



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE CIENCIA  
E INNOVACIÓN



Junta de Andalucía

Consejería de Universidad,  
Investigación e Innovación

## Tirando el guante: Retos tecnológicos en IFMIF-DONES

**Ciemat**

Centro de Investigaciones  
Energéticas, Medioambientales  
y Tecnológicas

30 de mayo de 2023

Jose Aguilar (Coordinador de la Oficina Técnica de IFMIF-DONES)



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA



EUROfusion

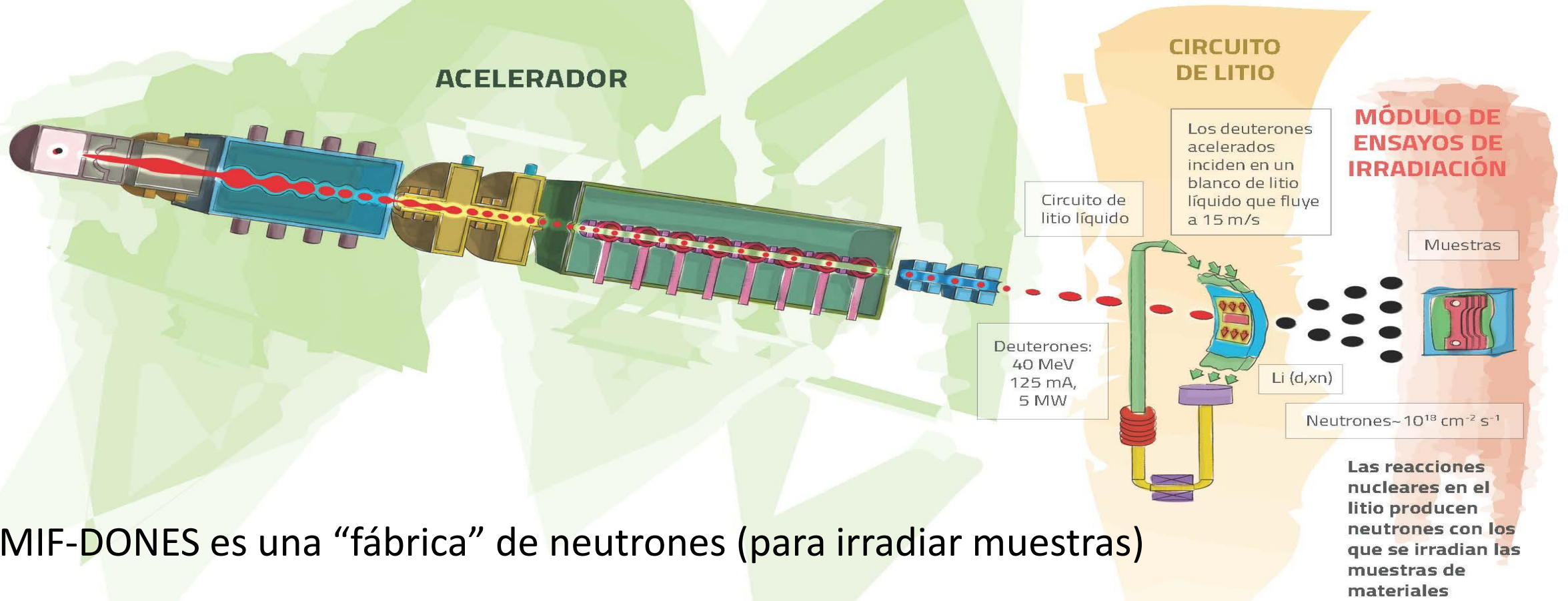


FUSION  
FOR  
ENERGY

## Para empezar...

# IFMIF-DONES no es (solo) un acelerador de partículas

En IFMIF-DONES, un acelerador de partículas producirá un haz de deuterones de 125 mA, 40 MeV, que impactará sobre una cortina de litio líquido de 25 mm de espesor fluyendo a 15 m/s. Las reacciones producidas en el blanco de litio, generarán un flujo de neutrones de alta energía y con suficiente intensidad como para simular el daño que producirían los neutrones de un reactor de fusión. Ese flujo de neutrones se usará para irradiar muestras de materiales ubicadas en los módulos de ensayo de la zona de irradiación.



IFMIF-DONES es una “fábrica” de neutrones (para irradiar muestras)

# En una industria el tiempo es oro...

El programa de fusión depende de IFMIF-DONES para obtener los datos necesarios sobre algunos materiales críticos para construir reactores de fusión viables (empezando por el prototipo, DEMO).

El ensayo de estos materiales requiere que se infrinja una determinada cantidad de daño o dpa (desplazamientos por átomo) que sea relevante para tomar las decisiones de diseño relacionadas con materiales de fusión.

Y lo necesita cuanto antes, pero...

irradiar mucho...

Máxima intensidad de irradiación posible



Tantos neutrones como sea posible



Tantos deuterones como sea posible



Máxima corriente de haz



**Los retos del acelerador**

durante mucho tiempo...

Máximo ciclo de trabajo posible



Reacción stripping (d,Li)n sostenida



Sustrato de litio siempre disponible



Litio líquido en ciclo de regeneración



**Los retos del lazo de litio**

y parar muy poco...

Máxima disponibilidad posible



Minimizar paradas programadas



Componentes críticos fiables



Materiales y diseños



**Los retos en la Test Cell**



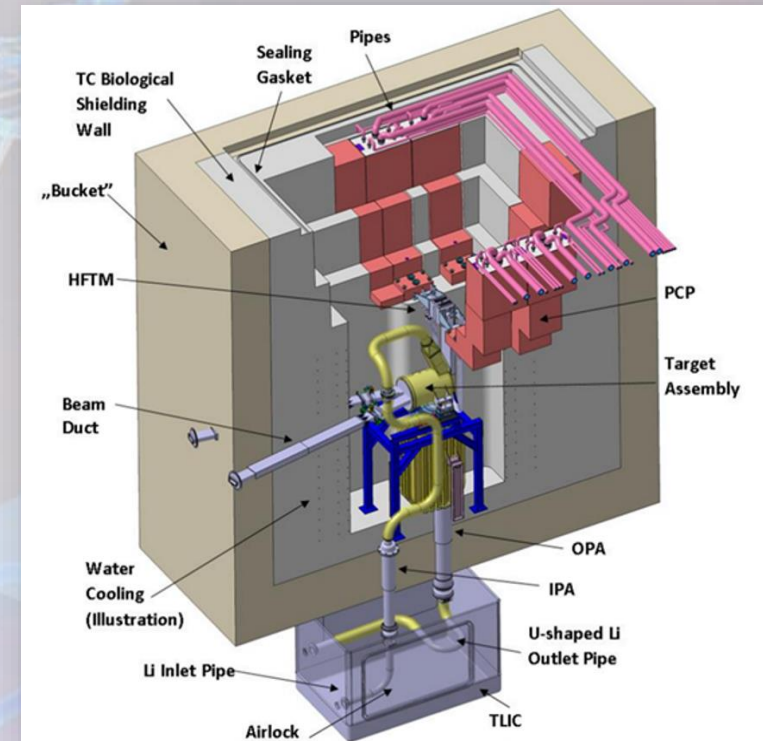


# Desde el corazón: la Test Cell

La Test Cell es el corazón de IFMIF-DONES, ya que es el lugar en el que todos los elementos se unen para producir algo único. Se trata de un espacio modular, blindado por varios metros de hormigón, con dos penetraciones principales atravesadas por las líneas de haz del acelerador, si bien en IFMIF-DONES solo habrá, inicialmente, un acelerador y, por tanto, una línea. En el interior de la Test Cell, la línea de haz del acelerador (a ultra alto vacío) va a parar a una cámara (Target Assembly), en la cual se encuentra el blanco, que consiste en una cortina de litio líquido fluyendo a alta velocidad.

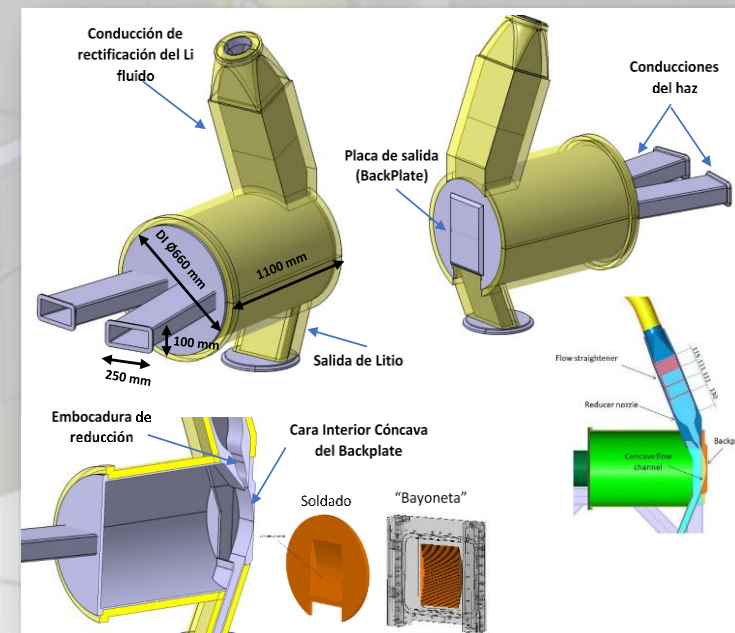
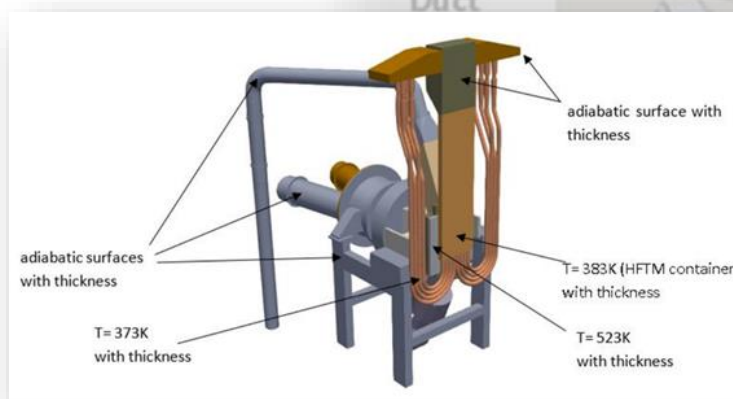
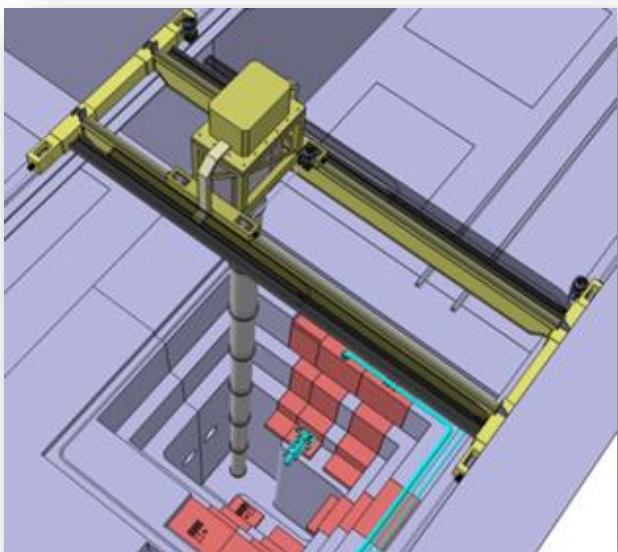
A pocos milímetros detrás y fuera de la cámara de vacío del blanco, se encuentra el Módulo de Ensayos de Irradiación o High Flux Test Module (HFTM) en el cual se situarán las muestras a irradiar y numerosa instrumentación.

El cometido de la Test Cell es contener los neutrones y los radioisótopos que se producen en la reacción y servir de alojamiento al blanco de litio, el módulo de irradiación y todos los elementos auxiliares y de control que les acompañan.



# Algunos retos en la Test Cell...

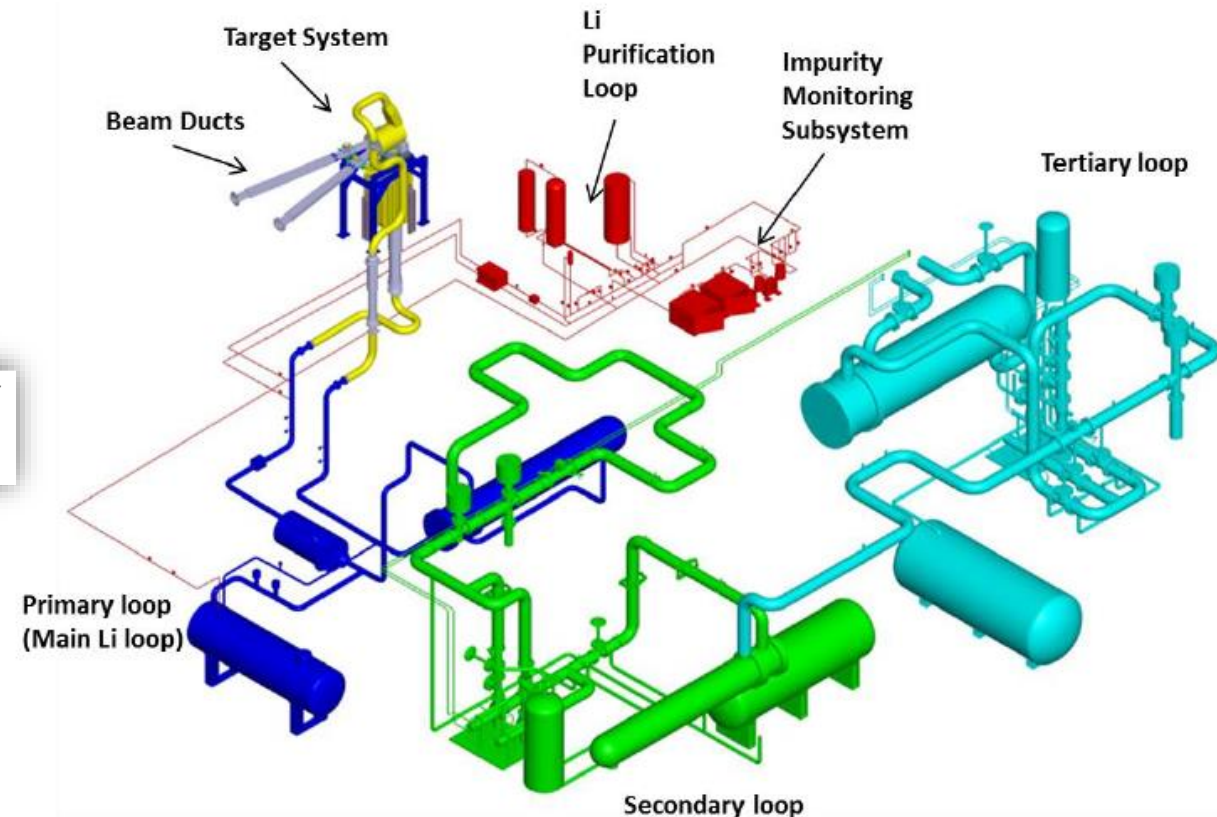
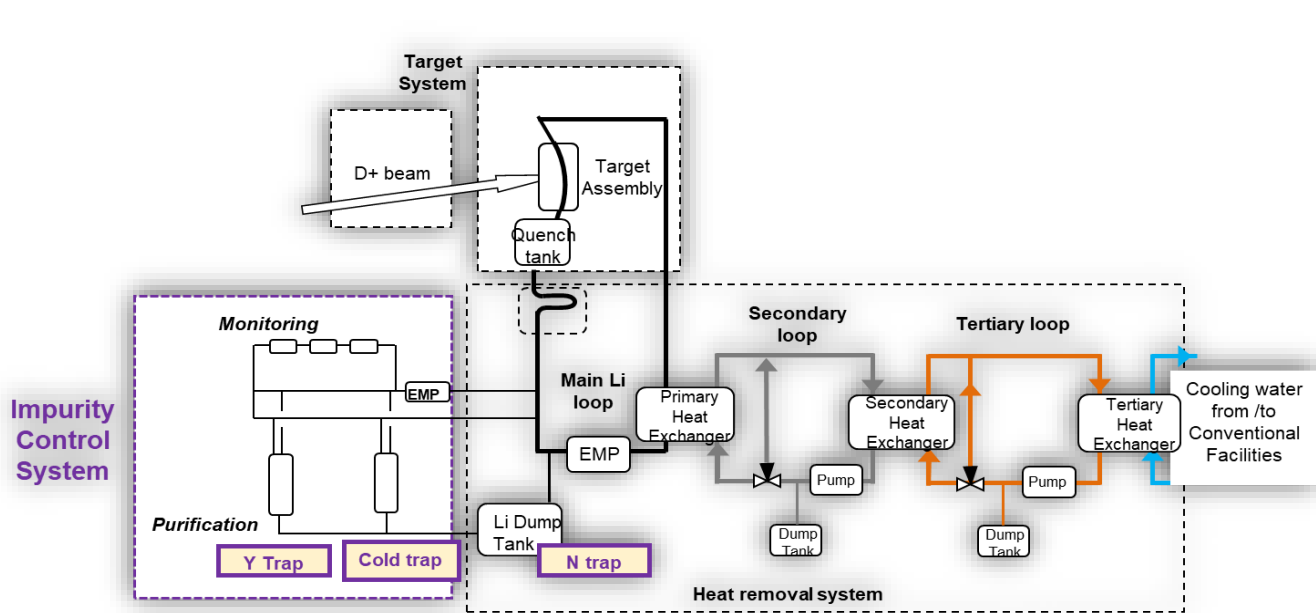
- Niveles de irradiación sin precedentes, con este espectro de energías, lo que implica un desafío para los materiales y condiciona el diseño (backplate reemplazable, piping, diagnósticos, etc) y obliga a la **manipulación remota**.
- Gran densidad de energía a disipar y diseño de componentes muy compacto, lo que dificulta la refrigeración.
- Soluciones muy fiables para multiconectores vía RH compatibles con entornos de muy altas dosis acumuladas.
- Gran densidad de instrumentación y tuberías (penetraciones que comprometen el blindaje).
- Soluciones para mantenimiento por RH de configuraciones de instrumentos de diagnóstico distribuidos en áreas amplias.
- Motores eléctricos y actuadores muy fiables compatibles con entornos de muy altas dosis acumuladas.
- Diagnósticos: Detectores de neutrónica compatibles con entornos de alta temperatura (más de 500 °C) de extraordinariamente altas dosis acumuladas
- Inspección: Necesitamos conocer el estado de la Test Cell antes de abrirla, para poder preparar los periodos de mantenimiento





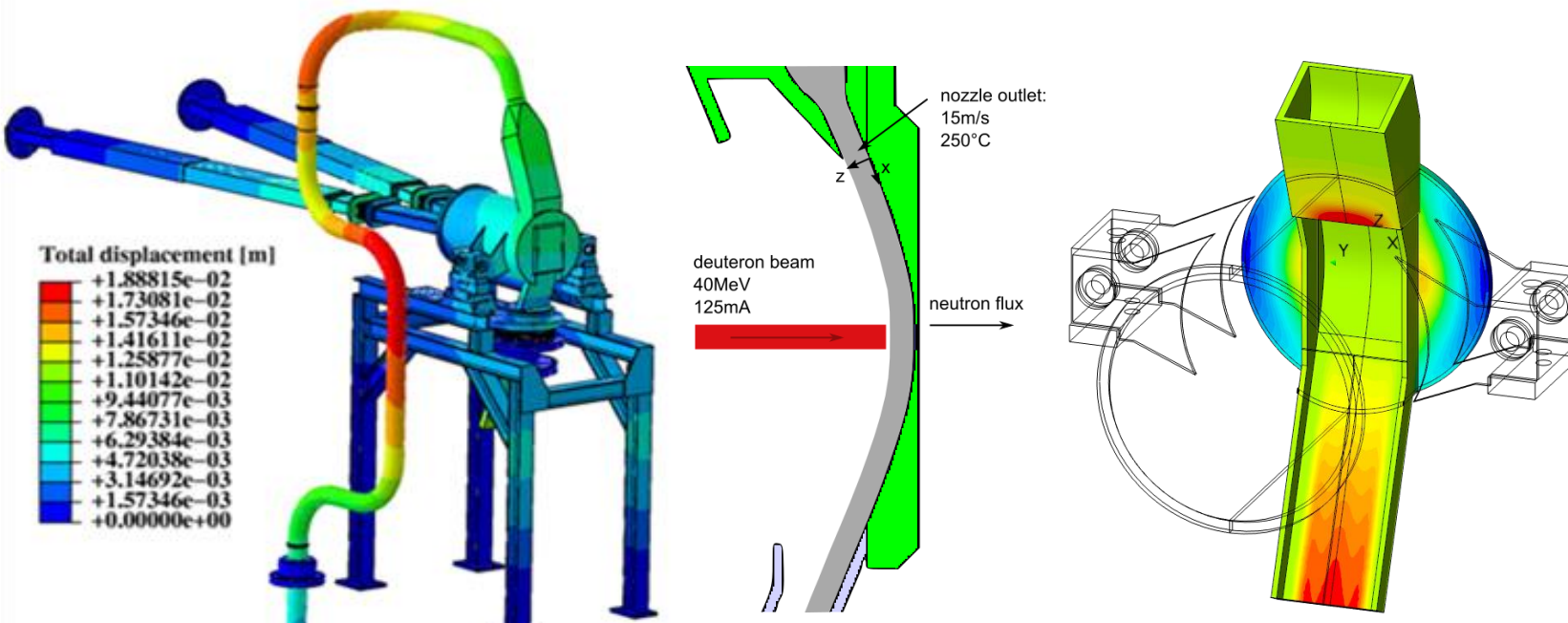
# A vueltas con el litio: el lazo de litio

- El target de litio de IFMIF-DONES recibirá el impacto de un haz de deuterones de 125 mA a 40 MeV, que deposita 5 MW sobre una cortina de litio, con una superficie expuesta de un máximo de 20x5 cm (poco más que un smartphone)
- Para garantizar la continuidad y eficiencia de la reacción, el **litio debe ser renovado a gran velocidad**, por lo que es necesario recircularlo en un lazo magneto-hidrodinámico. Además, el litio que retorna al blanco para volver a reaccionar, debe contener un nivel similar de impurezas que en el ciclo anterior y haber recuperado la temperatura de entrada al blanco.
- El **sistema de control de impurezas**, dispondrá de sistemas de **medida de impurezas** y de sistemas de **retención de impurezas** (trampas).
- Debido a las **condiciones de trabajo** y a la **presencia de isótopos** radioactivos, el sistema de refrigeración consta de tres circuitos en cascada.



# Algunos retos del lazo de litio... (deberíamos ser un referente en el sector)

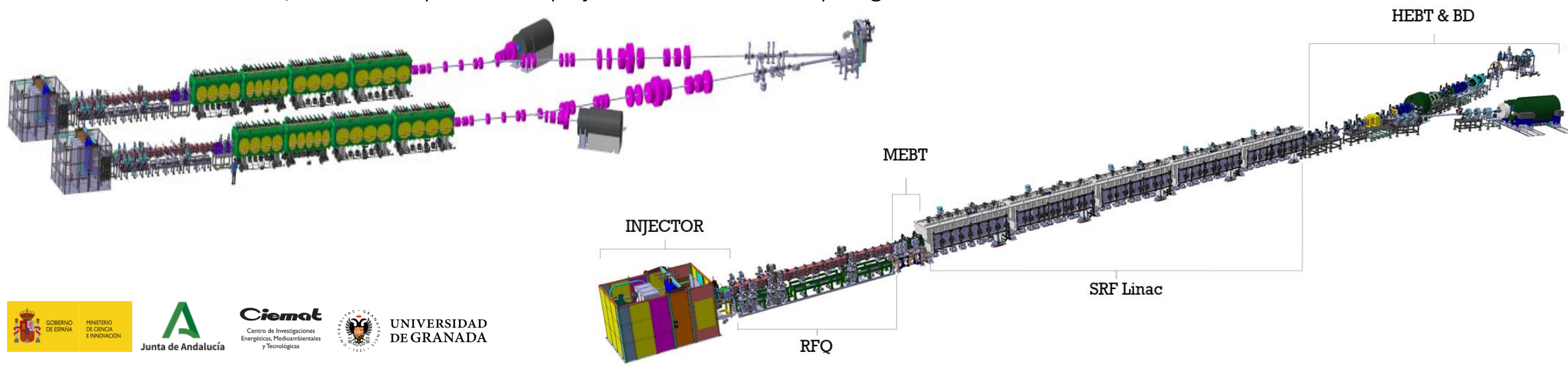
- Producción de isótopos radioactivos dificulta el diseño al implicar aspectos de seguridad radiológica.
- La alta reactividad del litio dificulta el manejo y por tanto el diseño, por su implicación en aspectos de seguridad.
- El circuito de litio de DONES contiene **cerca de 10 m<sup>3</sup> de litio** (100 l/s) a 300°C (rama fría).
- La **potencia de haz, de 5 MW** para la primera fase de IFMIF-DONES y **de 10 MW** cuando haya dos aceleradores, supone un gran desafío para los sistemas de refrigeración
- **Complejo diseño de refrigeración, con intercambiador de calor Li-aceite**, que no es habitual en la industria y requiere un diseño específico
- **Nivel de impurezas sin precedentes (<10 ppm)**, algunas **trampas y sensores de impurezas** (metálicas y no metálicas) aún sin validar.
- **Diagnósticos sin validar** para la cortina de litio.
- Necesidad de desarrollo de **Bombas electromagnéticas** de imanes permanentes de alta capacidad.
- **Exposición de la superficie de la cortina de litio líquido al ultra alto vacío** de la línea de haz, lo que tiene implicaciones tanto en el diseño de la propia cortina de litio como en el análisis de tipos de accidentes para los que no hay precedentes.



# Como un rayo: el acelerador

Aunque está previsto que IFMIF-DONES disponga de **2 aceleradores en un futuro**, en la primera fase, se ha considerado suficiente la instalación de **uno solo (por ahora)**: Sin embargo, éste no es cualquier acelerador:

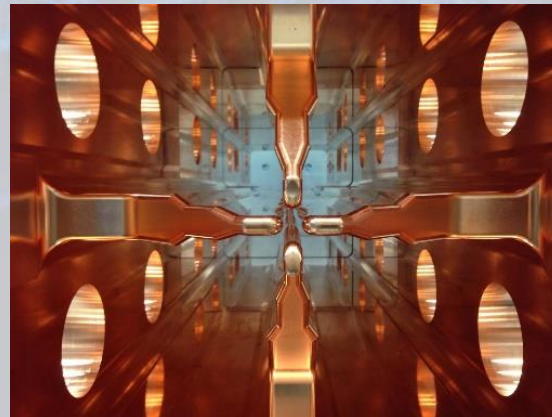
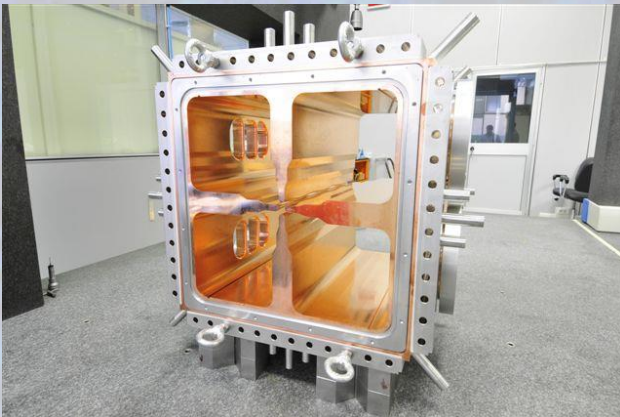
- Acelera la **mayor corriente de partículas (125 mA, 40 MeV)** hasta la fecha (Record conseguido por LIPAc en agosto de 2019).
- Funcionará en **modo continuo**, con un objetivo de disponibilidad en niveles industriales
- Un inyector de alta corriente (140 mA) inyectará deuterones en el cuadrupolo de RF (RFQ) más largo que se haya construido, combinando en él la potencia de RF de 8 líneas de 200 KW a 175 MHz, totalmente sincronizadas para acelerar y “bunchear” el haz de partículas que ya con 5 MeV entrará en la sección de acoplamiento para ajustar las características de los “bunches” (paquetes) de iones, a los requisitos de la siguiente etapa, el linac superconductor (SRF linac) donde, a través de 46 cavidades superconductoras (refrigeradas a 4°K) son acelerados hasta 40 MeV antes de entrar en la línea de transporte de alta energía (HEBT) donde o bien se dirigen para ser disipados en el bloque de parada de haz (Beam Dump) en caso de ensayos, o bien se les conduce a enfrentarse con el blanco de litio. Para ello, un potentísimo sistema de RF con 56 fuentes de RF de estado sólido de hasta 200 kW cada una, alimenta todas las cavidades de RF, controlado por un complejo sistema de control y diagnóstico de haz.





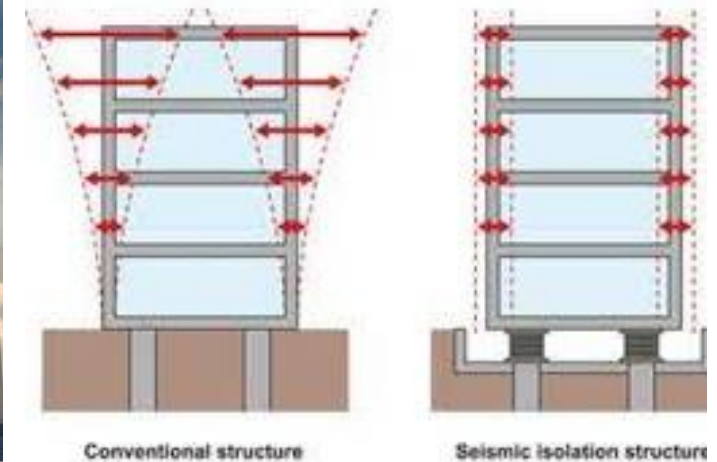
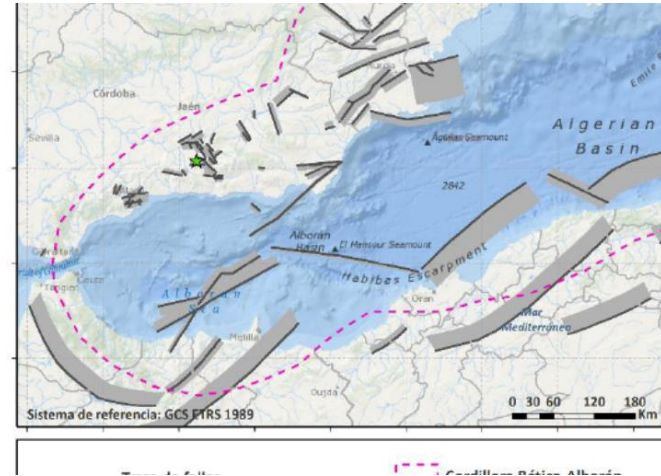
# Algunos retos del acelerador...

- La corriente de haz más alta hasta la fecha. “Enhebrar un hilo muy gordo a través de muchas agujas... y a toda velocidad”
- Optimización de equipos para aumento de la disponibilidad de la planta:
  - Inspección y mantenimiento remoto (acceso a los equipos)
  - Mejora de proceso para mantenimiento recurrente (fuente de iones, cuadrupolo de radiofrecuencia y líneas de transporte para haces de alta potencia...)
  - Mejora de proceso para alta fiabilidad (estaciones de radiofrecuencia para cavidades resonantes de alta potencia, actuadores y sensores resistentes a la radiación...)
- Optimización de la fabricación de equipos (acopladores de radiofrecuencia de alta potencia, cavidades superconductoras,...)
- Optimización de medida para la monitorización y control de procesos (monitorización de haces, monitorización de radiación...)
- Soluciones de monitorización y control de procesos relacionados con seguridad.



# Retos para Obra Civil y Sistemas de Planta

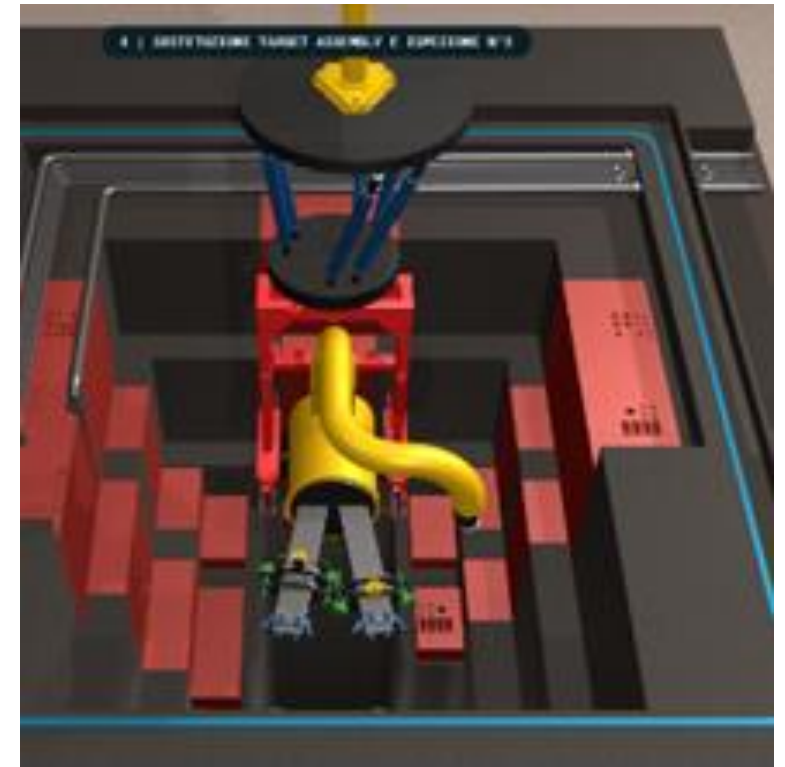
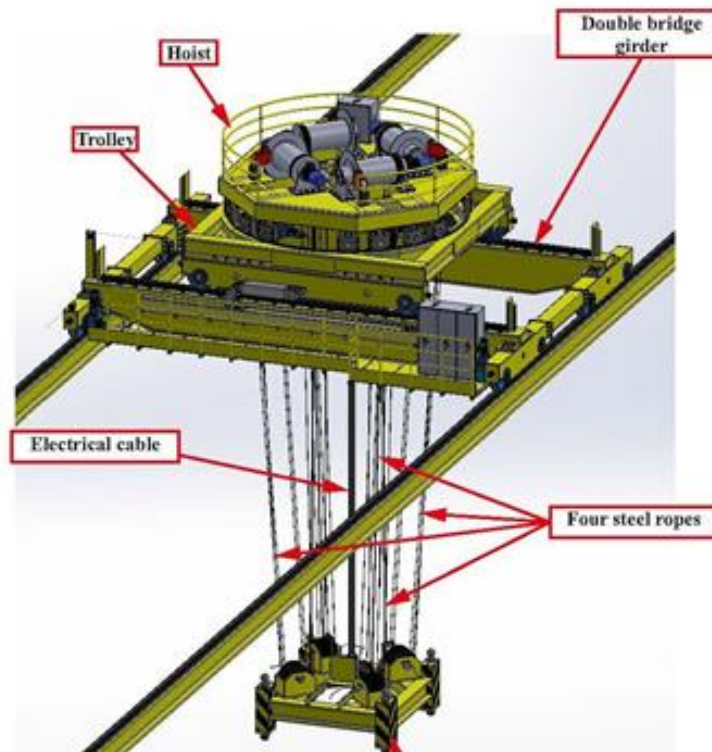
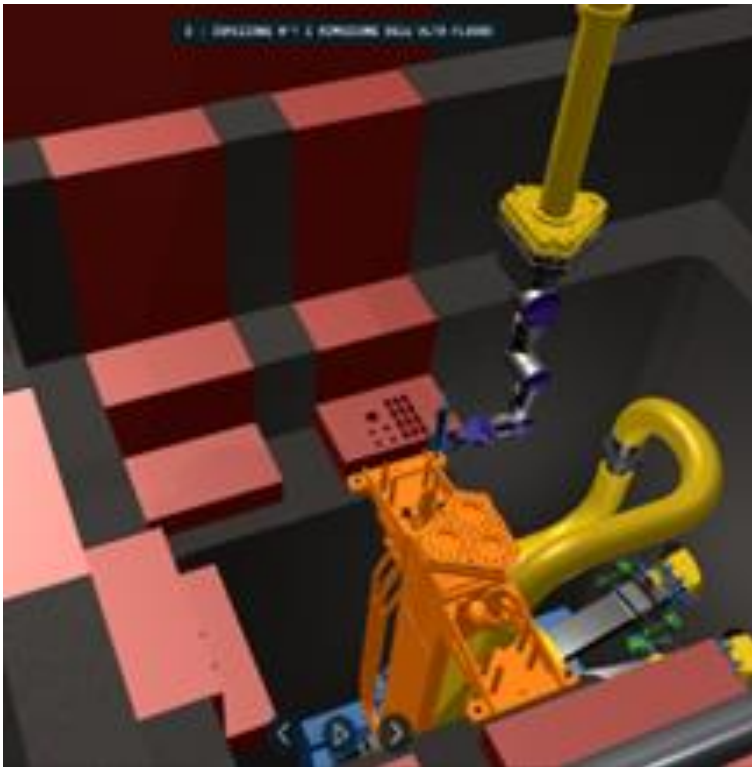
- Edificación
- Aislamiento sísmico
- HVAC
- Sistemas de control de planta
- Gestión de gases
- Gestión de residuos
- Sistema eléctrico
- Sistemas de confinamiento
- Electrónica y sensorica de planta
- Seguridad y safety





## Reto: Sistemas de Manipulación Remota

- Grúas y herramientas especiales
- Telemanipuladores
- Actuadores específicos para operaciones en remoto
- Técnicas de elusión o resistencia a radiación
- Monitorización de radiación





## Reto: para el sostenimiento del ciclo de vida

- Realidad virtual para ensayo de operaciones de logística y mantenimiento
- Realidad virtual para el entrenamiento de técnicos y operadores
- Inteligencia artificial para la supervisión de la planta.
- Inteligencia artificial para mantenimiento predictivo.
- BIM (Building Information Modeling) y PLM (Product Lifecycle Management)
- Seguridad y Safety
- Logística
- Adquisición y análisis de datos (BIG DATA, etc)
- Gestión de Personal y Administración, etc

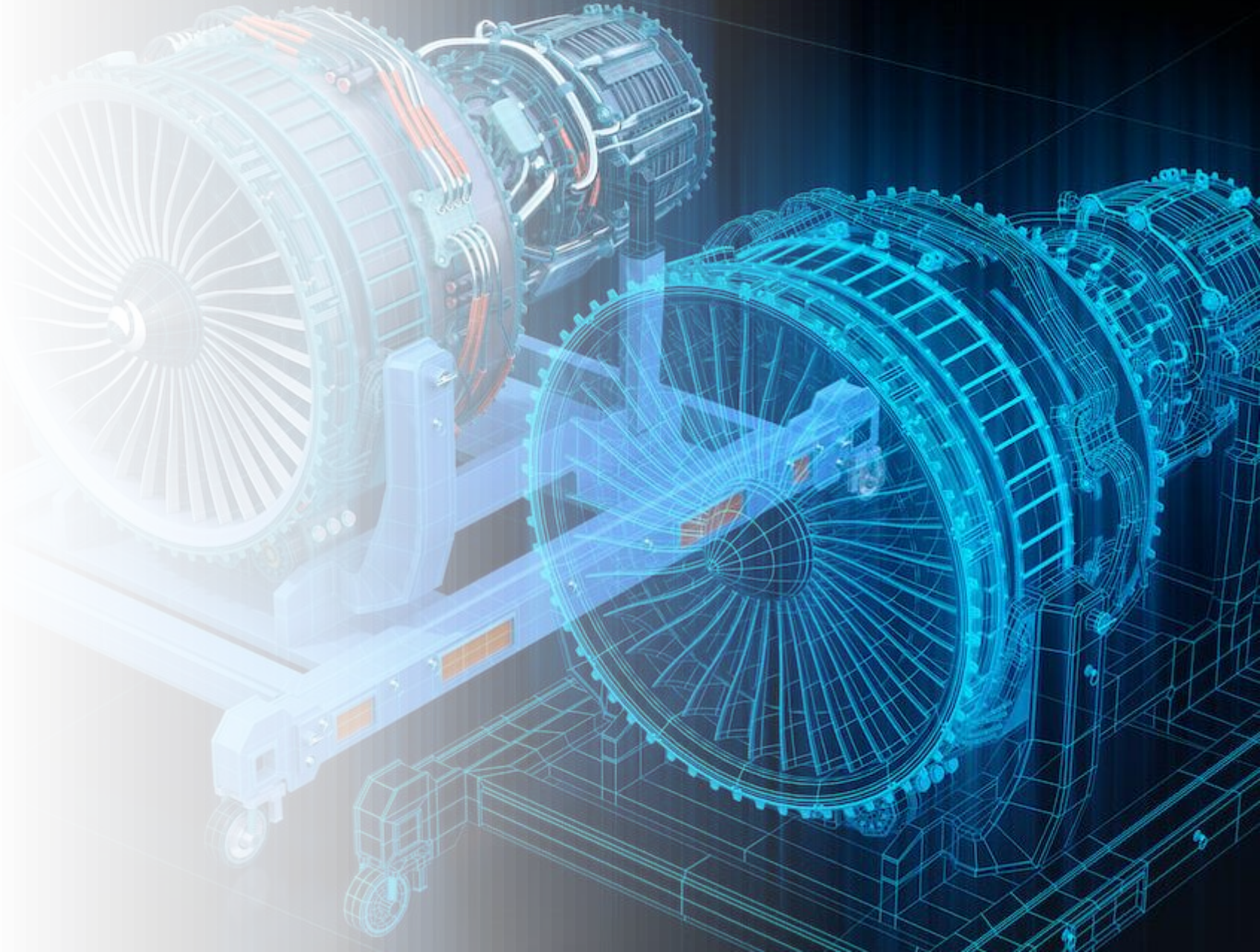


## Reto: El Gemelo de DONES

El gemelo digital es una tecnología que posibilita una representación virtual (gemelo virtual) de un sistema físico, su entorno y sus operaciones, y que es continuamente, autónomamente y adaptativamente actualizada mediante el intercambio de información entre el ente físico y el virtual.

## ¿para qué queremos un gemelo digital?

- Estudiar los modos de funcionamiento
- Investigar las tecnologías de forma temprana
- Formar a los futuros operadores de la instalación.
- Reducir la duración de la integración y la puesta en marcha.
- Analizar el comportamiento del acelerador mediante IA: optimización y mantenimiento predictivo.





# Reto: Los Sistemas de Control



# Reto: La supercomputación

Algunos ejemplos de aplicación:

- Neutrónica en modelos realistas de la planta.
- Cálculos termomecánicos intensivos.
- Cálculos sísmicos intensivos
- Modelos asociados a la idea del Digital Twin.
- Simulaciones en tiempo real, en parámetros o tecnologías.

## ALBAICÍN

9520

NÚCLEOS

822.5

TFLOPS

35

TB RAM

184

TBYTE

## ALHAMBRA

1808

NÚCLEOS

36.75

TFLOPS

4.28

TB RAM

72

TBYTE

## UGRGRID

1264

NÚCLEOS

4.2

TFLOPS

3

TB RAM

24

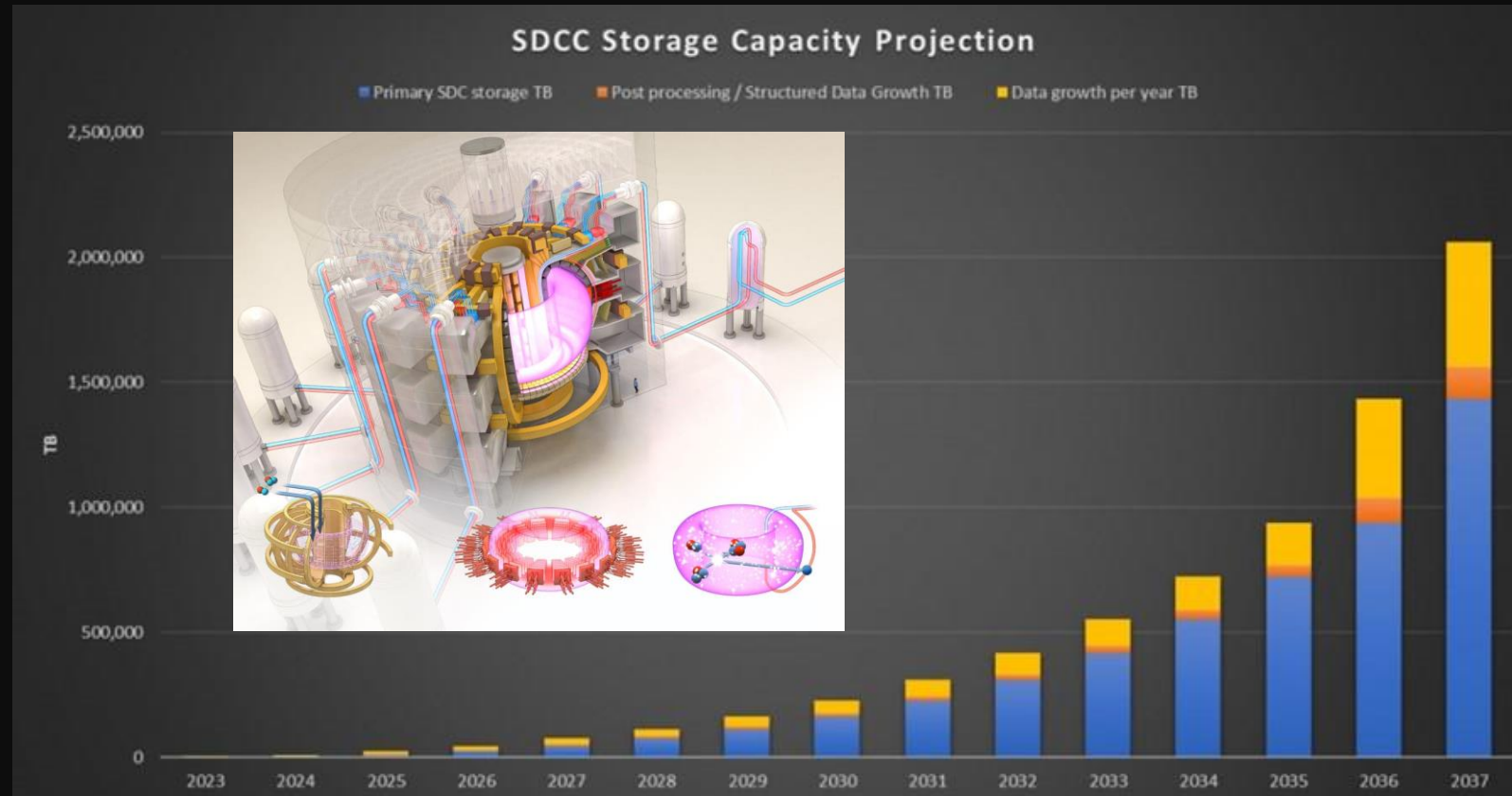
TBYTE

3

07



ITER (ejemplo): The need for storage space will increase very quickly once operations begin and 2 petabytes of new data are generated every day. By 2035, the new data centre will have to hold nearly 1 exabyte of data. Two years after that, in 2037, the storage requirements will have surpassed 2 exabytes.



Reto: La gestión de los datos

Fuente: <https://www.iter.org/newsline/-/3534>





Reto: Las herramientas de trabajo

---



# Reto: la Seguridad...

---

Supervisión redundante, seguridad preventiva y predictiva, adecuado procesamiento de muestras, gestión del ciclo de vida de los materiales...

# IFMIF-DONES...

# ...un RETO de todos

## Pero un reto al que debemos ir juntos

## Un proyecto Internacional que debemos aprovechar con una **Estrategia Nacional**







Thank you for your attention

[jose.aguilar@ifmif-dones.es](mailto:jose.aguilar@ifmif-dones.es)

[www.ifmif-dones.es](http://www.ifmif-dones.es)



**Ciemat**

Centro de Investigaciones  
Energéticas, Medioambientales  
y Tecnológicas



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA

