



# Reparación del Reactor de la Central Nuclear Atucha II 2022-2023

Simposio AATN – noviembre 2023  
José Luis Antúnez



NUCLEOELECTRICA ARGENTINA S.A.

Argentina unida





# Antecedentes

Reparación de Atucha I (1988)

Reparación de Atucha II (2018)



# Atucha I

Datos de la central

## Central Nuclear Atucha I

# Datos de la central

## Central Nuclear Juan Domingo Perón

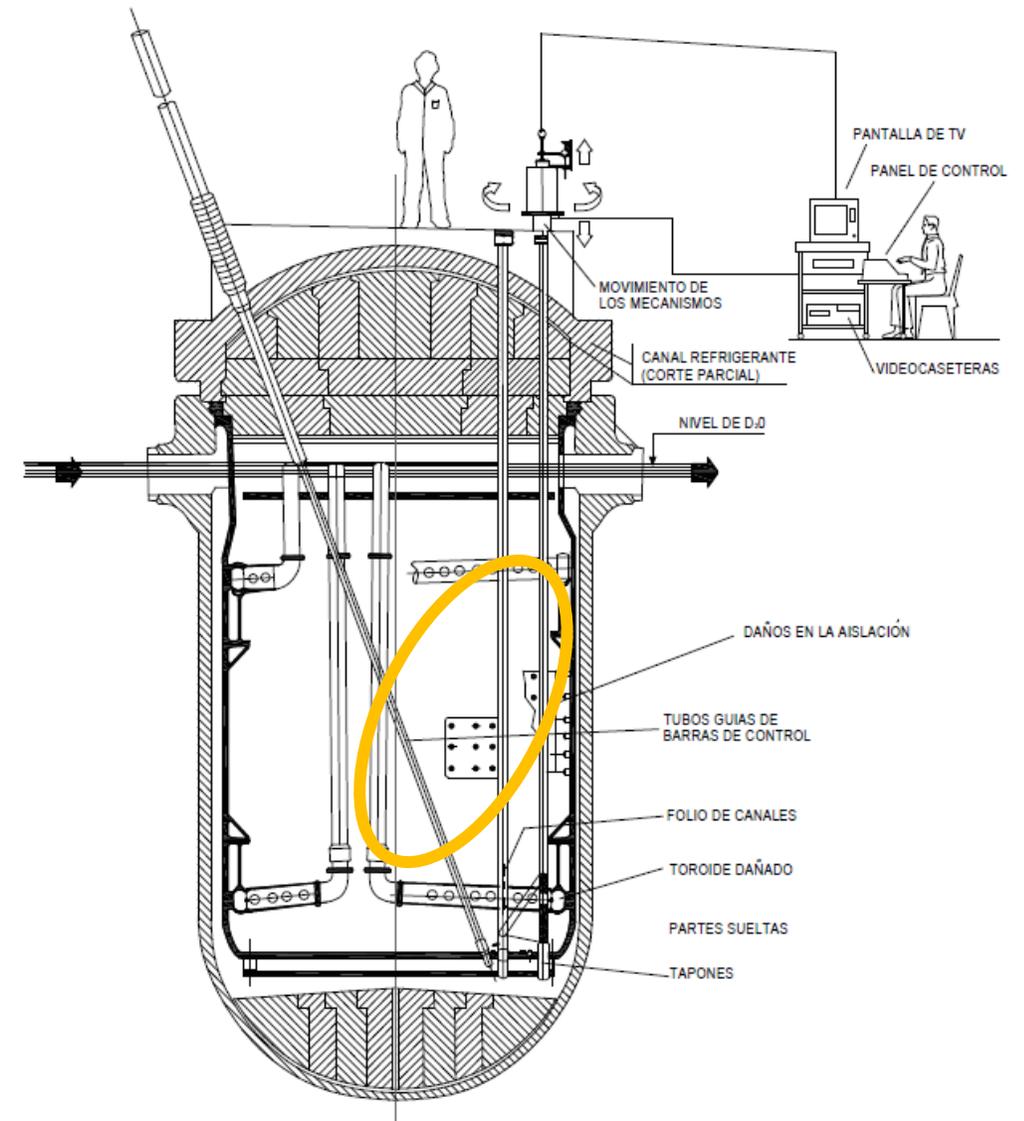
- Primera central nuclear de Latinoamérica.
- Potencia eléctrica bruta: **362 MWe**
- Puesta a crítico en **1974**.
- Combustible: original uranio natural, actualmente uranio levemente enriquecido (0.85%)
- Refrigerante y moderador: agua pesada (D2O)
- En proceso de extensión de vida útil.



# Central Nuclear Atucha I (1998)

## Reparación por CNEA de los internos del reactor

- Salida de servicio el 11 de agosto de 1988
- Causa: daños en los canales de combustible del reactor.
- Reparación 100% nacional sin ayuda del diseñador original.
- Desarrollo de herramientas y facilidades específicas de ensayo (mock-up) para realizar la tarea en forma remota a través de los orificios de los canales de combustible.
- Retornó al servicio el 8 de enero de 1990.



Esquema de Inspección dentro de la vasija del reactor



# Atucha II

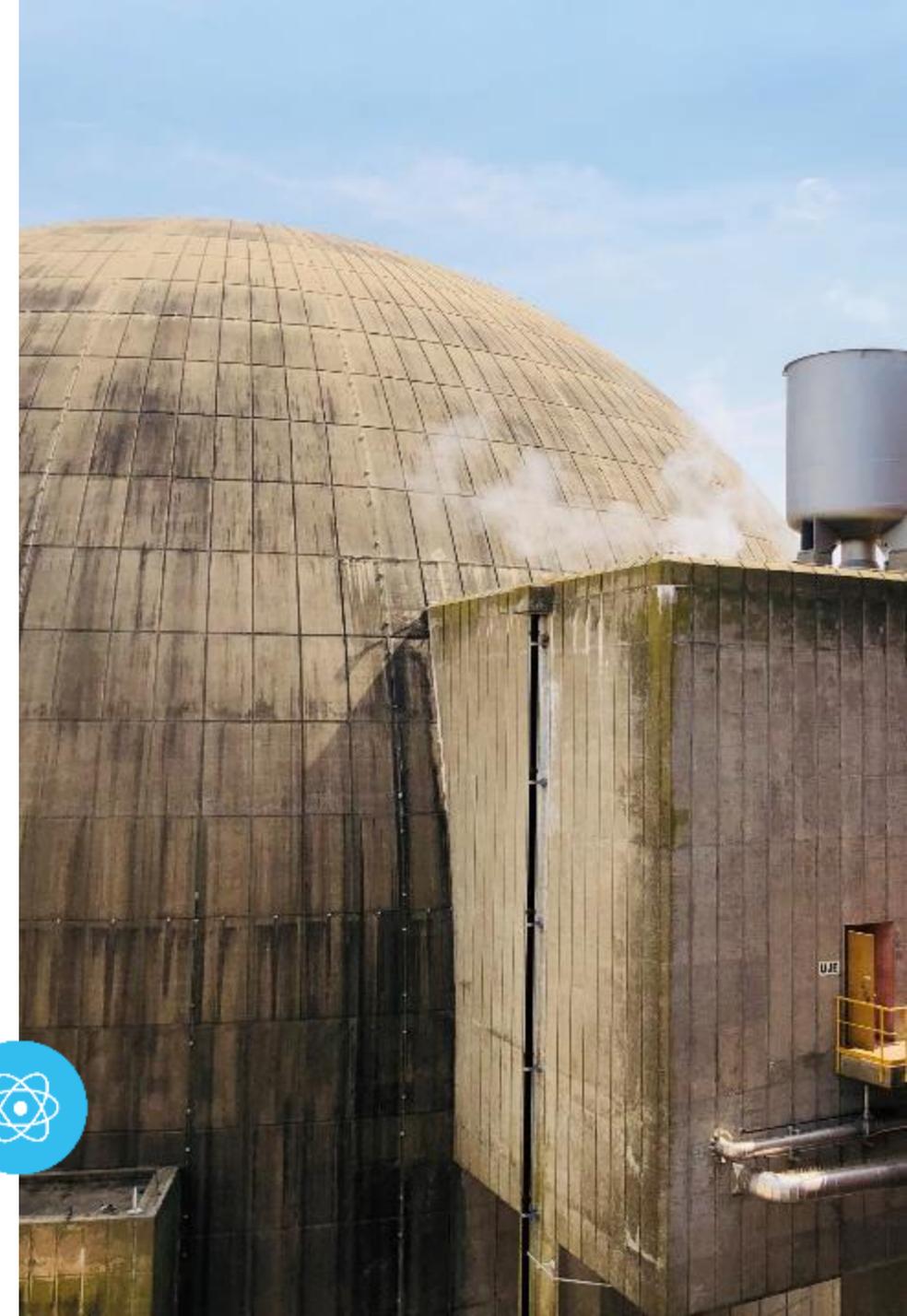
Datos de la central

Central Nuclear Atucha II

# Datos de la central

## Central Nuclear Néstor Kirchner

- Finalizada por Nucleoeléctrica tras años de abandono.
- Potencia eléctrica bruta: 745 MWe.
- Puesta a crítico en 2014.
- Combustible: uranio natural.
- Refrigerante y moderador: agua pesada (D2O).
- **Actualmente trabajando en un proyecto para el uso de uranio levemente enriquecido.**





## Atucha II (2018)

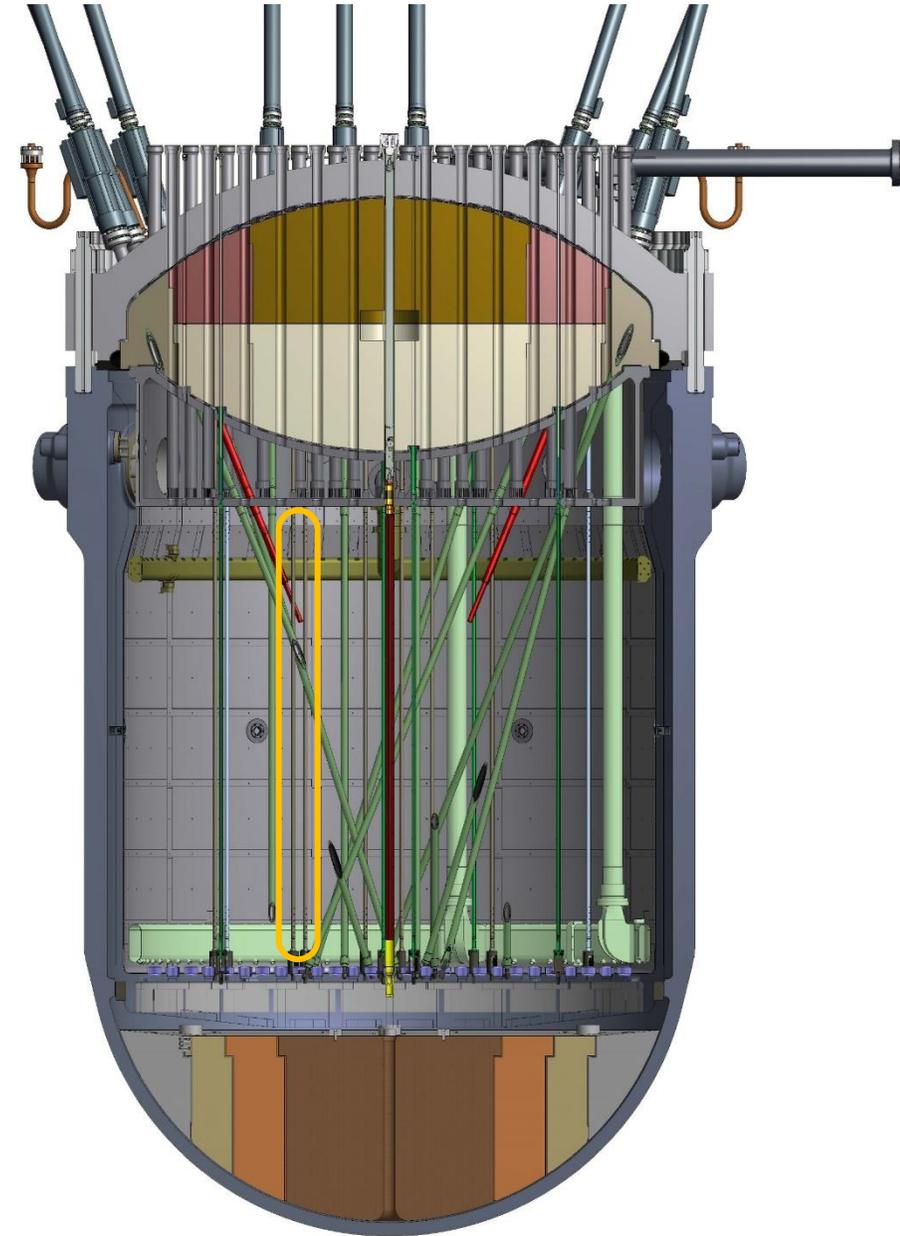
Deformación anormal por pandeo de tubos guía de las sondas de medición de flujo neutrónico en el tanque del moderador.

## Central Nuclear Atucha II (2018)

# Cambio de tubos guía

## Reparación realizada por NASA.

- Se detectó una falla de diseño en un componente interno del reactor durante la parada programada de abril de 2017.
- Algunos de los tubos guías de las sondas de flujo neutrónico presentaban deformación por pandeo.
- Se decide el recambio gradual de estos componentes a través de los orificios de los canales de combustible, utilizando tubos de un nuevo diseño realizado por NASA.
- Trabajo en modalidad remota, similar a la reparación de 1988, iniciado en 2018. Hasta la fecha 20 cambiados, restan 4 tubos, finalización prevista para 2024.





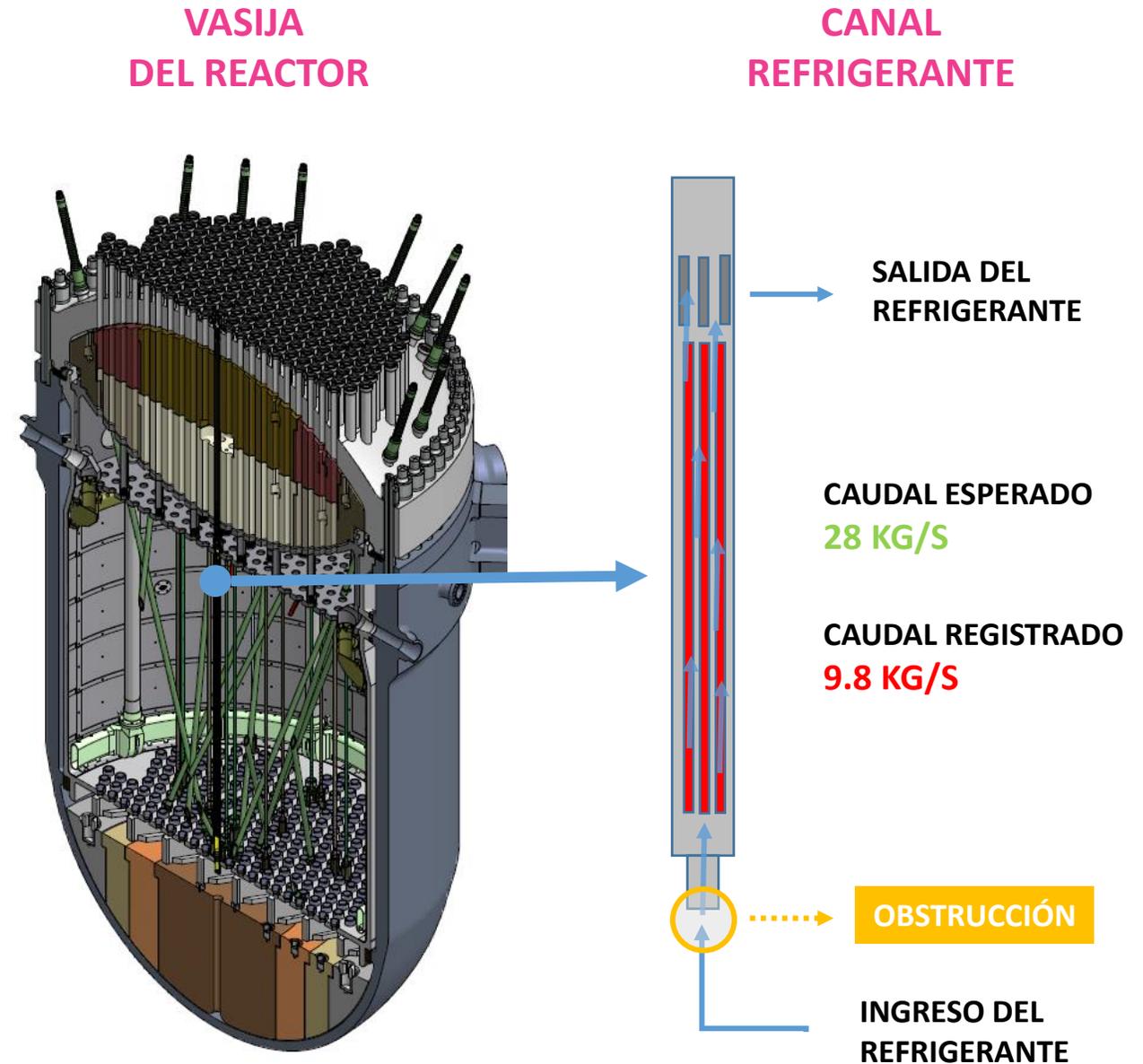
# Atucha II (octubre 2022)

Desplazamiento anormal de un separador del cuerpo de relleno inferior.

# Desperfecto 2022

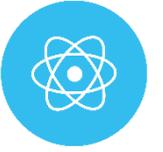
## Detección del problema

- El 01/08/2022 se observa una reducción del caudal de refrigerante del canal de combustible AD-13.
- En octubre de 2022 se detecta la causa: bloqueo de la boquilla inferior del canal por el desplazamiento de un separador del cuerpo de relleno inferior.
- Consecuencia: necesidad de remover el objeto desplazado y verificar la sujeción de otros (3) elementos similares.

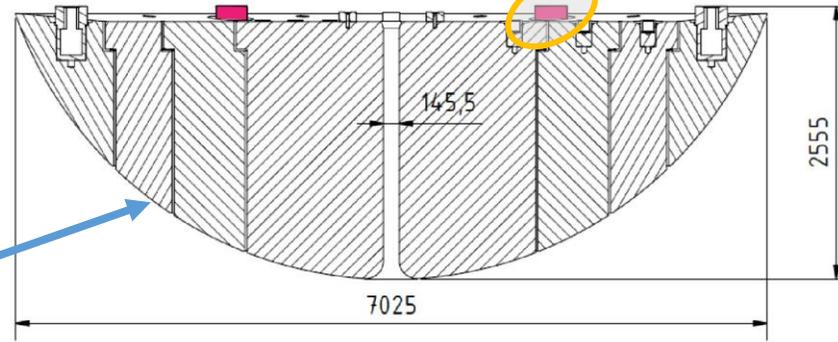
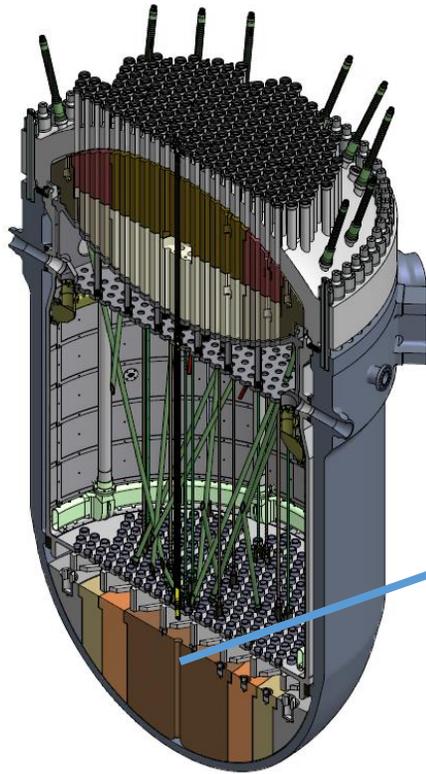


# Central Nuclear Atucha II

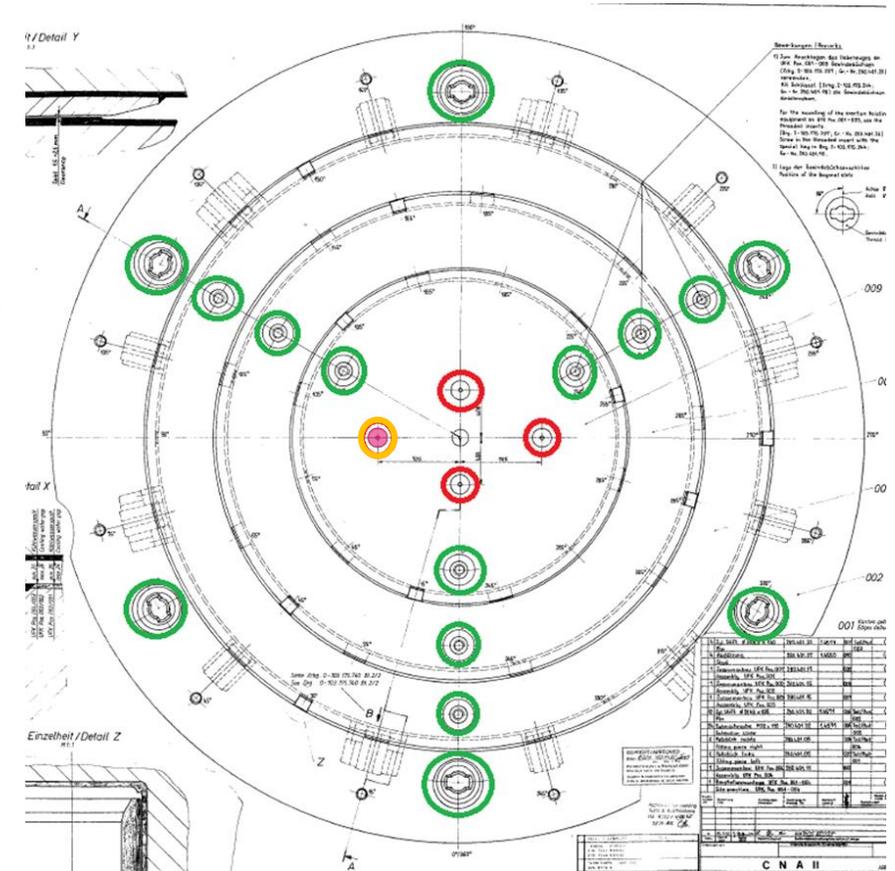
## Desperfecto 2022

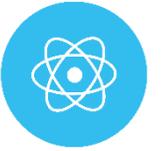


## Cuerpos de relleno inferior y ubicación del separador

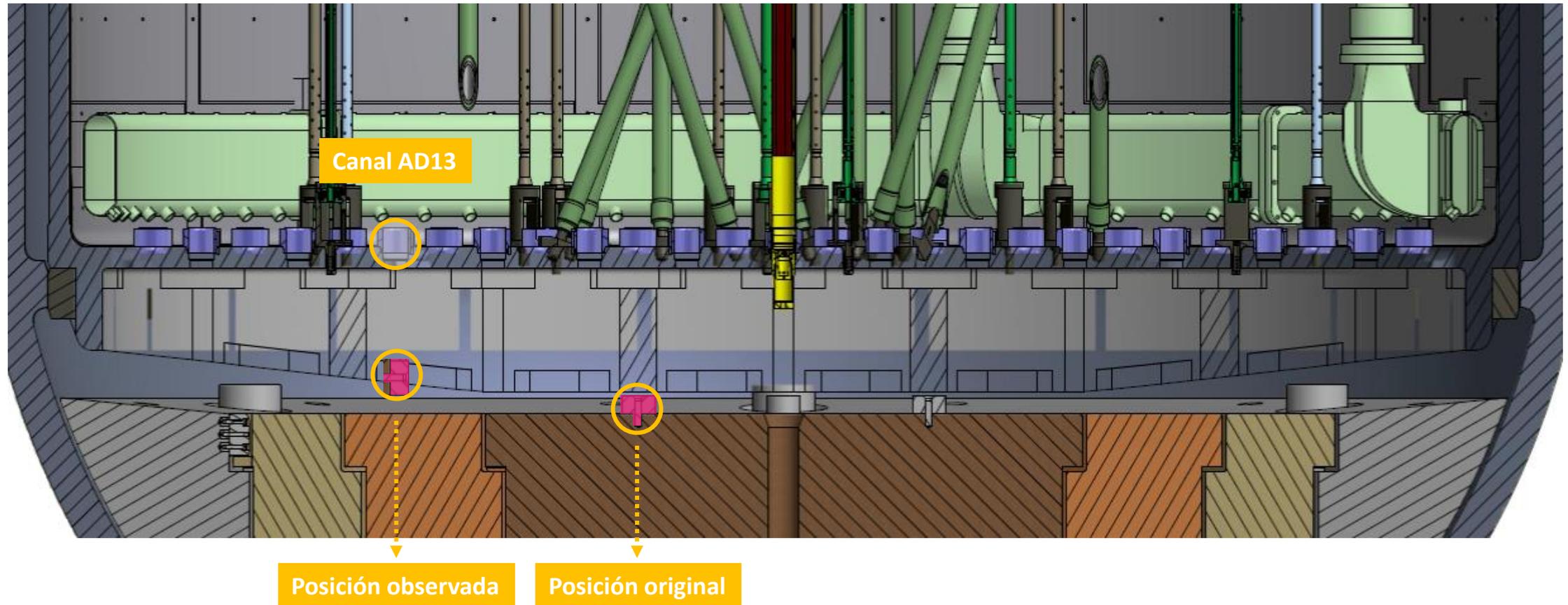


Vista transversal

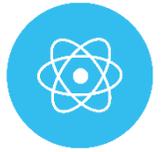




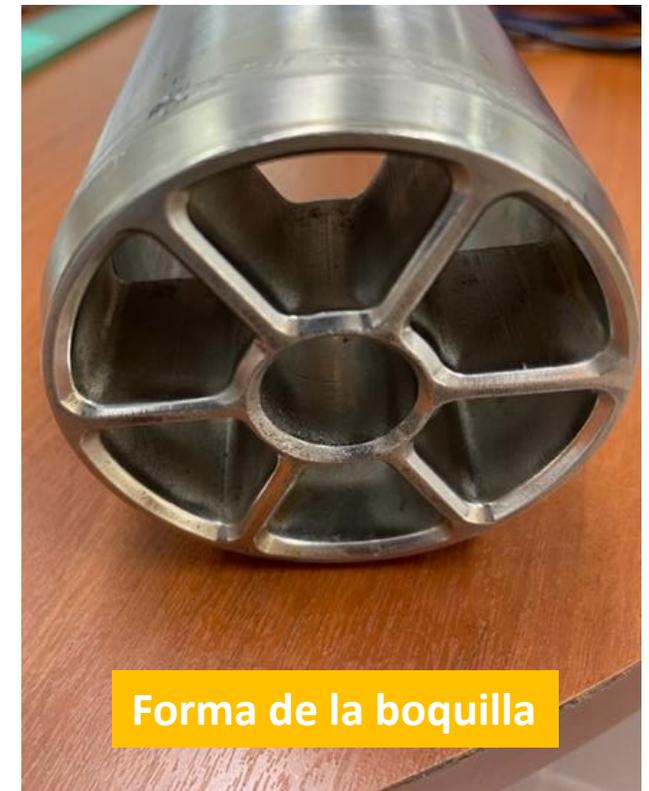
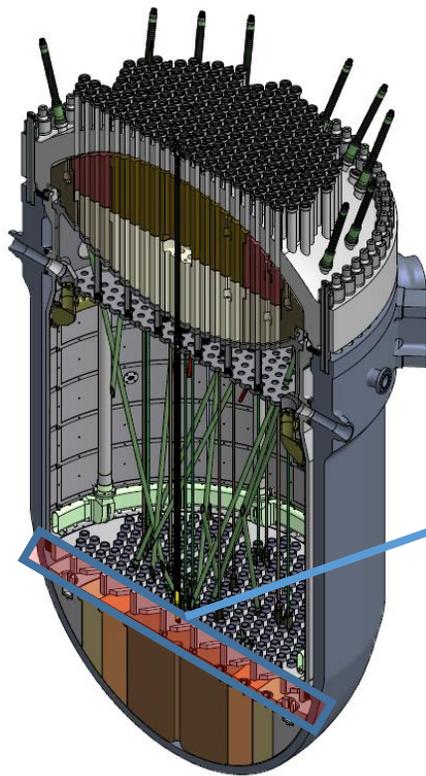
## Desplazamiento detectado

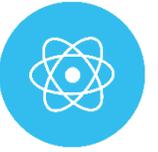


Central Nuclear Atucha II  
**Inconveniente 2022**



**Objeto detectado en el plenum inferior**





## Elemento desplazado: uno de los cuatro separadores existentes



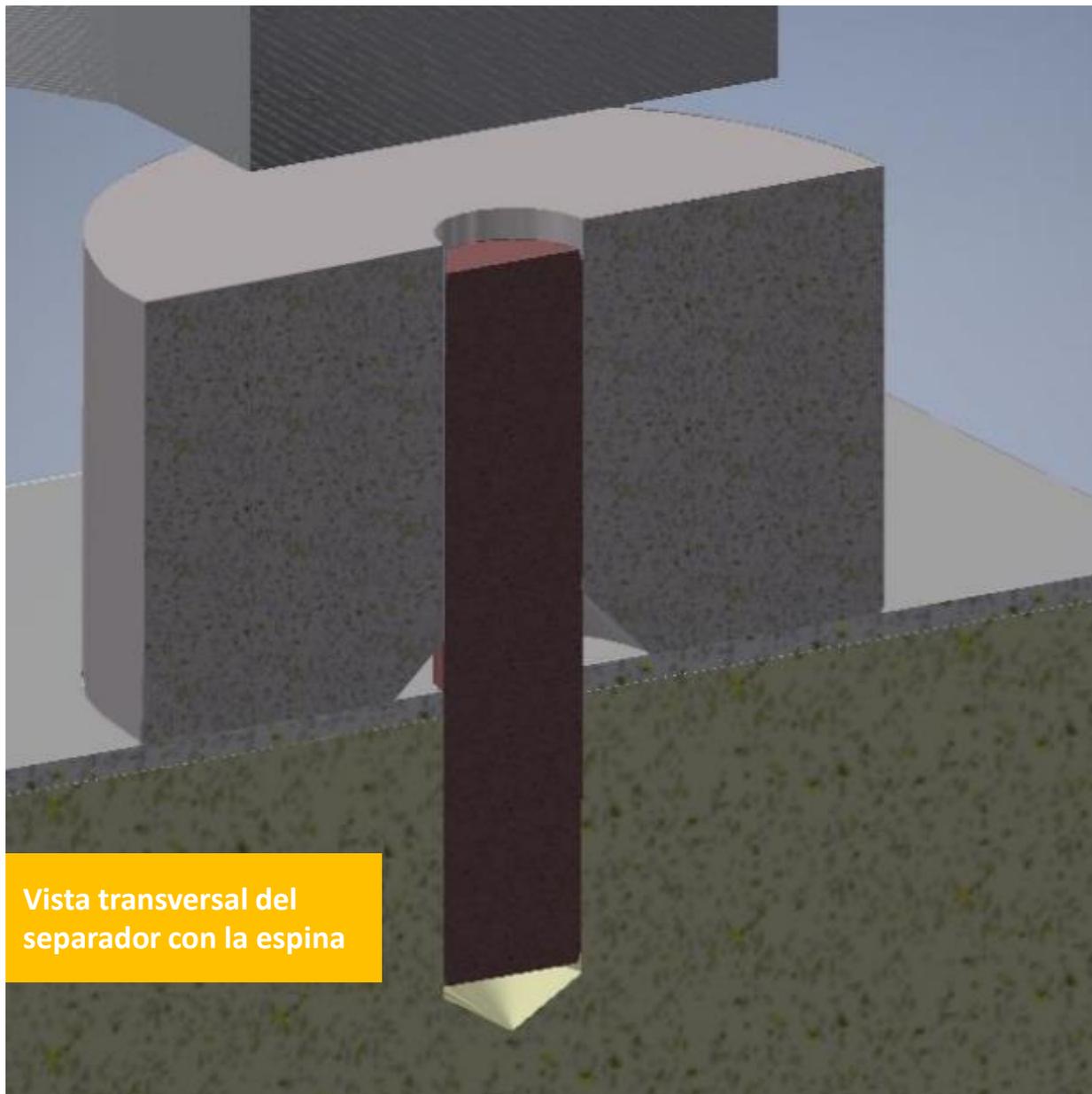
Mock up del separador



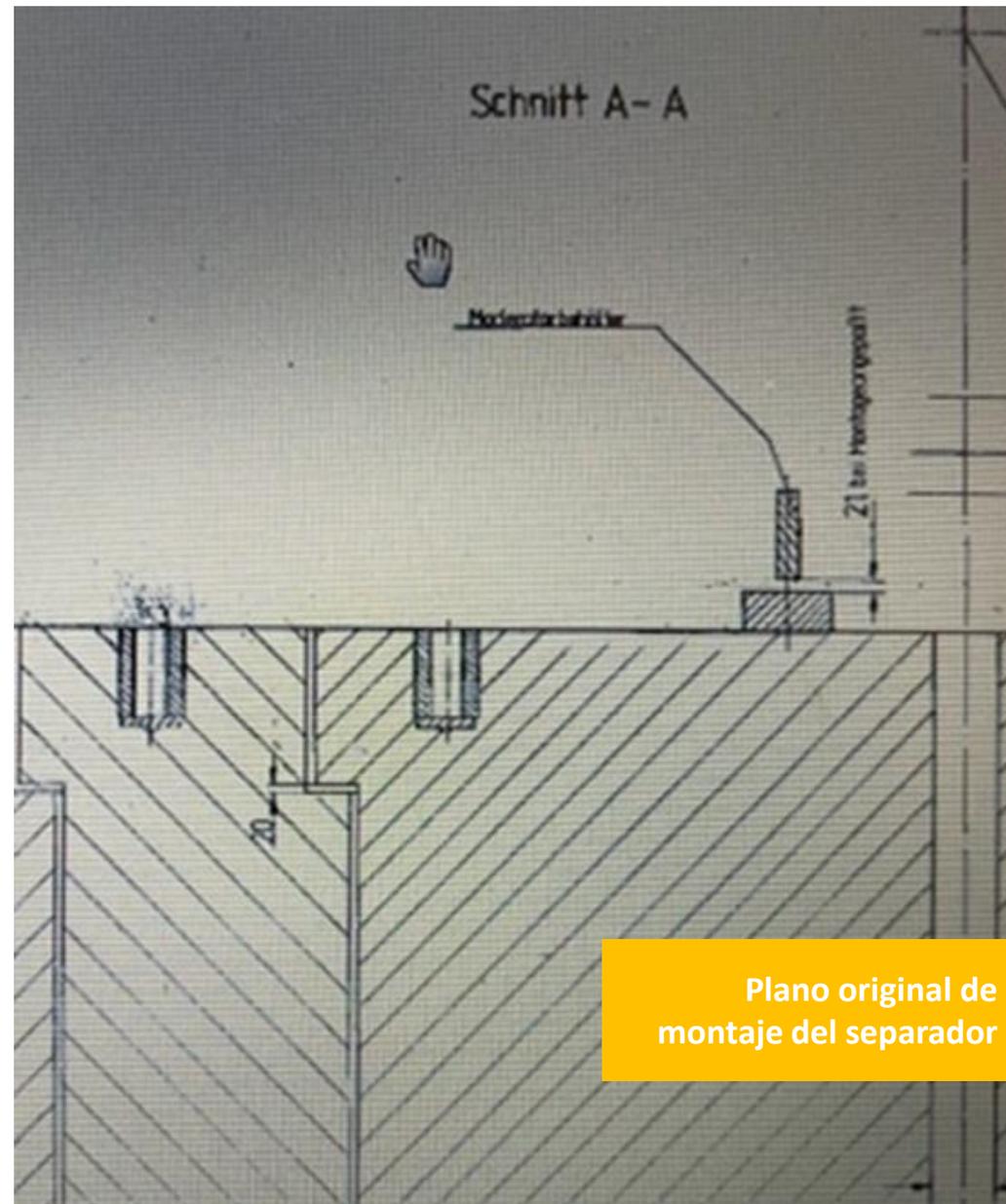
Recreación de la obstrucción con pleno flujo de agua



Pieza encontrada en posición vertical sobre el fondo del reactor



Vista transversal del separador con la espina



Plano original de montaje del separador



# La reparación

Principales tareas y opciones tecnológicas disponibles

# Inconveniente 2022

## Evaluación de las alternativas de reparación

**Decisión primaria: extraer del fondo del reactor el separador desprendido**

- **Alternativa del diseño original:** desarmar el reactor para la intervención directa en la zona afectada y volver a armarlo tras finalizar la reparación.
  - Tiempo estimado: +5 años
  - Costo directo estimado: USD 900 MM (USD 440 MM 1988 CNA I)
  - Costo indirecto por energía no generada: + USD 2.000 MM
  - Toneladas de piezas a remover: + 900 toneladas
- **Alternativa adoptada por NA-SA:** Realizar la reparación desde la tapa del reactor a través de los orificios de los canales de combustible.

## Tareas de la reparación

### Fases iniciales del proyecto

#### Para el separador desprendido:

- Cortar el separador para poder extraerlo.
- Tratar de extraer la espina partida, o fijarla por algún método.

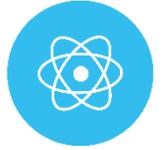
#### Para los otros tres separadores:

- Aumentar la fijación por soldadura.



Comparación  
tamaño de boquilla vs  
tamaño del separador

# Fases del proyecto

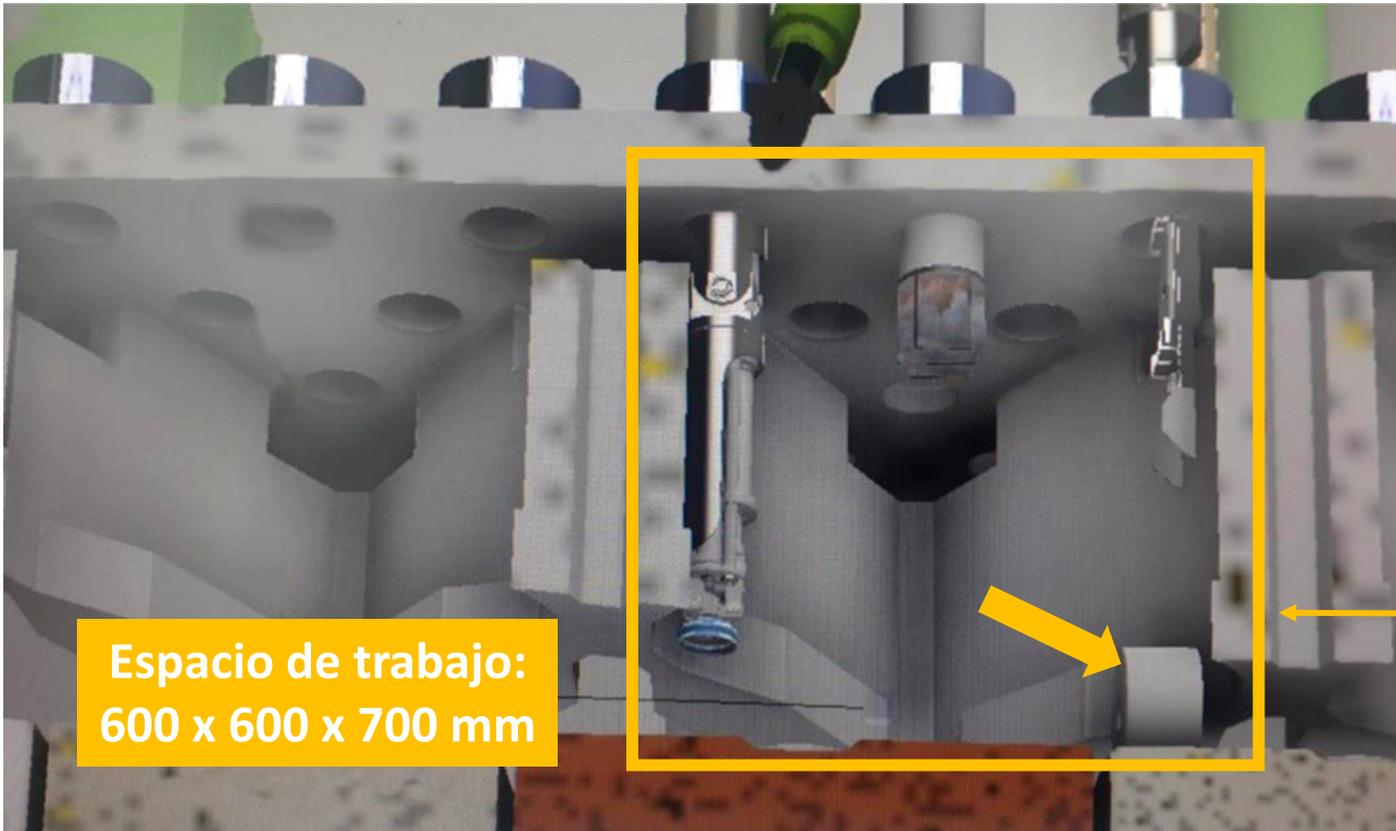


- 1) Desarrollo de la ingeniería conceptual y básica
- 2) Desarrollo de la documentación regulatoria preliminar sobre las modificaciones de la Central (MI) para la ARN
- 3) Ingeniería y Desarrollo de Herramientas/Dispositivos
- 4) Construcción de Herramientas/Dispositivos
- 5) Ingeniería y construcción de un Mockup
- 6) Validación en el Mockup de las Herramientas y Dispositivos, los procedimientos de ejecución de las tareas y el entrenamiento del personal.
- 7) Desarrollo de la documentación definitiva sobre las modificaciones de la Central (MI) para la ARN
- 8) Ejecución de los trabajos en el reactor

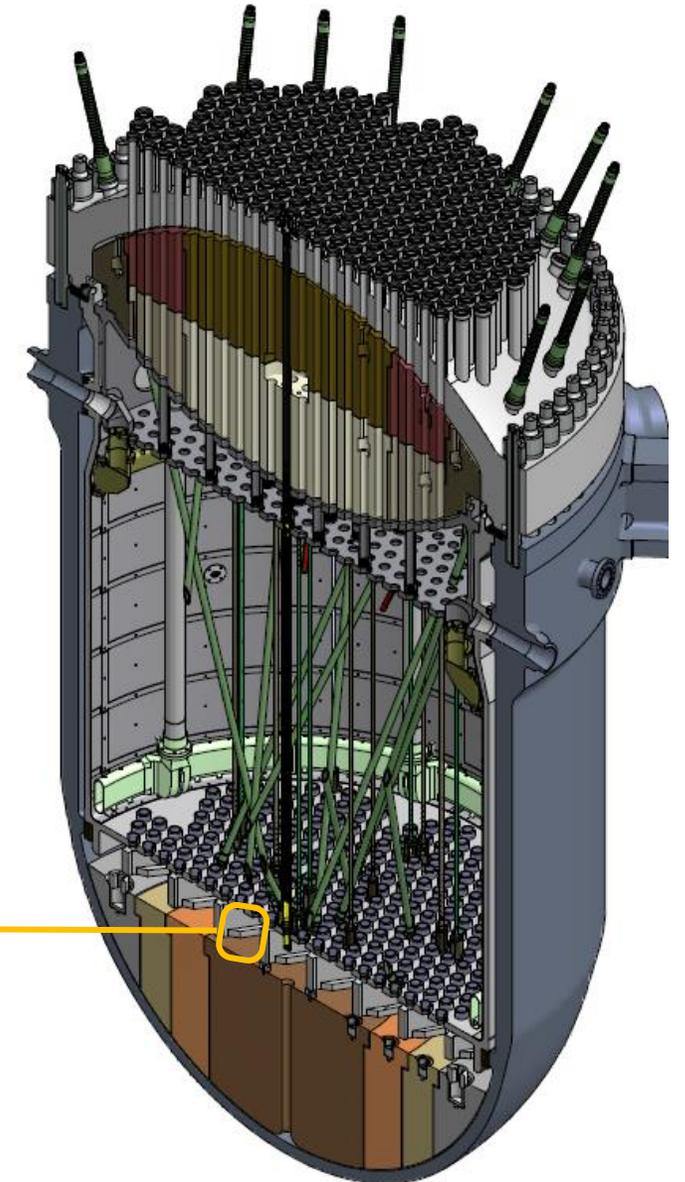
La reparación

# Posición del separador

Separador y zona de trabajo

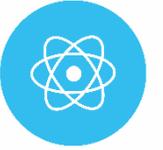


Espacio de trabajo:  
600 x 600 x 700 mm



# ¿Dónde cortar sin dañar el fondo? Mesa de trabajo

Fabricada por NA-SA

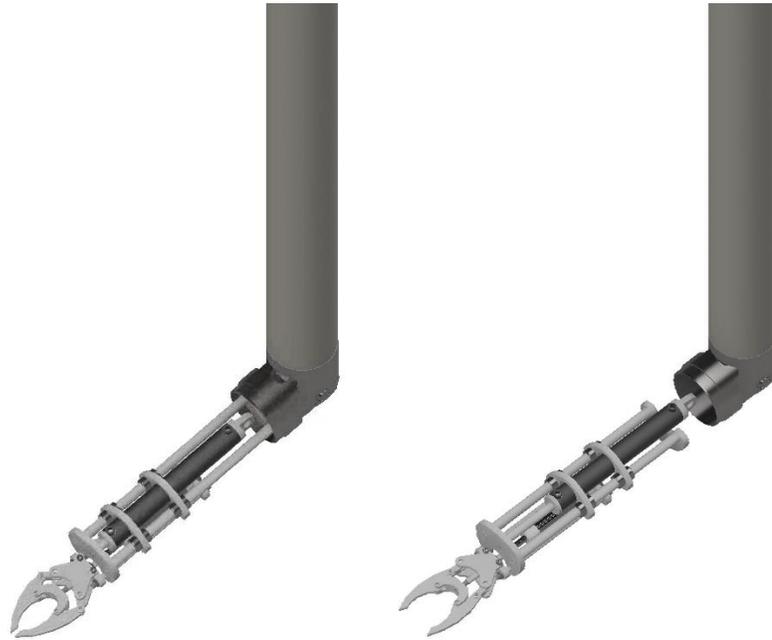


Video

# Herramientas de sujeción y manipulación

## Pinza con basculación mecánica y movimientos hidráulicos

Diseñada por NA-SA y fabricada por CONUAR



Herramienta pinza



[VIDEO] Movimiento

¿Cómo trasladar y manipular el separador?

Ventosa de alto vacío colocada en la herramienta pinza

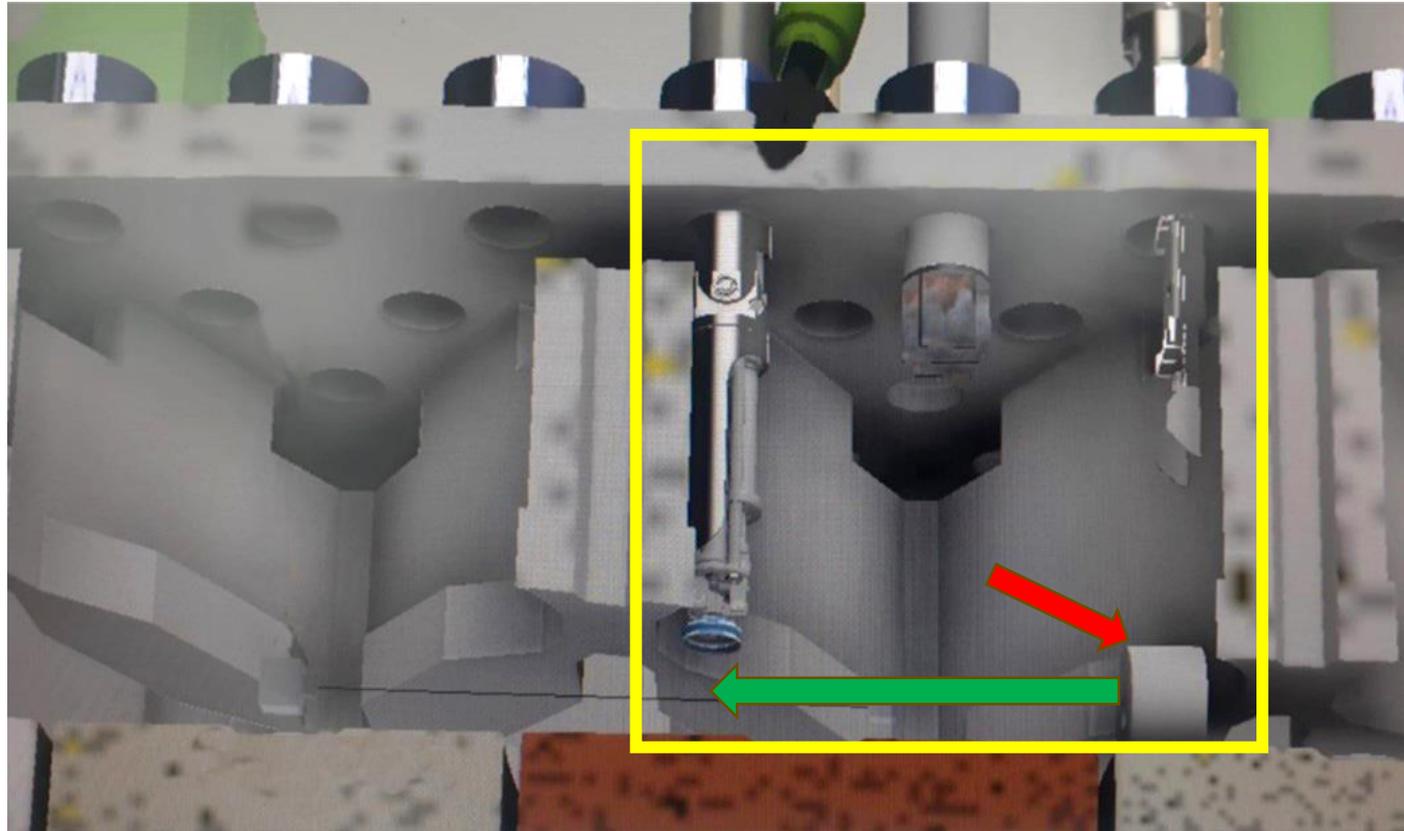
Diseñada por NA-SA y fabricada por CONUAR



La reparación

# Traslado y horizontalización del separador

Zona de trabajo



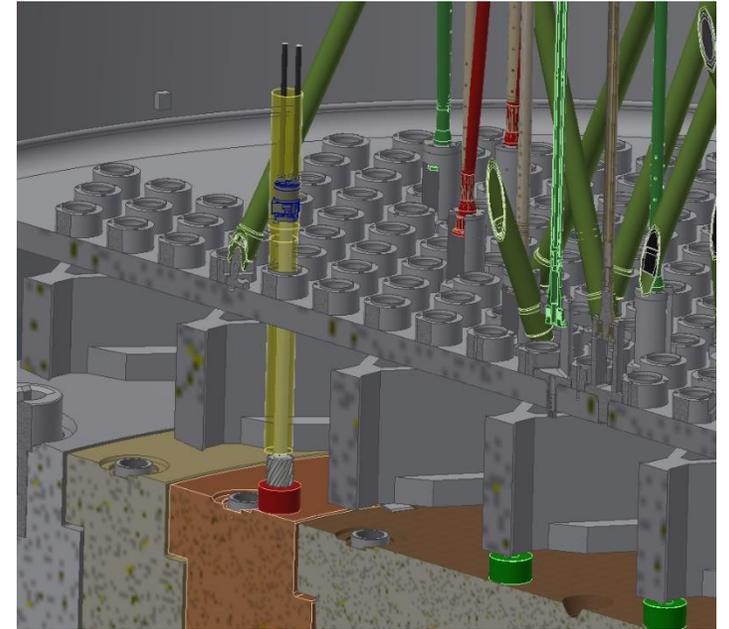
## ¿Cómo cortar?

# Método de fresado vertical con accionamiento hidráulico

Desarrollo de la Gerencia de Servicios para Centrales de NA-SA (GSPC).

- Opción de contingencia desarrollada por Nucleoeléctrica Argentina
- Método mecánico de corte.
- Utilización de recursos disponibles en NASA.

En contra: generación de residuos de gran tamaño.  
A favor: simplicidad



¿Cómo cortar?

## Método de fresado vertical con accionamiento hidráulico



**VIRUTA GENERADA**

# ¿Cómo cortar?

## Método de corte por electroerosión bajo agua

Diseñado por J1Pumps/NA-SA y fabricado por J1Pumps (PYME nacional)

- Electrodo aptos para zona con radiación.
- Genera residuos de  $5\mu\text{m}$  que se pueden aspirar internamente por el canal.
- Se realizan cortes progresivos.
- Electrodo de 105mm de ancho máximo.
- Tres electrodos en corte simultáneo.

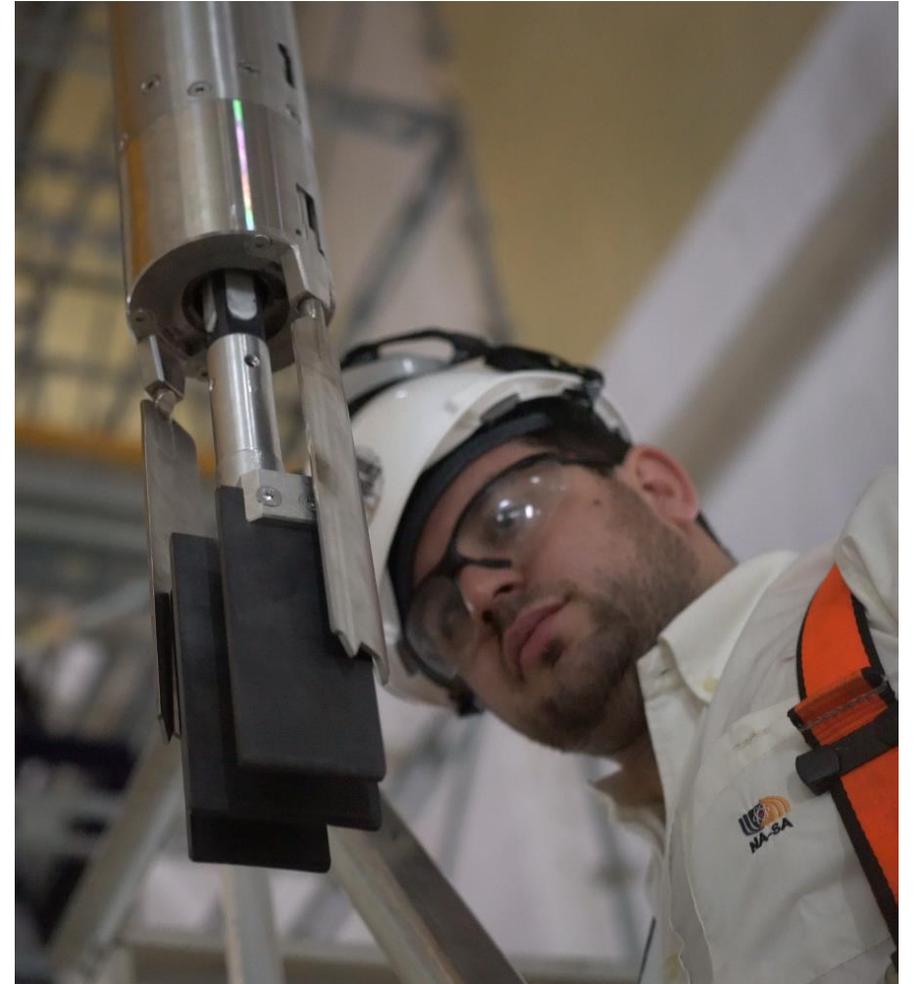


**PROTOTIPO DE CORTE POR ELECTROEROSIÓN (VIDEO)**



¿Cómo cortar?

Método de corte por electroerosión



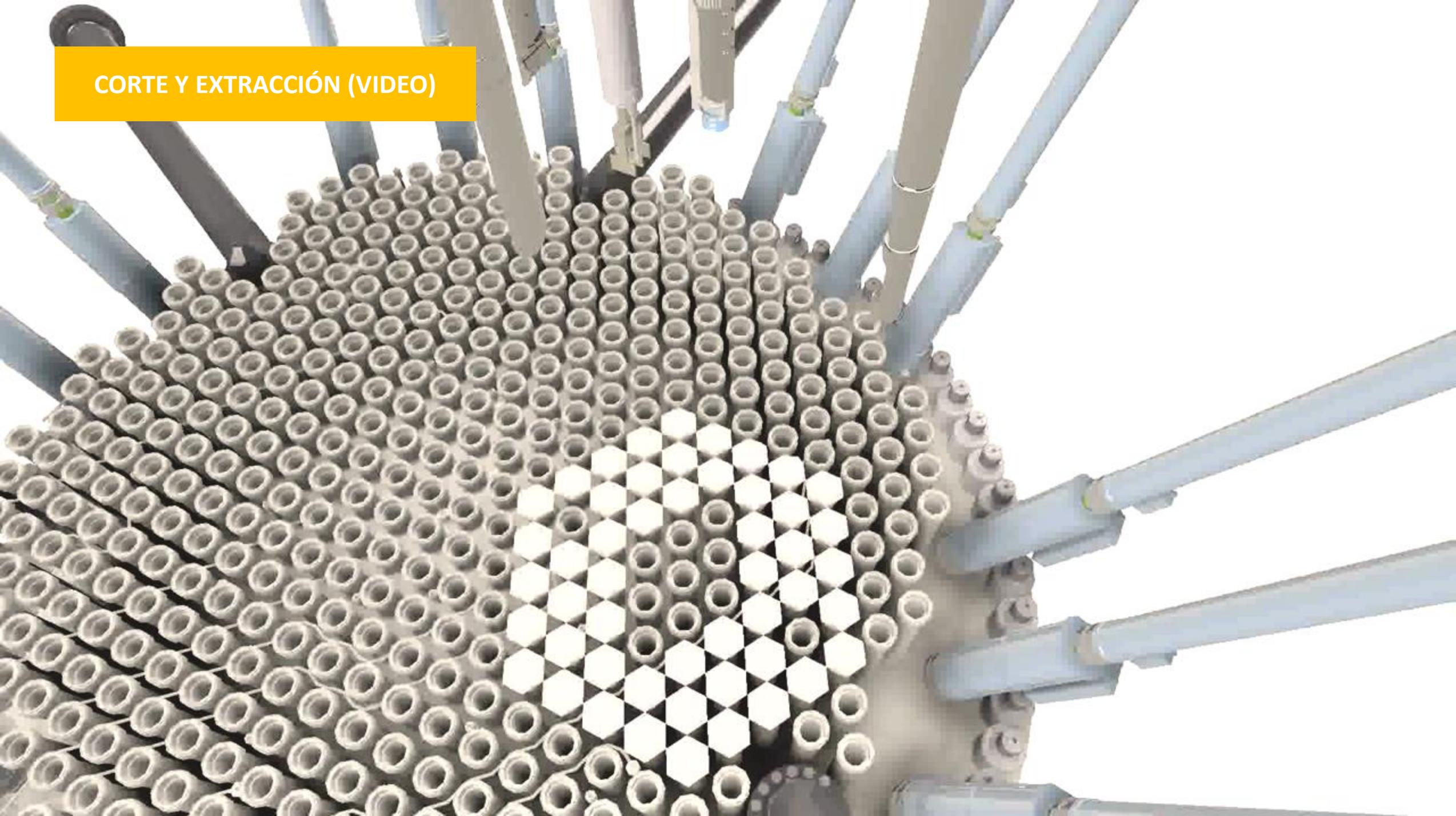
Después del corte: herramienta canasto de extracción

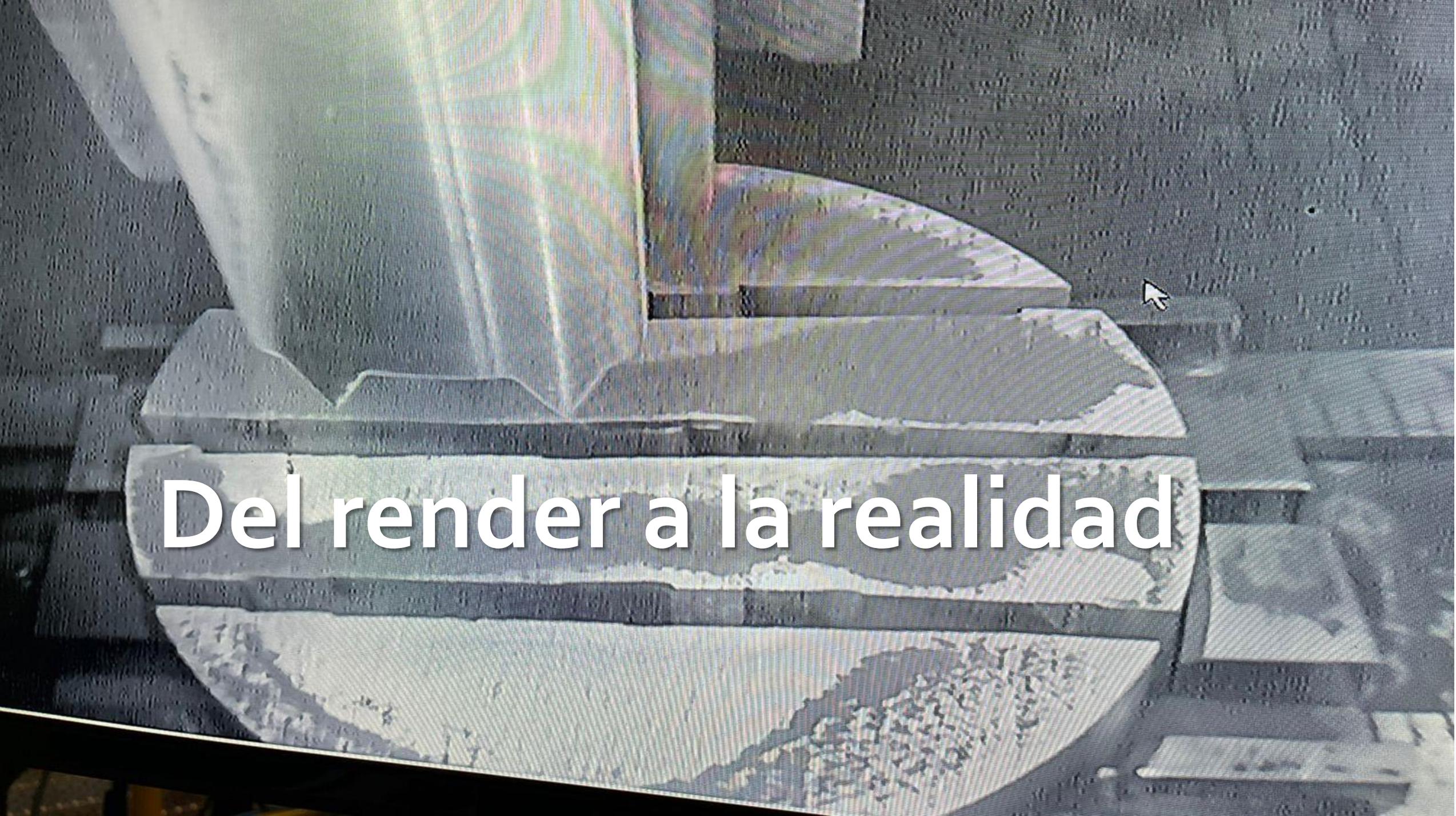
## Canasto articulado de accionamiento mecánico

Diseñada y fabricada por NA-SA



CORTE Y EXTRACCIÓN (VIDEO)



A 3D rendered scene of a stone staircase. The stairs are made of rectangular blocks with a textured, slightly weathered surface. A mouse cursor is visible on the right side, pointing towards the stairs. The background is a dark, textured wall. The overall scene is rendered in a realistic style with some visible artifacts like a rainbow-like shimmer on the top edge of the stairs.

**Del render a la realidad**



# Reparación (MI 01/23)

Corte y extracción del separador desprendido

# Una reparación posible gracias a las capacidades de todo el Sector Nuclear Argentino

## Nucleoeléctrica Argentina

Participaron todos los sectores y todo el talento de NA-SA, bajo la dirección del Ing. Diego Garde:

- Gerenciamiento del proyecto
- Ingeniería conceptual, básica y de detalle
- Diseño y desarrollo de herramientas
- Diseño, fabricación y construcción del mock up
- Revisión independiente de ingeniería (CNE)
- Desarrollo de procedimientos y documentación (MI)
- Entrenamiento del personal para la realización completa de todas las tareas
- Ejecución de las tareas de intervención en el reactor
- Compras y contrataciones con la cadena de proveedores de NA-SA
- Aseguramiento y Control de Calidad en los distintos procesos y actividades

# Una reparación posible gracias a las capacidades de todo el Sector Nuclear Argentino

## CNEA

- Ensayos en el Circuito Experimental de Baja Presión (CEBP CAC) para simulación de condiciones de restricción de flujo.
- Evaluación de métodos para extracción de la espina cortada.
- Análisis metalográfico de cordones de soldadura realizados bajo agua.
- Caracterización de los residuos de corte por electroerosión (Laboratorios de CNEA)
- Ensayos de ciclos de tracción sobre probetas de soldadura tipo “lap-joint”
- Ciclado térmico en hornos (MUFLA) de una prueba de soldadura de un separador al plenum inferior del reactor (Laboratorio CNEA en predio CAREM)
- Ensayos en el Circuito Experimental de Alta Presión (CEAP Ezeiza) para ciclado térmico de cordones de soldadura.

# Una reparación posible gracias a las capacidades de todo el Sector Nuclear Argentino

## CONUAR

Desarrollo de herramientas controladas remotamente para la intervención en el reactor:

- Fabricación de herramientas de agarre (pinza) y de manipulación por vacío (ventosa)
  - Dispositivos articulados con movimientos mecánicos e hidráulicos
  - Panel de control remoto
- Fabricación de herramienta de soldadura
  - Actuadores hidráulicos, neumáticos y mecánicos
  - Cabezal de soldadura
  - Columna para guiar el acceso a líneas de suministro hidráulicas, neumáticas, suministro de metal de aporte y de gas.
  - Panel de control remoto

# Una reparación posible gracias a las capacidades de todo el Sector Nuclear Argentino

## J1Pumps

- Desarrollo del dispositivo de corte por electroerosión, desde el prototipo hasta la herramienta operativa.
- Diseño e ingeniería del sistema de potencia y comando.
- Asistencia permanente para la puesta a punto de la herramienta durante las pruebas, entrenamiento e intervención.

# Una reparación posible gracias a las capacidades de todo el Sector Nuclear Argentino

## W&A Soldadura e Ingeniería

- Desarrollo del método de soldadura bajo agua.
- Desarrollo y construcción del prototipo de soldadura bajo agua.
- Calificación del procedimiento subacuático.
- Participación permanente, junto a CONUAR y NA-SA, en la puesta a punto de la herramienta durante las pruebas, entrenamientos e intervención.

**PROTOTIPO DE SOLDADURA  
BAJO AGUA (VIDEO)**



# Tratamiento Regulatorio

- El 03/03/2023, ARN comunicó a NA-SA los requisitos de documentación para las Modificaciones a la Instalación (MI).
- Se elaboraron y enviaron más de 35 informes técnicos (evaluaciones de ingeniería y seguridad) a fin de demostrar que el proyecto no afectaba la seguridad de la CNAII.

## 1) MI 01/23: extracción separador Tanque del Moderador / cuerpo de relleno desprendido

- 14 informes técnicos presentados por NA-SA
- Foco: demostración de la seguridad de la instalación post modificación y acciones mitigantes, como la remoción de residuos.
- **Autorizado por ARN el 15/06/23**

## 2) MI 02/23: fijación adicional separadores tanque del moderador-cuerpo de relleno

- 23 informes técnicos presentados por NA-SA
- Foco: demostración de la seguridad de la instalación, diseño mecánico de la unión, procesos de calificación metalúrgica de la soldadura y operatoria de fijación de los citados separadores.
- **Autorizado por ARN el 03/08/23**

## 3) El 28/08/2023, tras verificar que las modificaciones han sido ejecutadas de la forma propuesta y que se ha cumplido con los requisitos regulatorios establecidos, la ARN autorizó el arranque de la central.



# Mock up

Entrenamiento del personal y prueba de herramientas  
y procesos de reparación

Entrenamiento del personal y prueba de herramientas y procesos de reparación

## Construcción del Mock up

- Representación en escala 1:1 de la zona de intervención en el reactor.
- Recreación de condiciones mecánicas, térmicas y químicas para entrenamiento de operadores.
- Diseñado y fabricado íntegramente por NASA.

Entrenamiento y puesta a punto de herramientas y procesos



**CONSTRUCCIÓN Y ENTRENAMIENTO  
EN MOCK-UP**



# Intervención en el reactor

Corte y extracción del separador

Extracción de la espina cortada

**TAREAS DE CORTE Y EXTRACCIÓN  
(LIVE FOOTAGE)**

# Retiro de la espina cortada

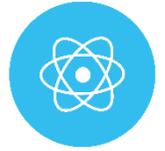
Uso de ventosa de alto vacío y menor diámetro



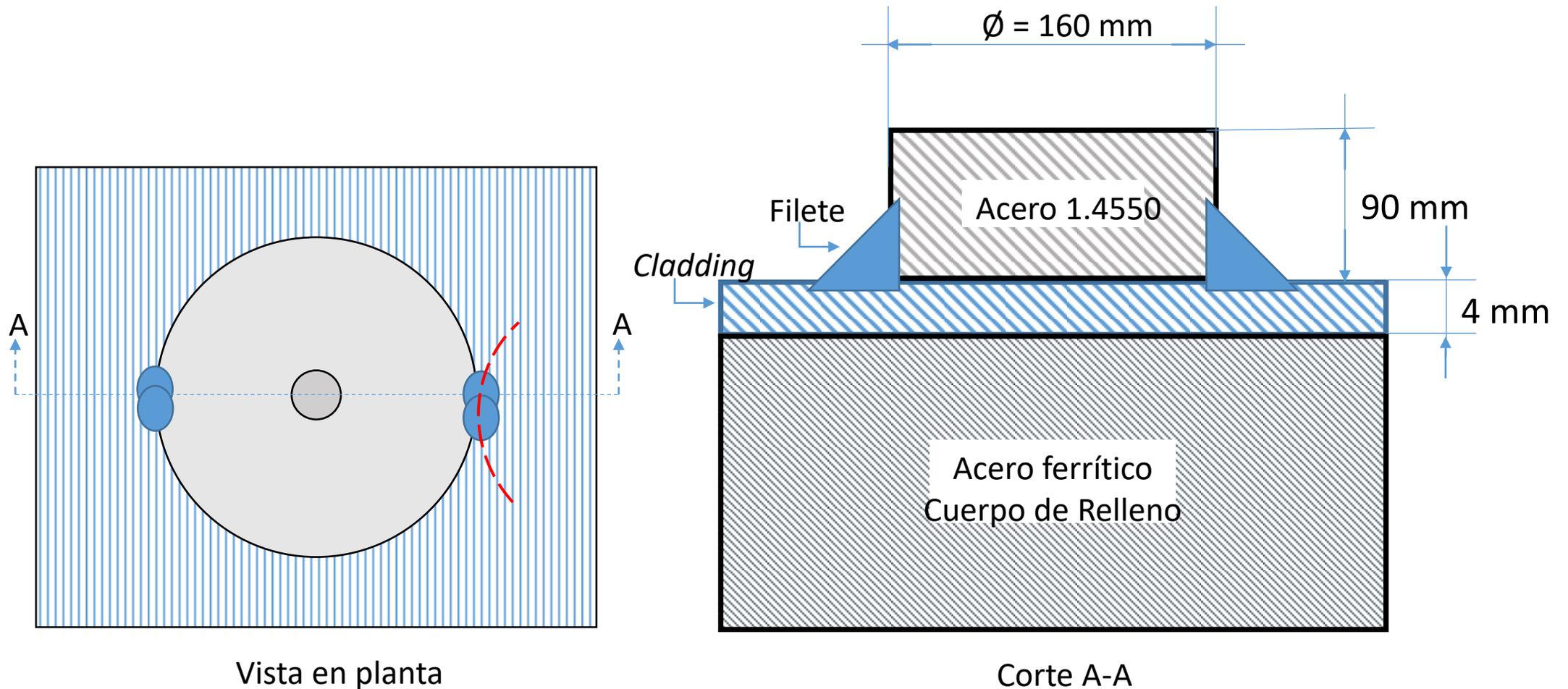


# Mejora al diseño (MI 02/23)

Sujeción de los otros tres separadores



# Esquema de la soldadura propuesta



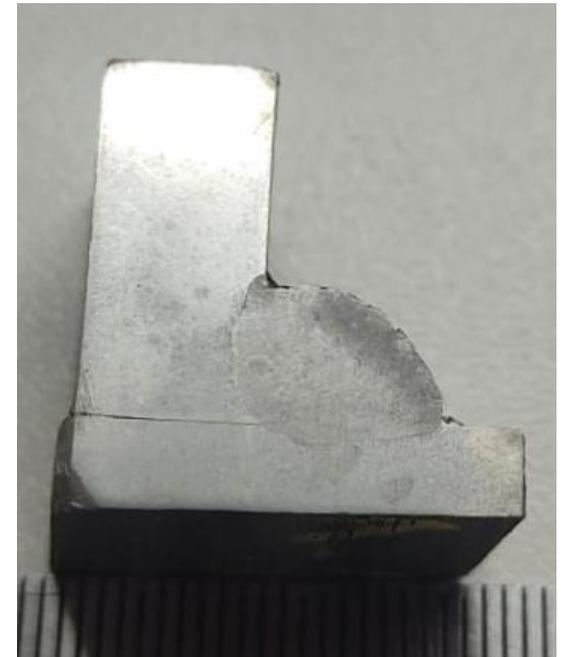
Mejora de diseño

## Sujeción de otros separadores

### Desarrollo de herramienta para soldadura bajo agua

- Proceso de soldadura por arco eléctrico con núcleo fundente.
- Utiliza un alambre tubular tipo autoprotegido
- Se genera una atmósfera protectora en la zona a soldar
- No hay necesidad de aporte de gas externo.

Trabajo con proveedor local (W&A)  
en el desarrollo de la herramienta.



**SOLDADURA (LIVE FOOTAGE)**

## Etapas del proyecto. Inicio el 22/10/2022

1) Diagnóstico del desperfecto y decisión sobre la reparación .....	22/10/22 al 15/12/22
2) Diseño, desarrollo y construcción de herramientas, dispositivos y mock up .....	15/12/22 al 10/04/23
3) Ensayo en mock up y modificaciones de herramientas y dispositivos de corte y extracción .....	10/04/23 al 25/05/2023
4) Entrenamiento en mock up de personal para corte y extracción .....	25/05/23 al 15/06/23
5) Inicio de tareas en el reactor .....	01/07/2023
6) Corte y extracción del separador .....	01/07/23 al 16/07/23
7) Ensayo de herramienta y entrenamiento de personal en mock up para soldadura .....	17/07/23 al 31/07/23
8) Inicio de actividades de soldadura en el reactor .....	01/08/23
9) Fin de la soldadura en los otros tres separadores .....	08/08/23
10) Cierre del reactor y comienzo de tareas de puesta en marcha .....	08/08/23

Tareas de preparación fuera del reactor 80%

Tareas de intervención en el reactor 20%

A large industrial turbine, likely a gas turbine, is shown in a factory setting. The turbine is painted red and is surrounded by various pipes, walkways, and safety railings. The background shows a large industrial building with a high ceiling and a banner on the wall that reads "ENERGÍA LIMPIA PARA EL DESARROLLO" and "NASA".

**Atucha II volvió a funcionar el 28 de agosto de 2023,  
310 días después de detectado el problema**

**Costo directo: USD 8 MM equivalentes (100% en pesos)  
Costo indirecto por energía no generada: USD 450 MM**

# Muchas gracias



NUCLEOELECTRICA ARGENTINA S.A.