

10-008

INTERNATIONAL PROJECT MANAGEMENT - EMPIR 2014 PROGRAMME: A SPANISH EXPERIENCE

Lorente-Pedreille, Raquel María ⁽¹⁾; Sebastián, Miguel Á. ⁽¹⁾; Sáenz-Nuño, María Ana ⁽²⁾; Medina-Martín, María Nieves ⁽³⁾

⁽¹⁾ UNED, ⁽²⁾ Universidad Pontificia Comillas, ⁽³⁾ CEM

The Spanish Center of Metrology (CEM) has actively collaborated in the management of the European project EMPIR 14IND14 (2015-2018): "Torque measurement in the MN-m range". The aim of this project was to develop new torque measurement systems for its use in nacelle test benches.

This communication relates, from the point of view of the author as collaborator, the experience of CEM in the direction, coordination and management of one of the main work packages of the mentioned project. The main objective was the development of a new torque transfer pattern and was one of the two key lines of action of the project.

Collaborators participating in the project included several organizations (public entities, research institutes and universities) of great international prestige, coming from Germany, Finland and Spain. Supervising the design work and the engineering proposals promoted by the different collaborators was a great challenge given the technical nature of the developments.

Thanks to the work plan and the supervision of CEM, all the objectives were satisfactorily completed, producing at the end of the project 4 different prototypes of the new measurement system, with different approaches, but intercomparable with each other.

Keywords: nacelle; EMPIR; Project; management

GESTIÓN DE PROYECTOS INTERNACIONALES - PROGRAMA EMPIR 2014: UNA EXPERIENCIA ESPAÑOLA

El Centro Español de Metrología (CEM) ha colaborado activamente en la gestión del proyecto europeo EMPIR 14IND14 (2015-2018): "Torque measurement in the MN-m range". El objetivo de este proyecto era desarrollar nuevos sistemas de medición del par para su empleo en bancos de ensayos de nacelles.

Esta comunicación relata, desde el punto de vista de la autora como colaboradora, la experiencia del CEM en las labores de dirección, coordinación y gestión de uno de los principales paquetes de trabajo del citado proyecto. El objetivo principal era el desarrollo de un nuevo patrón de transferencia del par y constituía una de los dos principales líneas de actuación del proyecto.

Entre los colaboradores se contó con varias organizaciones (entidades públicas, institutos de investigación y universidades) de gran prestigio internacional, procedentes de Alemania, Finlandia y España. Supervisar las labores de diseño y las propuestas de ingeniería promovidas por los distintos colaboradores supuso un gran desafío dado el carácter técnico de los desarrollos.

Gracias al plan de trabajo y a la supervisión del CEM se completaron satisfactoriamente todos los objetivos, produciendo al término del proyecto 4 prototipos diferentes del nuevo sistema de medición, diferentes enfoques, pero intercomparables entre sí.

Palabras clave: aerogenerador; EMPIR; proyecto; herramientas de gestión

Correspondencia: Raquel María Lorente Pedreille, rlorente31@alumno.uned.es

Acknowledgements/Agradecimientos: Los autores agradecen a EIDUNED (Escuela Internacional de Doctorado de la Universidad Nacional de Educación a Distancia) por su apoyo a estas investigaciones y a la iniciativa EMPIR, cofinanciada por el Programa Horizonte 2020 de investigación e innovación



©2019 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

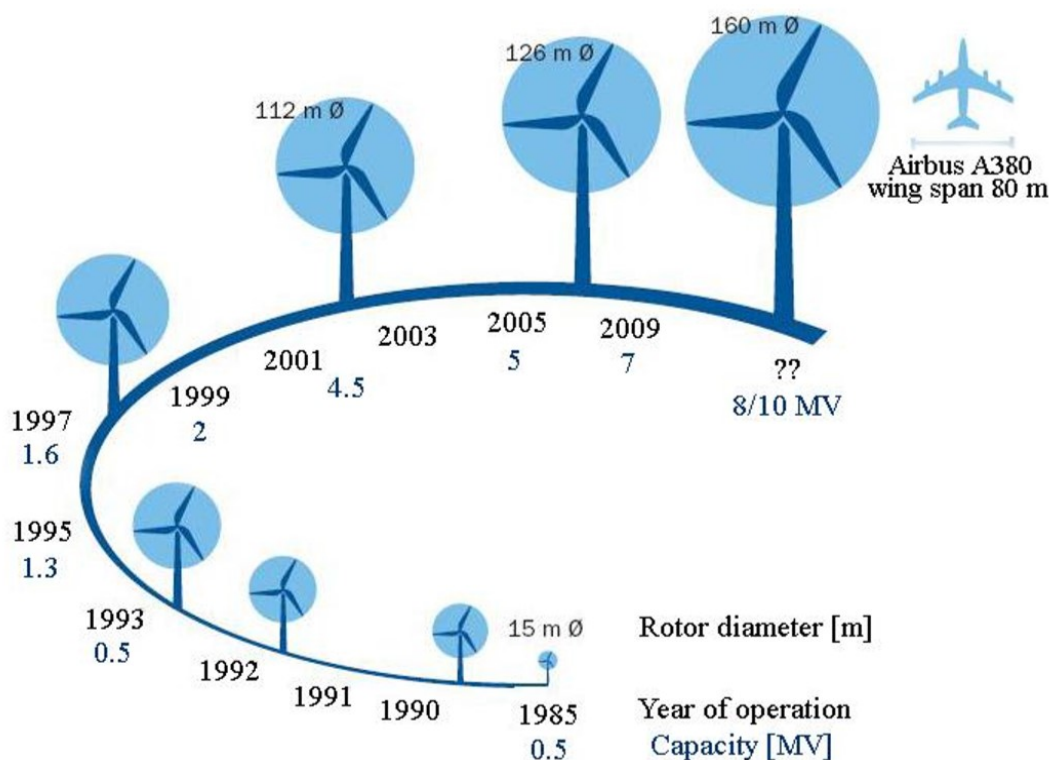
En las últimas décadas el sector de las energías renovables ha sido objeto de numerosos avances tecnológicos. La preocupación por minimizar la emisión de gases invernadero y la generación de residuos se ha extendido en la mayor parte del mundo, siendo objeto de discusión en la mayoría de cumbres y tratados internacionales.

A nivel europeo, la inversión en sistemas de producción de energía ecológicos ha sido una de las directrices principales de la unión europea. Reducir la contaminación en grandes ciudades y apostar por el empleo de energías renovables son algunas de las principales líneas de actuación de distintos programas y propuestas, con el fin de cumplir con los objetivos marcados en el llamado Horizonte 2020.

Una de las principales alternativas a las energías de combustión fósil es la energía eólica. Importantes inversiones se han llevado a cabo en la mayoría de los países miembro, con importantes potencias económicas como Alemania a la cabeza de su potenciación.

A raíz del auge del empleo de la energía eólica, se han sucedido una serie de mejoras y avances tecnológicos que han permitido incrementar el tamaño de los molinos de viento (Linul & Marsavina, 2013) y, por tanto, su capacidad para producir energía. Dicho incremento se aprecia en la evolución mostrada en la Figura 1.

Figura 1. Evolución del tamaño de las turbinas eólicas



En la actualidad, las turbinas eólicas operan en el rango de los MW, lo que se traduce en transformar pares mecánicos del orden de los MN·m en energía eléctrica. Alcanzar la

máxima eficiencia posible es una prioridad para los operadores de los parques eólicos. Para asegurar dicha eficiencia, las nacelles de las turbinas eólicas son sometidas a exhaustivos ensayos para caracterizar su comportamiento.

Uno de los parámetros más importantes a analizar es el par de torsión, elemento clave en la que relaciona la energía mecánica de entrada con la potencia eléctrica finalmente obtenida. Sin embargo, no existe un método trazable y preciso de medir el par en un rango de operación tan elevado. Por este motivo, los bancos de ensayo en los que se estudian las nacelles se ven obligados a emplear métodos indirectos o modelos matemáticos cuyas incertidumbres son muy elevadas (2 al 5%) (Beaho, 2015).

A raíz de la necesidad de un método de medición del par de mayor precisión, surge el proyecto europeo EMPIR 14IND14 (2015-2018): “Torque measurement in the MN·m range”. El objetivo de este proyecto era desarrollar nuevos sistemas de medición del par para su empleo en bancos de ensayos de nacelles. Para ello, el proyecto apuesta por distintos estudios para evaluar las características específicas de la operación de las turbinas eólicas y propone varios métodos para la medición del par en el rango de los MN·m.

El CEM ha participado activamente en este proyecto, siendo una de las instituciones encargadas de liderar una de las líneas de investigación del proyecto. Este artículo relata, desde el punto de vista de la autora como colaboradora, la experiencia del CEM en las labores de dirección, coordinación y gestión de uno de los principales paquetes de trabajo del citado proyecto.

2. La iniciativa EMPIR y la estructura de sus proyectos.

La iniciativa europea EMPIR (European Metrology Programme for Innovation and Research) es promovida por EURAMET, la organización regional de la metrología y está cofinanciada por el programa Horizonte 2020 de la Unión Europea (UE) y los presupuestos nacionales de los países participantes.

El principal objetivo de este programa es alinear las estrategias para el desarrollo y la investigación de la metrología en toda Europa. Para ello, cuenta con la participación activa de los Institutos Nacionales de Metrología de los estados participantes.

A través de varias convocatorias, el programa EMPIR invita a presentar propuestas en las distintas disciplinas propuestas para la innovación y desarrollo de la metrología en distintas áreas industriales y sociales, buscando mejorar el servicio que se da a los usuarios finales en campos tan variados como la Salud, la Energía, la Industria, etc.

El proyecto aquí descrito pertenece a la convocatoria EMPIR 2014 sobre el tema “Metrología para la industria”. En concreto, se pretende dar servicio a la industria de la producción eólica, desarrollando nuevos sistemas para la medición de par en el rango de los MN·m.

La mecánica para la participación en una las convocatorias del programa EMPIR consiste en la presentación de una idea o innovación relevante en el tema de la convocatoria, donde se definen de manera preliminar la motivación, relevancia y objetivos a satisfacer por parte del desarrollo o innovación propuestos. Tras aprobarse este primer esbozo de la idea propuesta, se debe desarrollar el contenido completo del proyecto que desarrollaría dicha idea.

En este desarrollo, se deben definir principalmente los aspectos descritos en la Tabla 1.

Tabla 1. Contenidos del proyecto EMPIR

Item	Contenidos	Descripción
Información esencial del proyecto		Datos sobre los participantes, costes y otra información general relevante del proyecto
Descripción detallada de la investigación	Listado de objetivos del proyecto y resultados a difundir	Se establece la motivación del proyecto, los objetivos que se pretenden cumplir y la lista de resultados que se prevén conseguir y difundir
	Resultados e impacto esperados de la investigación: impacto en el campo metrológico de estudio, impacto en el sector industrial y científico	Relevancia de la investigación, descripción del impacto que tendrían los resultados obtenidos, tanto a nivel de la comunidad metrológica como del sector industrial de estudio
Planificación del proyecto detallada por paquetes de trabajo	Listado de los diferentes paquetes de trabajo	Acciones previstas agrupadas en distintas líneas de actuación, con sus respectivos objetivos y entregables
Riesgos, ética, etc.	Análisis de los riesgos, aspectos legales y ética del proyecto	Previsión de los riesgos y problemáticas técnicas, éticas y sociales derivadas de la investigación y acciones previstas para evitarlas

En las dos primeras secciones se aporta la información relevante del proyecto, (como las entidades participantes, portavoces de las mismas, presupuesto del proyecto, etc.) y se detalla la motivación del proyecto, las necesidades reales de la industria o sector al que se dirige la investigación y los objetivos a cumplir para resolver dichas necesidades. Se detallan además los informes y entregables previstos a la finalización del proyecto.

De especial relevancia es la "Planificación detallada del proyecto". En esta sección se desgranar las distintas acciones, estudios, ensayos o investigaciones necesarias para alcanzar un determinado objetivo del proyecto. Todas estas acciones se agrupan por temáticas en los llamados "Paquetes de trabajo". En ellos, se establece el tiempo estimado para el desarrollo de cada acción, los participantes implicados y los resultados a obtener. También se establece quién es el coordinador de cada actividad y el coordinador global del paquete de trabajo.

Este documento es el que será el anexo principal del consorcio firmado por EURAMET y las entidades participantes en el proyecto.

Los informes finales del proyecto y sus resultados siguen siempre la estructura de este documento principal. Al término de cada proyecto, se difunde un resumen público del mismo a través de la web de EURAMET, incluyendo sus objetivos y resultados para cada una de las líneas de investigación previstas.

3. EMPIR 14IND14: Objetivos del proyecto

Como ya se ha explicado, en la actualidad no es posible efectuar medidas directas y trazables de par en estos bancos de ensayo. En primer lugar, la medida del par se efectúa habitualmente mediante transductores de par o llaves dinamométricas comerciales.

Sin embargo, no existen componentes comerciales que alcancen el rango deseado. Por esta razón es necesario acudir a métodos alternativos (Foyer & Kock, 2017). Extensometría, medidas indirectas o modelos matemáticos sustituyen a las mediciones de par tradicionales, contando todos ellos con distintas desventajas que los convierten en métodos de menor precisión.

Por otro lado, aunque se trataran de emplear nuevos métodos, en metrología es muy necesario asegurar la trazabilidad de las medidas empleadas (Lorente-Pedreille, Medina-Martín, Sáenz-Nuño, & Sebastián, 2018). En el caso del par, la trazabilidad se asegura calibrando los instrumentos convencionales en máquinas patrón de par que se encuentran en los Institutos Nacionales de Medición de cada país. En la Figura 2 puede apreciarse una de las máquinas patrón del Centro Español de Metrología (Robles Carbonell, Robles Verdecia, & Lobo, 2006).

Figura 2. Máquina patrón de par de carga directa en el Centro Español del Metrología



Sin embargo, las máquinas patrón actuales solo son capaces de alcanzar el rango de los MN·m (Peschel, Mauersberger, Schwind, & Kolwinski, 2005). Por ello, el proyecto tenía como objetivo general desarrollar nuevos métodos de medición que mejoran la precisión de las medidas obtenidas (respecto a los empleados actualmente) y que permitieran asegurar la calidad de las mismas.

Para lograr esta meta, se declararon una serie de objetivos:

- Estudio de las condiciones de trabajo en los bancos de ensayos de nacelle. El primer paso necesario para desarrollar nuevos métodos y mejoras para la medición de par era conocer la capacidades y características específicas de estos métodos de ensayo, muy diferentes a las características de las calibraciones de par estándar.
- Desarrollo de nuevos métodos de medición del par. Estos métodos deben estar adaptados a las condiciones de operación de los bancos de ensayo. Se propusieron dos líneas de investigación a tal efecto: empleo de un transductor comercial combinado con un método de extrapolación para efectuar las medidas de mayor rango y un nuevo sistema de medición, llamado sistema de fuerza palanca, que es capaz de efectuar mediciones de par a través de mediciones directas de fuerza y longitud.

- Estudio de *cross-talk effects* – efectos multicomponente. Dado el carácter dinámico de las medidas en los bancos de ensayo y la aparición de cargas laterales, la medida del par puede verse afectada por cargas adicionales, cuyo efecto era relevante estudiar.
- Desarrollo de un procedimiento de calibración. Ante la falta de una normativa clara en cuanto a las calibraciones efectuadas en los bancos de ensayo, se persiguió crear un procedimiento de calibración que regulara estas acciones de manera uniforme para cualquier banco de ensayos.
- Promover el empleo de los avances conseguidos mediante el trato con las partes interesadas en la industria. Aunque en el proyecto se contó con la colaboración activa de tres propietarios de bancos de ensayo, era importante recibir las impresiones de otros miembros del sector y hacerles llegar los nuevos avances conseguidos en el proyecto.

Cada uno de estos objetivos se encontraban recogidos en alguno de los paquetes de trabajo incluidos en el proyecto. Cada paquete de trabajo era supervisado, coordinado y dirigido por alguno de los miembros del consorcio.

La coordinación general del proyecto corrió a cargo del PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt) en Instituto Nacional de Metrología. Además, en el proyecto participaron otros tres Institutos Nacionales de Metrología y tres Institutos de Investigación, operadores de bancos de ensayo (Tabla 2).

Tabla 2. Participantes del proyecto EMPIR 14IND14

Siglas	Nombre completo	País	Tipo de Entidad
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt	Alemania	Instituto Nacional de Metrología
CEM	Centro Español de Metrología	España	Instituto Nacional de Metrología
CMI	Cesky Metrologicky Institut Brno	República Checa	Instituto Nacional de Metrología
VTT	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy	Finlandia	Instituto Nacional de Metrología
CENER	Fundacion Cener-Ciemat	España	Instituto de Investigación (Banco de ensayos)
FhG	Fraunhofer-Gesellschaft zur Foerderung der angewandten Forschung e.V.	Alemania	Instituto de Investigación (Banco de ensayos)
RWTH	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen	Alemania	Instituto de Investigación (Banco de ensayos) - Universidad

4. Tareas del CEM en la gestión del proyecto: Desarrollando un nuevo patrón de par

El CEM colaboró a lo largo del proyecto en la mayor parte de las actividades realizadas. Sin embargo, el grueso de su trabajo fue la gestión de uno de los paquetes de trabajo en los que se estructuraba el proyecto. En total había 5 paquetes de trabajo de carácter técnico y dos pequeños paquetes destinados a la coordinación general y la gestión de resultados y su difusión.

El CEM pilotó el paquete 4, destinado a la concepción, diseño, desarrollo y caracterización del nuevo sistema para la medición del par. En este paquete participaron la mayoría de los miembros del consorcio. Cuatro de estos miembros desarrollaron cuatro diseños diferentes que daban respuesta a los requisitos perseguidos. Sin embargo, las bases del diseño, las condiciones de contorno, de operación y la evaluación de cada propuesta debían ser las mismas.

Los participantes en el paquete de trabajo tenían distintos roles. Cuatro miembros, de los cuales tres eran Institutos Nacionales de Metrología (PTB, CEM, VTT) y uno operador de banco de ensayos (RWTH) fueron los elegidos para desarrollar las propuestas de diseño para el nuevo sistema.

Los miembros restantes eran operadores de bancos de ensayo (CENER, FhG y RWTH), que, si bien no participaban activamente en las actividades relacionadas con el diseño, eran los encargados de aportar toda su experiencia y conocimiento sobre nacelles y bancos de ensayo. De esta manera no solo ayudaban a sentar las bases, condiciones y parámetros en los que debía basarse el diseño a elaborar, sino que además su colaboración hacía posible asegurar la idoneidad de los diseños para el objetivo final.

El CEM, además de desarrollar su propio diseño, era el líder del paquete de trabajo, estando a cargo de supervisar la evolución de los demás aspirantes, así como de coordinar las distintas necesidades y opiniones de los demás miembros, con el fin de redactar unas condiciones de diseño y evaluación comunes.

4.1 Sistema de fuerza palanca. El nuevo patrón de par.

El objetivo inicial era llegar a desarrollar un nuevo sistema de medición del par, que efectuara las medidas de manera directa, pero asegurando la trazabilidad de las mismas. Dadas las limitaciones de los transductores de par tradicionales disponibles en la industria, se apostó por desarrollar un patrón de transferencia cuyo principio de funcionamiento estuviera basado en dos medidas diferentes: La fuerza y el longitud.

La definición del par según el Sistema Internacional puede expresarse como el momento generado por una fuerza de 1N en el extremo de un cuerpo longitudinal de longitud 1m. A partir de esta definición, se decidió crear un sistema que empleara la combinación de la fuerza y la longitud para la determinación del par generado.

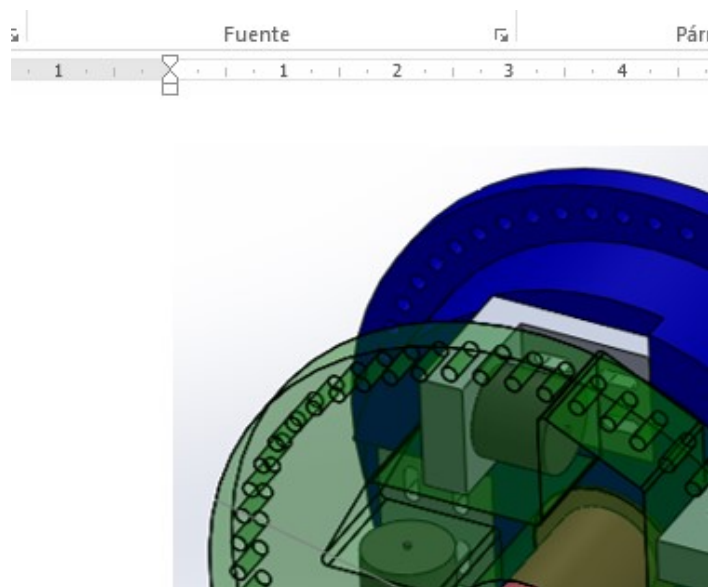
Dicho sistema debía además adaptarse a las condiciones de operación de los bancos de ensayo, más complejas que las de las calibraciones de par estándar. Por ejemplo, la temperatura en una calibración de fuerza o par está siempre controlada y mantenida, generalmente, a 20 °C, mientras que en los bancos de ensayos la temperatura no está tan controlada y varía mucho en función de la estación.

Otra característica es que los bancos de ensayo operan de manera dinámica; el banco cuenta con un motor principal que genera una rotación, transmitida al resto del banco y a la nacelle a estudiar para simular las condiciones de campo y el movimiento de las aspas del aerogenerador. Por ello se llegó a la conclusión de que el sistema a desarrollar debía

diseñarse en el interior de dos externos bridados, para su montaje en el banco de ensayos. De esta manera, se aseguraba la posibilidad de que el sistema desarrollado pudiera girar de manera solidaria al resto de elementos, pudiendo ser empleado durante la operación.

A modo de ejemplo se muestra en la Figura 3 una versión simplificada del desarrollo del CEM (Lorente-Pedreille, Medina-Martín, Sáenz-Nuño, & Sebastián, 2017).

Figura 3. Diseño del sistema de fuerza palanca desarrollado en el CEM



Como se aprecia en la figura 3, el sistema cuenta con dos extremos bridados. En la brida de entrada se diseñaron alojamientos para los transductores, previamente calibrados, que efectuaran medidas de fuerza. Durante la operación, al comenzar el movimiento de rotación del banco de ensayos, dichos transductores entran en contacto con la brida de salida, a través de una geometría especialmente diseñada, que se denomina “brazo”. La longitud de los cuatro extremos del “brazo” se calibra previamente, asegurando la trazabilidad a los patrones primarios de longitud.

Gracias a la combinación de la longitud calibrada de los brazos y la medida de la fuerza del contacto durante la operación, efectuada por los transductores, se puede obtener la medida del par.

4.2 Tareas del paquete de trabajo

Para conseguir alcanzar los objetivos del paquete de trabajo, se subdividieron las actividades a realizar en un total de cinco grupos o “tareas”. Dichas tareas son las siguientes

1. Estado del arte: Dado lo novedoso de los sistemas de fuerza palanca, se comenzó buscando información de los mismos y otros ejemplos de uso de los mismos en otros sectores o aplicaciones industriales.
2. Propuestas de diseño preliminares: El objetivo era que cada miembro propusiera un par de ideas de diseños. De entre las mismas, todos los participantes estudiarían las distintas ventajas y desventajas de cada propuesta. Finalmente eligiéndose y desarrollándose en detalle las cuatro más idóneas.
3. Elección de los transductores comerciales. Según los diseños desarrollados y sus características, se debían elegir las opciones comerciales más adecuados en cada caso. Sin embargo, las características metrológicas deseadas debían ser las mismas, para asegurar la calidad de las medidas

4. Diseño detallado del brazo palanca. El otro elemento directamente involucrado en obtención de la medida del par es el la longitud del brazo, por lo que era necesario refinar el diseño y estudiar su comportamiento. Las condiciones para el análisis de este elemento fueron debatidas por todos los miembros y las decisiones supervisadas por el CEM
5. Diseño del sistema completo. Esta tarea es la cúspide del paquete de trabajo. En ella, se refina el diseño originalmente planteado, se añaden los elementos refinados en tareas anteriores y se adapta y mejora el conjunto final de las 4 propuestas. Además, se lleva a cabo un exhaustivo estudio de simulación por elementos finitos para cada una de las propuestas. De este estudio y las variaciones observadas en la medición se creó una estimación de la incertidumbre asociada que se preveía que tuviera cada diseño durante la operación.

5. Metodología para la gestión del proyecto.

La coordinación de este paquete supone coordinar y supervisar el proceso por el cual se desarrollan hasta cuatro diseños diferentes, pero que mantienen un denominador común con una serie de condiciones, parámetros o medidas de evaluación del desempeño a alcanzar por consenso, y que hacen tremendamente complicada la tarea de equiparar los diseños o las actividades realizada.

Además, la variedad geográfica de los distintos colaboradores supone un hándicap a la hora de poner en común los acuerdos alcanzados o los debates sobre las etapas siguientes en el proyecto. Para asegurar la transparencia del proceso, así como favorecer la ayuda y el flujo de información entre los miembros diseñadores y los miembros concedores de los bancos de ensayo, el CEM siguió una metodología que incluía el empleo de encuestas, comunicaciones, teleconferencias y trabajo individual de todos los miembros.

5.1 Herramientas

El CEM en sus labores de gestión se apoyó en herramientas de ofimática y comunicación que permitían la intercambiabilidad de archivos, aportaciones, datos, información práctica con gran agilidad y transparencia.

Algunas de las herramientas empleadas fueron

- **Encuestas:** En distintos puntos del proceso se hizo necesario alcanzar un acuerdo para poder equiparar la calidad de los distintos diseños que se estaban desarrollando. A la hora de definir las condiciones que debían regir los diseños, los parámetros de entrada para las simulaciones de elementos finitos o como calcular la incertidumbre asociada a partir de las simulaciones efectuadas, era necesario recibir la opinión de los distintos expertos. Para ello, el CEM se encargó de la creación de formularios, encuestas y cuestionarios a ser completados por los distintos miembros.
- **Informes, modelos y plantillas.** A partir de la información recogida, el CEM elaboraba informes que recogían toda los aspectos destacados por sus colaboradores y elaboraba propuestas de acción. Por ejemplo, en el caso de la estimación de incertidumbres basado en los resultados de simulación, el CEM recogió la opinión de los distintos colaboradores en cuestionarios y reuniones, y elaboro una hoja de cálculo común que sirvió a todos los colaboradores como plantilla para el cálculo de la incertidumbre asociada a cada uno de los sistemas desarrollados.

- **Reuniones telemáticas:** Se disponía del programa Adobe Connect (Figura 4) para la realización de reuniones a distancia. La gran ventaja de este programa era la posibilidad de compartir archivos durante la reunión, de tal manera que cualquier colaborador podía compartir una presentación o un documento y comentarlo al mismo tiempo.

Figura 4. Programa empleado para las comunicaciones



De especial relevancia era la posibilidad de compartir la pantalla del ordenador dentro de la propia aplicación. Cada miembro cuenta con unos recursos ofimáticos diferentes, por lo que los distintos sistemas propuestos se diseñaron y analizaron en softwares diferentes. A la hora de comentar un problema o resultado concreto, al no compartir un mismo software, no es posible trabajar con un archivo de otro software específico. Por esta razón, esta herramienta permitía mostrar los diseños en su software de origen y mejorar la calidad de las explicaciones al resto de miembros

- **Reuniones oficiales:** En el proyecto global había una serie de reuniones de seguimiento, generalmente anuales. Aprovechando la ocasión se hacían pequeñas sesiones presenciales similares a las efectuadas telemáticamente.

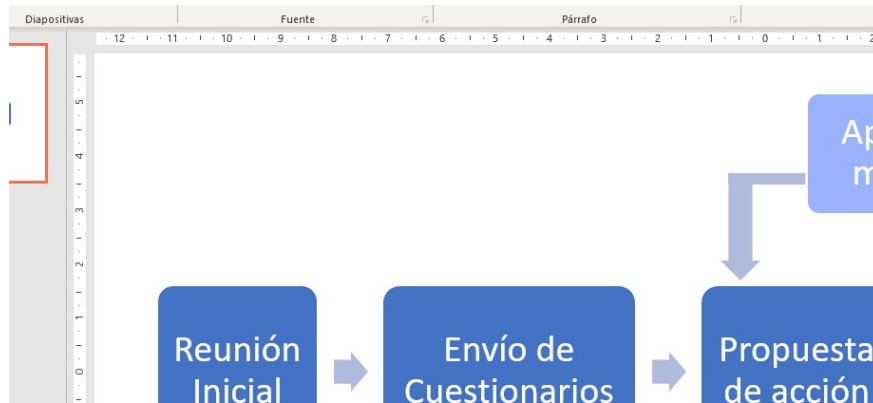
5.2 Método

Empleando las herramientas anteriormente descritas fue posible salvar los dos principales problemas de la gestión de esta investigación internacional: aglutinar las opiniones de los distintos expertos e incorporarlas a las decisiones de gestión y posibilitar la intercambiabilidad de los resultados del proyecto.

Para poder desarrollar cuatro diseños diferentes, no solo viables mecánicamente, sino también innovadores desde el punto de vista metrológico, era necesario contar con la aportación de todos los miembros implicados. La experiencia de los operadores de los bancos de ensayo era necesaria para definir las condiciones de diseño y evaluar la viabilidad de las opciones propuestas. Desde el punto de vista de la metrología, la opinión de los laboratorios de los distintos institutos nacionales era primordial para la estimación de la incertidumbre y su minimización a través de mejoras en el diseño.

Para asegurar el flujo de información, tanto recibida como difundida el CEM empleó una estructura secuencia similar a la mostrada en la figura 5.

Figura 5. Esquema de la metodología seguida



Tras una reunión inicial, se elaboraban las encuestas, cuestionarios o sondeos necesarios para recoger la opinión o resultados de todos los miembros.

Las opiniones expresadas se recogían en un informe que, junto con una propuesta de acción se enviaba para la revisión de los distintos miembros. En caso de haber alguna sugerencia o comentario, se modificaba y se volvía a distribuir. Cuando la propuesta era acogida positivamente, se ejecutaban las acciones propuestas. Tras el período de tiempo acordado, se volvía a exponer los nuevos resultados en una reunión y se reiniciaba el proceso, comenzando a recoger las propuestas de la nueva tarea a acometer.

6. Conclusiones

Al término del proyecto se consiguieron todos los objetivos propuestos en tiempo y forma. Se consiguieron desarrollar cuatro propuestas de diseño de un sistema de medición del par basado en la medida de la fuerza y la longitud viables técnicamente.

Gracias a la metodología empleada, todos los miembros del grupo colaboraron activamente en todas las etapas del diseño y su evaluación. Gracias ello, no solo se validaron técnicamente los diseños propuestos, sino que también fue posible evaluarlos de manera equiparable gracias a que todos ellos contaban con unas condiciones de diseño y estudio comunes.

Los cuatro diseños obtenidos demostraron tener una gran solidez técnica. Pero su relevancia radicaba en sus incertidumbres estimadas. Todos ellos fueron evaluados con un mismo sistema de estimación de la incertidumbre, obteniendo valores de incertidumbre relativa inferiores al 1%, muy por debajo de la mayoría de los métodos que se emplean actualmente en los bancos de ensayo de nacelles.

Todos los resultados de esta investigación, así como del proyecto global se encuentran en el informe disponible en la web de Euramet (EURAMET, 2018).

6. Referencias

- Beaho, G. (2015). Measurement and traceability of torque on large mechanical drives. *Sensor+Test*. <https://doi.org/10.5162/sensor2015/A1.3>
- EURAMET. (2018). *EMPIR 14IND14 Final publishable report. Torque in the MN·m range*. Retrieved from https://www.euramet.org/research-innovation/search-research-projects/details/?eurametCtcp_project_show%5Bproject%5D=1326
- Foyer, G., & Kock, S. (2017). Measurement uncertainty evaluation of torque measurements in nacelle test benches. *IMEKO*.
- Linul, E., & Marsavina, L. (2013). Mechanical Characterization of Rigid PUR Foams Used for Wind Turbine Blades Construction. In *Recent Advances in Composite Materials for Wind Turbines Blades*.
- Lorente-Pedreille, R. M., Medina-Martín, M. N., Sáenz-Nuño, M. A., & Sebastián, M. Á. (2017). Torque traceability for nacelle's test benches: a design proposal. *IMEKO*.
- Lorente-Pedreille, R. M., Medina-Martín, M. N., Sáenz-Nuño, M. A., & Sebastián, M. Á. (2018). La trazabilidad de la medición del par en la generación de energía eólica. *XXII Congreso Internacional de Dirección e Ingeniería de Proyectos*.
- Peschel, D., Mauersberger, D., Schwind, D., & Kolwinski, U. (2005). The new 1.1 MN·m torque standard machine of the PTB Braunschweig/Germany. *IMEKO*.
- Robles Carbonell, J. A., Robles Verdecia, J. L., & Lobo, A. (2006). Torque standard machines at CEM. *IMEKO WORLD CONGRESS, XVIII*.