

INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS DEL ESPACIO Y AERONÁUTICA: EL CENTRO DE ENSAYOS TORREGORDA

Blanca Gallar Romero

Jefa Unidad de I+D+I. Área de Ingeniería del Centro de Ensayos Torregorda

RESUMEN

El artículo describe los distintos objetivos y aspectos institucionales y operacionales relativos al Centro de Ensayos Torregorda (CET), una instalación dependiente del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), destacando su historia, funciones y recientes desarrollos. Traza los orígenes del CET desde el siglo XIX, con antecedentes militares y estratégicos, y señala sus principales actividades: ensayos y experimentación balística con armamento de medio y gran calibre, homologación y certificación de productos de defensa, y vigilancia técnica. El texto resalta asimismo la importancia del CET en la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación colaborando con universidades y el sector industrial. Incluye su compromiso ambiental, evidenciado por certificaciones ISO y diversas actuaciones de protección, regeneración y gestión sostenible. Explica además la importancia y detalles del laboratorio de calibración recién acreditado, que aporta autonomía, precisión y reconocimiento internacional al Ministerio de Defensa español. El artículo concluye señalando los retos futuros, entre ellos adaptarse a nuevas tecnologías, mantener altos estándares metrológicos y reforzar la cooperación internacional.

1. ORÍGENES E HISTORIA DEL CET

El *Centro de Ensayos de Torregorda (CET)* pertenece al Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial “Esteban Terradas” (INTA), bajo la Subdirección General de Sistemas Terrestres. El INTA es el único Organismo Público de Investigación adscrito a Defensa y uno de los más sobresalientes en el área de ciencias del espacio y en la aeronáutica desde hace más de 75 años. En octubre del año 2015, se produce esa integración, pasando el CET a formar parte del INTA.

La historia del Centro de Ensayos Torregorda comienza mucho antes. Desde el siglo XVI estaban documentadas en la zona las llamadas Torres de Hércules. Pero fue a principios del siglo XIX, cuando tras haber quedado destruidas por el mar en el siglo XVIII, que, con restos recuperados de las torres destruidas, se edifica una nueva forma troncocónica con un gran diámetro, y posteriormente se le añade una batería y un foso perimetral dando lugar al Fuerte de Torregorda.



Figura 1. Ubicación general del Centro de Ensayos Torregorda

Desde entonces se utilizaba la zona como lugar de pruebas de armas, aprovechando su orografía plana y su situación geográfica. Lo que hoy llamamos el CET parte de tres establecimientos: el *Polígono de Experiencias Costilla* (dependiente del Ministerio de la Guerra); el *Polígono de Experiencias González Hontoria* (dependiente del Ministerio de la Marina) y la *Comisión de Experiencias de Armas Navales* (también dependiente del Ministerio de la Marina)ⁱ

2. FUNCIONES Y LABORES ACTUALES

El CET es uno de los pilares técnicos del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), que juega un papel clave en España en lo que se refiere a los ensayos, la homologación, la certificación y la innovación en sistemas de armas, municiones y artificios, especialmente de medio y grueso calibre. Desempeña un papel estratégico tanto para las Fuerzas Armadas como para la industria de Defensa en España. Sus principales cometidos abarcan:

1. Experimentación y ensayos balísticos

- Realiza pruebas con armamento, munición y artificios de calibre igual o superior a los 40 mm, incluyendo artillería terrestre y naval.
- Lleva a cabo todos los tipos de ensayos balísticos: interior, intermedia, exterior, trayectorias de proyectiles, efectos, etc. Esto implica disparos en zonas de tiro con alcance aproximado de 20 km, bajo condiciones rigurosas de instrumentación.

2. Homologación, recepción y vigilancia

- Homologa productos para Defensa (municiones, espoletas, proyectiles, etc.).
- Realiza vigilancia de munición que ha superado su vida útil probable, así como estudios de anomalías o investigación de accidentes en sistemas de armas, municiones y artificios.

3. Apoyo técnico, desarrollo e innovación

- En el ámbito de I+D, colabora con otras entidades, participa en normativas, en software de control de disparos, eficacia balística, etc.
- Tiene un área que diseña los ensayos, instrumentación, medición, topografía, observación, registro con vídeo, radar, control del tiro, etc.

4. Compromiso medioambiental y gestión de calidad

- El CET cuenta con un Sistema Integrado de Gestión: calidad, medio ambiente, etc.

- También se involucra en actividades concretas de limpieza, gestión de residuos, regeneración de agua, protección del entorno (por ejemplo, plantaciones de árboles para absorber ruido).

5. Rol dentro del INTA y atribuciones técnicas

El CET concentra bajo su competencia las actividades de la Subdirección General de Sistemas Terrestres que aplican a *material de calibre superior a 40 mm* para diversas armas de Infantería, Caballería, Artillería terrestre o naval.

Sus funciones institucionales clave son:

- Gestión técnica y administrativa de actividades de I+D, experimentación y certificación de sistemas de armas, municiones y artificios.
- Elaboración, revisión y custodia de documentación técnica (definiciones, evaluaciones, homologaciones, recepciones, vigilancia).
- Realización de estudios instrumentados en balística (interior, intermedia, exterior) para diseño, evaluación, homologación, recepción y vigilancia.
- Apoyo en investigación de accidentes o anomalías, proponiendo mejoras o modificaciones para sistemas de armas, municiones o artificios.

3. ACREDITACIONES ENAC Y CERTIFICACIONES

Las acreditaciones y certificaciones del CET son múltiples y muy exigentes, como corresponde a un centro que opera en un ámbito militar y técnico de alta especialización, que avalan su capacidad técnica, su rigor, su fiabilidad y su compromiso con la calidad y el medio ambiente. El centro tiene 17 ensayos acreditados por ENAC.

- *Norma UNE-EN ISO/IEC 17025*: Es la norma para laboratorios de ensayos y calibraciones. El CET está acreditado por ENAC para realizar ensayos y calibraciones bajo esta norma, en particular para la certificación de munición de medio y grueso calibre, sistemas y componentes de armas, garantizando competencia técnica y fiabilidad de sus resultados.
- *Certificación ISO 9001:2015*: Para su sistema de gestión de calidad. En 2022, se le entregó el certificado AENOR que reconoce que el CET tiene un sistema de gestión de la calidad conforme a ISO 9001:2015 aplicado a actividades tales como “ensayos destructivos y no destructivos con sistemas y componentes de armas y munición de calibre superior a 40 mm; realización de calibraciones en las áreas de tiempo y frecuencia, masa, temperatura y humedad, dimensional, mecánica y presión”.
- *Certificación ISO 14001*: Certificación en materia de gestión ambiental. El CET tiene esta certificación como parte de su Sistema Integrado de Gestión que incorpora no sólo calidad sino también gestión ambiental, eficiencia energética y sostenibilidad.
- *Designación como Centro de Actividad Técnica para homologación*: por resolución 320/38455/2021, de 16 de diciembre, de la Dirección General de Armamento y Material, se renueva la designación del CET como centro de actividad técnica a los efectos de homologación de productos en el ámbito del Ministerio de Defensa.

4. INFRAESTRUCTURA Y CAPACIDADES TÉCNICAS

El CET dispone de una infraestructura técnica de alto nivel que le permite realizar ensayos en diversas disciplinas:

- *Balística interior*: El centro tiene capacidad de realizar mediciones de la presión máxima de los gases de proyección durante el disparo y de elaborar curvas de presión/tiempo; para el primer caso, utiliza manómetros de aplastamiento (*crusher*) y para el segundo caso, captadores o transductores piezoelectrinos. Se pueden determinar defectos en el ánima de los tubos que pueden condicionar su utilización, mediante hipocelómetros o endoscopios, y conocer cómo se produce la transmisión de calor a lo largo del tubo mediante sondas de temperatura y cámaras termográficas.
- *Balística intermedia*: Para estudiar los fenómenos asociados a la salida del proyectil, como pueden ser la separación de partes metálicas, aperturas de aletas, desprendimiento de sabot, velocidad de giro del proyectil (*spin*), etc, se utilizan sistemas de vídeo y cámaras de alta velocidad.

La velocidad en boca del proyectil y las curvas de velocidad/tiempo se determinan con sistemas de radar doppler.

También existen en el CET equipos para la medida de la sobrepresión a la que son sometidos los servidores de los sistemas de armas (onda aérea) y determinar un mapa de ruidos en sus proximidades.

- *Balística exterior*: Los parámetros balísticos de la trayectoria completa del proyectil, como son la aceleración, velocidad, coordenadas del proyectil en toda su trayectoria, ángulos de ataque, alcance, deriva, tiempos de vuelo, etc, son determinados con sistemas de radares doppler de trayectografía.

Estos radares también son utilizados para observar fenómenos durante el vuelo de la munición, como pueden ser la duración de un motor cohete, el tiempo de quemado de un *base bleed* y la duración de una traza. En estos casos se utilizan las cámaras ópticas y térmicas integradas en los radares de trayectografía.ⁱⁱ

- *Ensayos destructivos*: son ensayos que, al igual que en otros campos de la ingeniería, implican someter a una o varias pruebas del material de un arma o proyectil a cargas extremas (como impacto, tensión o fatiga) hasta que se rompan o deformen permanentemente. Este proceso destruye la muestra, pero proporciona datos cruciales sobre su rendimiento bajo condiciones de estrés, ayudando a determinar la resistencia, durabilidad y seguridad de los componentes. Desde el centro de control se dirige, monitoriza y obtienen datos balísticos de los ensayos de fuego.



Figura 2. Obús 155/52 SIAC del Ejército de Tierra

- *Ensayos medioambientales*: El objeto de estas pruebas es comprobar el funcionamiento y la seguridad del material en el almacenamiento, transporte, manejo y utilización. Los diversos ensayos simulan la vida de la munición desde su salida de fábrica hasta el momento del disparo, lo que proporciona una exigente, pero fundamentada base sobre la cual juzgar la seguridad y conveniencia para el servicio de los proyectilesⁱⁱⁱ.

Prueba de caída de 12m: se trata de determinar si el proyectil es seguro después de sufrir la caída, de modo que no se deben producir reacciones energéticas y el proyectil debe ser seguro para su manejo, traslado y eliminación.

Prueba de vibración logística: los especímenes se vibran en cada uno de los ejes perpendiculares y a la temperatura correspondiente según el procedimiento a seguir.

Prueba de vibración táctica: el ensayo se realiza con la carga suelta o amarrada en función del interés del objetivo.

Pruebas de temperatura, humedad y niebla salina: en ellas se somete al espécimen a ciclos en condiciones de temperatura y humedad que simulen situaciones de clima caluroso –seco y –húmedo, clima frío y situaciones intermedias.

Prueba de niebla salina: Determinar el comportamiento de los elementos objeto de ensayo, exponiéndolos a la influencia de diferentes condiciones de agentes atmosféricos que simulan situaciones de niebla o niebla salina.

- *Verificación de seguridad*: Evaluación funcional y estructural de sistemas pirotécnicos y de propulsión.

5. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DEL CET

El *laboratorio de calibración* del CET constituye un elemento esencial dentro del ciclo metrológico de las actividades de ensayo. Está acreditado por la *Entidad Nacional de Acreditación (ENAC)* según la norma *UNE-EN ISO/IEC 17025:2017*, lo que garantiza la competencia técnica y la trazabilidad de sus mediciones a patrones nacionales e internacionales.

Instalaciones, equipamiento y condiciones ambientales

Para operar con alta confiabilidad metrológica, el laboratorio debe cumplir con exigencias físicas:

- Sala controlada en temperatura, humedad, vibraciones y campo electromagnético para asegurar estabilidad de mediciones.
- Aislamiento electromagnético o blindaje adecuado, dado que se trabajará con señales de microondas o radiofrecuencias.
- Bancos de prueba para montaje del radar bajo prueba con geometría controlada (distancia, orientación, reflectores calibrados).
- Equipos de referencia de frecuencia (osciladores, generadores de RF) con trazabilidad primaria.
- Instrumentación auxiliar: analizadores de espectro, frecuencímetros, medidores de potencia RF, sistemas de adquisición de datos, control de alineamiento angular y óptico, calibradores Doppler de referencia.

El laboratorio está organizado en seis áreas principales de calibración:

1. Tiempo y frecuencia
2. Masa
3. Temperatura y humedad
4. Dimensional
5. Mecánica
6. Presión

Cada una de estas áreas cuenta con equipos patrón certificados y procedimientos de calibración documentados, conforme a las guías internacionales de metrología (ISO GUM, ILAC-G24, entre otras).

6. NUEVO LABORATORIO DE CALIBRACIÓN Y AVANCES RECIENTES

Una de las novedades más recientes del CET es su *laboratorio de calibración* con acreditación de ENAC para calibrar radares Doppler, entre otras funciones. Esto supone un paso importante porque aporta trazabilidad metrológica interna en magnitudes relevantes para Defensa, sin tener que depender de servicios externos.

- En mayo de 2024, ENAC concedió al INTA la primera acreditación en España bajo la norma ISO/IEC 17025 para la *calibración de sistemas de radares Doppler de onda continua* en las magnitudes de *velocidad lineal y frecuencia*.



Figura 3. Ensayo balístico con instrumentación Doppler

- Con la nueva línea de tiro planeada también se busca ampliar la capacidad del CET para realizar pruebas con municiones de gran calibre. Esto en parte complementará el laboratorio de calibración, en tanto que los ensayos balísticos y las mediciones precisas dependen cada vez más de instrumentación calibrada rigurosamente.

7. IMPORTANCIA Y REPERCUSIONES DEL LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

El establecimiento de un laboratorio de calibración acreditado en Torregorda tiene varias implicaciones relevantes:

- *Autonomía técnica para Defensa*: Permite al Ministerio de Defensa y al INTA disponer de capacidades metrológicas propias, lo que acelera los procesos de homologación, verificación, evaluación de municiones y armamento, sin tener que recurrir a laboratorios civiles externos u otros países.
- *Mejora en la seguridad y fiabilidad*: Las mediciones en ensayos balísticos, trayectorias de proyectiles, radares, etc., dependen en gran medida de que los instrumentos estén calibrados

con trazabilidad al Sistema Internacional de Unidades. Cualquier desviación puede implicar errores en la evaluación técnica o incluso riesgos en aplicaciones reales.

- *Reducción de costes y tiempos:* Al disponer de calibraciones acreditadas internamente, los plazos, transporte, burocracia, riesgos asociados a externalización disminuyen, lo que se traslada a mayor eficiencia en los proyectos de Defensa y en la industria colaboradora.
- *Mejora del prestigio y del tejido industrial local:* El CET reforzó su perfil técnico con certificaciones ISO, acreditaciones ENAC, lo que se traduce en un plus para las empresas colaboradoras, los fabricantes de componentes de Defensa y los proveedores que requieren cumplir estándares. Además, genera empleo especializado.
- *Contribución a estándares internacionales y compromisos de homologación:* ENAC es miembro fundador dentro del sistema europeo/acuerdos multilaterales. Los certificados que emite son reconocidos internacionalmente, lo que facilita la exportación y la colaboración internacional.

Medio Ambiente

- Gran parte de la superficie del CET se encuentra dentro de los límites del Parque Natural Bahía de Cádiz, el cual posee 10.522,05 ha y fue declarado como tal en 1989. Posteriormente fue incluido en la Lista de Humedales de Importancia Internacional Ramsar y como Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA). En el año 2006 fue incluido en la Lista de Lugares de Importancia Comunitaria (LIC) y en 2012 declarado como Zona Especial de Conservación (ZEC).
- Desde marzo de 2002, el CET posee un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) certificado, según los requisitos de la norma UNE-EN ISO 14001, siendo uno de los primeros centros del Ministerio de Defensa en conseguirlo.
- 2005: Se realizó la limpieza y desmilitarización de la playa de Camposoto perteneciente al CET desde el punto kilométrico 3000 hasta el 9.000 denominado Punta del Boquerón. Posteriormente Defensa cedió este tramo para uso público.
- 2007: Construcción de una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) propia y de un filtro verde para la reutilización completa de las aguas residuales depuradas generadas en el CET. Esta EDAR alimenta un sistema de riego por goteo para la zona de merlones del campo de tiro, denominado filtro verde, siendo el 100% reutilizada y no existiendo vertido a la red pública.
- 2010. Se realizó la regeneración del cordón dunar que había sido destruido en numerosas zonas, debido a los efectos de los temporales marítimos. Dicha regeneración se llevó a cabo mediante el levantamiento de dos empalizadas con tablestaca. Se reconstruyó también los caminos de acceso que fueron destruidos por la misma causa.
- 2011: Se llevó a cabo la limpieza del caño de desagüe en la zona del campo de tiro del CET, aumentándose la sección del mismo, así como habilitación de un paso sobre el caño de acceso a un sendero. Se han evitado las inundaciones producidas periódicamente por las mareas en el campo de tiro del CET.
- 2013: Se han llevado a cabo tratamientos para recuperar la mayoría de las palmeras existentes en el Centro afectadas por una plaga de picudo rojo (*Rhynchophorus ferrugineus*), mediante el tratamiento con nematodos. Esta plaga ha mermado notablemente la población de palmeras en la bahía de Cádiz, en el Centro hasta el momento la merma ha sido menor al 10 % de las mismas.

- Estudio ambiental de la plataforma intermareal del Centro de Ensayos Torregorda. El estudio se centró en la evolución de los patrones de utilización del espacio y ciclo reproductor de especies focales del intermareal rocoso. Este estudio fue realizado en colaboración con la Universidad de Cádiz.^{iv}.
- 2021: personal del CET participó en el desarrollo de actuaciones para preservar las áreas de nidificación del chorlitejo patinegro (*Charadrius alexandrinus*), especie declarada en peligro de extinción en el “Libro Rojo de Aves Amenazadas”.
- Se han sustituido vehículos de combustión interna por vehículos eléctricos.
- 2022: se publica la Resolución 420/38259/2022, de 23 de junio, de la Secretaría General Técnica, por la que se publica el Convenio entre el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial «Esteban Terradas» y los sistemas colectivos de responsabilidad ampliada del productor de aparatos eléctricos y electrónicos y pilas, para la retirada de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos y de residuos de pilas y acumuladores. En el convenio, ambas partes manifiestan su interés en poner en marcha mecanismos eficientes de recogida de los residuos objeto de este convenio (Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos), de acuerdo con lo establecido en la legislación vigente.
- 2025: personal técnico de la Universidad de Cádiz, que participa en el proyecto IBERALEX, de conservación del Chorlitejo patinegro en playas y marismas, realiza censos de seguimiento de la especie en la playa del CET, con el fin de localizar individuos aquí presentes así como nidos y familias en temporada de cría.^v
- Se han ido sustituyendo, progresivamente, los equipos de aire acondicionado que llevan incorporado el gas R-22, mucho más eficiente y de menor impacto ambiental. Las luminarias interiores y exteriores se han ido sustituyendo por tecnología LED hasta en un 80% aprox. de los puntos.
- Anualmente, se realizan jornadas voluntarias de limpieza de la playa del CET, por parte de los trabajadores.
- 2025-2026: establecimiento como Objetivo ambiental “Mejorar el control de las emisiones de gases de efecto invernadero”, lo que conlleva realizar el Cálculo de la huella de carbono del CET.
- “Cádiz refugio del Chorlitejo Patinegro”



Figura 4. El Chorlitejo Patinegro

8. INNOVACIÓN Y PROYECCIÓN TECNOLÓGICA

El CET no solo se dedica a la evaluación y homologación, sino que también planea participar en proyectos de *investigación, desarrollo e innovación (I+D+I)*, tanto propios como en colaboración con universidades y centros tecnológicos. Entre sus líneas de innovación destacan:

- El desarrollo de *nuevos sistemas de instrumentación balística* de alta velocidad.
- La implementación de *modelos numéricos de simulación* del comportamiento de proyectiles.
- La mejora de la *automatización de los bancos de ensayo* mediante inteligencia artificial aplicada al control de procesos.
- La ampliación de la *capacidad metrológica del laboratorio*, incorporando patrones de mayor exactitud.

El CET actúa como puente entre la investigación científica y la aplicación práctica en defensa, integrando metodologías de ingeniería, física aplicada y metrología avanzada.

Importancia estratégica

El CET tiene una importancia estratégica notable tanto para el Ministerio de Defensa como para la industria vinculada al armamento:

- Garantiza que los sistemas, municiones y componentes cumplan con estándares técnicos y de procedimiento elevados, lo que es vital tanto para la seguridad como para la interoperabilidad y la homologación internacional.
- Contribuye a la innovación y al desarrollo tecnológico, al realizar experimentación, ensayos balísticos y calificaciones que requieren equipamiento especializado y personal cualificado.
- Su combinación de acreditaciones, sistema de calidad y medio ambiente lo sitúa como referente en servicios técnicos dentro del ámbito militar, pero también con proyección técnica reconocida más allá del sector defensa.

Los retos potenciales incluyen mantenerse al día con nuevas tecnologías de armamento, amenazas emergentes, exigir mayor precisión metrológica, incorporar nuevos métodos de ensayo o calibración, cumplir con normativas aún más exigentes, y seguir reduciendo tiempos manteniendo la fiabilidad.

9. RETOS, PERSPECTIVAS Y CONCLUSIÓN

Si bien el CET ya hace muchas cosas muy bien, hay retos y líneas de mejora que se vislumbran:

- *Ampliación de alcance de acreditaciones*: cada nueva magnitud (nueva medida, instrumento, rango) requiere certificaciones, inversiones en patrones de medida, procedimientos metrológicos, etc.
- *Infraestructura complementaria*: la nueva línea de tiro para munición de gran calibre, como ya está anunciado, implicará infraestructura, seguridad, personal especializado.
- *Capacitación y personal especializado*: mantener al personal al día en normas, procedimientos metrológicos, gestión de incertidumbres, instrumentación, software especializado, etc.
- *Sostenibilidad, medio ambiente, impactos locales*: aunque ya tienen políticas ambientales, siempre hay margen para reducir impactos, optimizar consumos, minimizar residuos, etc.

- *Cooperación internacional y transparencia técnica*: compartir conocimiento, participar en estándares OTAN, acuerdos bilaterales, etc., como ya hace en algunos grupos de trabajo.

En conclusión, el Centro de Ensayos Torregorda es una instalación de alto nivel técnico en España, clave para la defensa, con una trayectoria histórica que se remonta al siglo XIX, que ha evolucionado considerablemente y que hoy combina funciones de ensayo, homologación, vigilancia y calibración acreditadas. Su nuevo laboratorio de calibración, acreditado por ENAC, representa un paso adelante relevante en su capacidad técnica y estratégica.

ⁱ “Historias de los centros integrados en el Instituto Tecnológico “La Marañosa”” ISBN 978-84-938932

ⁱⁱ “El Centro de Ensayos Torregorda” Revista Ejército nº 935 Marzo 2019

ⁱⁱⁱ “El CET y su participación en el desarrollo de la munición de artillería de campaña de 155mm de altas prestaciones” Revista Ejército nº 936 Abril 2019

^{iv} “Estudio ambiental del Centro de Ensayos Torregorda: la plataforma rocosa del intermareal” Universidad de Cádiz, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales ISBN 978-84-690-9073-2

^v ISBN 978-84-692-7199-5