficiente para habilitar la práctica de un usuario en un entorno ciber físico, que podemos utilizar diferentes mecanismos de interacción con el usuario y que somos capaces de medir el rendimiento del usuario al realizar una tarea simulada y medir el rendimiento del usuario realizando las mismas, así como su reacción a las diferentes fuentes de información. La Figura 3 muestra una gráfica en la que representamos los datos obtenidos de una de las pruebas.

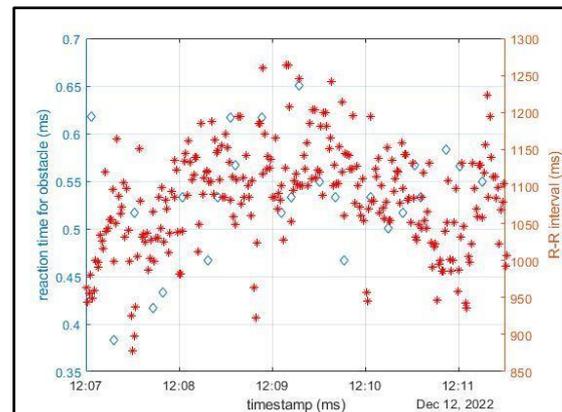


Figura 3: Gráfica evaluando los tiempos de reacción a obstáculos

5. Trabajos o necesidades futuras

En este apartado, buscamos la mejora y ampliación de las características tanto del simulador, como de los procesos de evaluación de rendimiento y respuesta del usuario a los diferentes mecanismos de feedback, en tareas más complejas o demandantes como pueden ser: conducir marcha atrás, conducir con carga, mover carga de un lado a otro del almacén, etc. Todo esto mientras se encuentran obstáculos que generarán una respuesta del ADAS, y a la cual el usuario deberá responder frenando y si hay carga, sin dejar que esta se caiga.

6. Divulgación de los resultados

Actualmente se está procediendo a la realización de pruebas con voluntarios, y se espera que se pueda conseguir un número estadísticamente significativo para poder finalizar el estudio del sistema desarrollado, y enviarlo a una revista de impacto.

Memoria económica:

1. Gastos:

Concepto	Gasto
Personal	4.394 €
TOTAL GASTOS	4.394 €

2. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Ayuda IUTA: Contratación de personal	4.394 €
TOTAL INGRESOS		4.394 €

Bibliografía

1. Weinschenk, Susan. *100 Things Every Designer Needs to Know About People*. 1st Edition, New Riders Pub. 2011.
2. L. Cao, T. Depner, H. Borstell, K. Richter, *Discussions on sensor-based Assistance Systems for Forklifts*, in: *Smart SysTech 2019; European Conference on Smart Objects, Systems and Technologies, VDE, 2019*, pp. 1–8.
3. A. M. Larson, L. C. Loschky, *The contributions of central versus peripheral vision to scene gist recognition*, *Journal of vision* 9 (10) (2009) 6–6.
4. A. Larson, L. Loschky, W. Pollock, A. Bjerg, S. Hilburn, S. Smerchek, *Variation in scene gist recognition over time in central versus peripheral vision*, *Journal of Vision* 9 (8) (2009) 967–967.
5. L. C. Loschky, A. M. Larson, T. J. Smith, J. P. Magliano, *The scene perception & event comprehension theory (spect) applied to visual narratives*, *Topics in cognitive science* 12 (1) (2020) 311–351

INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-02

Sistema de gestión de presencia biométrico para entornos laborales

Fechas inicial y final del proyecto:

05 / 06 / 2022 al 30 / 12 / 2022

Investigador/a Principal:

Francisco González Bulnes

Otros investigadores:

Pelayo Nuño Huergo y Pedro Manso Berna

Personal contratado:

Marta Menéndez Álvarez-Cofiño

Fechas inicial y final de contratación:

04 / 07 / 22 al 31 / 12 / 22

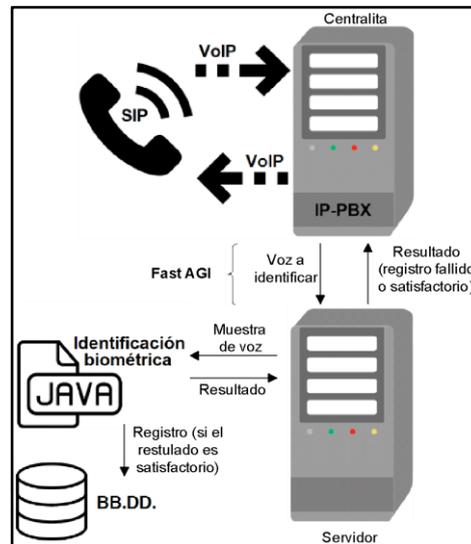
Empresas o instituciones colaboradoras:

LaRivieraTech S.A.

Redes sociales de investigadores y empresas:

<https://www.linkedin.com/in/francisco-gonzalez-bulnes-7535a24/>

Resumen Gráfico



Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

El día 13 de febrero de 2019, el Gobierno de España aprobó el Real Decreto-ley 8/2019 de medidas urgentes de protección social y de lucha contra la precariedad laboral en la jornada de trabajo, mediante el cual, en su artículo décimo, se obliga a todas las empresas a registrar diariamente la duración de las jornadas laborales de todos los empleados, así como establecer ampliaciones o limitaciones en la ordenación y duración de las jornadas laborales y de los descansos. Además, los datos registrados deben conservarse durante cuatro años. En muchos casos, los empresarios no saben qué tipo de dispositivo instalar ni cómo podrían utilizarlo. Este problema se hace más complejo en los casos de trabajadores que realicen parte o toda su jornada laboral fuera de las instalaciones corporativas.

Este proyecto fue concebido para desarrollar una herramienta de bajo coste y de fácil utilización que solucione estos problemas. La idea consiste en utilizar, si se dispone de ella, la propia red de telefonía IP de la empresa. Cualquier empleado, podrá llamar a una extensión determinada para registrar una entrada, una salida o un inicio o fin de pausa. Adicionalmente, para que esto no pueda ser realizado por otra persona, se pedirá al empleado repetir una frase para que el sistema pueda identificarlo biométricamente mediante la voz. Si una empresa que quiera emplear esta solución no dispusiese de una red de telefonía IP, puede desplegar una utilizando cualquier solución Open Source, como Asterisk. Tampoco sería necesario adquirir teléfonos físicos, puesto que las llamadas podrían realizarse mediante softphones.

En principio, esta herramienta se desarrolla para poder ser utilizada por el partner del proyecto, LaRivieraTech [1], que hará de tester una vez el desarrollo de la herramienta haya concluido por completo. Tras corregir los fallos que pudieran detectarse durante esta fase, la herramienta quedará disponible para que la pueda utilizar cualquier empresa u organización que lo pudiese necesitar. El objetivo del proyecto consiste en desarrollar y desplegar dicha solución, verificando su capacidad para identificar inequívocamente a los trabajadores y registrando la actividad laboral de cada uno de ellos en una base de datos.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

1. **Despliegue de centralita Asterisk [2].** Este primer objetivo consiste en desplegar un módulo software que será el que interactúe con el usuario final, por lo que se define también como el primer hito del proyecto. Esta centralita se deberá de configurar para que se puedan crear usuarios y perfiles de manera sencilla, así como el dialplan a utilizar, que será el que defina el modo en que los usuarios interactúan con el sistema. **Objetivo conseguido.**
2. **Aplicación de un módulo de biometría.** Cada vez que la centralita Asterisk reciba la actividad de un trabajador, procederá a registrarla en la base de datos. Sin embargo, antes de hacerlo es necesario identificar al usuario. Para que esta tarea sea transparente, se hará analizando su voz. Por este motivo, es necesario implementar un módulo que, mediante el uso de alguna librería de biometría existente, sea capaz de verificar que el usuario es quien dice ser. También es necesario, mediante la ayuda de la centralita, incorporar los mecanismos de calibración pertinentes. Dentro de este objetivo, se pueden definir dos sub-objetivos, descritos a continuación:
 - I. Búsqueda de librerías de biometría existentes que sean candidatas a ser integradas en la solución. Se deberá de hacer una búsqueda exhaustiva de todas las soluciones existentes y verificar la eficacia de cada una de ellas. **Objetivo conseguido.**
 - II. Selección de la librería que mejor se ajuste a las necesidades del proyecto. Para ello, se tendrán en cuenta diversos factores, como el coste (lo ideal sería contar con una alternativa que se pueda utilizar de forma gratuita), el consumo de recursos, la eficacia a la hora de identificar correctamente a los usuarios mediante la voz, o la facilidad de integrar ésta en la solución que se pretende desarrollar. **Objetivo conseguido.**
 - III. Integración de la alternativa seleccionada con la centralita Asterisk. Se deberán aumentar las funcionalidades de la centralita indicada en el objetivo 1, consiguiendo que ésta sólo funcione cuando haya identificado correctamente a cada uno de sus usuarios mediante la librería biométrica seleccionada. **Objetivo aún en desarrollo, conseguido de forma parcial.**
3. **Despliegue de una base de datos:** Una vez que el módulo biométrico haya validado un determinado registro de actividad, necesitará almacenarlo en una base de datos. Para ello, es necesario crear una base de datos destinada a almacenar toda la información relativa a la actividad laboral de cada usuario. En esta base de datos también es necesario almacenar los datos que sean requeridos por la librería biométrica para poder identificar a cada usuario. En este punto se incluye, no solo la instalación del SGBD en un servidor, sino también el diseño de los modelos de datos a utilizar. **Objetivo aún en desarrollo, conseguido de forma parcial.**
4. **Integración de los componentes:** Una vez que se cuente con los tres componentes del sistema a desarrollar, resulta crítico asegurar que estos se comunican de forma correcta. **Objetivo aún en desarrollo, conseguido de forma parcial.**
5. **Pruebas de validación en laboratorio:** Una vez que se cuente con un primer prototipo del sistema completo e integrado, se procederá a probarlo en un entorno controlado. Se realizará un conjunto de pruebas destinadas a verificar que el sistema registra correctamente la actividad laboral y que el sistema biométrico es capaz de identificar a los usuarios. Para este último punto se procurará contar con un conjunto heterogéneo de personas que ayuden a cumplir con este objetivo (distinto sexo, edad, acento, etcétera). **Objetivo no alcanzado.**
6. **Despliegue y validación en empresa:** Por último, se realizarán una serie de pruebas en un entorno real, contando con la ayuda de los partners del proyecto. Para ello, será necesario instalar todo el software desarrollado en un servidor que esté accesible a todos los trabajadores de la empresa. También se realizará la configuración de teléfonos o softphones en caso de resultar necesario. Opcionalmente, se puede realizar una encuesta de satisfacción a los usuarios que sirvan para definir posibles modificaciones o mejoras tanto de usabilidad como de funcionalidad del sistema. **Objetivo no alcanzado.**

3. Tareas realizadas:

- Estado del arte sobre el uso de Asterisk, y estudio sobre cómo esta tecnología puede utilizarse para alcanzar los objetivos planteados.
- Despliegue de la centralita Asterisk: Ya se dispone de una máquina Ubuntu con una centralita Asterisk instalada y funcionando. También se ha diseñado e implementado el dialplan de la misma, utilizado por los usuarios para interactuar con el sistema. El dialplan de la centralita permite realizar las siguientes acciones:
 - Llamar a la centralita para registrar inicio de actividad laboral.
 - Llamar a la centralita para registrar inicio de pausa o descanso.
 - Llamar a la centralita para registrar fin de actividad laboral.
 - Llamar a la centralita para registrar fin de pausa o descanso.

Los usuarios pueden realizar estos registros simplemente llamando a unas extensiones concretas. En el punto actual, y dado que la centralita no está aún integrada por completo con la librería biométrica, los registros se realizan siempre, sin descartar aquellos que no superen la prueba de biometría.

- Búsqueda y selección del módulo biométrico: Ya se realizó la tarea de buscar alternativas disponibles para el módulo biométrico del sistema. Se descargaron y probaron varias alternativas (pruebas unitarias, sin interacción con el resto del sistema). Se midió la tasa de efectividad de cada una de ellas con distintos tipos de voces y distintos niveles de ruido, eligiendo la librería Verispeak [3], que es la que consiguió los resultados más satisfactorios. Estas tareas pertenecen al objetivo 2 del proyecto. Este punto también está ejecutado de forma parcial, puesto que aún no se ha completado la integración con la centralita de telefonía.
- Creación de la base de datos: En la misma máquina utilizada por la centralita, se ha instalado un SGBD mySQL [4] donde se guardará toda la información requerida por el sistema. Este punto está completado de forma parcial, puesto que ya se diseñó el modelo de datos de los registros de actividad laboral y están implementados en la base de datos. Sin embargo, aún está por diseñar e implementar el modelo de datos a utilizar para almacenar las características de la voz de cada usuario que requiere el módulo biométrico.
- Como se comentó en puntos anteriores, la integración del sistema está completada de forma parcial. Actualmente se está trabajando de forma concurrente tanto en la integración de la centralita Asterisk con el módulo biométrico como con la integración de éste último con la base de datos.

4. Resultados obtenidos:

1. Se ha conseguido introducir al personal contratado en la realización del estado del arte y revisión de la literatura, aspecto fundamental a la hora de iniciarse en la investigación.
2. Se ha conseguido que el personal laboral sea capaz de seleccionar una alternativa tecnológica en base a criterios objetivos, también un aspecto relevante de la actividad investigadora en el ámbito de la informática y las telecomunicaciones.
3. Se ha conseguido implementar una plataforma de comunicación entre usuario y el sistema de registro de actividad basada en Asterisk, de tal manera que cualquier usuario lo puede utilizar sin necesidad de tener conocimientos tecnológicos.
4. Se ha conseguido que la centralita realice los registros del modo propuesto en los objetivos, guardando la información necesaria en una base de datos. Todas estas tareas se realizan de manera totalmente transparente al usuario.

5. Se han realizado pruebas iniciales de validación de la librería biométrica, verificando que ésta puede utilizarse para identificar usuarios mediante su voz, y que esta identificación no se puede falsificar.

5. Trabajos o necesidades futuras

Como se ha indicado anteriormente, es necesario finalizar la integración del módulo biométrico con el resto de componentes del sistema: la centralita Asterisk y la base de datos.

Una vez completada esta tarea, el siguiente hito será realizar un conjunto de pruebas de integración y verificar que el sistema es capaz de registrar la actividad de los usuarios verificando que estos registros son legítimos, y que la persona que está realizando el registro es quien dice ser. Para poder llevar a cabo esta tarea, será necesario completar los dos pasos siguientes:

- Calibrar el sistema. Antes de poder utilizar el sistema con normalidad, será necesario que cada usuario siga los pasos indicados por el módulo biométrico para que éste pueda extraer características de su voz y almacenarlas en la base de datos.
- Generar frases aleatorias para que sean repetidas por el usuario. El sistema tendrá que validar que el usuario es quien dice ser, analizando su voz, y que ha repetido la frase generada. De este modo, se evita la posibilidad de que se utilicen grabaciones para realizar registros fraudulentos. Para realizar esta parte, se utilizarán las tecnologías Text-to-Speech [5] y Speech-to-Text [6] de Google bien conocidas por los miembros del equipo investigador y cuya eficacia está más que probada.

Una vez que se verifique que la herramienta cumple con la funcionalidad buscada, la última tarea consistirá en realizar pruebas en un entorno real, utilizando a los usuarios del partner del proyecto. También se deja para el final, cuando se cuenten con los resultados de las pruebas, la divulgación de los resultados en revistas científicas.

6. Divulgación de los resultados

Aún no se ha publicado ningún artículo relacionado con este proyecto. Se abordará esta tarea en cuanto se hayan completado todas las tareas planteadas. No obstante, ya se ha realizado una búsqueda de revistas cuyo ámbito encaja en las características de este proyecto, y que están indexadas en el índice JCR. Estas revistas son las siguientes:

- Multimedia Tools and Applications (Q2)
- Multimedia Systems (Q2)
- Journal of Network and Systems Management (Q3)
- Advances in Multimedia (Q4)

Memoria económica:

1. Gastos:

Concepto	Gasto
Personal	2.464 €
TOTAL GASTOS	2.464 €

2. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Ayuda IUTA	2.464 €
TOTAL INGRESOS		2.464 €

Bibliografía

1. *La Riviera Tech: Innovación a través de la tecnología.* URL: larivieratech.com Accedida por última vez el 22 de Diciembre de 2022.
2. *Asterisk: A free and open source framework for building communications applications.* URL: asterisk.org Accedida por última vez el 22 de Diciembre de 2022.
3. *NeuroTechnology Verispeak SDK: Speaker Recognition for stand-alone or client-server applications.* URL: <https://www.neurotechnology.com/verispeak.htm> Accedida por última vez el 22 de Diciembre de 2022.
4. *MySQL: The world's most popular open source database.* URL: mysql.com Accedida por última vez el 22 de Diciembre de 2022.
5. *Google Text-to-Speech: API para convertir texto en voz de forma precisa:* URL: <https://cloud.google.com/text-to-speech> Accedida por última vez el 22 de Diciembre de 2022.
6. *Google Speech-to-Text: API para convertir voz en texto de forma precisa.* URL: <https://cloud.google.com/speech-to-text> Accedida por última vez el 22 de Diciembre de 2022.

INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-03

Caracterización metrológica de materiales para aplicaciones de escaneado 3D sin contacto

Fechas inicial y final del proyecto:

01 / 06 / 2022 al 31 / 12 / 2022

Investigador/a Principal:

Eduardo Cuesta González

Otros investigadores:

Sara Giganto Fernández, Susana Martínez Pellitero, Víctor Manuel Meana Díaz, Sabino Mateos Díaz y Pablo Zapico García

Personal contratado:

Germán Suárez Álvarez

Fechas inicial y final de contratación:

04 / 07 / 22 al 31 / 12 / 22

Empresas o instituciones colaboradoras:

ISM3D, S.L., DOGRAM, NANOKER RESEARCH, S.L.

Redes sociales de investigadores y empresas:

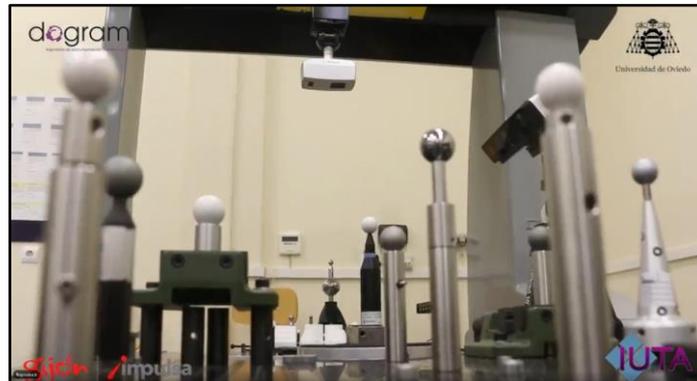
www.ipfresearch.com

www.ism3d.es

www.dogram.es

www.nanoker.com

Resumen Gráfico



Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

La verificación metrológica mediante equipos ópticos presenta cada vez más interés en la industria. La posibilidad de mejorar estos equipos a partir de procesos de ajuste y calibración es un objetivo habitual en las más recientes investigaciones. La idea es asegurar las mediciones que se pueden hacer con estas tecnologías sin contacto, extendiendo así su aplicación más allá de las típicas aplicaciones de Ingeniería Inversa.

Este proyecto es una continuación de la línea investigadora comenzada con el proyecto IUTA 2019 y posteriormente IUTA 2021 pero que aporta novedades sustanciales y significativas en lo que respecta a la utilización de nuevos materiales y nuevos equipos. Una vez obtenidos resultados sobre la trazabilidad de medidas obtenidas con equipos 3D sin contacto y de las geometrías óptimas para estas tecnologías, ahora se investigan los mejores materiales para la fabricación de elementos de referencia y patrones de calibración para dichos equipos. La experiencia obtenida previa nos ha permitido ahora plantear, en este proyecto, la caracterización óptica superficial de un artefacto fabricado con múltiples materiales y/o acabados superficiales.

También se ha buscado realizar una comparativa entre distintas tecnologías de medición disponibles (triangulación láser CMM, láser de brazo articulado CMA y luz estructurada) y su precisión metrológica respecto a una referencia, a saber, certificado de calibración de las esferas de medición o calibración interna mediante máquina de medir por coordenadas fijas (CMM). Algunos de estos equipos los han aportado las empresas colaboradoras, mientras que otros han sido aportados por los miembros del equipo de investigación, equipo formado por personal de Uniovi e investigadores de la Universidad de León, con los que se viene colaborando desde hace tiempo, tanto en proyectos I+D+i del Plan Nacional, como en convocatorias anteriores del IUTA. Los recursos existentes en ambos grupos de investigación son complementarios y todos ellos se han puesto al servicio del presente proyecto.

Además, aprovechando la recopilación de datos de diversos equipos y tecnologías, se ha realizado una comparativa sobre los distintos filtros de eliminación de outliers a aplicar sobre las nubes de puntos generadas y cómo estos afectan a los resultados finales de los parámetros. De esta forma es posible adaptar qué filtro será recomendable aplicar en función del material que se escanee y la tecnología con la que se haga.

Para esta comparativa se ha utilizado una colección de 13 esferas de precisión de diferentes diámetros divididas en 4 tipos: metálicas pulidas, metálicas arenadas, metálicas recubiertas y cerámicas. Además, se cuenta con la colaboración de la empresa DOGRAM Ingeniería de documentación tridimensional S.L. que aporta dos equipos más para la caracterización: un escáner de luz estructurada y un láser de brazo articulado, ambos con una mayor potencia que los disponibles en el laboratorio. También hemos contado con la colaboración de la empresa ISM3D para la calibración y certificación de algunas de las esferas de precisión utilizadas.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

El objetivo principal de este proyecto ha estado focalizado en la caracterización metrológica de diversos artefactos de precisión, fabricados con diferentes materiales y con diferentes acabados superficiales. Se trataba de identificar su grado de validez e idoneidad como elementos de referencia en aplicaciones de metrología sin contacto e ingeniería inversa. Se ha planteado llevar a cabo la caracterización metrológica mediante equipos de escaneo 3D con y sin contacto. En concreto las mediciones por contacto (en Máquina de Medir por Coordenadas, MMC) de dichos elementos se han utilizado como medidas de referencia dada su alta precisión. Posteriormente se han medido con diversos equipos ópticos, incorporando al proyecto diferentes tecnologías. Puede decirse que este objetivo principal ha permitido alcanzar, en un completo grado de consecución, los objetivos parciales de interés tecnológico que se habían establecido:

- Determinación del grado de influencia de diferentes materiales y acabados superficiales en la obtención de nubes de puntos mediante diversas técnicas de escaneo 3D.
- Disposición de una geometría unificada de patrón, pero con múltiples materiales, que puede conformar un mapa de propiedades ópticas de diferentes acabados superficiales.
- Evaluación de los distintos equipos de ingeniería inversa que se emplearon a partir de características GD&T con cada uno de los materiales incorporados al patrón.
- Comparación de las capacidades de medida de los equipos empleados para la evaluación metrológica de elementos de precisión con diferentes acabados superficiales.

El proyecto está completamente acabado habiéndolo conseguido, por tanto, la caracterización metrológica de las diferentes esferas empleadas en la investigación a partir de haber cuantificado los parámetros definidos. Se puede afirmar, de esta manera, que los datos recogidos en cuanto al número de puntos capturados, las desviaciones en diámetro observadas entre las diferentes esferas, el error de forma de las propias esferas y los valores de desviación estándar de las nubes de puntos (respecto de las esferas de mejor ajuste) han permitido, entre otros, cualificar y cuantificar el grado de influencia de los materiales empleados y comparar las capacidades de los diferentes equipos de medida.

3. Tareas realizadas:

- **Tarea 1:** Estudios Previos. Tecnologías de digitalizado e Ingeniería Inversa sin contacto. Normativa y procedimientos de calibración de los equipos disponibles. Propuesta de materiales y acabados.
- **Tarea 2:** Diseño, fabricación y montaje del patrón multi-materiales.
- **Tarea 3:** Calibración del patrón (CMM por contacto) y generación de CAD cuasi-real.
- **Tarea 4:** Digitalización de los diferentes materiales del patrón con las tecnologías disponibles.
- **Tarea 5:** Generación de resultados. Análisis y Comparativa (ajuste de las nubes de puntos al CAD cuasi-real).

Una vez actualizado el conocimiento relativo a los procesos de inspección sin contacto y a los distintos softwares empleados en cada tecnológica disponible se formó al becario en la normativa de calibración actual (relativa a medición por coordenadas), así como en los procedimientos de cálculo y expresión de incertidumbre de medida en calibración.

Posteriormente se procedió al diseño, fabricación y montaje del conjunto de los elementos de precisión que se estudiaron. Se comenzó localizando y recopilando las esferas que serían objeto del experimento, buscando la mayor variedad de materiales, tamaños y acabados superficiales habituales en la industria tanto metrológica como de fabricación actual.

Finalmente se seleccionan 13 esferas de diámetros muy similares (Figura 1), desde 18 mm hasta 30 mm, que se pueden clasificar en 4 tipos: esferas metálicas con pulido espejo (1 y 2), esferas de material cerámico (3, 4, 5 y 6), esferas metálicas con recubrimiento mate (7 y 8) y esferas metálicas arenadas (9, 10, 11, 12 y 13).

Para cada una de las esferas se llevó a cabo una medición por contacto con la Máquina de Medición por Coordenadas (CMM) según norma para determinar, con la menor incertidumbre posible, sus parámetros de referencia: diámetro y error de forma. Cabe destacar en este punto la conveniencia de realizar una limpieza de la esfera a medir con un paño de microfibra e isopropanol para eliminar cualquier resto de polvo e impurezas que pudiera afectar a los resultados.

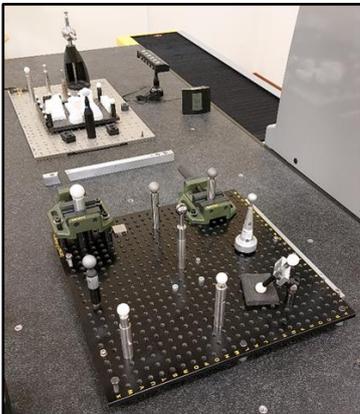


Figura 1. Disposición de esferas patrón multi-materiales en la CMM

Este proceso implicó hacer análisis estadísticos usando procedimientos de minimización de errores. Con objeto de analizar posteriormente los distintos equipos, no sólo evaluando los elementos de forma individual sino con tolerancias entre ellos, generando un nuevo CAD (CAD cuasi-real). Este CAD se obtiene modificando el anterior, de forma que se ajusten las dimensiones de los elementos y sus distancias, a las reales (medidas por contacto). Esto permite la evaluación de los distintos equipos de ingeniería inversa (hardware + software) mediante la comparativa CAD.

Para las esferas que poseen certificado de calibración de un laboratorio externo, en este caso la empresa colaboradora ISM3D, se toman sus resultados como valor de referencia para el resto del estudio.

A continuación, se llevan a cabo todos los ensayos de validación del patrón empleando las tecnologías ópticas elegidas (sensores láser de triangulación fijos y móviles y escáner de luz estructurada). Se generaron diferentes nubes de puntos cuyos resultados se analizaron desde la perspectiva de diferentes parámetros metrológicos ya mencionados, los diámetros, los errores de forma y las desviaciones típicas alcanzadas. Todos estos datos permitieron crear un mapa de resultados en función del material utilizado en cada elemento y de su acabado

superficial pudiendo realizar, además, comparativas entre los equipos ópticos empleados en la experimentación. Se analizó la bondad y calidad (grado de aproximación al valor real) de las nubes de puntos para las entidades independientes, así como para la nube de puntos global, de todas las entidades, respecto al CAD-cuasi real (CAD compare).

Los equipos empleados durante la experimentación (Figura 2) han sido:

- Máquina de medir por coordenadas (CMM), modelo DEA Global Image 091508 disponible en el Laboratorio de Metrología del Departamento de Construcción e Ingeniería de Fabricación. Los palpadores de contacto que se emplean son de la marca Renishaw, modelo SP25.
- Sensor láser con tecnología de punto de intensidad variable integrado en la Máquina de Medir por Coordenadas, modelo HP.L 10.6 de la marca Hexagon Metrology.
- Sensor láser con tecnología de haz de cortina integrado en un brazo de medición por coordenadas (AACMM). El modelo del brazo es el ROMER Sigma 2018 y el sensor es el R-SCAN.
- Escáner de luz estructurada EinScan-SP de la marca Shining 3D.
- Sensor láser Scanner RS6 de Hexagon montado en el brazo de medición por coordenadas Absolute Arm 8525 de Hexagon.
- Escáner de luz estructurada portátil Artec 3D LEO.

DEA Global Image (CMM)	Laser triangulation Scanner mounted on CMM (LS-CMM)	Laser triangulation Scanner mounted on Coordinate Measuring Arm (LS-CMA)	Articulated arm laser Romer Sigma R-SCAN (ARM-LS 1)	Structured Light scanner (SL)
				
DEA Global Image 091508	HP-L-10.6® from Hexagon Metrology	RS6 Laser Scanner mounted on Absolute Arm 85 from Hexagon Metrology	R-SCAN from Romer Sigma	EinScan-SP from Shining 3D
Dimensions: X900-Y1500-Z800	Data rate: 30,000 pts/s	Data rate: 1,200,000 pts/s Points per line: max. 4000	Data rate: 30 lines/s Max. points per line: 640	White light Distance of points: 0,17 to 0,20 mm Scanning velocity: <1 s
Scanning Probe: Renishaw SP25	Stand-off and DOF: 170 ± 30 mm	Stand-off and DOF: 165 ± 50 mm Min. point spacing: 0.027 mm	Scanning distance: 124 - 222 mm Min. point spacing: 0.100 mm	Min. scanning volume: 30 x 30 x 30 mm Max. scanning volume (turning platform): 200 x 200 x 200 mm (without scanning platform): 1200 x 1200 x 1200 mm
MPE _E [µm] = 2.1 + 0.003 L, L in [mm] MPE _P = 2.1 µm	Lines per second (max.): 53 Hz Laser line width: 24, 60 y 123 mm	Line rate: max. 300 Hz Line width (mid.): 150 mm	Max. laser line length: 110 mm	Acquisition system: 2 Cameras Resolution: 1,3 Mpx (per camera)
Calibration Certificate ENAC according to ISO 10360-2	PForm.Sph.D95%:Tr:ODS (MPL) Probe dispersion value: 34 µm PForm.Sph.1 × 25:Tr:ODS (MPE) Probing form error: 22 µm	PForm.Sph.1 × 25:ODS (MPE) Probing form error: 0.026 mm (2S) L.Dia.5 × 25:Art:ODS (MPL) Articulated location value: 0.064 mm	Probing error (MPE): 0.044 mm	One shot precision: <0.050 mm Working distance: 290 to 480 mm

Figura 2. Equipos empleados durante la experimentación

Para un mejor entendimiento se muestra a continuación (Figura 3) una representación gráfica de la metodología seguida en la experimentación:

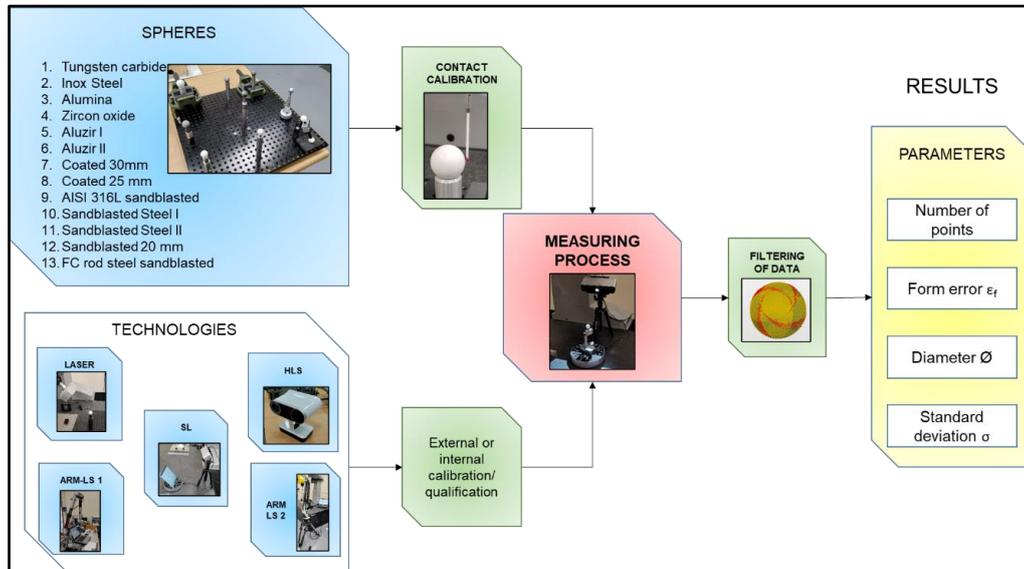


Figura 3. Metodología experimental del proyecto

4. Resultados obtenidos:

La experimentación ha conllevado la obtención de una importante y extensa cantidad de datos como consecuencia de haber empleado cinco equipos de medición (dos tecnologías: Láser y luz estructurada) sobre un total de 13 elementos de precisión. Además, se han evaluado y cuantificado cuatro parámetros (número de puntos, error de forma, diámetro y desviación estándar) y se han estudiado siete posibilidades de filtrado (filtro sigma) sobre el error de forma obtenido en cada una de las tecnologías utilizadas, por lo que adicionalmente se dispone de información suficiente y relevante para la consecución de los objetivos planteados.

Por esta razón se presentan, únicamente a modo de ejemplo, algunos de los resultados más significativos alcanzados en el proyecto y que permiten obtener la caracterización metrológica de las esferas de precisión empleadas. Además, se han observado durante el desarrollo del estudio otros puntos de interés a destacar, como la cuantificación de la evolución tecnológica en dos equipos de la misma tecnología, pero de diferentes generaciones, y como la imposibilidad de obtener datos en acabados superficiales demasiado brillantes o reflectantes.

En primer lugar, cabe reseñar la importancia de la aplicación de filtros a la nube de puntos obtenida mediante el escaneado. El filtro aplicado funciona de tal forma que rechaza o elimina los puntos más alejados del diámetro medio, es decir, que se sitúan en los extremos de la campana de Gauss de la distribución en función de un múltiplo de veces el valor de sigma. Este filtrado es más restrictivo (en el sentido de que se rechazan cada vez más puntos) a medida que el múltiplo de sigma es más cercano a 0, quedándose con los valores a una distancia menor que el múltiplo de la desviación típica elegido del valor del diámetro medio: Por ejemplo, para un filtro 2σ se rechazan todos los puntos cuyo diámetro esté fuera del intervalo $(dm - 2\sigma, dm + 2\sigma)$. Un filtro por encima de 6σ dejaría la nube intacta, con prácticamente todos los puntos.

En la siguiente figura (Figura 4) se muestran vistas cenitales de la nube de puntos obtenidas con el sensor láser CMM en un escaneo automatizado con cuatro orientaciones. En ellas se observa el efecto sobre ellas de la aplicación de los distintos filtros, de menos estricto a más estricto, basados en la desviación típica. En rojo los puntos que se rechazan y en azul los que se toman.

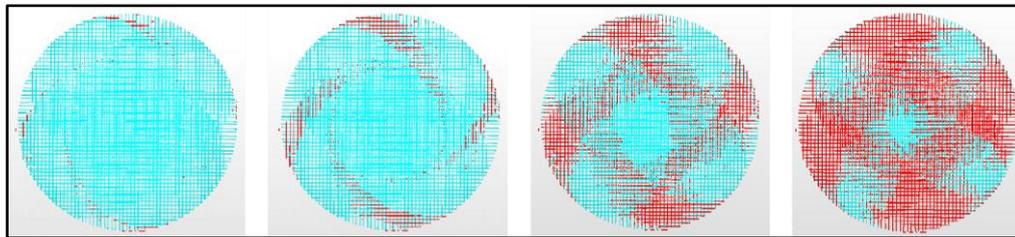


Figura 4. Nubes de puntos obtenidas en escaneo automatizado (CMM) en función de los filtros aplicados

En segundo lugar, señalar la diferencia encontrada en cuanto a capacidad de captura de puntos de los distintos equipos. Por un lado, el número de puntos capturados por el escáner de luz estructurada ha sido muy superior al número de puntos capturados por el sensor láser CMM de punto alternativo e incluso por el sensor láser montado sobre el brazo articulado. Cabe, no obstante, destacar que, debido a su carácter de manejo manual, el número de puntos de este último es más dependiente de la pericia o habilidad del operario, pudiéndose generar superficies de puntos repetidos con mucha facilidad, de ahí la diferencia de la magnitud de la nube de este equipo si se escanea varias veces la misma zona de la esfera. En todo caso, la superioridad de los equipos más modernos en cuanto al volumen de captura de datos se puede observar en la figura 5, donde a modo de ejemplo para la esfera de acero inoxidable AISI 316L tratada superficialmente, el láser RS6 y el equipo propio de luz estructurada son capaces de capturar un mayor número de puntos.

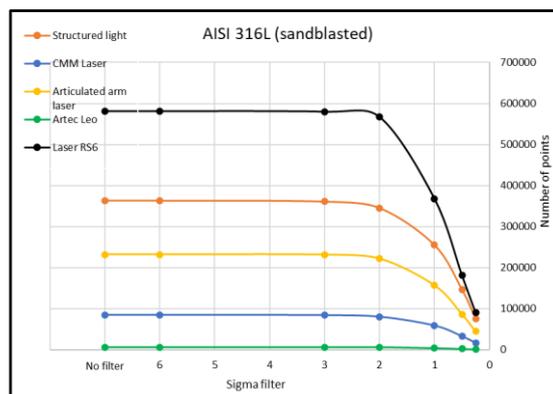


Figura 5.

En tercer lugar, en cuanto a las mediciones realizadas sobre el diámetro de las esferas de precisión se puede observar que, para prácticamente todas las esferas, el filtro es mucho menos influyente que lo observado en el número de puntos. De hecho, dependiendo de la esfera unos equipos obtienen valores de diámetro superiores e inferiores al nominal en una franja de valor en torno a 0.05 mm, y en algún caso valores muy alejados del nominal (0.35 mm). En la figura 6 se muestran los resultados obtenidos para la esfera de 25,486 mm fabricada en acero recubierto.

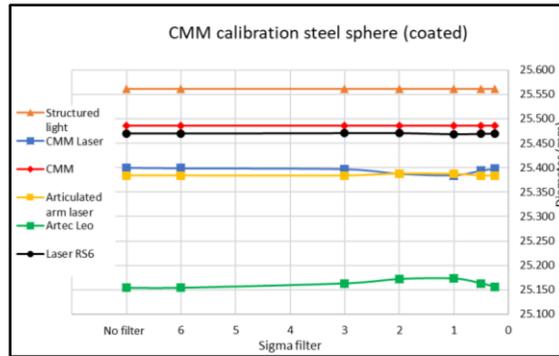


Figura 6.

En cuarto lugar, se ha realizado un análisis de resultados del error de forma de las nubes obtenidas con los equipos de medición. Este parámetro muestra la distancia existente entre los puntos más alejados, tanto por exceso (diámetro mayor) como por defecto (diámetro menor), dentro de la distribución de cada nube de puntos.

La comparación de los valores de errores de forma de todos los equipos puede verse en la figura 7 que se adjunta a continuación. En esta gráfica se representan todas las tecnologías escaneando los distintos materiales y ordenándolos por acabado superficial. Ya que la gráfica representa el error de forma (definido como desviación entre el máximo y el mínimo diámetro) se puede observar que algunas tecnologías no son capaces de captar puntos sobre la superficie de las esferas con materiales de acabado especular, quedando reflejado en la gráfica como valores de desviación infinita. Una observación destacable es que el sensor Artec Leo, siendo el más novedoso, es el equipo que suministra peores datos en cualquiera de las esferas evaluadas ya sea por tipo de material o por acabado. Sin embargo, cabe señalar que es capaz de captar datos en una de las esferas pulidas espejo. Por otra parte, el equipo Láser RS6 es el que presenta los mejores datos con independencia del tipo de material y del acabado superficial de la esfera. De hecho, es también el equipo que proporciona los valores de error de forma más homogéneos entre todas las esferas. Si el análisis lo hacemos teniendo en cuenta los materiales, debemos señalar que los más favorables para la inspección láser, como son los cerámicos y aceros arenados, el sensor más antiguo (R-Scan) oscila entre 170 y 300 μm de diferencia entre los puntos más extremos de la nube, mientras que el más moderno (Láser RS6) no sobrepasa 85 μm de variación. Además, en la esfera de mayor calidad (Aluzir N°5) se queda en solo 30 μm de error de forma.

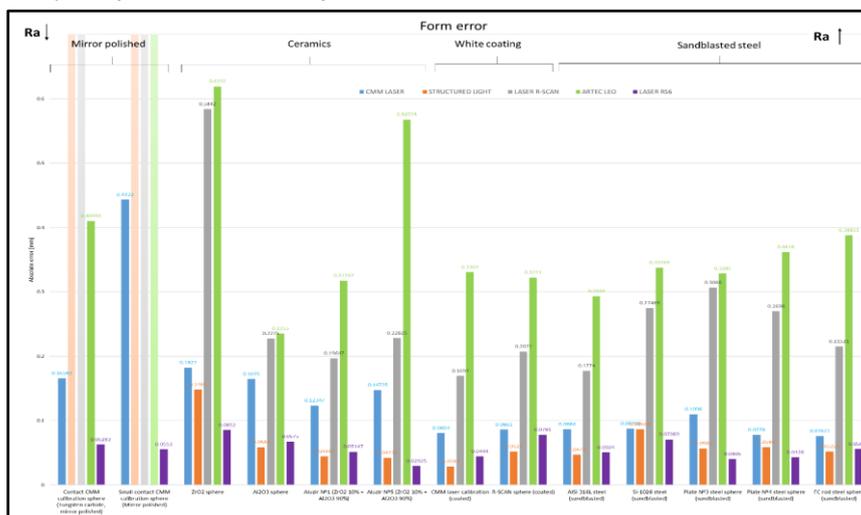


Figura 7. Comparación del error de forma con respecto al diámetro calibrado de todas las esferas obtenidos con todos los equipos

Por último, hay que señalar que también se ha realizado un análisis de la desviación estándar de las nubes de puntos, lo que permite cuantificar cómo de dispersos están los puntos capturados alrededor del diámetro medio de cada nube original. En las figuras siguientes se representan los valores de desviación estándar por tipo de tecnología, los dos equipos de luz estructurada en la figura 8 y los tres equipos láser en la figura 9. En ambos gráficos se representan los valores obtenidos para las diferentes esferas de precisión evaluadas, si bien hay que reseñar que al igual que en la gráfica de error de forma hay equipos, EISCAN y LASER R-SCAN, que muestran valores de desviación estándar en las esferas de acabado especular tendentes a infinito (por no registrar ningún punto).

Si no consideramos entonces las esferas de acabado pulido, que como ya se ha mencionado generan problemas en la captura de puntos, es significativa la diferencia de valores de desviación estándar existente entre los dos equipos basados en tecnología de luz estructurada. El equipo más novedoso, ARTEC 3D LEO, ha registrado un valor medio de desviación estándar entre todas las esferas de 0.089 mm, mientras que el equipo EINSCAN este valor apenas alcanza los 0.016 mm. Por otro lado, también se observan diferencias significativas entre los equipos láser, siendo el RS6 el que registra los mejores valores y el R-SCAN los peores. Entre ambos láseres de tipo cortina se sitúa el láser de punto alternativo (LASER MMC), donde se ve una tendencia más acentuada en la mejora de las nubes capturadas a medida que aumenta la rugosidad superficial del material escaneado. En cualquier caso, los valores de desviación estándar obtenidos mediante esta tecnología en cualquiera de los equipos utilizados son inferiores a los obtenidos mediante luz estructurada. En la aplicación práctica de este sensor, esta pérdida de precisión se compensa con que es el único equipo pensado para automatización del escaneado, tratamiento de la nube y medición, de todos los sensores existentes en el mercado.

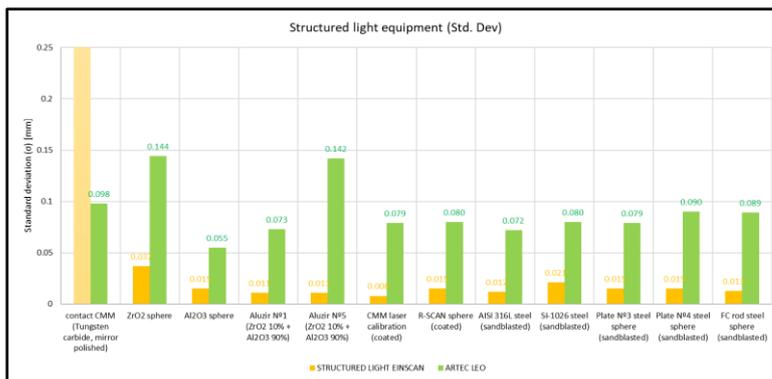


Figura 8. Desviación estándar de las nubes de puntos en bruto obtenidas para cada esfera con los equipos de luz estructurada

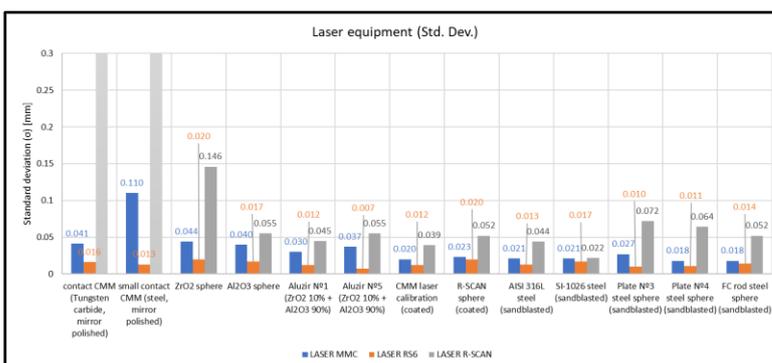


Figura 9. Desviación estándar de las nubes de puntos en bruto obtenidas para cada esfera con los equipos láser

5. Trabajos o necesidades futuras

Se puede decir claramente que hay recorrido investigador a la hora de conseguir los mejores elementos de referencia para calibración, verificación y ajuste de equipos ópticos y de ingeniería inversa. Al margen de la posibilidad de extensión de la investigación a otros materiales, una extensión clara de la investigación en trabajar con distintos acabados, sobre todo en lo que respecta a procesos de modificación de calidad superficial, tipos de recubrimientos y forma de aplicación. El añadir nuevos materiales para elementos de referencia resulta muy difícil pues el mercado no provee actualmente de otros diferentes a los aquí incluidos, lo que obligaría a encargar mecanizados (y acabados) específicos con el coste que eso supone, y con la incertidumbre en la consecución final de alta precisión (bajo error de forma) necesario. En lo que respecta a acabado, aprovechando los materiales existentes (p.e. aceros) una línea de investigación futura puede ser el ataque químico controlado, que maximice la pérdida de brillo sin pérdida de precisión dimensional. Otra línea puede ser el desarrollo, y paralelamente el uso, de técnicas de recubrimiento específicas, que consigan las propiedades ópticas deseadas (mate, blanco o gris, etc.). Tal es el caso de recubrimientos (como BONDERITE®) y/o procesos asociados (electrodeposición, proyección de spray, inmersión, etc.) que apliquen dichos recubrimientos con capa micrométrica de polímeros, Óxido de Titanio, Óxido de Zirconio, etc.

Otro trabajo futuro muy interesante, derivado de esta investigación, es la aplicación de estas esferas como elementos de referencia (dianas) a patrones de mayor tamaño, donde materialicen distancias, cuadraturas, etc. con alta precisión en procedimientos de calibración de equipos fotogramétricos, laser Tracker, distanciómetros láser y similares. Equipos con alcances muy elevados, entre 2 m. y hasta 160 m.

6. Divulgación de los resultados

Al igual que en ediciones anteriores, una parte importante del trabajo de investigación está sirviendo de base para la elaboración de un artículo a publicar en una revista indexada (JCR, SCR). Una vez se finalice el artículo se decidirá la revista, si bien entendemos que podría encajar perfectamente en el "scope" de revistas relevantes como "Sensors" (MDPI), de "Optics and Lasers in Engineering" (Elsevier) o de "The International Journal of Advanced Manufacturing Technology" (Springer). Por otro lado, se ha enviado un resumen al congreso MESIC-2023, organizado por la Sociedad de Ingeniería de Fabricación (10th Manufacturing Engineering Society International Conference, Gijón, Seville, 28-30 June 2023). En el correspondiente apartado de "Acknowledgements" se hará referencia expresa a la ayuda concedida.

El título y los autores son:

"Characterisation of the performance of a structured light digitising sensor by using different materials and surface finishes", Pablo Zapico, Eduardo Cuesta, Víctor Meana, Germán Suárez, Sabino Mateos, Pablo Rodríguez.

Memoria económica:

1. Gastos:

Concepto	Gasto
Personal (IUTA)	3.882 €
Fungibles (mecanizado de accesorios)	1.200 €
Amortización (CMM y software)	1.500 €
Certificados calibración (externos)	1.800 €
TOTAL GASTOS	8.382 €

2. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Becario (6 meses)	3.882 €
TOTAL INGRESOS		3.882 €

Bibliografía

1. E. Cuesta, J.M. Suarez-Mendez, S. Martínez-Pellitero, J. Barreiro, B.J. Alvarez, P. Zapico, *Metrological evaluation of Structured Light 3D scanning system with an optical feature-based Gauge*, *Procedia Manufacturing* 13, 526-533, 2017. (ref. SV-16-GIJON-1-04 y SV-17-GIJON-1-14).
2. Susana Martínez-Pellitero, Eduardo Cuesta, Sara Giganto, Joaquín Barreiro, *New procedure for qualification of structured light 3D scanners using an optical feature-based gauge*, *Optics and Laser in Engineering*, Vol. 110, 193-206, 2018. (ref. SV-17-GIJON-1-14)
3. Sara Giganto; Susana Martínez-Pellitero; Eduardo Cuesta; Víctor M. Meana; Joaquín Barreiro, *Analysis of Modern Optical Inspection Systems for Parts Manufactured by Selective Laser Melting*, *Sensors*, 2020, 20 (11), 3202 (Ref. SV-19-GIJON-1-14)
4. E. Cuesta, S. Giganto, B.J. Alvarez, J. Barreiro, S. Martínez-Pellitero, V. Meana, *Laser line scanner aptitude for the measurement of Selective Laser Melting parts*, *Optics and Lasers in Engineering*, 2021, 138, 106406 (Ref. SV-19-GIJON-1-14)
5. Meana, V., Cuesta, E., Álvarez, B.J., *Testing the Sandblasting Process in the Manufacturing of Reference Spheres for Non-Contact Metrology Applications*, *Materials*, 2021, 14, 5187 (Ref. SV-21-GIJON-1-06)

INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-04

Estudio numérico del flujo en una turbina hidráulica tipo Banki

Fechas inicial y final del proyecto:

04 / 06 / 2022 al 31 / 12 / 2022

Investigador/a Principal:

José González Pérez

Otros investigadores:

Katia M^a Argüelles Díaz, Jesús M. Fernández Oro, Mónica Galdo Vega y Raúl Barrio Perotti

Personal contratado:

Juan Pablo Mazzitelli Zeni

Fechas inicial y final de contratación:

04 / 07 / 22 al 31 / 08 / 22

Empresas o instituciones colaboradoras:

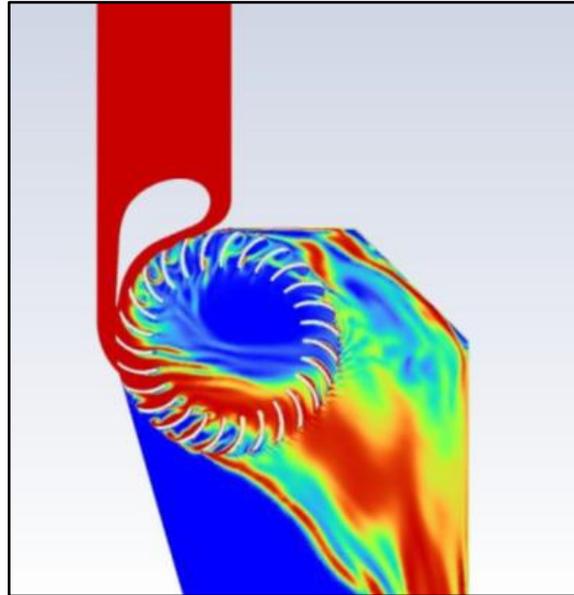
Sinfín Energy, Red Táctica

Redes sociales de investigadores y empresas:

<https://www.linkedin.com/in/josé-gonzález-pérez-a22849b>

Instagram: @aviadosj

Resumen Gráfico



Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

Las fuentes de energía renovable cobran cada vez más fuerza en el ámbito de generación de electricidad con el objetivo de reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Actualmente el 12% del total de la energía eléctrica generada en la Unión Europea es de origen hidroeléctrico y contribuye a reducir en casi 70 millones de toneladas al año dichas emisiones de CO₂.

La turbina Banki tiene un rango de funcionamiento muy adecuado para aplicaciones en la minihidráulica, pudiéndose adaptar a diversas condiciones. Una de sus mayores ventajas es su fácil fabricación e instalación, además de su bajo coste. Su eficiencia se ve acentuada gracias a su característico doble paso por los álabes del rodete. El fluido, normalmente proveniente del cauce de un río, no se contamina en el proceso y se devuelve inmediatamente a la corriente de origen.

En este trabajo se pretende obtener las curvas características de funcionamiento de una geometría concreta de Banki a través de una simulación numérica no estacionaria del flujo bifásico que se genera en el interior del rodete de la máquina. Se determinarán sus prestaciones para diferentes condiciones de funcionamiento, además de conocer los rangos concretos de máximo rendimiento para el uso óptimo de la turbina. Para ello, se dispone de una geometría de partida, que fue el resultado de un proyecto del IUTA del año 2020 (SV-20-GIJÓN-1-17).

1.1 Resumen de valores particulares de la geometría.

Se muestra a continuación el resumen de las condiciones del modelo 2D desarrollado para la simulación del flujo en la turbina Banki:

Discretización espacial	2D
Discretización temporal	No estacionario (t = 0.001 s)
Modelo bifásico	VOF
Número de celdas	155k
Refino del mallado	Adaptativo
Condiciones de contorno	Velocidad a la entrada. A la salida poner Presión 0
	Ω 500 rpm = 52.36 rad/s
	Q 0.08 m ³ /s
	H 1.53 m
	ns 1.94
Optimización	15-27 álabes, Tip Speed Ratio (TSR) 0.2-1.6

Tabla 1 – Modelo numérico 2D desarrollado (resumen de valores).

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

1. Se ha desarrollado el modelo 2D no estacionario para el funcionamiento de la turbina a escala reducida. El grado de consecución de este objetivo fue del **100 %**.
2. Se resolvió el flujo variando el ángulo del álabes directriz, por ello las gráficas muestran resultados para dos disposiciones, 3° y 7° y para tres velocidades de giro del rodete. El grado de consecución de este objetivo también fue del **100 %** (Figura 1).
3. Se optimizó la geometría, obteniéndose resultados tanto en función del ángulo de la directriz de entrada como en función del número óptimo de álabes del rodete. Este objetivo también se consiguió en un **100 %**.

4. Globalmente, aunque solo se dispuso del investigador durante dos meses, se han cubierto en su totalidad las tareas inicialmente previstas. El grado de consecución de este objetivo fue del **100 %**.

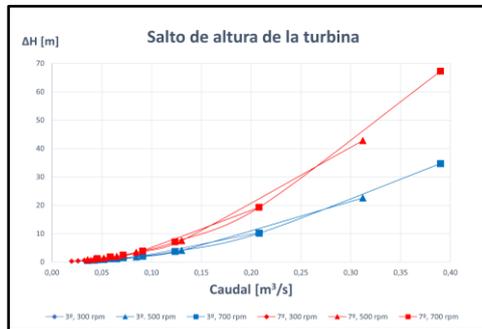


Figura 1. Curva característica de la turbina analizada.

3. Tareas realizadas:

- Recopilación y estudio bibliográfico para centrar el estado del arte tecnológico.
- Estudio de las características del flujo en una turbina tipo Banki.
- Desarrollo de un modelo de cálculo utilizando una herramienta avanzada de CFD para la simulación del flujo.
- Optimización de la geometría en función de los resultados de prestaciones globales.
- Redacción de informe final.

4. Resultados obtenidos:

1. Estudio inicial 1D del flujo utilizando los triángulos de velocidad (Figura 2).

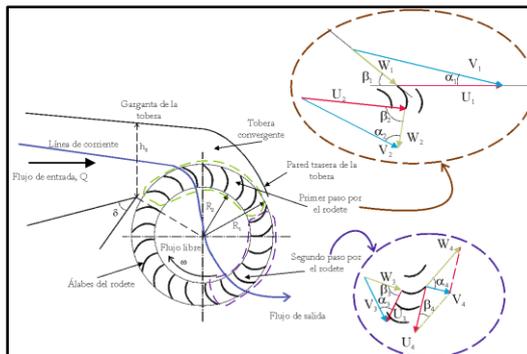


Figura 2. Triángulos de velocidad teóricos según el modelo 1D del flujo.

2. Desarrollo del modelo 2D no estacionario. Seleccionando los valores óptimos para el mallado y el modelo de turbulencia (Figura 3).

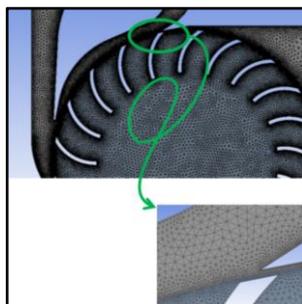


Figura 3. Mallado del modelo 2D con detalle de la zona de entrada.

3. Optimización del número de álabes del rodete (Figura 4) en función de los resultados fluidodinámicos.

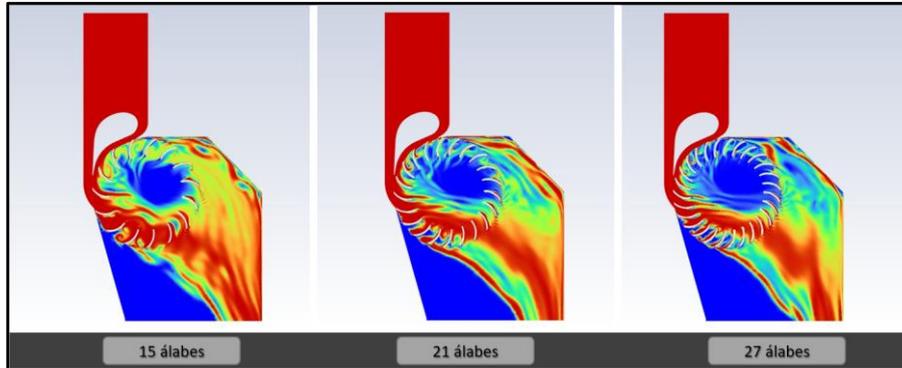


Figura 4. Contornos de fracción volumétrica para los tres rodetes estudiados.

4. Obtención de la curva rendimiento vs caudal para tres posibles números de álabes del rodete (Figura 5).

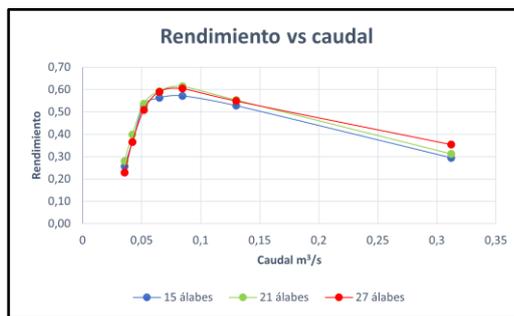


Figura 5. Curva de rendimiento vs Caudal para los tres rodetes estudiados.

5. Obtención de la curva del coeficiente de velocidad de punta (Tip) entre velocidad de la garganta, es decir el TSR o Tip Speed Ratio en función del caudal (Figura 6).

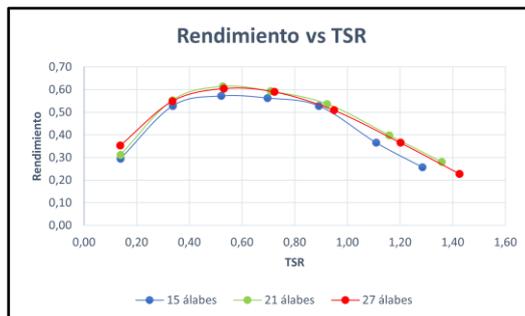


Figura 6 · Curva de rendimiento vs Caudal para los tres rodetes estudiados.

En esta última se confirma que la mejor configuración es la que utiliza un rodete de 21 álabes, ya que su curva de rendimiento se mantiene por encima de las consideradas.

Como conclusiones se ha obtenido que las mejoras realizadas en la turbina no aumentan notablemente el rendimiento. Sin embargo, sí presentan una ventaja en la situación de rendimiento máximo (se encuentra para un menor número de vueltas). Por otro lado, el análisis de la solidez del rodete es satisfactorio: se concluye que 21 álabes es la configuración más productiva.

5. Trabajos o necesidades futuras

Como trabajos futuros podría considerarse el uso de un sistema de cómputo numérico (Matlab o similar) para agilizar la fase de tratamiento de datos y elaboración de gráficas,

creando un script que procesa los ficheros de resultados generados en las simulaciones y cree las curvas automáticamente. Estudiar más formas de mejorar la geometría. Se puede valorar hacer un estudio ensayando diferentes álabes directrices, más adaptados a esta turbina y que no generen un salto de presión tan grande. Por último, se podría considerar la realización de una simulación de la turbina en 3D, para caracterizar el flujo de forma más precisa, haciendo una comparación con lo obtenido en este análisis 2D.

6. Divulgación de los resultados

Se plantea como tarea para el año 2023 publicar los resultados obtenidos en un Congreso Internacional. En particular, en el <https://sfmc23.cimne.com/>

Memoria económica:

1. Gastos:

Concepto	Gasto
Personal	785,46 €
Fungibles	500 €
TOTAL GASTOS	1285,46 €

2. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Ayuda IUTA: Contrato investigación	785,46 €
Sinfin Energy	Fungible	200 €
Universidad de Oviedo	Fungible	300 €
TOTAL INGRESOS		1285,46 €

Bibliografía

1. Adhikari, R., Wood, D., *The design of high efficiency crossflow hydro turbines: A review and extension*. MDPI-Energies, vol 11, article 267 págs. 1-18 (2028). DOI:10.3390/en11020267.
2. Albadawi, A., Donoghue, D.B., Robinson, A. J., Murray, D.B., Delauré, Y.M.C., *Influence of surface tension implementation in Volume of Fluid and coupled Volume of Fluid with Level Set methods for bubble growth and detachment*. International Journal of Multiphase Flow, vol. 53, pp. 11–28, (2013).
3. Choi, Y.D., Lim, J.I., Kim, Y.T., Lee, Y.H., *Performance and internal flow characteristics of a cross-flow hydro turbine by the shapes of nozzle and runner blade*. Journal of Fluid Sci. Technol. Vol. 3, pp. 398 – 409 (2008).
4. Fernández, J.M., *Técnicas numéricas en ingeniería de fluidos*. (2012).
5. Mockmore, C.A., Merryfield, F., *The Banki water Turbine*. In Bulletin Series, Engineering Experiment Station. Oregon State College: Corvallis, OR, USA, pp. 1 – 30 (1949).
6. Ossberger, OSSBERGER® Crossflow Turbine. <https://ossberger.de/> (última visita el 6 de Junio de 2022).
7. Sammartano, V., Aricò, C., Carravetta, A., Fecarotta, O., Tucciarelli, T., *Banki-Michell optimal design by computational fluid dynamics testing and hydrodynamic analysis*. Energies (Basel), vol. 6, no. 5, pp. 2362–2385 (2013).
8. Solicima, *Minihidráulica*. Página: <https://www.soliclima.es/minihidraulica> (última visita el 21 de Julio de 2022).

INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-05

Dosificación y prestaciones del Hormigón de Muy Alto Rendimiento (HMAR) fabricado utilizando lodos marinos procedentes del dragado de puertos

Fechas inicial y final del proyecto:

01 / 06 / 2022 al 31 / 12 / 2022

Investigador/a Principal:

Fernando López Gayarre

Otros investigadores:

Francisco José Suárez Domínguez y Ángel Martín Rodríguez

Personal contratado:

Lina Marcela Trujillo López

Fechas inicial y final de contratación:

01 / 07 / 22 al 31 / 12 / 22

Empresas o instituciones colaboradoras:

HORAVISA

Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

El trabajo consistió en la evaluación de las prestaciones mecánicas de un hormigón de muy alto rendimiento (resistencia a compresión mayor de 100 MPa). Se utilizaron lodos procedentes del dragado de la ría de Llanes dentro de su estructura granular. Se realizaron ensayos de densidad, absorción, porosidad, resistencia a compresión, resistencia a tracción indirecta y de resistencia a flexión. El estudio se llevó a cabo sustituyendo una fracción granular natural de la dosificación de partida del hormigón por la correspondiente a los lodos marinos. Se fabricaron amasadas con los siguientes porcentajes de sustitución: 20%, 35%, 50%, 70% y 100%.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

El objetivo principal pretendía desarrollar una dosificación de un hormigón de ultra-alta resistencia utilizando lodos marinos que garantizara unas propiedades similares a las del hormigón de control (**Grado de consecución 90%**).

Además, como objetivos más específicos se pretendía:

- Reutilizar, reciclar y valorizar residuos procedentes del dragado de puertos para fabricar hormigón de muy alto rendimiento (**Grado de consecución 100%**).
- Analizar la calidad inicial de los residuos utilizados y las posibilidades de uso que presentaban para la fabricación de HMAR (**Grado de consecución 100%**).
- Desarrollar dosificaciones de HMAR utilizando lodos marinos (**Grado de consecución 100%**).
- Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas más relevantes de todas las series de HMAR fabricadas con los residuos propuestos (**Grado de consecución 100%**).
- Transferir los resultados obtenidos a las empresas directamente implicadas e interesadas en el proyecto, así como, en general, al sector de la fabricación de hormigón (**Grado de consecución 50%**).

3. Tareas realizadas:

- **Tarea 1:** Estudio del estado del conocimiento (Mes 1).
- **Tarea 2:** Diseño del hormigón de alto rendimiento (Meses 1 y 2).
- **Tarea 3:** Caracterización de los materiales utilizados (Mes 3).
- **Tarea 4:** Desarrollo de la campaña experimental (Meses 4 y 5).
- **Tarea 5:** Análisis de resultados y conclusiones finales (Mes 6).

4. Resultados obtenidos:

- Se ha conseguido establecer la auto compactabilidad en todos los hormigones fabricados.
- Se ha logrado establecer una dosificación apropiada utilizando materiales autóctonos, con excepción del humo de sílice, con una resistencia a compresión por encima de 90 MPa.
- La resistencia a flexión de los hormigones fabricados se ha mantenido por encima de 15 MPa con sustituciones de hasta el 35%.
- La absorción de agua de todos los hormigones fabricados es muy reducida (inferior al 1%).
- La carbonatación del hormigón es imperceptible.

5. Trabajos o necesidades futuras

Profundizar en el estudio de las prestaciones y la durabilidad del hormigón de ultra alta resistencia utilizando residuos industriales y marinos y analizar el ciclo de vida de dicho material.

6. Divulgación de los resultados

Actualmente se está redactando un capítulo de un libro editado por Woodhead Publishing (Elsevier). El título del mismo es: The Path to Green Concrete (invitación del editor). Por otra parte, el proyecto ha servido como base para el desarrollo del Trabajo Fin de Máster de Lina Trujillo López.

Memoria económica:

1. Gastos:

Concepto	Gasto
Personal	3703 €
Fungibles	1150 €
Amortización	500 €
Moldes probetas	625 €
TOTAL GASTOS	5978 €

2. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Personal	3703 €
	Fungible, moldes probetas, amortización	2275 €
TOTAL INGRESOS		5978 €

Bibliografía

- SUÁREZ GONZÁLEZ J.; LOPEZ BOADELLA, I.; LÓPEZ GAYARRE, F.; LÓPEZ-COLINA PÉREZ, C.; SERRANO LÓPEZ, M.; y STOCHINO, F. (2020). Use of Mining Waste to Produce Ultra-High-Performance Fibre-Reinforced Concrete. *Materials*, 13(11), 2457.
- LÓPEZ BOADELLA, I.; LÓPEZ GAYARRE, F.; SUÁREZ GONZÁLEZ, J.; GÓMEZ-SOBERÓN, J.; LÓPEZ-COLINA PÉREZ, C.; SERRANO LÓPEZ, M.; y DE BRITO, J. (2019). The Influence of Granite Cutting Waste on The Properties of Ultra-High Performance Concrete. *Materials*, 12(4), 634.

3. SOHAIL, M. G.; WANG, B.; JAIN, A.; KAHRAMAN, R.; OZERKAN, N. G.; GENCTURK, B.; DAWOOD, M.; y BELARBI, A. (2018). *Advancements in Concrete Mix Designs: High-Performance and Ultrahigh-Performance Concretes from 1970 to 2016. Journal of Materials in Civil Engineering*, 30(3).
4. TANG, S. W.; YAO, Y.; ANDRADE, C. y LI, Z. J. *Recent durability studies on concrete structure. Cement and Concrete Research*. 2015. vol. 78, 143-154.
5. BAJABER, M.; y HAKEEM, I. (2021). *UHPC evolution, development, and utilization in construction: a review. Journal of Materials Research and Technology*, 10, 1058–1074.
6. SHI, C.; WU, Z.; XIAO, J.; WANG, D.; HUANG, Z.; y FANG, Z. (2015). *A review on ultra high performance concrete: Part I. Raw materials and mixture design. Construction and Building Materials*, 101, 741–751.
7. WANG, D.; SHI, C.; WU, Z.; XIAO, J.; HUANG, Z.; y FANG, Z. (2015). *A review on ultra high performance concrete: Part II. Hydration, microstructure and properties. Construction and Building Materials*, 96, 368–377.
8. PACHECO-TORGAL, F.; DING, Y.; COLANGELO, F.; TULADHAR, R.; y KOUTAMANIS, A. (2020). *Advances in Construction and Demolition Waste Recycling: Management, Processing and Environmental Assessment (1.a ed.)*. Woodhead Publishing.

INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-06

Análisis numérico de cámaras de mezcla para la condensación de vapores por absorción

Fechas inicial y final del proyecto:

04 / 07 / 2022 al 30 / 12 / 2022

Investigador/a Principal:

Antonio José Gutiérrez Trashorras

Otros investigadores:

Juan Manuel González-Caballín Sánchez, Juan Carlos Ríos Fernández, Roberto Martínez Pérez

Personal contratado:

Malena Potesta González

Fechas inicial y final de contratación:

04 / 07 / 22 al 30 / 12 / 22

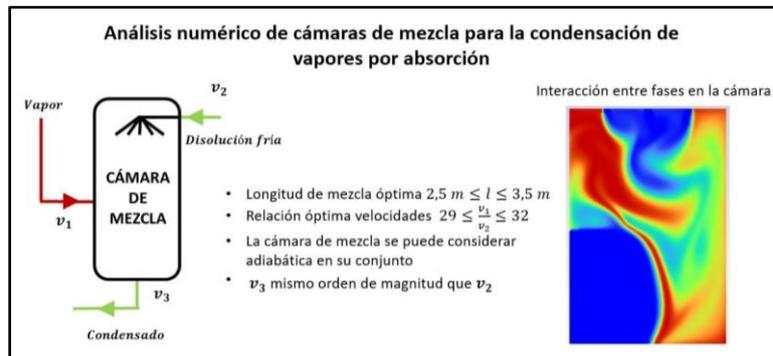
Empresas o instituciones colaboradoras:

IMASA, INGENIERÍA Y PROYECTOS, S.A, IMATECH

Redes sociales de investigadores y empresas:

<https://www.linkedin.com/company/imasa/>

Resumen Gráfico



Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

Actualmente el uso de combustibles fósiles sigue constituyendo el 80% de la energía primaria utilizada por las centrales eléctricas. El sistema más utilizado es el ciclo Rankine (o de turbina de vapor), empleado en las centrales tradicionales. Esto pone de relieve el impacto que una mejora en la eficiencia de los ciclos Rankine puede ocasionar sobre el conjunto del planeta, tanto a nivel de reducción de consumo de energía primaria, como de emisiones contaminantes a la atmósfera. La aplicación del ciclo Rankine a fuentes energéticas renovables ha impulsado, de nuevo, el número de investigaciones en este campo. Entre las mejoras propuestas que adquieren más fuerza en la literatura actual es notorio el uso de fluidos más volátiles que el agua para aplicaciones de media y baja temperatura (como los ciclos Rankine orgánicos, o inorgánicos como el Kalina o Goswami. Con el desarrollo de una nueva tecnología denominada de ciclo higroscópico en 2010, se produce la posibilidad de mejorar el ciclo Rankine tradicional introduciendo un absorbedor con compuestos higroscópicos. Estos compuestos tienen alta afinidad con el vapor de agua (materiales delicuescentes), de modo que son capaces de capturar o absorber el vapor saliente de la turbina. Mediante este sistema se puede reducir la presión de la expansión y aumentar la producción de energía en la turbina, a la vez que se reduce el tamaño del condensador, la mayor barrera económica para la obtención de ciclos Rankine viables en aplicaciones con fuentes térmicas renovables. De esta manera, se puede mejorar la eficiencia energética del sistema y reducir su coste de inversión, a la vez que disminuye de manera muy considerable la dependencia de la temperatura del foco frío del sistema de refrigeración. Además, la utilización del absorbedor elimina la necesidad de agua de refrigeración.

Dentro de la tecnología de ciclo higroscópico, el equipo denominado como absorbedor consiste en una cámara de mezcla a la que llegan, por un lado, el flujo de vapor procedente de la turbina; y por otro, un flujo de agua recirculado que transporta un compuesto higroscópico (disolución fría), capaz de absorber dicho vapor. Actualmente, existe gran desconocimiento acerca de las particularidades de dicha condensación por absorción, tanto a nivel de fluidodinámica como del proceso termoquímico que tiene lugar. Por otra parte, se ha observado que el mismo proceso que se emplea para la absorción de vapor por parte del compuesto higroscópico puede extrapolarse a múltiples aplicaciones que involucran la interacción y mezcla de vapor y partículas higroscópicas.

La metodología de este proyecto se basa en el desarrollo de un modelo numérico, en el que se implementarán las ecuaciones matemáticas necesarias para la resolución del campo fluidodinámico que se produce en el interior de la cámara de mezcla para la condensación de vapor por absorción. El contraste experimental y validación del modelo se llevará a cabo mediante la comparación de los resultados obtenidos del modelo con datos reales proporcionados por la empresa colaboradora. Finalmente, los resultados obtenidos mediante el análisis citado se utilizarán para proponer mejoras en la cámara de mezcla para mejorar su eficiencia.

En concreto, en este proyecto se desarrolla un modelo numérico de una cámara de mezcla para la condensación de vapor por absorción. Con dicho modelo, se pretende analizar el proceso de absorción que tiene lugar dentro de la cámara, obteniendo una descripción más detallada de la fluidodinámica y los procesos termoquímicos que tienen lugar en su interior. Los resultados del proyecto contribuirían a un mejor diseño de las cámaras de mezcla por absorción, así como a un mejor entendimiento del proceso de absorción en sí mismo, facilitando su extrapolación y el desarrollo de tecnologías como la captura de partículas contaminantes utilizando vapor.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

- Este proyecto pretende abrir una línea de investigación centrada en la mezcla de vapor y disoluciones de compuestos higroscópicos que permite condensar el vapor en condiciones muy favorables para múltiples aplicaciones industriales (**Grado consecución 100%**).
- Se ha desarrollado un modelo numérico de dicho proceso de mezcla, teniendo en cuenta todos los fenómenos relevantes para su modelización (**Grado consecución 100%**).
- El objetivo final es contribuir a un mejor diseño de las cámaras de mezcla, así como generar conocimiento acerca del proceso de absorción en plantas de producción de potencia (**Grado consecución 100%**).
- El conocimiento generado se transferirá a la empresa colaboradora, sentando las bases para futuras colaboraciones (**Grado consecución 100%**).

3. Tareas realizadas:

Fase 1: Trabajos iniciales.

- Búsqueda de referencias en congresos y revistas científicas para actualización del estado del arte relativas a los sistemas de condensación por absorción y, en particular, las cámaras de mezcla.
- Búsqueda de referencias en congresos y revistas científicas para actualización del estado del arte relativas a los sistemas de condensación por absorción y, en particular, las cámaras de mezcla.
- Reuniones con la empresa IMASA para el intercambio de información.
- Implementación de las ecuaciones matemáticas que rigen los procesos de absorción que acontecen en la cámara de mezcla.

Fase 2: Modelización.

- Desarrollo del modelo numérico de la cámara de mezcla, incorporando las ecuaciones obtenidas de forma que permita obtener la resolución del campo fluidodinámico en el interior de la cámara.
- Validación del modelo mediante su contraste con datos reales obtenidos de la empresa colaboradora.

Fase 3: Resultados.

- Análisis de los resultados obtenidos y propuestas de mejora de la cámara de mezcla.
- Redacción de conclusiones y la memoria final del proyecto.

Fase 4: Difusión de resultados.

- Redacción de artículos para su publicación en congresos internacionales y/o revistas científicas con factor de impacto JCR y participación en actividades de difusión del IUTA y otras.

4. Resultados obtenidos:

- La longitud de mezcla óptima necesaria para que el vapor se ponga en contacto con la corriente rica en compuestos higroscópicos está dentro del intervalo 2,5 a 3,5 m, dependiendo del volumen de vapor a condensar.
- La relación óptima entre las velocidades vapor del vapor y corriente rica en compuestos higroscópicos se encuentra en el intervalo 29 a 32.
- La velocidad de la corriente de condensado obtenida en la cámara de mezcla ha de ser del mismo orden de magnitud que la de la corriente rica en compuestos higroscópicos.
- La cámara de mezcla se puede considerar adiabática en su conjunto, aunque el proceso de absorción sea exotérmico, ya que el calor de dilución es cedido a la corriente de condensado, aumentando su temperatura para una presión dada, a diferencia de las máquinas de absorción empleadas para frío solar en las que es necesario refrigerar la cámara para su correcto funcionamiento.

5. Trabajos o necesidades futuras

Como trabajos futuros se plantea la aplicación de esta tecnología para la condensación de vapores mediante el empleo de compuestos higroscópicos endotérmicos, con el objetivo de estudiar las posibles ventajas/desventajas respecto de los compuestos exotérmicos considerados en este estudio. También sería interesante estudiar la aplicación de esta tecnología a temas medioambientales y la posibilidad de su aplicación en el campo de la edificación.

6. Divulgación de los resultados

- Meana-Fernández, A., González-Caballín, J. M., Martínez-Pérez, R., Rubio-Serrano, F. J., & Gutiérrez-Trashorras, A. J. (2022). Power Plant Cycles: Evolution towards More Sustainable and Environmentally Friendly Technologies. *Energies*, 15(23), 8982.
- Martínez-Pérez, R., Rubio-Serrano, F. J., Meana-Fernández, A., & Gutiérrez-Trashorras, A. J. Influence of LiBr concentration in the generation of superheated vapor for a Hygroscopic Cycle. 20th International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'22) Vigo (Spain), 27th to 29th July 2022
- Martínez-Pérez, R., Rubio-Serrano, F. J., Meana-Fernández, A., & Gutiérrez-Trashorras, A. J. Influence of LiBr concentration in the generation of superheated vapor for a Hygroscopic Cycle *Renewable Energy and Power Quality Journal (RE&PQJ)* ISSN 2172-038 X, Volume No.20, September 2022

Memoria económica:

1. Gastos:

Concepto	Gasto
Personal, Fungibles, Amortización, ...	3547 €
TOTAL GASTOS	3547 €

2. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Estudiante con ayuda IUTA a la investigación	3547 €
TOTAL INGRESOS		3547 €

Bibliografía

1. M. M. Rashidi, A. Aghagoli, and M. Ali, *Thermodynamic (2014). Analysis of a Steam Power Plant with Double Reheat and Feed Water Heaters, Advanced Mechanical Engineering, vol. 6, p. 940818.*
2. Rubio Serrano, F.J. (2013). *Ciclo Higroscópico: la evolución eficiente del Ciclo Rankine. Solar News (45), 32-35.*
3. Rubio-Serrano, F. J., Soto-Perez, F., & Gutierrez-Trashorras, A. J. (2020). *Experimental study on the influence of the saline concentration in the electrical performance of a Hygroscopic cycle. Applied Thermal Engineering, 165, 114588.*
4. F.J. Rubio-Serrano, A.J. Gutiérrez-Trashorras, F. Soto-Pérez, E. Álvarez-Álvarez, E. Blanco-Marigorta. (2018). *Advantages of incorporating Hygroscopic Cycle Technology to a 12.5-MW biomass power plant. Applied Thermal Engineering Volume 131, 320-327*

INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-07

Diseño de dispositivo para recolección de muestras de sangre por el propio paciente

Fechas inicial y final del proyecto:

01 / 07 / 2022 al 31 / 12 / 2022

Investigador/a Principal:

María del Rocío Fernández Rodríguez

Otros investigadores:

José Manuel Sierra Velasco, Modesto Cadenas Fernández, Jose Luis Cortizo Rodríguez

Personal contratado:

Diego Díaz Salamanca

Fechas inicial y final de contratación:

01 / 07 / 22 al 31 / 12 / 22

Empresas o instituciones colaboradoras:

ACTIVA Biotech S.L.

Resumen Gráfico

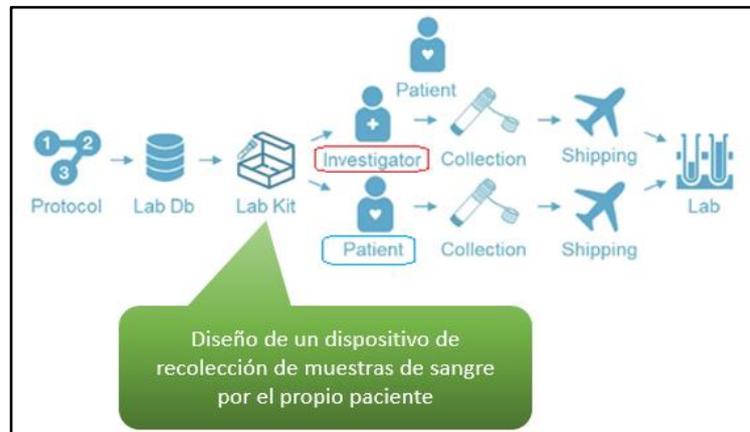


Figura 1. Flujo de trabajo en el análisis de muestras.

Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

El resumen ejecutivo del proyecto debe ser una síntesis clara y concisa del trabajo realizado, describiendo brevemente los motivos que justifican su realización, los beneficiarios, los objetivos específicos y su grado de consecución, la metodología aplicada y los resultados obtenidos. Extensión: un máximo de 4000 caracteres, incluidos espacios. Sustituya este texto con el resumen ejecutivo.

En este proyecto se ha planteado el diseño de un dispositivo que permita la recolección de muestras de sangre, para su análisis, por el propio paciente y en su domicilio. La pandemia COVID-19 ha puesto de manifiesto la necesidad de liberar la presencia física de los pacientes en los centros de salud en los casos que sea posible, evitando así colapsos y contagios. Un dispositivo como el planteado sería de utilidad en casos de enfermedad, pero también, por ejemplo, en orientaciones nutricionales específicas para deportistas. Con estos dispositivos pueden realizarse análisis de ácidos nucleicos, proteínas, pequeñas moléculas y exógenos como drogas, bacterias y virus.

En esta primera fase del proyecto se plantea el diseño conceptual del dispositivo de extracción, y para ello serían necesarias varias etapas:

1.1. Definición de necesidades

En este apartado ha sido de gran ayuda la experiencia de la empresa ACTIVA Biotech, que informa de los posibles usos y dispositivos actuales del mercado. Se ha procedido a un análisis de los requisitos del mismo, búsqueda y estudio de la bibliografía correspondiente, así como el estado actual de posibles dispositivos patentados. En la revisión bibliográfica han sido analizados aspectos como: parámetros a medir, tipo de sangre, necesidad de aditivos, cantidad de muestra, zona de punción, tiempo de extracción, perfil de extractor y paciente, etc. lo que ha permitido establecer los requisitos específicos para el diseño de este dispositivo en particular.

1.2. Análisis de las posibles soluciones

En base a estos requisitos se analizaron distintas soluciones para el dispositivo, contemplando en ellas el sistema de extracción a emplear, el método de análisis, el tipo y método de punción y distintas consideraciones como la influencia del tipo y velocidad de las microagujas en el usuario.

1.3. Creación de un modelo

Establecidas las especificaciones, se ha creado un modelo mediante programas de modelado sólido (SolidWorks®), en el que se han analizado dimensiones, interferencias y se prueban variaciones al diseño de las distintas partes. Aún debe resolverse una serie de cuestiones que consistirán en el trabajo fin de grado del estudiante que ha optado a la financiación IUTA.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

- Realizar un estudio en profundidad de los distintos dispositivos del mercado, así como de la bibliografía y patentes en la actualidad. **100% de consecución.**
- Establecimiento de requisitos del dispositivo en colaboración con la empresa implicada en el proyecto. **100% de consecución**
- Diseño de un dispositivo mediante modelado sólido: **90% de consecución.** Aún hay mejoras que se están estudiando.
- Implementación del modelo mediante impresión 3D. **20% de consecución.**

En esta fase el estudiante contratado se encuentra en la búsqueda de componentes comerciales que puedan ajustarse al diseño para la implementación del conjunto. Se han preparado los ficheros 3D para su impresión en las instalaciones de la Universidad, pero a falta de parte de los componentes comerciales.

Publicación y protección del diseño: No se realizarán publicaciones hasta confirmar si las reivindicaciones sobre el diseño son suficientes para la protección del mismo.

4. Resultados obtenidos:

Se dispone de un prototipo en modelado sólido que cumpliría los requisitos especificados en el diseño.

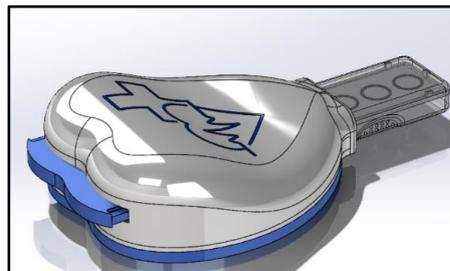


Figura 2. Dispositivo diseñado.

5. Trabajos o necesidades futuras

- Se han preparado distintos receptáculos para la sangre. Los ensayos con muestras reales determinarán cuál es el más apropiado para la homogeneización de las muestras.
- Se deben completar los estudios de velocidad, número de agujas y tamaño de las mismas para minimizar el dolor en el paciente al tiempo que se consigue el volumen necesario de muestra en un tiempo razonable.
- Ajustar el diseño y los materiales de las distintas partes sobre un prototipo físico para verificar su utilidad.
- Se debe elaborar una memoria de uso y un documento de reivindicaciones para la solicitud de "modelo de utilidad".

6. Divulgación de los resultados

No se realizarán publicaciones hasta que el modelo haya sido protegido.

Memoria económica:

1. Gastos:

Concepto	Gasto
Personal	2394 €
Fungibles	150 €
Amortización	300 €
TOTAL GASTOS	2844 €

2. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Personal	2394 €
TOTAL INGRESOS		2394 €

Bibliografía

1. S. Vaquer, J. Masip, G. Gili, G. Gomà, J.C. Oliva, A. Frechette, S. Evetts, T. Russomano, A. Artigas, Operational evaluation of the earlobe arterialized blood collector in critically ill patients, *Extrem. Physiol. Med.* 4 (2015) 5. <https://doi.org/10.1186/s13728-015-0025-x>
2. J. Knitza, K. Tascilar, N. Vuillerme, E. Eimer, P. Matusewicz, G. Corte, L. Schuster, T. Aubourg, G. Bendzuck, M. Korinth, C. Elling-Audersch, A. Kleyer, S. Boeltz, A.J. Hueber, G. Krönke, G. Schett, D. Simon, Accuracy and tolerability of self-sampling of capillary blood for analysis of inflammation and autoantibodies in rheumatoid arthritis patients-results from a randomized controlled trial, *Arthritis Res. Ther.* 24 (2022) 125. <https://doi.org/10.1186/s13075-022-02809-7>

3. H.C. Gustafsson, A.S. Young, G. Stamos, S. Wilken, N.H. Brito, M.E. Thomason, A. Graham, J.T. Nigg, E.L. Sullivan, *Innovative methods for remote assessment of neurobehavioral development*, *Dev. Cogn. Neurosci.* 52 (2021) 101015.
<https://doi.org/10.1016/j.dcn.2021.101015>
4. T.M. Blicharz, P. Gong, B.M. Bunner, L.L. Chu, K.M. Leonard, J.A. Wakefield, R.E. Williams, M. Dadgar, C.A. Tagliabue, R. El Khaja, S.L. Marlin, R. Haghgoie, S.P. Davis, D.E. Chickering, H. Bernstein, *Microneedle-based device for the one-step painless collection of capillary blood samples*, *Nat. Biomed. Eng.* 2 (2018) 151–157. <https://doi.org/10.1038/s41551-018-0194-1>
5. E.M. Landis, *The Capillaries of the Skin* Paper read in part at the First Annual Meeting of the Society for Investigative Dermatology, Inc., New York City, April 30, 1938, *Journal of Investigative Dermatology* 1 (1938) 295–311. <https://doi.org/10.1038/jid.1938.28>
6. Simonen, P., O'Brien, M., Hamilton, C., Ashcroft, J., & Denham, J, *Normal variation in cutaneous blood content and red blood cell velocity in humans*, *Physiological Measurement* (1997) 155-170.
7. C.G. Li, C.Y. Lee, K. Lee, H. Jung, *An optimized hollow microneedle for minimally invasive blood extraction*, *Biomed. Microdevices* 15 (2013) 17–25. <https://doi.org/10.1007/s10544-012-9683-2>
8. H.S. Gill, D.D. Denson, B.A. Burris, M.R. Prausnitz, *Effect of microneedle design on pain in human volunteers*, *Clin. J. Pain* 24 (2008) 585–594.
<https://doi.org/10.1097/AJP.0b013e31816778f9>
9. A.L. Oaklander, S.M. Siegel, *Cutaneous innervation: form and function*, *J. Am. Acad. Dermatol.* 53 (2005) 1027–1037. <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2005.08.049>
10. M.J. Davis, D.J. Demis, J.C. Lawler, *The Microcirculation of the Skin**From the Department of Dermatology, Walter Reed Army Institute of Research, Walter Reed Army Medical Center, Washington 12, D. C*, *Journal of Investigative Dermatology* 34 (1960) 31–35.
<https://doi.org/10.1038/jid.1960.6>
11. F.J. Verbaan, S.M. Bal, D.J. van den Berg, J.A. Dijkstra, M. van Hecke, H. Verpoorten, A. van den Berg, R. Luttge, J.A. Bouwstra, *Improved piercing of microneedle arrays in dermatomed human skin by an impact insertion method*, *J. Control. Release* 128 (2008) 80–88.
<https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2008.02.009>
12. J.Y. Moon, D.C. Suh, Y.S. Lee, Y.W. Kim, J.S. Lee, *Considerations of blood properties, outlet boundary conditions and energy loss approaches in computational fluid dynamics modeling*, *Neurointervention* 9 (2014) 1–8. <https://doi.org/10.5469/neuroint.2014.9.1.1>

INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-08

Modelo para el estudio de la congelación en el circuito de descarga de aire de bombas de doble diafragma

Fechas inicial y final del proyecto:

01 / 01 / 2022 al 30 / 12 / 2022

Investigador/a Principal:

Andrés Meana Fernández

Otros investigadores:

María José Suárez López, Victoria Mollón Sánchez, Jorge Luis Parrondo Gayo, Alberto Menéndez Blanco y Pedro García Regodeseves

Personal contratado:

Ignacio Soto-Jove Ocáriz

Fechas inicial y final de contratación:

04 / 07 / 22 al 30 / 12 / 22

Empresas o instituciones colaboradoras:

LINTER TECHNICAL CENTER, S.L. (Grupo SAMOA)

Redes sociales de investigadores y empresas:

<https://www.linkedin.com/in/andresmeanafdez/>

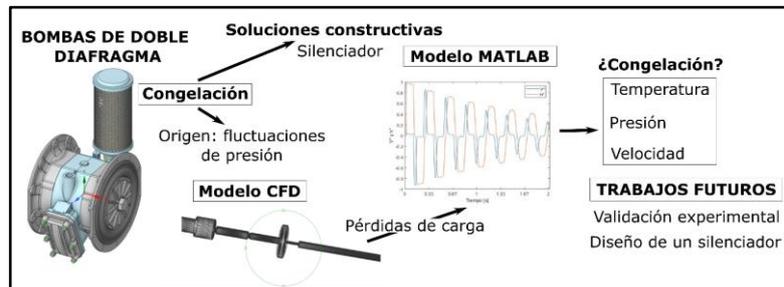
<https://twitter.com/AndresMeanaFdez>

https://www.instagram.com/andres_mf/

<https://es.linkedin.com/company/samoaindustrial>

<https://twitter.com/samoaindustrial>

Resumen Gráfico



Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

Las bombas de diafragma son máquinas de desplazamiento positivo con diafragmas deformables que generan un flujo de descarga pulsante. Cuando se emplea aire comprimido para accionarlas, suelen ser de doble efecto y se conocen como bombas alternativas de doble diafragma operadas por aire (AODDP). La Figura 1 muestra una sección y un esquema de funcionamiento.

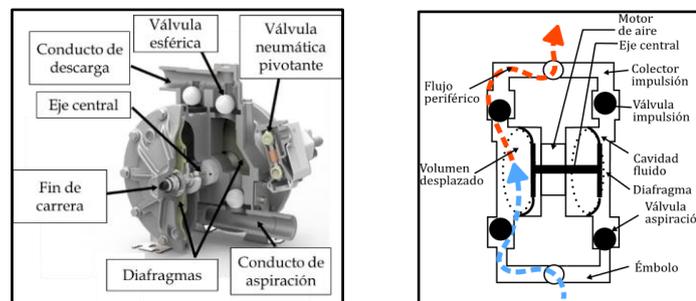


Figura 1. Sección y esquema de funcionamiento de una bomba de doble diafragma operada por aire

Al no haber componentes internos sometidos a fricción, tienen una gran fiabilidad. No emplean sellados ni lubricantes, por lo que no hay fugas ni contaminación del fluido [1]. Por ello, tienen multitud de aplicaciones, desde petroquímica, sanitaria, alimentación y bebidas. En este contexto, el grupo SAMOA, en el que se integra LINTER TECHNICAL CENTER, S.L, es uno de los principales fabricantes a nivel mundial, habiendo patentado un diseño optimizado respecto a los existentes anteriormente [2]. Casi todas las mejoras se realizan mediante pruebas experimentales en las propias empresas, por lo que en el momento en el que se publicó un trabajo realizado por el equipo de investigación que avala esta propuesta, aún no existían referencias específicas en la bibliografía [3].

El origen de este proyecto es un problema observado durante el funcionamiento de las bombas, que, en determinadas condiciones de operación, disminuían su rendimiento y llegaban a atascarse. La inspección visual determinó que se formaba hielo en el conducto de descarga de aire, generando una contrapresión y la posterior obstrucción de la bomba. Este problema afecta a cualquier tipo de bomba neumática, por lo su resolución sería fácilmente extrapolable a otros tipos de bombas. Las soluciones existentes surgen del ensayo y error y la experiencia acumulada por los fabricantes, pudiendo ser operativas o constructivas [4]. Dentro de las soluciones operativas, se contempla reducir la presión y velocidad de bombeo, la importancia del mantenimiento o el uso de una bomba sobredimensionada. Sin embargo, no siempre se puede

modificar el punto de trabajo de la bomba ni hacer paradas de mantenimiento continuamente. Por este motivo, prima la búsqueda de una solución constructiva.

Los resultados obtenidos en el proyecto sugieren que el problema se debe a procesos de expansión y compresión abruptos por los estrechamientos en la sección de paso del aire comprimido, que generan cambios bruscos de temperatura [5]. Las bajadas bruscas de la temperatura provocan que se alcance el punto de escarcha, produciendo la congelación.

Se ha desarrollado un modelo en MATLAB, con el que se ha conseguido modelar la evolución de la velocidad y la presión a través de los conductos de la bomba utilizando el método de las características [6], que tiene en cuenta la propagación de las ondas de presión a lo largo de los conductos con la velocidad del sonido. La temperatura, presión, densidad del aire y velocidad del sonido están interrelacionadas, por lo que se van calculando de manera iterativa mediante las relaciones de gases ideales y de procesos isentrópicos.

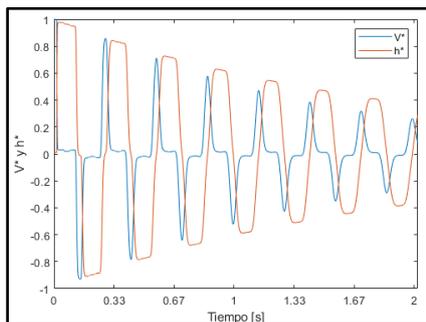


Figura 2. Evolución temporal de la velocidad y altura de presión en un tramo de conducto.

Paralelamente, se ha desarrollado un modelo CFD para caracterizar las pérdidas de carga a lo largo de los conductos de la bomba y poder ajustar el modelo de MATLAB con mayor precisión.



Figura 3. Detalle del modelo CFD utilizado para caracterizar las pérdidas de carga en la bomba

Se ha seleccionado una bomba para su ensayo experimental y así validar los modelos desarrollados. Actualmente se está terminando de construir el banco de ensayos.

Finalmente, se ha realizado una lista de posibles soluciones constructivas, a partir de las existentes en la literatura, como la instalación de filtros de secado, el aumento de las secciones de paso o el empleo de materiales de menor conductividad térmica. Como objetivo futuro, queda el diseño de un silenciador optimizado para eliminar completamente la congelación.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

El objetivo principal del proyecto presentado en esta propuesta es la generación de conocimiento científico-técnico aplicable al diseño y análisis de soluciones para evitar la congelación en los conductos de descarga de aire en bombas de doble diafragma. Dicho objetivo se puede concretar en la generación de un modelo que permita analizar distintas soluciones constructivas, teniendo en cuenta los fenómenos termoacústicos que acontecen. Este objetivo principal puede desglosarse en los siguientes objetivos específicos:

- Revisión de la bibliografía referente a los fenómenos físicos presentes, los métodos de modelización y las soluciones constructivas existentes. Este objetivo se ha completado al **100%**
- Desarrollo de un modelo numérico del comportamiento fluidodinámico y termoacústico del aire en los conductos de salida de las bombas. Este objetivo se ha completado al **80%**, está pendiente la validación final del modelo con datos experimentales.
- Realización de un sumario de las soluciones posibles al problema de la congelación, a partir de las encontradas en la bibliografía y las que surjan durante el modelado numérico. Este objetivo se ha completado al **100%**.
- Difusión de la tecnología y de los resultados obtenidos. De momento la difusión de resultados de investigación se ha realizado exclusivamente con la empresa colaboradora. Está pendiente la realización de publicaciones científicas para la divulgación de los resultados más relevantes.

3. Tareas realizadas:

- Reuniones de coordinación con la empresa LINTER TECHNICAL CENTER, S.L.
- Revisión bibliográfica de los fenómenos físicos presentes, métodos de modelización y soluciones constructivas.
- Desarrollo del modelo analítico en MATLAB.
- Desarrollo del modelo CFD en ANSYS Fluent.
- Preparación del banco de ensayos experimental.
- Análisis de resultados y obtención de conclusiones.
- Realización de un sumario de soluciones posibles al problema de la congelación.
- Redacción de la memoria final del proyecto.

4. Resultados obtenidos:

1. La congelación en el conducto de salida de aire de las bombas se debe a las fluctuaciones de presión en el aire de suministro y a los cambios de sección en el conducto, que provocan procesos de compresión y expansión abruptos, generando bajadas drásticas de la temperatura.
2. El modelo desarrollado es capaz de describir adecuadamente el acoplamiento entre las fluctuaciones de presión y las bajadas de temperatura, a partir de las condiciones de operación y la geometría y materiales de los conductos, asumiendo procesos isentrópicos y que el aire se comporta como un gas ideal.
3. Los valores de las pérdidas de carga en el conducto obtenidos mediante simulación CFD permiten ajustar el modelo con una mayor precisión.
4. Se han obtenido varias soluciones posibles al problema de la congelación, siendo el diseño de un silenciador optimizado la mejor solución para eliminar definitivamente este problema.

5. Trabajos o necesidades futuras

Completar la caracterización experimental de la bomba seleccionada y utilizar los datos experimentales para validar el modelo numérico desarrollado. Diseñar un silenciador optimizado para la bomba a partir del modelo. Redacción de artículos de revista a partir de los resultados obtenidos en el proyecto y difusión y divulgación de los resultados en jornadas y actividades.

6. Divulgación de los resultados

Se prevé la redacción de artículos con el objetivo de enviarlos a revistas científicas indexadas con factor de impacto (como Applied Thermal Engineering o International Numerical Methods for Heat & Fluid Flow) y/o a congresos internacionales de reconocido prestigio. También se dará visibilidad al proyecto entre las actividades de I+D+i del grupo de investigación en la página web del Departamento de Energía y la página web del Grupo de Investigación en Ingeniería Fluidodinámica de la Universidad de Oviedo, una vez esté finalizado. Los resultados se expondrán en la Jornada de Presentación de Proyectos del IUTA, así como en otras actividades organizadas por el IUTA como los “Desayunos Tecnológicos”, o en otras jornadas o conferencias enmarcadas en el ámbito de la energía. También se propondrá la impartición de charlas o conferencias en la Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón dentro de sus actividades habituales de divulgación científico-técnica y en las que tenga cabida esta temática dentro del programa del Ayuntamiento de Gijón “Gijón CON Ciencia”.

Memoria económica:

1. Gastos:

Concepto	Gasto
Personal (IUTA)	5.000 €
TOTAL GASTOS	5.000 €

2. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Contratación de personal	5.000 €
TOTAL INGRESOS		5.000 €

Bibliografía

1. Henry, D. (2006). *Selecting air-operated double diaphragm pumps*. *World Pumps*, 2006(476), 26-28.
2. González-Moratiel, A. (2013). *Double-membrane central-flow pump*. EP Patent 2573397 A1.
3. Menéndez Blanco, A.; Fernández Oro, J.M.; Meana-Fernández, A. (2019). *Numerical methodology for the CFD simulation of diaphragm volumetric pumps*. *International Journal of Mechanical Sciences*, 150, 322-336.
4. ALL-PUMPS Sales & Service. *Tips on how to stop double diaphragm pumps from freezing*. Disponible en <https://allpumps.com.au/tips-on-how-to-stop-double-diaphragm-pumps-from-freezing/> (acceso 13 de enero de 2022)
5. Swift, G. W. (1988) "Thermoacoustic engines", *The Journal of the Acoustical Society of America* 84, 1145-1180 <https://doi.org/10.1121/1.396617>
6. Wylie, E.B., Streeter, V.L. (1978). *Fluid transients*. McGraw-Hill: New York, USA.

INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-09

Análisis de la dinámica de diques conformados por bloques de hormigón mediante técnicas de teledetección espacial en el puerto de Gijón

Fechas inicial y final del proyecto:

01 / 07 / 2022 al 31 / 12 / 2022

Investigador/a Principal:

Cristina Allende Prieto

Otros investigadores:

Luis Ángel Sañudo Fontaneda

Personal contratado:

Bárbara Fernández Otero

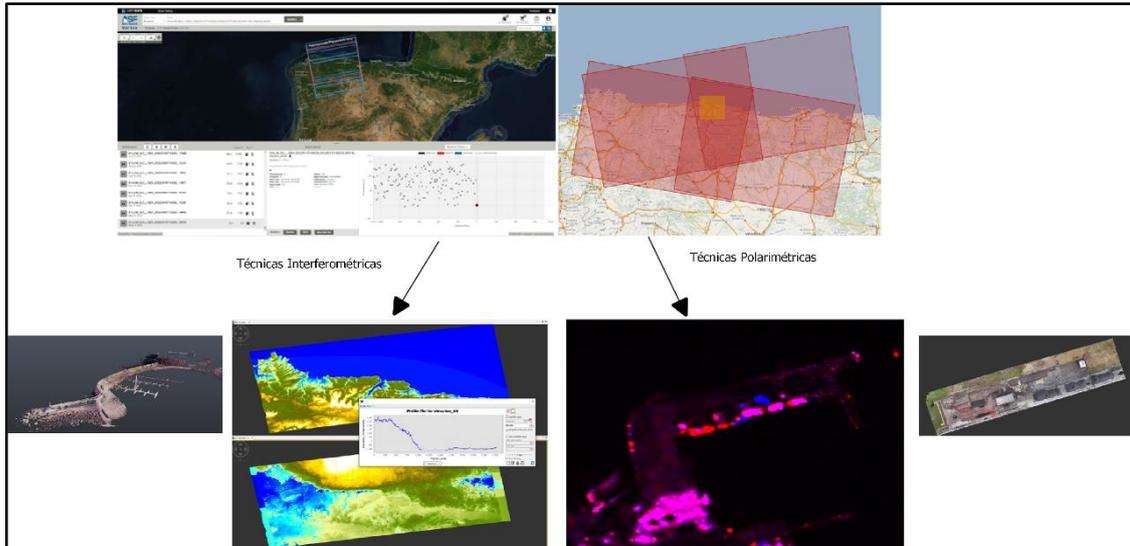
Fechas inicial y final de contratación:

01 / 07 / 22 al 01 / 08 / 22

Empresas o instituciones colaboradoras:

EXCADE S.L., Estudio Roble S.L. y Autoridad Portuaria de Gijón

Resumen Gráfico



Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

El objetivo inicial del proyecto consistía en la monitorización de los de los bloques que conforman la estructura de los diques del puerto de Gijón con el fin de establecer y cuantificar sus desplazamientos a consecuencia del efecto del oleaje utilizando las imágenes satelitales procedentes del sensor RADAR que alberga el satélite Sentinel-1 de la constelación del programa europeo COPERNICUS.

Se ha descargado, analizado y procesado la serie temporal de imágenes correspondientes a la zona portuaria de Gijón (Figura 1).

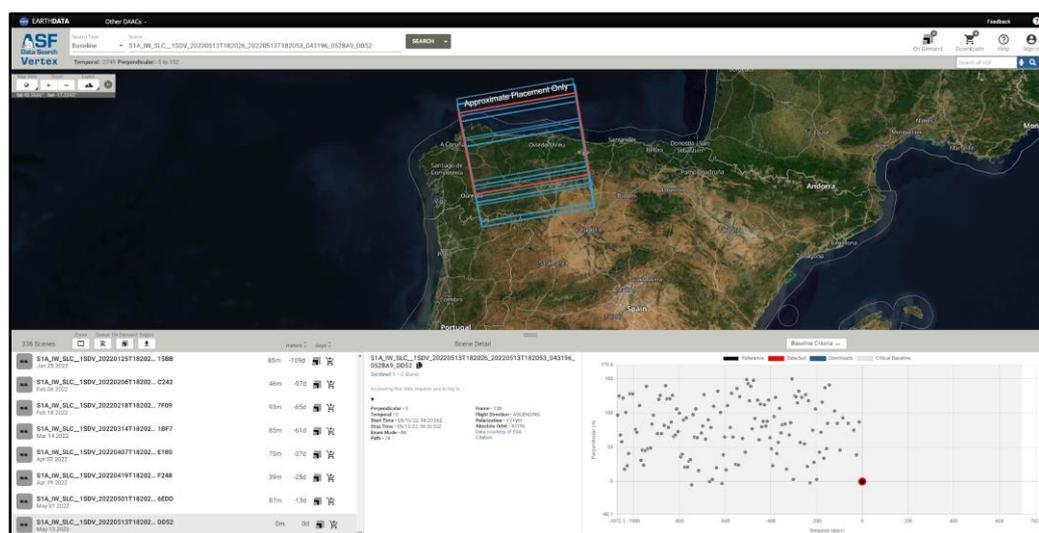


Figura 1. Serie temporal de imágenes radar correspondientes a la zona de actuación.

Concretamente para la zona de Gijón hay solape de pasadas, por lo que, en los últimos 12 días, entre dos pasadas sobre la misma órbita, podemos encontrar dos imágenes ascendentes y dos descendentes, en la figura 2 vemos la posición de estas cuatro posibilidades.

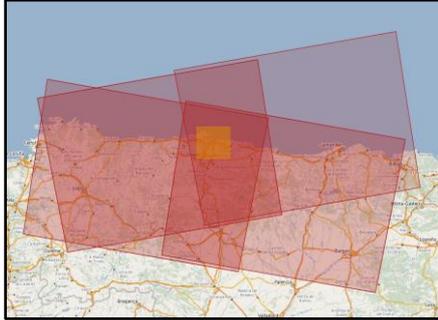


Figura 2. Combinación de imágenes para las órbitas satelitales ascendente y descendente para el ámbito geográfico del concejo de Gijón.

Una vez descargadas y procesadas las imágenes, se determinan los pares óptimos para la obtención del Modelo Digital de la zona del puerto, los cuales deberán tener una resolución temporal baja y una línea de base perpendicular entre 150 m y 300 m. También es conveniente que a la hora de paso del sensor no haya lluvias fuertes, siendo lo más favorable el clima seco porque el vapor de agua en la atmósfera provoca retrasos en las fases y potencialmente reduce la calidad de la medición.

Las mejores combinaciones se corresponden con los siguientes cuatro pares de imágenes. A continuación, vemos un resumen de éstos:

	Diferencias según web	Imagen maestra	Línea de base perpendicular
01/05 – 13/05	13 días, 87 m	1 de mayo	85.90 m
19/04 – 13/05	25 días, 39 m	19 de abril	39.82 m
18/02 – 13/05	85 días, 93 m	1 de mayo	93.90 m
20/12 – 13/05	144 días, 141 m	19 de abril	141.82 m

A partir del procesado de la información de fase, obtenemos como resultado el Modelo Digital de Superficie de la zona que se muestra en la figura 3:

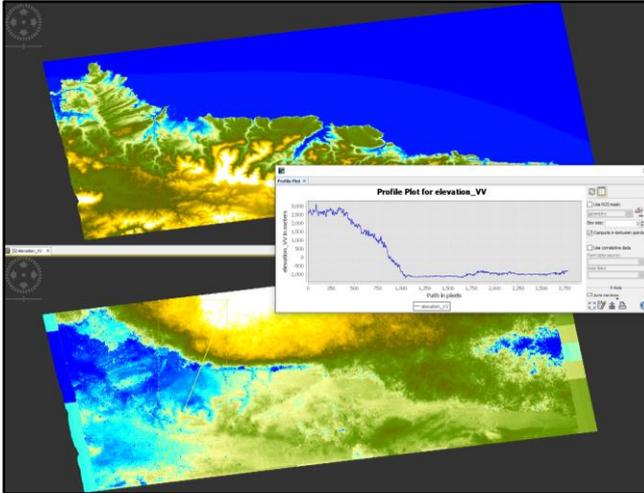


Figura 3. Modelo Digital resultante de la zona costera del concejo de Gijón.

Para poder calibrar este Modelo Digital, se adquirió y procesó una nube de puntos tridimensionales de alta resolución de la zona de uno de los diques del Puerto obtenida mediante tecnología LiDAR. El resultado se muestra en la figura 4

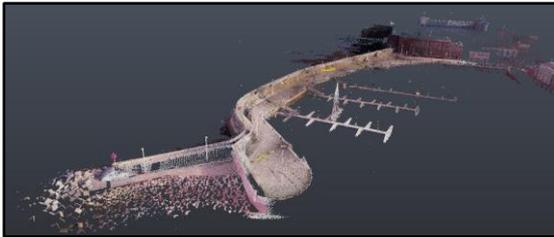


Figura 4. Nube de puntos de alta resolución del dique Santa Catalina de Gijón

El siguiente objetivo del proyecto era la aplicación de esta tecnología para conseguir una monitorización de las deformaciones superficiales asociadas a la estabilidad y variabilidad de los bloques, pero para la calibración de estas deformaciones era necesaria una toma de datos de campo con carácter periódico mediante técnicas topográficas. Al no disponer de tiempo, hubo que renunciar a este objetivo y se sustituyó por la determinación de la ocupación superficial de los acopios de materiales industriales que se almacenan con carácter temporal en los diques y zonas portuarias. Para ello, se aplicaron técnicas polarimétricas a partir de las imágenes radar procesadas y se calibraron con nubes de puntos tridimensionales de alta resolución obtenidas a partir de un dron. Una de estas nubes de puntos se muestra en la figura 5:

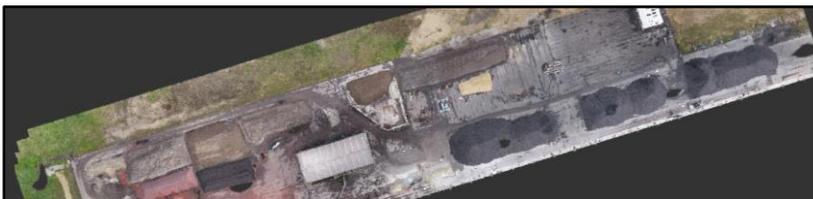


Figura 5. Nube de puntos de alta resolución de los acopios de material industrial en el dique Norte del puerto de Gijón

Una vez procesadas las imágenes, los valores de retrodispersión de la señal radar nos proporcionan información de la ocupación superficial de las pilas de almacenamiento, tal y como se muestra en la figura 6:

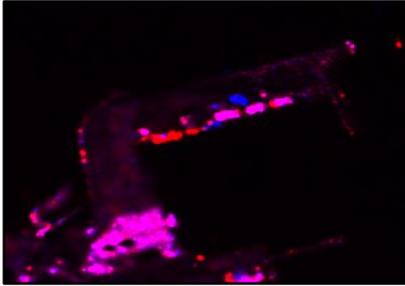


Figura 6. Resultado de la aplicación de las técnicas de Polarimetría sobre las imágenes Radar en el dique Norte del puerto de Gijón

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

- **Objetivo 1: COMPLETADO.** Obtención del Modelo Digital de Superficie a partir del procesado de las imágenes Radar del satélite Sentinel-1.
- **Objetivo 2: COMPLETADO.** Toma de datos de campo para la obtención de una nube de puntos de alta resolución a partir de tecnología Lidar.
- **Objetivo 3: INCOMPLETO.** Determinación de las deformaciones superficiales asociadas a la estabilidad y variabilidad de los bloques. Para la consecución de este objetivo era necesario la realización de mediciones topográficas en la zona con una resolución temporal coincidente con la del satélite.
- **Objetivo 4: COMPLETADO.** Este objetivo se incorporó al proyecto como alternativa al objetivo 3 y consistió en la toma de datos para la obtención de una nube de puntos de alta resolución a partir de técnicas fotogramétricas sobre imágenes adquiridas desde un Dron de las zonas de almacenamiento de material industrial en el dique Norte del puerto de Gijón.
- **Objetivo 5: COMPLETADO.** Este objetivo también se incorporó como alternativa al objetivo 3 y como continuación del objetivo 4. Consiste en la determinación de la ocupación superficial de las pilas antes descritas aplicando técnicas polarimétricas.

3. Tareas realizadas:

- Búsqueda y descarga de imágenes Radar de la zona objeto de estudio.
- Aplicación de técnicas interferométricas sobre las imágenes para determinar el Modelo Digital de Superficie.
- Obtención de nube de puntos tridimensional de alta resolución de la zona del puerto.
- Obtención de nubes de puntos tridimensionales de la zona de almacenamiento de pilas de material industrial del puerto.
- Aplicación de técnicas polarimétricas para identificar estas pilas y su ocupación superficial.

4. Resultados obtenidos:

1. Datos altimétricos de la zona de puerto a partir de las imágenes RADAR calibradas en campo mediante nube de puntos tridimensionales.
2. Representación cartográfica de la ocupación superficial de las pilas de almacenamiento de material industrial ubicadas en el puerto de Gijón.

5. Trabajos o necesidades futuras

Como necesidades futuras del proyecto, se establece el objetivo que no hemos podido cumplir en la presente convocatoria y que consiste en la determinación de los desplazamientos de los bloques del puerto a partir de técnicas de interferometría sobre las imágenes radar de la zona.

6. Divulgación de los resultados

Los resultados del proyecto se continuarán evaluando para poder generar un artículo de divulgación en una revista de investigación aún por determinar.

Memoria económica:

1. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Ayuda IUTA	4.260 €
TOTAL INGRESOS		4.260 €

Bibliografía

1. Smith, L. C. (2002). *Emerging applications of interferometric synthetic aperture radar (InSAR) in geomorphology and hydrology*. *Annals of the Association of American Geographers*, 92(3), 385–398. <https://doi.org/10.1111/1467-8306.00295>
2. Pepe, A., & Calò, F. (2017). *A review of interferometric synthetic aperture RADAR (InSAR) multi-track approaches for the retrieval of Earth's Surface displacements*. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 7, Issue 12). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/app7121264>
3. Shi, X., Zhang, L., Zhong, Y., Zhang, L., & Liao, M. (2020). *Detection and characterization of active slope deformations with Sentinel-1 InSAR analyses in the southwest area of Shanxi, China*. *Remote Sensing*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/rs12030392>
4. Emil, M. K., Sultan, M., Alakhras, K., Sataer, G., Gozi, S., Al-Marri, M., & Gebremichael, E. (2021). *Countrywide monitoring of ground deformation using insar time series: A case study from Qatar*. *Remote Sensing*, 13(4), 1–20. <https://doi.org/10.3390/rs13040702>
5. Javali, A., Gupta, J., & Sahoo, A. (2021). *A review on Synthetic Aperture Radar for Earth Remote Sensing: Challenges and Opportunities*. *Proceedings of the 2nd International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems, ICESC 2021*, 596–601. <https://doi.org/10.1109/ICESC51422.2021.9532910>
6. Du, Y., Fu, H., Liu, L., Feng, G., Wen, D., Peng, X., & Ding, H. (2021). *Continued monitoring and modeling of Xingfeng solid waste landfill settlement, China, based on multi platform SAR images*. *Remote Sensing*, 13(16). <https://doi.org/10.3390/rs13163286>
7. Poland, M. P., & Zebker, H. A. (2022). *Volcano geodesy using InSAR in 2020: the past and next decades*. *Bulletin of Volcanology*, 84(3). <https://doi.org/10.1007/s00445-022-01531-1>
8. Navarro-Hernandez, M. I., Valdes-Abellan, J., Tomas, R., Lopez-Sanchez, J. M., Ezquerro, P., Bru, G., Boni, R., Meisina, C., & Herrera, G. (2022). *VallInSAR: A systematic approach for the validation of Differential SAR Interferometry in land subsidence areas*. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2022.3171517>
9. Palamà, R., Crosetto, M., Rapinski, J., Barra, A., Cuevas-González, M., Monserrat, O., Crippa, B., Kotulak, N., Mróz, M., & Mleczko, M. (2022). *A Multi-Temporal Small Baseline Interferometry Procedure Applied to Mining-Induced Deformation Monitoring*. *Remote Sensing*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/rs14092182>
10. Tona, S., & Álvarez, N. (n.d.). *Almacenamiento de materiales a granel y su importancia en la industria*. *Universidad Nacional Experimental Politécnica "Antonio José de Sucre"*.
11. https://www.academia.edu/29723516/Almacenamiento_de_materiales_a_granel

INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-10

Desarrollo de un cabezal extrusor para aplicaciones de fabricación aditiva

Fechas inicial y final del proyecto:

04 / 07 / 2022 al 31 / 12 / 2022

Investigador/a Principal:

David Blanco Fernández

Otros investigadores:

Natalia Beltrán Delgado, Braulio José Álvarez Álvarez, Pedro Fernández Álvarez, Gonzalo Valiño Riestra y Fernando Peña Cambón

Personal contratado:

Miguel Rodríguez Rodríguez

Empresas o instituciones colaboradoras:

IDONIAL Centro Tecnológico, TheSteelPrinters S.L.

Redes sociales de investigadores y empresas:

<https://www.linkedin.com/in/david-blanco-96699944/>

<https://www.linkedin.com/in/miguel-rodriguez-rodriguez>

<https://www.linkedin.com/company/idonialcentrotecnologico/?originalSubdomain=es>

<https://www.linkedin.com/company/thesteelprinters/?originalSubdomain=es>

Resumen Gráfico



Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

El primer objetivo comenzó con un estudio del estado del arte acerca de los diferentes cabezales de extrusión existentes en el mercado, así como una investigación sobre los diferentes sistemas de rotación o de giro que podrían integrarse sobre estos. El hecho de que los cartuchos térmicos, componentes encargados de aportar calor para fundir el material a extruir, precisarán de cables de alimentación, implicaba un gran inconveniente a la hora de que el cabezal pudiese rotar. Ante esta situación, se llegó a la innovadora solución de implementar un sistema de calentamiento por inducción, que podría ser mucho eficiente que los sistemas de calentamiento convencionales y que pudiese dar solución a dicho problema.

Así pues, los siguientes pasos realizados se basaron en el estudio y experimentación del modelo electromagnético necesario para generar el calentamiento por inducción. En un primer momento, se intentó desarrollar el modelo matemático que permitiese determinar el fenómeno electromagnético acaecido en el interior del cabezal. No obstante, no se lograron alcanzar los resultados esperados con dicho modelo, por lo que finalmente se optó por utilizar diferentes softwares de simulación basados en el método de los elementos finitos (MEF). Es importante resaltar, que los avances logrados con el desarrollo del modelo matemático no se han desechado y aún están en estudio, con el objetivo de disponer de un modelo propio que pueda explicar el fenómeno de inducción y servir como base para trabajos futuros.

Una vez estudiado y analizado el ámbito del electromagnetismo en el que se iba a trabajar, se procedió a realizar un estudio de los parámetros más influyentes a tener en cuenta. También se realizó un informe acerca de los posibles materiales a utilizar (ferromagnéticos). En función de dichos parámetros se realizó el diseño de un primer prototipo de cabezal de calentamiento por inducción. La fabricación de dicho prototipo se llevó a cabo en el taller del Área de Ingeniería de los procesos de Fabricación; de igual modo, el montaje del circuito electrónico de control para la realización de las pruebas se realizó en el laboratorio del Área de Ingeniería Electrónica y Automática. Posteriormente, se procedió a realizar la experimentación de dicho prototipo para validar los datos obtenidos en las simulaciones teóricas realizadas, usando para ello, los medios disponibles en citados laboratorios (fuentes de alimentación, osciloscopios, termopares, cámaras termográficas...). Dichos resultados coincidieron de manera bastante precisa con los resultados obtenidos con anterioridad en las simulaciones teóricas, obteniéndose, por tanto, unas conclusiones muy prometedoras. En el primer prototipo realizado se conseguía lograr una distribución de temperaturas en el conducto calefactor semejante a la de otros cabezales

comerciales, con la diferencia destacable de que el consumo energético se lograba reducir en torno a un 30-60%. Además, dicho prototipo lograba extruir el material introducido (PLA) de manera fluida y estable. Una vez corroborado que el modelado electromagnético y térmico del primer prototipo había sido un éxito, se procedió a realizar un segundo diseño en el que se incluyeron ciertas características mecánicas que no pueden ser divulgadas en la actualidad, por estar en proceso de patente. En paralelo, también se realizó el diseño de una placa de control electrónico mucho más reducida y con un carácter más comercial.

A fecha de redacción de este informe, no se ha llegado a realizar las pruebas pertinentes con el segundo prototipo desarrollado, que se encuentra actualmente en proceso de fabricación. La dificultad de desarrollar el modelo electromagnético consumió más tiempo del previsto en la planificación inicial del proyecto, lo que generó retrasos que no han permitido completar todas las tareas previstas, No obstante, si se ha logrado cumplir con hitos importantes que no estaban contemplados de inicio, como el haber completado con éxito un primer prototipo de calentamiento por inducción. Este diseño supone una importante innovación con muchas posibilidades futuras para el desarrollo industrial de la fabricación aditiva. Los objetivos pendientes se completarán a lo largo de los próximos meses, una vez se complete la fabricación del segundo prototipo, y tendrá continuidad con la elaboración de un trabajo fin de máster sobre esta temática a cargo de D. Miguel Rodríguez Rodríguez.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

El objetivo inicial de este proyecto consistía en el desarrollo de un cabezal optimizado para máquinas de fabricación aditiva mediante la extrusión de polímeros termoplásticos. Este cabezal está pensado para su utilización con boquillas con geometrías no circulares (resultado del proyecto SV-21-GIJÓN-1-13). Este propósito pasaba por pasar de un estado actual de desarrollo tecnológico TRL1 a un nivel de validación a nivel de componentes en laboratorio o TRL4.

Para alcanzar el objetivo final del proyecto se comenzó con un estudio del arte acerca de los cabezales comerciales existentes en el mercado y el funcionamiento de estos. A lo largo de dicho estudio se llegó a la conclusión de que una solución factible y novedosa podría emplear un sistema de calentamiento por inducción. Al contrario que los sistemas tradicionales de calentamiento mediante el uso de cartuchos térmicos, el uso de la tecnología de inducción podría generar un aprovechamiento eficiente desde el punto de vista energético, con un calentamiento óptimo y concentrado en las zonas objetivo, así como una rotación libre del cabezal, sin el impedimento que disponen los cabezales actuales (limitados por la necesidad de estar conectados mediante cables para la alimentación del cartucho térmico).

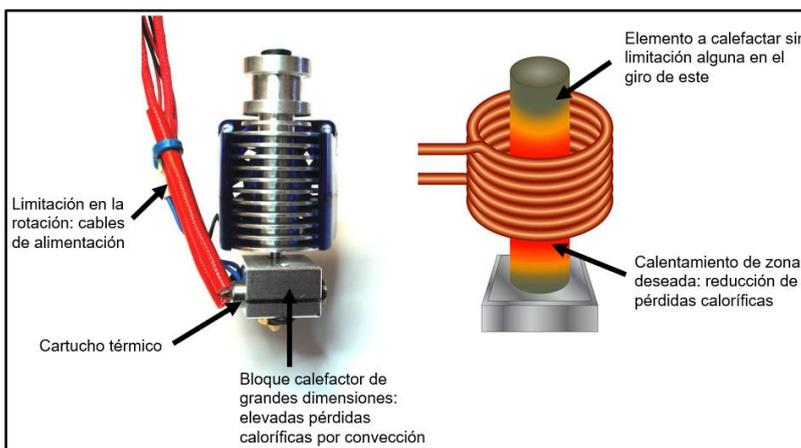


Figura 1. A la izquierda, extrusor comercial E3D V6 de calentamiento mediante cartucho térmico; a la derecha, diseño conceptual del sistema de calentamiento por inducción propuesto.

El calentamiento por inducción se basa en el fenómeno de la inductancia eléctrica, que se produce cuando una corriente eléctrica fluye a través de un conductor y produce un campo magnético alrededor de él. Cuando un conductor está expuesto a un campo magnético fluctuante, se produce una fuerza electromotriz en el conductor, que a su vez produce una corriente eléctrica en él. Esta corriente eléctrica produce calor a través del efecto Joule, lo que a su vez calienta el conductor. Dicho sistema de calentamiento ya es empleado en ámbitos muy variados, que abarcan desde sistemas de tratamientos térmicos de piezas en industria, hasta placas de inducción para cocinas. Por tanto, su utilización en un sistema de extrusión y como el que se considera en este proyecto podría resultar factible.

En primera instancia, se pretendió realizar un modelo matemático que permitiera describir el fenómeno de inducción electromagnética en el cabezal. No obstante, tal y como se pudo comprobar a posteriori, de manera experimental, existen pequeñas diferencias entre los resultados del modelo matemático y el modelo experimental. De hecho, el equipo investigador sigue analizando el modelo en busca del error que origina dichas discrepancias. Ante esta situación se procedió al uso de varios softwares de simulaciones electromagnéticas más avanzados, basados en elementos finitos, como "Ansys Electronics" o "FEMM". Mediante el manejo y estudio de dichas herramientas se pudieron analizar cuáles eran los parámetros más influyentes en el proceso de inducción electromagnético. Así, respecto a la geometría de la bobina inductora, los factores más influyentes eran: el número de espiras, el diámetro medio de la bobina, la longitud de la bobina, y en menor medida, el diámetro y el tipo de cable utilizado. Con relación al sistema eléctrico de alimentación, los parámetros más destacables resultaban ser: el valor eficaz de la corriente senoidal introducida y su frecuencia. Y, por último, relativo al calentador (elemento del cabezal sobre el que se genera el calor): la permeabilidad y conductividad eléctrica del material utilizado, su diámetro exterior y su longitud.

Una vez conocidos dichos parámetros, se procedió a realizar un estudio más detallado acerca de la relación existente entre ambos y la manera en la que la combinación de estos pudiese permitir un calentamiento lo más óptimo posible. Así pues, las principales conclusiones obtenidas en dicho estudio son las que se enumeran a continuación:

1. El valor de la corriente eficaz introducida es directamente proporcional a la potencia calorífica generada en el calentador.
2. La frecuencia con la que se alimenta el sistema es directamente proporcional a la potencia calorífica generada en el calentador.
3. A menor distancia radial entre la bobina y el calentador mayor es la potencia calorífica generada (Figura 2)
4. La potencia calorífica generada aumenta de manera lineal al aumentar la longitud del calentador. Para longitudes de calentador mayores que la longitud de la bobina, la potencia calorífica se estabiliza y no aumenta (Figura 3).
5. La utilización de materiales con baja conductividad eléctrica y alta permeabilidad magnética en el calentador permiten lograr una mayor potencia calorífica generada en su interior.

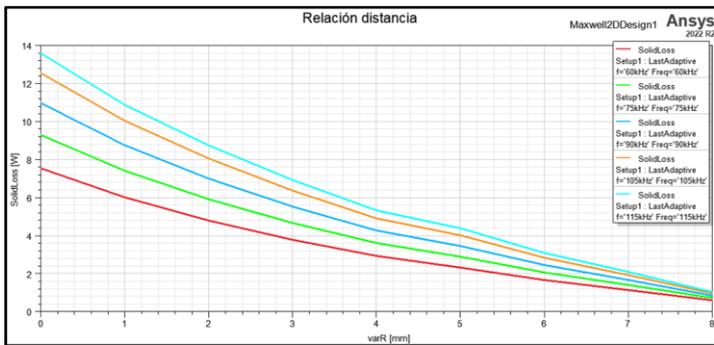


Figura 2. Relación entre la potencia calorífica generada en función de la distancia radial relativa entre la bobina y el calentador a diversas frecuencias de ensayo.

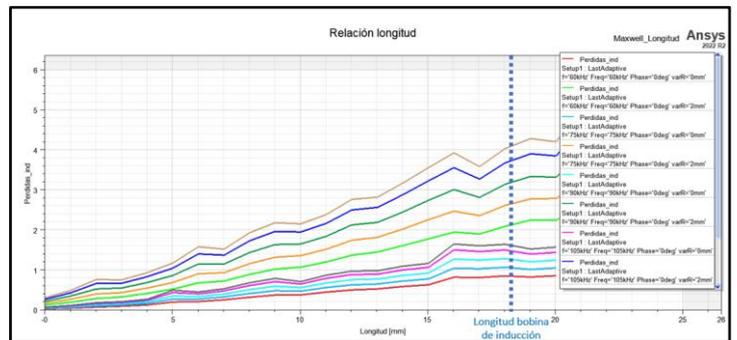


Figura 3. Relación entre la potencia calorífica generada en función de la longitud del calentador.

En función de los resultados obtenidos, se procedió a realizar un estudio de posibles materiales a utilizar, y a proceder con el primer diseño de un prototipo.

El diseño del primer prototipo se realizó con la idea de que este pudiese ser fácilmente adaptable a cualquier otro cabezal comercial existente, realizando las mínimas modificaciones. Así pues, se empleó un conducto de rotura térmica de titanio y un dissipador de aluminio 6061 con geometrías similares a los utilizados en otros cabezales comerciales, así como una boquilla comercial de latón con un orificio circular de 0,4mm. Respecto al calentador, se utilizó un cilindro hueco de diámetro exterior 8mm, con un roscado interior de M6 y una longitud 18 mm, mecanizado sobre una pieza de partida de un acero de la serie 420 (acero ferromagnético). La fabricación de dicho cabezal se llevó a cabo en el taller del Área de Ingeniería de Fabricación.



Figura 4. A la izquierda, el diseño del primer prototipo de extrusor por inducción, a la derecha, el extrusor comercial Volcano.

Además, con los medios disponibles en el laboratorio del Área de Ingeniería Electrónica se procedió a la construcción de un circuito electrónico de pruebas para poder realizar los ensayos experimentales. La realización de las pruebas experimentales permitió corroborar los resultados inicialmente obtenidos en las simulaciones, tanto electromagnéticas, como térmicas. Se realizaron diversos ensayos a diferentes intensidades de corriente, frecuencias, situaciones con el ventilador encendido o apagado... Para la medición de dichos parámetros se emplearon diversos osciloscopios, pinzas amperimétricas..., así como la utilización de una cámara termográfica para la obtención de las temperaturas. En todas las situaciones ensayadas los consumos de energía por el sistema eran los esperados, al igual que la potencia calorífica suministrada y la temperatura alcanzada en los diversos puntos del cabezal.

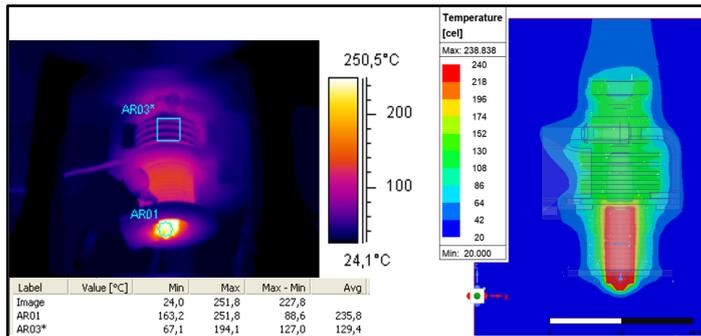


Figura 5. A la izda., los resultados térmicos obtenidos mediante el uso de la cámara termográfica; a la dcha. los resultados térmicos obtenidos en Ansys, durante el ensayo del extrusor alimentado con una corriente senoidal de 3,5A de valor eficaz y una frecuencia de 75 kHz (Situación estática con el ventilador apagado).

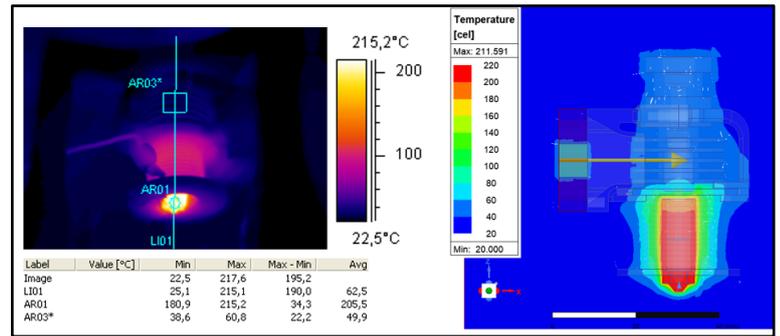


Figura 6 · A la izquierda, los resultados térmicos obtenidos mediante el uso de la cámara termográfica; a la derecha los resultados térmicos obtenidos en Ansys, durante el ensayo del extrusor alimentado con una corriente senoidal de 3,5A de valor eficaz y una frecuencia de 75 kHz (Situación estática con el ventilador encendido).

El hecho de que la geometría del prototipo fuese similar a la de otros cabezales comerciales, y que, por tanto, la distribución de temperaturas también lo fuese, origina que el flujo de material fuese fluido y estable, similar al de otros equipos. En los próximos meses se procederá a realizar una comparativa más detallada sobre las velocidades de deposición alcanzadas en uno u otro, así como las calidades de estas.

En función de esta primera investigación, acerca del fenómeno electromagnético, es reseñable destacar la eficiencia que supone implementar un sistema de calentamiento por inducción frente a otros sistemas convencionales. Al inicio del proyecto se sabía que el hecho de implementar un sistema de calentamiento por inducción podía otorgar una mejor eficiencia en la extrusión de material, pero no se sabía a ciencia cierta cuánto era su alcance o escala. Con las pruebas realizadas se ha podido verificar que el consumo energético se reduce considerablemente en comparación con el uso de un cartucho térmico. El ejemplo de uso de un cabezal comercial, como puede ser el E3D V6, presenta un consumo medio de 8W [1] para extruir PLA a 220°C cuando el ventilador de este se encuentra apagado. Con el primer prototipo de inducción fabricado se ha podido corroborar que, para fundir PLA a esa temperatura, con el ventilador apagado, el consumo se reduce hasta los 5,2W (reducción del consumo de 35%). Y en la situación en la que el E3D V6 precisa fundir ese mismo material, a esa misma temperatura, pero esta vez con el ventilador encendido, su potencia consumida se dispara hasta los 16W, mientras que para el cabezal inductivo este solamente asciende hasta los 6W, suponiendo en este caso, una diferencia de consumos de 10W (reducción del 62,5%). De este modo se cumple de manera satisfactoria uno de los objetivos planteados al inicio del proyecto que tenía como meta fabricar, modelar y estudiar la viabilidad técnica de la implementación de un sistema de calentamiento por inducción en un cabezal de extrusión de termoplásticos.

Una vez comprobado que el primer prototipo de inducción fabricado presentaba los resultados esperados, se procedió a realizar un diseño de cabezal definitivo, en el que se incluyese tanto el sistema optimizado de funcionamiento, como el sistema de calentamiento por inducción, con el fin de cumplimentar así el objetivo principal de este proyecto.

Los detalles sobre las características técnicas de este cabezal no pueden hacerse públicos en este momento debido a que el equipo investigador considera que el resultado obtenido podría ser objeto de protección intelectual en la modalidad de patente.

En el momento de escribir este informe, se ha realizado tanto la simulación electromagnética, como la simulación térmica del diseño final, a expensas de que cuando este sea fabricado pueda ser ensayado y sus resultados puedan ser comparados y analizados. A la par, se ha realizado el diseño de una placa de control más reducida, y de carácter más comercial para el control del calentamiento inductivo, y se está trabajando en el diseño de la placa para el control.

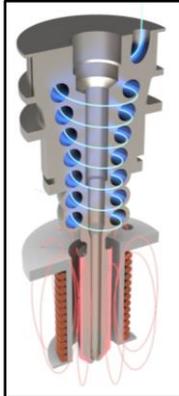


Figura 7. Vista de corte del extrusor final, con los canales internos para el sistema de refrigeración.

3. Tareas realizadas:

- Análisis del estado del arte. Estudio de diferentes cabezales de extrusión para procesos MEX y los posibles sistemas de rotación adaptables a estos.
- Desarrollo y valoración de alternativas conceptuales.
- Estudio y familiarización con modelos electromagnéticos, así como los softwares para la simulación de estos.
- Diseño y fabricación de un primer prototipo de cabezal calentado por inducción.
- Diseño y construcción de un circuito de pruebas para el control electrónico del mismo.
- Validación experimental del modelo electromagnético y térmico realizado sobre el primer prototipo de cabezal.
- Pruebas de extrusión sobre el primer prototipo.
- Realización del diseño de cabezal definitivo, con calentamiento por inducción, con refrigeración interna.
- Diseño de un circuito electrónico preindustrial óptimo y reducido para el control eléctrico.

4. Resultados obtenidos:

1. Se ha realizado un estudio de los parámetros más influyentes en sistema de calentamiento por inducción, así como la relación existente entre ellos.
2. Se ha diseñado y fabricado con éxito un primer prototipo de cabezal por calentamiento por inducción.
3. El modelo electromagnético y térmico de dicho cabezal fue validado con éxito mediante la realización de ensayos experimentales.
4. El primer prototipo construido permitía la extrusión de filamento de una manera óptima.
5. Con dicho prototipo se ha logrado obtener una reducción de consumos energéticos en torno al 30- 60% en comparación con otros cabezales comerciales.
6. Se ha diseñado un segundo diseño de cabezal pre-industrial que además del calentamiento por inducción, dispusiese de un sistema de refrigeración interna, así como un sistema optimizado para su utilización de boquillas con orificios de diferentes geometrías.

5. Trabajos o necesidades futuras

Los resultados obtenidos permiten anticipar que la utilización de un sistema de calentamiento por inducción en cabezales MEX permiten reducir de manera considerable el consumo energético respecto a los sistemas de calentamiento tradicionales. Con el primer prototipo desarrollado se ha podido comprobar que dicho consumo se llega a reducir considerablemente respecto a otros dispositivos comerciales. Sin embargo, la cantidad de tiempo empleada en alcanzar dicho hito no ha permitido concluir con la experimentación del segundo prototipo (actualmente en construcción) en los plazos originalmente previstos. Por ello, están actualmente en desarrollo los siguientes trabajos:

1. Experimentación y puesta en funcionamiento del segundo prototipo diseñado.
2. Evaluación de las diferencias obtenidas entre piezas fabricadas mediante la utilización de dicho cabezal y otros comerciales.

6. Divulgación de los resultados

Hasta la fecha de redacción de este documento no ha sido posible desarrollar ninguna acción divulgativa de los resultados en forma de artículo científico o comunicación en congreso. No obstante, en meses futuros, mediante la continuación con dicho estudio, se intentará realizar al menos una publicación acerca del proceso de inducción desarrollado en los prototipos ensayados. Dicha publicación se realizará a través de las webs de los grupos de investigación que participan de este proyecto: [IPF Research](#) y [ARAMO](#). Y, además, se pretenderá que esta sea publicada en una o varias revistas científicas indexadas dentro del campo de la ingeniería de fabricación.

Asimismo, en línea con los compromisos de divulgación recogidos en la propuesta, se ha planteado una propuesta de trabajo fin de máster. Dicho trabajo ha sido recientemente aprobado por la Comisión Académica del Máster Universitario en Ingeniería Mecatrónica de la Universidad de Oviedo y se completará a lo largo del primer semestre de 2023. El trabajo es:

“Desarrollo de un cabezal MEX de extrusión no circular y calentamiento inductivo.” Alumno: Miguel Rodríguez Rodríguez. Tutores: David Blanco Fernández y Juan Antonio Martín Ramos.

Memoria económica:

1. Gastos:

Concepto	Gasto
Personal	2.742 €
TOTAL GASTOS	2.742 €

2. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Ayuda IUTA: Contratación de personal	2.742 €
TOTAL INGRESOS		2.742 €

Bibliografía

1. I. Díaz, D. Blanco, N. Beltrán. *Desarrollo de un cabezal de alta productividad para equipos de fabricación aditiva mediante extrusión de termoplásticos*. TFM, Máster en Ingeniería Mecatrónica, Universidad de Oviedo, Julio 2022.
2. L. Pérez, D. Blanco. *Evaluación, optimización e industrialización de un cabezal todo metal para fabricación aditiva mediante tecnología*. TFM, Máster en Ingeniería Industrial, Universidad de Oviedo, Julio 2016.
3. N. A. Sukindar and M. K. A. Mohd Ariffin, "An Analysis on Finding the Optimum Die Angle of Polylactic Acid in Fused Deposition Modelling," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 835, pp. 254–259, May 2016, doi: 10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMM.835.254
4. E. A. Papon, A. Haque, M. Ali, and R. Sharif, "Effect of Nozzle Geometry on Melt Flow Simulation and Structural Property of Thermoplastic Nanocomposites in Fused Deposition Modeling Additive manufacturing of fiber reinforced composites View project Annular Turbulent non-swirling and swirling impinging," doi: 10.12783/asc2017/15339
5. B. Gharehpapagh, M. Dolen, and U. Yaman, "Automation and Intelligent Manufacturing," 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2020.01.007
6. R. Löffler and M. Koch, "Innovative Extruder Concept for Fast and Efficient Additive Manufacturing," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, no. 10, pp. 242–247, Jan. 2019, doi: 10.1016/J.IFACOL.2019.10.071.
7. Winder Gonzalez. *Diseño y construcción de una bobina de calentamiento por inducción para fundición de titanio*. 2008.
8. T. Tichy, O. Sefl, P. Vesely, K. Dusek and D. Busek. *Mathematical Modelling of Temperature Distribution in Selected Parts of FFF Printer during 3D Printing Process*. December 2021
9. H. S. Ramanath, C. K. Chua, K. F. Leong, and K. D. Shah, "Melt flow behaviour of poly-epsilon-caprolactone in fused deposition modelling," *J. Mater. Sci. Mater. Med.*, vol. 19, no. 7, pp. 2541–2550, Jul. 2008, doi: 10.1007/S10856-007-3203-6

INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-12

Detección y diagnóstico en tiempo real de anomalías de funcionamiento de motores eléctricos en la industria del cemento mediante tecnologías IoT

Fechas inicial y final del proyecto:

01 / 02 / 2022 al 31 / 12 / 2022

Investigador/a Principal:

Francisco José Suárez Alonso

Otros investigadores:

Juan Carlos Granda Candás y Luis Magadán Cobo

Personal contratado:

Juan Serrano Prieto

Fechas inicial y final de contratación:

04 / 07 / 22 al 31 / 12 / 22

Empresas o instituciones colaboradoras:

Cementos Tudela Veguín S.A.

Redes sociales de investigadores y empresas:

<https://www.linkedin.com/in/fjsuarez-uniovi>

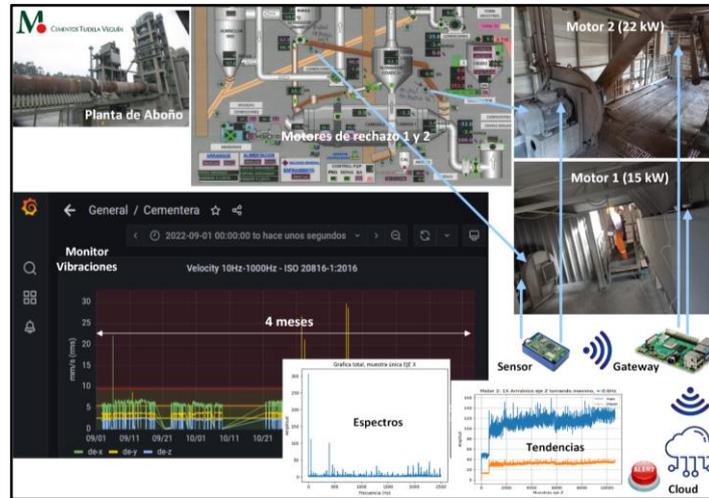
<https://www.linkedin.com/in/juancgranda>

<https://www.linkedin.com/in/luis-magadan-cobo>

<https://www.linkedin.com/in/juansp98>

<http://www.cementostudelaaveguin.com/>

Resumen Gráfico



Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

El mantenimiento predictivo de equipos es una opción cada vez más utilizada como alternativa al simple mantenimiento reactivo (cuando los equipos fallan) o al mantenimiento preventivo (en períodos planificados), ya que supone un ahorro significativo en los costes de mantenimiento al optimizar la planificación de las operaciones necesarias. Un sistema de mantenimiento predictivo necesita disponer de una gran cantidad de datos obtenidos a partir de la monitorización de los equipos mediante sensores. Con estos datos se puede realizar directamente un análisis en tiempo real para detectar automáticamente anomalías en el funcionamiento de los equipos y alertar a los técnicos de mantenimiento. Una vez detectadas las anomalías pueden ser diagnosticadas en base a la información disponible y también, a más largo plazo, se pueden alimentar modelos de predicción de fallo (construidos a partir de todo el histórico de datos de los equipos y de los posibles fallos registrados) para poder así estimar el tiempo de vida útil restante de los equipos.

Este proyecto se ha realizado en colaboración con la fábrica de cemento de Aboño, perteneciente al grupo empresarial asturiano Tudela Veguín. En este tipo de industria se utiliza una gran cantidad de motores eléctricos como base del funcionamiento de trituradoras, molinos, cintas transportadoras, hornos rotatorios, etc. La fábrica funciona en régimen 24x7 y el fallo imprevisto de alguno de estos motores puede suponer grandes pérdidas económicas.

Se ha desplegado un prototipo de sistema de monitorización en tiempo real de los niveles de vibración de dos motores eléctricos de la fábrica. Se han analizado los datos capturados tanto en el dominio del tiempo como de la frecuencia con objeto de detectar y diagnosticar anomalías de funcionamiento y reducir de esta forma los costes de mantenimiento gracias a una mejor planificación de dichas labores. Se ha conseguido generar un histórico de datos en la nube de varios meses que ha servido de base para la detección y diagnóstico de anomalías y servirá en un futuro para alimentar modelos predictivos de fallo.

Los resultados obtenidos en el proyecto son prometedores. En el dominio del tiempo se ha conseguido detectar anomalías de funcionamiento directamente a partir de la visualización de

las magnitudes de vibración, mientras que en el dominio de la frecuencia el análisis de la tendencia de amplitudes de frecuencias características ha permitido detectar también anomalías de funcionamiento a partir del histórico de datos almacenado. La diagnosis de las anomalías detectadas está aún en fase de investigación, pero se han preparado ya todos los datos necesarios para llevarla a cabo. Finalmente, destacar que se ha desarrollado una metodología de análisis directamente aplicable a otros motores de la fábrica (más críticos dentro del proceso de fabricación) que se van a empezar a monitorizar en un futuro inmediato.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

1. Despliegue de un sistema de monitorización y visualización en tiempo real de motores eléctricos en la factoría mediante sensores inteligentes inalámbricos de bajo coste: **100% conseguido**. Se ha desplegado un prototipo completo para monitorizar dos motores y los datos recogidos se muestran a través de un dashboard desarrollado para que los técnicos de mantenimiento de la planta tengan acceso.
2. Explotación temprana de los resultados de la monitorización de los motores mediante la detección de anomalías de funcionamiento y la generación de las correspondientes alertas como ayuda a la toma de decisiones por parte de los técnicos de mantenimiento: **75% conseguido**. Se han detectado anomalías en uno de los motores y generado alarmas.
3. Diagnosis de las anomalías de funcionamiento detectadas: **50% conseguido**. Se han generado todas las gráficas de tendencia que servirán de base para la diagnosis.
4. Construcción de un histórico de datos de monitorización en la nube: **100% conseguido**. Se ha generado un histórico con 4 meses de datos.

3. Tareas realizadas:

1. **Selección de los motores a monitorizar:** La selección se realizó en colaboración con el responsable de mantenimiento eléctrico de la fábrica entre aquellos motores que no tenían ya un seguimiento de su nivel de vibraciones. Los datos monitorizados han sido principalmente magnitudes de vibración y componentes del espectro de frecuencia de dichas vibraciones (frecuencias relevantes y sus amplitudes correspondientes).
2. **Despliegue del sistema de monitorización en la fábrica:** Se desplegaron sensores en motores, gateways y un interfaz 4G que permite la comunicación de los gateways con el exterior como parte de un prototipo.
3. **Visualización de los datos monitorizados:** Se enviaron los datos relevantes desde los gateways hacia la nube y se almacenaron allí como históricos. Para la visualización de datos se ha desarrollado un dashboard web mediante la herramienta Grafana.
4. **Detección de anomalías de funcionamiento:** La detección de anomalías se ha hecho en base al análisis de series temporales de los datos monitorizados mediante scripts en Python. También se han tenido en cuenta las recomendaciones de la norma internacional ISO 20816 [1].
5. **Diagnosis de las anomalías de funcionamiento detectadas:** La diagnosis se ha llevado a cabo a partir de la literatura científica y normas internacionales como la ISO 17359 y la ISO 13373 [2-6].
6. **Documentación y difusión de los resultados:** Se está elaborando una propuesta de artículo para congreso/revista internacional.

4. Resultados obtenidos:

1. **Despliegue de un sistema de monitorización:** En el resumen gráfico del proyecto se muestra el despliegue realizado en las dos zonas de la fábrica correspondientes a los motores seleccionados, motores que impulsan ventiladores de rechazo encargados de retornar a los molinos aquellos trozos de material que superan un tamaño mínimo. Se montaron sensores de vibración encima del rodamiento delantero de cada motor, los cuales se comunican de forma inalámbrica con gateways situados en su proximidad. Los gateways, que proporcionan comunicación con la nube, están integrados en una red mallada, de modo que sólo uno de ellos necesita establecer comunicación con el exterior mediante una interfaz 4G.
2. **Visualización en tiempo real:** En las figuras 1 y 2 se muestra el monitor de vibración de cada uno de los motores durante una semana. Se indica el nivel de vibración en velocidad (mm/s) para cada uno de los 3 ejes (axial, radial horizontal y radial vertical) junto con los umbrales de seguridad definidos en la norma ISO 20816 [1].

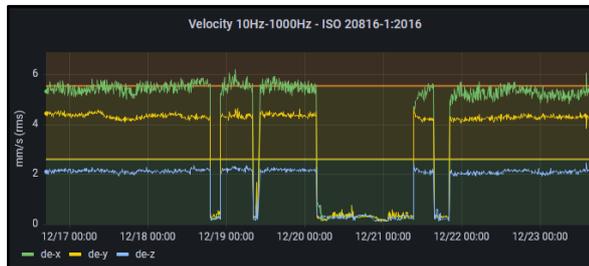


Figura 1. Monitor del motor 1

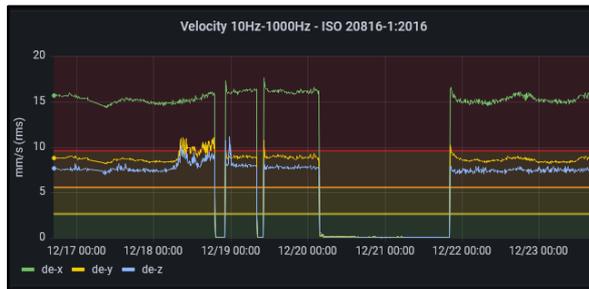


Figura 2. Monitor del motor 2

3. **Detección de anomalías de funcionamiento:** La detección de anomalías de funcionamiento se realiza tanto en el dominio del tiempo como de la frecuencia, a partir del análisis de tendencia en las series temporales de las variables monitorizadas.

Al comparar las figuras 1 y 2 se aprecia un nivel de vibración en el eje X (radial) bastante más elevado en el motor 2 respecto al motor 1, superando además el umbral de seguridad indicado por la norma ISO 20816. Esta anomalía de funcionamiento detectada por el sistema generó la correspondiente alerta para los técnicos de mantenimiento de la planta. De hecho, este motor 2 está en una fase mucho más avanzada dentro de su ciclo de mantenimiento preventivo de 40000 horas (90% del ciclo) que el motor 1 (40% del ciclo).

En el caso del dominio de la frecuencia las variables utilizadas son las amplitudes de los espectros de frecuencia resultantes de aplicar la transformada rápida de Fourier (FFT) a conjuntos de muestras de vibraciones correspondientes a varios segundos de operación del motor. En la figura 3 se muestra un espectro correspondiente al eje X de uno de los motores.

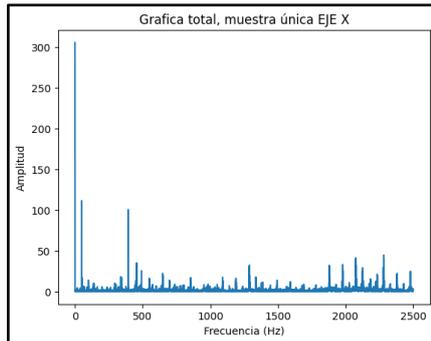


Figura 3. Espectro de frecuencia.

Generando espectros de forma continua se puede analizar la tendencia de las amplitudes de ciertas frecuencias características y así es posible detectar la aparición temprana de fallos de funcionamiento asociados a dichas frecuencias. En la figura 4 se muestra la evolución creciente (durante 4 meses) de la amplitud de la frecuencia de rotación (RF) del motor 2 en el eje X (radial), debida a que el motor se encuentra como ya se mencionó en una fase bastante avanzada dentro de su ciclo de mantenimiento preventivo (90% del ciclo de 40000 horas). Estamos actualmente tratando de determinar el umbral de amplitud a partir del cual generar la correspondiente alerta de anomalía de funcionamiento.

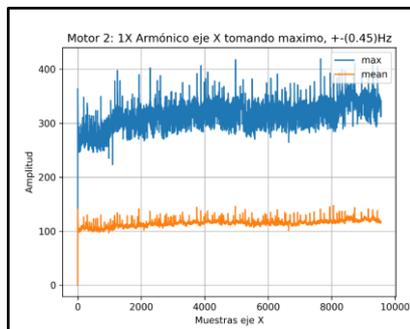


Figura 4. Tendencia de amplitud de frecuencia característica.

4. Diagnóstico de anomalías de funcionamiento: El análisis de tendencias de las amplitudes correspondientes a frecuencias características asociadas a posibles fallos de funcionamiento es la base de la diagnosis llevada a cabo. Se han analizado las tendencias de las amplitudes correspondientes a frecuencias características tanto del motor como del ventilador que actúa como carga y de los rodamientos, al ser estos una de las principales causas de fallos en los motores. A continuación se indican dichas frecuencias características:

- Frecuencia de rotación del motor (RF) y sus primeros múltiplos (1X/2X/3X).
- Frecuencia de rotación de las aspas (8) del ventilador (VPF) y sus primeros múltiplos.
- Frecuencia característica de la carrera interna del rodamiento (BPFI) y sus primeros múltiplos.
- Frecuencia característica de la carrera externa del rodamiento (BPFO) y sus primeros múltiplos.
- Frecuencia característica de la bola del rodamiento (BSF) y sus primeros múltiplos.
- Frecuencia característica de la jaula del rodamiento (FTF) y sus primeros múltiplos.

Todas las gráficas de tendencia generadas han sido recopiladas en un documento anexo en formato PDF accesible a través del siguiente [enlace](#). Por otra parte, y para no depender exclusivamente del conjunto de datos proporcionado por estos motores, el equipo de investigación ha trabajado en paralelo en la diagnosis de anomalías haciendo uso de datasets públicos.

- 5. Construcción de un histórico de datos de monitorización:** Se han generado históricos de datos de monitorización de 4 meses de duración (septiembre a diciembre de 2022) para cada uno de los motores en los que se incluyen las aceleraciones de los 3 ejes del motor, realizando capturas cada 8 minutos. En las figuras 5 y 6 se muestran todos los datos de vibración capturados durante dicho período, que han sido utilizados para la generación de las gráficas de tendencia comentadas en el apartado anterior. A pesar de que la fábrica funciona en régimen 24x7 se puede apreciar que los motores monitorizados no siempre están en funcionamiento.



Figura 5. Histórico de datos del motor 1



Figura 6. Histórico de datos del motor 2

5. Trabajos o necesidades futuras

Gracias a la satisfacción de la empresa con el trabajo realizado se va a seguir colaborando con ella mediante la firma de un contrato de investigación durante 2023 que proporcionará financiación para la compra de nuevos equipos. En el contexto del mismo se analizarán nuevos motores de la fábrica de carácter más crítico dentro del proceso de fabricación, utilizando para ello la metodología desarrollada.

6. Divulgación de los resultados

Una vez se completen los resultados del proyecto se va a preparar una propuesta de artículo para la revista Mobile Networks and Applications (MONET) de la editorial Springer.

Memoria económica:

1. Gastos:

Concepto	Gasto
Personal	1.698 €
Fungibles (sensores y gateways)	250 €
Desplazamientos	52 €
TOTAL GASTOS	2.000 €

2. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Ayuda IUTA	1.698 €
Financiación propia	Fungibles y Desplazamientos	302€ (250 € + 52 €)
TOTAL INGRESOS		2.000 €

Bibliografía

1. Norma ISO 20816-1:2016. Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration. Part 1: General guidelines.
2. Norma ISO 17359:2018. Condition monitoring and diagnostics of machines — General guidelines.
3. Norma ISO 13373-1:2002. Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration condition monitoring. Part 1: General Procedures.
4. Norma ISO 13373-2:2016. Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration condition monitoring. Part 2: Processing, analysis and presentation of vibration data.
5. Norma ISO 13373-3:2015. Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration condition monitoring. Part 3: Guidelines for vibration diagnosis.
6. Norma ISO 13373-9:2017. Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration condition monitoring. Part 9: Diagnostic techniques for electric motors.

INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-13

Estrategias de diagnóstico del estado de funcionamiento de turbinas hidrocinéticas aplicadas al mantenimiento predictivo

Fechas inicial y final del proyecto:

01 / 06 / 2022 al 30 / 12 / 2022

Investigador/a Principal:

Eduardo Álvarez Álvarez

Otros investigadores:

Joaquín Fernández Francos, Eduardo Blanco Marigorta, Rodolfo Espina Valdés y Manuel Rico Secades

Personal contratado:

Alejandro González Estrada

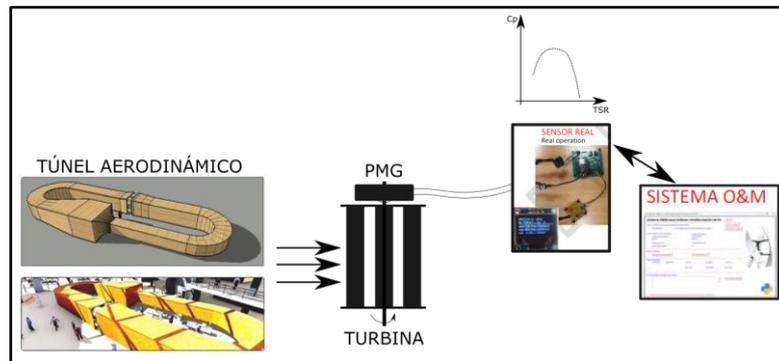
Fechas inicial y final de contratación:

04 / 07 / 22 al 30 / 12 / 22

Empresas o instituciones colaboradoras:

TSK Electrónica y Electricidad, S.A.

Resumen Gráfico



Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

El proyecto realizado ha permitido realizar un primer paso en la detección automática de problemas de funcionamiento de turbinas hidrocínéticas. En concreto, se ha seleccionado la señal de frecuencia eléctrica generada por el conjunto turbina-generador como parámetro que permite efectuar la detección mencionada. Para realizar un estudio completo que verifique la utilidad del control de la señal de frecuencia en el funcionamiento de las turbinas, se ha construido un sistema electrónico para medida de dicha señal de manera continua y realizado un conjunto de ensayos de un modelo de turbina hidrocínética de eje vertical en túnel de viento. Dichos ensayos reproducen posibles problemas de funcionamiento de la turbina. Se confirma tras las pruebas, que el análisis de la señal de frecuencia en cuanto al valor medio y desviación típica de los valores obtenidos permite encontrar patrones para realizar la detección de fallos.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

Objetivos iniciales:

- **Objetivo General (OG):** Realizar pruebas de diagnóstico para la detección anticipada de fallos operativos en turbinas hidrocínéticas.

Objetivos específicos:

- **Objetivo Específico 1 (OE1):** Identificar los parámetros más relevantes para conocer el estado operacional de las turbinas hidrocínéticas.
- **Objetivo Específico 2 (OE2):** Diseñar un programa de ensayos (en túnel de viento) que permitan a partir de medidas de determinados parámetros conocer los fallos operacionales en turbinas hidrocínéticas.
- **Objetivo Específico 3 (OE3):** Diseñar y establecer estrategias para su utilización en funciones de mantenimiento predictivo.
- **Objetivo Específico 4 (OE4):** Difundir las conclusiones obtenidas.

Grados de consecución de los Objetivos en porcentajes estimativos:

- **OG: 100%.** Se realizaron pruebas en túnel de viento para detectar defectos de funcionamiento a partir de la medida de la frecuencia eléctrica del generador acoplado a una turbina hidrocínética.

- **OE1: 100%.** Se determinó la medida de frecuencia eléctrica del generador de la turbina, como un parámetro determinante en el conocimiento del estado operacional de la misma y que permite su medida con instrumentación de bajo coste.
- **OE2: 100%.** Se diseñó y realizaron un conjunto de ensayos en túnel de viento, reproduciendo un conjunto de defectos en el funcionamiento de las turbinas.
- **OE3: 100%.** A partir de la información obtenida de las pruebas, se realizó una primera aproximación a las estrategias de control que son necesarias implementar para labores de mantenimiento predictivo.
- **OE4: 90%.** Se escribió un artículo para un Congreso Internacional el cual fue aceptado para su presentación.

3. Tareas realizadas:

- **Fase 1 (F1):** Análisis de requisitos y estado del arte.
- **Fase 2 (F2):** Diseño y realización de pruebas experimentales para el diagnóstico operacional de turbinas hidrocínéticas.
- **Fase 3 (F3):** Análisis de los resultados.
- **Fase 4 (F4):** Difusión científica de los resultados obtenidos. Que han sido realizadas según el Gantt inicialmente presentado, sin ninguna desviación reseñable.

ID	Descripción	MESES					
		1	2	3	4	5	6
F1	Análisis de requisitos y estado del arte	█					
T1.1	Análisis de requisitos y estado del arte	█					
F2	Diseño y realización de ensayos experimentales		█	█	█	█	
T2.1	Diseño de pruebas experimentales		█				
T2.2	Realización de pruebas experimentales			█	█	█	
F3	Análisis de los resultados obtenidos						█
T3.1	Análisis de los resultados obtenidos						█
F4	Difusión científica de los resultados obtenidos	█	█	█	█	█	█
T4.1	Difusión científica de los resultados obtenidos	█	█	█	█	█	█

Figura 1. Planificación del proyecto.

- **F1:** Se realizó el informe de requisitos y estado del arte determinando las condiciones de funcionamiento normal o sin anomalías de una turbina hidrocínética de eje vertical. Se seleccionó este tipo de turbina por su sencillez constructiva que permite simplificar las tareas de operación y mantenimiento. Asimismo, se seleccionó la frecuencia eléctrica como un parámetro fácil de medir en funcionamiento normal de la turbina y determinante para conocer el estado de funcionamiento de esta.
- **F2:** Se diseñaron y realizaron las pruebas experimentales en túnel de viento en dos tareas: inicialmente (T1) caracterizando el funcionamiento de una turbina hidrocínética de eje vertical y posteriormente (T2) estudiando la relación entre defectos provocados a la turbina y la señal de frecuencia eléctrica.

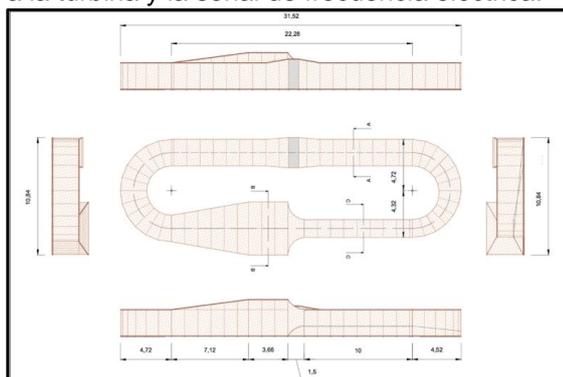


Figura 2. Dimensiones del túnel de viento utilizado en la pruebas



Figura 3. Modelo de turbina hidrocínética ubicada en cámara de pruebas

La T1 se realizó a partir de la obtención de las curvas características de potencia mecánica y eléctrica en función de la velocidad de rotación. Para obtener la característica mecánica, se utilizó un sistema de medición de par (sensor y software de medida) y freno. Para obtener la característica eléctrica se utilizó un generador de imanes permanentes acoplado a la turbina de mediante reóstato (caracterización eléctrica) midiendo la frecuencia eléctrica mediante un diseño de componentes electrónicos construido "ad-hoc" para este proyecto. Para todas las pruebas (mecánicas y eléctricas) se precisó de instrumentación auxiliar (fuentes de alimentación, osciloscopio y anemómetro).

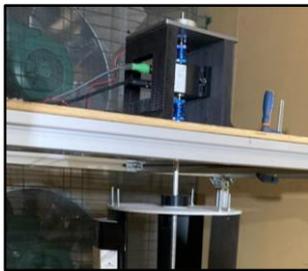


Figura 4. Sensor de par y freno



Figura 5. Generador de imanes permanentes acoplado a la turbina

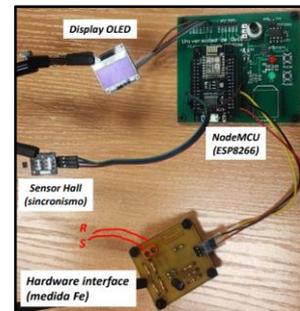


Figura 6. Equipamiento electrónico de medida de frecuencia eléctrica

Para realizar la T2 se seleccionaron un conjunto de defectos y se determinó la manera de reproducirlos en la turbina obteniendo la frecuencia eléctrica de funcionamiento en cada caso. En concreto los defectos simulados fueron (Figura 7): obstáculo en el eje (Figura 7-A), obstáculo en un álabe (Figura 7-B), obstáculo en base de la turbina (Figura 7-C), rotura de un álabe (Figura 7-B); siendo los obstáculos simulados mediante un cartón adherido a la superficie correspondiente. Todas las pruebas se realizaron en dos tipos de situaciones: turbina funcionando en vacío y turbina funcionando con carga.

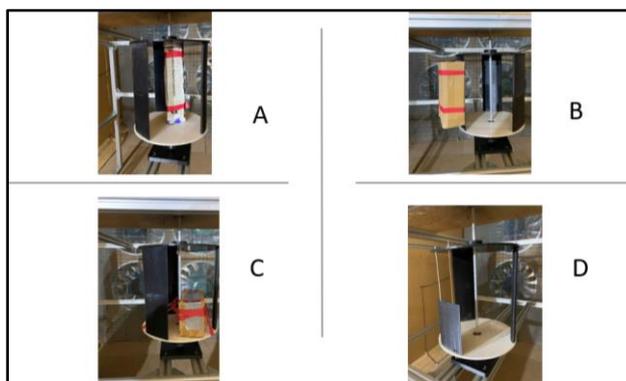


Figura 7. Modificaciones del rotor de turbina para simulación de defectos

4. Resultados obtenidos:

Se han obtenido las características de potencia eléctrica y mecánica de la turbina ensayada a distintas velocidades de aire entre 7 y 10 m/s. A modo de ejemplo la Figura 8 muestra la característica de potencia eléctrica con la velocidad de rotación para una velocidad de viento de 7 m/s.

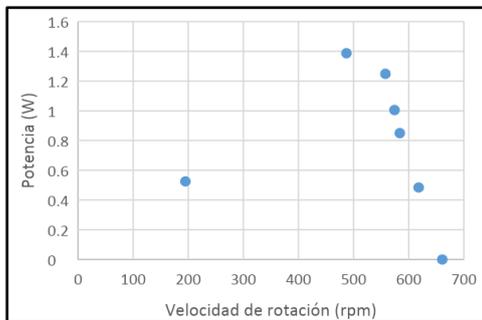


Figura 8. Característica Potencia eléctrica vs Velocidad de rotación (velocidad del viento 7 m/s)

Para una velocidad fija del aire de 8 m/s se han medido las frecuencias de generación eléctrica para los distintos casos analizados. Para el funcionamiento en vacío se han obtenido los resultados indicados en la T1.

Caso	Fe_{max}	Fe_{med}	Fe_{min}	desviación típica	RPM_{med}
Turbina en funcionamiento normal	357,9	298,1	248,5	9,8	851,8
Obstáculo en un álabe	266,8	132,5	10,0	64,5	378,4
Obstáculo en el eje	674,8	297,0	189,7	28,5	848,5
Obstáculo en la tapa inferior	142,4	112,8	99,5	3,4	322,2
Álabe roto	96,0	78,4	72,3	3,1	224,1

T1: Tabla -1

Lo cual nos indica que en los casos ensayados con obstáculo respecto al caso de la turbina en funcionamiento normal: (1) la velocidad se reduce en todos los casos y de manera considerable en los casos de obstáculo en la tapa inferior y álabe roto; (2) la desviación típica aumenta en gran medida en los casos de obstáculo en un álabe y en el eje.

La turbina en carga se ha analizado en 3 puntos de funcionamiento (distintas posiciones del reostato): carga baja o cercana al vacío (3 K Ω), carga media (2 K Ω) y carga alta o cercana al punto de máxima potencia a desarrollar por la turbina (1 K Ω). Únicamente se pudo probar el caso de obstáculo en el eje ya que en las otras situaciones la turbina no gira.

Los resultados se muestran en la T2 con las mismas tendencias que en el caso de vacío: disminución de la velocidad de rotación y aumento de la desviación típica de los valores de frecuencia, pero en estos casos de manera más moderada que en la situación de vacío.

Caso	Fe_{max}	Fe_{med}	Fe_{min}	Desviación típica	RPM_{med}
Funcionamiento normal 3 K Ω	529,7	258,5	194,9	17,3	738,7
Funcionamiento normal 2 K Ω	384,0	242,4	171,8	11,0	692,5
Funcionamiento normal 1 K Ω	207,0	169,9	138,7	10,0	485,4
Obstáculo en el eje 3 K Ω	432,9	244,3	164,9	18,8	698,0
Obstáculo en el eje 2 K Ω	310,0	202,0	141,0	14,9	577,2
Obstáculo en el eje 1 K Ω	145,2	115,6	95,6	11,6	330,3

T2: Tabla -2

5. Trabajos o necesidades futuras

A futuro se construirá una placa de circuito que permita agrupar todos los componentes que constituyen el sistema de medida de frecuencia. Asimismo, se realizarán un mayor número de medidas y con los resultados obtenidos se escribirán al menos dos artículos para revista científica.

6. Divulgación de los resultados

Congreso: Asme Turbo Expo 2023, Junio 26 – 30, 2023. Artículo Aceptado: Diagnostic Strategies for Microturbines Operating Status Applied to Predictive Maintenance: Experimental Test Case

Memoria económica:

1. Gastos:

Concepto	Gasto
Personal (IUTA)	3.968 €
Fungibles (equipamiento electrónico, material para impresión 3D de álabes, eje y rodamientos)	600 €
TOTAL GASTOS	4.568 €

2. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Becario (6 meses)	3.968 €
Fondos propios		600 €
TOTAL INGRESOS		4.568 €

Bibliografía

1. IEA, "Renewables 2020. Analysis and forecast to 2025," 2020.
2. ONU, "La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible – Desarrollo Sostenible," 2015. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/> (accessed May 09, 2021).
3. IEA, "World Energy Outlook 2018: The Future is Electrifying," 2018. [Online]. Available: <https://www.iea.org/workshops/world-energy-outlook-2018-the-future-is-electrifying.html>
4. A. Roberts et al., "Current tidal power technologies and their suitability for applications in coastal and marine areas," vol. 2, pp. 227–245, 2016, doi: 10.1007/s40722-016-0044-8.
5. F. A. Moreno Vázquez, T. F. de Oliveira, and A. C. P. Brasil Junior, "On the electromechanical behavior of hydrokinetic turbines," *Energy Conversion and Management*, vol. 115, pp. 60–70, May 2016, doi: 10.1016/j.enconman.2016.02.039.
6. A. D. Coelho and W. de Oliveira Assis, "Internet of things applied to hydraulics," Jul. 2020. doi: 10.1109/TAAE46915.2020.9163686.

INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-15

Diseño y desarrollo de un prototipo de magnetómetro inductivo para muestras ferromagnéticas masivas

Fechas inicial y final del proyecto:

04 / 07 / 2022 al 30 / 12 / 2022

Investigador/a Principal:

José Carlos Martínez García

Otros investigadores:

María Arántzazu Argüelles Vélez

Personal contratado:

David Cendán García

Fechas inicial y final de contratación:

04 / 07 / 22 al 30 / 12 / 22

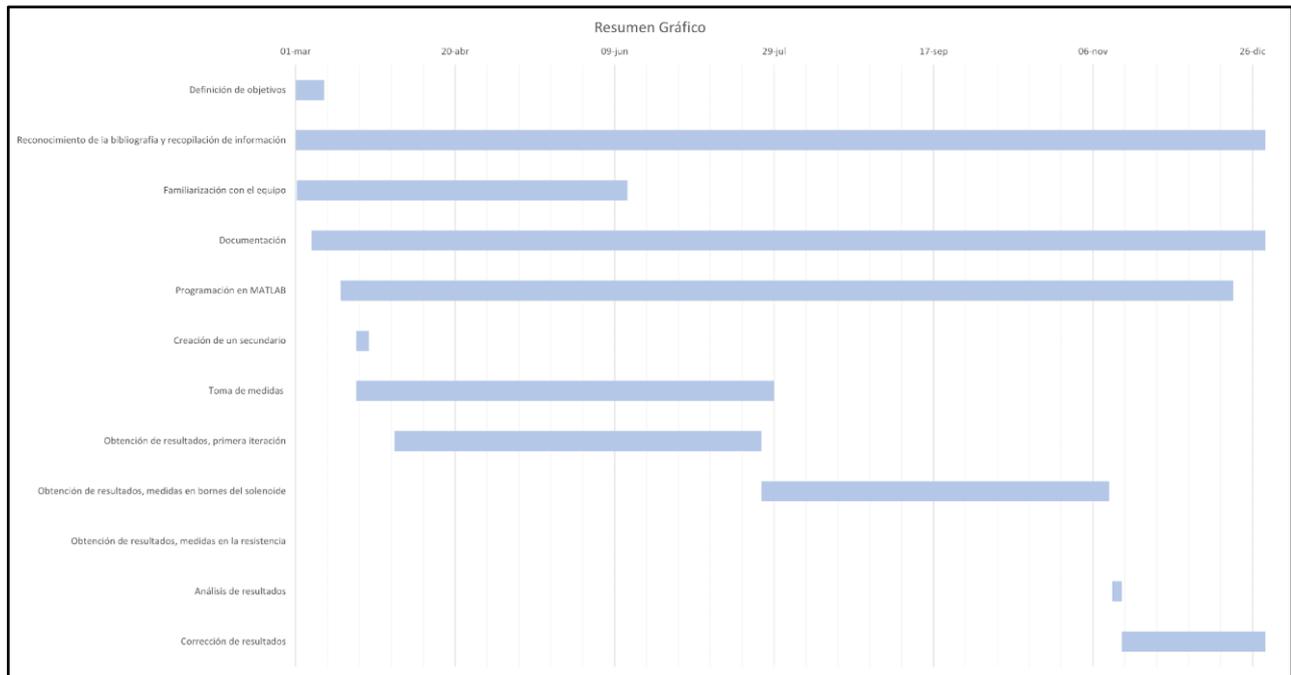
Empresas o instituciones colaboradoras:

ArcelorMittal y FELEMAGM

Redes sociales de investigadores y empresas:

https://twitter.com/MAGNES_UniOvi

Resumen Gráfico



Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

La magnetometría es la medida de la magnetización M de un material en función del campo magnético H aplicado o, dicho de otro modo, la obtención de las curvas de magnetización $M(H)$ de un material determinado. Tradicionalmente este proceso se realiza en una instalación en la que se crea el campo magnético excitador H haciendo circular una corriente I por un circuito (que denominamos primario) y se detecta la fuerza electromotriz inducida en un circuito (secundario) como consecuencia del cambio temporal de la magnetización del material que se pretende medir (muestra). En muchas ocasiones el secundario se bobina en torno a la muestra y en otras simplemente en sus proximidades, pero en uno y otro caso, la muestra suele ser relativamente pequeña.

Como es bien sabido por conceptos de electromagnetismo básico, en una situación no estacionaria se producen inducciones mutuas entre el primario y el secundario, entre el primario y la muestra y entre la muestra y el secundario. Si la muestra es muy pequeña, la inducción mutua entre el primario y la muestra es despreciable, por lo que la información de magnetización de ésta última se recoge a través de su inducción mutua con el secundario. Sin embargo, si la muestra es muy masiva, su inducción mutua con el bobinado primario se hace muy patente, alterando su corriente y diferenciándose notablemente respecto de la "forma" de la tensión que lo alimenta.

El objetivo de este proyecto es diseñar y construir un prototipo de laboratorio que permita la magnetometría de materiales ferromagnéticos masivos a través de la inducción mutua "directa" entre la muestra y el circuito primario que genera el campo excitador, así como dotarlo del software necesario para su funcionamiento y tratamiento de las medidas obtenidas con él.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

Los objetivos de este proyecto consisten en: (1) el estudio de las medidas de magnetometría de muestras ferromagnéticas masivas en un magnetómetro inductivo tradicional que permita comparar los resultados obtenidos de las medidas del bobinado secundario con las medidas deducidas de la alteración de la corriente en el bobinado primario; (2) diseño de un magnetómetro de medida directa en el primario para muestras ferromagnéticas masivas; y (3) construcción y puesta en marcha de un prototipo de laboratorio basado en el diseño al que se refiere el objetivo anterior.

Se han completado los objetivos 1 y 2 y, por falta de tiempo, el objetivo 3, la construcción y puesta en marcha del prototipo de laboratorio, no ha podido concluirse.

3. Tareas realizadas:

La metodología empleada ha sido un trabajo puro de desarrollo en laboratorio, abordando de modo consecutivo los objetivos planteados hasta finalizar el tiempo disponible. Las fases realizadas han sido las siguientes:

- **Fase 1:** Realización y estudio de medidas de muestras masivas en un magnetómetro inductivo tradicional



Figura 1. Tareas de bobinado de circuitos secundarios durante las primeras fases del proyecto

Como primer paso y para una familiarización del estudiante contratado con el equipo de medida, se midieron muestras masivas de acero facilitadas por la empresa colaboradora ArcelorMittal, sometidas a distintos tratamientos térmicos a diferentes temperaturas. Este paso requirió el bobinado de circuitos secundarios adaptados a la geometría de las muestras, mediante la máquina bobinadora que se muestra en la figura 1.

La magnetometría clásica mide el campo magnético H a partir de la tensión en bornes de una resistencia de medida R_m dispuesta en serie con el bobinado primario. Por su parte, la señal de la muestra se extrae de la fuerza electromotriz (fem) inducida en el bobinado secundario, en cuyo interior se ubica la muestra ferromagnética, introduciendo previamente el conjunto en el bobinado primario. La diferencia entre la fem con la muestra en el secundario y la fem en vacío (en adelante, señal tradicional) da lugar, por integración, a la señal de magnetización M .

Como el primer paso del proyecto era la obtención de la señal de magnetización M a partir sólo de señales provenientes del bobinado primario, se intentaron dos vías de medida: (i) la señal de tensión en bornes de la resistencia de medida, y (ii) la señal de tensión en bornes del propio bobinado primario. Una muestra de los resultados obtenidos puede apreciarse en las siguientes figuras:

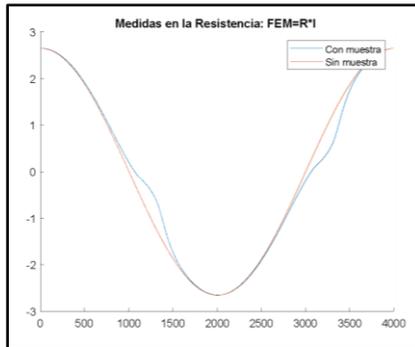


Figura 2. Señales de tensión en bornes de la resistencia de medida, con muestra en el interior del bobinado primario (en azul) y sin muestra (en rojo)

Como puede apreciarse en la figura 2, las dos señales ('con muestra' y 'sin muestra') son altamente coincidentes, proviniendo la diferencia de la distorsión de la señal (sinusoidal) que alimenta el circuito, debida los efectos inductivos que la presencia de la muestra produce sobre él. Puesto que la tensión en bornes de una resistencia pura es proporcional a la corriente $I(t)$ (siendo el factor de proporcionalidad la propia resistencia) la diferencia entre estas dos señales debe corresponderse con la fuerza electromotriz inducida por la muestra.

Un análisis similar puede hacerse de la figura 3: en ella se muestran las señales de tensión medidas en bornes del solenoide primario, cuando la muestra ferromagnética masiva se ubica en su interior y cuando está vacío. La señal 'sin muestra' se ve afectada tanto por la resistencia eléctrica del propio solenoide primario R_p como por su autoinducción L_p . Por lo tanto, dicha señal, es también proporcional a la corriente $I(t)$ que circula por él (siendo en este caso la constante de proporcionalidad el módulo de la impedancia $|Z_p|$), pero en este caso presenta un desfase φ_p respecto a ella, de valores:

$$|Z_p| = \sqrt{R_p^2 + L_p^2 \omega^2}$$

$$\varphi_p = (L_p \omega / R_p)$$

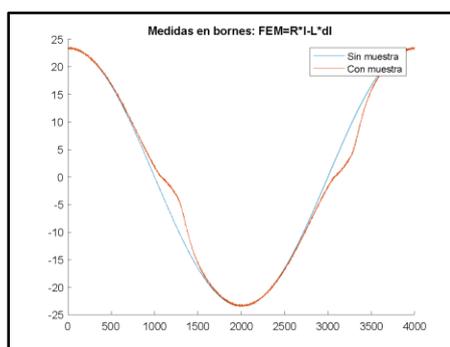


Figura 3. Señales de tensión en bornes del solenoide primario, con muestra en su interior (en rojo) y sin muestra (en azul)

- **Fase 2:** Diseño de un magnetómetro de medida directa en el primario para muestras ferromagnéticas masivas.

A la vista de los resultados de la fase anterior, se plantearon dos caminos alternativos (o confluyentes) para la determinación de la señal de magnetización: utilizar las medidas de tensión en la resistencia pura, utilizar las medidas de tensión en bornes del bobinado primario, o utilizar ambas señales. La dificultad estriba en que no se pueden realizar medidas 'con muestra' y 'sin muestra', sino que la determinación de la medida

'sin muestra' o, más concretamente, la diferencia entre la señal 'con muestra' y la señal 'sin muestra' debe hacerse a partir exclusivamente de la señal 'con muestra', que es la única que, por una cuestión de economía y fiabilidad, debería realizarse en el magnetómetro a diseñar.

Por ello resultaba necesario establecer el proceso matemático de obtención de esta señal, que es el verdadero núcleo de este proyecto. La clave del proceso es que la alimentación del circuito primario, a partir de un generador de funciones, es una tensión sinusoidal pura. Como puede apreciarse, tanto en la figura 2 como en la figura 3, las diferencias entre las señales 'con muestra' y las señales 'sin muestra' consisten esencialmente en el alejamiento del comportamiento puramente sinusoidal de éstas últimas. Por ello, el procedimiento recomendable para el objetivo establecido es eliminar en la señal 'con muestra' la componente sinusoidal en fase con la corriente que iguale a la señal 'sin muestra'.

Cuando se habla de componentes sinusoidales y no sinusoidales, el lenguaje a utilizar es, sin duda, el análisis de Fourier: cualquier función del tiempo $f(t)$ periódica, continua y con derivadas continuas puede descomponerse, mediante transformación de Fourier, en componentes sinusoidales de distintas frecuencias. En particular, la transformada discreta de Fourier nos permite escribir para cualquier función definida por un número m finito de valores j , con $j = 1, 2, \dots, m$

$$f_j = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{(m-1)/2} a_n \cos \left(\frac{2\pi n}{m} j \right) + \sum_{n=1}^{(m-1)/2} b_n \left(\frac{2\pi n}{m} j \right)$$

donde el término asociado al coeficiente a_0 es el 'offset' de la función, el término asociado al coeficiente a_1 es la componente fundamental de tipo coseno, es decir, simétrico en el intervalo de definición, el término asociado al coeficiente b_1 es la componente fundamental de tipo seno, es decir, antisimétrico en el intervalo, y los restantes términos son los distintos armónicos de uno y otro tipo, con frecuencias múltiples de la fundamental. Puesto que el primario se va a alimentar con una tensión sinusoidal pura, el análisis de Fourier de la señal de corriente nos permitirá deducir la alteración producida por la magnetización por comparación con la señal de corriente en ausencia de material. De este modo se deducirá numéricamente la propia magnetización del material.

4. Resultados obtenidos:

El procedimiento seguido en este proyecto fue determinar, a través de los correspondientes coeficientes de Fourier, la componente fundamental de las señales de tensión medidas, tanto en bornes de la resistencia de medida como en bornes del solenoide primario y restarla a la señal completa. Los resultados se ilustran en la figura 4:

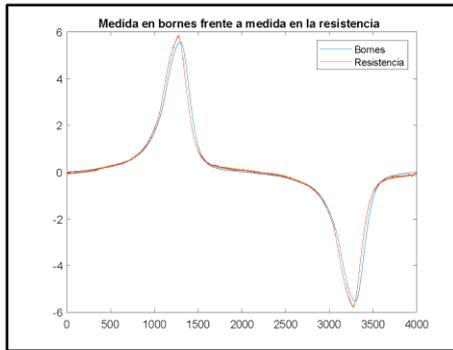


Figura 4. Diferencia entre la señal 'con muestra' y la señal 'sin muestra' en la resistencia de medida (color rojo) y en bornes del solenoide primario (color azul)

Aunque se aprecia una ligera diferencia entre ambos resultados, tras la integración para obtener las curvas de magnetización, esta diferencia es prácticamente inapreciable. En todo caso, el origen de esta diferencia, a falta de una mayor profundidad en el estudio del procedimiento matemático, parece estar en el mayor ruido de la medida experimental de la señal de tensión en bornes del solenoide primario, como puede apreciarse en la figura 3, en comparación con la medida en bornes de la resistencia de medida, que se muestra en la figura 2. Por este motivo, y para el diseño del magnetómetro se ha determinado utilizar las medidas en la resistencia de medida.

5. Trabajos o necesidades futuras

Los resultados son más que prometedores y se considera que los objetivos más importantes y básicos para el diseño del magnetómetro de muestras masivas están cumplidos. No obstante, aún queda mucho trabajo por hacer. El magnetómetro 'tradicional' disponible en el Laboratorio de Investigación número 2 del Departamento de Física, ya ha sido adaptado para la realización de estas medidas, pero se está estudiando la posibilidad de la puesta en marcha de un segundo magnetómetro para la medida exclusiva de muestras masivas, dejando el antiguo para medidas de muestras pequeñas. Esta es la fase 3 del proyecto que, por la tardanza en la firma de los contratos y la insuficiente disponibilidad de tiempo del estudiante contratado (para compatibilizar el desarrollo del trabajo con sus estudios), no ha podido ser abordada en el tiempo disponible.

6. Divulgación de los resultados

Aunque se espera publicar los resultados de este proyecto en revistas internacionales especializadas en instrumentación científica, hay dos cuestiones que de momento paralizan esta divulgación: por un lado, el trabajo está aún inacabado; por otro, la colaboración con la empresa ArcelorMittal conlleva la firma de un contrato de confidencialidad, por lo que la publicación de resultados debe ser consensuada con la empresa.

Memoria económica:

1. Gastos:

Concepto	Gasto
Personal (IUTA)	2.404 €
TOTAL GASTOS	2.404 €

2. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Becario	2.404 €
TOTAL INGRESOS		2.404 €

Bibliografía

1. M. Rivas, P. Gorria, C. Muñoz-Gómez and J. C. Martínez-García, "Quasi-Static AC FORC Measurements for Soft Magnetic Materials and Their Differential Interpretation," in *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 53, no. 11, pp. 1-6, Nov. 2017, Art no. 2003606, doi: 10.1109/TMAG.2017.2696165
2. 2. Felix Groß, José Carlos Martínez-García, Sven Erik Ilse, Gisela Schütz, Eberhard Goering, Montserrat Rivas, and Joachim Gräfe, "gFORC: A graphics processing unit accelerated first-order reversal-curve calculator", *Journal of Applied Physics* 126, 163901 (2019)

<https://doi.org/10.1063/1.5120495>

INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-16

Desarrollo de modelo digital de motor diésel marino a partir de medidas reales, válido para análisis de eficiencia energética y predicciones de mantenimiento.

Fechas inicial y final del proyecto:

01 / 07 / 2022 al 31 / 12 / 2022

Investigador/a Principal:

Noelia Rivera Rellán

Otros investigadores:

Rubén González Rodríguez y Luis Alfonso Díaz Secades

Personal contratado:

Raquel Martínez Martínez

Fechas inicial y final de contratación:

01 / 07 / 22 al 31 / 12 / 22

Empresas o instituciones colaboradoras:

AVL Ibérica S.A. y Cementos Tudela Veguín S.A.

Redes sociales de investigadores y empresas:

<https://www.linkedin.com/company/avl/>

<https://www.linkedin.com/company/escuela-superior-de-la-marina-civil-de-gij%C3%B3n/>

<https://www.instagram.com/marinacivil.uniovi/>

<http://www.cementostudelaveguin.com/>

Resumen Gráfico



Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

El proyecto pretende avanzar en la creación de un gemelo digital descriptivo de un motor diésel marino real [1-3]. Este modelo servirá para obtener un “banco de pruebas digital” en donde se puedan estudiar las diferentes consecuencias que pueden producir diferentes fallos y así ajustar los plazos de mantenimiento y prevenir la necesidad de repuestos para cada actuación [4-6]. La modelización de este gemelo digital comienza con el desarrollo de una base de datos procedente de medidas en el motor caso de estudio (el W6L32 de 3000kW). El modelo creado será la base para diferentes estudios de eficiencia energética y análisis de fallos en el motor, así como optimización de condiciones, viabilidad y costes de mantenimiento.

Un análisis de este tipo podría dar soporte a la toma de decisiones sobre la operación y mantenimiento del motor y de los equipos auxiliares del mismo, con el ánimo de maximizar la extracción energética y minimizar las emisiones de gases nocivos. Ya que uno de los objetivos principales de la OMI para reducir los gases de efecto invernadero (GEI), es reducir en al menos un 50% las emisiones de GEI del transporte marítimo internacional en 2050, comparado con los niveles de 2008; y trabajar para eliminar por completo las emisiones de GEI del transporte marítimo lo antes posible en este siglo [7].

La metodología del proyecto se llevará a cabo en tres fases:

- **Fase 1. Elaboración de base de datos para la creación y validación de modelo:** En primer lugar, se realizará una búsqueda bibliográfica para conocer el estado del arte en la simulación digital de motores diésel marinos [1-3], el estudio termodinámico de la instalación y los diferentes avances en cuanto a optimización energética y predicción de fallos en base a las condiciones operativas [4-6,8]. Seguidamente, y con los datos ya obtenidos del motor, se confeccionará una base de datos donde se aúnen todos los parámetros necesarios para la creación del modelo [9-14]. Posteriormente, se estudiará la necesidad de datos extra para poder correr la simulación del modelo. En el caso de identificar parámetros de los cuales no se disponga de datos se procederá a realizar un listado de estos y posterior recogida mediante mediciones a bordo del buque, siguiendo los criterios establecidos para las medidas ya disponibles.

- **Fase 2. Desarrollo y validación de modelo de motor digital:** En esta segunda fase, una vez la base de datos esté completa, se procederá a modelar el motor en formato digital dotándolo de el mayor detalle posible. Posteriormente, se realizaron simulaciones en los niveles de índice de carga y revoluciones donde existan mediciones conocidas extraídas del motor real. Con los resultados obtenidos se procederá a comprobar la coherencia de resultados con las medidas reales y se realizarán las modificaciones pertinentes en caso de resultar necesarias. Finalmente, se realizaron simulaciones en condiciones que el motor real puede alcanzar (revoluciones y carga) pero que, por razones operativas el buque no puede usar o mantener en períodos estacionarios. Se analizarán los resultados, estudiando las diferentes condiciones y trazando un perfil operacional para establecer las condiciones de funcionamiento más favorables.
- **Fase 3. Simulación de fallos en el modelo:** En la última parte se establecerá un listado de los fallos más asiduos y destructivos con el objetivo de priorizar los trabajos de investigación sobre estos. Seguidamente se procederá a simular estados donde las condiciones técnicas en las que el motor trabaja serían causa o consecuencia de una avería. Se estudiarán los comportamientos del motor durante un período de tiempo determinado y el grado de afectación de dichas averías en el posterior funcionamiento del motor. Una vez simulados los efectos de dicha avería durante un período de tiempo determinado se evaluará la posible reparación necesaria para devolver el motor a condición operativa, estimando el coste. Finalmente se procederá a la redacción y difusión de los resultados obtenidos.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

El proyecto tiene como objetivo principal la digitalización de un motor diésel marino a partir de medidas en una máquina real, que será válido para el análisis de eficiencia energética y la realización de predicciones de fallo de operación encaminadas a la optimización del mantenimiento mediante la simulación de distintas condiciones operativas. En base a lo anterior, se plantean los siguientes objetivos específicos:

1. Creación de un modelo virtual de un motor diésel real.
2. Validación del modelo frente a datos registrados en campo.
3. Pruebas de interés con dicho modelo y difusión de resultados.

Entre los resultados esperados está la obtención de una plataforma fiable para realizar estudios encaminados a incrementar la sostenibilidad. El modelo podrá simular condiciones que en el activo real no es posible obtener (sobrecargas, averías, etc.). A posteriori, dicho modelo digital se puede extender, estudiando el buque desde una perspectiva holística que se orientará a las necesidades operativas del buque, mejorando la gestión del mantenimiento y la optimización de costes y recursos humanos, a la vez que minimiza las pérdidas y dota de capacidad de mejora en la planificación de los mantenimientos (minimiza paradas no programadas que impiden realizar los viajes contratados, o en el mejor de los casos no cumplir con horarios).

3. Tareas realizadas:

Realizadas las tareas de la **fase 1**, ya mencionada en el resumen gráfico:

- **Primera tarea** con la búsqueda bibliográfica sobre el estado del arte en la diagnosis de motores diésel [1-8].

- **Segunda tarea** con el análisis y organización de datos disponibles, con la elaboración de diferentes tablas según datos tomados y/o calculados [9-14].

1	Grupo	Componente	Valor	Unidad
2		Bore	320	mm
3		Stroke	400	mm
4		Cyl Swept Volume	32,17	litros
5		Con-rod Length	1002 750+495=1245	mm
6		Pin Off-Set	0	mm
7		Compression Ratio	16	
9		Phase (ATDC)	0	Deg
10		Firing Order CW	1 - 5 - 3 - 6 - 2 - 4	
11		Firing Order CCW	1 - 4 - 2 - 6 - 3 - 5	
15	CILINDROS	Material of Head	Cast Iron	
16		Material of Piston	Cast Iron / Steel	
17		Material of Liner	Cast Iron	
23		Cyl Axis Angle	0	Deg
24		Piston Mass	82	kg
25		Cylinder Liner Mass	239	kg
26		Cylinder Head Mass	382	kg
27	Piston-Pin Mass	15	kg	
28	Con-rod Rot Mass			
29	Con-rod Rec Mass	Total 157	kg	
32				
33	INYECTOR	Nro de orificios	10	
34		diámetro orificio	0,54	mm
35		ángulo	155	deg
36		Mass Flow	0,018833333	kg/s

Figura 1. Extracto de una de las Excel elaboradas con los diferentes datos de los equipos.

- **Tercera tarea** con la identificación de datos no disponibles y toma de medidas en equipo real, Coordinación con el personal de a bordo y realización de visitas al buque Cristina Masaveu para la recogida de datos de los viajes realizados durante el proyecto y toma de medidas geométricas necesarias para la modelización mediante el software AVL Cruise M.



Figura 2. Toma de medidas del tramo de tubería de aire de carga que comunica el colector de dentro del bloque con la culata del cilindro.



Figura 3. Fotos buque Cristina Masaveu. Izquierda plano superior motor con las tapas de las bombas de combustible a cada cilindro levantadas por mantenimiento, derecha superior pantalla de parámetros del motor en ordenador del control de máquinas, y derecha inferior enfriador aire de carga sustraído para limpieza.

Además, se aprovecha una visita a Wärtsilä, en Bermeo, con el alumnado del Máster Universitario en Tecnologías Marinas y Mantenimiento, verificar parte de esos datos e intercambiar información.



Figura 4. Foto visita a Wärtsilä, en Bermeo.

Así como cálculos orientativos del turbocompresor ABB TPL65-A30, con medidas geométricas similares facilitadas por ABB para cálculo dimensional, momentos de inercia y elaboración del mapa del compresor con el propio programa del AVL CRUISE M. Una vez recopilados todos los datos que inicialmente no estaban disponibles, pero eran necesarios para poder realizar simulaciones del modelo digital se incluyeron en la base de datos elaborada y se implementaron.

Fase 2, desarrollo y validación de modelo de motor digital:

- Primera tarea** de esta segunda fase, desarrollo del modelo en base a los datos recopilados de manuales, informes, parámetros medidos a bordo y mediciones geométricas en el equipo real. En la Figura 5 podemos ver el diseño de nuestro modelo, y en la Figura 6 el ejemplo de los elementos dentro de un subsistema, como es el caso del bloque de cilindros, compuesto por 6 cilindros que tiene nuestro motor, que a su vez se trata de 6 subsistemas con 6 elementos cada uno, con el ejemplo de los datos que se solicitan dentro de uno de sus elementos, como es el caso del inyector.

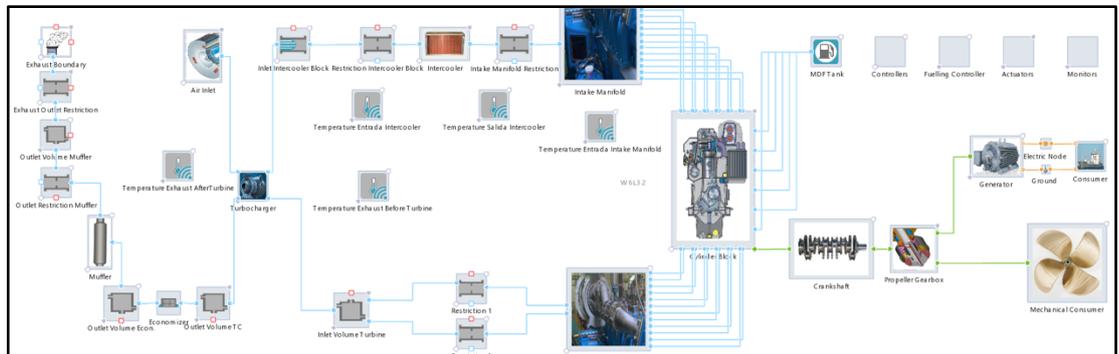


Figura 5. Esquema completo de todos los elementos y subsistemas que componen el modelo digital elaborado en el AVL CRUISE M.

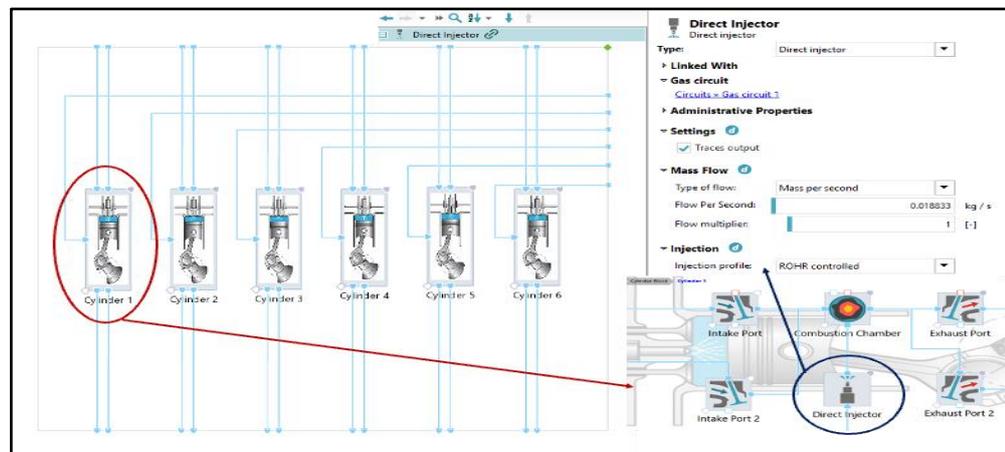


Figura 6. Derecha, esquema subsistema del bloque de cilindros; izquierda inferior, esquema subsistema que compone un cilindro; izquierda superior, datos solicitados en el inyector, en el AVL CRUISE M.

- Segunda tarea**, validación del modelo digital frente a medidas reales. Introducidos todos estos datos en el programa se consigue realizar una primera simulación con resultados muy próximos a los del motor a efectos de estudio. Resultados que vemos reflejados en la Figura 7, en cuyo detalle ampliado se encuentran los datos numéricos de los resultados obtenidos en una primera simulación. Donde se puede observar, recuadrado en rojo, el consumo de aire (MF_IA), que se encuentra por debajo, y la temperatura de gases de escape (T_EXH) más alta que en los resultados recogidos a bordo del motor real.

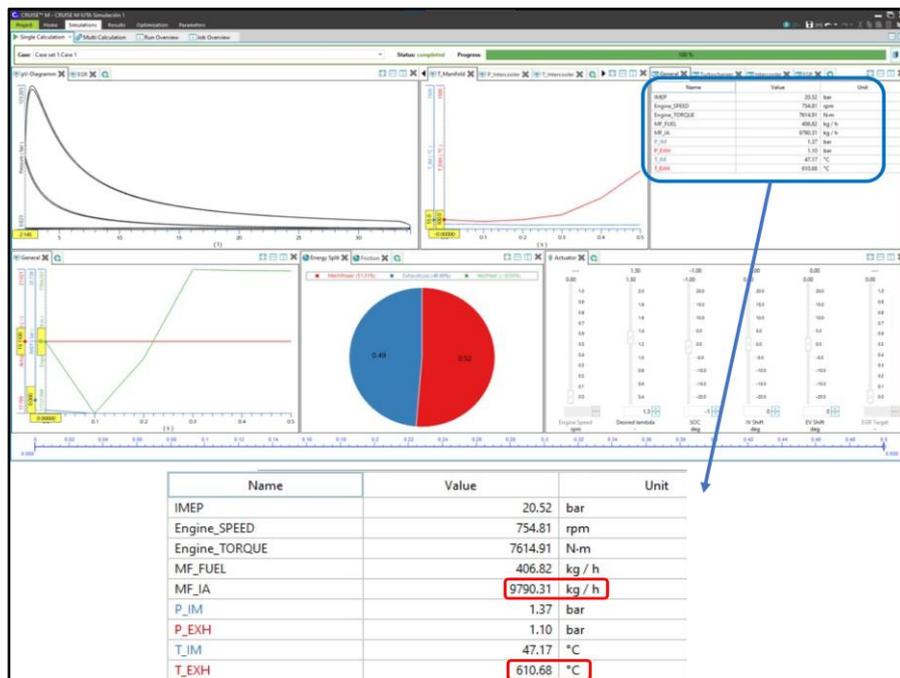


Figura 7. Resultados primera simulación.

Aunque el modelo está validado se continúa con la búsqueda de diferentes datos que nos aproximen aún más a los resultados de todos los parámetros del equipo real, búsqueda que se extiende en el tiempo hasta la actualidad. Al incluir un mapa del compresor, Figura 8, adaptado desde la base de datos de AVL BOOST a las necesidades de nuestro equipo, para el que se ajustó la ratio de presión, los flujos de masa de aire y velocidades de nuestro turbocompresor [15,16], se consigue un mejor resultado, representado en la Figura 9. Donde sólo difieren muy poco por encima la temperatura de aire de carga (T_IN) y de gases de escape (T_EXH).

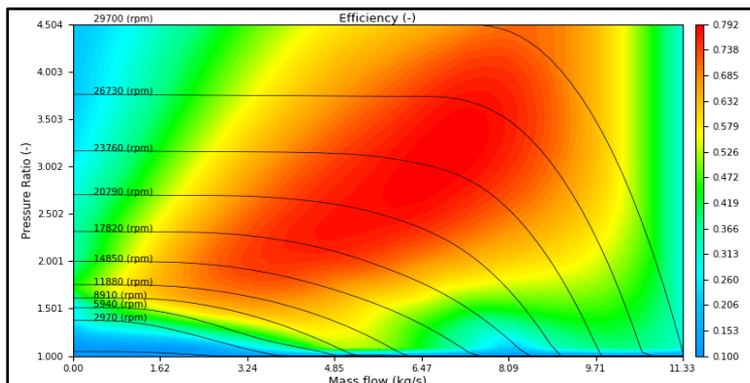


Figura 8. Mapa del compresor adaptado desde la base de datos de AVL BOOST.

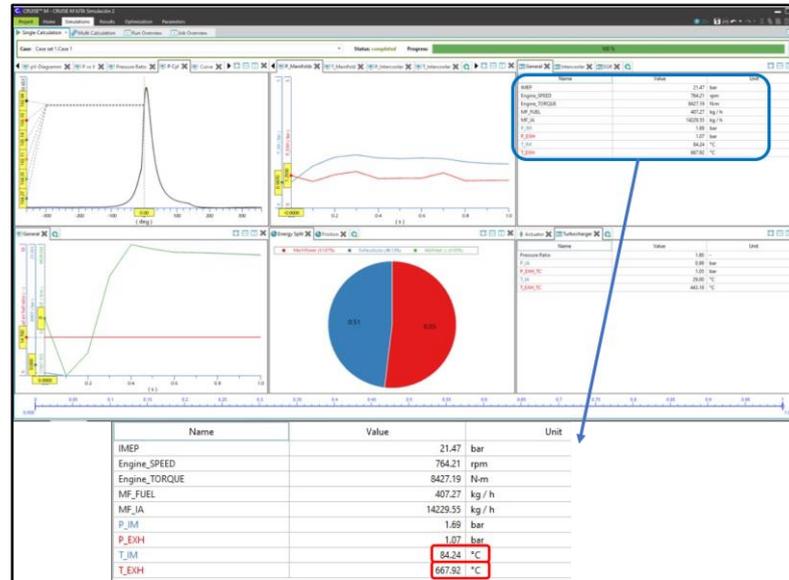


Figura 9. Resultados de la segunda simulación.

4. Resultados obtenidos:

1. La base de datos elaborada permite identificar los parámetros necesarios para la creación de un gemelo digital de un motor marino real. Se ha elaborado de manera que permita su utilización en diferentes motores, con el ánimo de crear nuevos modelos a partir de otros equipos.
2. El modelo obtenido sienta la base para la creación de un gemelo digital de un motor marino real, instalado en un buque.
3. Este modelo se ha validado contra medidas reales del equipo caso de estudio (error 15 %). El desarrollo del modelo permitirá obtener y validar valores de prestaciones y realizar diagnosis a partir de valores medidos en equipos reales, de manera casi inmediata.
4. La lista de fallos creada en base a las averías comunes en motores marinos sirve como base para posteriores estudios sobre la prevención de averías y optimización de los recursos de mantenimiento.

5. Trabajos o necesidades futuras

Se trabajará para ampliar la base de datos que permita reducir al mínimo la diferencia entre datos obtenidos por simulación y los recogidos a bordo del equipo real, con el fin de poder simular, aplicando diferentes modificaciones en el modelo digital, el comportamiento del equipo con los fallos más comunes, así como otras modificaciones que permitan dar unos resultados con un balance energético más favorable al actual en el equipo real. Siendo esta parte una de las tareas pendientes del actual proyecto y que puede dar paso a uno o varios proyectos tanto de prevención y corrección de averías en motores marinos como de reaprovechamiento energético de los mismos y sus equipos auxiliares.

6. Divulgación de los resultados

Debido a que el proyecto se prolongó en el tiempo, no ha sido posible hasta el momento la realización de actividades de divulgación, quedando esta parte pendiente de realización.

Memoria económica:

1. Gastos:

Concepto	Gasto
Personal	3.604 €
TOTAL GASTOS	3.604 €

2. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Ayuda IUTA: Contratación de personal	3.604 €
TOTAL INGRESOS		3.604 €

Bibliografía

1. Lv H, Li J, Ling J, Wang M. Research on Diesel Exhaust Aftertreatment System Modelling for Virtual Test Bed. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol 859. IOP Publishing Ltd; 2021. doi:10.1088/1755-1315/859/1/012082
2. Lv H, Ling J, Li J. Research on Simulation System Model of Diesel Engine Applied to Virtual Calibration Development. In: Journal of Physics: Conference Series. Vol 1982. IOP Publishing Ltd; 2021. doi:10.1088/1742-6596/1982/1/012149
3. Chen L, Ma C, Yang C, Zhang W. The joint simulation of marine dual fuel engine. In: Proceedings - 2019 International Conference on Intelligent Computing, Automation and Systems, ICICAS 2019. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.; 2019:502-506. doi:10.1109/ICICAS48597.2019.00110
4. Pagan, J.A. Sistema de Diagnóstico de Motor Diesel Marino Basado en Modelo Termodinámico e Inteligencia Artificial. Ph.D. Thesis, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, Spain, 2017. Available online:

https://www.researchgate.net/profile/F_Vera_Garcia/publication/318674337_Sistema_de_diagnostico_de_motor_diesel_marino_basado_en_modelo_termodinamico_y_de_inteligencia_artificial/links/59772ed2458515e26d2cde9f/Sistema-de-diagnostico-de-motor-diesel-marino-basado-en-modelo-termodinamico-y-de-inteligencia-artificial.pdf (accessed on 22 July 2022)

5. Pagán Rubio JA, Vera-García F, Hernandez Grau J, Muñoz Cámara J, Albaladejo Hernandez D. Marine diesel engine failure simulator based on thermodynamic model. Appl Therm Eng. 2018;144:982-995. doi:10.1016/j.applthermaleng.2018.08.096
6. Kim JS, Yoon KS, Woo SK. Study on the Modeling of the Intake and Exhaust Systems of an SI Engine Using GT-POWER. Journal of the Korean Society of Marine Engineering. 2011;35(6):779-785. doi:10.5916/jkosme.2011.35.6.779
7. La labor de la OMI para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. <https://www.imo.org/es/MediaCentre/HotTopics/Pages/Cutting-GHG-emissions.aspx> (accessed on 12 December 2022)

8. Matulić N, Radica G, Nižetić S. Engine model for onboard marine engine failure simulation. *J Therm Anal Calorim.* 2020;141(1):119-130. doi:10.1007/s10973-019-09118-3
9. Comellas S, Grau H, Pagán Rubio J, Antonio J. Máquinas de fluidos - Motores térmicos. - DESARROLLO DE BASE DE DATOS DE PARÁMETROS DE UN MOTOR DIÉSEL RÁPIDO MARINO AUXILIAR A PARTIR DE MEDIDAS EN BANCO DE ENSAYOS VÁLIDO PARA ANÁLISIS DE PRESTACIONES Y DIAGNOSIS. III Encuentro de Ingeniería de la Energía del Campus Mare Nostrum. Published online April 29, 2020.
<https://digitum.um.es/digitum/handle/10201/90693> (accessed on 12 September 2022)
10. Turbocharging A. Operation Manual Made in Switzerland TPL65-A30 Original Operation Manual.; 2017.
11. Catálogo de repuestos para Juliana 371, Wärtsilä 32, 16.4.2009
12. Manual de instrucciones. W32 Engine Manual spanish2008 | Juan Jose - Academia.edu.
https://www.academia.edu/37728647/W32_Engine_Manual_spanish2008 (accessed on 13 August, 2022)
13. Wärtsilä. Wärtsilä 32 Product Guide. Published online 2021. Wärtsilä 32 - diesel engine. Accessed <https://www.wartsila.com/marine/products/engines-and-generating-sets/diesel-engines/wartsila-32> (accessed on 13 August, 2022)
14. Operating Instructions Synchronous Generator. Siemens Electric Machines s.r.o. Drásov 126 CZ 664 24 Drásov
15. Product Information ABB Turbocharging TPL.-A- PDF Catalogs | Technical Documentation | Brochure. <https://pdf.directindustry.com/pdf/abb-turbocharging/tpl-a/30289-627886.html> (accessed on 21 August, 2022)
16. Quirinus Rusman J. Charge Air Conngurations for Propulsion Diesel Engines Aboard Fast Naval Combatants a Simulation Study on Efficiency and Performance. <http://repository.tudelft.nl/> (accessed on 21 October, 2022)

INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-17

Incrustaciones en los cascos de los buques asturianos: problemática, efectos económicos, medioambientales y posibles mejoras

Fechas inicial y final del proyecto:

01 / 07 / 2022 al 31 / 12 / 2022

Investigador/a Principal:

Marlene Bartolomé Sáez

Otros investigadores:

María de los Reyes Poo Argüelles, Deva Menéndez Teleña, Verónica Soto López, José Manuel Cuetos Megido y Ángel José del Reguero Huerga

Personal contratado:

Alejandro Fernández Cudeiro

Fechas inicial y final de contratación:

04 / 07 / 22 al 30 / 12 / 22

Empresas o instituciones colaboradoras:

Seerstems Robótica y Sistemas S.L.

Redes sociales de investigadores y empresas:

<https://www.linkedin.com/in/deva-men%C3%A9ndez-tele%C3%B1a>

<https://www.linkedin.com/in/ver%C3%B3nica-soto-36758259/>

<https://www.linkedin.com/company/seerstems/>

Resumen Gráfico



Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

Las incrustaciones en los buques, también conocidas como fouling, son muy preocupantes tanto para el medio marino como para los propietarios de los buques. Los problemas más importantes que genera son el rozamiento de la superficie del casco con el agua, que afecta a la velocidad y consumos de la embarcación, y la alteración del material de la zona en contacto, degradando y debilitándose. Además, la contaminación biológica causada por la introducción de especies marinas invasoras a través de las incrustaciones del casco es uno de los grandes problemas que afronta el sector marítimo, generando consecuencias negativas tanto a nivel económico como medioambiental. Aunque es algo conocido en la marina mercante, se les ha prestado poca atención a las embarcaciones menores, siendo estas más numerosas, estando más dispersas geográficamente y teniendo desplazamientos más erráticos.

En este estudio, se tomaron muestras de incrustaciones en embarcaciones menores de los puertos de Gijón, Lastres y Cudillero con el objetivo de conocer cómo estas embarcaciones actúan de vectores secundarios de propagación, a la vez que se estiman las consecuencias que estas incrustaciones acarrearán a los buques. También, se plantean posibles soluciones a esta problemática por medio de la aplicación de revestimientos antifouling y la aprobación de normativas reguladoras.

1.1 Objetivos.

Determinar la presencia de especies invasoras adheridas a los cascos de embarcaciones menores, como incrustaciones, en las costas asturianas e identificar las zonas del casco a las que se adhieren una mayor cantidad de incrustaciones, en función de su material, pintura antiincrustante y actividad.

1.2 Metodología.

En la salida de diversas embarcaciones menores (pesca y recreo) a dique seco se recogen 28 muestras de especies adheridas al casco en diferentes zonas de este. Las especies se retiran con una rasqueta flexible y se etiquetan, indicando la zona del buque de la que se obtienen y se introducen en frascos estériles de polipropileno. Además, se toman datos de las características del buque, zona de navegación, tipo de actividad, fecha y tipo de tratamiento antifouling utilizado en la última varada y documentación fotográfica del estado de este. De 7 embarcaciones objeto del estudio, se tomó información fotográfica de la superficie del casco, para conocer el estado de tratamiento del mismo. También se realizaron entrevistas semiestructuradas a los propietarios para

obtener información que pudiese ser de ayuda más adelante en el estudio como, velocidad habitual, épocas en la que navega o si pasa mucho tiempo atracada en el mismo puerto o va a otros de la zona.

1.3 Resultados.

Se constató que la propagación de especies invasoras a través de incrustaciones en embarcaciones menores está teniendo lugar en la región de estudio. Ya se han encontrado especies invasoras que antes no estaban catalogadas en los puertos de Cudillero y Lastres. Se debe de mantener un control eficaz de estas embarcaciones para que no sigan siendo un vector de propagación en nuestras aguas. Para ello se deben buscar herramientas y desarrollar normativas, tanto para las embarcaciones menores, como para los puertos receptores, que ayuden a su prevención, gestión y control. Como, por ejemplo, una limpieza más frecuente del casco y la utilización de pinturas antifouling que esté demostrada su eficacia.

Tras las entrevistas realizadas a los dueños de las embarcaciones se constató que todos ellos ven que la velocidad de estas aumenta en 1 a 2 nudos con el casco limpio. Y se determinó también que las zonas con más incrustaciones se corresponden con las de menor fricción con el agua en su desplazamiento, influenciando también el tipo de material, el tratamiento aplicado y su frecuencia. El tratamiento periódico y eficaz mejorará la eficiencia de la embarcación y reducirá su consumo.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

Tipo	Objetivo	Grado de consecución
Principal	Estudiar los beneficios económicos, de mantenimiento y medioambientales que supondría una limpieza más frecuente del casco de las embarcaciones menores	70%
Específico	Identificar las zonas del casco en las que aparecen más incrustaciones	100%
Específico	Analizar las diferencias entre los tipos de casco y los tipos de pinturas para buscar las más eficaces	70%
Específico	Valorar la utilización de barreras marinas durante los mantenimientos en astillero para que los residuos de la limpieza, especies incrustadas y pintura antifouling, no se viertan al mar con el consiguiente peligro medioambiental	100%

3. Tareas realizadas:

- Revisión bibliográfica.
- Contactos con propietarios de las embarcaciones en los puertos de Gijón, Lastres y Cudillero.
- Diseño de las entrevistas semiestructuradas a los propietarios.
- Toma de muestras de los rascados de las incrustaciones de las embarcaciones a la vez que se fotografía el casco de estas.
- Realización de las entrevistas.
- Análisis de los resultados.
- Redacción de un artículo, de una comunicación oral y un póster para un Congreso Internacional.

4. Resultados obtenidos:

1. Evidencia de la contaminación biológica a través de las incrustaciones en embarcaciones menores. Propagación y asentamiento de especies invasoras.
2. Necesidad de mantenimiento del casco para evitar la propagación de especies invasoras.
3. Demostración de que los desplazamientos de las embarcaciones menores son factores de propagación de especies invasoras.
4. Necesidad de una regulación internacional para prevenir la contaminación biológica por las incrustaciones.
5. Los nuevos revestimientos antifouling se centran en ser biocidas y en tener unos niveles de eficacia superiores, además de ser medioambientalmente sostenibles. Esto influirá en la velocidad del buque y de la misma manera en el consumo de combustible y los GEI.
6. Se identificaron 5 filos de especies distintas: Annelida, Arthropoda, Bryozoa, Cnidaria y Mollusca. Los artrópodos, con 8 especies, presentaron una mayor biodiversidad; seguidos por los briozoos y los anélidos con 7 especies distintas cada uno. Los menos diversos fueron los moluscos, 5 especies, y los cnidarios, 1 especie. Sólo el filo Bryozoa y Arthropoda presentan especies invasoras, dos en cada una además de una criptogénica en briozoos. Destaca que el briozoo invasor, *Watersipora subatra* (Ortmann, 1890), fue la especie más abundante, apareciendo en 13 de las 28 muestras analizadas.
7. Se determinó también que las embarcaciones de menor actividad y con más tiempo de atraque en puerto, tienen más incrustaciones, situación que se agrava a mayor tiempo entre mantenimientos. El rozamiento de los filetes de agua con el casco reduce las incrustaciones, siendo las zonas más afectadas las de menor fricción (parte interna de estabilizadores, hélice o timón, salidas de tomas de agua de mar). El tipo de material influye ya que en superficies de acero se encuentran más especies. A mayor velocidad de navegación, menos probabilidad de incrustaciones, pero aun así la máxima se ve reducida con la adhesión de incrustaciones.

5. Trabajos o necesidades futuras

Tras el análisis de las muestras recogidas se encuentran varias especies invasoras, por lo que se pretende continuar el estudio recogiendo más muestras a otros buques y ampliarlo a más puertos asturianos. De esta manera se podría determinar si las especies que se detectan como invasoras en los buques ya están implantadas en los puertos o no. Se pretende también evaluar cómo las incrustaciones al influir en la rugosidad del casco también influyen en las características hidrodinámicas del mismo.

6. Divulgación de los resultados

A continuación, se presentan las comunicaciones que, por el momento, se han realizado sobre la investigación. Se espera la continuidad de la investigación para el siguiente año y poder realizar más publicaciones científicas en un periodo corto de tiempo. En primer lugar, el artículo "Incrustaciones en las embarcaciones menores como factores de

contaminación biológica y resistencia al avance”, aceptado y pendiente de publicación en el Anuario de Estudios Marítimos que saldrá a principios del 2023, publicado por el Instituto Universitario de Estudios Marítimos. En segundo lugar, la comunicación “Embarcaciones menores como vector de propagación de especies invasoras en forma de incrustaciones” enviado al 3º Congreso Anual Internacional de Estudiantes de Doctorado organizado por la Universidad de Miguel Hernández y que se celebrará en febrero de 2023. Y, en tercer lugar, el póster “¿Cómo afectan las incrustaciones a la resistencia al avance de las embarcaciones menores?” también enviado al 3º Congreso Anual Internacional de Estudiantes de Doctorado.

Memoria económica:

1. Gastos:

Concepto	Gasto
Personal	3.286 €
TOTAL GASTOS	3.286 €

2. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Ayuda IUTA: Contratación de personal	3.286 €
TOTAL INGRESOS		3.286 €

Bibliografía

1. Alza, P., Rojas, L., Basáñez, J., 2010. Drag Reduction through Special paints Coated on the hull; *Coutts*
2. A., Piola, R., Hewitt, C., Connell, S., Gardner, J., 2010. Effect of vessel voyage speed on survival of biofouling organisms: Implications for translocation of non-indigenous marine species. *Biofouling* 26, 1–13. <https://doi.org/10.1080/08927010903174599>
3. ASHTON, G., KARIN, B., SHUCKSMITH, R., COOK, E., 2006. Risk assessment of hull fouling as a vector for marine non-natives in Scotland. *Aquat. Invasions* 1, 214–218. <https://doi.org/10.3391/ai.2006.1.4.4>
4. BERGSTROM, D.M., LUCIEER, A., KIEFER, K., WASLEY, J., BELBIN, L., PEDERSEN, T.K., CHOWN, S.L., 2009. Indirect effects of invasive species removal devastate World Heritage Island. *J. Appl. Ecol.* 46, 73–81. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01601.x>
5. CANDELAS CORRALES, G., 2018. Estudio y realización de base de datos de pinturas Antifouling para embarcaciones de recreo
6. CANDRIES, M., ATLAR, M., 2005. Experimental Investigation of the Turbulent Boundary Layer of Surfaces Coated With Marine Antifoulings. *J. Fluids Eng.* 127, 219–232. <https://doi.org/10.1115/1.1891148>
7. CARLTON, J.T., 1996. Pattern, process, and prediction in marine invasion ecology. *Biol. Conserv., Invasion Biology* 78, 97–106. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(96\)00020-1](https://doi.org/10.1016/0006-3207(96)00020-1)

8. CLARKE MURRAY, C., PAKHOMOV, E.A., THERRIAULT, T.W., 2011. Recreational boating: a large unregulated vector transporting marine invasive species. *Divers. Distrib.* 17, 1161–1172. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2011.00798.x>
9. CLARKE MURRAY, C., THERRIAULT, T.W., MARTONE, P.T., 2012. Adapted for invasion? Comparing attachment, drag and dislodgment of native and non indigenous hull fouling species. *Biol. Invasions* 14, 1651–1663. <https://doi.org/10.1007/s10530-012-0178-0>
10. DAVIDSON, I., ZABIN, C., CHANG, A., BROWN, C., SYTSMA, M., RUIZ, G., 2010. Recreational boats as potential vectors of marine organisms at an invasion hotspot. *Aquat. Biol.* 11, 179–191. <https://doi.org/10.3354/ab00302>
11. DURR, S., THOMASON, J.C., 2010. *Biofouling.*, 1st ed. ed. Blackwell Publishing.
12. FLOERL, O., 2002. Inracoastal Spread of Fouling Organisms by Recreations Vessels.
13. FLOERL, O., INGLIS, G., 2003. Boat harbour design can exacerbate hull fouling. *Austral Ecol.* 28, 116–127. <https://doi.org/10.1046/j.1442-9993.2003.01254.x>
14. HEGER, T., TREPL, L., 2003. Predicting Biological Invasions. *Biol. Invasions* 5, 301–309. <https://doi.org/10.1023/B:BINV.0000005568.44154.12>
15. IMO, 2020. Fourth IMO GHG Study 2020.
16. IMO, 2012. Guidance for minimizing the transfer of invasive aquatic species as biofouling (hull fouling) for recreational craft. MEPC. 1/CIRC. 792, International Maritime Organization. <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/MEPC.1-Circ.792.pdf> (accessed 10.14.22)
17. IMO, 2001. Adoption of the Final Act of the Conference and Any Instruments, Recommendations and Resolutions Resulting from the Work of the Conference - International Convention on the Control of Harmful Anti-Fouling Systems on Ships, 2001 28. <https://www.gc.noaa.gov/documents/afs-convention.pdf> (accessed 10.25.22)
18. MCCLARY, D., PASCHKE, P., REMPEL-HESTER, M.A., KNOWLEN, M., PINZA, M., 2017. Washington State Vessel-Related Biofouling Management 6-Year Strategic Plan [WWW Document]. Wash. Dep. Fish Wildl. URL <https://wdfw.wa.gov/publications/02252> (accessed 8.16.22).
19. MINCHIN, D., GOLLASCH, S., 2003. Fouling and Ships' Hulls: How Changing Circumstances and Spawning Events may Result in the Spread of Exotic Species. *Biofouling* 19, 111–122. <https://doi.org/10.1080/0892701021000057891>
20. Ministry for Primary Industries, 2018a. Biofouling on Vessels Arriving to New Zealand 10
21. Ministry for Primary Industries, 2018b. Guidance Document for the Craft Risk Management Standard for Biofouling 31
22. MOSER, C.S., WIER, T.P., GRANT, J.F., FIRST, M.R., TAMBURRI, M.N., RUIZ, G.M., MILLER, A.W., DRAKE, L.A., 2016. Quantifying the total wetted surface area of the world fleet: a first step in determining the potential extent of ships' biofouling. *Biol. Invasions* 18, 265–277. <https://doi.org/10.1007/s10530-015-1007-z>
23. MURRAY, C., LYNNE, C., 2012. The role of recreational boating in the introduction and spread of marine invasive species. University of British Columbia. <https://doi.org/10.14288/1.0053492>
24. NAKAO, M., 1988. Senpaku no toso to toryo (Coating and paint for ships). *Ship Technol. Soc.* 85–87
25. PIOLA, R.F., DAFFORN, K.A., JOHNSTON, E.L., 2009. The influence of antifouling practices on marine invasions. *Biofouling* 25, 633–644. <https://doi.org/10.1080/08927010903063065>
26. Schultz, M.P., Swain, G.W., 2000. The influence of biofilms on skin friction drag. *Biofouling* 15, 129–139. <https://doi.org/10.1080/08927010009386304>
27. SIMARD, NATHALIE, PELLETIER-ROUSSEAU, M., CLARKE MURRAY, C., MCKINDSEY, C., THERRIAULT, T., LACOURSIÈRE-ROUSSEL, A., BERNIER, R., SEPHTON, D., DROLET, D.,

- LOCKE, A., MARTIN, J., DRAKE, A., MCKENZIE, C., 2017. *National Risk Assessment of Recreational Boating as a Vector for Marine Non-indigenous Species*
28. SONG, S., DEMIREL, Y.K., ATLAR, M., 2019. *An investigation into the effect of biofouling on the ship hydrodynamic characteristics using CFD. Ocean Eng.* 175, 122–137.
<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.01.056>
29. STENSON, P., KIDD, B., CHEN, H., FINNIE, A., RAMSDEN, R., 2014. *Predicting the impact of hull roughness on the frictional resistance of ships, in: International Conference on Computational and Experimental Marine Hydrodynamics. Presented at the (MARTHY 2014 Conference Proceedings), Chennai, India, pp. 44–5*
30. SYLVESTER, F., KALACI, O., LEUNG, B., LACOURSIÈRE-ROUSSEL, A., MURRAY, C.C., CHOI, F.M., BRAVO, M.A., THERRIault, T.W., MACISAAC, H.J., 2011. *Hull fouling as an invasion vector: can simple models explain a complex problem? J. Appl. Ecol.* 48, 415–423.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.01957.x>
31. TOWNSIN, R.L., 2003. *The Ship Hull Fouling Penalty. Biofouling* 19, 9–15.
<https://doi.org/10.1080/0892701031000088535>
32. ULMAN, A., FERRARIO, J., FORCADA, A., SEEBENS, H., ARVANITIDIS, C., OCCHIPINTI-AMBROGI, A., MARCHINI, A., 2019. *Alien species spreading via biofouling on recreational vessels in the Mediterranean Sea. J. Appl. Ecol.* 56, 2620–2629. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13502>
33. ÜNAL, U., ÜNAL, B., ATLAR, M., 2012. *Turbulent boundary layer measurements over flat surfaces coated by nanostructured marine antifouling*
34. UNCTAD, 2021. *Informe sobre el Transporte Marítimo 2021», Naciones Unidas editada por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo, p 31*
35. YEGINBAYEVA, I.A., ATLAR, M., 2018. *An experimental investigation into the surface and hydrodynamic characteristics of marine coatings with mimicked hull roughness ranges. Biofouling* 34, 1001–1019. <https://doi.org/10.1080/08927014.2018.1529760>

INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-18

Nanopartículas magnéticas para tests rápidos de anticuerpos de SARS-CoV-2

Fechas inicial y final del proyecto:

01 / 01 / 2022 al 30 / 12 / 2022

Investigador/a Principal:

Montserrat Rivas Ardisana

Otros investigadores:

María Salvador Fernández y Pedro Gorria Korres

Personal contratado:

Leyre Bei Fraile Aguirre

Fechas inicial y final de contratación:

04 / 07 / 22 al 30 / 12 / 22

Empresas o instituciones colaboradoras:

Táctica Desarrollo Industrial S.L.

Resumen Gráfico

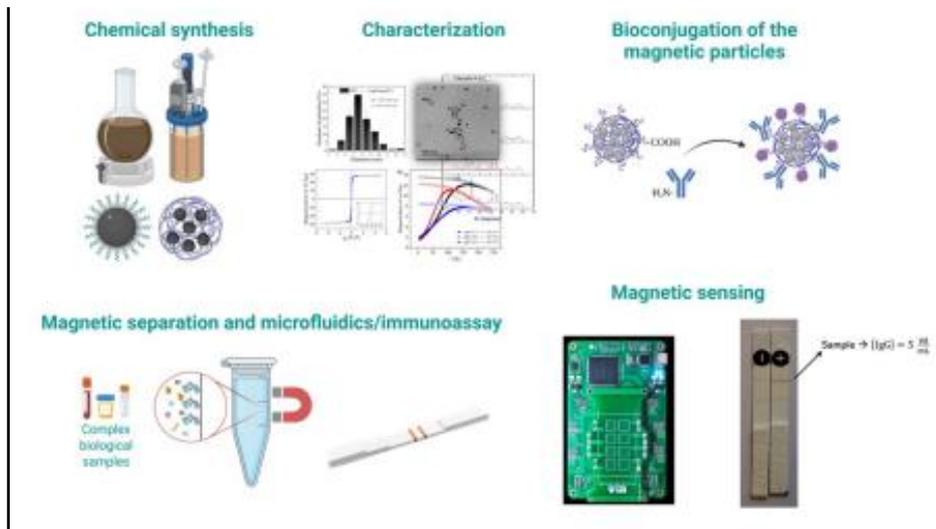


Figura 1. El proceso seguido en el proyecto comienza con la síntesis de nanopartículas magnéticas por distintas rutas, su posterior caracterización magnética y estructural, su bioconjugación con anticuerpos contra los IgG producidos tras la infección por SARS-CoV-2, los ensayos de separación y concentración magnéticas (en este caso se realizaron con otra molécula por la dificultad de obtener los anticuerpos de COVID-19 a tiempo), la calibración de las partículas en el sensor magnético y la obtención de las primeras tiras de flujo lateral magnético que prueban la capacidad de detección del anticuerpo IgG en el rango de interés clínico.

Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

En tiempos de crisis pandémica las palabras “tests serológicos de anticuerpos” se han hecho familiares. Su objetivo es conocer la presencia en sangre de anticuerpos contra el coronavirus SARS-CoV-2. La aparición de inmunoglobulina IgM indica que es probable que el sujeto esté padeciendo la enfermedad o la haya padecido muy recientemente, mientras que IgG señala un contacto anterior con el virus (ver gráfico). El test más fiable y cuantitativo se realiza mediante un análisis de sangre cuyos resultados se demoran varias horas o días. Los tests rápidos de flujo lateral son una alternativa, pero tienen menos sensibilidad y carecen de respuesta cuantitativa (dan un resultado positivo / negativo).

En este proyecto pretendemos desarrollar inmunoensayos de flujo lateral en los que las partículas que hacen detectable el anticuerpo sean magnéticas. Perseguimos un doble objetivo:

1. Las partículas magnéticas se pueden concentrar mediante un imán, lo que las hace más fáciles de detectar.
2. Se detectan con un sensor magnético que arrojará una respuesta proporcional al número de partículas, por tanto, cuantitativa.

El fin último sería el desarrollo de una técnica de tests rápidos de anticuerpos para monitorizar la respuesta inmune de personas vacunadas o que han superado la enfermedad y guiar las dosis de refuerzo y el desarrollo de nuevas vacunas.

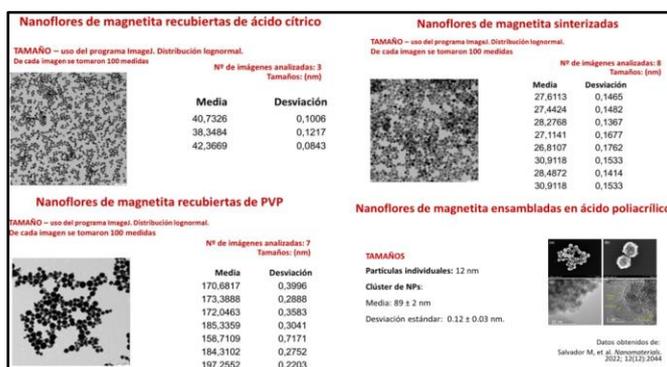


Figura 2. Tamaños de partículas obtenidos por análisis de imágenes de microscopía electrónica de transmisión

La beneficiaria de esta ayuda IUTA ha participado en todas las etapas del proyecto bajo la supervisión de los profesores implicados y ha destacado por su capacidad y autonomía en la caracterización y análisis de las nanopartículas obtenidas de la síntesis (ver figura superior), lo que ha guiado la optimización de los nuevos protocolos.

	Sensor de impedancia (dispositivo de sobremesa)		Sensor de resonancia (dispositivo portátil) NANOSS RV0.2		Tamaños de cluster	
	Media (Ohm · mm/mg)	Desviación (Ohm · mm/mg)	Media (Uni. Arb)	Desviación (Uni. Arb)	Media (nm)	Desviación (nm)
NF de Fe₃O₄ recubiertas de cítrico	0,6883	0,102	2386	461,9	40,48	0,10
Sinterizadas	0,487	0,051	1281	230,1	28,45	0,15
Recubiertas de poliacrílico	0,6468	0,021	2158	202,5	89	0,12
Recubiertas de PVP	No hay señal	No hay señal	No hay señal	No hay señal	177,39	0,36
Ferritas de Mn	1,2982	0,025	2670	276,7	10	0,3
Ferritas de Mn - Zn	0,65	0,04	1305	299,7	10	0,2

Tabla 1. Resumen de tamaños y calibración en los sensores magnéticos

Se han realizado síntesis de nanoflores (partículas de unos 10 nm ensambladas en un polímero) de magnetita, recubiertas de PVP y de ácido cítrico. Se han utilizado nanoflores procedentes de colaboraciones con investigadores extranjeros recubiertas de ácido poliacrílico. Finalmente se han valorado las nanopartículas de ferritas de manganeso-zinc y de manganeso, sintetizadas en nuestro laboratorio en el transcurso del proyecto con la colaboración de Leyre. Estas últimas son las que mejor señal han proporcionado en los sensores magnéticos (ver tabla adjunta) y, por tanto, las más prometedoras para esta aplicación. Sin embargo, aún trabajamos para ensamblarlas en nanoflores y conseguir así aumentar la señal por unidad de anticuerpos. Por ello, las primeras pruebas de concepto del potencial del sistema para detectar y cuantificar el anticuerpo IgG se realizó con las nanoflores recubiertas de ácido poliacrílico, las segundas en cuanto a señal por unidad de masa. Como puede verse en el resumen gráfico, conseguimos distinguir perfectamente 5 µg por mL de muestra, cantidad que se encuentra en el centro del rango de interés clínico.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

- **O1-** Estudiar nuevas nanoestructuras magnéticas, tanto monopartículas como multipartículas, para optimizar la señal de detección en un sensor magneto-inductivo. 100% conseguido
- **O2-** Biofuncionalizar las nanoestructuras para realizar inmunoensayos de flujo lateral magnéticos. 50% conseguido (se logró con los anticuerpos de IgG pero no con los de IgM que no pudieron obtenerse comercialmente debido a su escasez en buena parte de la duración del proyecto).
- **O3-** Evaluar la eficacia de las técnicas de manipulación de las partículas mediante gradientes magnéticos para incrementar la sensibilidad de los tests. 75% (se realizó con moléculas de pneumolisina con gran éxito; queda comprobar su eficacia con los anticuerpos del proyecto, si bien el resultado debería ser muy similar al depender esencialmente de las características de las partículas).
- **O4-** Validar la utilidad de los inmunoensayos magnéticos para obtener resultados cuantitativos. 50 % (se obtuvo una prueba de validez del método pero nos falta realizar una curva de calibración con distintas concentraciones estándar y utilizar también IgM).

3. Tareas realizadas:

En la tabla siguiente, T1, T2, T3 y T4 se refieren a los cuatro trimestres del año 2022; el personal incluye a investigadores que se incorporaron al proyecto después de su solicitud y apoyaron a la estudiante.

Actividad	Personal	T1	T2	T3	T4
Síntesis de nanopartículas de ferritas	Vanessa Pilati, Montserrat Rivas, Rodica Turcu, Puerto Morales y Leyre Bei Fraile	X Poliacrílico	X Ferritas de Mn y Mn-Zn	X PVP y sinterizadas	X Cítrico
Caracterización estructural (TEM e ICP)	María Salvador y Leyre Bei Fraile	X		X	X
Calibración en los sensores	María Salvador, Leyre Bei Fraile y JL Marqués	X		X	X
Tiras de Flujo Lateral	María Salvador y Leyre Bei Fraile				X

Informes de resultados	Leyre Bei Fraile			X	X
------------------------	------------------	--	--	---	---

4. Resultados obtenidos:

1. Nanopartículas multicore de magnetita de 7-10 nm ensambladas en ácido cítrico, PVP y PVP sinterizadas.
2. Nanopartículas monocore de ferritas de manganeso y manganeso-zinc.
3. Medidas de tamaños del core y del cluster a partir de análisis de imagen de micrografías TEM.
4. Calibración en los sensores magnéticos desarrollados en nuestro laboratorio para esta aplicación.
5. Estudio de la capacidad de las partículas multicore (nanoflores) para su aplicación en preconcentración inmunomagnética de moléculas (se realizó este estudio con la proteína pneumolisina).
6. Obtención de tiras de flujo lateral para detección y cuantificación del anticuerpo IgG generado por el SAR-CoV2 en el rango de interés clínico (no se realizó la calibración en diluciones estándar, pero sí se obtuvo una prueba de concepto que muestra la viabilidad del método).
7. Informe realizado por la estudiante del conjunto de actividades del proyecto; ella participó en tareas relativas a la síntesis, caracterización estructural y magnética, desarrollo de la microelectrónica y se responsabilizó del análisis de tamaños por TEM, calibración de las partículas en el sensor y su correlación.

5. Trabajos o necesidades futuras

El éxito del método en la detección del anticuerpo IgG en el rango deseado, nos impulsa a realizar una calibración más completa con distintas concentraciones de este anticuerpo. Nos gustaría aplicar el método a la detección y cuantificación del anticuerpo IgM, con la idea de una futura detección multiplex (varios analitos en la misma tira). Buscaremos la forma de ensamblar las nanopartículas de ferrita de manganeso ya que, debido a su menor anisotropía magnética y mayor susceptibilidad, proporcionan mejor señal en los sensores.

6. Divulgación de los resultados

Artículos en revistas científicas

Título	Scopus metrics (Citinesscore)	Highest percentile	JCR category rank	Current Impact Factor
<i>New Perspective of Planar Inductive Sensors: Radiofrequency Refractometry for Highly Sensitive Quantification of Magnetic Nanoparticles. Jose Luis Marqués Fernández, María Salvador, José Carlos Martínez García, Pablo Fernández Miaja, Alfredo García and Montserrat Rivas. Sensors. Sending Date: December 22, 2022.</i>	6.4	91% (Q1), 12/136 (Instr.)	Q2: Instruments & Instrumentation Q2: Chemistry, Analytical Q2: Engineering, Electrical & Electronic	3.847
<i>Magnetic Nanoclusters Increase the Sensitivity of Lateral Flow Immunoassays for Protein Detection: Application to Pneumolysin as a Biomarker for Streptococcus pneumoniae.</i>	6.6	80% (Q1), 55/280 (General)	Q1: Physics, Applied Q2: Chemistry, Multidisciplinary	5.719

<i>(Editor's choice) María Salvador, José Luis Marqués Fernández, Alexander Bunge, José Carlos Martínez García, Rodica Turcu, Davide Peddis, María del Mar García Suárez, María Dolores Cima Cabal and Montserrat Rivas, Nanomaterials, June 14, 2022</i>		Chem. Eng.)	Q2: Materials Science, Multidisciplinary Q2: Nanoscience & Nanotechnology	
<i>Double-Layer Fatty Acid Nanoparticles as a Multiplatform for Diagnostics and Therapy. María Salvador, José Luis Marqués Fernández, José Carlos Martínez-García, Dino Fiorani, Paolo Arosio, Matteo Avolio, Francesca Brero, Florica Balanean, Andrea Guerrini, Claudio Sangregorio, Vlad Socoliuc, Ladislav Vekas, Davide Peddis and Montserrat Rivas. Nanomaterials, January 8, 2022</i>	6.6	80% (Q1), 55/280 (General Chem. Eng.)	Q1: Physics, Applied Q2: Chemistry, Multidisciplinary Q2: Materials Science, Multidisciplinary Q2: Nanoscience & Nanotechnology	5.719

Presentaciones en congresos científicos

Título	Autores	PTT	Congreso	Lugar y fecha
<i>Magnetic Nanoparticles and Sensors for Better Rapid Diagnostic Tests</i>	M ^a . Rivas, M. Salvador, J.L. Marqués, J.C. Martínez García	Charla Plenaria	<i>15th International Symposium on Nanomedicine</i>	Tokushima (Japan), December 2022
<i>Magnetic Nanoparticles and Sensors for Better Rapid Diagnostic Tests</i>	M ^a . Rivas, M. Salvador, J.L. Marqués, J.C. Martínez García	Charla Invitada	<i>15th International Symposium on Nanomedicine</i>	Tokushima (Japan), December 2022
<i>Magnetic nanoclusters ability to increase the sensitivity of lateral flow assays for pneumococcal pneumonia rapid non-invasive diagnosis</i>	M ^a Salvador, JL Marqués Fernández, A Bunge, JC Martínez García, R Turcu, D Peddis, M García Suárez, MD Cima Cabal, Montserrat Rivas	PTT Oral	<i>11th International Conference on Fine Particle Magnetism</i>	Yokohama (Japan), October 2022
<i>Magnetic Nanoparticles and Sensors for Rapid Diagnostic Testing for Health Care: Application to Pneumonia, Histamine, and COVID Antibodies Detection</i>	M Rivas, M ^a Salvador, JC Martínez García, JL Marqués Fernández, A Bunge, R Turcu, D Peddis, MM García Suárez, MD Cima Cabal	Charla Invitada	<i>6th Conference on 3NANO</i>	Rome (Italy), September 2022
<i>Magnetic Techniques for Rapid Diagnostic Testing for Health Care and Environmental Monitoring</i>	M Rivas, M ^a Salvador, JC Martínez García, JL Marqués Fernández, A Bunge, R Turcu, D Peddis, MM García Suárez, MD Cima Cabal	Charla Invitada	<i>15th Joint MMM-Intermag Conference</i>	New Orleans (USA), January 2022
<i>Self-resonant frequency of inductors for quantification of magnetic nanoparticles</i>	J.L. Marqués, F. Brero, F. G. da Silva, J.C. Martínez García, M. Mariani, M. Rivas	Com. Oral	<i>MMM 2022</i>	Minneapolis (USA), November 2022
<i>Radio frequency impedance monitoring of inductive sensors for quantification of COVID-19 immune response</i>	J.L. Marqués, M ^a . Salvador, F. Brero, F. G. da Silva, J.C. Martínez García, M. Mariani, M. Rivas	Com. Oral	<i>SBAN 2022</i>	Madrid (Spain), September 2022
<i>Device for quantification of superparamagnetic particles</i>	J.L. Marqués, J.C. Martínez García, M ^a . Salvador, P. Fernández Miaja, J. Sebastián, M.C. Blanco, M. Rivas	Póster	<i>3rd Conference on NALS 2022</i>	Santander (Spain), April 2022
<i>Inductive refractometry at radio frequency for magnetic nanoparticle quantification</i>	J.L. Marqués, J.C. Martínez García, M ^a . Salvador, P. Fernández Miaja, A. García, M. Rivas	Com. Oral	<i>EMSA 2022</i>	Madrid (Spain), July 2022

Test rápido de diagnóstico para neumonía bacteriana	J.L. Marqués Fernández, M ^a . Salvador Fernández, Montserrat Rivas Ardisana, J.C. Martínez García	PTT Oral	Jornadas de Proyectos IUTA	Gijón (Spain), May 2022
---	--	----------	-------------------------------	----------------------------

Otras actividades de divulgación

- Premio al mejor vídeo sobre un proyecto de tesis doctoral: "Magnetism has an impact":
<https://www.youtube.com/watch?v=5yq-VKDabhM>
Entidad: IEEE Magnetics Society, capítulo español
Lugar y fecha: Cádiz, 18 de noviembre de 2022
- Mini Charlas para estudiantes en Magnetismo
Organizadores: María Salvador, José Luis Marqués y José Carlos Martínez
Lugar y fecha: EPI Gijón, 2 de diciembre de 2022

Memoria económica:

1. Gastos:

Concepto	Gasto
Personal	3.551 €
Fungibles	2.500 €
Amortización	1.000 €
Medidas de caracterización	1.000 €
Viajes y dietas	3.000 €
Inscripciones a congresos	2.000 €
TOTAL GASTOS	8.382 €

2. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Personal	3.551 €
Proyecto AYUD/2021/51822	Otros	9.500 €
TOTAL INGRESOS		13.051 €

Bibliografía

1. Huang, X.; Aguilar, Z.P.; Xu, H.; Lai, W.; Xiong, Y. Membrane-Based Lateral Flow Immunochromatographic Strip with Nanoparticles as Reporters for Detection: A Review. *Biosens. Bioelectron.* 2016, 75, 166–180.
2. Chun, P. Colloidal Gold and Other Labels for Lateral Flow Immunoassays. In *Lateral Flow Immunoassay*; Humana Press: Totowa, NJ, USA, 2009; pp. 1–19.

3. Moyano, A.; Serrano-Pertierra, E.; Salvador, M.; Martínez-García, J.C.; Rivas, M.; Blanco-López, M.C. *Magnetic Lateral Flow Immunoassays*. *Diagnostics* 2020, 10, 288.
4. Huang, Z.; Hu, S.; Xiong, Y.; Wei, H.; Xu, H.; Duan, H.; Lai, W. *Application and Development of Superparamagnetic Nanoparticles in Sample Pretreatment and Immunochromatographic Assay*. *Trends Anal. Chem.* 2019, 114, 151–170. [CrossRef]
5. Lago-Cachón, D.; Rivas, M.; Martínez-García, J.; Oliveira-Rodríguez, M.; Blanco-López, M. *High Frequency Lateral Flow Affinity Assay Using Superparamagnetic Nanoparticles*. *J. Magn. Magn. Mater.* 2017, 423, 436–440.
6. Rivas, M.; Lago-Cachón, D.; Martínez-García, J.; Calleja, A. *Eddy-Current Sensing of Superparamagnetic Nanoparticles with Spiral-like Copper Circuits*. *Sensors Actuators A Phys.* 2014, 216, 123–127.
7. Bunge, A.; Porav, A.S.; Borodi, G.; Radu, T.; Pîrnau, A.; Berghian-Grosan, C.; Turcu, R. *Correlation between Synthesis Parameters and Properties of Magnetite Clusters Prepared by Solvothermal Polyol Method*. *J. Mater. Sci.* 2018, 54, 2853–2875.

INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-19

(BCI4PHOTOSENSE) Detección automática de fotoparoxismos en electroencefalogramas mediante Deep Learning. Aplicación al estudio del riesgo del uso de realidad virtual en personas con fotosensibilidad

Fechas inicial y final del proyecto:

01 / 07 / 2022 al 30 / 12 / 2022

Investigador/a Principal:

Víctor Manuel Álvarez García

Otros investigadores:

Beatriz García López y Enrique Antonio de la Cal Marín

Personal contratado:

Celia Melendi Lavandera

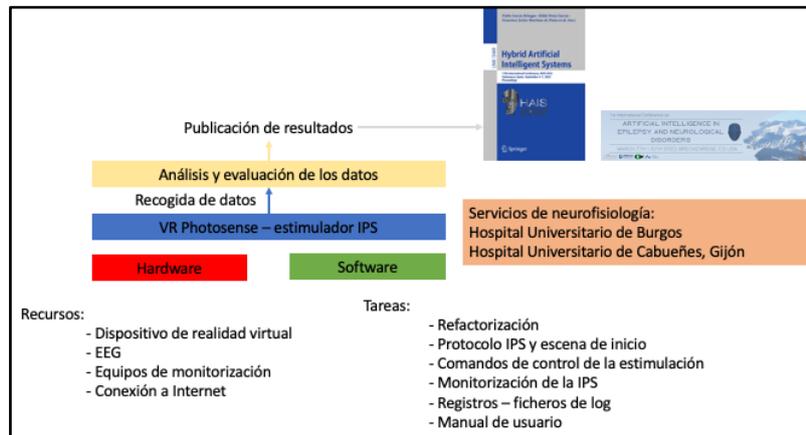
Fechas inicial y final de contratación:

01 / 07 / 22 al 31 / 12 / 22

Empresas o instituciones colaboradoras:

Universidad de Oviedo, Hospital Universitario de Burgos, Hospital Universitario de Cabueñes

Resumen Gráfico



Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

La fotosensibilidad, en relación con la epilepsia, es una afección determinada genéticamente en la que los pacientes presentan crisis epilépticas de distinta gravedad provocadas por estímulos visuales. Puede diagnosticarse mediante la detección de descargas epileptiformes en su electroencefalograma (EEG), conocidas como respuestas fotoparoxísticas (PPR). El método de detección de PPR más aceptado -el método manual-, considerado como el estándar, consiste en someter al sujeto a estimulación fótica intermitente (sus siglas en inglés son IPS), es decir, a una estimulación luminosa intermitente con frecuencias de parpadeo crecientes y decrecientes en una sala de hospital en condiciones ambientales controladas, al tiempo que se registra su respuesta cerebral mediante señales de EEG. Esta investigación se centra en la introducción de la realidad virtual (RV) en este contexto, añadiendo a la infraestructura convencional una más flexible que puede programarse y que permitirá desarrollar un conjunto mucho más amplio y rico de experimentos para detectar enfermedades neurológicas y estudiar automáticamente los comportamientos de los sujetos.

La ejecución de este proyecto plantea la utilización de una segunda versión del software de estimulación visual. En esta fase, hemos contado con la colaboración de un nuevo actor, el Hospital Universitario de Cabueñes y, en concreto, de su servicio de neurofisiología, y de una becaria IUTA que ha realizado las adaptaciones necesarias al software de estimulación visual con realidad virtual que posibilitan para la recogida, análisis, evaluación y comparación de las PPR de los pacientes del servicio.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

El objetivo general del proyecto se estableció como: el desarrollo tecnológico y la validación clínica de un conjunto de técnicas y métodos de IA que mejore los resultados obtenidos en el proyecto del año 2021 respecto a la detección automática de las PPR de tipo 4 en las grabaciones EEG.

En el segundo semestre de 2022, el trabajo del equipo investigador y la contribución en el desarrollo de software de la persona contratada hicieron posible la consecución en el apartado tecnológico. El nuevo equipo de estimulación VR, disponible en dos hospitales españoles, permite la captura de los datos de pacientes fotosensibles o con epilepsia ya diagnosticada.

El análisis y evaluación de estos datos, permitirá a su vez la consecución del resto de objetivos planteados para el estudio y cuyo plazo de ejecución se establece en el primer semestre de 2023.

3. Tareas realizadas:

El desarrollo del nuevo sistema software de realidad virtual siguió una metodología de trabajo basada en el desarrollo ágil y la iteración mediante Sprints. Cada uno de los Sprints tuvo una duración aproximada de 4 semanas y finaliza con una sesión de pruebas y recogida de nuevos requisitos y necesidades realizada en el Hospital Universitario de Cabueñes.

Durante las iteraciones se identificaron y resolvieron las siguientes tareas:

- **Refactorización:** El software original había sido diseñado siguiendo las especificaciones del protocolo seguido en el servicio de neurofisiología del Hospital Universitario de Burgos y no resultaba fácilmente adaptable a la utilización de otras frecuencias y tiempos de estimulación fónica. La becaria IUTA realizó los cambios necesarios para permitir la adaptabilidad del software a diferentes protocolos IPS.
- **Protocolo IPS y escena de inicio:** La refactorización del software permitió definir dos protocolos diferentes de estimulación, correspondientes a los dos hospitales colaboradores. Además, se incorporó una nueva escena inicial en la que el paciente se encuentra dentro de una sala de realidad virtual que asemeja la utilizada en el Hospital Universitario de Cabueñes. El protocolo de frecuencias y tiempos de estimulación se escoge a través de un comando de teclado: 'B' para el Hospital Universitario de Burgos y 'C' correspondiente el Hospital Universitario de Cabueñes.
- **Comandos de control de la estimulación:** El sistema de comandos para el manejo de los parámetros de la estimulación a través de un teclado ya había sido incorporado en el sistema original. En el caso de este proyecto, se identificaron, realizaron y documentaron las mejoras sugeridas por el equipo médico.
- **Monitorización de la IPS:** Al igual que en el caso anterior, el sistema de monitorización de la estimulación a través de mensajes de texto en una pantalla ya había sido incorporado en el sistema original. En el caso de este proyecto, se identificaron, realizaron y documentaron las mejoras sugeridas por el equipo médico, en particular en el agrupamiento y reducción de los mensajes para facilitar su comprensión y eficiencia. Este apartado software también fue fruto de la refactorización y adaptación a un nuevo servidor que aloja el servicio de websockets.
- **Registros - ficheros de log:** Una de las nuevas necesidades identificadas y resueltas consiste en la posibilidad de guardar información de las sesiones con los pacientes para poder consultar y comparar la actuación del protocolo IPS con los resultados registrados, de modo independiente, por el EEG.
- **Manual de usuario:** Una de las nuevas necesidades identificadas y resueltas consiste en la posibilidad de guardar información de las sesiones con los pacientes para poder consultar y comparar la actuación del protocolo IPS con los resultados registrados, de modo independiente, por el EEG.



Figura 2. Captura del manual de usuario de VR Photo Sense

Además, ha sido necesario resolver dos problemas técnicos encontrados durante esta etapa:

- **Falta de conexión a Internet en el Hospital Universitario de Cabueñes:** El servicio de monitorización de la estimulación requiere de conexión a internet en el dispositivo de realidad virtual, pero inicialmente no se disponía de esa opción en el hospital. El problema fue resuelto por el servicio de neurofisiología del hospital, que se hizo cargo de los gastos ocasionados por la tarjeta SIM y la conexión a Internet, de la que ya se dispone.
- **Cambio de alojamiento del servicio de monitorización:** El alojamiento inicial se realizaba utilizando Heroku, que ha dejado de ofrecer el servicio el día 30 de noviembre. La becaria IUTA ha realizado la migración a un nuevo servidor y el servicio se ha replicado también en una máquina perteneciente a la Universidad de Oviedo.

4. Resultados obtenidos:

Con anterioridad a este proyecto, la recogida de datos de la estimulación IPS se realizaba exclusivamente en el Hospital Universitario de Burgos. El trabajo descrito en la sección anterior ha permitido incorporar también al Hospital Universitario de Cabueñes en Gijón, dotándolo de los recursos hardware y software necesarios y adaptando su utilización a las características de las pruebas realizadas por el servicio de neurofisiología. Esta adaptación también ha conseguido que la nueva versión de software sea más flexible y permita acoger la futura utilización de diferentes protocolos IPS.



Figura 3. La investigadora holandesa especializada en epilepsia fotosensible Dorothée Kasteleijn-Nolst Trenité realiza pruebas con el equipo investigador de la Universidad de Oviedo y neurofisiólogos del Hospital Universitario de Cabueñes.

En el momento de realizar este informe, el nuevo equipamiento VR en el Hospital de Cabueñes es plenamente funcional y ya se han realizado las primeras sesiones de recogidas de datos, que continuarán en los próximos meses con la finalidad de alimentar el proceso de análisis y evaluación utilizando técnicas de inteligencia artificial.

5. Trabajos o necesidades futuras

A partir del trabajo ya realizado, se han identificado las siguientes mejoras y necesidades:

1. **Estudio de los datos recogidos en el servicio de neurofisiología del Hospital de Cabueñes:** En el primer semestre de 2023, se realizará la validación clínica del conjunto de datos recogidos. Las técnicas y métodos de IA con aplicación en esta fase incluyen:
 - **Clasificación y comparación de diferentes técnicas de Machine Learning como K-Nearest neighbors, Random Forest o Support Vector Machine.**
 - **Evaluación de distintas alternativas del campo de Deep Learning.**

Las publicaciones asociadas a esta fase de la investigación se realizarán una vez realizado el análisis y evaluación de los datos.

2. **Trabajos fin de grado en el ámbito de la ingeniería informática:** El equipo propondrá como trabajos fin de grado de desarrollo de software por parte de estudiantes de ingeniería informática:
 - **Estimulación utilizando patrones visuales:** Se trata de un campo que ha tenido menos aplicación dentro del material proporcionado a los servicios de neurofisiología, pero con una valoración muy positiva por parte de investigadores y profesionales. El dispositivo de realidad virtual permitiría incorporar nuevas pruebas utilizando visualizaciones de patrones que afectan las respuestas fotoparoxísticas.
 - **Visualización de la IPS:** Nuestro sistema VR Photosense actual solo permite identificar los pasos que se está realizando en una pantalla a través de mensajes de texto. Propondremos un TFG que permita enriquecer la retroalimentación proporcionada durante la estimulación incluyendo indicadores visuales y gráficos para facilitar la comprensión y eficiencia en el control del proceso de estimulación.

6. Divulgación de los resultados

Uno de los objetivos establecidos inicialmente por el proyecto consistía en la publicación de resultados.

Aunque no incluye aún resultados a partir de datos recogidos en este proyecto, durante el segundo semestre de 2022, se ha realizado una comunicación de la investigación en el congreso internacional HAIS 2022: International Conference on Hybrid Artificial Intelligence Systems. La ponencia tiene una publicación asociada en Springer: Lecture Notes in Computer Science (LNAI, volume 13469). https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-15471-3_1

- **Título:** A Comparison of Machine Learning Techniques for the Detection of Type-4 PhotoParoxysmal Responses in Electroencephalographic Signals.
- **Autores:** Fernando Moncada Martins, Víctor Manuel González, Beatriz García, Víctor Álvarez y José Ramón Villar.

Además, el día 20 de diciembre el equipo recibió la notificación de aceptación de la comunicación, que llevará por título: "Application of Virtual Reality and Artificial Intelligence in the automatic detection of photo paroxysmal responses" y que se presentará en el congreso internacional 1st International Conference on Artificial Intelligence in Epilepsy and Neurological Disorders. El trabajo de análisis, evaluación y publicación de resultados continuará en el primer semestre del año 2023.

Memoria económica:

1. Gastos:

En el desarrollo del proyecto participaron los investigadores indicados en la solicitud, Víctor Manuel Álvarez García, Enrique Antonio de la Cal Marín y Beatriz García López, además de la persona contratada, Celia Melendi Lavandera. Se estima que el trabajo realizado por estas personas, incluyendo el de la persona contratada, asciende a un total de 18.005 €. También, se evalúa que el uso del equipamiento necesario para el desarrollo de este proyecto, consistente en ordenadores, teléfonos móviles y gafas de realidad virtual, tiene un coste imputable a este proyecto por amortización de 1.500 €. La tarjeta SIM y los gastos de conexión a Internet son cubiertos por el hospital. Los desplazamientos realizados para el desarrollo del proyecto ascienden a 500 €.

Concepto	Gasto
Personal	18.005 €
Amortización y desplazamientos	2.000 €
TOTAL GASTOS	20.005 €

2. Ingresos:

Para el desarrollo de este proyecto, se recibió una ayuda por parte del Instituto Universitario de Tecnología Industrial de Asturias de 3.005 €, que se dedicó íntegramente al pago de la contribución de la persona contratada a tal efecto. La Universidad de Oviedo, el Hospital Universitario de Burgos y el Hospital Universitario de Cabueñes (Gijón), cubrieron los gastos del personal investigador (a excepción de la persona contratada) por un importe estimado de 15.000 €. El equipo responsable de esta investigación cubrió el resto de gastos del proyecto por un importe estimado de 2.000 €.

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Becaria IUTA	3.005 €
Recursos propios	Amortización y desplazamiento	2.000 €
Universidad de Oviedo, Hospital Universitario de Burgos, Hospital Universitario de Cabueñes en Gijón	Personal	15.000 €
TOTAL INGRESOS		20.005 €

Bibliografía

1. S. Waltz, H. J. Christen, and H. Doose, "The different patterns of the photoparoxysmal response - a genetic study," *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, vol. 83, no. 2, 1992, doi: 10.1016/0013-4694(92)90027-F.
2. X. Jiang, G. bin Bian, and Z. Tian, "Removal of artifacts from EEG signals: A review," *Sensors (Switzerland)*. 2019. doi: 10.3390/s19050987.
3. G. Strigaro, B. Gori, C. Varrasi, T. Fleetwood, G. Cantello, and R. Cantello, "Flash-evoked high-frequency EEG oscillations in photosensitive epilepsies," *Epilepsy Research*, vol. 172, 2021, doi: 10.1016/j.eplepsyres.2021.106597.
4. A. Omidvarnia, A. E. L. Warren, L. J. Dalic, M. Pedersen, and G. Jackson, "Automatic detection of generalized paroxysmal fast activity in interictal EEG using time-frequency analysis," *Computers in Biology and Medicine*, vol. 133, 2021, doi: 10.1016/j.combiomed.2021.104287.
5. P. Vanabelle, P. de Handschutter, R. el Tahry, M. Benjelloun, and M. Boukhebouze, "Epileptic seizure detection using EEG signals and extreme gradient boosting," *Journal of Biomedical Research*, vol. 34, no. 3, 2020, doi: 10.7555/JBR.33.20190016.
6. S. Chakrabarti, A. Swetapadma, and P. K. Pattnaik, "A channel independent generalized seizure detection method for pediatric epileptic seizures," *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 209, p. 106335, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.cmpb.2021.106335.
7. L. Wang, X. Long, J. B. A. M. Arends, and R. M. Aarts, "EEG analysis of seizure patterns using visibility graphs for detection of generalized seizures," *Journal of Neuroscience Methods*, vol. 290, 2017, doi: 10.1016/j.jneumeth.2017.07.013.
8. H. Choubey and A. Pandey, "A combination of statistical parameters for the detection of epilepsy and EEG classification using ANN and KNN classifier," *Signal, Image and Video Processing*, vol. 15, no. 3, 2021, doi: 10.1007/s11760-020-01767-4.
9. A. Jahanbekam et al., "Performance of ECG-based seizure detection algorithms strongly depends on training and test conditions," *Epilepsia Open*, vol. 6, no. 3, 2021, doi: 10.1002/epi4.12520.
10. J. Jeppesen et al., "Seizure detection based on heart rate variability using a wearable electrocardiography device," *Epilepsia*, vol. 60, no. 10, pp. 2105–2113, Oct. 2019, doi: 10.1111/epi.16343.
11. C. Ufongene, R. el Atrache, T. Loddenkemper, and C. Meisel, "Electrocardiographic changes associated with epilepsy beyond heart rate and their utilization in future seizure detection and forecasting methods," *Clinical Neurophysiology*, vol. 131, no. 4, 2020. doi: 10.1016/j.clinph.2020.01.007.
12. I. C. Zibrandtsen, P. Kidmose, and T. W. Kjaer, "Detection of generalized tonic-clonic seizures from ear-EEG based on EMG analysis," *Seizure*, vol. 59, 2018, doi: 10.1016/j.seizure.2018.05.001.
13. S. Beniczky, I. Conradsen, O. Henning, M. Fabricius, and P. Wolf, "Automated real-time detection of tonicclonic seizures using a wearable EMG device," *Neurology*, vol. 90, no. 5, 2018, doi: 10.1212/WNL.0000000000004893.
14. M. C. Soriano et al., "Automated Detection of Epileptic Biomarkers in Resting-State Interictal MEG Data," *Frontiers in Neuroinformatics*, vol. 11, 2017, doi: 10.3389/fninf.2017.00043.
15. F. Moncada, V. M. Gonzalez, V. Alvarez, B. Garcia, and J. R. Villar, "A Preliminary Study on Automatic Detection and Filtering of Artifacts from EEG Signals," in *2021 IEEE 34th International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS)*, Jun. 2021, vol. 2021-June, pp. 420–425. doi: 10.1109/CBMS52027.2021.00046.
16. F. Moncada, V. M. González, B. García, V. Álvarez, and J. R. Villar, "A Comparison of Blink Removal Techniques in EEG Signals," in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol. 12886 LNAI, 2021, pp. 355–366. doi: 10.1007/978-3-030-86271-8_30.

INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-21

Sistema de monitorización combinada de estructuras mediante aplicación de sensores convencionales y vibrometría láser

Fechas inicial y final del proyecto:

04 / 07 / 22 al 30 / 12 / 22

Investigador/a Principal:

Pelayo Fernández Fernández

Otros investigadores:

Natalia García Fernández y Manuel Aenlle López

Personal contratado:

Eva Martínez López

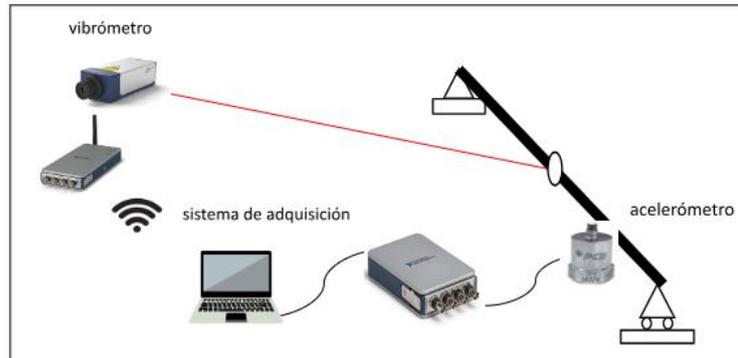
Fechas inicial y final de contratación:

04 / 07 / 22 al 30 / 12 / 22

Empresas o instituciones colaboradoras:

Thingtrack

Resumen Gráfico



Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

Se ha puesto en marcha y se han desarrollado las herramientas necesarias para disponer de un sistema de medición combinada de sensores clásicos con vibrometría láser monopunto. Este tipo de sistema permite utilizar sensores clásicos en posiciones accesibles de una estructura y utilizar la vibrometría láser sin contacto en aquellos puntos de difícil acceso o donde llevar los sistemas de adquisición o cableado correspondiente no sea posible. Este tipo de sistema se cree potencialmente interesante para todas aquellas estructuras que hayan de ser controladas debido a su vibración. Desde empresas dedicadas al mantenimiento predictivo basado en sensorica así como trabajos de equilibrado de máquina rotativa. Adicionalmente también facilita la obtención de medidas de vibración sin contacto a distancia que puede resultar útil, por ejemplo, en plantas fotovoltaicas u otro tipo de estructuras dispersas sobre una implantación de terreno amplia.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

Objetivo principal:

Desarrollar un sistema de medición para monitorización de estructuras que combine e integre sistemas de medida convencionales a través de acelerómetros con sistemas de medida sin contacto mediante vibrometría láser. Grado de consecución: **100%**

Objetivos secundarios:

- 1) Estudio de las mejores combinaciones de sensores y vibrometría. Grado de consecución: **100%**
- 2) Análisis de limitaciones entre rangos de medida y capacidades de cada sistema. Grado de consecución: **75%** Se han detectado algunas limitaciones en los rangos de medida y salidas del controlador del vibrómetro que están siendo analizadas. Dichas limitaciones y su solventación están en consulta con el fabricante del vibrómetro.
- 3) Desarrollo de software a través de Labview y Matlab para la integración y combinación de ambos sistemas de medida. Grado de consecución **75%**. Se han desarrollado las funciones para la integración de las medidas de ambos sistemas en Matlab pero no en Labview.
- 4) Implementación y puesta en funcionamiento del sistema completo. Grado de consecución: **100%**.

3. Tareas realizadas:

- Estudio de sistemas similares (estado del arte).
- Implementación del sistema de medida.
- Ensayos con excitador de señal controlada.
- Ensayo en estructura de laboratorio tipo viga.
- Análisis modal de la estructura ensayada y comparación con los valores teóricos y experimentales obtenidos mediante sistemas clásicos.

4. Resultados obtenidos:

- El sistema de medida planteado es viable.
- Se ha aplicado el mismo al estudio de estructuras sencillas de laboratorio con éxito.

5. Trabajos o necesidades futuras

- Estudio con medida indirecta mediante espejos (ya se ha comenzado)
- Aplicación a un caso de estructura tipo pasarela o similar de mayor escala. Se realizará durante el 2023.

La línea de investigación desarrollada en este trabajo se podría mejorar con equipamientos más modernos y pequeños en el caso del vibrómetro, y con sensores tipo MEMS (digitales). Lo cual requeriría de una financiación adecuada tanto para recursos materiales como de personal con el fin de un sistema más versátil y flexible, a la par que más económico de cara a su transferencia y uso directo por el sector empresarial.

6. Divulgación de los resultados

Se prevé presentar el trabajo desarrollado en las Jornadas de Ing. Civil que se celebrará en la Escuela Politécnica de Mieres durante el 2023. También una vez se finalice el estudio de una estructura con mayor complejidad se presentará el trabajo realizado en el congreso de Dinámica Estructural (DINEST 2024)

Memoria económica:

1. Gastos:

Concepto	Gasto
Personal	3.507 €
Fungibles	30 €
Amortización	80 €
Compra generador de señales y excitador	600 €
TOTAL GASTOS	4.217 €

2. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Ayuda IUTA	3.507 €
Financiación propia a través de Proyectos FUO del grupo DYMAST	Compra equipo excitación y fungible	630 €
TOTAL INGRESOS		4.137 €

Bibliografía

1. Wilson, D.B., Woodhouse, F.G., Simpson, M.J. et al. Crowded transport within networked representations of complex geometries. *Commun Phys* 4, 232 (2021).
<https://doi.org/10.1038/s42005-021-00732-y>
2. Miyashita, T., & Nagai, M. (2008). Vibration-based structural health monitoring for bridges using laser Doppler vibrometers and MEMS-based technologies. *Int. J. Steel Struct*, 8(4), 325-331.
3. Warren, C., Pingle, P., Niezrecki, C., & Avitabile, P. (2011). Comparison of image based, laser, and accelerometer measurements. In *Structural Dynamics, Volume 3* (pp. 15-21). Springer, New York, NY.
4. Polytec Store. OFV-5000 Vibrometer Controller. Noviembre de 2022.
https://www.polytecstore.fr/polytec_images/documents/oms/om_ds_ofv-5000_e_42346.pdf

INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-22

(IA4NEURON) Análisis automático de cultivos de neuronas mediante Inteligencia Artificial. Identificación automática de neuronas

Fechas inicial y final del proyecto:

03 / 05 / 2022 al 31 / 12 / 2022

Investigador/a Principal:

Víctor Manuel González Suárez

Otros investigadores:

María Teresa Fernández Sánchez

Personal contratado:

Paula Puerta González

Fechas inicial y final de contratación:

04 / 07 / 22 al 31 / 12 / 22

Empresas o instituciones colaboradoras:

Biocrew Healthcare y Hospital Universitario de Burgos (HUBU)

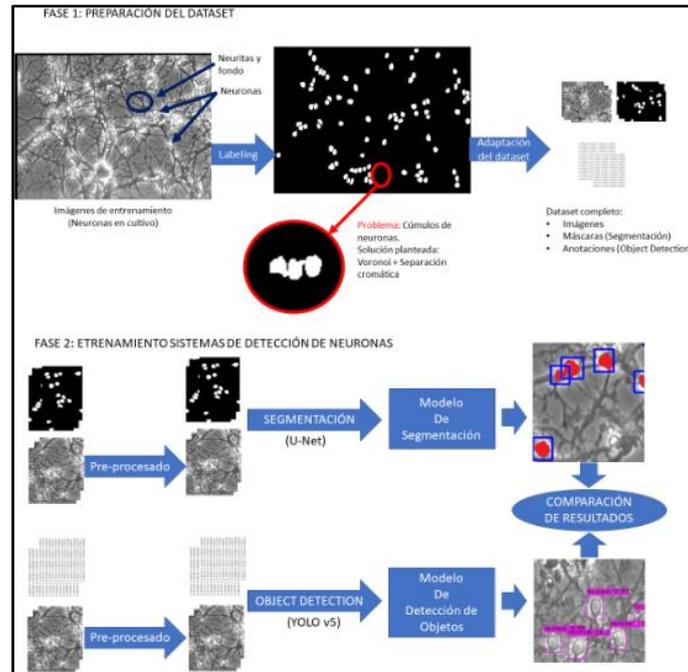
Redes sociales de investigadores y empresas:

<https://www.linkedin.com/company/biocrew-healthcare/?originalSubdomain=es>

<https://www.linkedin.com/company/hospital-universitario->

<burgos/?originalSubdomain=es>

Resumen Gráfico



Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

Los cultivos primarios de células del Sistema Nervioso Central (SNC) son modelos experimentales muy útiles para el estudio de su fisiología y de los mecanismos que conducen a la neurotoxicidad y la neurodegeneración. Así, los cultivos primarios de neuronas y células gliales de cerebelo se utilizan con frecuencia en estudios toxicológicos destinados a comprender los mecanismos que determinan el daño neuronal evocado por la activación excesiva o prolongada de los receptores de aminoácidos excitatorios (excitotoxicidad), e implicados en la patogénesis del daño cerebral en insultos agudos y en enfermedades neurodegenerativas. Estos cultivos se utilizan asimismo para la determinación de la neurotoxicidad de las toxinas ambientales tales como toxinas marinas de origen algal presentes en los mariscos, o los metales como el aluminio.

Una limitación importante en estos estudios es la falta de herramientas que permitan realizar el seguimiento automático de la evolución de un cultivo, en aspectos tales como el crecimiento de las neuronas, su movimiento, el proceso de establecimiento y crecimiento de conexiones sinápticas (neuritas) con las neuronas vecinas, etc. Todos estos aspectos son clave en el funcionamiento neuronal (incluyendo el aprendizaje y la memoria) y la plasticidad sináptica.

Para abordar este problema proponemos el desarrollo de un nuevo sistema para el seguimiento automático de cultivos de neuronas basado en Inteligencia Artificial (IA) capaz de rastrear las neuronas y determinar la integridad y fuerza de las neuritas durante su desarrollo en cultivo. Este sistema será de gran utilidad en la evaluación de los efectos de los fármacos o toxinas sobre la función del SNC, así como para el cribado de nuevos compuestos neuroactivos. Además, también permitirá generar nuevo conocimiento de gran interés a partir de la información obtenida en los cultivos neuronales.

A continuación se indican los objetivos planteados inicialmente y el grado de consecución alcanzado en este tiempo. También se muestran las tareas realizadas y los resultados obtenidos así como los trabajos futuros a desarrollar.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

El objetivo principal inicialmente establecido era el desarrollo de un nuevo sistema mediante técnicas de IA aplicadas al tratamiento de imágenes para el seguimiento automático de cultivos de neuronas. La idea era que el sistema permitiese la identificación y seguimiento de posibles patrones de movimiento de neuronas y las características de las conexiones entre las mismas (neuritas) durante su desarrollo en cultivo, así como la posible modificación de dichos patrones en presencia de agentes neurotóxicos.

Ese objetivo inicial se desagrega en los siguientes ocho objetivos parciales:

1. **Alineación de imágenes.** El seguimiento de los cultivos de neuronas se hace mediante imágenes captadas con una cámara digital acoplada al microscopio, durante un periodo de tiempo concreto y con una frecuencia determinada. Dado que el cultivo no se puede mantener en el microscopio durante largos periodos de tiempo porque no sobreviviría en las condiciones ambientales normales, es necesario colocar dicho cultivo en el microscopio cada vez que se quiere tomar una imagen del mismo. Esto provoca que por mucho cuidado que se ponga en dicho proceso, las imágenes tomadas no estén perfectamente alineadas.

Este objetivo se cumplió completamente al resolver el objetivo que se indicará a continuación, ya que los algoritmos empleados habitualmente para resolver ese reto, no requieren de la previa alineación de las imágenes. Por otro lado, existen dispositivos como los mostrados en las siguientes figuras denominados "Time lapse microscope" que integran una cámara de cultivo y un microscopio. Este tipo de dispositivos permiten que el cultivo sobreviva dentro del microscopio al crear una cámara de cultivo con condiciones de CO₂, temperatura y humedad controladas. De esa forma, la placa de cultivo permanece estática durante todo el tiempo que dura el experimento, evitándose problemas de desenfoques, desalineamientos, rotaciones, desajustes en la elección del campo, etc.



Figura 1. Dos ejemplos de "Microscopio Time-lapse".

2. **Identificación automática de neuronas mediante técnicas de IA.** La identificación de las neuronas presentes en un cultivo se hace tradicionalmente a "mano". El objetivo perseguido con este proyecto es desarrollar un sistema capaz de hacerlo de forma automática. Dada la complejidad de las imágenes a tratar, esta tarea sólo es posible realizarla mediante técnicas de IA.

Este objetivo se logró totalmente. Las técnicas empleadas para su consecución fueron dos modelos de reconocimiento de imágenes; (i) uno basado en Segmentación y (ii) otro basado en Detección de Objetos. La Detección de Objetos permite una rápida identificación de las áreas (rectángulos) donde se detecta una neurona. Por su parte la segmentación permite reconocer a nivel de píxel el área exacta que delimita la forma de cada neurona. Ambas técnicas son comparables entre sí y compatibles mutuamente, permitiendo a los investigadores manejar un mayor número de datos que permitan obtener diferentes conclusiones.

- 3. Recuento de neuronas y otros elementos del cultivo.** Una vez identificados qué elementos del cultivo son neuronas y cuáles no, se procedió a hacer un recuento automático de las mismas, facilitando de esta forma el trabajo de los biólogos. En esta fase de la investigación sólo se entrenó el algoritmo desarrollado para detectar neuronas, ignorando cualquier otro elemento del cultivo. En fases posteriores de la investigación se abordará la identificación de otros tipos de elementos del cultivo según las necesidades de los investigadores.
- 4. Seguimiento del movimiento neuronal.** El seguimiento del movimiento de las neuronas de un cultivo a lo largo del tiempo es un factor clave en el estudio del desarrollo y la función neuronal. Este proceso se realiza en la actualidad de forma manual, aunque la complejidad de los movimientos neuronales en el cultivo a lo largo del tiempo hace que dicha tarea sea extremadamente difícil y propensa a errores. Por este motivo se fijó como objetivo el desarrollo de un sistema automático capaz de llevar a cabo el seguimiento o "tracking" del movimiento de las neuronas a lo largo del tiempo.

Este objetivo no ha podido ser resuelto en el tiempo transcurrido en este proyecto, ya que la complejidad del objetivo número 2 hizo que se tuviese que invertir la mayor parte del tiempo disponible en su resolución. Aun así, se comenzó a trabajar en la resolución del mismo tomando imágenes de cultivos y etiquetando de forma individual las neuronas presentes en el mismo. Se concluyó que la frecuencia empleada para la toma de imágenes era demasiado baja, lo que impedía el poder aplicar los algoritmos presentes en la literatura actual. Se concluyó que se deben tomar imágenes con una frecuencia más alta, lo que implica, (i) o bien llevar a cabo un trabajo de campo más intenso (es necesario hacer el trabajo por las noches), o (ii) es necesario emplear un microscopio "Time-lapse" como el mostrado en la figura del objetivo 1 (se ha localizado un dispositivo de este tipo en la Universidad de Oviedo y se está en proceso de la contratación de su uso). En cualquiera de los dos casos, hay que planificar adecuadamente el trabajo porque implicará a varias personas. Este es el siguiente paso en el desarrollo del proyecto.

- 5. Microsistema de coordenadas.** Un reto importante que se plantea a la hora de rastrear el movimiento de una neurona a lo largo del tiempo, esto es, el desplazamiento que sufre entre dos "frames" o imágenes consecutivas de la secuencia de imágenes de la evolución del cultivo, es la necesidad de disponer de puntos de referencia en el espacio, los cuales deben permanecer fijos a lo largo de toda la secuencia. Como además cuando se toma una imagen de un cultivo no se hace del mismo en su conjunto sino de una parte concreta (campo), se hace imprescindible poder determinar que siempre se están tomando las imágenes del mismo campo. Inicialmente, antes de conocer la existencia de los microscopios "Time-lapse", se pensó que una opción que facilita el trabajo sería contar con un sistema de "micro coordenadas" o un sistema de coordenadas microscópico.

Se investigó la posibilidad de emplear discos de cultivo que llevan impreso en el fondo un eje de coordenadas microscópico, pero dichos sistemas de coordenadas dan información relativa al origen de coordenadas en vez de información absoluta relativa a cada punto concreto de la placa, y al hacer zoom para poder tomar la imagen del campo deseado se pierde la referencia al origen de coordenadas, lo que merma la utilidad de dicho sistema de coordenadas (además estos discos de cultivo son extremadamente caros). A priori, la utilización de un microscopio de tipo "Time-lapse" parece que resolvería este problema al no ser necesario la utilización de este tipo de discos de cultivo, pero se plantean muchas incógnitas al respecto tales como: *¿sobrevivirá el cultivo de neuronas en el entorno del microscopio el tiempo necesario para realizar los experimentos (las neuronas son células muy sensibles)?; ¿será viable desde el punto de vista económico realizar este tipo de experimentos?; ¿será posible programar la toma de imágenes o deberá realizarse de forma manual?*, etc. **Se requiere más investigación para resolver este problema.**

6. **Análisis de neuritas.** Otro de los aspectos imprescindibles para los biólogos a la hora de analizar la evolución de un cultivo de neuronas es poder detectar y medir las variaciones que sufren las neuritas que las neuronas van desarrollando a lo largo del tiempo. Se intuye que, el uso de microscopios de tipo "Time-lapse" sería imprescindible para poder abordar este problema, ya que permitiría obtener secuencias de imágenes (casi vídeos) que ayudarían en gran medida a entender la evolución de las neuritas. **Este objetivo aún no pudo ser abordado por falta de tiempo.**
7. **Difusión de resultados.** En el periodo de tiempo de ejecución de este proyecto no ha sido posible obtener resultados susceptibles de ser divulgados mediante una publicación. El grueso del trabajo realizado se dedicó a la comprensión de la magnitud del problema al que nos enfrentamos y de sus condicionantes de contorno, a la revisión bibliográfica de las soluciones existentes para este mismo problema o para problemas afines (otros tipos de cultivos), a la elección de las soluciones (algoritmos) más adecuados a implementar, etc.
8. **Propiedad Intelectual.** Los resultados obtenidos hasta la fecha no son susceptibles de ser registrados aún. En el futuro, a medida que se obtengan resultados registrables, se procederá a su protección.

3. Tareas realizadas:

- **Algoritmo de separación de neuronas:** Las máscaras de segmentación presentan un problema para la definición de las neuronas, y es que cuando la imagen muestra un cúmulo o agrupación de neuronas solapadas, la máscara binaria muestra píxeles solapados. Esto hace que el sistema no pueda diferenciar si lo que se está definido con la máscara es una o varias neuronas. Para resolver este problema se optó por utilizar el algoritmo de Voronoi [1], el cual, calcula los puntos centrales de las diferentes regiones de una imagen, consiguiendo delimitar dichas regiones asignando el resto de los puntos por cercanía al punto central definido. La salida de la implementación utilizada de este algoritmo es una imagen en escala de grises donde dos objetos identificados tienen diferente tonalidad de gris. A continuación, el algoritmo desarrollado analiza los colores que rodean a cada uno de los píxeles de la imagen buscando aquellos que tienen algún vecino de diferente tonalidad cromática. Cuando se detecta alguna de estas diferencias, se marca dicho píxel con el color del fondo

(negro), separando de esta manera cualquier neurona solapada, tal como se puede ver en la figura 2.

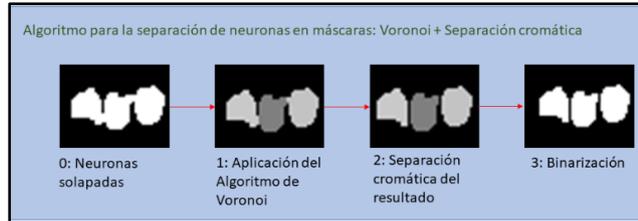


Figura 2. Solución al problema del solapamiento de neuronas.

- Script de adaptación de anotaciones:** Al utilizar dos sistemas diferentes para la extracción de información visual de las neuronas (Segmentación y Detección de Objetos), se precisó de la realización de un script que convirtiera máscaras de segmentación (imágenes binarias donde se define la posición de las neuronas en cada imagen de entrenamiento), a documentos de anotaciones de Detección de Objetos (documentos de texto en los que en cada línea se definen las cuatro coordenadas que definen una neurona). En la figura 3 se muestra el proceso de conversión.

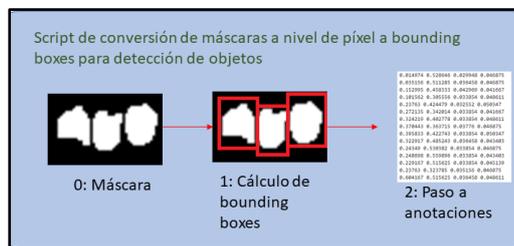


Figura 3. Conversión de máscaras de segmentación a documentos de anotaciones.

- Generación del modelo de Segmentación:** Partiendo de un set de 300 imágenes de entrenamiento y sus correspondientes máscaras de segmentación se ha entrenado un modelo U-Net [3] de segmentación de neuronas tras implementar una fase de preprocesamiento de imágenes de entrada.
- Generación del modelo de Detección de Objetos:** Partiendo del mismo set de 300 imágenes de entrenamiento y sus respectivas anotaciones obtenidas mediante el proceso mostrado en la figura 3, se ha entrenado un modelo YOLO v5 [2] de detección de neuronas tras implementar una fase de preprocesamiento de imágenes de entrada.
- Fase de pruebas de ambos modelos:** Se realizan dos fases de pruebas paralelas, una de validación cruzada en 10 folds que permita obtener métricas individuales de ambos modelos, así como una validación tradicional 70%-30% preservando ambos sets de entrenamiento-test en ambos modelos con el fin de poder hacer comparaciones objetivas entre ambos.

4. Resultados obtenidos:

Al haber empleado dos modelos diferentes para la identificación de neuronas, se han obtenido dos grupos de resultados. Por un lado, los resultados del modelo de Segmentación son de un 93% de IOU y una precisión también del 93%. Los resultados finales del modelo de detección de neuronas alcanzan una tasa de detección del 96%, así como una precisión del 94% sobre el conjunto de imágenes de prueba.

Cabe destacar que estos resultados no son directamente comparables entre sí tal cual se muestran previamente ya que el modelo de Segmentación trabaja a nivel de píxel, es decir, identifica la pertenencia o no de cada píxel de la imagen a una neurona o al fondo, mientras

que el modelo de Identificación de Objetos trabaja directamente a nivel de neurona, es decir, indica qué neuronas hay en la imagen. Para poder comparar ambos resultados, es imprescindible identificar primero qué píxeles conforman cada neurona y a continuación transformar las métricas obtenidas a nivel de píxel en métricas a nivel de neurona.

Por otro lado, los algoritmos necesarios para poder llevar a cabo el entrenamiento de ambos modelos tuvieron una eficacia del 100%, no detectándose ningún fallo en los resultados obtenidos. Por una parte, las máscaras generadas con el algoritmo de separación de neuronas no presentan ningún píxel de unión entre las más de 300 neuronas inicialmente solapadas. Por otra parte, se pudo comprobar que la conversión de máscaras a anotaciones fue completamente satisfactoria gracias a la generación gráfica de las "bounding boxes" sobre imágenes de salida y su posterior comprobación manual.

5. Trabajos o necesidades futuras

1. **Transformación de las métricas** obtenidas con el modelo de Segmentación a nivel de Píxel en métricas de nivel de instancia, para poder compararlas con las métricas del modelo de Identificación de Objetos.
2. **Implementación de un modelo** de Segmentación a nivel de Instancia y su comparación con los dos modelos anteriores, de forma tal que se pueda establecer cuál es más adecuado para el trabajo de los investigadores biólogos.
3. **Seguimiento del movimiento de las neuronas.** En este sentido será clave determinar si es viable la utilización de un microscopio "Time-Lapse" que permite tomar imágenes de los cultivos con una frecuencia mayor que la que se venía empleando hasta ahora. Es imprescindible aumentar dicha frecuencia porque en los estados iniciales del desarrollo neuronal, éstas realizan grandes desplazamientos (a escala microscópica) llegando incluso a salirse en poco tiempo del campo que está siendo analizado (del que se están tomando las imágenes). Es posible que para poder realizar el correcto seguimiento del movimiento de las neuronas sea necesario tomar imágenes no solo de un campo, sino de varios campos adyacentes. Esto implicaría la necesidad de que el microscopio a emplear, además de incorporar una cámara de cultivo (es decir ser de tipo "Time-lapse"), contase con la posibilidad de programar el campo o campos de los cuales tomar imágenes y la posibilidad de desplazarse entre ellos de forma automática.
4. **Análisis de la evolución de las neuritas.** De nuevo para poder realizar el seguimiento y análisis de la evolución de las neuritas que conectan las neuronas, es necesario contar con un microscopio de tipo "Time-lapse" que permite tomar imágenes del cultivo de forma reiterada con una frecuencia dada. Tampoco es descartable pensar que las neuronas comienzan a desarrollar sus conexiones antes de haber alcanzado su ubicación definitiva dentro del cultivo, por lo que en ese caso de nuevo sería necesario contar con un microscopio que permitiese tomar imágenes de forma automática de diferentes campos previamente definidos. El análisis de las neuritas implica medir parámetros diferentes a los medidos al analizar el movimiento de las neuronas, tales como grosor, longitud, orientación, etc. El análisis de esas características implica inevitablemente el uso de técnicas diferentes a las empleadas para el análisis del movimiento de las neuronas.

6. Divulgación de los resultados

Uno de los objetivos establecidos inicialmente consistía en la publicación de resultados. Hasta este momento no ha sido posible lograr este objetivo ya que el desarrollo de la propia investigación ha llevado más tiempo de lo inicialmente planeado. En estos momentos se está en la fase de comparación de los resultados obtenidos al aplicar las dos técnicas desarrolladas para la detección de neuronas (objetivo 2), por lo que ya se ha comenzado a elaborar el contenido de un artículo científico que será sometido a evaluación a una publicación internacional de alto impacto a lo largo del mes de enero.

Memoria económica:

1. Gastos:

En el desarrollo del proyecto participaron los investigadores indicados en la solicitud, Víctor Manuel González y María Teresa Fernández, además de la persona contratada. Se estima que el trabajo realizado por estas personas, excepto el de la persona contratada, asciende a un total de 15.000 €. Se valora que el uso del equipamiento necesario para el desarrollo de este proyecto, fundamentalmente ordenadores, la cámara para el cultivo de neuronas y el microscopio y cámara para la toma de imágenes, implica un coste imputable a este proyecto por amortización de 2.000 €. Los materiales fungibles necesarios para cultivar las neuronas imputables a este proyecto ascienden a 500 €. Los viajes realizados para el desarrollo del proyecto ascienden a 1.000 €.

Concepto	Gasto
Personal	15.000 €
Amortización	2.000 €
Fungibles	500 €
Viáticos	1.000 €
TOTAL GASTOS	18.500 €

2. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Ayuda IUTA: Contratación de personal	2.801 €
Universidad de Oviedo	Personal	15.000 €
Recursos propios	Amortización, Fungibles y Viáticos	3.500 €
TOTAL INGRESOS		18.500 €

Bibliografía

1. Documentación oficial de la implementación del algoritmo de Voronoi de la librería PyClesperanto [Online] Disponible en:
https://haesleinhuepf.github.io/BioImageAnalysisNotebooks/20_image_segmentation/11_voronoi_otsu_labeling.html?highlight=voronoi
2. Ultralytics "YOLOv5" 2021 [Online]. Disponible en: <https://github.com/ultralytics/yolov5>
3. Ronneberger, O., Fischer, P., Brox, T. (2015). U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. In: Navab, N., Hornegger, J., Wells, W., Frangi, A. (eds) Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015. MICCAI 2015. Lecture Notes in Computer Science(), vol 9351. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4_28
4. Du, X., Liu, M., & Sun, Y. (2022). Segmentation, Detection, and Tracking of Stem Cell Image by Digital Twins and Lightweight Deep Learning. Computational Intelligence and Neuroscience, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/6003293>
5. Ghafari, M., Mailman, D., Hatami, P., Peyton, T., Yang, L., Dang, W., & Qin, H. (2022). A Comparison of YOLO and Mask-RCNN for Detecting Cells from Microfluidic Images. 4th International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication, ICAIIC 2022 - Proceedings, 204–209. <https://doi.org/10.1109/ICAIIIC54071.2022.9722616>
6. Lee, Y., Xie, J., Lee, E., Sudarsanan, S., Lin, D.-T., Chen, R., & Bhattacharyya, S. S. (2020). Real-Time Neuron Detection and Neural Signal Extraction Platform for Miniature Calcium Imaging. Frontiers in Computational Neuroscience, 14, 43. <https://doi.org/10.3389/fncom.2020.00043>
7. Schiegg, M., Hanslovsky, P., Haubold, C., Koethe, U., Hufnagel, L., & Hamprecht, F. A. (2015). Graphical model for joint segmentation and tracking of multiple dividing cells. Bioinformatics, 31(6), 948–956. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btu764>
8. Vuola, A. O., Akram, S. U., & Kannala, J. (2019). Mask-RCNN and u-net ensembled for nuclei segmentation. Proceedings - International Symposium on Biomedical Imaging, 2019-April, 208–212. <https://doi.org/10.1109/ISBI.2019.8759574>

INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-23

Modelado avanzado de uniones estructurales ligeras

Fechas inicial y final del proyecto:

04 / 07 / 2022 al 30 / 12 / 2022

Investigador/a Principal:

Javier Gracia Rodríguez

Otros investigadores:

Carlos López-Colina Pérez y Miguel Ángel Serrano López

Personal contratado:

Diego García Picallo

Fechas inicial y final de contratación:

04 / 07 / 22 al 30 / 12 / 22

Empresas o instituciones colaboradoras:

ArcelorMittal Tubular Products Europe

Resumen Gráfico



Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

En el análisis estructural en general y de las estructuras metálicas en particular una de las principales líneas en las que se ha venido intensificando la investigación y ha ocupado gran parte de las novedades en la normativa de diseño [1-3] en los últimos tiempos es la caracterización de las uniones [5-6]. Esto es debido a la gran importancia que tiene conocer la resistencia de las uniones entre elementos estructurales y el hecho de que éstas presenten una rigidez que se corresponda con la implementada en el cálculo estructural.

Las uniones estructurales se han diseñado tradicionalmente como perfectamente rígidas (sin giro relativo entre las piezas) o simples (con libertad de giro relativo), aplicando criterios de diseño de estas, que intentan aproximarse al máximo a esa consideración puramente teórica. Sin embargo, en muchos casos, los detalles constructivos sencillos y económicos no se ajustan a las uniones de elevada rigidez. Por otra parte, en los edificios típicos de estructura porticada (con pilares y vigas ortogonales) es sabido la consideración de una rigidez intermedia en las uniones que permite minimizar el peso global de acero en la estructura [7].

El Eurocódigo 3 en su parte 1.8 [3] permite evaluar la resistencia y rigidez de las uniones entre perfiles en I o en H. Se divide la unión en diferentes partes, proponiendo una determinada resistencia y rigidez a cada una, para después ensamblarlas como un conjunto de muelles en serie y en paralelo. Con este sistema puede obtenerse la resistencia última de la unión y la rigidez rotacional inicial de la misma. El código sólo contempla esto para perfiles abiertos mientras que para las uniones con perfiles huecos solo aparecen fórmulas de resistencia en algunos casos concretos de uniones soldadas. Nada indican los códigos de diseño sobre la evaluación de su rigidez y su posible consideración como uniones semirrígidas, y mucho menos en los casos en los que en lugar de trabajar con uniones soldadas se ejecutan uniones atornilladas, ya que estas ni siquiera se contemplan para dar una estimación de su resistencia. Las uniones atornilladas que involucran a perfiles tubulares se han limitado tradicionalmente a bridas de unión entre perfiles en continuidad. Las uniones viga-pilar atornilladas con perfiles huecos han sido relegadas a un segundo plano al no ser posible un atornillado directo a la cara del pilar (no hay modo de apretar desde el interior del tubo). Así la mayor parte de soluciones atornilladas existentes [8] requieren de piezas intermedias

soldadas o de caros sistemas de tornillos ciegos. Los problemas que existen para atornillar piezas a tubos limitan notablemente el uso de esta tipología de perfiles dada la tendencia actual a evitar todo lo posible la soldadura en obra y potenciar la ejecución de estructuras fácilmente montables y desmontables mediante tornillos.

Si se salvan satisfactoriamente las limitaciones expuestas, los perfiles tubulares tienen un enorme potencial de uso en estructuras [8] más allá de su tradicional uso en celosías. Principalmente, sus ventajas se ven en pilares, debido a sus excelentes características mecánicas a compresión cuando no hay una restricción clara al pandeo alrededor del eje débil. Tampoco es desdeñable su uso en vigas, debido a que compensan la menor relación inercia/masa respecto a los perfiles en I con una mucho mayor resistencia torsional, que, en cálculos habituales, hace innecesaria la comprobación a pandeo lateral-torsional. Esto es especialmente útil en vigas sin arriostramiento de su ala comprimida.

Además, los perfiles tubulares se han ido extendiendo tanto por sus cualidades estéticas [9] como por la facilidad en la aplicación de recubrimientos. También, el desarrollo de métodos constructivos, como los que incluyen un relleno de hormigón o de agua en el pilar tubular, aumenta mucho la resistencia frente al fuego de la estructura. Aún sin ningún tipo de relleno adicional, el comportamiento de los perfiles tubulares frente al fuego es mejor que el de los perfiles abiertos. Entre las secciones tubulares, los perfiles rectangulares o cuadrados (RHS o SHS) presentan una mayor ventaja práctica para la ejecución de las uniones permitiendo ejecutarlas mediante cortes planos.

Dado que la investigación en torno a las uniones semirrígidas en general se ha dirigido a aquellas entre perfiles abiertos I o H, no son muchas las referencias bibliográficas que se pueden aportar en lo relativo a métodos de evaluación de rigidez de componentes para uniones con perfiles huecos. El principal esfuerzo hasta al momento se corresponde con los proyectos promovidos por el CIDECT (Comité International pour le Developpement et l'Etude de la Construction Tubulaire) en colaboración con expertos de Lieja y Aquisgrán [10-13]. Sin embargo, dichos trabajos sólo suponen un paso inicial en el planteamiento del problema, proporcionando una revisión exhaustiva de la bibliografía existente y planteando determinados conjuntos de componentes identificados en las uniones con pilares tubulares rectangulares (RHS). De manera adicional se propusieron algunas fórmulas analíticas para evaluar la resistencia (y a veces la rigidez) de los componentes identificados, en la mayoría de los casos aplicando directamente algunas ecuaciones del Eurocódigo 3-1.8 [3] creadas para la evaluación de uniones completas entre perfiles huecos y no para componentes aislados. Dada esta carencia de conocimientos en torno a la rigidez de las uniones con perfiles tubulares, ni tan siquiera el propio CIDECT ha publicado indicaciones claras en torno a esta metodología en sus guías de diseño [14-15], que siempre presentan los últimos avances para los diseñadores, y que más tarde suelen ser incluidas por la normativa internacional.

Parece por tanto necesario investigar las uniones viga-pilar en las que se unen perfiles huecos rectangulares (RHS). En concreto es muy útil explorar uniones atornilladas de fácil fabricación y montaje, minimizando en la medida de lo posible o incluso eliminando las soldaduras de dificultad y evitando cualquier trabajo en obra que implique personal altamente cualificado o destrezas y riesgos laborales importantes.

La presente propuesta de proyecto pretende estudiar uniones que cumplen todas las condiciones anteriores, y realizar una caracterización, en términos de rigidez, resistencia y aplicabilidad a estructuras reales de un tipo de unión que no ha sido estudiada, pero de gran potencial en estructuras ligeras o incluso construcciones provisionales desmontables.

1.1 Estado del Arte.

En cuanto a labor de búsqueda de proyectos previamente realizados que guardan alguna relación con este proyecto, se han podido encontrar estudios realizados a uniones de perfiles conformados en frío en modelos tubulares, y siendo estos unidos por otro perfil de menor diámetro mediante tornillos convencionales [16-17], siendo estas uniones puestas a prueba mediante esfuerzos de tracción y compresión. Otro de los estudios realizados a este tipo de uniones se encuentra en la unión ortogonal viga pilar, la cual se realiza mediante el uso de unas chapas y unos tornillos normales, los cuales están encargados de fijar la viga al pilar desde el exterior [18], en esta propuesta se presenta como atractivo el uso de los perfiles y los tornillos auto taladrantes como único mecanismo de unión, lo cual conlleva menos costes, menos tiempo de instalación, y una mejora de la seguridad de los operarios. En el caso de la cumbrera, se han estudiado las fuerzas que resistiría dicha unión mediante la unión por soldadura de ambos perfiles a una placa de acero 10 mm de espesor, ofreciendo esta una resistencia a momento considerablemente alta [19].

En el caso de estudios previos sobre el comportamiento de los tornillos auto taladrantes como mecanismos de unión, se encuentran estudios realizados a cumbreras, las cuales se colocaban en posición vertical (a modo de rótula), siendo cargadas desde uno de los extremos, produciéndose así unos esfuerzos de compresión y originando momentos en la unión [20], otro de los ensayos que se realizaron sobre tornillos auto taladrantes, consistieron en la unión de dos placas de acero con distinta cantidad de tornillos, y observando el comportamiento de los mismos ante fuerzas de tracción producidas desde los extremos de las máquinas [21]. Algo que se ha investigado con asiduidad, ha sido como el ángulo de perforación de los tornillos podía afectar a la resistencia de estos, y como en función de la estructura de ellos, es decir, su cabezal, y su tamaño de rosca se obtenían unas resistencias mayores en función del tipo de unión y de esfuerzos a los que estos habían de ser sometidos [22].

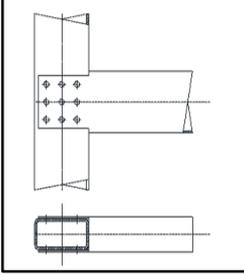
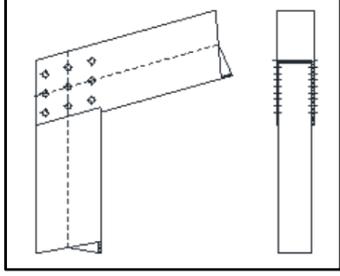
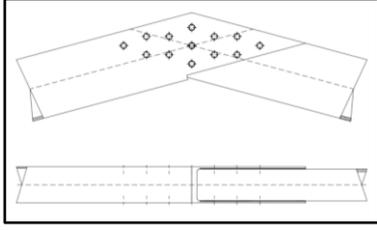
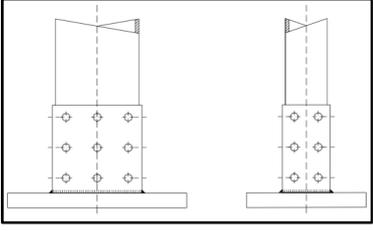
2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

La presente propuesta de proyecto pretende estudiar uniones que cumplen todas las condiciones anteriormente mencionadas, y realizar una caracterización, en términos de rigidez, resistencia y aplicabilidad a estructuras reales de un tipo de unión que no ha sido estudiada, pero de gran potencial en estructuras ligeras o incluso construcciones provisionales desmontables. Se trata de las que se conocerán como “uniones acoplables atornilladas entre RHS”.

Para ello se desarrolla una hoja de ruta a seguir la cual consta de los siguientes pasos:

1. Búsqueda de información relacionada con todo tipo de estudios cuyo tema principal sean los comportamientos de las uniones mediante tornillos auto taladrantes, así como el comportamiento de los perfiles ante diferentes esfuerzos a los que deben ser sometidos.
2. Realizar un diseño inicial y acotado de cómo deberían ser las diferentes uniones que van a ser estudiadas a lo largo del proyecto.
3. Elaborar unas hipótesis iniciales del comportamiento que debería tener dichas uniones en condiciones ideales (aguante de los tornillos a los momentos producidos, o el punto de giro de cada unión).
4. Diseñar las probetas en el laboratorio y someterlas a estudio en las diferentes máquinas disponibles, diseñando y construyendo los anclajes necesarios para que se puedan acoplar dichas a probetas a las máquinas.
5. Analizar los resultados obtenidos de los diferentes estudios.
6. Realizar simulaciones numéricas con distintas distribuciones de tornillos en base a los resultados obtenidos en la etapa anterior. Para ello se emplea el programa ANSYS.
7. Obtener los resultados óptimos posibles y elaborar unas conclusiones.

En cuanto a las uniones que van a ser sujetas a estudio, se encuentran las siguientes:

Unión Ortogonal Viga-Pilar	Unión Dintel-Pilar	Unión Cumbreira entre Dinteles	Unión Placa Base-Pilar
			
<p>Figura 1. Unión Ortogonal Viga-Pilar</p>	<p>Figura 2. Unión Dintel-Pilar</p>	<p>Figura 3: Cumbreira entre Dinteles</p>	<p>Figura 4: Unión Placa Base-Pilar</p>

Los perfiles utilizados son los perfiles tubulares RHS 140x70x6 mm y RHS 140x80x4 mm con una longitud de 950 mm.

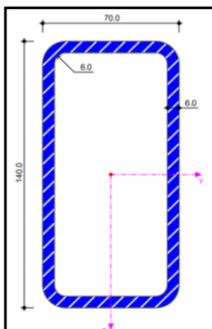


Figura 5. Perfil RHS 140x80x6

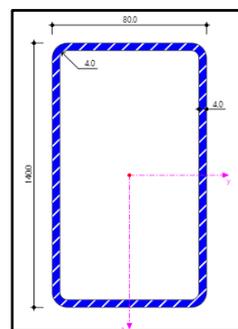


Figura 6. Perfil RHS 140x70x6

En cuanto a los tornillos autoperforantes empleados para conseguir la unión de los tubos, son los tornillos AUTO de la marca INDEX los cuales están hechos de acero y son adecuados para su uso en la perforación de chapas y perfiles de acero, constan de una cabeza hexagonal con arandela estampada, y una punta de broca viga. Las dimensiones del modelo exacto que se va a emplear son mostradas en la siguiente figura:

CODIGO		M 5.5
d:	diámetro arandela cabeza	[mm] 11
k:	espesor cabeza	[mm] 5.3
c:	espesor arandela	[mm] 1.15
s:	llave fija	[mm] 8
Punta		#5
D:	diámetro exterior rosca	[mm] 5.5
d:	diámetro interior rosca	[mm] 4.6
p:	paso rosca	[mm] 1.06
l:	longitudes	32 - 38
Código punta de instalación (boca magnética hexagonal)		BOCA008
Capacidad de taladrado		[mm] 4.0 - 12.0

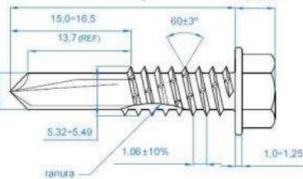
PLANO	
	

Figura 7. Ficha Técnica de Tornillos Auto taladrantes

La instalación de dichos tornillos es bastante delicada debido al reducido tamaño de estos, y a las fuerzas a las que estos son sometidos, tanto de par de giro como de fricción entre el tornillo

y la superficie de los tubos de acero; por ello se recogen los siguientes criterios de instalación que se han de llevar a cabo durante el proceso de diseño de las probetas.

Parámetro		ST 3.5	ST 3.9	ST 4.2	ST 4.8	ST 5.5 M 5.5	ST 6.3
Fuerza máxima instalación	[N]	150	200	250	250	350	350
Velocidad taladrado	Acero	1800 - 2500				1000 - 1800	
	Acero inox.	1000 - 1500				600 - 1000	
Tiempo máximo	[sg]	4	4.5	5	7	11	13
Par máximo	[Nm]	2.8	3.8	4.7	6.9	10.4	16.9
10 N = 1 Kg 10 Nm = 1Kg m *A tiempos altos de taladrado o velocidad excesiva de taladrado hay riesgo de quemar la punta broca, no consiguiendo por tanto taladrar el material.							
TORNILLO	Ø ROSCA	ESPESOR A TALADRAR EN ACERO [mm]					
AUTO	5.5	4.0				12.0	

Figura 8. Parámetros de Instalación de los Tornillos Auto Taladrantes

2.1 Hipótesis Iniciales

Para el desarrollo de este proyecto de investigación se deben establecer unas hipótesis iniciales en base a los procedimientos teóricos en el análisis de resistencia de los tornillos respecto a los momentos producidos por las cargas a las que han de ser sometidas las diferentes probetas.

Para poder dimensionar dichos comportamientos se han hallar las resistencias de los tornillos a los esfuerzos cortantes; debido a que todos los tornillos son iguales, se puede aplicar la siguiente fórmula:

$$F_{m,i} = \frac{M}{\sum r_i^2} \cdot r_i$$

El objetivo de esta fórmula es hallar el momento que soporta cada tornillo en función de la distancia del punto de giro a la que se encuentre. Con ella, se puede obtener el cortante causado por el momento M que recibe el tornillo más desfavorable (a distancia r_{max} del centro de rotaciones). Por tanto, el momento en el instante de fallo del tornillo más desfavorable (si la unión solo soportarse momento) se obtiene como:

$$M_R = \frac{F_{v,R} \cdot \sum r_i^2}{r_{max}}$$

Siendo:

- $F_{v,R}$ = resistencia a cortadura del tornillo. Según el catálogo: 4,82 kN.

Este momento resistente puede actuar como límite inferior de la resistencia al momento de la unión, dado que se relaciona con el fallo por plastificación del tornillo más solicitado. El límite superior del momento resistente sería más alto, pudiendo alcanzarse cuando plastifican sucesivamente todos los tornillos. Se corresponde con el siguiente momento:

$$M_R = \sum_{i=0}^n F_{v,R} \cdot r_i$$

Todo lo anterior relativo a la obtención de momentos resistentes es válido exclusivamente si el único esfuerzo que soporta la unión es un momento. En realidad, la unión atornillada puede (y

suele) soportar también un esfuerzo cortante, que suele considerarse que se reparte por igual entre todos los tornillos y que daría un fallo prematuro a la unión en relación con las predicciones anteriores.

Una vez determinado el modo en el que se van a sacar las primeras conclusiones, se realizan unas simulaciones en Excel para saber cuál será el Momento Resistente de las uniones con 9 tornillos en cada cara, es decir, con un total de 18 tornillos. Para disponer estos tornillos se consideró una orientación de estos que siguiese lo más exactamente posible la dirección de los lados que conforman la unión, y buscando siempre una separación entre ellos y entre ellos y los límites de la unión, una distancia al menos igual a 6 veces el diámetro de la cabeza del tornillo (5,5 mm), siendo esa separación mínima considerada de 33 mm.

2.2 Momento Resistente de la Unión Viga-Pilar

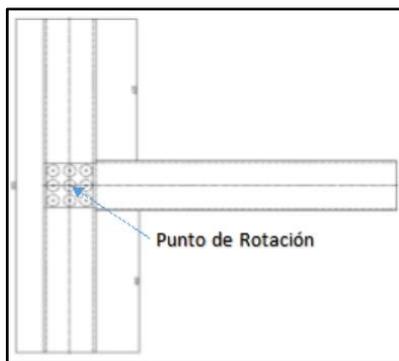


Figura 9. Esquema 9 Tornillos Unión Viga-Pilar

Una vez representado el esquema de la unión, cuyo primer punto de rotación es identificado en la imagen, se miden los valores de los radios (los cuales han sido corregidos tras el proceso de diseño de las probetas), y se aplican las fórmulas anteriormente mencionadas para sacar el momento resistente teórico de la unión (7,166 kNm). Otra de las alternativas propuestas para esta unión es la de que el punto de giro se traslade al tornillo central de la unión, debido a posibles errores cometidos durante la fase de diseño de las probetas:

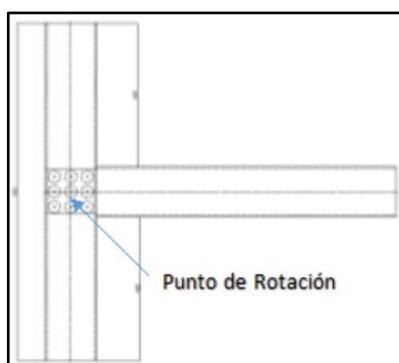


Figura 10. Alternativa al Punto de Giro

En esta alternativa se obtiene un momento en la unión (5,651 kNm). Para la alternativa en la cual la viga se encuentra en el interior del pilar se obtiene el siguiente punto de giro y los siguientes resultados:

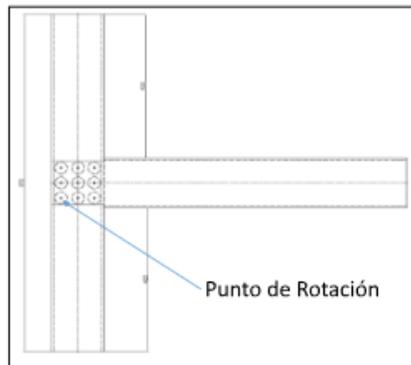


Figura 11. Probeta Alternativa Viga Pilar

En este modelo se obtiene un momento máximo de 10,301 kNm.

2.3 Momento Resistente de la Unión Viga-Pilar

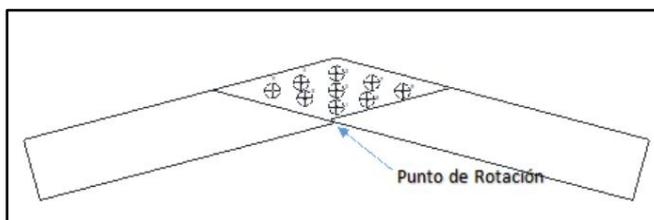


Figura 12. Modelo de 9 Tornillos de Cumbrera

El momento resistente obtenido para esta unión es 14,281 kNm.

3. Tareas realizadas:

Una vez realizadas las hipótesis iniciales se procede al diseño de las probetas que van a ser sujetas a estudio, para ello se realizan unos planos de los cortes que se han de realizar mediante el uso de la radial y se marcan las disposiciones que han de llevar los tornillos.

3.1 Unión de Cumbrera entre Dinteles

Para el modelo de unión de cumbrera entre dinteles se diseña un plano conceptual más preciso de cómo han de ser las medidas exactas que ha de tener la probeta; el ángulo que se busca que formen los dos perfiles es de 150° , con este ángulo la distancia de los puntos de apoyo de la probeta y la altura de esta, serán los adecuados para poder llevar a cabo los ensayos en la respectiva máquina.

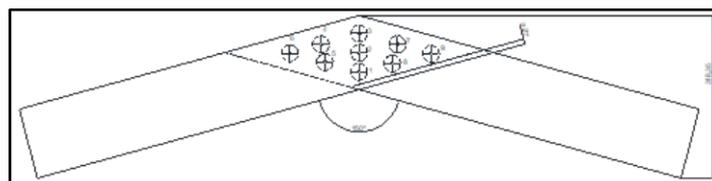


Figura 13. Plano de La Unión Cumbrera entre Dinteles

Una vez representado, se procede al diseño de los perfiles que han de unirse, para poder llevarlos al taller y empezar con los cortes necesarios:

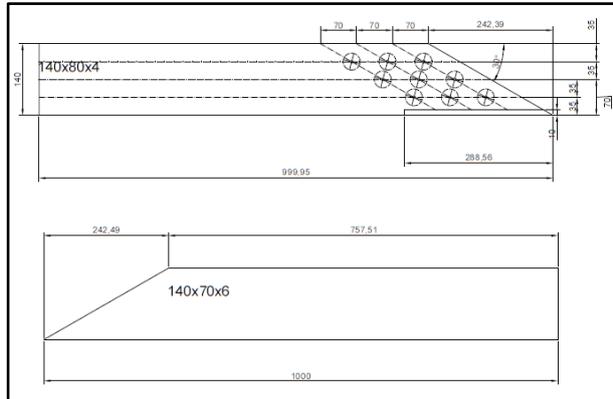


Figura 14. Planos de los Perfiles de la Unión Cumbra entre Dinteles

Ahora que ya se tienen todos los planos correctamente diseñados se procede a la fase de preparación, para este modelo de unión se prepararon 5 probetas con el mismo número de tornillos, las cuales se van a explicar ahora.

- **PROBETA 1:**

En la probeta 1 se cometieron numerosos fallos debido a que era la primera toma de contacto con el diseño, el más representativo es que debido a la forma en la que fueron fabricados los perfiles, el perfil exterior al realizar los cortes se produce una abertura en las alas de este:



Figura 15. Apertura del Perfil Exterior

Esto se debe a su proceso de fabricación en frío, lo que provoca que las tensiones residuales producidas por el corte en radial generan una apertura de los laterales de este. Esta reacción no se puede evitar, por lo que la medida adoptada es el uso de abrazaderas en el momento de instalar los tornillos autoperforantes para así evitar la separación de los perfiles.



Figura 16. Separación de Los Perfiles

Una vez realizados los cortes en los perfiles se unen y se mide el ángulo que forman entre ellos, cuando se verifica que cumplen los 150° se comienza el proceso de atornillado; para la instalación de los tornillos se emplea un taladro el cual tiene un par de rotación mayor que el límite de los tornillos, por ello se debe tener especial cuidado para solo taladrar hasta que el tornillo atraviese ambos perfiles y posteriormente emplear una llave dinamométrica cuyo límite de par sea el establecido por el fabricante del tornillo.

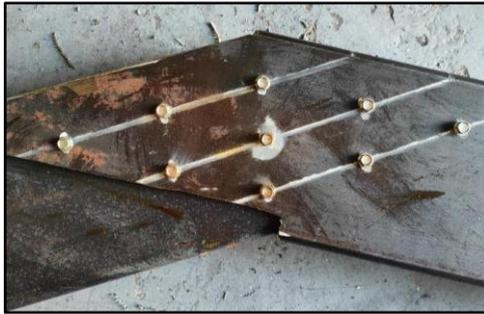


Figura 17. Tornillos Instalados en la Probeta 1

Durante la instalación de estos se produjeron algunas roturas debido a que controlar la fuerza del taladro era algo complejo, por lo que en esta probeta se rompieron dos tornillos de una misma cara.

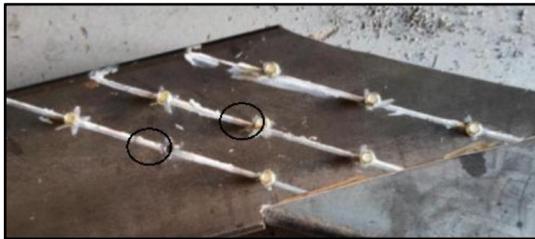


Figura 18. Tornillos Defectuosos de la Probeta

1

Una vez realizada la instalación de los tornillos se observa una separación de los perfiles producida por el efecto representado en la Figura 15, al ser esta la primera vez que se producía, no se emplearon las abrazaderas anteriormente mencionadas.



Figura 19. Separación de los perfiles de la Probeta 1

Al final del apartado se presenta una tabla con las medidas de los perfiles en cada probeta y con los aspectos y fallos cometidos en la elaboración de estas que pueden ocasionar alteraciones en el proceso de las mismas.

Una vez realizado todo el proceso de diseño, se muestra la probeta terminada en la posición en la que ha de ser estudiada.



Figura 20. Probeta 1 Finalizada

- **PROBETA 2:**

Para la probeta 2 los fallos anteriormente cometidos ya se tuvieron en cuenta y se emplearon abrazaderas en el proceso de instalación de los tornillos.



Figura 21. Abrazadera Empleada

Esto redujo notablemente la separación entre ambos perfiles como se muestra en la siguiente figura.



Figura 22. Separación entre Perfiles de la Probeta 2

El fallo más significativo cometido en la probeta 2 fue el error a la hora de dibujar el ángulo de corte en el perfil interior, lo que provocó una separación de 30mm.



Figura 23. Separación Superior de los Perfiles



Figura 24. Probeta 2

- **PROBETA 3:**

En la probeta 3 se produce una separación superior de 10mm debido a posibles errores en el uso de la radial para el corte de los perfiles, y se observa una ligera presencia de virutas.



Figura 26. Separación de la Probeta 3



Figura 25. Probeta 3

- **PROBETA 4:**

En la probeta 4 se produjo la rotura de un tornillo, una separación de 2mm en la parte superior, y una ligera presencia de virutas.

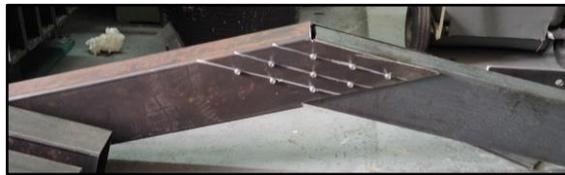


Figura 27. Probeta 4

- **PROBETA 5:**

En el desarrollo de esta probeta se produjo una separación superior de 15 mm.



Figura 28. Probeta 5

Comparativa de las probetas:

Resumen	Tornillos Rotos	Separación Superior	Separación Lateral	Presencia de Virutas
9_1	2	2 mm	Sí	Sí
9_2	0	30 mm	No	Ligera
9_3	1	10 mm	No	Ligera
9_4	1	2 mm	No	Ligera
9_5	0	15 mm	No	No

Tabla 1. Resumen de las Probetas de Cumbreira entre Dinteles

Mediciones de las probetas:

Una vez terminadas las probetas, se realiza una medición exhaustiva de todas ellas teniendo en cuenta todos los espesores de los perfiles utilizando un calibre electrónico, y el ángulo que forman entre ellas, dichas mediciones se representan en la siguiente tabla, teniendo como referencia las medidas de los perfiles mostradas en las figuras 5 y 6:

(mm)	Perfil 6 mm Espesor							Perfil 4 mm Espesor							Ángulo Unión °
	Modelo	Largo	Alto	Ancho	Espesor SUP	Espesor IZQ	Espesor Dcha	Espesor Inf	Largo	Alto	Ancho	Espesor SUP	Espesor IZQ	Espesor Dcha	
9_1	704	140	70	5,61	5,26	5,39	5,6	710	140	80	3,74	3,69	3,64	3,74	151
9_2	705	140	70	5,9	5,83	5,8	5,8	705	140	80	3,99	3,55	3,55	3,69	150
9_3	705	140	70	6,04	5,87	5,7	5,75	705	140	80	3,92	3,82	3,83	3,99	150
9_4	705	140	70	5,75	5,21	5,82	5,95	705	140	80	3,77	3,67	3,62	3,87	151
9_5	708	140	70	5,77	5,49	5,61	5,72	708	140	80	3,82	3,92	3,94	4,07	150

A continuación, se muestra un ejemplo de las referencias tomadas para las medidas de los espesores:

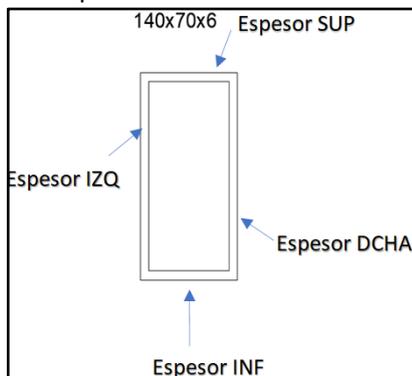


Figura 29. Referencias de las Medidas de las Probetas

3.2 Unión Ortogonal Viga-Pilar

Para el desarrollo de la unión ortogonal viga-pilar se plantean dos modelos diferentes, el primero el cual el perfil 140x80x4 abraza al perfil 140x70x6, y otra alternativa en la que el perfil 140x70x6 se ancla por el interior del perfil 140x80x4.



Unión

Figura 30. Modelo 1 de la Viga-Pilar



Figura 33. Probeta 1 de la Unión Viga-Pilar

- **PROBETA 2:**

Durante el diseño de esta probeta se cometió un error de centrado del perfil horizontal, el cual está desplazado 15mm hacia uno de los lados, además se produjo un corte las alas de contacto del perfil horizontal que se ha de tener en cuenta a la hora de situar la probeta en la máquina de ensayos, ya que, si el esfuerzo a cortante se ejerce en la misma dirección que el corte, esta unión aguanta menos de lo normal.



Figura 34. Probeta 2 de la Unión Viga Pilar

- **PROBETA ALTERNATIVA:**

Este modelo se caracteriza porque el perfil de mayor espesor es abrazado por el de menor espesor, en el cual se realiza un corte en el medio, el cual habilita la introducción del otro perfil en su interior. El problema encontrado en este diseño se debe a que, con el corte de radial, las paredes del perfil exterior no contactan con las del perfil interior, lo que afectará al punto de rotación.

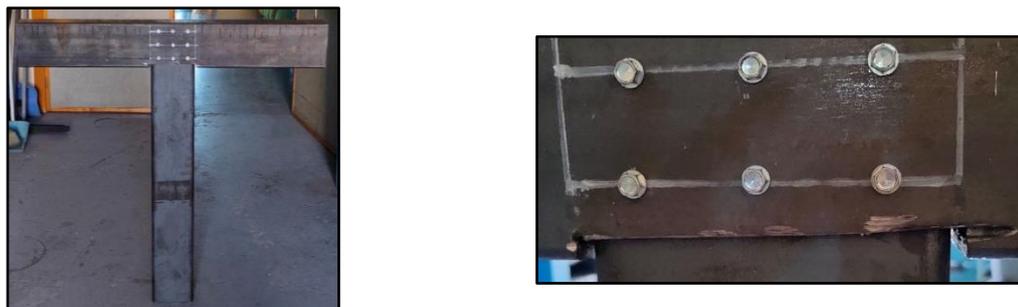


Figura 35. Probeta Alternativa Viga Pilar

Comparativa de las probetas:

	Tornillos Rotos	Contacto	Desplazamiento del centro	Grietas
Probeta 1	0	No	0	No
Probeta 2	0	Sí	15 mm	10 mm largo y 5 mm ancho
Probeta 3 (Alternativo)	0	No	20 mm	15 mm largo y 5mm ancho

Tabla 3. Tabla Comparativa de las Uniones Viga-Pilar

Mediciones de las probetas:

Probeta	Perfil 6mm							Perfil 4mm							Ángulo (°)
	Largo	Alto	Ancho	Espesor IZQ	Espesor SUP	Espesor DCHO	Espesor INF	Largo	Alto	Ancho	Espesor IZQ	Espesor SUP	Espesor DCHO	Espesor INF	
1	950	140	70	5,52	6	5,74	6,12	950	140	80	3,94	3,84	3,6	3,74	90
2	950	140	70	5,78	5,82	5,69	5,86	950	140	80	3,7	3,73	3,84	3,79	90
Alternativa	950	140	70	5,75	5,92	5,68	5,87	950	140	80	3,82	3,76	3,83	4,03	90

Tabla 4. Mediciones de las Probetas Viga-Pilar

3.3 Diseño de ensayos

A la vez que se realizaron los diseños y producción de las probetas, se diseñan los planos de los anclajes que han de diseñarse para poder utilizar las máquinas de ensayo disponibles en el taller de la manera más correcta posible; para ello se diseñan unos planos tomando medidas de las distintas máquinas, y cómo deben ser acopladas las probetas.

- **Ensayo de la Unión Cumbraera entre Dinteles**

Para realizar este ensayo se requiere del uso de una máquina MTS, la cual va a ejercer una fuerza vertical desde arriba mediante un pistón que desciende, para el correcto análisis de esta unión, los puntos de apoyo de la carga han de estar separados del centro de la unión 685 mm, por lo que se requiere del diseño de un anclaje especial que sea capaz de transmitir esos esfuerzos a la distancia anteriormente mencionada.

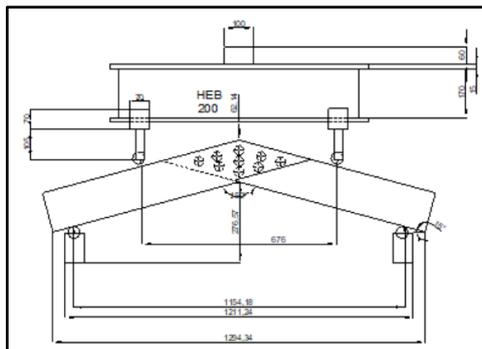


Figura 36. Modelo de Ensayo de la Cumbraera

Como se puede observar en la figura 34, se ha de tener en cuenta el punto de contacto entre los perfiles y los apoyos; además de que la altura entre la punta de la cumbraera y el anclaje sea lo suficiente como para que una vez se produzca la carga, se puedan observar deformaciones sin que estas produzcan un contacto entre la cumbraera y el anclaje.

Para el diseño del anclaje se elige un perfil HEB 200 el cual se manda a taller para que le realicen los agujeros roscados que han de unirse a la máquina mediante tornillos, y soldarle una chapa que sirva para acoplar los apoyos que van a efectuar la carga; en la siguiente figura se muestra el plano enviado al taller.

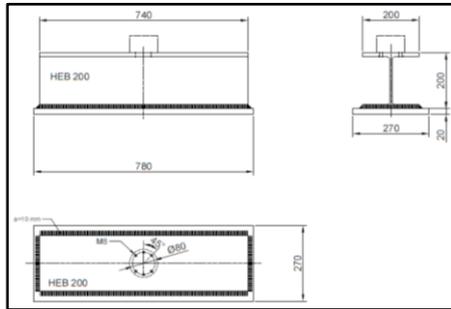


Figura 37. Plano de Anclaje del Ensayo de Cumbraera

Figura 38. Unión de Cumbraera puesta para Ensayo

- **Ensayo de la Unión Ortogonal Viga-Pilar**

En el caso del ensayo de la unión ortogonal viga-pilar se han de hacer unos ajustes en el acople de las probetas para que estas puedan cumplir con las dimensiones de dicha máquina; por otra parte, se ha de desarrollar una sujeción de la probeta a las paredes de la máquina ya que la fuerza producida en el ensayo empujará la probeta hacia delante por efecto de giro. Otro punto para tener en cuenta es que la máquina de ensayos debe distribuir las reacciones verticales a lo largo de sus perfiles, ya que des trasladadas al suelo puede darse el caso de que se levante del propio suelo; para ello se colocan unos perfiles HEB200 en horizontal que ayudan a distribuir dichas resistencias.

Para realizar el enganche se utiliza un perfil HEB200 al cual se le hacen unos agujeros con un taladro fresador magnético con una broca de diámetro 16mm, a estos agujeros se le harán pasar unos tornillos que unirán una chapa previamente agujereada (cuya función va a ser la sujeción de la probeta) a una de las paredes de la máquina de ensayo, como se muestra en las siguientes figuras.

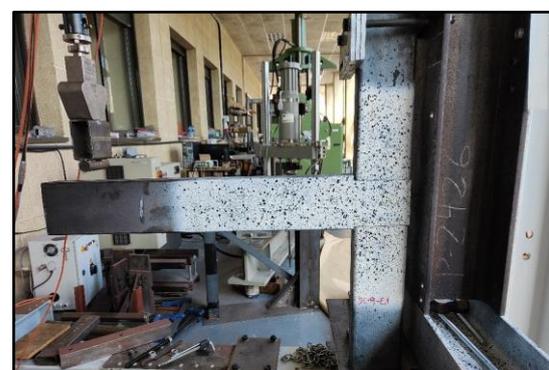
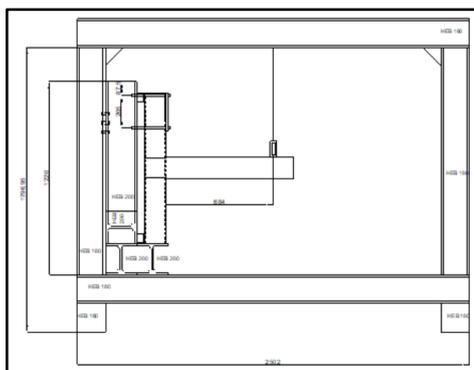


Figura 39. Esquema de Ensayo Viga-Pilar

Figura 40. Unión Viga-Pilar puesta para Ensayo

Una vez realizado el boceto, se procede al acople de todas las partes en la máquina, la cual necesita ajustar la altura para que la probeta entre, en la siguiente figura se muestra como quedarían las probetas puestas para ser ensayadas.

4. Resultados obtenidos:

Una vez diseñados los ensayos que se van a realizar se procede al inicio de estos y al posterior análisis de los resultados. Para analizar las deformaciones de las probetas se va a emplear el equipo ARAMIS, este equipo es un sistema de análisis óptico en 3D el cual proporciona coordenadas, desplazamientos, velocidades, aceleraciones, deformaciones y mediciones para elementos sometidos a cargas dinámicas o estáticas, este ofrece información completa de toda la superficie de estudio. Para poder trabajar con este equipo se deben motear las probetas, este proceso consiste en pintar las mismas con una pintura blanca a lo largo de la superficie que se quiere analizar, para posteriormente aplicarle moteados negros sobre dicha pintura blanca (se puede observar en la figura 37); con esto el sensor puede captar las deformaciones y desplazamientos de esos puntos y así poder ofrecer unos resultados que posteriormente serán representados en una gráfica y comparados con los teóricos ya obtenidos en el apartado 2.2.



Figura 41. Equipo ARAMIS empleado para los Ensayos

Algo para tener en cuenta a la hora de ensayar las probetas, es que los esfuerzos producidos por las máquinas de ensayo tienen como objetivo comprobar la resistencia de la unión, por tanto, los esfuerzos a los que se somete la probeta deben ser lo suficientemente grandes como para afectar a la unión, pero no ser tan grandes como para afectar a los perfiles, ya que esto alteraría los resultados aportando una información no relevante.

El primero de los ensayos realizados es el de la unión ortogonal viga-pilar, el cual está esquematizado en las figuras 37 y 38, y que es ejecutado de igual manera para la probeta normal, como para la de diseño alternativo anteriormente mencionadas; una vez realizado el ensayo, se obtienen dos resultados diferentes, uno ofrecido por el ARAMIS, el cual relaciona el tiempo de estudio con el giro en grados, y los resultados aportados por la máquina de esfuerzos que nos ofrece el tiempo en [s], la fuerza [kN] y el desplazamiento vertical [mm], por ello a la hora de relacionar los resultados se debe buscar la mejor coincidencia entre los tiempos de ambas máquinas, ya que no están calibradas para tomar las medidas al mismo tiempo. Una vez hecho ese filtro y tratando los datos se consiguen dos gráficas para cada probeta, una que relaciona el Momento resistido con el giro en [mrad], y otra que se centra en el inicio de esa gráfica, concretamente se empleó un rango desde 0 a 3 mrad, la cual nos ofrece una nube de puntos cuya recta de regresión nos ofrece la rigidez de la unión.

A continuación, se muestran las gráficas obtenidas para cada probeta:

● **PROBETA BC-E1**

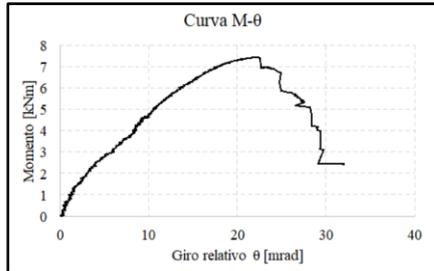


Figura 42. Gráfica de Momentos de la Probeta BC-E1

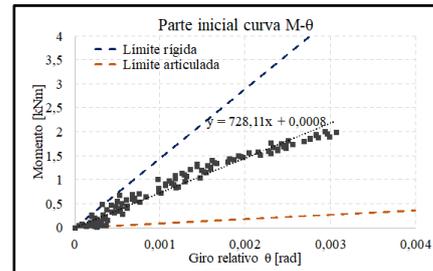


Figura 43. Rigidez de la Probeta BC-E1

Los límites representados en la figura 42 se obtienen del Eurocódigo 1.8 en la sección 5.2.2 de clasificación de uniones, en la cual se ofrece una fórmula de límite rígido y límite articulado:

$$\text{Límite Rígido} = \frac{k_b \cdot E \cdot I_b}{L_b}$$

$$\text{Límite Articulado} = \frac{0.5 \cdot E \cdot I_b}{L_b}$$

Siendo:

- $k_b = 8$ para uniones con arriostramiento.
- $E =$ Módulo de Young: 21000 Pa.
- $I_b =$ Momento de inercia más desfavorable de los perfiles: 4300000 mm⁴ para la unión viga-pilar, y 5430000 mm⁴ para la unión de cumbrera.
- $L_b =$ Longitud supuesta, la cual se supone en 5 m.

● **PROBETA BC-E2**

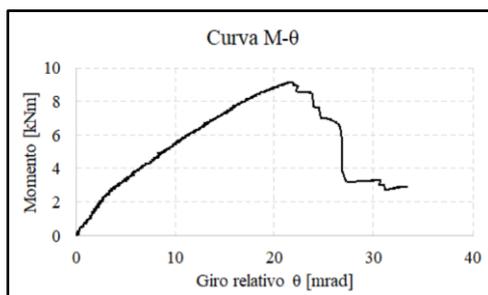


Figura 44. Gráfica de Momentos de la Probeta BC-E2

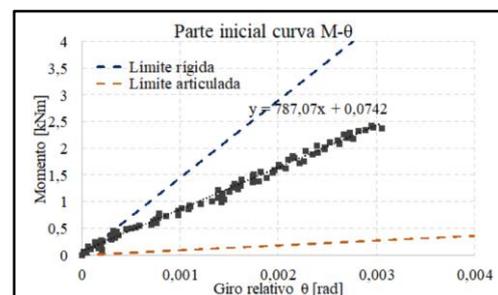
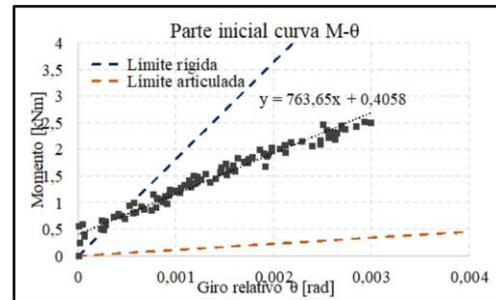
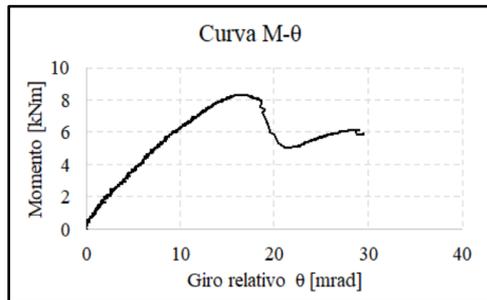


Figura 45. Rigidez de la Probeta BC-E2



● **PROBETA BC-11**

Figura 46. Gráfica de Momentos de la Probeta BC-11

Figura 47. Rigidez de la Probeta BC-11

De este tipo de uniones se obtuvieron también los esfuerzos de cortante máximos, los cuales son representados en una tabla al final de este apartado.



Figura 48. Imágenes de las Probetas Ensayadas

Para los ensayos de la unión de cumbrera se realizan mediciones de los ángulos que forman los perfiles justo antes de ser ensayados y debido a errores en el diseño de las probetas, se ha de establecer el centro de visión del ARAMIS en el tornillo central de cada unión, esto se debe a que no está perfectamente centrada debido a la complejidad de la distribución elegida para los tornillos; dicha calibración mencionada se puede observar en la figura 37. Los datos recibidos se tratan de la misma manera que en los anteriores ensayos, siendo estos más simples ya que no se producen esfuerzos cortantes.

● **PROBETA R-1**

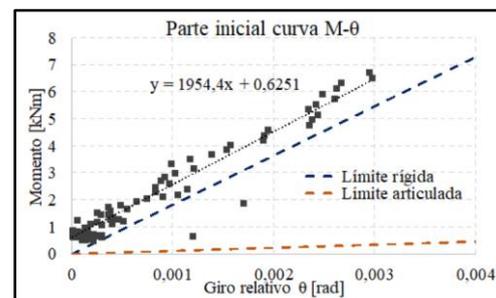
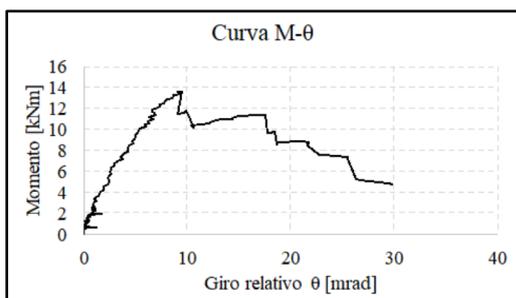


Figura 49. Momentos de la Probeta R-1

Figura 50. Rigidez de la Probeta R-1

• **PROBETA R-2**

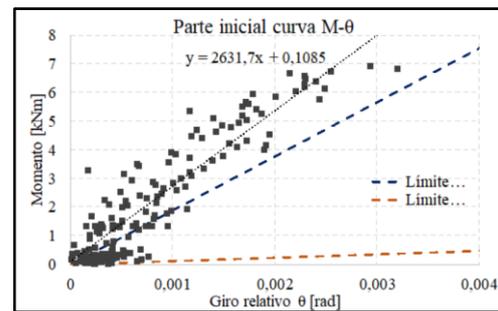
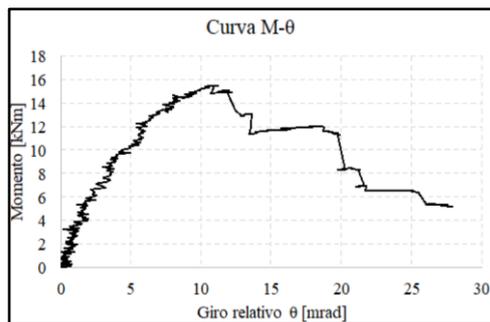
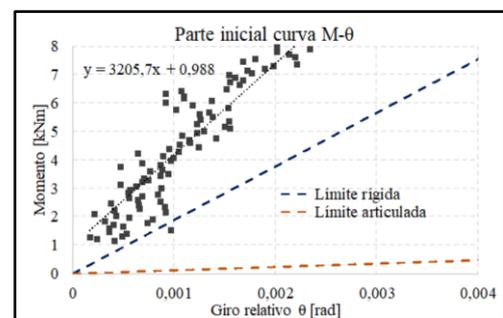


Figura 51. Momentos de la Probeta R-2

Figura 52. Rigidez de la Probeta R-2

• **PROBETA R-3**



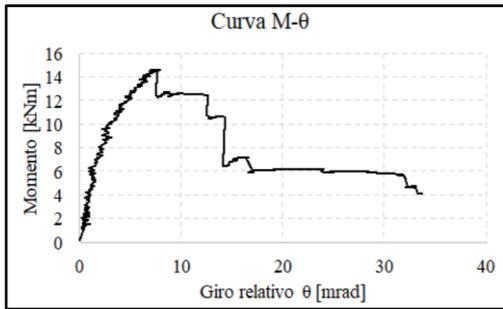


Figura 53. Momentos de la Probeta R-3

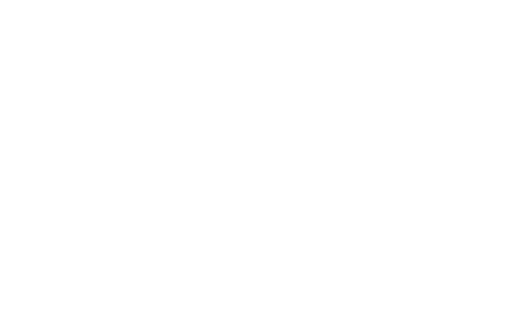


Figura 54. Rigidez de la Probeta R-3

● **PROBETA R-4**

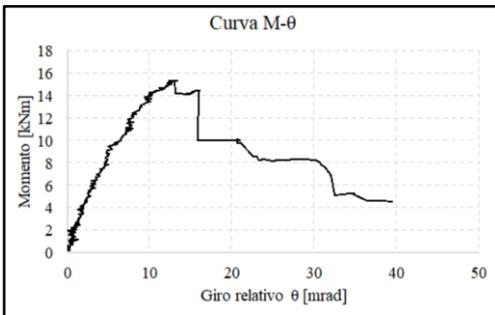


Figura 55. Momentos de la Probeta R-4

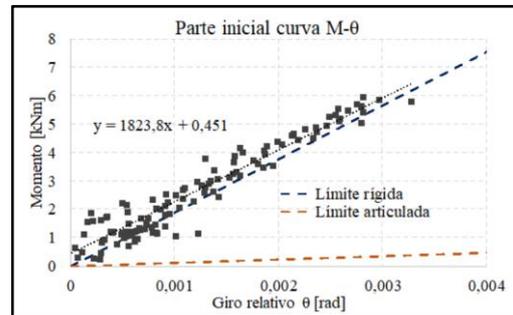


Figura 56. Rigidez de la Probeta R-4

● **PROBETA R-5**

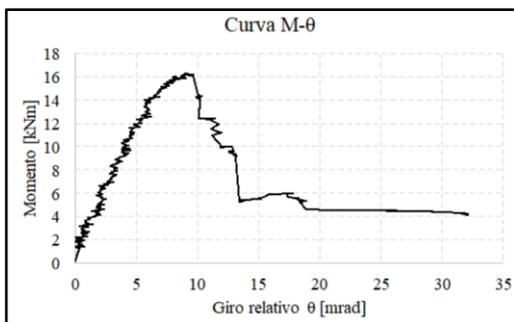


Figura 57. Momento de la Probeta R-5

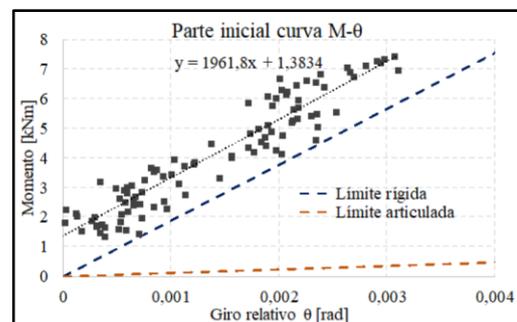


Figura 56. Rigidez de la Probeta R-4

Se pueden observar en todas las gráficas de rigidez que hay un error cometido en las mediciones, ya que dicha recta de regresión debería pasar por el origen, por lo que el valor de la constante es significativo a la hora de interpretar los resultados; otro aspecto a tener en cuenta es que la cubrera se mantiene siempre rígida lo cual es lo que se pretendía desde un principio. A continuación, se muestra una tabla resumen de todos los valores obtenidos en los ensayos:

Probeta	Cortante Resistente (kN)	Momento Resistente (kNm)	Rigidez	Límite de Rigidez
BC9E1	10.87	7.44	728.11	1444.8
BC9E2	13.29	9.19	787.07	1444.8
BC9I1	12.04	8.33	763.65	1824.48
R1	0	13.64	1954.4	1824.48
R2	0	15.54	2631.7	1824.48
R3	0	14.67	3205.7	1824.48
R4	0	15.35	1823.8	1824.48
R5	0	16.35	1961.8	1824.48

Tabla 5. Resumen de los Resultados Obtenidos

5. Trabajos o necesidades futuras

Una vez realizados los ensayos y el procesamiento de los datos obtenidos, se ha de recalcar que hasta el momento solo se ha focalizado el estudio en parametrizar la resistencia y la rigidez de las uniones estudiadas, obteniéndose de estas los resultados esperados, siendo la unión articulada viga-pilar una unión semirrígida ya que los valores obtenidos en los ensayos la posición en los valores entre el límite rígido y el límite elástico (figuras 43, 45, 47).

Por otro lado, las uniones de cumbrera presentan un comportamiento rígido, ya que estas superan el límite anteriormente mencionado (figuras 50, 52, 54, 56, 58), salvo en la probeta 4, esto se puede deber a errores en la toma de datos por parte del ARAMIS, el cual presentó en esta probeta una considerable cantidad de datos vacíos debido a que no detectó bien los puntos dibujados en las probetas.

6. Divulgación de los resultados

Se pretenden publicar los resultados en algunos de los próximos foros técnicos internacionales más importantes de estructuras de acero.

- Congreso Eurosteel: referente mundial en estructuras de acero.
- Congreso ISTS: referente mundial en estructuras de acero con perfiles tubulares. El objetivo final será la publicación en revistas indexadas de prestigio:
- Journal of Constructional Steel Research, Elsevier, ISSN: 0143-974X•Engineering Structures, Elsevier, ISSN: 0141-0296.
- Steel and Composite Structures, Techno Press, ISSN: 1229-9367.

Memoria económica:

1. Gastos:

Concepto	Gasto
Personal (IUTA)	2.452 €
TOTAL GASTOS	2.452 €

2. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Contratación de personal	2.452 €
TOTAL INGRESOS		2.452 €

Bibliografía

1. *Boletín Oficial del Estado. Código Estructural. Real Decreto 470/2021. 2021.*
2. *Ministerio de Vivienda. CTE-DB-SE-A Código Técnico de Edificación. Documento Básico Seguridad Estructural. Acero; 2006.*
3. *CEN. Eurocode 3: Design of Steel Structures. Part 1-8: Design of Joints. EN-1993-1-8:2005. European Committee for Standardization; 2005.*
4. *American Institute of Steel Construction AISC. Specification for structural steel buildings. AISC, Chicago IL, USA; 2005.*
5. *Tamboli AR. Handbook of Steel Connection design and Details. McGraw Hill; 2009.*
6. *Davidson B. and Owens G.W. Steel designers' manual. The Steel Construction Institute. Blackwell publishing; 2003.*
7. *Weynand W, Jaspert JP, Steenhuis M. Economy Studies of Steel Building Frames with Semi-Rigid Joints. Journal of Constructional Steel Research; 46 (1-3) 85. 1998.*
8. *Wardenier J., Packer J.A., Zhao X.L. and Van der Vegte G.J. Hollow Sections in Structural Applications. 2nd Edition. ISBN 978-90-72830-86-9. CIDECT, Geneva, Switzerland; 2010.*
9. *Eekhout M. Tubular Structures in Architecture. CIDECT; 2011.*
10. *Grotmann D, Sedlacek G. Rotational Stiffness of Welded RHS Beam-to-Column Joints-5BB-8/98. CIDECT; 1998.*
11. *Weynand K, Jaspert J.P, Ly L. Application of the Component Method to Joints between Hollow and Open Sections-5BM-8/03. CIDECT; 2003.*
12. *Jaspert J.P, Pietrapertosa C, Weynand K, Busse E, Klinkhammer R. Development of a Full-Consistent Design Approach for Bolted and Welded Joints in Building Frames and Trusses Between Steel Members made of Hollow and/or Open Sections-Application of the Component Method-5BP-4/05. CIDECT; 2005.*
13. *Weynand K, Jaspert J.P, Demonceau J.F, Zhang L. ComponentMethod for tubular joints-16F-3/15. CIDECT Final report 16F; 2015.*

14. Kurobane Y, Packer JA, Wardenier J, Yeomans N. *Guía de Diseño para Uniones a Columnas de Perfiles Tubulares Estructurales*. TÜV-Verlag CIDECT; 2005.
15. Packer JA, Wardenier J, Zhao XL, Van der Vegte GJ and Kurobane Y. *Design guide for rectangular hollow section (RHS) joints under predominantly static loading*. 2nd Ed. LSS-Verlag CIDECT; 2009.
16. Roquete L., and Cunha Sarmanho A. *Analysis of CSH Bolted Sleeve Connections*. Naples; EUROSTEELS; 2014
17. Miranda de Oliveria M., Roquete L. *Bearing failure in bolted sleeve connections with circular hollow sections under compression*. Ouro Preto, 2020
18. Barros dos Santos G., Batista E., *Behaviour of RHS beam-to-column bolted steel connections*. Berlin; Steel Construction 9 n4; 2016
19. Wilkinson T., Hancock G. *Test to Examine Plastic Behaviour of Knee Joints in Cold-Formed RHS*. Sydney; Journal of Structural Engineering; 2000.
20. Mills J., LaBoube R. *Self-Drilling Screw Joints for Cold-Formed Channel Portal Frames*. Sydney; Journal of Structural Engineering; 2004.
21. Weinming Y., Tingting M., Zhiqiang X., Cheng Y. *Experimental investigation of typical connections for fabricated cold-formed steel structures*. Texas; Advances in Structural Engineering; 2019.
22. Roy K., Ho Lau H., Masood R., Kumar A., B.P. Lim J. *Experiments and finite element modelling of screw pattern of self-drilling screw connections for high strength cold-formed steel*. Auckland; Elsevier; 2019.

INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-24

Fabricación aditiva de piezas de rotor mediante extrusión de filamentos de materiales magnéticos

Fechas inicial y final del proyecto:

12 / 09 / 2022 al 30 / 12 / 2022

Investigador/a Principal:

Pablo Álvarez Alonso

Otros investigadores:

Maria Paz Fernández García y Francisco Javier Carrizo Medina

Personal contratado:

Alba Sanz Prada

Fechas inicial y final de contratación:

12 / 09 / 22 al 30 / 12 / 22

Empresas o instituciones colaboradoras:

Triditive

Redes sociales de investigadores y empresas:

<https://www.linkedin.com/in/pablo-alvarez-alonso-b3613a17>

<https://twitter.com/PabloAlvarezAlo>

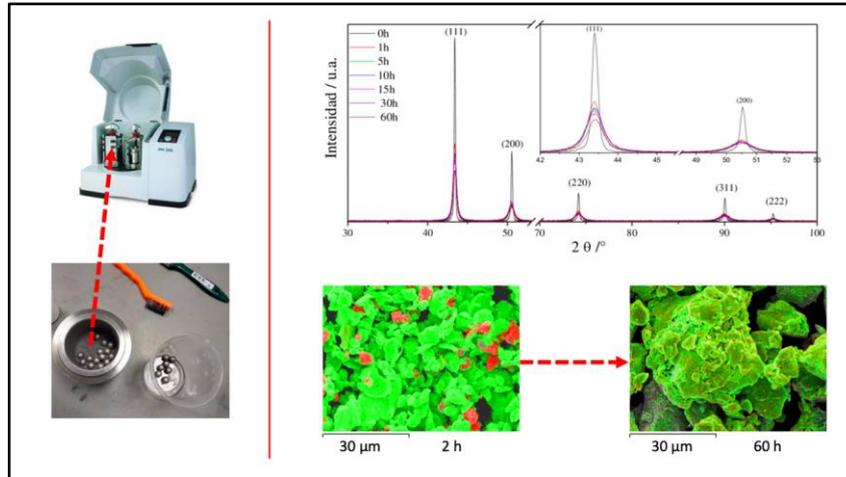
<https://www.linkedin.com/in/maria-paz-fernández-garcía-7071b3227>

<https://www.linkedin.com/company/triditive->

aam/?original_referer=https%3A%2F%2Ftriditive.com%2F

<https://www.instagram.com/triditive.aam/>

Resumen Gráfico



Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

En este proyecto hemos explorado una ruta para fabricar componentes magnéticos para un rotor usando el modelado por deposición fundida. Los objetivos planteados fueron 1) fabricar aleaciones magnéticas con tamaños de grano adecuados para obtener filamentos imprimibles y que cumplan los requisitos de permeabilidad y temperatura de Curie de un motor, 2) estudiar la compatibilidad de polímeros termoplásticos con dichos materiales magnéticos para producir los filamentos y 3) diseñar un prototipo de rotor y fabricarlo usando la impresión 3D.

La metodología que hemos empleado divide las actividades en paquetes de trabajo intrínsecamente relacionados con estos objetivos. Para la producción de los materiales magnéticos hemos 1) realizado una búsqueda bibliográfica de materiales que cumplan los requerimientos magnéticos de nuestro partner Triditive, 2) probado varias técnicas de fabricación para obtener la aleación en forma de polvo en cantidades suficientes para imprimir un rotor y 3) caracterizado estructural y microestructuralmente el material obtenido para determinar las condiciones de fabricación para las que se sintetiza la fase Fe-Ni con granulometría adecuada. Por lo tanto, el grado de consecución del objetivo de fabricación de aleaciones es alto. En cambio, para la producción de materiales magnéticos imprimibles, nuestro partner necesita 6 kg de esta aleación para hacer las pruebas de dispersión del polvo en los polímeros. Debido a los largos tiempos de molienda (60 h de molienda efectiva) necesarios para sintetizar cantidades relativamente bajas (500 g) de la aleación, actualmente tenemos aproximadamente 2 kg, por lo que el grado de consecución es bajo y estimamos que necesitaremos dos meses para conseguir las cantidades requeridas. En el tercer paquete de trabajo, hemos avanzado en el diseño del prototipo elaborando el modelo de una parte del rotor y actualmente estamos terminando de modelar la pieza. Pero para fabricarlo tenemos que avanzar significativamente en el segundo objetivo.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

Objetivo	Grado de consecución
<i>Obtención de aleaciones</i>	Alto. Se han conseguido fabricar aleaciones basadas en Fe con la microestructura adecuada para su uso en impresión 3D.
<i>Producción de filamentos para fabricación aditiva</i>	Bajo. Se requieren sobre 6 kg de aleación para producir los filamentos.
<i>Diseño y fabricación aditiva de un prototipo</i>	Medio. Se inició el diseño del prototipo.

Tabla 1. Objetivos propuestos en la solicitud y grado de consecución

3. Tareas realizadas:

1. Reunión con el responsable de Triditive para determinar las propiedades magnéticas adecuadas para un motor.
2. Búsqueda de materiales magnéticos que presentan propiedades magnéticas adecuadas para un rotor (alta permeabilidad y alta temperatura de transición). Selección de la aleación Fe80Ni20.
3. Preparación mediante coprecipitación acuosa de las aleaciones nanoestructuradas a partir de los elementos químicos. Desechamos esta vía porque no conseguimos las condiciones adecuadas para obtener la aleación en cantidades relevantes.
4. Preparación de aleaciones maestras por horno de arco a partir de los elementos químicos que sirvieran de precursor y posteriormente moler en el molino de bolas. Esta vía se desechó porque la inversión de tiempo y recursos es muy superior que alea mecánicamente Fe y Ni en forma de polvo mediante el molino de bolas.
5. Caracterización de la estructura y de la microestructura mediante rayos X y microscopía electrónica de barrido, respectivamente, con lo que se obtuvo el tiempo necesario para alea mecánicamente los elementos químicos puros en la aleación Fe80Ni20.
6. Fabricación de 2 kg de la aleación Fe80Ni20 mediante aleado mecánico de los elementos químicos.
7. Diseño de una parte del rotor con CAD para su posterior impresión. Esto se realizó juntamente con el responsable de Triditive.

4. Resultados obtenidos:

1. Determinación del tiempo de molienda para obtener la aleación Fe80Ni20 a partir de los elementos químicos mediante aleado mecánico
2. Fabricación de aproximadamente 2 kg de la aleación Fe80Ni20 con tamaño de grano inferior a 40 μm .
3. Diseño de una pieza por ordenador usando CAD para impresión mediante modelado por deposición fundida.

5. Trabajos o necesidades futuras

1. Caracterizar magnéticamente la aleación obtenida para comprobar que cumple las necesidades del diseño.
2. Fabricar 4 kg más de aleación Fe80Ni20 para proseguir con el estudio de la dispersión de las partículas en los polímeros termoplásticos y fabricar filamento adecuado para la extrusión.
3. Fabricación aditiva de un prototipo basado en la aleación Fe80Ni20 y posterior caracterización estructural y magnética.

6. Divulgación de los resultados

En el estado actual del proyecto no hemos podido divulgar los resultados, pero el objetivo es que, una vez obtenido el prototipo, Triditive hará una presentación formal a diversos partners industriales. Por otro lado, la estudiante contratada para realizar tareas de I+D+i está realizando el Trabajo de Fin de Grado, en el que caracterizará magnéticamente el compuesto obtenido y estudiará el efecto de las condiciones del aleado mecánico en la fabricación del Fe80Ni20 para mejorar su granulometría, así como participará en la fabricación del prototipo.

Memoria económica:

1. Gastos:

Concepto	Gasto
Personal	3.234 €
Fungibles	1.315 €
Medidas	130 €
TOTAL GASTOS	4.679 €

2. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Incorporación a actividades I+D+i	2.464 €
Triditive	Material fungible	360 €
Departamento de Física	Medidas SCT	34 €
Financiación propia	Material fungible y Medidas SCT	1.051 € (955 € + 96 €)
TOTAL INGRESOS		4.679 €

INFORME DEL PROYECTO REF.SV-22-GIJÓN-1-25

Caracterización de aditivos a partir de microalgas para la formulación de bio-lubricantes (CARALGALUB)

Fechas inicial y final del proyecto:

01 / 01 / 2022 al 31 / 12 / 2022

Investigador/a Principal:

Eduardo Rodríguez Ordóñez

Otros investigadores:

Antolín Hernández Battez y David Blanco Alonso

Personal contratado:

Claudia Sanjurjo Muñiz

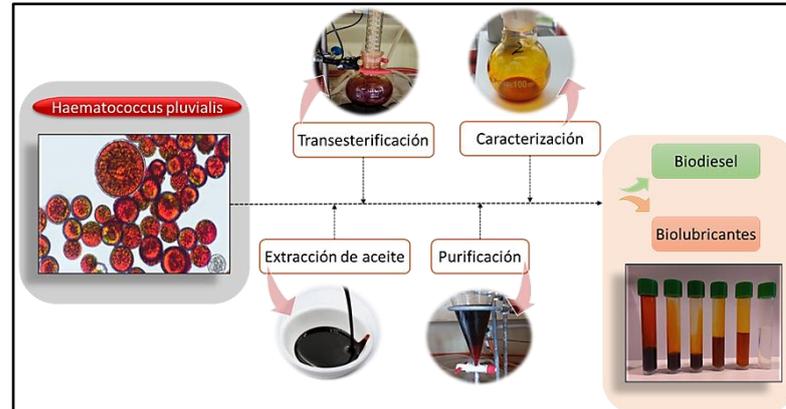
Fechas inicial y final de contratación:

04 / 07 / 22 al 31 / 12 / 22

Empresas o instituciones colaboradoras:

Nealgae Micro Seaweeds Products

Resumen Gráfico



Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

Actualmente el planeta se encuentra inmerso en una de las mayores crisis climáticas conocidas a causa del calentamiento global, fruto del uso abusivo de materias que potencian el efecto invernadero como son los combustibles fósiles. Es por ello que en las últimas décadas el empleo de compuestos “bio-” ha llamado la atención en multitud de sectores con el fin de dirigir la industria hacia un futuro más sostenible con el medioambiente. Una de las alternativas más destacadas es el empleo de biomasa, la cual se define según la norma como la fracción biodegradable de los productos, residuos y desechos de origen biológico procedentes de actividades agrarias, incluidas las sustancias de origen vegetal y de origen animal, de la silvicultura y de las industrias conexas, incluidas la pesca y la acuicultura, así como la fracción biodegradable de los residuos, incluidos los residuos industriales y municipales de origen biológico [1].

Entre los beneficios que presentan estas sustancias destacan su reducción de emisiones de CO₂, mayor reciclaje y reutilización de los residuos, bajo coste de producción, limpieza de ecosistemas, aprovechamiento completo de residuos agrícolas, además de ser una fuente de energía renovable [2].

Dentro de este grupo se encuentran las microalgas (Figura 1), definidas como microorganismos unicelulares fotosintéticos procedentes tanto de medios de agua salada como agua dulce, que utilizan la luz solar, el agua y el dióxido de carbono para la producción de biomasa de microalga [3]. Estos organismos se presentan con un gran potencial en la producción de bio-lubricantes gracias a que no compiten con alimentación humana (pueden crecer en terrenos no cultivables), su producción de biomasa supera entre un 30 a un 100 % la producción de otros compuestos vegetales, generan gran cantidad de lípidos necesarios para la producción de bio-lubricantes, además de ser cultivables todo el año con altas velocidades de crecimiento y pueden emplearse para la eliminación efectiva de nitratos y fosfatos en aguas residuales durante su cultivo [4].

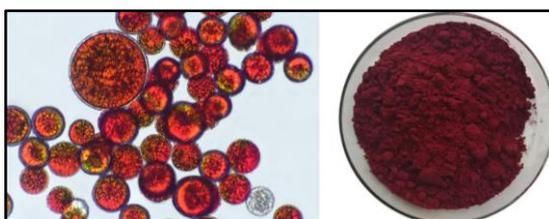


Figura 1. *Haematococcus pluvialis*

El ciclo completo desde el cultivo de las microalgas hasta su transformación en biodiesel o bio-lubricante consta de cinco fases esenciales: cultivo, crecimiento, recolección, extracción de lípidos y conversión [5].

- 1. Cultivo:** En el cultivo de microalgas, es importante controlar una serie de variables con el fin de dirigir el crecimiento de la misma hacia las aplicaciones deseadas. Por lo tanto, serán decisivos parámetros tales como el tipo de biorreactor de cultivo, la temperatura, la salinidad, intensidad de la luz suministrada, oxígeno disuelto, pH, y nutrientes aportados como carbono, nitrógeno, fósforo o potasio, entre otros [6]. En la Figura 2 se muestran algunos de los sistemas más empleados a nivel industrial para el cultivo de microalgas, donde se pueden encontrar tanto sistemas abiertos como sistemas cerrados (o biorreactores). Los medios de cultivo pertenecientes al primer grupo se caracterizan por ser infraestructuras de bajo coste, pero con gran dependencia de las condiciones o factores ambientales. Aquí se encontrarán las balsas, los canales o Raceways, y las piscinas circulares. Por otro lado, los sistemas cerrados permitirían eliminar esa dependencia llevando a cabo todo el proceso de cultivo y crecimiento en tanques cerrados denominados fotobiorreactores, pudiendo así controlar la mayor parte de los aspectos clave en el crecimiento. Dentro de estos sistemas se encontrarán las columnas de burbujeo, fotobiorreactores planos, inclinados o verticales, y fotobiorreactores tubulares con diversidad de configuraciones [7].



Figura 2. Sistemas de cultivo:
a – Raceways
b – Piscinas circulares
c – Balsas
d – Fotobiorreactores tubulares
e – Columnas de burbujeo
f – Fotobiorreactores planos

- 2. Crecimiento:** Las condiciones de crecimiento pueden ser muy variables, tanto como los diferentes usos que se le requieran posteriormente a la biomasa. Para el caso de la producción de bio-lubricantes y biodiesel, es de vital importancia potenciar al máximo la producción de lípidos, en especial de triglicéridos, los cuales son el producto principal de las reacciones de transformación. Esto se consigue aportando en exceso nutrientes como nitrógeno o fósforo, regulando la saturación de oxígeno y la salinidad a condiciones óptimas (variables para cada tipo de microalga), aumento de la intensidad de la luz sin llegar al punto de saturación, o mediante el empleo de genes mutantes, entre otros [6], [8], [9].

3. **Recolección:** Terminadas las etapas de cultivo y crecimiento, el siguiente escalón es la recolección de la biomasa. Es importante una correcta elección del método en función de los procesos industriales a los que vaya a ser sometida la biomasa. Es decir, la finalidad que se le quiera dar será limitante y excluyente en la elección de la metodología [2], [10]. Como medios de recolección se pueden encontrar procesos químicos, procesos físicos o procesos biológicos, siendo los más comunes los procesos físicos como la centrifugación o la filtración [2], [11].
4. **Extracción:** La extracción de los lípidos presentes en la biomasa es un proceso clave para la producción tanto de biodiesel como de biolubricantes. La optimización de este proceso ha sido estudiada en profundidad en el campo de las microalgas, llevando a cabo extracciones con solventes como hexano o acetato de etilo [12], o extracción Soxhlet [13]; además de otro tipo de técnicas con líquidos iónicos, fluidos supercríticos o procesos mecánicos. En este paso el producto final obtenido es un bio-aceite con alto contenido lípido y ciertas propiedades lubricantes que han sido consideradas en diversos artículos [5], [14]–[16].
5. **Conversión (Producción de biodiesel y bio-lubricante):** La técnica más desarrollada para la producción de bio-lubricante a partir de bio-aceite es la denominada transesterificación. Se trata de una reacción reversible catalizada donde se hacen reaccionar los triglicéridos presentes en la muestra con un alcohol en presencia de un catalizador para dar como producto final ésteres metílicos de ácidos grasos (FAMES) y glicerol, según la reacción mostrada en la Figura 3. En ella, la molécula de aceite se rompe y así una molécula de alcohol se combina con una de éster ya separado. De esta manera se obtiene el biodiesel como producto principal y la glicerina como producto secundario [17]. Debido a las propiedades lubricantes que presenta el biodiesel, algunos autores lo denominan directamente bio-lubricante [5].

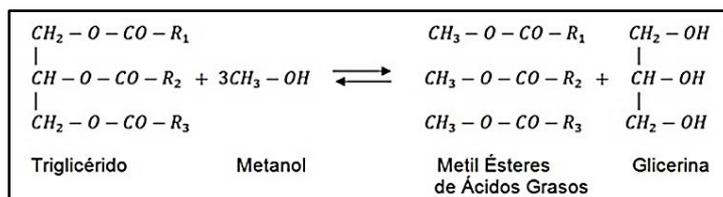


Figura 3. Reacción de transesterificación.

Los alcoholes más empleados son el metanol (producción de ésteres metílicos de ácidos grasos o FAMES) y etanol (producción de ésteres etílicos de ácidos grasos o FAEEs). Es importante que la cantidad de alcohol no sea excesiva en cuanto a la relación estequiométrica de los compuestos, pues podría ser absorbido en las zonas activas del catalizador resultando en la desactivación del mismo. La elección del catalizador también es un parámetro importante, encontrando de tipo homogéneo, heterogéneo, biocatalizadores o enzimáticos, dentro de los cuales existirían a su vez de carácter ácido o básico. Su concentración también será de interés, buscando que la cantidad sea suficiente o en exceso para que el sentido de la reacción sea la producción de bio-lubricante y no se invierta el sentido. El rendimiento de la reacción dependerá también de otras variables como la temperatura o el tiempo de reacción [18], [19].

Una vez finalizada la reacción, la glicerina es separada mediante procedimientos como decantación o centrifugación. Aun así, el bio-lubricante es un producto crudo con gran cantidad de impurezas procedentes de la biomasa de partida, trazas el catalizador y alcohol empleado, así como restos de glicerina que no fueran separados. Por ello, lo más habitual es someter estos productos a diferentes

técnicas de purificación como son el lavado con agua o la filtración, o incluso técnicas más complejas como la destilación o una segunda transesterificación [20]. Esta última, empleada para la mejora de las propiedades lubricantes del biodiesel / bio-lubricantes [21].

Otra variante que ha ganado fuerza en los últimos años es la transesterificación directa o "in situ", donde se omite la fase de extracción del bio-aceite gracias al empleo de vacío, alcoholes más complejos y catalizadores ácidos más fuertes [12], [21]–[23]. A pesar de los buenos rendimientos de producción de FAMEs, esta técnica presenta la desventaja de consumos energéticos mayores debido a las altas temperaturas de reacción necesarias, además de problemas de corrosión derivados de la naturaleza del catalizador.

Por tanto, y tras lo descrito anteriormente, este trabajo estudia la producción y caracterización de aditivos a partir de la microalga de *Haematococcus pluvialis* (hasta el momento de carácter desconocido en el campo de la tribología) para la formulación de bio-lubricantes mediante una transformación química de transesterificación, donde los triglicéridos de la biomasa reaccionan con un alcohol en presencia de un catalizador para la producción de FAMEs. Se fijarán las variables de temperatura, tipo y concentración de alcohol, mientras que se busca la optimización del método variando el tiempo de reacción, el tipo y la concentración de catalizador. Tras la síntesis se evaluaron los rendimientos, la estabilidad térmica y la caracterización de grupos funcionales de cada uno de los ensayos, obteniendo los resultados más favorables mediante el empleo de CH_3ONa al 1 % como catalizador para un tiempo de reacción de 2 horas.

A continuación, se estudió la solubilidad del compuesto seleccionado como aditivo en diferentes aceites base de origen sintético y mineral, donde se observó el comportamiento viscoso y la densidad de las diferentes mezclas. El aditivo, presentó mejor compatibilidad con un aceite base sintético perteneciente al Grupo III.

Por último, se realizó una caracterización tribológica de la mezcla seleccionada a diferentes concentraciones donde se sometieron a ensayos de deslizamiento alternativo bajo unas condiciones de 100 °C y 15 N con el fin de obtener el coeficiente de fricción y el volumen de desgaste final, resultando en una reducción del desgaste a mayores concentraciones de aditivo del compuesto de microalga.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

El objetivo general de este proyecto es la producción y caracterización de aditivos para la formulación de bio-lubricantes a partir de la microalga *Haematococcus pluvialis* transesterificada. Para abordar este objetivo se plantearon una serie de objetivos específicos o tareas tales como:

- Caracterización de bio-aceite de microalga de partida.
- Optimización del proceso de transesterificación para la producción del aditivo de microalga.
- Estudio de la solubilidad del aditivo en diferentes aceites base.
- Caracterización física mediante el análisis de densidad y viscosidad de las diferentes mezclas.
- Preparación de muestras de bio-lubricante al 1, 2, 5 y 10 % de aditivo con el aceite base seleccionado.
- Caracterización tribológica mediante ensayo de deslizamiento alternativo de las diferentes muestras para la obtención del coeficiente de fricción.
- Obtención del volumen de desgaste de las probetas empleadas en los ensayos tribológicos para su estudio en función de la concentración del aditivo.

3. Tareas realizadas:

A partir del bio-aceite de *Haematococcus pluvialis* proporcionada por la empresa Neoalgae se evaluaron las condiciones óptimas de transesterificación básica para la producción de aditivo. Una vez seleccionadas las condiciones idóneas, se procedió a la caracterización de sus propiedades físico-químicas. Por último, se evaluó su comportamiento como aditivo a bajas concentraciones en aceites base sintéticos mediante ensayos tribológicos obteniendo el coeficiente de fricción y el volumen de desgaste.

3.1 Caracterización del bio-aceite de microalga.

Para la optimización del método de transesterificación era necesario un análisis previo del contenido de agua y de índice de acidez del bio-aceite de microalga. El primer ensayo se realizó empleando el equipo 899 Coulometer mostrado en la Figura 4 - Izquierda, para la determinación del contenido de agua según Karl Fischer (ISO 12937). En el caso del índice de acidez, el ensayo se realizó con el valorador potenciométrico 848 Titrino plus (Figura 4 - Derecha), de acuerdo con la norma ASTM D664. Ambos equipos de la marca Metrohm.



Figura 4. Izquierda – 899 Coulometer; Derecha – 848 Titrino plus.

3.2 Optimización del proceso de transesterificación.

Se empleó metanol como alcohol de reacción a lo largo de todo el proceso, así como una temperatura fija de 80 °C. Como catalizadores se seleccionaron dos de tipo homogéneo básico comúnmente utilizados para las reacciones de transesterificación: KOH y CH₃ONa; con concentraciones variables de 0.25 y 1 %. En cuanto al tiempo de reacción, se estipularon reacciones de 1 y 2 horas (Tabla 1), resultando así un total de 8 ensayos con las configuraciones mostradas en la Tabla 2.

Nivel	Catalizador	Concentración	Tiempo
+	KOH	0.25%	1 h
-	CH ₃ ONa	1%	2 h

Tabla 1. Parámetros de diseño.

Inicialmente se pesan un total de 50 ml de metanol y el correspondiente porcentaje de catalizador en una balanza de precisión. Se mezclan ambos y se dejan homogeneizar en una placa de agitación durante 15 minutos a 380 rpm y temperatura ambiente. En paralelo, se pesan 3 gramos de bio-aceite de microalga en un matraz limpio y seco.

Ensayo	Catalizador	Concentración	Tiempo
1	+	-	+
2	+	-	-

Ensayo	Catalizador	Concentración	Tiempo
3	+	+	+
4	+	+	-
5	-	-	+
6	-	-	-
7	-	+	+
8	-	+	-

Tabla 2. Configuración de ensayos.

Una vez diluido el catalizador, se añade la mezcla de alcohol y catalizador en el matraz junto con el extracto, y se lleva a reacción en un baño a 80 °C y 450 rpm durante el tiempo estipulado. El equipo empleado (mostrado en la Figura 5 – Izquierda) se compone de un baño de aceite sobre una placa calefactora marca Heidolph, una columna de refrigeración para evitar la pérdida del alcohol a causa de las altas temperaturas, y un soporte con pinza para la correcta sujeción del matraz.



Figura 5. Izda. – Montaje equipo de reacción / Dcha. – Decantación y separación FAME y glicerina.

Transcurrido el tiempo de reacción, es necesario separar las dos fases existentes (FAME y glicerina). Por ello, se deja la muestra reposar en un embudo de decantación hasta que se observan dos fases perfectamente diferenciadas que permitan una correcta separación de las mismas como se observa en la Figura 5 - dcha. La glicerina, sedimentada en la parte inferior del embudo, se separa y elimina, mientras que la fase orgánica se retorna al matraz y se lleva a un evaporador rotativo Heidolph Laborota 4000 con el fin de eliminar el metanol restante a 40 °C durante 20 minutos.

3.3 Purificación.

Como se comentó anteriormente, el producto resultante de este proceso suele caracterizarse por ser impuro, contener trazas de catalizador además de otras suciedades de partida, así como alto contenido en agua. Por ello, es necesario un proceso de purificación. Para la eliminación de restos de sólidos en suspensión se mezcla el compuesto con 50 ml de hexano, se homogeniza a 80 °C y 450 rpm durante 15 – 20 minutos, y se lleva a centrifugar a 5000 rpm durante 10 minutos. Tras este proceso, se recoge el fluido y se retorna al matraz para eliminar el hexano de nuevo en el evaporador rotativo a 40 °C.

El último paso sería la filtración del producto final en un embudo mediante el empleo de papel de filtro de 2 µm de tamaño de poro. Finalmente, el rendimiento de la reacción se calculará por diferencia de peso entre el peso del extracto de microalga original, y el producto final obtenido.

3.4 Caracterización físico-química.

El primer ensayo se trata de una prueba de corrosión en la cual se impregna la superficie de una probeta de acero con el material a estudiar. En este caso, al disponer de 8 compuestos, se ensayaron un total de 8 probetas. Otra de las propiedades analizadas es la estabilidad térmica o TGA (siglas en inglés de Thermogravimetric Analyzer), de gran interés en el campo de la tribología. Para su evaluación se empleó el equipo TA Instruments DSC SDT Q600 Thermogravimetric Analyzer. Esta prueba permite estudiar la degradación de los compuestos en función de la temperatura. Los grupos funcionales presentes en las muestras fueron analizados mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier o FTIR. Tras la obtención de estos datos, y junto con los rendimientos del proceso de transesterificación, se estudió cuál de las 8 configuraciones presentaba las mejores propiedades. Una vez realizada la elección se evaluó la densidad y viscosidad de la muestra seleccionada mediante el empleo del viscosímetro Stabinger SVM 3001 de la Figura 6, en el rango de temperatura de 20 a 100°C en escalones de 20°C. Previo al análisis tribológico, se estudió la solubilidad del aditivo en diferentes aceites base suministrados por la empresa Repsol: Yubase 3 (aceite base sintético del Grupo III), LN100HS (aceite base mineral del Grupo I), Yubase 6 (aceite base sintético del Grupo III) y SP90H (aceite base mineral del grupo I). Pequeñas muestras de 10 ml fueron preparadas con una concentración de 5 y 10 % del aditivo seleccionado procedente de la transesterificación, con la finalidad de encontrar el aceite base más adecuado para la realización de los ensayos de fricción y desgaste. Para ello se estudió la viscosidad y densidad de las diferentes muestras de acuerdo con la norma ASTM D7042 para el rango de temperatura de 20 a 100 °C en pasos de 20 °C.



Figura 6. Viscosímetro Stabinger SVM 3001.

3.5 Caracterización tribológica y análisis superficial.

Tras seleccionar el aceite base que presentaba mejor solubilidad con el extracto tratado, se estudió el coeficiente de fricción mediante el empleo del tribómetro CETR UMT – 3 de la Figura 7 – Izda, con configuración bola – disco en contacto alternativo bajo unas condiciones de 100 °C y 15 N (correspondiente a la máxima presión de contacto de 1.63 GPa). Para ello se realizaron muestras de 10 ml con diferentes concentraciones de aditivo: 1, 2, 5 y 10 %. Se ensayaron un total de 5 réplicas por cada concentración. El volumen de desgaste en las superficies de los diferentes discos se midió mediante microscopía confocal con el equipo Leica DCM 3D mostrado en la Figura 7 – Dcha, que emplea una técnica no invasiva gracias al principio de perfilometría óptica.



Figura 7. Izquierda – Tribómetro CETR UMT 3; Derecha – Microscopio Leica DCM 3D.

4. Resultados obtenidos:

4.1 Caracterización del bio-aceite de microalga.

El análisis del bio-aceite de partida mostró que el contenido en agua inicial oscilaba entre los 537.9 y 577.7 ppm, mientras que los resultados del índice de acidez indicaron una concentración de ácidos grasos libres (FFA) por debajo de 2.5 % (límite a partir del cual es necesario un pretratamiento previo a la transesterificación para la neutralización de los FFA).

4.2 Optimización del proceso de transesterificación.

En la Tabla 3 se muestran los rendimientos de reacción obtenidos para cada una de las configuraciones dispuestas en la Tabla 2.

Ensayo	1	2	3	4	5	6	7	8
Rendimiento (%)	26	26	66	71	61	50	32	44

Tabla 3. Rendimientos alcanzados en los diferentes ensayos

4.3 Caracterización físico – química.

Los ensayos de corrosión para las 8 muestras concluyeron que los compuestos resultantes de las configuraciones 4 y 3 interaccionan con las superficies de sus respectivas probetas dando como resultado superficies irregulares apreciables a simple vista. El análisis de estabilidad térmica presentó una evolución de la degradación de los 8 compuestos muy similar, alcanzando la degradación completa entre los 500 - 600 °C (Figura 8). Por otro lado, la caracterización de los grupos funcionales presentes en las muestras mediante la técnica de FTIR también mostraron resultados prácticamente similares a excepción de la zona de vibración de estiramiento C-O en 1200 cm⁻¹ debido a la presencia de grupos de ésteres carboxílicos (Figura 9).

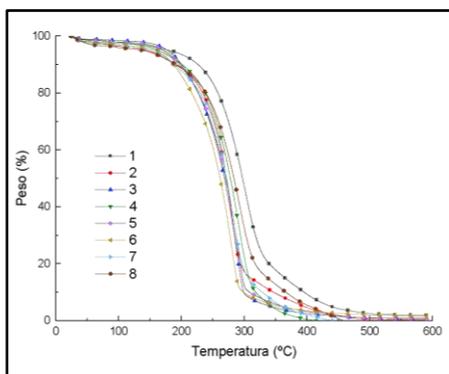


Figura 8. TGA de las diferentes configuraciones de ensayo.

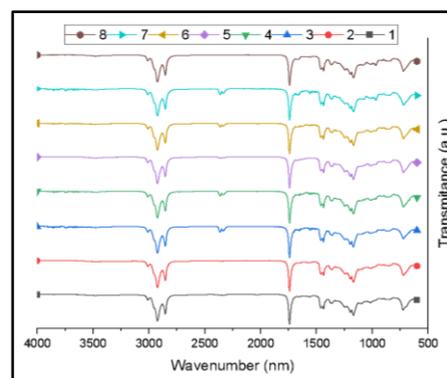


Figura 8. TGA de las diferentes configuraciones de ensayo.

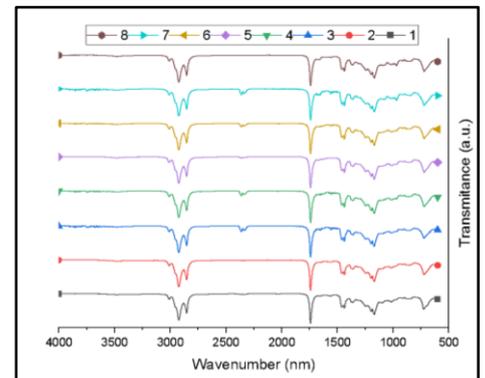


Figura 9. Espectro FTIR de las diferentes configuraciones.

Debido a las observaciones en los ensayos de corrosión que excluirían las configuraciones 3 y 4, y la similitud entre todos los ensayos en las pruebas de TGA y FTIR, se seleccionó la configuración 5 para su empleo como aditivo en las pruebas de solubilidad con los diferentes aceites base.

Las Figuras 10 y 11 muestran la variación de la densidad y la viscosidad dinámica de las diferentes mezclas de bio-lubricantes compuestas del aditivo seleccionado al 5 y 10 % y los diferentes aceites base. Todos los aceites base presentan valores de densidad y viscosidad menores que el aditivo de microalga. A la hora de analizar el efecto de la concentración de aditivo se observa, como era de esperar, un aumento de las propiedades físicas proporcional al aumento de concentración de aditivo.

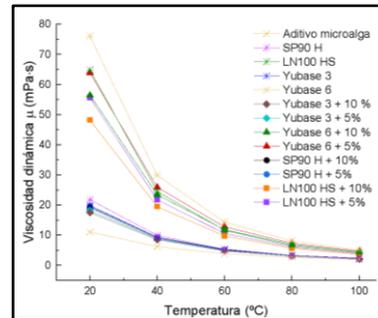
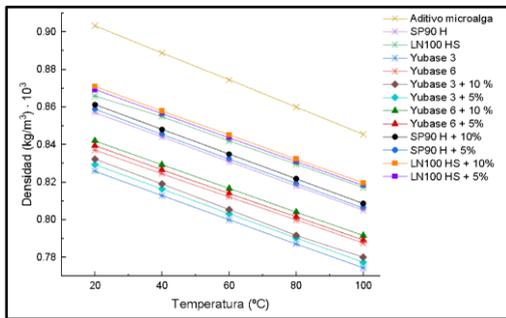


Figura 10. Variación de la densidad en función de la temperatura. Figura 11. Variación de la viscosidad dinámica en función de la temperatura.

Finalmente se seleccionó la disposición de Yubase 6 y aditivo de microalga, presentando la mejor compatibilidad sin presencia de deposiciones ni sólidos en suspensión tras una semana. Además, permite un mayor rango de viscosidad de trabajo modificando las concentraciones de aditivo gracias a que Yubase 6 presenta los valores más bajos de todos los aceites base.

4.4 Caracterización tribológica y análisis superficial

En los ensayos de deslizamiento alternativo se observó un leve aumento del coeficiente de fricción a concentraciones bajas de bio-lubricante, y una tendencia descendente a concentraciones más elevadas. A su vez, se encuentra este mismo suceso en el análisis de

volumen de desgaste, con una mejora destacable del mismo a concentraciones más altas de aditivo. Este hecho puede deberse a las diferencias en la viscosidad entre el aceite base y el extracto tratado, lo que produce una disminución del espesor de película a bajas concentraciones dando lugar a contactos entre bola y disco. Por otro lado, a medida que va aumentando la concentración de extracto puede existir una interacción entre el bio-lubricante y la superficie de la probeta, formando así una especie de tribocapa favorable a la reducción del desgaste.

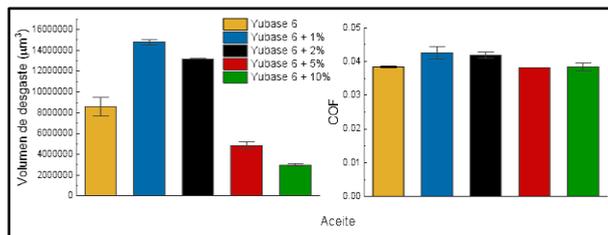


Figura 12 · Valor medio del volumen de desgaste y coeficiente de fricción con su desviación.

5. Trabajos o necesidades futuras

A la vista de los resultados obtenidos y tras revisar las anotaciones bibliográficas de otros autores, es importante el estudio y optimización de técnicas complementarias a las transesterificaciones comunes mediante procesos más adecuados para la producción de bio-lubricantes con el fin de controlar las variaciones en los parámetros de control de interés. Además, el estudio de técnicas termoquímicas como la licuefacción hidrotermal y la pirólisis,

así como procesos de epoxidación, se presentan como potenciales alternativas a la producción de biodiesel y bio-lubricante a partir de biomasa de microalga. Dentro de la misma línea realizada sería interesante caracterizar la biomasa de partida y los productos obtenidos a partir de diferentes microalgas para intentar relacionar las propiedades lubricantes finales con las características estructurales iniciales de la biomasa.

6. Divulgación de los resultados

Como medios de divulgación del trabajo realizado a lo largo del periodo de contratación, se está trabajando en la redacción de un artículo científico que recoge todos los resultados obtenidos descritos en este documento, con una fecha estimada de publicación de mediados de 2023. Además, se evaluarán opciones de difusión alternativas como la participación en congresos a lo largo del mismo año, a través tanto de elaboración de posters como de la realización de ponencias.

Memoria económica:

1. Gastos:

Entre los gastos del proyecto se encuentran los gastos de personal donde se contempla la contratación de una persona; material fungible donde se incluyen material de vidrio, material no reutilizable, así como el extracto de microalgas; además de las técnicas de análisis realizadas por los servicios científico-técnicos de la Universidad de Oviedo como TGA y FTIR.

Concepto	Gasto
Personal	4.233 €
Fungibles	1.500 €
Técnicas de análisis	500 €
TOTAL GASTOS	6.233 €

2. Ingresos:

Para la adquisición de extractos de microalgas, disolventes, catalizadores, etc. se cargó al proyecto Ref.: IDI-2021-000044 y el uso de los servicios científico-técnicos se imputó al proyecto Ref. PID2019-109367RB-100.

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Ayuda IUTA: Contratación de personal	4.233 €
Proyecto IDI-2021-000044	Fungibles	1.500 €
Proyecto PID2019-109367RB-100	SCT	500 €
TOTAL INGRESOS		6.233 €

Bibliografía

1. "DIRECTIVA (UE) 2018/ 2001 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO - de 11 de diciembre de 2018 - relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables."
2. A. Sánchez-Bayo, Á. Directores: Luis, F. Bautista, S. Cruz, y G. V. Crespo, "Tesis Doctoral Biorrefinería de Microalgas para la Producción de Biocombustibles," 2019.
3. J. Ruane, A. Sonnino, A. Agostini, "Bioenergy and the potential contribution of agricultural biotechnologies in developing countries," *Biomass and Bioenergy*, vol. 34, no. 10. pp. 1427–1439, 2010. doi: 10.1016/j.biombioe.2010.04.011.
4. A. Hernández-Pérez and J. I. Labbé, "Microalgae, culture and benefits," *Rev Biol Mar Oceanogr*, vol. 49, no. 2, pp. 157–173, 2014, doi: 10.4067/S0718-19572014000200001.
5. L. I. Farfan-Cabrera, M. Franco-Morgado, A. González-Sánchez, J. Pérez-González, B. M. Marín-Santibáñez, "Microalgae Biomass as a New Potential Source of Sustainable Green Lubricants," *Molecules*, vol. 27, no. 4. MDPI, Feb. 01, 2022. doi: 10.3390/molecules27041205.
6. A. Villa, D. Herazo, and A. C. Torregroza, "Efecto del fotoperiodo sobre el crecimiento de la diatomea *Chaetoceros calcitrans* (Clon C-CAL) en cultivos estáticos" *Intropica: Revista del Instituto de Investigaciones Tropicales*, Vol. 9, Nº. 1, 2014, págs. 111-117.
7. "Cultivos de microalgas a gran escala: sistemas de producción", [Online 21/10/2022]. Available: <https://www.cajamar.es/storage/documents/018-microalgas2-1467367279-9023d.pdf>
8. L. Peng, D. Fu, H. Chu, Z. Wang, and H. Qi, "Biofuel production from microalgae: a review," *Environmental Chemistry Letters*, vol. 18, no. 2. Springer, pp. 285–297, Mar. 01, 2020. doi: 10.1007/s10311-019-00939-0.
9. M. José, V. Tamayo "Estudio sobre el modelado y control de las condiciones óptimas de cultivo de microalgas en fotobiorreactores para producción de biodiésel", TFM Directores: Guzmán Sánchez, José Luis; Moreno Úbeda, José Carlos. [Online 22/10/2022]. Disponible <http://hdl.handle.net/10835/2826>
10. M. de La Vega, "Inducción de biofloculación en microalgas para la mejora del proceso de recolección de biomasa a escala industrial," 2014. [Online 22/10/2022]. Disponible: <https://www.researchgate.net/publication/277776152>
11. Y. Yolima Peralta-Ruiz, Y. Pardo Cárdenas, H. David, C. Romero, and V. Kafarov, "Implementación de la metodología de síntesis y análisis de procesos a la etapa de cosecha de microalgas para la producción de biodiesel", *Prospect.*, vol. 10, no. 1, pp. 132–14, 2012 doi: 10.15665/rp.v10i1.405.
12. P. Hidalgo, C. Toro, G. Ciudad, and R. Navia, "Advances in direct transesterification of microalgal biomass for biodiesel production," *Rev Environ Sci Biotechnol*, vol. 12, no. 2, pp. 179–199, Jun. 2013, doi: 10.1007/s11157-013-9308-0.
13. A. K. Azad, S. C. Sharma, and M. G. Rasul, *Clean Energy for Sustainable Development: Comparisons and Contrasts of New Approaches*. 2017. Ed. Academic Press
14. R. Halim, M. K. Danquah, and P. A. Webley, "Extraction of oil from microalgae for biodiesel production: A review," *Biotechnology Advances*, vol. 30, no. 3. pp. 709–732, May 2012. doi: 10.1016/j.biotechadv.2012.01.001.
15. X. Miao and Q. Wu, "High yield bio-oil production from fast pyrolysis by metabolic controlling of *Chlorella protothecoides*," *J Biotechnol*, vol. 110, no. 1, pp. 85–93, May 2004, doi: 10.1016/j.jbiotec.2004.01.013.
16. M. Y. Cheah, H. C. Ong, N. W. M. Zulkifli, H. H. Masjuki, and A. Salleh, "Physicochemical and tribological properties of microalgae oil as biolubricant for hydrogen-powered engine," *Int J Hydrogen Energy*, vol. 45, no. 42, pp. 22364–22381, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.ijhydene.2019.11.020.

17. Martillo García Wendy F, L. G. Anchundia Eduardo, R. A. Cordova Mayra, B. E. Ponce Gema, M. A. Mendoza Carlos, and S. Palacios, "Cinética de la reacción de transesterificación del aceite de moringa en la obtención de biocombustible" *RIEMAT*, vol. 5, no. 2. 2020. doi: <https://doi.org/10.33936/riemat.v5i2.2966>
18. G. C. Castellar Ortega, E. R. Angulo Mercado, and B. M. Cardozo Arrieta, "Transesterificación de aceites vegetales empleando catalizadores heterogéneos" *Prospect.*, vol. 12, no. 2, pp. 90–104, 2014 doi:10.15665/rp.v12i2.293.
19. Torres-Rivero, Ligia A., Ben-Youseff, Cherif, Alcocer-T, L. Beatriz., y De La Rosa-G, Darani. Efecto de la temperatura y del tiempo de reacción sobre la esterificación y la transesterificación de aceites comestibles usados. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*. 2017, 4-13: 19-35.
20. J. M. Encinar, S. Nogales, and J. F. González, "Biodiesel and biolubricant production from different vegetable oils through transesterification," *Engineering Reports*, vol. 2, no. 12, Dec. 2020, doi: 10.1002/eng2.12190.
21. S. Torres, G. Acien, F. García-Cuadra, and R. Navia, "Direct transesterification of microalgae biomass and biodiesel refining with vacuum distillation," *Algal Res*, vol. 28, pp. 30–38, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.algal.2017.10.001.
22. M. B. Johnson and Z. Wen, "Production of biodiesel fuel from the microalga *schizochytrium limacinum* by direct transesterification of algal biomass," *Energy and Fuels*, vol. 23, no. 10, pp. 5179–5183, Oct. 2009, doi: 10.1021/ef900704h.
23. S. T. Al-Humairi, J. G. M. Lee, and A. P. Harvey, "Direct and rapid production of biodiesel from algae foamate using a homogeneous base catalyst as part of an intensified process," *Energy Conversion and Management: X*, vol. 16, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.ecmx.2022.100284.

INFORME DE LA ACTIVIDAD - 1

IV Congreso Hispanoamericano y XII Congreso Nacional de Historia de la Construcción

Fechas inicial y final de la actividad:

04 / 10 / 2022 al 08 / 10 / 2022

Tipo de Actividad:

Congreso

Investigador/a Responsable:

Pedro Plasencia Lozano

Lugar donde se sitúa la actividad:

Escuela Politécnica de Mieres de la Universidad de Oviedo

Empresas o instituciones colaboradoras:

Sociedad Española de Historia de la Construcción
Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos
Escuela Politécnica de Mieres-Universidad de Oviedo
Instituto Juan de Herrera

1. Personal:

- **Director:**
 - Pedro Plasencia Lozano (profesor Uniovi).
- **Comité Organizador:**
 - Marina Bargón García (doctoranda Uniovi); M^a Pilar Castro García (profesora Uniovi); Enrique Covián Regales (profesor Uniovi); Virginia Flores Sasso; Marta García Diéguez (profesora Uniovi); Ignacio Javier Gil Crespo; Mario López Gallego (profesor Uniovi); Ángel Martín Rodríguez (profesor Uniovi); Irene Méndez Manjón (doctoranda Uniovi); Esteban Prieto Vicioso; Rogelio Ruiz Fernández; Juan Sevilla Álvarez (profesor Uniovi)
- **Comité Científico:**
 - María del Carmen Adams Fernández (profesora Uniovi); Inmaculada Aguilar Civera; Antonio Almagro Gorbea; María Soledad Álvarez Martínez (profesora Uniovi); Ricardo Aroca Hernández-Ros; Jorge Bernabéu Larena; José Calvo López; Pepa Cassinello; Daniel Crespo Delgado; Manuel Durán Fuentes; Paula Fuentes González; María Pilar García Cuetos (profesora Uniovi); Rafael García García; Ignacio Javier Gil Crespo; Francisco Javier Girón Sierra; Amparo Graciani García; Rosa Ana Guerra Pestonit; María del Mar Lozano Bartolozzi; Rafael Marín Sánchez; Gaspar Muñoz Cosme; Carlos Nárdiz Ortiz; Pedro Navascués Palacio; Elena Ortueta Hilberath; Enrique Rabasa Díaz; Esther Redondo Martínez; Rita Ruiz Fernández; Antonio Ruiz Hernando; Fernando Vela Cossío; Arturo Zaragoza Catalán
- **Comité Internacional:**
 - Bill Addis (Reino Unido); Ignacio Arce (Jordania); María de las Nieves Arias Incolla (Argentina); Antonio Becchi (Italia); Tamara Blanes (Cuba); María Teresa Como (Italia); Dirk Bühler (Alemania); Mónica Cejudo Collera (México); Xavier Cortés de la Rocha (México); Beatriz del Cueto (Puerto Rico); Juan Ignacio del Cueto (México); Milagros Flores Román (Puerto Rico); Virginia Flores Sasso (Rep. Dominicana); Jorge Galindo Díaz (Colombia); Pedro Augusto Hurtado Valdez (Perú); Benjamín Ibarra Sevilla (México, EE.UU.); Fabián López Ulloa (Ecuador); Sandro Maíno (Chile); Joao Mascarenhas Mateus (Portugal); Sandra Negro Tua (Perú); John Ochsendorf (EE.UU.); Esteban Prieto Vicioso (Rep. Dominicana); María Isabel Sardón de Taboada (Perú); Mónica Silva Contreras (Venezuela); Daniel Taboada Espinella (Cuba); David Wendland (Alemania)

2. Metodología utilizada y material suministrado:

El congreso se compondrá de:

- Sesiones continuas presentando comunicaciones. Se prevén cuatro sesiones simultáneas.
- Conferencias plenarias magistrales. Un mínimo de 2.
- Viaje de campo. Un mínimo de 1 día entero.

3. Temas a tratar en el Congreso:

Los temas del congreso son los habituales en esta disciplina aunque se hará especial énfasis en la construcción asturiana, la arquitectura industrial y la historia de las obras públicas.

Memoria económica:**1. Gastos:**

Concepto	Gasto
Personal	12.000 €
Organización	20.000 €
Fungible	3.000 €
Otros gastos	10.000 €
TOTAL GASTOS	45.000 €

2. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Ayuda IUTA	400 €
Otras entidades / empresas financiadoras	Recaudación por inscripciones (estimación)	40.000 €
	Otros Ingresos	4.600 €
TOTAL INGRESOS		45.000 €

INFORME DE LA ACTIVIDAD - 2

3ª Edición del Curso Internacional Básico de Diseño y Planificación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible

Fechas inicial y final de la actividad:

14 / 09 / 2022 al 15 / 09 / 2022

Tipo de Actividad:

Curso

Investigador/a Responsable:

Luis Ángel Sañudo Fontaneda

Lugar donde se sitúa la actividad:

Universidad de Oviedo y on-line (septiembre de 2022)

Empresas o instituciones colaboradoras:

Instituto Universitario de Tecnología Industrial de Asturias (IUTA)
Universidad de Oviedo

Memoria Descriptiva de la Actividad:

El objetivo de este curso es el de familiarizar a profesionales de ingeniería con los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) y la visión internacional del nuevo paradigma de la gestión sostenible del agua urbana. Los participantes del curso adquirirán el conocimiento suficiente como para poder enfrentarse con garantías al diseño inicial de SUDS, así como al planteamiento de su construcción y actividades generales de mantenimiento. Además podrán adquirir un conocimiento básico sobre la normativa, guías y manuales que permitirían su implementación. De igual forma, se aportarán durante todo el curso casos prácticos, tanto a nivel nacional, como internacional.

La sociedad demanda profesionales con formación transversal en ingeniería, especialmente en aquellas áreas relacionadas con el biourbanismo y la adaptación al cambio climático, dentro del contexto de declaración de emergencia climática a escala mundial. Las técnicas centrales de bioingeniería que se utilizan por todo el mundo para atajar los efectos más extremos del cambio climático son los SUDS. La Universidad de Oviedo ha venido desarrollando una labor docente e investigadora centrada en estos aspectos desde finales de 2017, mediante la financiación del IUTA, el Ayuntamiento de Gijón y la propia Universidad de Oviedo. Los cursos de extensión para profesionales sobre SUDS de la Universidad de Oviedo se han convertido en un referente internacional, formando a decenas de profesionales en la temática dentro del tejido empresarial asturiano.

La formación que se aporta con este curso va dirigida tanto a profesionales de la administración pública, como a profesionales del ámbito de la consultoría medioambiental y el sector de la construcción, así como a profesionales trabajando en urbanismo y gestión integral del agua. De la misma manera, este curso se dirige a estudiantes de grado en sus últimos cursos de ingeniería, biología, medioambiente, geología y química, entre otras disciplinas asociadas a la gestión del agua, además de a estudiantes de máster y doctorado. Este curso aporta herramientas técnicas y nuevas tecnologías que contribuyen a la adaptación al cambio climático de los entornos urbanos, aportando conocimiento al tejido empresarial de la región, con un apoyo especial a las pequeñas y medianas empresas dedicadas a consultoría y emprendimiento en el ámbito de la ingeniería civil en Asturias.

Por último, el Ayuntamiento de Gijón se beneficiaría del uso de casos reales centrados en Gijón para tratar dentro del curso, fomentando el emprendimiento mediante el diseño e implementación de estas medidas de adaptación al cambio climático en la ciudad. Por último, destacar que el Ayuntamiento de Gijón, junto al IUTA, se han convertido en una pieza fundamental del desarrollo de esta línea de trabajo dentro de un sector estratégico de gran calado para nuestra región, mediante la financiación aportada en pasadas convocatorias.

El número de plazas se limitará a 15 personas en formato presencial y otras 15 personas en formato on-line, de forma que se pueda garantizar la participación activa dentro del curso en ambos formatos de docencia.

1. Personal:

- **Profesores/as e investigadores/as externos/as a la Universidad de Oviedo (por confirmar):**
 - Patricia Cuervo Uría – Regional Delivery Manager en Binnies, Reino Unido. Previamente fue Senior Flood Management Officer para el Ayuntamiento de Kensington & Chelsea con una amplia experiencia en la implementación de SUDS en Reino Unido.
 - Stephen J. Coupe – Associate Professor, Centre for Agroecology, Water and Resilience (CAWR), Coventry University, Reino Unido. Más de 20 años de experiencia en el diseño,

construcción, mantenimiento, operación e I+D+i en SUDS tanto en empresa como en la Universidad. Experto en microbiología aplicada a los SUDS.

- William F. Hunt – William Neal Reynolds Professor & Extension Specialist, Biological & Agricultural Engineering, North Carolina State University, EE. UU. El profesor Hunt ha desarrollado más de 200 proyectos asociadas con los SUDS, siendo Director de cursos de extensión internacionales en la temática. Redactor de guías y manuales prácticos sobre SUDS en EE. UU. Miembro de la ASCE.
- **Profesores / Investigadores del IUTA con proyectos relacionados con la temática del curso en las últimas convocatorias de financiación de proyectos de investigación del IUTA:**
 - Cristina Allende Prieto, Jorge Roces García y Luis Ángel Sañudo Fontaneda.
- **Estudiantes / investigadores de la Universidad de Oviedo en el curso 2021/2022 que han recibido beca del IUTA en convocatorias anteriores del Instituto para proyectos de investigación:**
 - Antonio Menéndez Suárez-Inclán y Carlos Rey Mahía.

2. Metodología utilizada y material suministrado:

En este curso se aplicarán metodologías dinámicas de innovación docente como el “flipped-classroom” y el aprendizaje basado en proyectos, utilizando casos reales a resolver mediante la implementación de estas técnicas de drenaje sostenible. Se fomentará el trabajo colaborativo, permitiendo a los estudiantes más jóvenes / recién titulados trabajar con empresarios y profesionales de la administración pública, de forma que dichas interacciones generen sinergias entre ellos, así como un aprendizaje más completo. Este sistema potencia el emprendimiento entre los más jóvenes, como se ha demostrado en experiencias de este tipo a nivel internacional.

Se mostrarán los últimos desarrollos en investigación dentro del trabajo de la Universidad de Oviedo para el diseño y planificación de SUDS (con financiación del IUTA, entre otros), incluyendo el uso de software libre.

3. Planificación temporal de la actividad:

El curso se plantea de forma tentativa para los días 14, 15 y 16 de septiembre de 2022 (fechas por confirmar con los ponentes internacionales). La duración aproximada del curso sería de 15 horas divididas en 3 días en horario de tarde en base a la siguiente programación docente:

<p>Día 1 – 14/09/2022 (5 horas) - 15:00 a 20:00</p> <p><i>(Conceptos generales de los SUDS y planificación)</i></p>	<p>Bienvenida / Introducción y presentación del curso.</p> <p>Diseño Urbano Sensible al Agua (DUSA) y tipologías de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).</p> <p>Pausa café.</p> <p>Escenario actual de implementación en España y Marco legislativo de implementación en Inglaterra.</p> <p>Planificación urbana multiescala para la implementación de SUDS – I (ejemplo práctico: proyecto IUTA2020 – SV-20-GIJÓN-1-25).</p>
--	---

<p>Día 2 – 15/09/2022 (5 horas) - 15:00 a 20:00</p> <p><i>(Diseño, operación y mantenimiento de SUDS)</i></p>	<p>Diseño de SUDS: Aspectos generales.</p> <p>Análisis espacial para la implementación de SUDS mediante software libre (ejemplo práctico: proyecto IUTA2020 – SV-20-GIJÓN-1-01).</p> <p>Pausa café.</p> <p>Operación y mantenimiento de SUDS.</p> <p>Actividad práctica de diseño, operación y mantenimiento de SUDS</p>
<p>Día 3 – 16/09/2022 (5 horas) - 15:00 a 20:00</p> <p><i>(Experiencias internacionales en SUDS)</i></p>	<p>SUDS in the UK: a R+D case in Coventry University.</p> <p>SUDS en proyectos urbanísticos del Ayuntamiento de Kensington y Chelsea (Londres).</p> <p>Pausa café.</p> <p>Bioretention design fundamentals + selecting bioretention media: practical cases in the US.</p> <p>Mesa redonda y cierre del curso.</p>

Memoria económica:

1. Gastos:

Concepto	Gasto
Personal	1.350 €
Organización	300 €
Fungible	300 €
TOTAL GASTOS	1.850 €

2. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Ayuda IUTA	300 €
Otras entidades / empresas financiadoras	Recaudación por inscripciones (estimación)	1.550 €
TOTAL INGRESOS		1.850 €



INSTITUTO
UNIVERSITARIO DE
TECNOLOGÍA INDUSTRIAL
DE ASTURIAS



Universidad de Oviedo



Milla del
Conocimiento
de Gijón/Xixón
> Margarita Salas