

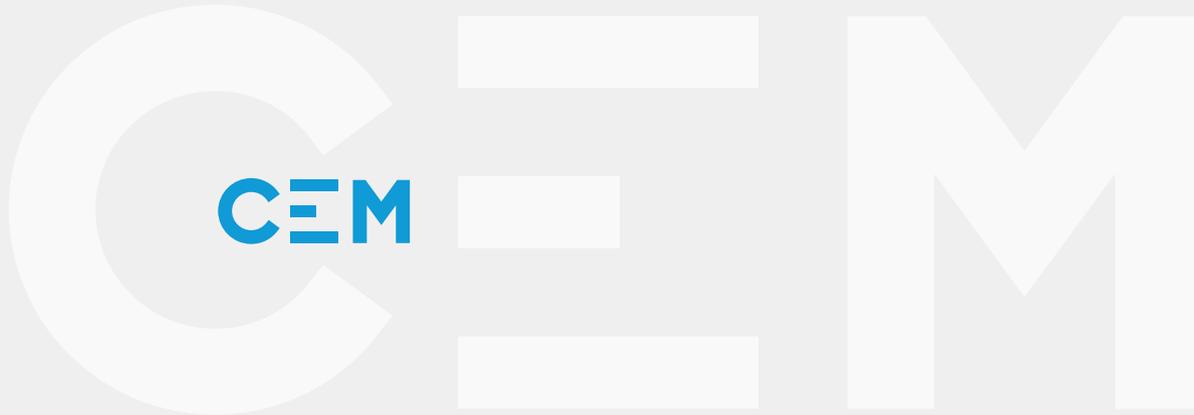
I+D+i en el
Centro Español de Metrología



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE ECONOMÍA, INDUSTRIA
Y COMPETITIVIDAD

CEM CENTRO ESPAÑOL
DE METROLOGÍA



La Investigación en metrología:
en la base del progreso de la ciencia
y la tecnología

El Centro Español de Metrología tiene, entre sus misiones, impulsar el Sistema Metrológico Nacional y velar por la excelencia de los patrones nacionales y materiales de referencia y su adecuación al estado de la ciencia y la tecnología.

Es, en este marco de patrones nacionales y de tecnologías de medida aplicadas a la industria, donde el CEM desarrolla sus tareas de investigación, desarrollo e innovación. Históricamente, la I+D+i en el CEM se ha desarrollado en el ámbito de la colaboración europea en Metrología (ahora EURAMET) en los programas iMERA, iMERA-Plus, EMRP y EMPIR, donde se aúnan capacidades e iniciativas de todos los países europeos.

Los principales temas de investigación abordados en la actualidad son, por un lado, los relacionados con el nuevo SI (nuevas definiciones de las unidades basadas en constantes de la naturaleza, p. e. unidades de masa y de temperatura), y, por otro, la aplicación de técnicas de medida más exactas y trazables en procesos industriales de última generación.

Ahora, además, se nos presenta un reto apasionante con la segunda revolución cuántica, en la que las propiedades cuánticas de los átomos (el entrelazamiento y la superposición de estados) traerán importantes avances en ciencia, tecnología, industria y sociedad. Nuevos sensores y patrones basados en estas propiedades esperan ser la base de la metrología futura y es hacia donde la I+D europea en metrología dirige su atención.

Pero ningún proyecto puede ser realizado con éxito desde el aislamiento. El trabajo conjunto de equipos multidisciplinares de universidades, empresas y centros de I+D es la base del progreso científico, por ello estamos abiertos a nuevas ideas, retos y nuevos compañeros de viaje.

***José Manuel Bernabé Sánchez**
Director del Centro Español de Metrología*



El CEM es el encargado de realizar y mantener los patrones nacionales de longitud (metro) y ángulo plano (radián), del Sistema Internacional de Unidades, así como de diseminarlos, mediante calibración de patrones, instrumentos, equipos y sistemas de medida de niveles metrológicos inferiores, dotando a éstos de la trazabilidad necesaria al SI.

Las principales líneas de investigación en esta área son:

➤ **Metrología científica fundamental:**

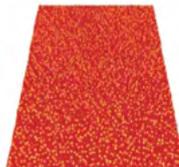
Metrología dimensional avanzada para su empleo en experimentos relativos a la determinación exacta de las constantes fundamentales y metrología de ángulos para lograr incertidumbres nanométricas, así como métodos de caracterización de la estabilidad térmica de materiales de alta tecnología.

➤ **Apoyo al control dimensional de grandes instrumentos, instalaciones y estructuras científicas.** Mejora de la precisión, velocidad, comportamiento dinámico y trazabilidad in-situ de sistemas de metrología 1D a 3D para rangos de 10 m a 1000 m.

➤ **Metrología precisa de largo alcance, desde el rango kilométrico a la verificación trazable de sistemas GNSS.**

Determinación exacta del factor de escala en marcos de referencia GNSS y medición óptica absoluta de distancias, compensadas respecto al índice de refracción del aire, para la medición de líneas base utilizadas en la calibración de GPS y para el desarrollo de sistemas de control de estaciones geodésicas.

Nanotecnología

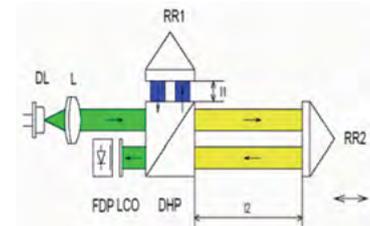


Mejora de los procesos de medición y las interacciones sonda-muestra, efectos (cuánticos) en sistemas mesoscópicos y caracterización metrológica de nuevos materiales artificiales (metamateriales), dispositivos y nanoestructuras.

Desarrollo de nuevas tecnologías de medición para el rango de 1 nm a 100 nm, así como microscopía cuantitativa de alta resolución.

Proyecto TRATELO (Plan Nacional de I+D 2013)

Este proyecto, en el que también participa el área de electricidad y energía, establece una ruta de trazabilidad entre los patrones de longitud y de tensión eléctrica, mediante una nueva técnica basada en la estabilización espectral intrínseca de un diodo láser y la relación existente entre la tensión de alimentación del diodo y la longitud de onda emitida por éste.



Proyecto EMRP SIB58 "Angles"

El objetivo de este proyecto es la caracterización metrológica de autocolimadores y la mejora de prestaciones en aplicaciones generales, así como el desarrollo de nuevos generadores de pequeños ángulos y dispositivos híbridos, para generar y medir pequeños ángulos con incertidumbres de nrad.



▣ Magnitudes mecánicas y realización del kilogramo

En el campo de las magnitudes mecánicas y de la nueva realización de la unidad de masa se realizan las siguientes actividades de investigación y desarrollo:

- Utilización de esferas de Si como nuevo patrón de masa.
- En la magnitud de fuerza, desarrollo de nuevos equipos para trazabilidad de microfuerzas (0,1 N - 100 N) y grandes fuerzas (10 MN).
- En la magnitud de par de torsión, diseño y fabricación de sistemas de máxima exactitud basados en máquinas de carga directa y sistemas "force level", para apoyo de la trazabilidad en la industria eólica.



Estudios para la mejora de la realización del kilogramo

- Utilización de esferas de Si como patrones de masa.
- Desarrollo de un procedimiento óptimo de limpieza.
- Estudio de la estabilidad de pesas marcadas con láser y la influencia de la magnetización de las pesas en la determinación del valor de la masa.



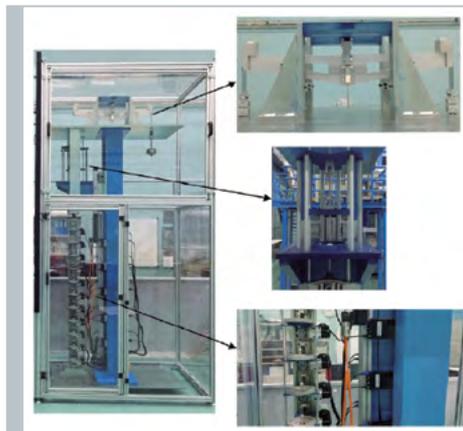
Máquina de 10 MN

Esta máquina genera la fuerza de modo hidráulico y su referencia es un conjunto de transductores (sistema "build up") trazados a la máquina de carga directa de 500 kN. Puede generar fuerzas tanto en compresión como en tracción. El alcance de esta máquina será el mayor de España y uno de los mayores de Europa.



Máquina de par de torsión de 10 kN·m

Es una máquina de carga directa cuyo alcance y características constructivas la hace única en España y una de las pocas existentes a nivel mundial en su clase. El desarrollo del proyecto requiere un diseño tecnológico puntero y la utilización de materiales especiales tales como invar o tipos especiales de acero y aluminio.



Máquina de microfuerzas

Es una máquina de carga directa que proporcionará trazabilidad en el rango de 100 N a 0,1 N. Para poder generar fuerzas en un rango tan amplio dispone de varios conjuntos de masas, cada una de las cuales se puede cargar de forma independiente.

Medidas eléctricas: hacia la metrología digital y los nuevos patrones cuánticos

El CEM es responsable de la realización práctica de las magnitudes eléctricas y de su diseminación. Participa en proyectos de investigación, tanto nacionales como europeos, con un alto impacto en la investigación, la industria y la sociedad.

Las principales líneas de investigación en electricidad y energía tienen como objetivo la transformación de la metrología convencional (analógica) a digital y la progresiva aplicación de los patrones cuánticos a nuevos campos. En relación con estas líneas de investigación el CEM participa en los siguientes proyectos:

AIM QuTE

EMRP AIM-QuTE: "Automated impedance metrology extending the quantum toolbox for electricity"

En este proyecto se han desarrollado nuevos tipos de puentes basados en técnicas digitales o en el patrón de tensión Josephson, para extender las medidas de impedancia a valores arbitrarios de relación y de fase.



QuADC

EMPIR QuADC: "Waveform metrology based on spectrally pure Josephson voltages"

Objetivo: desarrollo de aplicaciones de dispositivos cuánticos de tensión en corriente alterna al más alto nivel de exactitud.



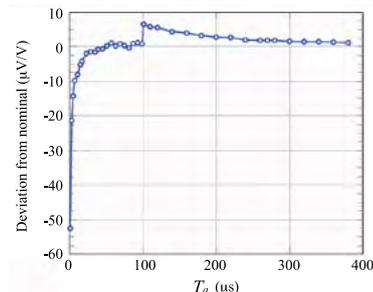
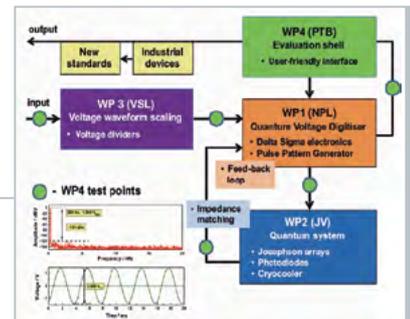
EMPIR ACQ-PRO: "Towards the propagation of AC Quantum Voltage Standards" (proyecto coordinado por el CEM)

Objetivo: facilitar el acceso a los patrones cuánticos de tensión en corriente alterna a la mayoría de los institutos nacionales de metrología europeos.

Q-WAVE

EMRP Q-WAVE: "A quantum standard for sampled electrical measurements"

En este proyecto fundamentalmente se han desarrollado patrones cuánticos basados en el efecto Josephson para dar trazabilidad a los sistemas de medida por muestreo digital.



La medida de temperatura y el nuevo kelvin

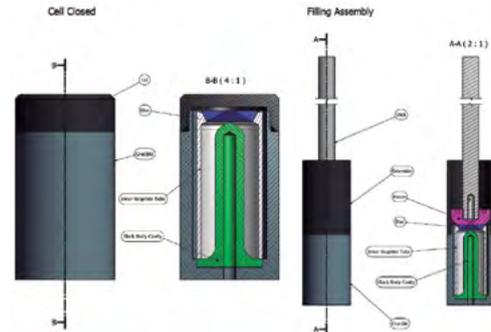
El CEM es responsable de la diseminación de la unidad de temperatura, el kelvin. Las principales actividades de investigación tienen relación con nuevos experimentos de materialización de la unidad y con el desarrollo de nuevas técnicas de medida de temperatura trazables en la industria y para aplicaciones en meteorología:



- Medida de **temperatura absoluta de radiación** entre 400 °C y 2500 °C con incertidumbres de 0,1 °C a 1 °C
- Diseño y construcción de **puntos fijos de metales y de mezclas eutécticas metal-carbono**
- Desarrollo y caracterización de **sensores de temperatura para su uso en ambientes hostiles**, en especial nuevos tipos de termopares hasta 1600 °C.

Diseño y construcción de puntos fijos

El CEM ha comenzado a diseñar y fabricar sus propios puntos fijos de la escala internacional de temperatura de 1990 (EIT-90) y de puntos fijos de mezclas eutécticas de metal-carbono para más de 1100 °C.



Proyectos EMPIR InK e InK2

Se ha puesto a punto un laboratorio que permite la calibración en respuesta espectral absoluta de termómetros de radiación/radiómetros en longitudes de onda visibles e infrarrojas cercanas. En InK se ha participado junto a otros Institutos Nacionales de Metrología en la asignación de los valores de temperatura termodinámica de los puntos fijos del Cu, Co-C, Pt-C y Re-C (1100 °C – 2500 °C).



Desarrollo de nuevos tipos de termopares hasta 1600 °C

Los ambientes hostiles y las condiciones de operación, sobre todo a temperaturas > 1000 °C, limitan el uso de los termómetros de resistencia de platino como instrumento preciso de medida de temperatura. Son los termopares los sensores más adecuados en estos entornos, sin embargo actualmente sus estabilidades y precisiones no son óptimas para algunos procesos. Por esta razón es necesario el desarrollo de nuevos sensores de termopares robustos que alcancen precisiones y fiabilidad cada vez mejores. El CEM ha desarrollado nuevos termopares de metales nobles que pueden ser calibrados en puntos fijos con exactitudes y estabilidades hasta 10 veces mejores que los tipos B, S y R.



Medioambiente y energía

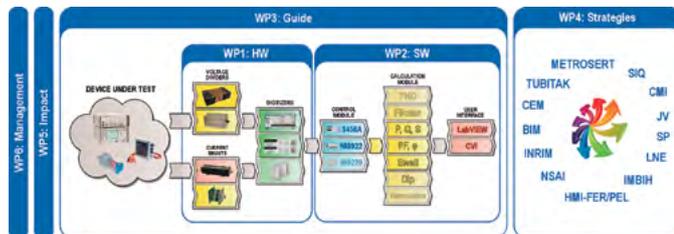
La calidad del medioambiente es la clave de la salud y el bienestar. Cada vez es más importante en las políticas europeas e internacionales el uso racional de los recursos naturales y la minimización del impacto en el medio ambiente de la producción y el consumo. En este marco, es esencial la medida del cambio climático y la realización de medidas trazables de las variables climáticas esenciales para la modelización fiable del cambio climático que monitorizan la atmósfera, el océano y la tierra, además de la radiación solar y terrestre.

Por otro lado, en relación con el uso racional de los recursos naturales, hay una tendencia global para el desarrollo de energías sostenibles. Los principales desafíos son: la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles y la optimización de fuentes de energía renovables.



Proyecto EMPIR TracePQM: "Traceability routes for electrical power quality measurements"

El objetivo principal de este proyecto es el desarrollo y la validación de un sistema primario modular para la medida de potencia y parámetros de calidad de red mediante muestreo digital.



Proyectos EMRP Meteomet y Meteomet2

Objetivo: buscar la trazabilidad metrológica de las variables climáticas esenciales (ECVs). El CEM ha participado en la evaluación de factores de influencia y trazabilidad de estaciones meteorológicas automáticas (AWSs) y en el desarrollo de procedimientos de calibración de sensores de fibra óptica para la determinación de la temperatura del agua del mar.



Proyecto EMPIR IMPRESS

Objetivo: desarrollo de la infraestructura metrológica necesaria para la aplicación de las directivas de la UE que limitan las emisiones de gases contaminantes claves. El CEM colabora con la Universidad Carlos III de Madrid desarrollando patrones de mezclas de gas para proporcionar trazabilidad a técnicas hiperspectrales de medida de emisiones.

Proyecto EMPIR Biogas

El objetivo del proyecto BIOGAS es establecer procedimientos de medida validados para la determinación de impurezas clave, humedad, partículas, y propiedades termofísicas del biogás. El CEM, en colaboración con la Universidad de Valladolid, participa en las actividades relacionadas con la determinación de la capacidad calorífica y de la densidad del biogás.

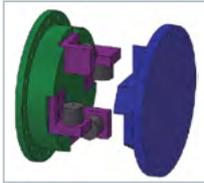


▣ Trazabilidad en la industria

La metrología es una herramienta esencial en la innovación en tecnología. Es la base de la competitividad industrial y soporta el desarrollo de nuevos productos y procesos. Aún más, el comercio internacional depende de medidas y normas aceptadas internacionalmente. El CEM participa en diversos proyectos de mejora de la trazabilidad de las medidas en procesos industriales.

Proyecto EMPIR “MN·m TORQUE”

Objetivo: proporcionar trazabilidad en par de torsión a los bancos de ensayos de góndolas de generadores eólicos, parte fundamental de los mismos. En este proyecto también participa la fundación CENER-CIEMAT, que tiene una de las mejores instalaciones del mundo para la realización de ensayos a los generadores eólicos.



Proyecto EMPIR EMPRESS



El CEM participa con la Universidad Carlos III de Madrid en el desarrollo de técnicas de medida trazables de la temperatura de una llama patrón ($> 2000\text{ °C}$) para su uso en la calibración de los sistemas de medida utilizados en la fabricación de motores de combustión. El sistema desarrollado está basado en la espectroscopia de imagen por transformada de Fourier en el infrarrojo.

Proyecto EMPIR “PRES2VAC”

Objetivo: mejora de patrones y procedimientos de medida en el rango de 10^{-5} Pa a 10^4 Pa para presiones relativas y de 1 Pa a 10^4 Pa para presiones absolutas, así como facilitar la transferencia de dichas mejoras a la industria. El CEM participa en varias tareas relativas al desarrollo de medidores tipo FPG, columnas de mercurio y técnicas de calibración.



Proyecto EMPIR GRACE: “Developing Electrical Characterisation Methods for Future Graphene Electronics”



El objetivo de este proyecto es el desarrollo de procedimientos para la caracterización de las propiedades eléctricas del grafeno. Estos procedimientos serán de aplicación en la elaboración de nuevas normas por los comités técnicos de normalización.

Proyecto EMRP IND62 “Traceable in-process dimensional measurement”

- Establecimiento de bases científicas y técnicas para el desarrollo de normas y procedimientos para evaluar y garantizar la trazabilidad de las mediciones “in-process”.
- Desarrollo de métodos para la implantación de mediciones dimensionales de alta exactitud en máquinas herramienta, mediante desarrollo de patrones materializados robustos y de alta precisión.
- Generación de procedimientos y guías de buenas prácticas para garantizar la medición fiable con máquinas herramienta, con exactitudes de medida de algunos micrómetros por metro cúbico.
- Impacto tecnológico y económico en las industrias de fabricación y de la máquina herramienta.



Los principales temas de desarrollo e investigación en metrología química son:

- Producción y certificación de materiales de referencia de soluciones de etanol y agua para la certificación de disoluciones hidroalcohólicas utilizadas en los ensayos de etilómetros.
- Producción y certificación de patrones de sacarosa en el laboratorio de refractometría.
- Nueva infraestructura metrológica para asegurar la calidad del biogás: preparación de mezclas de N_2 y CH_4 con vapor de agua mediante el sistema de inyección líquida (Proyecto europeo "Biogás").
- Preparación de materiales de referencia y desarrollo de técnicas analíticas para el estudio de las impurezas de H_2 (Proyecto europeo "Hydrogen").

Desarrollo de patrones de sacarosa

Se están desarrollando nuevos métodos y procedimientos para la preparación de disoluciones patrón de sacarosa, con el objetivo de su certificación y comercialización como Material de Referencia Certificado (MRC).



Proyecto EMPIR Hydrogen

El hidrógeno utilizado en pilas de combustible para automóviles debe cumplir unas altas condiciones de pureza. Este proyecto europeo desarrolla especificaciones mejoradas para los requisitos de pureza y técnicas analíticas novedosas para el hidrógeno con el objetivo de revisar la normativa actual.



Certificación de soluciones de etanol en agua

La certificación y comercialización de disoluciones hidroalcohólicas contribuirá de forma significativa a la trazabilidad y confianza en las mediciones realizadas con etilómetros. Para la realización de este proyecto, el CEM ha adquirido un titulador Kart Fischer para la valoración coulombimétrica y un cromatógrafo de gases.

▣ Magnitudes dinámicas y de conteo

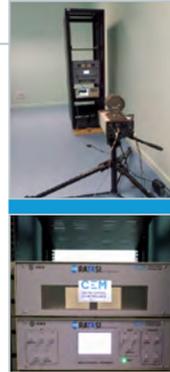


El CEM se encarga, entre otros, de los servicios de control metrológico en el campo de la seguridad vial, de control de aforos y contadores de máquinas de azar. De igual modo participa en proyectos de desarrollo y comparación de medidores de vibraciones. Los principales desarrollos en estos campos son:

Simulador de objetivos

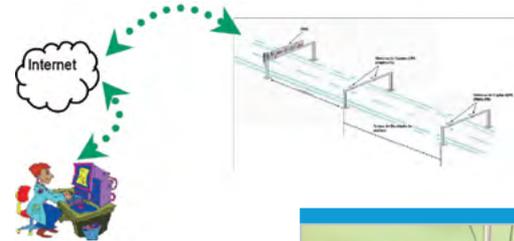
El estado de la técnica ha propiciado la aparición de radares de última generación que utilizan señales de onda continua con frecuencia modulada o multifrecuencia, capaces de identificar varios objetivos simultáneamente detectando su velocidad y posición. Para responder a este reto se ha desarrollado un nuevo simulador de objetivos como nuevo método de ensayo en los procesos de simulación en laboratorio.

El simulador de objetivos RATASI desarrollado en colaboración con la empresa Indra por los cinemómetros radar en las bandas de frecuencia de operación de 24 GHz y 34 GHz. Con ello se dispone de un entorno de ensayo en laboratorio controlado que permite la verificación y validación de las mediciones de velocidad y distancia obtenidas de los cinemómetros.



Verificaciones por internet

Nuevo proyecto para la evaluación y verificación de radares "in-situ" por internet, mediante direccionamientos IP.



Otras actividades

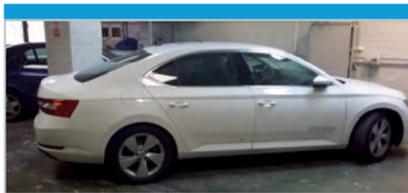
Calibración de acelerómetros y medidores de vibración por interferometría láser y comparación.



Evaluación de la conformidad de contadores de aforos, de máquinas de azar y taxímetros.

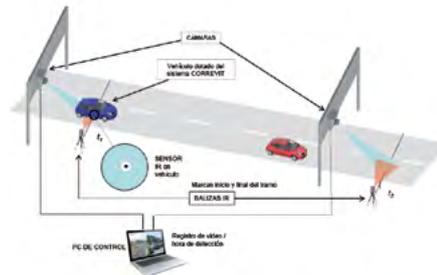


Certificación de nuevas cámaras de vigilancia en la seguridad vial: semáforo en rojo, cinturón de seguridad, stop, etc.



Sistema óptico en vehículo

Vehículo dotado de un sistema optoelectrónico para medidas de velocidad.



Este desarrollo tiene como objetivo la **integración de un nuevo sistema óptico** de medida de velocidad y distancia, **en vehículo**, para la evaluación de cinemómetros de tramo y en aeronave, y calibración de sistemas de verificación de taxímetros.



CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA

C/ Del Alfár, 2 • 28760 Tres Cantos • Madrid (España)

Teléfono: 91 807 47 00 • Fax: 91 807 48 07

E-mail: cem@cem.es

Web: <http://www.cem.es>