



AEND

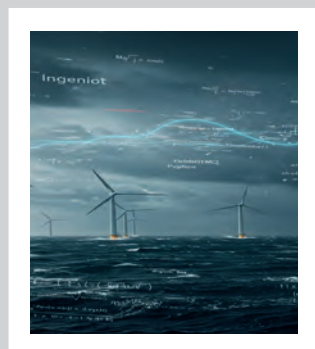
asociación española de ensayos no destructivos

revista nº 113 – Febrero 2026 – 6 €

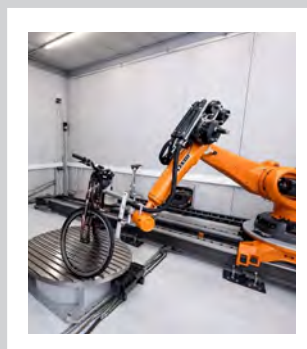
Dron para la captura de datos acústicos en el escenario de inspección actual



ARTÍCULOS TÉCNICOS



Escuchando a los aerogeneradores para entenderles. Parte 3ª



Radiografía digital automática: una solución para la inspección RX de grandes piezas



Caminando Juntos

COMERCIAL QUÍMICA MASSÓ

SOLUCIONES DE CALIDAD

LÍQUIDOS PENETRANTES Y PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

Consumibles y accesorios

MR CHEMIE
NDT-MATERIALS



RADIOGRAFÍA CONVENCIONAL Y DIGITAL



Carestream



EQUIPOS DE RAYOS X

Gama completa de equipos de hasta
360KV, direccionales y panorámicos o
montados en crawlers.

ICM
INDUSTRIAL CONTROL MACHINES S.A.



DeltaFlux

Bancadas magnéticas estándar y a medida
Equipos de magnetización portátil



BANCADAS

CONCEPTS
Inspection Technology Concepts

Videoscopios, Fibroscopios flexibles,
Boroscopios rígidos, Periféricos



**INSPECCIÓN
VISUAL REMOTA**

COMERCIAL QUÍMICA MASSÓ, S.A.

Viladomat, 321, 5º - 08029 Barcelona, Tel. +34 934 952 500
end@cquasso.com - www.cquasso.com

Comisión de Dirección:

Presidente:
Emilio González Álvarez

Vicepresidentes:
Esmeralda Cuevas Aguado
Rafael Martínez-Oña
Emilio Miguel Eugenia
Emilio Romero Ros
Jesús Serrano Sánchez
Antonio Soto Agüera

Secretario General:
Fermín Gómez Fraile

Director de la Revista:
Jesús Serrano Sánchez

Consejo de Redacción:
Elena Gómez Sánchez
Marta L. Martínez Germán
Jesús Serrano Sánchez

Publicidad:
e.gomez@aend.org
Teléfono: 913 612 585

Redacción y Coordinación:
Ana Romero Jiménez

Editora:
AEND
C/ Bocángel, 28 - 2º izda.
28028 Madrid
Teléfono: 913 612 585
informacion@aend.org
www.aend.org

Maquetación y Producción:
QENTA NOVA, S.L.



**Dron para la captura de
datos acústicos en el
escenario de inspección
actual**

SUMARIO



CARTA A LOS LECTORES 2



ENTREVISTA 8

Emilio Romero Ros, Secretario General de la Federación Europea de END (EFNDT)



ARTÍCULOS TÉCNICOS 16

Escuchando a los aerogeneradores para entenderles. Parte 3ª



ARTÍCULOS TÉCNICOS 30

Radiografía digital automática: una solución para la inspección RX de grandes piezas



Estimados lectores y colegas de la AEND,

Es un placer dirigirme a vosotros y expresar mi agradecimiento por el trabajo técnico y científico que, cada uno de nuestros lectores, lleva a cabo en el campo de los Ensayos No Destructivos en toda Europa.

Vuestras contribuciones académicas, de investigación y profesionales son pilares esenciales para el avance de nuestra Federación Europea de END EFNDT, (por su nombre en inglés) y para el fortalecimiento continuo de los estándares de calidad, seguridad e innovación que definen nuestro sector.

En un momento en que los END están evolucionando hacia nuevas tecnologías digitales, incluyendo la Inteligencia Artificial, la automatización, el análisis de los datos y, realizando enfoques de certificación más adaptativos, el papel de los expertos con fuertes antecedentes científicos, es más decisivo que nunca.

La EFNDT valora profundamente su compromiso y experiencia, que guían nuestras decisiones estratégicas, apoyan a nuestras Asociaciones Nacionales y ayudan a consolidar una visión europea común.

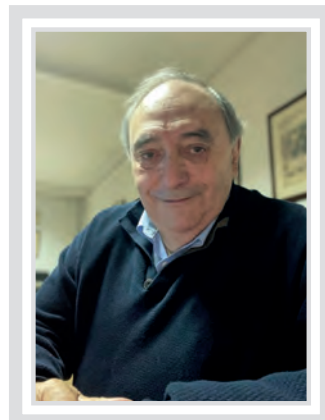
Animo a la AEND y a todos vosotros para que continuéis participando, activamente, en nuestros grupos de trabajo y foros, iniciativas técnicas, actividades de investigación colaborativas y proyectos con visión de futuro.

La visión académica y el liderazgo seguirán siendo fundamentales para garantizar que Europa permanezca a la vanguardia mundial en el desarrollo y la aplicación de los Ensayos No Destructivos.

Os agradezco, sinceramente, vuestra dedicación, profesionalismo y compromiso inquebrantables para elevar la calidad y el rigor técnico de nuestra comunidad garantizando la seguridad de todas nuestras actividades.

Finalmente, quedo a vuestra disposición para cualquier propuesta o contribución adicional que deseéis compartir.

Atentamente,



A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'F. Gómez Fraile', with a long, sweeping horizontal stroke at the end.

Fermín Gómez Fraile
Presidente de la EFNDT
Secretario General de la AEND

**PARTÍCULAS
MAGNÉTICAS**

Ardrox®



**Resultados en los
que poder confiar**



**Dedicados a los END
en España desde 1970**



Ardrox®

**LÍQUIDOS
PENETRANTES**



El valor de la **CERTIFICACIÓN**



MÁS INFORMACIÓN:

AEND | C/ Bocángel, 28 - 2º Izda. | 28028 Madrid

Tfno.: 91 361 25 85 | Fax: 91 361 47 61

E-mail: informacion@aend.org

AEND | www.aend.org

Resultados más rápidos



39DL PLUS™

Medidor de espesores ultrasónico

Experimente la mayor rapidez y conectividad de nuestro emblemático medidor de espesores portátil. Ya sea si lo utiliza en aplicaciones de precisión o para seguimiento de la corrosión nuestro medidor 39DL PLUS le proporciona hoy los resultados en los que puede confiar a través de un flujo de trabajo ágil.

- **Rápido:** Localice pérdidas de espesor a una velocidad de escaneo excepcional.
- **Preparado para el futuro:** Ahorre tiempo gracias a su avanzada conectividad y aplicaciones.
- **Comprobado en campo:** Confíe en un diseño robusto y una tecnología ultrasónica de prestigio mundial.



Escanee este código QR
para más información.





smartndt
INNOVATIVE SOLUTION PROVIDER

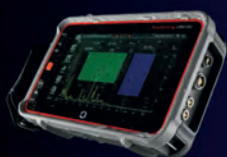


smartndt.es

your 360° NDT Partner

Waygate
Technologies

USM 100



SciAps

SERIE X-200



F
FISHER

SONODUR 3



viZaar

VUCAM



Waygate
Technologies

DXR Flex



FLUXO

PARTÍCULAS MAGNÉTICAS LÍQUIDOS PENETRANTES



Calle Edgar Neville 6,
piso 1, pta DCHA A
28020 Madrid - España
E info@smartndt.es
T +34 911 69 84 69516



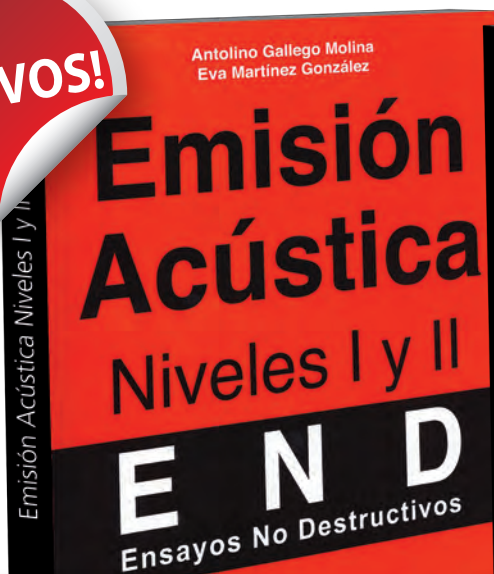


AEND

asociación española de
ensayos no destructivos

PUBLICACIONES

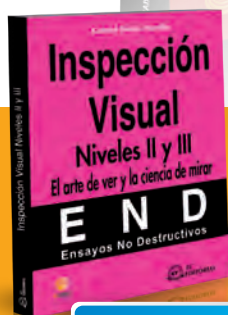
¡NUEVOS!



27€



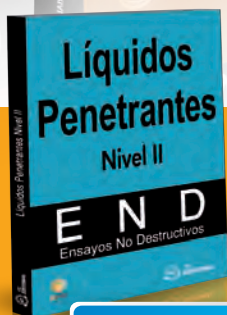
28€



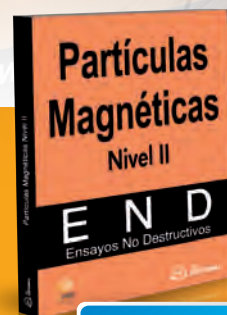
29€



23€



19€



21€



23€

Y recuerde, si es socio de AEND, disfrutará de un **10% de descuento**.

Precios con IVA incluido.

MÁS INFORMACIÓN:

AEND | C/ Bocángel, 28 - 2º Izda. | 28028 Madrid

Tfno.: 91 361 25 85 | Fax: 91 361 47 61

E-mail: informacion@aend.org

AEND | www.aend.org



En el presente número de nuestra revista tenemos la satisfacción de entrevistar a Emilio Romero Ros.

Emilio fue uno de los miembros fundadores de la Asociación Española de END (AEND), actualmente, desempeña el cargo de Secretario General de la Federación Europea de END (EFNDT) y además, es miembro del Comité Asesor de la AEND y, por consiguiente, uno de nuestros miembros más veteranos.

Buen y gran amigo Emilio, como comienzo debemos aclarar que, en tu caso, más que una entrevista, lo que vamos a pedirte es que nos hagas un resumen de lo que ha sido el desarrollo de tu actividad como Secretario de la EFNDT, lo que también nos servirá de registro histórico del último periodo de la actividad de la mencionada entidad.

2020-2026 Actividades de la Secretaría General de la EFNDT durante la presidencia de Fermín Gómez Fraile

Como es bien sabido, la Federación Europea de Ensayos No Destructivos (EFNDT) se fundó en 1998 durante el 7º Congreso del Consejo Europeo de END (ECNDT), celebrado en Copenhague, siendo elegido primer Presidente el Profesor Dierk Schnitger, Presidente de la Asociación Alemana de END (DGZFP). Desde entonces la relación de presidentes de la EFNDT es la siguiente:

- Dierk Schnitger, Alemania 1998-1999
- Roger Roche, Francia 2000-2003
- Mike Farley, Reino Unido 2003-2009
- Vera Krstelj, Croacia 2009-2012
- Matthias Purschke, Alemania 2012-2015
- Peter Trampus, Hungría 2015-2018
- Roger Lyon, Reino Unido 2018-2019

En 2019 falleció Roger Lyon durante su presidencia y, según los estatutos, con el fin de mantener la línea de actuación iniciada por un Presidente, es aconsejable que ocupe su lugar el Vicepresidente, a la sazón Fermín Gómez, quien es ratificado en el año 2020, con lo que es el actual Presidente de la EFNDT hasta el próximo año 2026.

El primer "Board of Directors" (BoD) de este periodo, estaba compuesto por:

- Presidente: Fermín Gómez (España)
- Vicepresidente: Alexander Mullin (Rusia)

Directores:

- Etienne Martin (Francia)
- Y. Mirchev (Bulgaria)
- J. Verkoojen (Países Bajos)
- Bento Alves (Portugal)
- Pavel Mazel (Chequia)
- Anton Erhard (Alemania)
- Michele Carboni (Italia)
- David Gilbert (Reino Unido)

Cuando se elige un presidente de la EFNDT, la asociación nacional a la que pertenece, se responsabiliza de la secretaría general, en este caso la AEND. Para ello, el Presidente Fermín Gómez me designó como Secretario General que, para desempeñar esta función, me apoyé en el personal de

la AEND, con especial participación en los temas administrativos de nuestra compañera Gema Llorente.

La secretaria, siguiendo instrucciones del presidente, convoca las reuniones del BoD y de las asambleas generales, prepara las actas de estas reuniones, coordina las acciones a desarrollar en las elecciones a miembros del BoD, se encarga de las relaciones con los responsables de los grupos de trabajo creados, colabora con la asociación en la organización de un congreso de nivel europeo, mantiene actualizada la web y se ocupa de poner en conocimiento de todas las asociaciones nacionales, miembros de la EFNDT, de toda la información que pueda ser de su interés para el buen funcionamiento de la Federación.

En enero de 2020 es oficial la "pandemia Covid" con lo que la presidencia de la EFNDT decide que las reuniones del BoD dejen de ser presenciales y se celebren vía Internet.

La Secretaría General preparó un modelo de agenda para estas reuniones del BoD que, aparte de temas que puedan surgir con suficiente importancia para ser incluidos en esas reuniones, tendrá como puntos fijos la información de los avances de los grupos de trabajo y de los foros, la cooperación con organizaciones e instituciones internacionales, la información sobre los congresos mundiales organizados por el Comité Internacional de END (ICNDT) y sobre los congresos organizados por sus cuatro federaciones: Europea, Panamericana, Asia-Pacífico y Africana.

Los grupos de trabajo creados en la EFNDT han ido creciendo desde 2020 hasta la actualidad que cuenta con los 10 siguientes:

- WG 1. Educación e investigación
- WG 2. Protección radiológica y ADR
- WG 3. Condition Monitoring

- WG 4. Acreditación de laboratorios
- WG 5. END en la seguridad de personas e instalaciones
- WG 6. Fabricación aditiva
- WG 7. Análisis de riesgos
- WG 8. Factores humanos
- WG 9. Ética
- WG 10. END 4.0

También existen 5 foros:

- Foro de entidades nacionales de END en la industria aérea
- Foro de industrias relacionadas con el ferrocarril
- Foro de industrias relacionadas con las actividades marinas
- Foro de industrias relacionadas con la construcción de estructuras civiles
- Foro sobre Inteligencia Artificial

Cada uno de ellos está coordinado por un experto designado por el BoD al que informa de sus actividades bien directamente, acudiendo a una de sus reuniones, o bien a través de la Secretaría General.

Las organizaciones e instituciones con las que coopera la EFNDT son las siguientes:

TIC Council. Asociación internacional que representa más de 90 organizaciones independientes de tercera parte de



Central nuclear

ensayo, inspección, certificación y verificación. Existe un acuerdo entre el TIC y la EFNDT por el cual la sede oficial de la EFNDT está en sus oficinas en la Rue du Commerce, 22 de Bruselas.

Eurolab. Asociación sin ánimo de lucro que agrupa a entidades, organizaciones e instituciones tanto de carácter público, como privado, cuya actividad principal son las técnicas de laboratorio.

ENIQ. Organización europea que se ocupa de la fiabilidad y eficiencia de los Ensayos No Destructivos aplicados en las plantas nucleares de potencia a través de la inspección y la cualificación.

EFW. Federación europea de soldadura y técnicas de unión.

ESIS. Sociedad europea que se centra en la integridad estructural de los materiales y de la ingeniería.

IAEA. Agencia internacional de la energía atómica.

En el caso de la información sobre congresos internacionales, todos se han visto afectados por la pandemia; así, el 20º congreso mundial a celebrar en Corea del Sur, que debía realizarse en 2020, se aplazó hasta el año 2024, y el 13º congreso europeo a celebrar en Lisboa, organizado por la asociación portuguesa de END y la EFNDT, que debía realizarse en 2022, se aplazó a 2023 al que seguirá, en 2026, el 14º congreso a celebrar en Verona (Italia). Esto mismo ocurrió con diferentes congresos y conferencias organizados en otras federaciones del ICNDT. En las correspondientes Asambleas Generales del ICNDT y la EFNDT se han elegido como sedes de los próximos congresos mundial y europeo, Buenos Aires en 2028 y Sevilla en 2030, respectivamente.



En 2026 se celebrará el 14º Congreso en Verona (Italia)

Actividades relevantes y toma de decisiones importantes desarrolladas en la EFNDT en este periodo (2020-2026):

Proyecto RIMA

RIMA (Robotics for Inspection and Maintenance) es un proyecto de 4 años (H2020), financiado por la Unión

Europea, dirigido por Peter Trampus, que trata de establecer una red de 13 centros de innovación digitales sobre robótica que compartan sus mejores prácticas y suministren servicios para facilitar el uso de tecnologías de inspección y mantenimiento. El papel de la EFNDT en el Proyecto RIMA es: apoyar la identificación de prioridades y ayudar a definir

los desafíos, aplicar soluciones de autómatas y robots en el campo de los END, diseminar entre sus miembros la información relacionada con los progresos y resultados del proyecto. El proyecto terminó en 2024 con buenos resultados tanto técnicos como económicos.

Rusia

Como consecuencia de la invasión, en febrero de 2022, de parte del territorio ucraniano por tropas del ejército ruso, la Unión Europea tomó el acuerdo de prohibir la presencia de expertos rusos en cualquier reunión a nivel europeo en la que se trataran temas científicos o tecnológicos. La EFNDT, siguiendo este acuerdo de la UE, adoptó la prohibición de la asistencia de técnicos y científicos rusos a las reuniones, conferencias y congresos que organice, incluyendo las propias reuniones del BoD. De acuerdo con esta decisión, el Vicepresidente vigente de la EFNDT, Alexander Mullin de la asociación rusa de END, envió a primeros de 2023 un escrito, vía email, indicando su renuncia a la vicepresidencia de la EFNDT y a coordinar su CEC (Comité Ejecutivo de Certificación).

Ingeniero de END

Creación en diciembre de 2020 de un grupo de trabajo compuesto por 3 miembros de la EWF (Federación Europea de Soldadura) y 4 miembros de la EFNDT coordinado por Bento Alves de Portugal, para analizar el estado en que se encuentra en distintos países de Europa esta titulación y su comparación, y posible simultaneidad, con la de Nivel 3 de la norma EN ISO 9712.

Brexit

El 1 de febrero de 2020 el Reino Unido abandonó su condición de Estado miembro de la Unión Europea, lo que supuso que los certificados del personal que realiza Ensayos No Destructivos, emitidos por el PCN del BINDT, dejaban de estar incluidos en el MRA (Acuerdo de Reconocimiento Mutuo) por lo que se necesitaba que una asociación nacional europea, miembro de la EFNDT, reconociera dichos certificados mediante un procedimiento que fuera aceptado por la EFNDT: esta situación se resolvió a través de la Asociación Irlandesa de END.

13ª Conferencia Europea de END

Organizada por RELACRE, asociación portuguesa de END, se celebró, con el alto patrocinio del Presidente de la República, del 3 de julio al 7 de julio de 2023, en el Palacio de Congresos de Lisboa, y con el soporte de la EFNDT. Los datos finales fueron: participantes (incluyendo acompañantes) 1456; patrocinadores 20; exhibidores 137 (incluyendo 21 asociaciones nacionales); presentaciones orales 322; reuniones en paralelo 20 (incluyendo del ICNDT, de la EFNDT, del ISO/TC 135, etc.).

Obituario

En abril de 2025 falleció Peter Trampus, Presidente de la Asociación Húngara de END (MAROVISZ) y de la EFNDT de 2015 a 2018. El Profesor Trampus fue un distinguido ingeniero y líder cuyo trabajo ha marcado una profunda huella en el desarrollo y avance de los END no solo en Europa sino en el resto de mundo. Como Presidente de la EFNDT ha sido un incansable promotor de la innovación y la cooperación, abriendo nuevos caminos en el crecimiento y la integración de las prácticas de END a través de las asociaciones miembros. Descanse en paz.

Certificación en END

Con el fin de intentar homogeneizar los procedimientos de certificación del personal siguiendo la norma EN ISO 9712 que se utilizan en las distintas asociaciones, el BoD acordó crear un grupo de trabajo "ad hoc" que analizara dichos procedimientos y le presentara sus conclusiones en el congreso de Verona. Para coordinar este grupo se designó a Enrico Vignati, de la Asociación Italiana.

También se discutió la posibilidad de organizar un Congreso Europeo de Certificación, a celebrar en 2027.

Elecciones a miembros del BoD

En la Asamblea General del 4 de julio de 2023 se procedió, como es preceptivo, a las elecciones para la renovación del BoD de la EFNDT.

EF European Federation for
Non-Destructive Testing
NDT

European Federation for Non-Destructive Testing

El resultado fue el siguiente:

- Presidente Fermín Gómez (España)
- Vicepresidente Ezio Tuberosa (Italia)

Directores:

- Tomasz Chady (Polonia)
- Peter Fisch (Suiza)
- David Gilbert (Reino Unido)
- Gerald Idinger (Austria)
- Thomas Wenzel (Alemania)
- Frédéric Schaditzki (Francia)

En una Asamblea General específica posterior se eligieron a Libor Topolar (Chequia) y a Bento Alves (Portugal) para cubrir las dos plazas del BoD que habían quedado vacantes.



Foto de familia de los asistentes a la reunión del Board of Directors de la EFNDT, el pasado mes de febrero en la sede de la AEND, en Madrid

Procedimientos Operativos

Procedimientos Operativos. La Secretaría General ha revisado y actualizado los 13 OP (Operating Procedures) que se elaboraron durante la presidencia de Mike Farley, para desarrollar las funciones que encomiendan los Estatutos de la EFNDT al BoD. A mediados de febrero de 2026 se celebrará una reunión del BoD para analizar los comentarios recibidos en la Secretaría General de los miembros del BoD y preparar la propuesta de nuevos OP que se presentarán para su aprobación en otra reunión del BoD en el mes de mayo de 2026.

Muchas gracias, Emilio, por el tiempo que has dedicado para preparar esta corta biografía de la EFNDT, pero mucho más, por la importancia y eficacia de tu labor como Secretario General de la mencionada entidad. Así mismo, hacemos extensivo nuestro agradecimiento por el largo periodo de tu vida que has dedicado a nuestra Asociación, y que esperamos que "mientras el cuerpo aguante" sigas echándonos una mano.

Certificación | Formación | Difusión

ASOCIACIÓN PROFESIONAL SIN ÁNIMO DE LUCRO CONSTITUIDA EN EL AÑO 1988



**Miembro
de pleno derecho de
la Federación Europea
de END (EFNDT) y del
Comité Internacional
de END (ICNDT)**

PRINCIPALES ACTIVIDADES

- **Certificación** del personal de END, a través de su organismo independiente CERTIAEND (acreditado por ENAC según EN ISO/IEC 17024 y UNE EN ISO 9712).
- **Formación** en END. Cursos permanentes en la sede y también a medida en las instalaciones del cliente.
- **Cualificación** del personal de Niveles 1, 2 y 3 que realiza END en el sector Aeroespacial, de acuerdo con UNE EN 4179, a través del centro de examen de la AEND, CECAEND.
- **Publicación** de manuales y textos de estudio.
- **Difusión** mediante su revista "AEND".
- **Organización** de eventos nacionales e internacionales.
- **Participación** en proyectos internacionales.
- **Normalización**, participando en los Comités Técnicos CTN 130 de AENOR, TC 138 del CEN y TC 135 de ISO.



EF European Federation for
Non-Destructive Testing
NDT



VERONA, 15-19 JUNE

ECNDT ^{14th} 2026

EUROPEAN CONFERENCE ON NON-DESTRUCTIVE TESTING



SAVE THE DATE

JUNE 15th/19th 2026

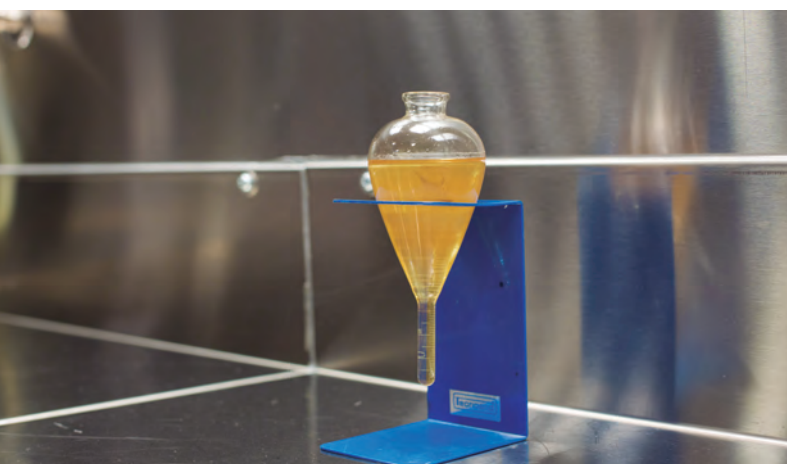
VERONA (ITALY)

Veronafiere

ecndt2026@aipnd.it - www.ecndt2026.org

LABORATORIOS de la AEND

Ven a visitar nuestras Aulas
y Laboratorios de Formación



MÁS INFORMACIÓN:

AEND | C/ Bocángel, 28 - 2º Izda. | 28028 Madrid

Tfno.: 91 361 25 85 | Fax: 91 361 47 61

E-mail: informacion@aend.org

AEND | www.aend.org



smartndt
INNOVATIVE SOLUTION PROVIDER

info@smartndt.es

Innovar es nuestra órbita natural

SMART NDT es una empresa joven y dinámica creada para satisfacer las necesidades de un mercado en constante evolución.



FORMACIÓN



SERVICIO



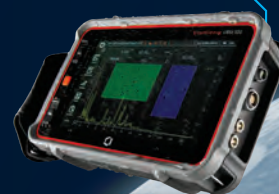
CERTIFICACIONES



DISTRIBUCIÓN

Waygate Technologies
a Baker Hughes business

USM 100



SONODUR 3



Waygate Technologies
a Baker Hughes business

DXR Flex



SciAps
ANALYZE YOUR WORLD

SERIE Z-902



SciAps
ANALYZE YOUR WORLD

SERIE X-200



SMART NDT SL

Calle Edgar Neville 6 - PL.1A - P.ta DCHA
28020 Madrid - España
E info@smartndt.es T +34 911 698469

Escanea el Código QR
y descubre nuestras novedades

smartndt.es



ESCUCHANDO A LOS AEROGENERADORES PARA ENTENDERLES

PARTE 3ª*

Autores

Daniel Eduardo Almeida Correa ¹, Fausto Pedro García Márquez ²
danieleduardo.almeid@uclm.es ¹, faustopedro.garcia@uclm.es ²
^{1,2} Ingenium Research Group, Universidad de Castilla-Mancha, España



El mantenimiento de aerogeneradores en el océano o mar representa un desafío analítico crítico, por el volumen masivo de datos obtenidos por los sensores empleados en ellos y la gran variedad de tipos de señales que se leen. Esto genera numerosas falsas alarmas, lo que implica la pérdida de producción, de ingresos e incremento de costes para gestionarlas, como inspecciones, operaciones, etc. Para ello se pueden emplear nuevos sensores embebidos en dispositivos móviles para poder determinar si es falsa alarma o no, evitando con ello enviar a operarios, reducir las paradas, maximizar la producción, ...

Este artículo está basado en el trabajo que se ha llevado a cabo en "Ingenio", una plataforma de computación en la nube diseñada para el análisis acústico de las señales recogidas mediante drones, superando las limitaciones de escalabilidad de los modelos de monitorización actuales que emplean, principalmente, estaciones terrestres tradicionales.

A diferencia de enfoques previos centrados solo en latencia, este estudio evalúa integralmente el coste computacional y la huella de carbono. Los resultados, obtenidos mediante una proyección teórica simulada sobre un horizonte de 10 años de carga computacional (86.400 horas), se estima que la arquitectura de computación de alto rendimiento (en inglés, *High Performance Computing, HPC*) en la nube reduce el consumo energético en un 92.7% y evita la emisión de 32.2 toneladas de CO₂ en comparación con el procesamiento distribuido, alineándose con los principios de la inteligencia artificial verde (*Green AI*) y la sostenibilidad industrial.

1. Introducción

1.1. Antecedentes

La importancia y urgencia por la reducción de emisiones de carbono ha impulsado un crecimiento sostenido del sector eólico, proyectándose superar los 2 TW de capacidad mundial para 2030.

En Europa, este ritmo exige instalar promedios anuales de 22 GW, evidenciando una brecha entre el despliegue actual y las metas climáticas. Sin embargo, esta implementación masiva de nuevos aerogeneradores conlleva un talón de Aquiles económico: la gestión de los elevados costes de operación y mantenimiento (en inglés *Operations & Maintenance O&M*) y las paradas no planificadas, que comprometen la rentabilidad de los parques eólicos (Segovia Ramírez, Bernalte Sánchez, et al., 2025) (*WindEurope*, 2025a, 2025b), (Segovia Ramírez, García Márquez, et al., 2025).

1.2. Desafíos de operación y mantenimiento en la energía eólica

Uno de los mayores retos del sector eólico son los elevados costes de operación y mantenimiento (O&M), agravados por paradas no planificadas que interrumpen la producción y requieren intervenciones costosas. Estos eventos imprevistos pueden representar entre el 13% y el 24% de los costes totales de generación, haciendo imperativo el uso de tecnologías que minimicen el tiempo de inactividad. (Bernalte Sánchez et al., 2025; Segovia Ramírez & Bernalte Sánchez, 2025).

Históricamente, la monitorización dependía de inspecciones visuales sencillas y peligrosas o de sistemas de Control de Supervisión y Adquisición de Datos (en inglés, *Supervisory Control and Data Acquisition, SCADA*) que, pese a ser estándar, sufren y generan numerosas falsas alarmas y baja capacidad predictiva ante fallos incipientes. La industria ha evolucionado hacia el uso de Vehículos Aéreos No Tripulados

* Las partes 1 y 2 pueden obtenerse en el apartado de revistas digitales de www.aend.org

(en inglés, *Unmanned Aerial Vehicles, UAVs*) equipados con sensores para Ensayos No Destructivos (END), mejorando la seguridad y permitiendo detectar daños internos (Segovia Ramírez, Bernalte Sánchez, et al., 2025).

Sin embargo, esta modernización ha generado una inflación de datos inmanejable para las estaciones terrestres tradicionales, creando cuellos de botella computacionales en la gestión de los mismos. Este procesamiento masivo conlleva, a su vez, una huella de carbono digital significativa. Por ello, para garantizar una sostenibilidad real, es crítico evolucionar hacia arquitecturas en la nube bajo principios de *Green AI*, que optimicen tanto la detección de fallos de *fallot* como el consumo energético y las emisiones de CO₂ del ciclo de vida del dato (Bernalte Sánchez et al., 2025; Naqash & Alam, 2025).

Para superar las limitaciones anteriores, la industria está adoptando métodos de Ensayos No Destructivos (END), tales como ultrasonidos, termografía, emisión acústica y análisis de vibraciones (Henderson et al., 2024). Estos métodos permiten evaluar la integridad estructural sin dañar el componente y, al integrarse con los vehículos aéreos no tripulados (en inglés, *Unmanned Aerial Vehicle, UAV*, mejoran la seguridad y la eficiencia operativa. Por ejemplo, métodos como la termografía permiten detectar cambios de temperatura, mientras que los ultrasonidos facilitan la identificación de fallos internos. Los vehículos aéreos no tripulados, equipados con sensores como LiDAR o cámaras térmicas,

también, sensores de detección acústica o de sonido, evitan las inspecciones manuales por grúa o cuerda, salvaguardando así la seguridad de los operadores (Bernalte Sánchez et al., 2025; Naqash & Alam, 2025; Segovia Ramírez & Bernalte Sánchez, 2025).

Si bien la integración de vehículos aéreos no tripulados y métodos de Ensayos No Destructivos han revolucionado la inspección de aerogeneradores al facilitar el acceso a componentes críticos. Este avance ha traído consigo un desafío colateral: una avalancha de información difícil de gestionar con las arquitecturas tradicionales.

El flujo de trabajo convencional, dependiente del almacenamiento local en tarjetas SD y el procesamiento posterior en una estación terrestre aislada, por ejemplo, ha demostrado ser eficaz para inspecciones puntuales, pero resulta inviable para la gestión de parques eólicos a gran escala. La supervisión simultánea de múltiples vehículos aéreos no tripulados, por ejemplo, una flota de 50 aerogeneradores genera un cuello de botella computacional que una estación local no puede procesar en tiempo real. Para superar esta barrera de escalabilidad, es necesario evolucionar hacia una arquitectura de "Cómputo Continuo". En esta línea, el procesamiento y análisis masivo de datos se centraliza en la nube, permitiendo una monitorización remota, simultánea y eficiente de gran cantidad de datos y variables. La Figura 1 muestra un parque de aerogeneradores en el mar.

Métodos como la termografía permiten detectar cambios de temperatura, mientras que los ultrasonidos facilitan la identificación de fallos internos



Figura 1. Representación del ecosistema "IngenIoT": integración de aerogeneradores en el mar con infraestructura de procesamiento en la nube y almacenamiento distribuido de datos y cómputo

La digitalización de la monitorización eólica, aunque favorece la energía limpia, requiere una infraestructura computacional que consume cada vez más recursos energéticos. El procesamiento de grandes volúmenes de datos y el uso de IA generan una huella de carbono digital significativa, a menudo ignorada cuando se busca mayor precisión en la detección de fallos.

Por ello, para que la energía eólica sea verdaderamente sostenible, sus sistemas de monitorización deben incorporar principios de Inteligencia Artificial Verde (en inglés, *Green Artificial Intelligence, Green AI*), priorizando arquitecturas y flujos de datos que no solo optimicen la detección temprana de fallos o anomalías, sino que también reduzcan el coste computacional y las emisiones de CO₂ asociadas al ciclo de vida del dato.

El resto del presente artículo se estructura de la siguiente manera: La Sección 2 ofrece una revisión del estado del arte. La Sección 3 detalla la arquitectura de la plataforma "IngenIoT". La Sección 4 establece la metodología matemática. La Sección 5 presenta los resultados cuantitativos y la discusión. La Sección 6 introduce un análisis de sensibilidad ante variaciones geográficas. Finalmente, la Sección 7 resume las conclusiones y la Sección 8 propone líneas de trabajo futuro.

El análisis acústico en el dominio tiempo-frecuencia ha demostrado que es posible identificar patrones de fallo específicos filtrando el ruido ambiental y el producido por el propio UAV (sistema mostrado en la Figura 2). La integración de sensores acústicos en vehículos aéreos no tripulados ha permitido facilitar estas inspecciones, acercando el sensor a la fuente del sonido (principalmente a la góndola) y superando las limitaciones de los micrófonos fijos en tierra (Segovia Ramírez, Bernalte Sánchez, et al., 2025; Segovia Ramírez et al., 2024; Segovia Ramírez & Bernalte Sánchez, 2025).



Figura 2. Equipamiento de adquisición UAV: Proyecto *WindSound*

2. Trabajos relacionados

El mantenimiento de parques eólicos ha evolucionado desde los enfoques correctivos hacia estrategias predictivas basadas en datos masivos. Esta sección analiza un breve estado del arte basado en tres ejes claves: la inspección acústica con drones, las arquitecturas de procesamiento distribuido y la sostenibilidad de los algoritmos de inteligencia artificial.

2.1. Inspección acústica y uso de UAVs

Los sistemas de monitorización de condición en aerogeneradores son clave para reducir los costes de operación y mantenimiento, que pueden alcanzar el 25% del coste total de la energía. Tradicionalmente, los sistemas SCADA han sido la fuente principal de datos, pero su capacidad para detectar fallos en componentes como las palas es limitada. En respuesta, trabajos recientes han validado el uso de señales acústicas como una técnica no destructiva eficaz.

La transmisión de audio en alta definición desde ubicaciones remotas, especialmente lejos de la costa, hacia servidores centrales o en tierra conlleva problemas de latencia y saturación de ancho de banda

2.2. Arquitecturas *Cloud* en entornos industriales

A pesar de la eficacia del uso de los drones, la gestión del volumen de datos masivo generado por un conjunto de aerogeneradores sigue siendo un desafío no resuelto por las arquitecturas centralizadas clásicas.

La transmisión de audio en alta definición desde ubicaciones remotas, especialmente lejos de la costa, hacia servidores centrales o en tierra conlleva problemas de latencia y saturación de ancho de banda. Investigaciones recientes proponen el paradigma de cómputo continuo como solución, donde el preprocesamiento ligero se realiza en el dispositivo de borde (Edge) y el análisis pesado en la nube (da & Zyrianoff Supervisore Marco Di

Felice, n.d.; Liang et al., 2024) Sin embargo, la mayoría de estas propuestas se centran en la optimización de la latencia de red, dejando de lado el análisis del consumo energético global de la arquitectura.

2.3. Sostenibilidad y huella de carbono en IA

El auge del “aprendizaje de máquina” y la IA en el mantenimiento predictivo ha despertado una preocupación creciente sobre su coste ambiental. El entrenamiento de modelos complejos, como las Redes Neuronales Convolucionales (en inglés *Convunational Neural Network CNN*), requiere un gran consumo energético. Estudios como (Strubell et al., 2019) han alertado sobre la magnitud de la huella de carbono en empleo de la IA, promoviendo el concepto de *Green AI* o *IA Verde*. A diferencia de la Red AI, que busca la máxima precisión sin importar el coste, la IA Verde busca un equilibrio entre desempeño y eficiencia. En el contexto de la energía eólica, existe un vacío en la literatura: pocos trabajos evalúan si el coste ambiental de desplegar estos sistemas digitales compensa los beneficios operativos obtenidos. Este artículo aborda dicha brecha, proponiendo una plataforma que integra la eficiencia de la arquitectura *Edge* con métricas de sostenibilidad (Schwartz et al., 2019).

3. Metodología y arquitectura del sistema

3.1. Escenario actual de adquisición de datos

El uso de drones en el mantenimiento y monitorización de aerogeneradores permite realizar Ensayos No Destructivos de forma eficiente, facilitando la detección temprana de fallos y mejorando la fiabilidad y disponibilidad de las turbinas. Para obtener datos acústicos fiables es esencial situar el dron cerca de la góndola.

Este sistema de monitorización graba la señal y la transmite de forma inalámbrica a los operadores en tierra o barco para su análisis posterior. La estación en tierra o barco puede incluir un receptor de datos que se conecta a una tarjeta de sonido o estación de trabajo portátil, lo que permite el envío de señales digitalizadas para su almacenamiento y procesamiento, ejemplo que se muestra en la Figura 3 (Segovia Ramírez, Bernalte Sánchez, et al., 2025; Segovia Ramírez, García Márquez, et al., 2025; Segovia Ramírez & Bernalte Sánchez, 2025).

3.2. Arquitectura propuesta

La arquitectura de monitoreo propuesta en este artículo está diseñada para soportar, simultáneamente, múltiples usuarios y diversos sistemas de adquisición de datos acústicos basados en vehículos aéreos no tripulados, así como múltiples bases de datos y centros de cálculo. El objetivo principal es permitir la recepción de la información capturada por los drones que operan tomando muestras acústicas en distintos aerogeneradores y enviarla de manera eficiente hacia la nube para su posterior procesamiento y análisis en lugar de realizarlo en la estación en tierra.

En la arquitectura propuesta, varios drones se emplean para la adquisición de datos acústicos en distintos aerogeneradores gracias a su facilidad de despliegue y la significativa reducción de costes operativos que ofrecen.

3.3. Plataforma *Cloud IngenloT*

El modelo propuesto transfiere todos los datos acústicos brutos del UAV a la nube para su procesamiento centralizado, lo que permite aprovechar la alta capacidad computacional para realizar análisis computacionales avanzados. Sin embargo, este enfoque supone importantes retos, como es el elevado consumo energético del dron, la alta



Figura 3. Dron para la captura de datos acústicos en el escenario de inspección actual (Imagen generada con IA Gemini. No se muestran las originales del proyecto por motivos de confidencialidad)

demanda de ancho de banda y una posible reducción de la autonomía de vuelo. A pesar de estos desafíos, la nube es esencial para almacenar datos, fusionar información y ejecutar algoritmos de Inteligencia Artificial, ofreciendo los datos recogidos, así como los resultados obtenidos a disposición de los usuarios de la plataforma "Ingenio" con los permisos oportunos en cualquier rincón del mundo en cualquier momento.

La arquitectura propuesta se muestra a continuación en la Figura 4:

3.3.1. Arquitectura *Standalone* de la plataforma "IngenloT": funcionamiento en tiempo real y análisis bajo demanda

La Figura 5 presenta, de manera clara, tanto los principales perfiles de usuario de la plataforma "IngenloT". Esta arquitectura avanzada permite que la plataforma no esté limitada a un único proveedor de servicios en la nube, sino que puede desplegarse en diferentes entornos de nube o integrarse de forma coordinada con otros despliegues ya existentes.

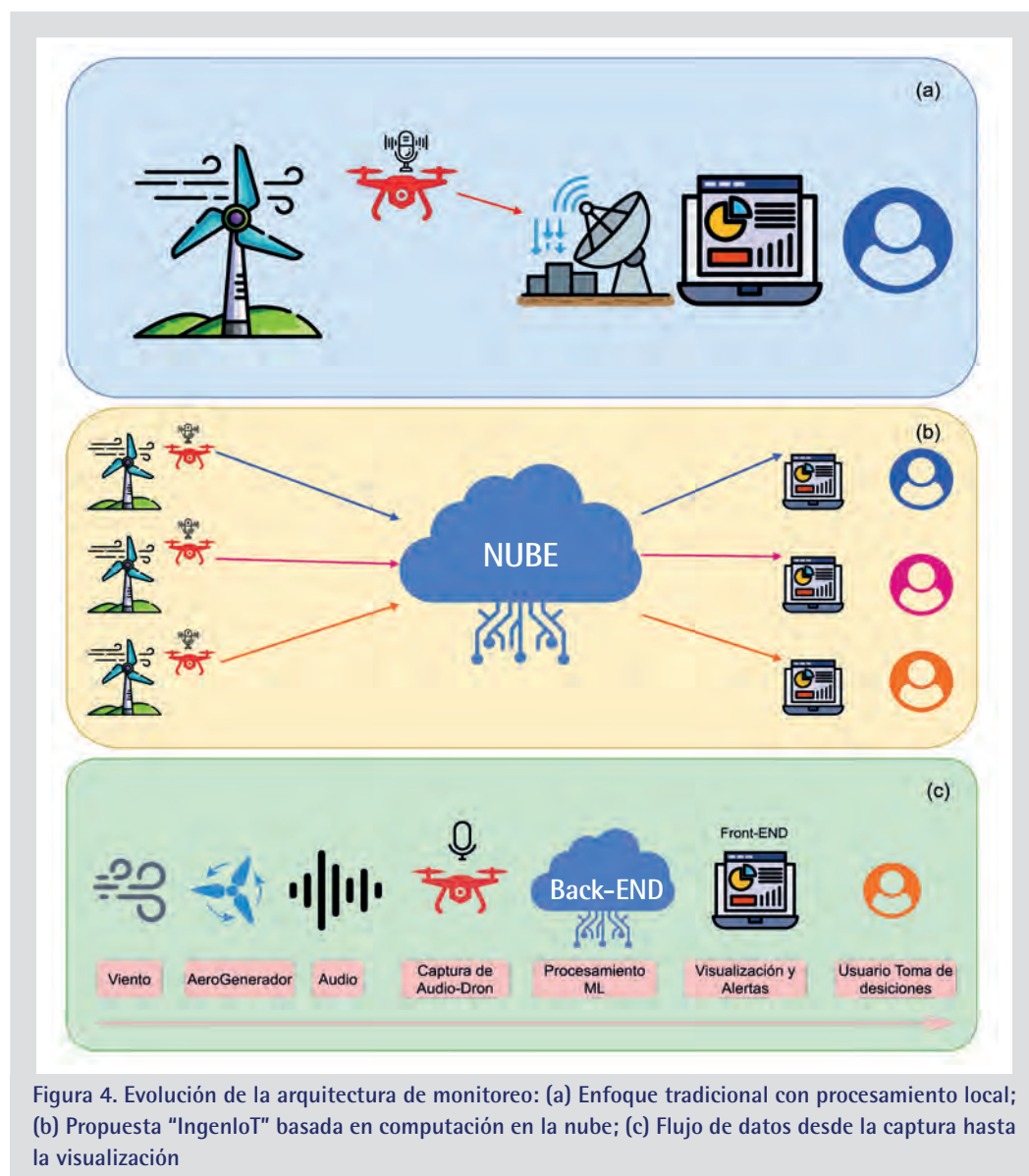


Figura 4. Evolución de la arquitectura de monitoreo: (a) Enfoque tradicional con procesamiento local; (b) Propuesta "IngenloT" basada en computación en la nube; (c) Flujo de datos desde la captura hasta la visualización

Las comunicaciones entre los usuarios y la plataforma se realizan, exclusivamente, mediante protocolos seguros de comunicación *web https*, mientras que los drones envían datos en tiempo real a través del protocolo de Telemetría de Colas de Mensajes (en inglés, *Message Queuing Telemetry Transport, MQTT*) sobre conexiones inalámbricas (4G/5G o Wifi).

De este modo, se garantiza una mayor flexibilidad, resiliencia y escalabilidad, permitiendo optimizar recursos, evitar dependencias y asegurar la continuidad de servicio incluso ante incidencias en uno de los proveedores. Además, este enfoque facilita la adaptación a requisitos específicos de privacidad, localización de datos o cumplimiento normativo según la ubicación de los usuarios o las necesidades del proyecto.

Finalmente, para garantizar el correcto uso operativo, la arquitectura gestiona los datos procesados a través de una *interfaz web* segura. Como se muestra en la Figura 6, el analista puede acceder en tiempo real a las comparativas espectrales generadas por los algoritmos en la nube, visualizando la eficacia del filtrado de ruido del dron sin necesidad de descargar los datos brutos ni ejecutar *software* local.

- **Usuarios y drones:** envían los datos (audio y telemetría)
- **Analista:** consulta los resultados obtenidos tras el análisis
- **Aplicación web:** punto de acceso y gestión de peticiones

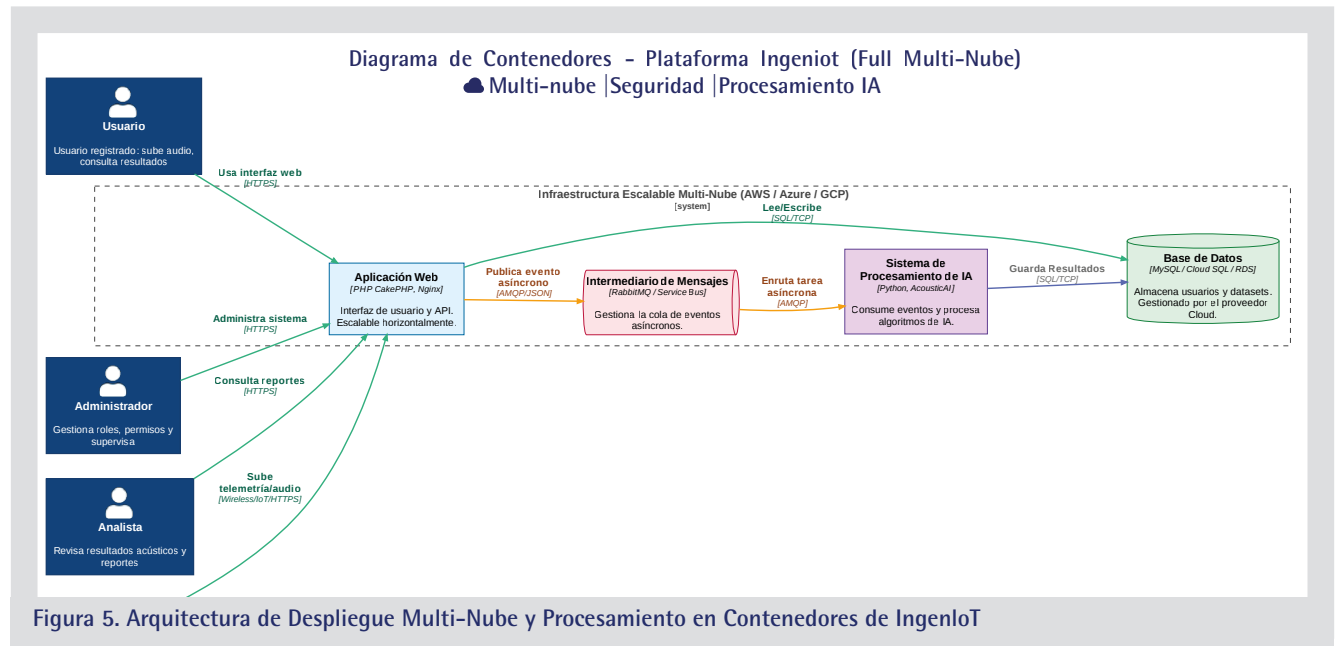


Figura 5. Arquitectura de Despliegue Multi-Nube y Procesamiento en Contenedores de Ingeniot

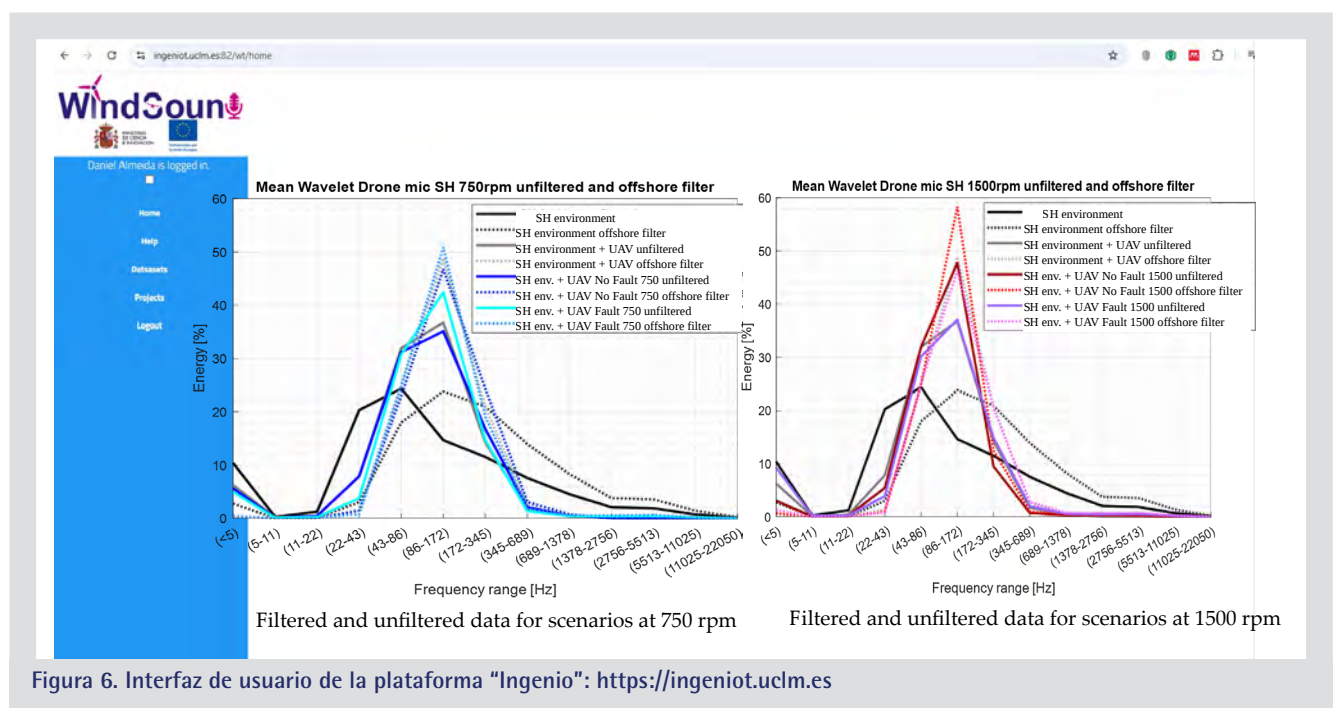


Figura 6. Interfaz de usuario de la plataforma "Ingenio": <https://ingeniot.uclm.es>

a. Componentes principales

El sistema usa una arquitectura flexible con estos elementos principales:

- **App central:** organiza el flujo y procesamiento de eventos
- **IA:** procesa y analiza los datos recibidos

- **Agente de mensajes:** facilita la comunicación interna de forma eficiente
- **Base de datos:** guarda toda la información de manera segura

b. Secuencia de procesamiento (flujo principal)

El proceso de análisis comienza cuando el usuario o el dron solicitan un análisis de los datos acústicos a través de la web, que convierte la petición en un evento interno y la deriva a la App para evitar bloqueos. La App envía la solicitud en formato JSON al agente de Mensajes (*RabbitMQ*), que la dirige a la cola correspondiente para que el Trabajador IA

(*AcousticAI*) procese los datos y almacene los resultados preliminares en la base de datos. Tras completar el análisis, se envía una confirmación al agente de mensajes, que notifica a la App. Finalmente, la App estructura y guarda los resultados definitivos en la base de datos, cerrando así el ciclo.

c. Secuencia de Visualización

Visualización de datos: El analista accede a los resultados del análisis acústico a través de la web, que consulta la base de datos y muestra la información procesada de forma clara.

La Figura 7 muestra cómo los datos fluyen desde la petición inicial hasta la presentación final, permitiendo una visualización sencilla y eficiente para el usuario.

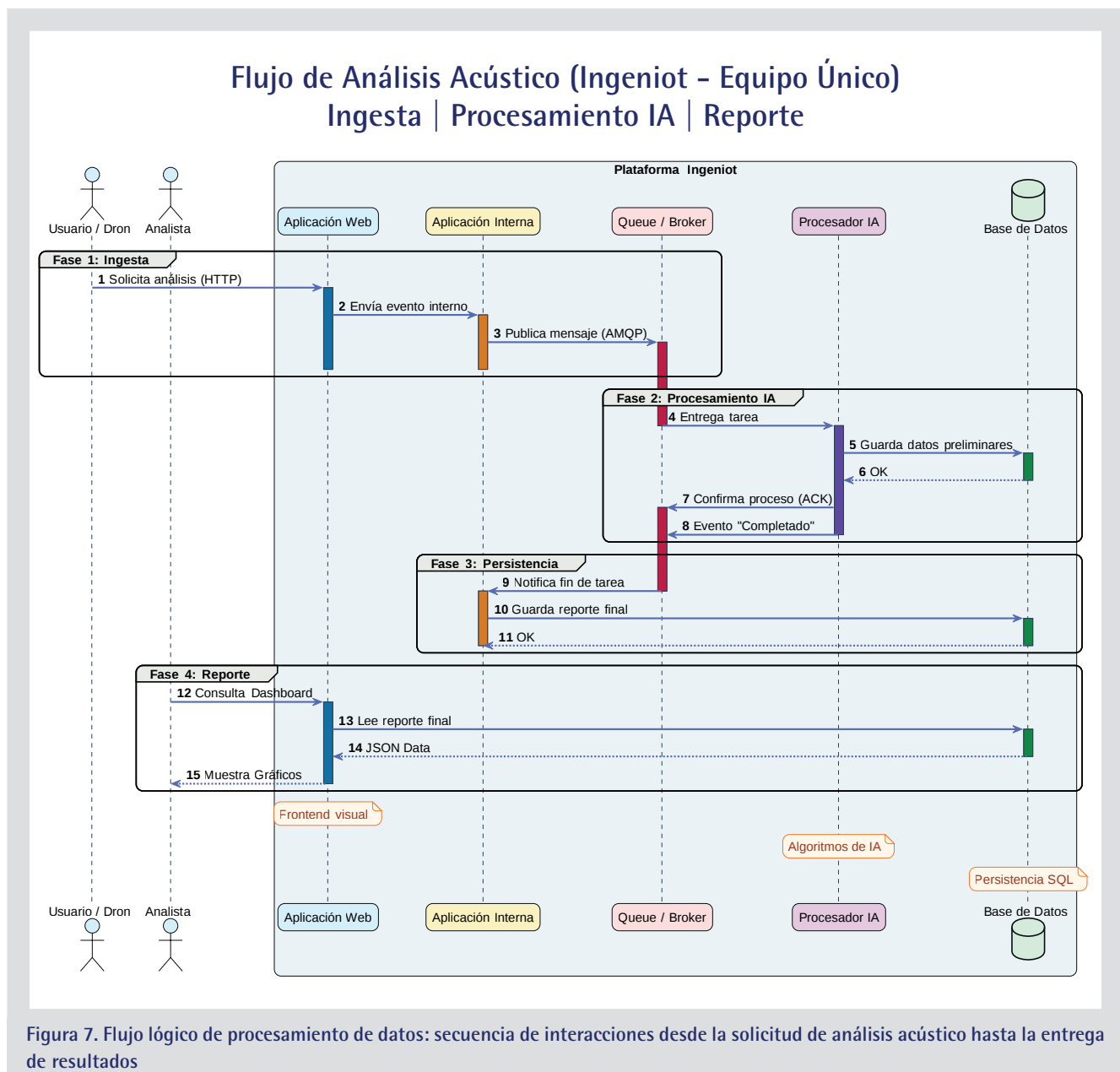


Figura 7. Flujo lógico de procesamiento de datos: secuencia de interacciones desde la solicitud de análisis acústico hasta la entrega de resultados

4. Evaluación de la metodología

4.1. Tiempo de computación

Para la evaluación y medición del coste computacional de la plataforma "Ingenio", se adoptó el modelo de caracterización de rendimiento propuesto, el cual muestra que el tiempo total empleado está formado por la suma del tiempo de ejecución en fases de inicialización y tiempo de procesamiento activo. Adaptando este modelo al dominio acústico, el tiempo total se determina mediante la Ecuación 1. Para cuantificar el impacto de la plataforma "Ingenio", se emplea un modelo de caracterización de rendimiento adaptado de (Ferrari et al., 2025). Este modelo separa el Tiempo Total de Computación T_{total} en dos fases: la inicialización del sistema y el ciclo de procesamiento activo por muestra de audio. Matemáticamente, se define en la Ecuación 1,

$$T_{total} = \underbrace{T_{init} + T_{load}}_{T_{setup}} + \sum_{i=1}^N \underbrace{(T_{pre} + T_{inf} + T_{post})}_{t_{proc}(i)} \quad (1)$$

donde T_{setup} representa la latencia fija de configuración (carga de librerías CUDA/Python y transferencias de modelos a la unidad de procesamiento gráfico (en inglés, GPU)); N es el número total de muestras; y la sumatoria engloba todo el ciclo de vida del dato: el preprocesamiento (T_{pre} , ej. FFT/Wavelet), la inferencia de la red neuronal (T_{inf}) y la clasificación final (T_{post}).

4.2. Modelo de consumo energético E_{task}

El coste computacional de la plataforma "Ingenio" se refleja directamente en el consumo energético (E_{task}), el cual se calcula como la integral de la potencia instantánea real $P(t)$ obtenida mediante sensores de hardware, en lugar de emplear valores nominales como el TDP (Potencia de Diseño Térmico), siguiendo la Ecuación 2.

$$P_t = V(t) * I(t); \quad E_{task} = \int_0^{T_{total}} P(t) dt; \quad (2)$$

$$E_{task} \approx P_{avg} \cdot T_{total}$$

Para el cálculo anual, se define la variable T_{wall} como el tiempo operativo del servidor en un año de calendario (8.760 horas), asumiendo disponibilidad continua para el procesamiento de la carga de trabajo de la flota de drones.

4.3. Modelo de eficiencia computacional

η_{comp}

Para evaluar la sostenibilidad y el rendimiento del sistema se utiliza el modelo de eficiencia computacional (η_{comp}), definido en la Ecuación 3 como la relación entre la capacidad de procesamiento útil (P_{comp} en TFLOPS) y la energía total consumida. Esta métrica, análoga al rendimiento por watt del estándar Green500, permite comparar el rendimiento de los modelos en función de su complejidad medida en GFlops (en inglés, Giga Floating Point Operations, GFlops) y el tiempo de ejecución, siguiendo el análisis propuesto (Ferrari et al., 2025). Además, se incorpora el enfoque de intercambio o *trade-off* rendimiento/coste propuesto por (Segovia Ramírez et al., 2024), que permite establecer un balance entre el rendimiento computacional y el coste energético, siendo la Ecuación 3 el resultado de esta integración metodológica y de referencias.

$$\eta_{comp} = \frac{P_{comp} \cdot T_{total}}{E_{task}}; \quad \eta_{comp} = \frac{P_{comp} \cdot T_{total}}{P_{avg} \cdot T_{total}}; \quad \eta_{comp} \approx \frac{P_{comp}}{P_{avg}} \quad (3)$$

4.4. Coste ambiental y huella de carbono (CF)

Finalmente, el impacto ambiental se cuantifica mediante la huella de Carbono (CF), calculada transformando el consumo energético en emisiones de gases de efecto invernadero como se muestra en la Ecuación 4:

$$CF = E_{task} * CI; \quad CF (kgCO_2) = E_{task} (kWh) * 0.276 \left(\frac{kg CO_2}{KWh} \right) \quad (4)$$

Donde la variable crítica es el factor de intensidad de carbono (CI). Para este estudio, se adopta el promedio

estandarizado de la Unión Europea $CI \approx 0.276 \frac{kg\ CO_2}{KWh}$, la elección de este valor específico permite alinear los resultados de la plataforma "Ingenio" con las directivas de sostenibilidad regionales y facilita la comparación directa con otras arquitecturas.

4.5. Modelo de generación de residuos electrónicos (W_{gen})

Para cuantificar el impacto material de la infraestructura, se propone un modelo de generación de residuos electrónicos W_{gen} , calculado en función de la masa física del *hardware* (M_{hw}) y su vida útil operativa (L_{life}), normalizado a un ciclo anual. Se define mediante la Ecuación (5):

$$w_{gen} = \sum_{i=1}^N \frac{M_{hw,i}}{L_{life,i}} \quad (5)$$

Donde $M_{hw,i}$ corresponde al peso total de los componentes del nodo i (incluyendo todo el *hardware*) y $L_{life,i}$ es su ciclo de vida estimado antes de la obsolescencia o fallo crítico. Este modelo penaliza la renovación frecuente de hardware de consumo frente a la durabilidad de equipos de grado servidor.

Diseño experimental y definición de escenarios

Para cuantificar el impacto ambiental de la plataforma "Ingenio", se diseñó una simulación basada en el perfil computacional real requerido para el proyecto. El objetivo es contrastar la eficiencia de la arquitectura centralizada propuesta frente a una solución distribuida convencional.

4.6. Perfil de carga computacional

Se estableció una carga de trabajo base equivalente al procesamiento continuo de datos acústicos durante un ciclo operativo de 10 años. Los requerimientos técnicos para satisfacer esta demanda se detallan a continuación:

- **Volumen de cómputo total:** 86.400 horas de procesamiento efectivo

- **Potencia de procesamiento pico:** 4,2 billones de operaciones de punto flotante por segundo (en inglés, *Tera Floating Point Operations Per Second, TFLOPS*) necesarios para la ejecución de algoritmos de Entrenamiento Profundo (en inglés, *Deep Learning*) en tiempo real
- **Requerimientos de memoria y almacenamiento:** Mínimo de 128 GB de RAM para el manejo de tensores y un bloque de almacenamiento inicial de 44 TB, escalable a 88 TB con copias de seguridad
- **Aceleración por *hardware*:** Necesidad de GPU dedicadas (tipo NVIDIA RTX A4000 o superior) para soportar la carga de inferencia de la red neuronal

4.7. Escenarios de arquitectura modelados

Para satisfacer el perfil de carga descrito, se simularon dos configuraciones de *hardware* opuestas: una infraestructura HPC centralizada ("IngenioT") y una arquitectura de computación distribuida convencional. Ambas alternativas representan la dicotomía entre computación centralizada y distribuida, y sus especificaciones técnicas, Efectividad del Uso de la Energía (en inglés, *Power Usage Effectiveness, PUE*) y gestión de almacenamiento se detallan en la Tabla 1.

Componente / Métrica	Escenario A (HPC Centralizado)	Escenario B (Distribuido)
Unidades de procesamiento	1 servidor (16-core CPU + 2x GPU)	10 PCs (10x CPU + 10x GPU)
Potencia base promedio	1,051 W (Total sistema)	575 W (Por PC) * 10 = 5.750 W
Eficiencia de uso (Utilización)	85% - 90% (Alta optimización)	35% - 40% (Penalización por ineficiencia)
Factor de enfriamiento (PUE)	1.2 (Optimizado)	1.8 (Estándar/Ineficiente)
Gestión de almacenamiento	Centralizado (44x HDDs compartidos)	Redundante/Duplicado (30 unidades dispersas)
Ciclo de vida del <i>hardware</i>	5 años (Grado empresarial)	3 años (Grado consumo)

Tabla 1. Especificaciones técnicas y parámetros de configuración de los escenarios simulados (HPC vs Distribuido)

5. Resultados y discusión

Dado que la plataforma "Ingenio" se encuentra en una fase operativa funcional, la evaluación de su impacto ambiental a largo plazo requiere un enfoque predictivo. Para este estudio, se ha optado por una validación teórica mediante simulación asistida por Inteligencia Artificial. Este método permite proyectar el comportamiento del sistema bajo cargas de trabajo intensivas durante un ciclo de vida extendido, contrastando la arquitectura propuesta frente a soluciones tradicionales sin esperar décadas para la obtención de datos empíricos.

5.1. Análisis de consumo energético E_{task}

Aplicando el modelo de consumo energético definido en la Ecuación 2, $E_{task} = P_{avg} * T_{total}$, la simulación proyectó diferencias significativas entre las arquitecturas.

En el Escenario A (HPC Centralizado), la infraestructura operó con una potencia media P_{avg} de 1.051 W. Considerando la carga de trabajo de 86.400 horas distribuida en un año de tiempo de muro (*Wall Time*) gracias al paralelismo, el consumo anual proyectado es de 9.207 kWh.

Por el contrario, el Escenario B (Distribuido), penalizado por una utilización ineficiente del 35-40% y la redundancia de *hardware*, requirió una potencia efectiva de 14.375 W para igualar el rendimiento. Esto disparó el consumo anual a 125.970 kWh. La centralización de recursos en la plataforma "Ingenio" representa una reducción absoluta de 116.763 kWh/año, lo que equivale a un ahorro energético del 92.7%. Este hallazgo valida teóricamente que la consolidación de cargas de trabajo elimina el desperdicio energético del tiempo ocioso (en inglés, *idle power*) característico de los clústeres no gestionados.

5.2. Huella de carbono CF y sostenibilidad

El impacto ambiental se cuantificó utilizando el factor de intensidad de carbono promedio de la UE ($CI \approx 0.276 \frac{kg CO_2}{KWh}$) descrito en la metodología. Las proyecciones de emisiones son:

Escenario Distribuido: 34.768 kgCO₂/año

Plataforma IngenioT: 2.541 kg CO₂/año

La arquitectura propuesta evita teóricamente la emisión de 32,2 toneladas de CO₂ anualmente. Para contextualizar, este ahorro ambiental equivale a retirar de circulación 7 vehículos de combustión interna cada año. Además, al considerar un horizonte operativo de 5 años, se estima un ahorro acumulado de 161 toneladas de CO₂, alineando el proyecto con los objetivos de descarbonización del sector eólico.

5.3. Eficiencia computacional y residuos electrónicos

La métrica de eficiencia computacional (η_{comp}), definida en la Ecuación 3, se situó en 0,107 kWh por hora de cómputo útil para "Ingenio", frente a los 1,46 kWh requeridos por el sistema distribuido. Esto confirma que la solución centralizada es aproximadamente 13 veces más eficiente energéticamente.

Para este estudio, se ha optado por una validación teórica mediante simulación asistida por Inteligencia Artificial. Este método permite proyectar el comportamiento del sistema bajo cargas de trabajo intensivas durante un ciclo de vida extendido, contrastando la arquitectura propuesta frente a soluciones tradicionales sin esperar décadas para la obtención de datos empíricos

Adicionalmente, el análisis del ciclo de vida del *hardware* proyecta ventajas críticas en la economía circular.

Debido a la mayor durabilidad de los componentes de servidor (ciclo de vida extendido de 5 años) frente a la obsolescencia rápida del *hardware* de consumo (3 años), el Escenario A genera apenas 9 kg/año de residuos electrónicos W_{gen} , en contraste con los 50 kg/año del escenario distribuido. Esto supone una reducción del 82% en la generación de e-waste, disminuyendo significativamente la dispersión de materiales tóxicos como plomo y cadmio.

6. Análisis de sensibilidad

Con el objetivo de validar la robustez de la plataforma "Ingenio" frente a la variabilidad de los entornos de despliegue, se realizó un análisis de sensibilidad multidimensional.

Este estudio evalúa cómo el desempeño ambiental de la solución propuesta responde ante cambios críticos en la ubicación geográfica y la eficiencia de la infraestructura (*hardware* y PUE).

Como se observa en la Figura 8, existe una divergencia clara entre las arquitecturas. En regiones con alta dependencia de combustibles fósiles, como China con un CI de 0.560 o México con un CI de 0.485, el modelo distribuido dispara las emisiones por encima de las 600 toneladas de CO₂ en una década.

consumo energético total mucho más alto, lo que elimina los beneficios de utilizar fuentes renovables en esos países.

6.1. Eficiencia estructural y punto de equilibrio

Un contraargumento común sugiere que mejorar la climatización de las estaciones locales (reducir el PUE) podría igualar la eficiencia de la nube. Para refutar esta hipótesis, se analizó el consumo energético variando el número de ordenadores distribuidos y su eficiencia térmica, incluyendo un escenario teórico de PUE Perfecto (1.0).

Los resultados, presentados en la Figura 9 identifican una Brecha de Ineficiencia Estructural:

- **Inelevance del enfriamiento:** Incluso bajo el supuesto hipotético de un PUE de 1.0 (enfriamiento sin consumo de energía), la solución distribuida pierde competitividad energética en cuanto la carga de trabajo requiere más de 1.8 ordenadores (redondeado a 2 unidades)

- **Punto de equilibrio:** Dado que el procesamiento masivo de un parque eólico requiere clústeres de al menos 8-10 estaciones, la superioridad de la arquitectura HPC centralizada se mantiene incluso frente a mejoras radicales en la infraestructura local. La consolidación de *hardware* elimina el consumo en reposo (*idle*

power), un factor que la refrigeración eficiente no puede mitigar

Punto de equilibrio energético. La línea verde ("Ingenio") demuestra ser superior a partir de 2 PC, incluso compitiendo contra un sistema distribuido teóricamente perfecto (PUE 1.0).

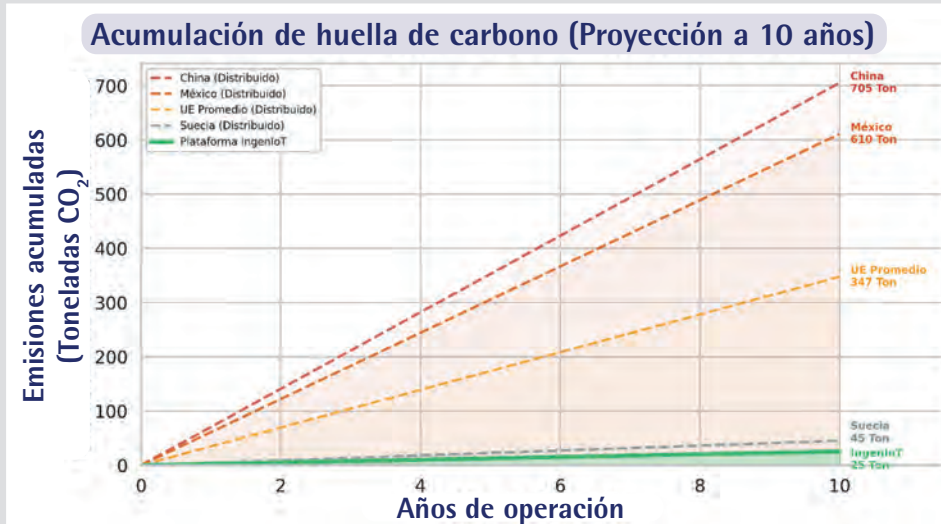


Figura 8. Proyección multirregional de emisiones acumuladas CO₂ a 10 años. Comparativa entre el crecimiento de la arquitectura distribuida en distintos escenarios geopolíticos y la estabilidad de "Ingenio"

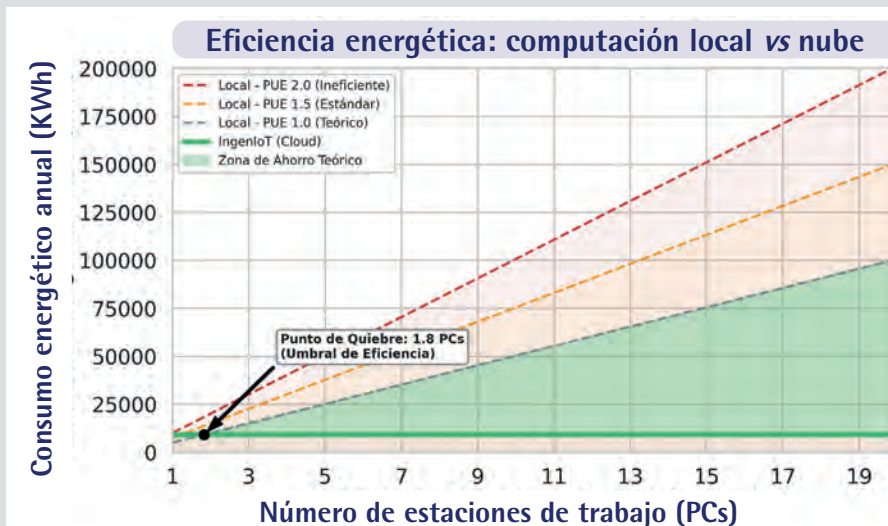


Figura 9. Análisis del punto de equilibrio de hardware. La intersección demuestra la superioridad energética de la plataforma centralizada cuando la carga supera los 2 ordenadores, independientemente de la eficiencia térmica (PUE)

Por el contrario, la plataforma "Ingenio" (línea verde sólida) mantiene una huella estable e inferior a las 26 toneladas, independientemente de la ubicación de los usuarios finales.

Incluso en escenarios de red limpia como Suecia o Francia, la ineficiencia propia de la computación distribuida provoca un

7. Conclusiones

Este artículo ha presentado "Ingenio", una plataforma en la nube diseñada para el análisis acústico avanzado de aerogeneradores, abordando simultáneamente los desafíos de escalabilidad de datos y sostenibilidad digital. La validación teórica mediante simulación de escenarios permite establecer las siguientes conclusiones:

1. Descarbonización efectiva

La proyección teórica confirma que la centralización en una arquitectura HPC optimizada (PUE 1.2) es la estrategia más efectiva para mitigar la huella de carbono digital. Se estima una reducción del 92,7% en el consumo energético anual y una disminución de 32,2 toneladas de CO₂ respecto a enfoques distribuidos, cumpliendo con los estándares de *Green AI*.

2. Mitigación de residuos (e-Waste)

Gracias a la mayor vida útil del *hardware* de servidor (5 años) frente a los PC de consumo (3 años), se reduce la generación de basura electrónica en un 82% (de 50 kg/año a 9 kg/año).

3. Robustez geográfica

El análisis de sensibilidad confirma que "Ingenio" mantiene una huella de carbono baja incluso en regiones con redes eléctricas dependientes de combustibles fósiles (como China o México), donde el modelo distribuido dispararía las emisiones por encima de las 600 toneladas/década.

4. Umbral de rentabilidad

Se ha identificado que la nube es energéticamente superior

a partir de una flota de 1,8 drones/PC. Esto hace que la solución sea viable tanto para pequeños proyectos piloto como para grandes parques eólicos.

Trabajo futuro

Como líneas de investigación futura para profundizar en la sostenibilidad del sistema, se proponen las siguientes estrategias:

- **Filtrado inteligente en el borde (*Edge AI*):** Evolucionar hacia una arquitectura híbrida que integre algoritmos ligeros directamente en los UAV. Utilizando modelos eficientes de baja latencia, sería posible descartar grabaciones de ruido ambiental *in situ*, transmitiendo a la nube únicamente los segmentos de audio con anomalías potenciales, optimizando el ancho de banda y el almacenamiento
- **Refrigeración líquida:** Investigar la implementación de sistemas de refrigeración líquida directa al chip para los servidores de IA, lo que podría mejorar el PUE del sistema por debajo de 1,05, maximizando la eficiencia térmica en climas cálidos

Financiación

El trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (España) y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional, bajo el proyecto de investigación *WindSound* (Referencia: PID2021-125278OB-I00).

Referencias

- Bernalte Sánchez, P., Segovia Ramírez, I., García Márquez, F. P., & Pliego Marugán, A. (2025). Acoustic signals analysis from an innovative UAV inspection system for wind turbines. *Structural, Condition, Monitoring*, 24(5), 2762–2775. <https://doi.org/10.1177/14759217241262970>
- da, P., & Zyrianoff Supervisore Marco Di Felice, I. (n.d.). *Dottorato di ricerca in ingegneria e tecnologia dell'informazione per il monitoraggio strutturale e ambientale e la gestione dei rischi-eit4semm ciclo 36 architecting the edge-cloud continuum for iot-based monitoring applications.*
- Ferrari, M., D'Agostino, D., Aguzzi, J., & Marini, S. (2025). Underwater Mediterranean image analysis based on the compute continuum paradigm. *Future Generation Computer Systems*, 162. <https://doi.org/10.1016/j.future.2024.107481>
- Gaidai, O., Yakimov, V., Wang, F., Sun, J., & Wang, K. (2024). Bivariate reliability analysis for floating wind turbines. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 19, 55–64. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctad108>
- Henderson, R., Azhari, F., & Sinclair, A. (2024). Natural Frequency Transmissibility for Detection of Cracks in Horizontal Axis Wind Turbine Blades. *Sensors*, 24(14). <https://doi.org/10.3390/s24144456>
- Liang, S., Jin, S., & Chen, Y. (2024). A Review of Edge Computing Technology and Its Applications in Power Systems. In *Energies* (Vol. 17, Issue 13). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/en17133230>
- Naqash, T. M., & Alam, M. M. (2025). A State-of-the-Art Review of Wind Turbine Blades: Principles, Flow-Induced Vibrations, Failure, Maintenance, and Vibration Suppression Techniques. In *Energies* (Vol. 18, Issue 13). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/en18133319>

Schwartz, R., Dodge, J., Smith, N. A., & Etzioni, O. (2019). *Green AI*. <http://arxiv.org/abs/1907.10597>

Segovia Ramírez, I., & Bernalte Sánchez, P. (2025). Escuchando a los aerogeneradores para entenderlos. Parte 2. *AEND*, 107, 48–54. www.aend.org

Segovia Ramírez, I., Bernalte Sánchez, P., & García Márquez, F. P. (2025). Escuchando a los aerogeneradores para entenderlos. Parte 1. *AEND*, 106, 26–32. www.aend.org

Segovia Ramírez, I., García Márquez, F. P., Bernalte Sánchez, P. J., & Peinado Gonzalo, A. (2025). Acoustic inspection system with unmanned aerial vehicles for offshore wind turbines: A real case study. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 251. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2025.117226>

Segovia Ramírez, I., García Márquez, F. P., & Parra Chaparro, J. (2024). Convolutional neural networks and Internet of Things for fault detection by aerial monitoring of photovoltaic solar plants. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 234. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.114861>

Strubell, E., Ganesh, A., & McCallum, A. (2019). *Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP*. <http://arxiv.org/abs/1906.02243>

WindEurope. (2025a, February 27). Wind energy in Europe: 2024 Statistics and the outlook for 2025-2030 – WindEurope. <https://windeurope.org/data/products/wind-energy-in-europe-2024-statistics-and-the-outlook-for-2025-2030/>

WindEurope. (2025b, September 2). Latest wind energy data for Europe: Autumn 2025 – WindEurope. <https://windeurope.org/data/products/latest-wind-energy-data-for-europe-autumn-2025/>

Zhang, H., & Jackman, J. (2014). Feasibility of Automatic Detection of Surface Cracks in Wind Turbine Blades.





EL ANÁLISIS MÁS EXHAUSTIVO,
SIN DAÑAR SU MATERIAL



FORMACIÓN



AEND

asociación española de ensayos no destructivos

MÁS INFORMACIÓN:

AEND | C/ Bocángel, 28 - 2º Izda. | 28028 Madrid

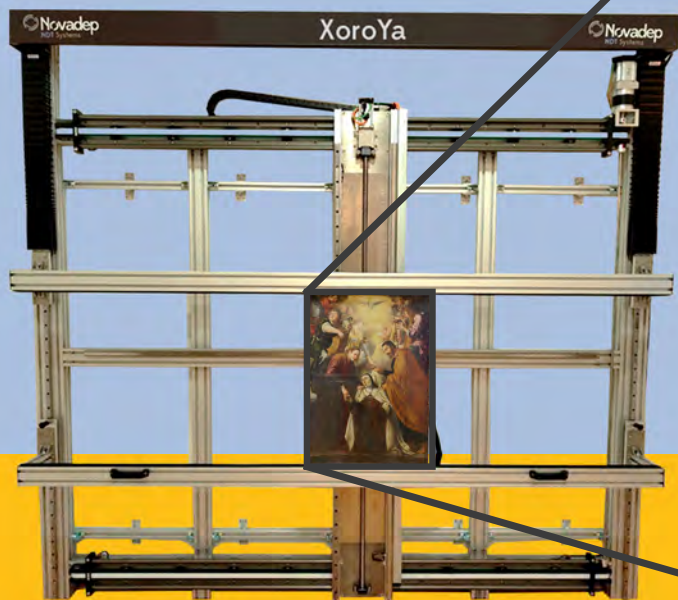
Tfno.: 91 361 25 85 | Fax: 91 361 47 61

E-mail: informacion@aend.org

AEND | www.aend.org

La Radiografía Digital Simplificada

SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE RADIOGRAFÍA



SOLUCIONES SIMPLES
con un interfaz de usuario sencillo e intuitivo



SOPORTE TÉCNICO ONLINE
junto con formación especializada al cliente



ALTA FIABILIDAD
con un mínimo mantenimiento de los equipos



INNOVACIÓN TECNOLÓGICA
gracias a un proceso de I+D continuo

RADIOGRAFÍA DIGITAL AUTOMÁTICA: UNA SOLUCIÓN PARA LA INSPECCIÓN RX DE GRANDES PIEZAS

Autores

D. Cuadra-Rodríguez¹,*, E. Solórzano¹, P. Pérez-Vasallo¹

¹ Novadep NDT Systems SL. C/ Castaño 10, Pol. Ind. La Mora, 47193 La Cistérniga, Valladolid

*Email: daniel.cuadra@novadep.com

1. Introducción

La radiografía industrial ha experimentado una evolución sostenida desde su creación a finales del siglo XIX. Esta evolución ha estado siempre impulsada por la necesidad de mejorar la calidad, la productividad o la seguridad en este tipo de ensayos no destructivos. Son muchos los sectores, tales como aeronáutica, automoción o patrimonio, los que han acudido a la inspección por radiografía para la evaluación de piezas y/o controles de calidad o estado de muchos componentes y/o materiales constituyentes. Sin embargo, todos ellos se han enfrentado, en algún momento, con el reto de radiografiar piezas de grandes dimensiones, es decir, con un tamaño superior al área de la placa radiográfica o detector.

En este artículo se hace una revisión de las metodologías recomendadas para las inspecciones RX de grandes formatos sea con técnicas analógicas o digitales [1]. El objetivo final es profundizar en el estado actual de la técnica y en las posibles soluciones existentes para radiografiar piezas de hasta varios metros.

2. Técnicas de imagen RX

Dentro del catálogo de técnicas END, bajo el prisma de la técnica RT, únicamente existen dos tipos de técnicas radiográficas: radiografía analógica y radiografía digital. Si bien esto es cierto, en el caso de las técnicas digitales existen dos variantes muy distintas que son la Radiografía Computarizada (CR, *Computed Radiography*) y la Radiografía Digital (DR, *Digital Radiography*). Como explicaremos, la técnica CR tiene unas características híbridas entre la radiografía analógica y la radiografía digital.

2.1. Radiografía analógica

La radiografía analógica emplea películas flexibles que contienen compuestos químicos de sales de plata para obtener una imagen radiográfica. Es todavía una de las técnicas más utilizadas en el campo de los END y permite ofrecer la resolución nativa más alta, gracias al uso de películas de grano fino que presentan tamaños de grano entre 10-20 μm . A pesar de ser una técnica caracterizada por procedimientos manuales, dilatados en tiempo y con el uso de químicos, la radiografía analógica todavía cubre las necesidades básicas en gran parte de aplicaciones. Sin embargo, presenta ciertas limitaciones cuando hablamos de radiografiado de gran formato, especialmente asociadas al tiempo dedicado por el operador. La inspección de grandes piezas requiere el empleo de varias películas que cubran toda la superficie a examinar, y el posicionamiento de la película es siempre manual, costoso y poco preciso. Si bien la resolución de esta técnica es la más alta de las tres mencionadas en este artículo, el proceso de digitalización suele reducir la resolución nativa de esta técnica a un valor de 50 μm .

2.2. Radiografía Computarizada (CR)

La radiografía computarizada emplea placas flexibles basadas en compuestos químicos de fósforo foto-estimulable de forma que almacenan una imagen RX latente tras la exposición a los Rayos X. Es necesario un post procesamiento en un escáner para obtener una imagen digital, por eso a esta técnica se la considera como semi-digital y, es la evolución intermedia entre la película y los detectores modernos. La principal ventaja sobre la radiografía de película es que estas películas pueden ser reutilizables y el proceso no implica revelado químico. La resolución alcanzada con los sistemas CR es de hasta 35 μm .

Sin embargo, obtener una imagen digital continúa siendo un proceso que involucra varias etapas, donde el posicionamiento y lectura de las placas CR es manual. En términos de la radiografía de grandes formatos, la inversión económica resulta muy elevada por el elevado número de placas que serían necesarias para cubrir una superficie grande de radiografiado.

2.3. Radiografía Digital (DR)

La radiografía digital es la técnica más reciente, pero con más de 20 años de madurez tecnológica. Los detectores digitales, son también conocidos como *flat-panels* por su aspecto de panel rígido y plano. En general, son pesados e incómodos de posicionar manualmente. Sin embargo, tienen como gran ventaja una adquisición de imagen del orden de unos segundos y una transferencia directa de la imagen al ordenador. Esta transferencia se hace bajo distintos protocolos, si bien los más habituales suelen ser *LAN*, *WiFi* o *USB*. A pesar de los avances de la última década donde se ha aumentado el tamaño de los sensores digitales, los *flat-panels* siguen teniendo un tamaño limitado. Por ejemplo, los detectores industriales más grandes del mercado basados en tecnología de silicio amorfo tienen unas dimensiones inferiores a 500x500 mm² y presentan un tamaño de *pixel* superior a las 100 μm de tamaño de *pixel*. Los detectores de tecnología CMOS ofrece hasta 50 μm de tamaño de *pixel*, pero con unas dimensiones inferiores a 300x300 mm². Si bien, existen detectores digitales de hasta 20 μm , su pequeño tamaño les hace inservibles para la radiografía de grandes formatos y podemos considerar que la resolución mínima efectiva para la radiografía de gran formato es 50 μm .

arte, la fabricación de depósitos de gran diámetro, la inspección durante la construcción naval, o la inspección de componentes de los aerogeneradores son algunos ejemplos de sectores que demandan inspecciones de alta resolución en superficies extensas [2–5]. Independientemente de la técnica empleada, es necesario realizar múltiples exposiciones o incluso una composición “estética” de imágenes ya que las dimensiones habituales de estas piezas superan, con creces, el tamaño del sistema de detección, ya sea película o detector. Obviamente, si se requiere una composición de imágenes para formar una imagen única compuesta, sería necesario una digitalización de la película una vez procesada.

En principio, cada técnica se enfrenta a sus propias dificultades, pero todas tienen en común la necesidad de un posicionamiento preciso de la película o detector, abarcando zonas extensas de forma simultánea o secuencialmente, así como el solapamiento entre imágenes para realizar una composición de imágenes de alta calidad. Posicionamiento y solapamiento, ambos aspectos serán clave para la elección de una técnica como la solución al radiografiado de gran formato [6].

Otro aspecto importante en la radiografía de gran formato es la configuración geométrica del ensayo, es decir, las posiciones de tubo-objeto-detector. Existen múltiples configuraciones en función del objeto del ensayo, pero, las dos configuraciones más habituales de ensayo de radiografía de gran formato son la configuración tipo mosaico y la configuración tipo espejo, también conocidas en inglés como *wide stitching* y *linear stitching* [6]. Estas dos variantes de la técnica difieren tanto en las posiciones relativa tubo-placa y objeto-placa.



Figura 1. Placas de radiografía analógica (izquierda), escáner CR (centro) y detector DR (derecha). (Fuente: web)

3. La radiografía de gran formato

La radiografía de gran formato es una técnica de especial interés en ciertos entornos industriales donde se necesita inspeccionar piezas de grandes dimensiones. Actividades como la inspección de aeronaves, el radiografiado obras de

Configuración tipo mosaico

En esta configuración el tubo de Rayos X se coloca en una posición fija a una distancia tal que el haz cónico de rayos cubre completamente el objeto a inspeccionar. La distancia depende, obviamente, del tamaño del objeto, pero suele estar comprendida entre los 3 y los 10 metros.

Es, por tanto, necesario, un tubo RX con capacidad para emitir altas intensidades del orden de 10 mA o superior. En esta configuración el objeto se coloca, habitualmente, muy cerca de la placa receptora para minimizar el efecto de la penumbra geométrica ya que los tubos RX utilizados en esta técnica suelen tener un tamaño focal de varios milímetros.

Es importante mencionar que esta técnica permite una composición "estética" de las imágenes tomadas individualmente. Es decir, el resultado es equivalente a tener una placa o un detector de tamaño XXL, tan grande como el objeto radiografiado.

Esta composición no es posible cuando se mueven tubo y detector simultáneamente, tal y como se realiza en la técnica de configuración en "espejo". La posición fija del tubo permite que las zonas de solapamiento entre imágenes presenten la misma perspectiva, evitando así el efecto de distinto ángulo de haz entre dos imágenes contiguas tal y como se muestra en la Figura 2.

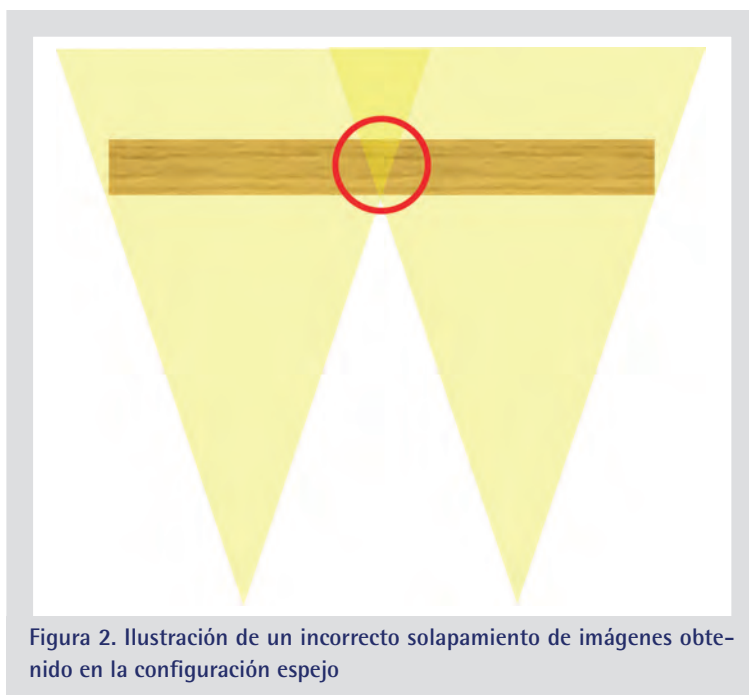


Figura 2. Ilustración de un incorrecto solapamiento de imágenes obtenido en la configuración espejo

En el caso de radiografía basada en película (bien sea película tradicional o CR) se colocan las placas radiográficas sobre una pared recta y homogénea, generalmente con un cierto solape entre ellas. Cabe mencionar que esta técnica se desarrolla habitualmente con película radiográfica en formato de rollo con una anchura típicas de 14" (350 mm), pues el uso de placas de CR implicaría una gran inversión económica en películas si la pieza a radiografiar es grande.

El proceso habitual con película implica los siguientes pasos:

1. Colocación de la película radiográfica (tiras o mosaico) sobre la pared de disparo.

2. Colocación la pieza a radiografiar en íntimo contacto con la película

3. Ajuste de la distancia de disparo y exposición radiográfica (normalmente del orden de 10-20 minutos)

4. Retirada del objeto y procesamiento de la película. El uso de película en forma de rollo facilita el procesamiento frente a placas cuadradas cuando se utiliza una procesadora automática. En el caso de la tecnología CR se haría la lectura digital manualmente a placa a placa

5. Digitalización de la película (únicamente en el caso de película analógica). Este proceso suele reducir la resolución de la película ya que normalmente se utiliza una resolución de digitalización de 50 micras

6. Procesado digital: dado que el objetivo del paso previo es realizar la unión de las imágenes digitales procedentes de cada película es necesario realizar una composición radiográfica, generalmente de forma manual utilizando *software* de manipulación digital de imágenes. Es preciso mencionar que, actualmente, existen *software* de composición automática de imágenes o "*stitching*" tal y como comentaremos en este artículo

En el caso de querer realizar esta tarea con un detector digital, no es viable colocar múltiples detectores para adquirir, simultáneamente, una imagen y, por tanto, es preciso desplazar el detector a distintas posiciones, con un solapamiento entre imágenes del 1-2%, hasta cubrir el área del objeto. Tampoco sería razonable realizar este proceso de forma manual, por lo que se recurre a sistemas electromecánicos, aprovechando en este caso la lectura directa de los sistemas DR. De esta forma, el detector se desplaza, secuencialmente, por toda el área del objeto hasta radiografiar por completo la pieza deseada. Si bien el tiempo de adquisición se dilata comparativamente con los procesos anteriormente descritos, la sensibilidad de los equipos DR es tan grande que el proceso se puede hacer en tiempos entre los 10 y los 60 minutos, según el tamaño de la pieza a inspeccionar. Además, se elimina el tiempo de lectura de las placas por lo que, aunque el proceso de adquisición puede ser un poco más largo, se compensa con la no-necesidad de lectura individual tras el proceso de exposición.

Una vez adquiridas todas las imágenes individuales es posible crear una composición radiográfica uniéndolas manualmente o preferiblemente mediante algoritmos automáticos de "stitching", que trabajan a partir del pequeño solapamiento entre imágenes hasta formar una imagen radiográfica XXL.

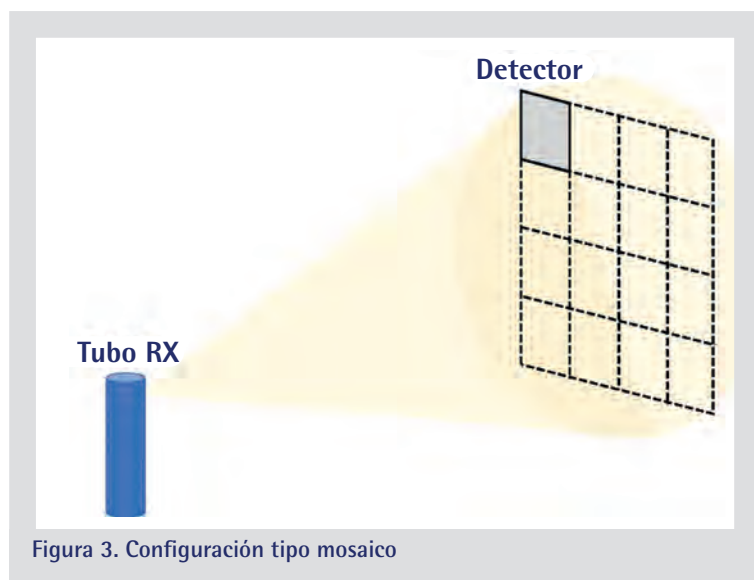


Figura 3. Configuración tipo mosaico

Configuración tipo espejo

Si bien la configuración anterior de tipo mosaico es la configuración que resuelve el problema de radiografiado de grandes objetos de manera más rápida, sencilla y natural, en muchos casos esta es una configuración no válida bajo el enfoque de las normas END. En estas normas se considera siempre un disparo en el que el tubo RX y la placa están alineados de tal forma que el punto focal está orientado hacia el centro de la placa y, además, el plano del objeto se dispone de forma normal la dirección de disparo. De hecho, en muchas normas no se permiten distorsiones de haz cónico mayores de 5° incluso de 3° en algunos protocolos (ISO 17363, EN 1435). La distancia de disparo más habitual en la configuración tipo espejo suele estar en el rango 1000 +/- 500 mm y normalmente la exposición se realiza con un íntimo contacto entre pieza y placa.

Bajo estas premisas, no es posible cubrir un objeto de grandes dimensiones en un único disparo y es necesario realizar múltiples disparos moviendo tubo y placa por toda la pieza, manteniendo siempre su configuración relativa. En esta configuración, deja de buscarse una composición "estética" del objeto y lo que se busca es radiografiar, de forma normalizada, cada zona en una configuración que no genere distorsiones angulares. Habitualmente, no se radiografía el 100% de la superficie del objeto sino que se radiografían zonas específicas tales como cordones de soldadura, o estructuras internas en busca de grietas, poros u otros defectos.

Los procesos de radiografiado analógico o con CR bajo esta metodología suele llevarse a cabo de forma totalmente manual realizando múltiples exposiciones individuales y resulta complicado considerar alternativas al posicionado manual con estas técnicas RX basadas en una lectura indirecta. Es importante comentar también que, en ocasiones, resulta muy complicado conservar la orientación entre tubo y placa cuando el objeto es de grandes dimensiones y no se tienen unas referencias claras a los dos lados de la pieza.

Si el proceso de radiografiado se realiza con un detector digital, pero sin ayuda de componentes electromecánicos la tarea sería todavía más tediosa que utilizando placas radiográficas puesto que el peso y rigidez del panel hace mucho más difícil llevar a cabo su correcto posicionamiento.

La alternativa para el radiografiado de alto rendimiento utilizando un detector digital necesita de dos sistemas electromecánicos independientes uno controlando la posición y orientación del tubo RX y otro controlando la posición y orientación del detector de rayos X. Existen distintos sistemas electromecánicos entre los que podemos citar sistemas cartesianos, sistemas tipo "gantry" o sistemas robóticos. Hablaremos de todos ellos a lo largo de este artículo.

Uno de los aspectos más relevantes asociados al uso de posicionadores electromecánicos es el aumento de la distancia objeto-placa. Es decir, normalmente el uso de un posicionador implica, de forma indirecta trabajar a una distancia de seguridad entre la pieza y el detector para evitar posibles colisiones. Esta distancia generalmente supone trabajar a valores de magnificación en torno a 1.3 o superiores, lo que también implica la utilización de tubos milifoco (1 mm o preferentemente 0.4 mm) o microfoco. En general y, con independencia de la distancia de trabajo, es necesario que todos los sistemas cuenten con sistemas de seguridad eviten que el detector o el propio sistema electromecánico pueda colisionar con los componentes, pues en muchas ocasiones son muy delicados, costosos o irremplazables.

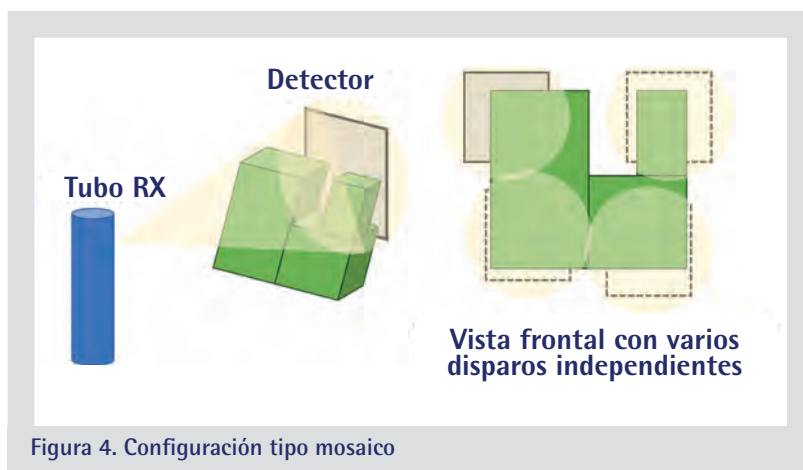


Figura 4. Configuración tipo espejo

Es preciso indicar que tener la posibilidad de mover electromecánicamente tubo o detector no implica tener un posicionamiento automático. Existen sistemas electromecánicos desde los años 80, pero todos se manipulaban a voluntad de un operador y nunca de forma automática. Para que un sistema se mueva de manera automática, es necesario la implementación de *software* específico que permita:

- i) Garantizar siempre una correcta ortogonalidad tubo-detector
- ii) Permitir grabar poses de radiografiado y repetirlas secuencialmente

Tal y como se ha visto anteriormente, existen distintas soluciones para el radiografiado de grandes superficies, aunque cada una presenta sus propias ventajas e inconvenientes en función de la aplicación. Sin embargo, solo una de las técnicas RT, la radiografía digital, permite la automatización del proceso de radiografiado gracias a la posibilidad de extraer imágenes del detector sin necesidad de hacer una lectura indirecta. Por esta razón, en comparación con las técnicas previamente descritas, la radiografía digital se posiciona en un lugar privilegiado para llevar a cabo procesos automáticos de inspección. Existen además otras razones técnicas para adoptar sin miedo la radiografía digital en este tipo de procesos y sustituir otros procesos manuales pues ésta tiene el mayor rango dinámico de todas las técnicas RX [7] y una sensibilidad al contraste óptima. Si bien es cierto que presenta una resolución nativa inferior, la tecnología actual permite alcanzar resoluciones de 50 μm que entran a competir directamente con las resoluciones ofrecidas por la película o los sistemas CR.

4. Sistemas de radiografía automática

Los sistemas de radiografía automática están formados por uno o más ejes electromecánicos que permiten mover el emisor o receptor que llevan acoplado de forma controlada. Las piezas y los objetos a radiografiar pueden tener cualquier geometría, si bien habitualmente suelen tener una geometría 2D, sin grandes espesores en una de las direcciones de radiografiado ya que no sería viable de radiografiar en caso contrario. Por otro lado, cuando las piezas son menos planas y las geometrías son más curvadas o tridimensionales normalmente son piezas huecas en su interior, de nuevo, sin la presencia de un gran espesor que no sería viable atravesar con Rayos X de otra manera.

Una de las soluciones más simples y económicas pasa por la implementación de sistemas electromecánicos cartesianos, que permiten, generalmente, dos grados de libertad en las direcciones X e Y, paralelas al plano de radiografiado de la pieza. El número limitado de ejes y lo intuitivo de los sistemas cartesianos también permite un control sencillo. Además, al moverse únicamente en un plano paralelo de la pieza es prácticamente imposible generar una colisión y es posible radiografiar en íntimo contacto con la obra. Los sistemas electromecánicos deben cumplir una serie de requisitos para actuar en aplicaciones de radiografía como por ejemplo incluir motores y sistemas mecánicos con resolución micrométrica de posicionamiento. La precisión mecánica de los ejes es un aspecto crucial para la ubicación exacta del tubo o del detector respecto a un sistema de referencia y la repetibilidad mecánica.

Los sistemas electromecánicos deben cumplir una serie de requisitos para actuar en aplicaciones de radiografía como, por ejemplo, incluir motores y sistemas mecánicos con resolución micrométrica de posicionamiento

También es imprescindible que los ejes cuenten con un sistema de seguridad activo que evite golpes del detector contra la pieza para salvaguardar la integridad de ambos. Y que estas seguridades estén controladas y alertadas vía *software* al igual que los movimientos del sistema y la adquisición de imágenes. De esta manera, se tiene el control total del equipo de manera remota desde el exterior de la sala de irradiación.

Las soluciones basadas en sistemas cartesianos pueden ser muy variadas y pueden considerar únicamente el movimiento del detector (sistemas cartesianos simples) el movimiento del tubo y del detector (sistemas cartesianos duales) el movimiento de tubo y detector en coordenadas XYZ y giro en distintos ángulos (sistemas tipo "gantry" -pórtico-) o finalmente sistemas robóticos, con una libertad total en términos de ángulos y coordenadas.

4.1. Sistemas cartesianos simples

Una de las soluciones más simples para el radiografiado automático en la configuración "mosaico" es la implementación de un bastidor fijo, anclado a una pared y constituido por dos ejes perpendiculares, lo cual dota al sistema de movimientos cartesianos X e Y.

El anclaje a la pared permite, pese a las grandes dimensiones del sistema, -por ejemplo, hasta 5x5 m²-, que este tenga una gran estabilidad y precisión. Obviamente el sistema está pensado para su uso en búnker y, en general, para el radiografiado de obras de arte: lienzos, retablos o incluso esculturas (generando esa composición de imágenes que hemos denominado "estética" y que se usa habitualmente en patrimonio y conservación). Existen alternativas basadas en bastidores móviles plegables que permiten el radiografiado de obras hasta de 3x3 m².

En la Figura 5, izquierda, se ilustra el principio de radiografiado mediante esta técnica donde puede observarse que el tubo está fijo a una distancia de varios metros y el bastidor porta un detector que puede moverse en las direcciones X e Y. Por otro lado, la Figura 5, derecha, muestra una fotografía de uno de estos sistemas, que implemente de forma adicional unos soportes para la firme sujeción de la obra. Ello permite radiografiar en íntimo contacto, asegurando igualmente la integridad de la obra.

Es importante indicar que el proceso de radiografiado se realiza de forma totalmente automática, puesto que el detector se coloca en la esquina superior izquierda de la obra, se introduce como información adicional las dimensiones de la obra y el proceso de radiografiado comienza de forma automática. El resultado de radiografiar y de componer de forma automática una imagen de grandes dimensiones se observa en la Figura 6. La resolución alcanzada permite observar claramente y con alta



Figura 5. Sistema de radiografía automática para obras de arte

Estos sistemas tienen la versatilidad de acoplar casi cualquier tipo de detector, aunque para tareas tales como el radiografiado de lienzos y retablos suelen utilizarse detectores tecnología CMOS con $50 \mu\text{m}$ de tamaño de *pixel* y un área aproximada de $250 \times 300 \text{ mm}^2$.

definición el entramado del lienzo, así como los detalles más sutiles de la pintura. Sin embargo, uno de los datos más interesantes es que la radiografía completa de un cuadro de $900 \times 1.400 \text{ mm}^2$, para el que se necesitan 15 poses individuales, se ha logrado de forma automatizada

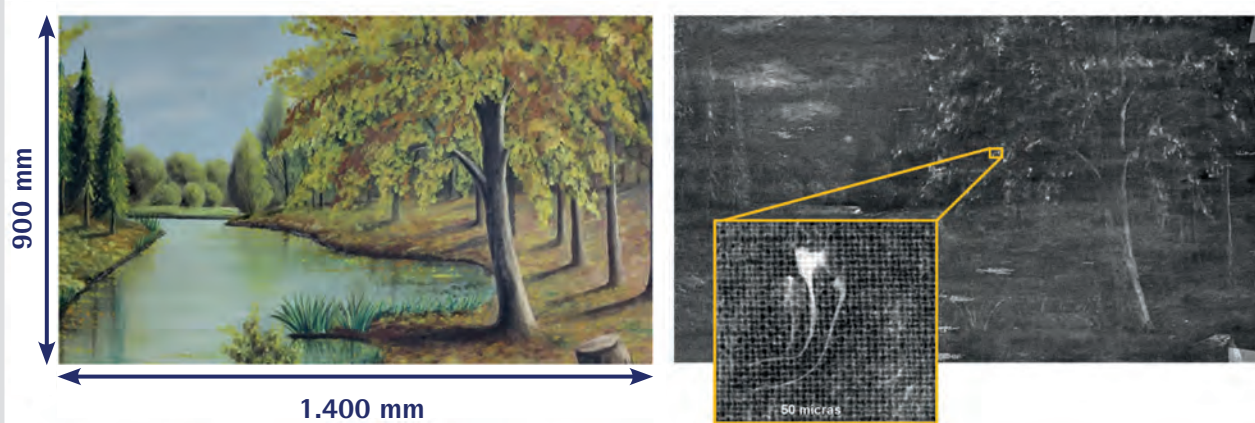


Figura 6. Imagen original del lienzo (izquierda) y radiografía con zona aumentada (derecha)

(tanto la adquisición como la composición radiográfica automática) en tal solo 10 minutos mediante *software* especializado.

4.2. Sistemas cartesianos duales

Los sistemas cartesianos duales están, generalmente, diseñados para radiografiar piezas industriales de grandes dimensiones. A diferencia de los sistemas anteriores, su uso no está pensado para realizar una composición radiográfica "estética" ya que trabaja en la configuración tipo espejo, si bien, potencialmente podrían resolver imágenes bajo una configuración mosaico. Lo más habitual es que el objeto se encuentre entre el tubo y el detector aproximadamente a la mitad de la distancia entre ambos, es decir, en magnificaciones entre 1.3 y 2.5. La elección de una magnificación u otra depende fundamentalmente del tipo de tubo y su tamaño focal siendo posible trabajar a máxima magnificación únicamente con tubos microfoco.

Los sistemas tipo pórtico llevan operando en búnkeres de todo el mundo desde los años 80 y son una de las soluciones más versátiles para el radiografiado de componentes aeronáuticos. Una de las características más singulares estos sistemas es su configuración

Estos sistemas son versátiles y permiten incorporar casi cualquier tipología de tubo RX o detector que normalmente son elegidos *ad-hoc* para la aplicación. Normalmente incorporan tubos RX de entre 160 y 225 kV y detectores de 100 o 150 μm de grandes dimensiones, iguales o superiores a 400x400 mm² de silicio amorfo. La tecnología de silicio amorfo aporta mayor durabilidad y tamaño del detector, mientras que la disminución en resolución es compensada geométricamente trabajando con magnificación.

Uno de los aspectos más importantes de estos sistemas es la posibilidad de realizar operaciones automáticas para lo cual es necesario previamente asegurar las posiciones relativas y el paralelismo entre componentes. De forma adicional se suele utilizar un punto de la pieza para tomar una referencia de coordenadas y empezar las operaciones automáticas de radiografía-do a partir de ese punto.

4.3. Sistemas tipo pórtico

Los sistemas tipo pórtico llevan operando en búnkeres de todo el mundo desde los años 80 y son una de las soluciones más versátiles para el radiografiado de componentes aeronáuticos. Una de las características más singulares de estos sistemas es su configuración. Habitualmente la estructura de soporte está colgada del techo y los componentes electromecánicos, así como los componentes principales (tubo y detector), cuelgan de dicha estructura. Estos sistemas están dotados de múltiples ejes permitiendo el movimiento independiente en XYZ y dos grados de rotación para cada uno de los componentes (tubo y detector). Todos estos grados de libertad permiten poses de radiografiado "imposibles" para los sistemas cartesianos pudiendo radiografiar componentes curvados y complejos. Sin embargo, esta libertad supone un riesgo ya que al menos en los sistemas de primera generación no existe ningún control, más allá de la pericia del operador, para asegurar una correcta ortogonalidad entre tubo y detector.

Los "gantries" utilizaban originalmente fluoroscopios que han sido progresivamente sustituidos por detectores planos. Es habitual que incorporen tubos de 160 o 225 kV y detectores de dimensiones moderadas, habitualmente de un tamaño inferior a 250x250 mm. Tal y como se ha comentado, es importante destacar que en estos sistemas son operados manualmente, desde el puesto de control y, por tanto, no se realizan operaciones de radiografiado automáticas sino operaciones de radiografiado remotas, controladas por un operador.



Figura 7. Sistema dual de radiografía automática de gran formato, denominado WideXcan

La solución mostrada en este artículo muestra un sistema formado por dos bastidores independientes, con ruedas, que incorporan 2 ejes X e Y a los que se acoplan tubo RX y detector respectivamente. El sistema mostrado en la figura 7 es capaz de escanear hasta 12 m², con un recorrido horizontal de 4 m y un recorrido vertical de 3 m.

La Figura 8, izquierda, muestra un sistema pórtico de primera generación.

Los "gantries" de segunda y tercera generación si que cuentan con una mayor estabilidad y precisión en los ejes y permiten el radiografiado automático de componentes. En ocasiones se combinan con mesas y posicionadores giratorios para lograr radiografiar de forma automática componentes de geometría cilíndrica.



Figura 8. Sistema pórtico de primera generación (izquierda, fuente: *web*). Sistema pórtico de tercera generación (derecha, fuente: *web*)

4.4. Sistemas robóticos

El último sistema de posicionamiento y el más moderno debido a la tecnología que incorpora, son los sistemas robóticos que permiten acoplar equipamiento RX. Generalmente están compuestos de 1 o 2 brazos robóticos industrial al que se le puede acoplar bien un tubo RX o bien un detector digital. En los últimos años se está considerando también el uso

de robots colaborativos (*cobots*). Al igual que en los sistemas cartesianos, se puede diferenciar entre sistemas simples y sistemas duales.

En un sistema robótico simple, el detector va acoplado en un brazo robótico que permite un movimiento XYZ dentro de un espacio esférico donde el radio es equivalente a la longitud del brazo. Habitualmente estos sistemas presentan hasta 5-6 grados de libertad con varias articulaciones que posibilitan

el posicionamiento del detector en casi cualquier punto de esa esfera, aunque existen algunas incompatibilidades mecánicas dependiendo las características del robot y las dimensiones del propio detector. En estos sistemas no suele ser recomendable el uso de detectores de grandes dimensiones, sino que se priorizan equipos compactos y alta resolución, que faciliten el posicionamiento en zonas con geometrías complejas y garanticen alta calidad de imagen.

Por su parte, los sistemas duales se componen de dos robots que trabajan en un espacio conjunto y con movimientos sincronizados. La configuración típica de estos sistemas es de tipo

"espejo", aunque con mucha mayor flexibilidad de poses y geometrías que en un sistema cartesiano debido a la libertad de movimiento y giro de ambos robots. En la Figura 9, se muestra un sistema de radiografía y tomografía basado en robots donde las bases de ambos robots se mueven en "tracks" lineales que sumados a la longitud de los brazos robóticos pueden cubrir un amplio volumen de movimiento para el tubo y el detector.



Figura 9. Sistema de radiografía y CT basado en robots realizando una tomografía de una bicicleta. (Fuente: *web*)

5. Conclusiones

Este artículo presenta y resume las distintas soluciones para llegar a cabo inspecciones RX de piezas de gran formato. Con ello, se propone un avance relevante hacia sistemas radiográficos más eficientes, digitalizados y escalables, alineados con las tendencias actuales en control de calidad industrial en piezas de gran formato.

En este contexto, la automatización de la radiografía digital emerge como la evolución natural dentro de los conceptos de Industria 4.0 aplicados al END. La integración de detectores digitales, sistemas de posicionamiento automático, algoritmos de unión automática de imágenes (*stitching*) y *software* de control de inspección automáticos o basados

en AI, permiten abordar de manera eficiente la radiografía de componentes de gran tamaño, reduciendo tiempos, y aumentando significativamente la repetibilidad del proceso. Sin duda el avance de esta tecnología en los últimos 10 años ha sido enorme y las sucesivas innovaciones mejorarán las limitaciones actuales.

Muchas de estas configuraciones de ensayo y metodologías que se muestran en este artículo han sido estudiadas y resueltas por Novadep NDT Systems [8], una empresa dedicada la fabricación de sistemas de radiografía automáticos a medida. El resultado de estos desarrollos son varios sistemas de radiografía automática de gran formato distribuidos en la península y que son potencialmente aplicables en muchos sectores industriales.

Referencias

1. Ou, X.; Chen, X.; Xu, X.; Xie, L.; Chen, X.; Hong, Z.; Bai, H.; Liu, X.; Chen, Q.; Li, L.; et al. Recent Development in X-Ray Imaging Technology: Future and Challenges. Research 2021, 2021, doi:10.34133/2021/9892152.
2. Meyer, R.; Ramuhalli, P.; Moran, T.; Nove, C.; Pardini, A. UNDERSTANDING THE CHALLENGES IN THE TRANSITION FROM FILM TO DIGITAL RADIOGRAPHY IN THE NUCLEAR POWER INDUSTRY.
3. Technische Dienst, R.B. APPLUS+ RTD RAYSCAN QUALIFICATION Applus+ RTD RAYSCAN RTR Qualification for Pipeline Girth Weld Inspection. 2019.
4. García Márquez, F.P.; Peco Chacón, A.M. A Review of Non-Destructive Testing on Wind Turbines Blades. Renew Energy 2020, 161, 998–1010, doi:10.1016/J.RENENE.2020.07.145.
5. Newman, R. Application of X-Rays in Art Authentication (Radiography, X-Ray Diffraction, X-Ray Fluorescence).
6. Bassi, S.; Baldini, S.; Rebuffat, C.; Sarti, R.; Ferretti, F. First Test on Three Stitching Methods with Digital Detectors Used in Radiography. Radiol Phys Technol 2013, 6, 187–196, doi:10.1007/s12194-012-0187-9.
7. Mothiram, U.; Brennan, P.C.; Lewis, S.J.; Moran, B.; Robinson, J. Digital Radiography Exposure Indices: A Review. J Med Radiat Sci 2014, 61, 112–118, doi:10.1002/JMRS.49;WGROU:STRING:PUBLICATION.
8. Solórzano, E.; Pérez-Vasallo, P.; Arango, S. Cuadra, D., Equipos de Inspección de Radiografía Digital para Inspeccionar Piezas de Grandes Dimensiones, Modelo de Utilidad REF ES 1 323 875 U.

CERTIFICACIÓN | FORMACIÓN | DIFUSIÓN

LOS **END** SON LOS ANÁLISIS MÁS EXHAUSTIVOS **SIN DAÑAR SU MATERIAL**



MÁS INFORMACIÓN:

AEND | C/ Bocángel, 28 - 2º Izda. | 28028 Madrid

Tfno.: 91 361 25 85 | Fax: 91 361 47 61

E-mail: informacion@aend.org

AEND | www.aend.org

Datos

Empresa / Persona de contacto:

Actividad:

Dirección:

Población:

Tfno.:

Fax:

E-mail:

C.I.F.:

C.P.:

Provincia:

Tarifas de anuncios y de noticias técnicas

Miembros AEND

Contraportada	709 €
Interior portada	625 €
Interior contraportada	550 €
Página interior	450 €

Anunciantes

Noticias técnicas de 1/2 pág.	150 €
Noticias técnicas de 1/4 pág.	100 €

** IVA 21% no incluido.

No Miembros AEND

Contraportada	780 €
Interior portada	680 €
Interior contraportada	600 €
Página interior	500 €

No Anunciantes

Noticias técnicas de 1/2 pág.	300 €
Noticias técnicas de 1/4 pág.	200 €

⁽¹⁾ Deseo la inserción de mi anuncio para el n° _____ que se publicará en el mes de _____ de 2026 para lo que les hago entrega del anuncio en formato digital, con prueba de color, indicando el espacio que deseo reservar:

Medidas página color: A4 (210 x 297 mm).

Las páginas con fondos o fotos a margen de la misma deben llevar sangre de 5 mm por todos los lados, cruces de recorte y en formato de color cmyk.

Ruego que la factura por n° aparecido (adjuntando prueba de inserción), y en la fecha que le corresponda sea con cargo a ⁽²⁾:

(Con la factura le adjuntaremos el n° correspondiente, donde aparezca su anuncio.)

Nota: El anuncio (marcar según proceda):

- ☐ Lo enviamos por mensajero a portes debidos, a:
AEND. Revista "AEND" (C/ Bocángel, 28 - 2º izda. 28028 Madrid)
- ☐ Rogamos lo recojan en: _____
- ☐ Lo enviamos por correo electrónico en alta resolución a: informacion@aend.org

⁽¹⁾ Si se contrata los cuatro números del año, la inserción del correspondiente al 4º trimestre será sin cargo, a condición de que, previamente, se hayan abonado las facturas correspondientes a las 3 anteriores.

⁽²⁾ La publicación de un anuncio implica el abono del correspondiente al n° anterior.

Le informamos que sus Datos Personales recabados serán tratados por la ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (AEND), como Responsable del Tratamiento, para la gestión administrativa de los socios, así como para enviarle información sobre productos y servicios de AEND, siempre con su consentimiento previo. La base legal para el tratamiento de sus datos es la prestación de los servicios de la AEND a sus socios y el desarrollo de una relación de carácter asociativo. Los datos proporcionados se conservarán mientras se mantenga la relación con el socio y, posteriormente, durante el tiempo necesario para cumplir con las obligaciones legales. Los datos no se cederán a terceros, salvo en los casos que exista un imperativo legal. Usted podrá ejercer sus derechos de acceso, rectificación, supresión, limitación al tratamiento y oposición dirigiéndose a AEND, Calle Bocángel, 28, 2º Izquierda, 28028 Madrid, o por email a datos@aend.org, adjuntando copia de su DNI o documento identificativo equivalente. Mas información en: <https://www.aend.org/Política-privacidad>

Autorizo el envío de información comercial sobre productos o servicios de AEND. ☐



AEND

C/ Bocángel, 28-2º izda.

28028 Madrid

Tfno.: 913 612 585

Fax: 913 614 761

E-mail: informacion@aend.org

www.aend.org

ADVERTISING PRICE LIST

magazine



20 26

Invoice Data

Company / Full Name:

Activity:

Address:

City:

Phone No.:

Fax No.:

E-mail:

VAT No.:

Postal Code:

Province / State:

Advertising and technical news publishing price list

AEND Members

Back Cover	709 €
Inner Cover	625 €
Inner Back Cover	550 €
Page	450 €

Advertisers

Technical News 1/2 page	150 €
Technical News 1/4 page	100 €

*21% VAT not included.

No Miembros AEND

Back Cover	780 €
Inner Cover	680 €
Inner Back Cover	600 €
Page	500 €

No Anunciantes

Technical News 1/2 page	300 €
Technical News 1/4 page	200 €

(1) I wish my add to be included on issue no. _____ which will be published in the month of _____, 2026. To this effect, I am forwarding you a copy in digital form, already colour proved. I wish to book the following space:

Colour page size: A4 (210 x 297 mm).

Pages with backgrounds and borderless printing pictures must have a 5 mm-bleed layout on all sides, carry crop marks and be set in cmyk colour format.

Please issue the invoice for adds published on each issue no. (enclose en insertion proof copy) on the corresponding date to (2): _____

(Together with the invoice, you will receive a copy of the issue where your ad was published).

Note: The add in JPEG high resolution file (mark as suitable):

☐ Will be couriered COD to:

AEND. Revista "END" (C/ Bocángel, 28 - 2º izda. 28028 Madrid - SPAIN)

☐ Will be e.mailed to: informacion@aend.org

(1) If the advertising for the 4 issues in the year is hired, the ad corresponding to the 4th term will be free of charge, provided the payment of the 3 preceding invoices has been received.

(2) Publishing an advert implies payment of the invoices corresponding to previous ads.

We inform you that the personal data collect will be treated by ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (AEND), as the Data Controller, for administrative management of its members, as well as, to send you information about AEND products and services, having received your prior consent. The legal base for control of your data is providing AEND services to its members and developing and keeping an associative relation. The data provided will be kept while there exists a relation with the member and, after that for the time span required to comply with any legal obligations. The data will not be forwarded to third parties except for those cases in which there is a legal obligation. You have the right to access your data, modify them and request their deletion contacting AEND, Calle Bocángel, 28, 2º Izquierda, 28028 Madrid, by email datos@aend.org, enclosing a copy of your ID. For further information, go to: <https://www.aend.org/Política-privacidad>

I authorise AEND to send me commercial information about its products and services. ☐



AEND

C/ Bocángel, 28-2º izda.
28028 Madrid (SPAIN)

Phone No.: +34 913 612 585

Fax No.: +34 913 614 761

E.mailed: informacion@aend.org

www.aend.org

Hoja de Inscripción como miembro 2026



Datos

Entidad / Nombre de la Persona:

Actividad:

C.I.F. / N.I.F.:

Dirección:

Población:

C.P.:

Provincia:

Tfno.:

E-mail:

Deseo inscribirme como Miembro (Colectivo de Número o Asociado)

en la AEND.

Dirigir la correspondencia e información a:

Población:

C.P.:

Provincia:

Cuotas Asociados

Miembro Colectivo de más de 500 empleados

348 €/anual

Miembro Colectivo de hasta 500 empleados

243 €/anual

Miembro de Número

40 €/anual

Miembro Asociado (estudiantes y jubilados)

8 €/anual

Domiciliación Bancaria

Banco / Caja:

Agencia N°:

Calle / Plaza:

N°:

Población:

C.P.:

Cuenta Corriente / N° IBAN:

/

/

/

Titular de la Cuenta:

Muy Sres. míos / nuestros:

Sírvase tomar nota que al recibo de la presente y hasta nuevo aviso, deberán cargar en mi Cuenta / Libreta indicada, los recibos que le sean presentados para su cobro por ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.

Atentamente,

AEND

C/ Bocángel, 28-2º izda.

28028 Madrid

Tfno.: 913 612 585

Fax: 913 614 761

E-mail: informacion@aend.org

www.aend.org

Le informamos que sus Datos Personales recabados serán tratados por la ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (AEND), como Responsable del Tratamiento, para la gestión administrativa de los socios, así como para enviarle información sobre productos y servicios de AEND, siempre con su consentimiento previo. La base legal para el tratamiento de sus datos es la prestación de los servicios de la AEND a sus socios y el desarrollo de una relación de carácter asociativo. Los datos proporcionados se conservarán mientras se mantenga la relación con el socio y, posteriormente, durante el tiempo necesario para cumplir con las obligaciones legales. Los datos no se cederán a terceros, salvo en los casos que exista un imperativo legal. Usted podrá ejercer sus derechos de acceso, rectificación, supresión, limitación al tratamiento y oposición dirigiéndose a AEND, Calle Bocángel, 28, 2º Izquierda, 28028 Madrid, o por email a datos@aend.org, adjuntando copia de su DNI o documento identificativo equivalente. Mas información en: <https://www.aend.org/Política-privacidad>

Autorizo el envío de información comercial sobre productos o servicios de AEND. ☐

Membership 2026

Registration Form



Invoice Data

Company / Full name:		
Activity:	VAT No.:	
Address:		
City:	Postal Code:	Province / State / Country:
Phone No.:	Fax No.:	E-mail:
I wish to register as a (Collective, Full Individual, Associate)		Member at the AEND.
Please, send all the correspondence and information to:		
City:	Postal Code:	Province / State / Country:

Membership Fees

Collective Member of over 500 employees	348 €/yearly
Collective Member of up to 500 employees	243 €/yearly
Full Individual Member	40 €/yearly
Associate Member (students and retired professionals)	8 €/yearly

Bank Debit Order

Bank:	Office No.:	
Address:		
City:	Postal Code:	Province / State / Country:
SWIFT / IBAN:		
Account holder:		

Dear Sirs:

Please take note that on reception of this document and until further notice, invoices issued by the Spanish Society for Non-destructive Testing should be charged to this account.

Yours faithfully,

AEND

C/ Bocángel, 28-2º izda.
28028 Madrid (SPAIN)

Phone No.: +34 913 612 585

Fax No.: +34 913 614 761

E.mailed: informacion@aend.org

www.aend.org

We inform you that the personal data collect will be treated by ASOCIACION ESPAÑOLA DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (AEND), as the Data Controller, for administrative management of its members, as well as, to send you information about AEND products and services, having received your prior consent. The legal base for control of your data is providing AEND services to its members and developing and keeping an associative relation. The data provided will be kept while there exists a relation with the member and, after that for the time span required to comply with any legal obligations. The data will not be forwarded to third parties except for those cases in which there is a legal obligation. You have the right to access your data, modify them and request their deletion contacting AEND, Calle Bocángel, 28, 2º Izquierda, 28028 Madrid, by email datos@aend.org, enclosing a copy of your ID. For further information, go to: <https://www.aend.org/Politica-privacidad>

I authorise AEND to send me commercial information about its products and services. ☐



¿QUIERES
DIFERENCIARTE?
CERTÍFICATE
CON CESOL



Entidad Nacional de Acreditación

CERTIFICACIÓN

Nº 04/C - PE 004

CESOL, ÚNICA ENTIDAD ACREDITADA
EN ESPAÑA PARA LA CERTIFICACIÓN
DE SOLDADORES

SISTEMAS DE DESARROLLO PROPIO

AIVA

ULTRASOUND
NDT

Artificial Intelligence for Volume Analysis

Más información: <https://aivandt.com>

NUEVO MÉTODO PATENTADO DE INSPECCIÓN POR ULTRASONIDOS UTILIZANDO LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA) DESARROLLO PROPIO, AIVA NDT PERMITE:

- 1- **VELOCIDAD Y EFICIENCIA REVOLUCIONARIA:** ACORTA LAS EVALUACIONES DE HORAS A SEGUNDOS, CON UNA MEJORA DE HASTA EL 95% FRENTE AL ANALISIS TRADICIONAL
- 2- **ANÁLISIS DE TODO EL VOLUMEN:** USA REDES NEURONALES PARA ANALIZAR TODO EL VOLUMEN ACÚSTICO DEL MATERIAL SIMULTÁNEAMENTE, CON ENTRENAMIENTO LOCAL
- 3- **SENSIBILIDAD Y ALCANCE:** SIN DESPLAZAR EL TRANSDUCTOR, DETECTA ALTERACIONES MÍNIMAS MAL ORIENTADAS O INACCESIBLES

SERIE CYCLOPS

SISTEMAS ROBÓTICOS DE UT CON 1 O 2 ROBOTS, Y DISTINTAS TÉCNICAS DE INSPECCIÓN CON INTERCAMBIO RÁPIDO.



CETA XS

CRAWLER UT PARA INSPECCIÓN DE CORROSIÓN EN TANQUES DE REFINERÍA



SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

Ultrasonidos

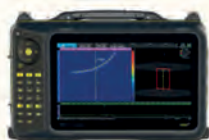
Convencional
WAVE

Superposición en tiempo real del AScan sobre la geometría de la pieza



Phased Array
VEO 3 + TFM-i

Superposición de distintos modos de propagación, con la técnica **TFM-i** intermodal



Medidores de espesores
SERIE ZX



Corrientes inducidas

ACFMT

Equipo con tecnología **ACFMT** para soldadura



WELDCHECK 3
Equipo para la inspección de soldadura



Radiografía Digital

Flat
Panels



Paneles
flexibles



Digitalizadora
Radiográfica



Realizamos calibraciones y mantenimiento de equipos

Normas: AITM-0013
AITM-0016
ISO EN 22232

Partículas Magnéticas y Líquidos Penetrantes

Bancadas magnéticas
SERIE EBU



Linternas de luz UV
LUMATOCH 2

Yugos electromagnéticos



Consumibles

PFINDER
280 - 251
150 - 115
890 - 871
902 - 860



SÍGUENOS EN



Tel: 91 796 14 18
Consultas: comercial@tecnitest.com

Control de Calidad Industrial

Radiografía digital

Tomografía por Rayos-X

Control de semillas

Corrientes inducidas

Dureza

Líquidos penetrantes

Partículas magnéticas

Soluciones Globales
Ensayos no destructivos

c•met
yxlon

c•met
x-ray

FOERSTER

GILARDONI

KUBTEC
SCIENTIFIC

MAGNAFLUX

NOVO
Digital Radiography

900 810 061
izasa@izasascientific.com

in | [izasascientific.com](https://www.izasascientific.com)

Izasa
Scientific
by Palex