CONFERENCIA MUJERES EN LA CIENCIA

LABORATORIO NACIONAL DE FUSIÓN

Macarena Liniers Vázquez

División de Operación

Trayectoria profesional

Laboratorio Nacional de Fusión
Ciemat

Bachillerato- COU
1970-73

C. Físicas- Univ. Complutense
1973-78

DEA –
Semiconduct. (Montpellier)
1978-1980

Doctorado-Profesora Ayudante en la U. Complutense (Magnetismo)
1980-1987

CIEMAT- FUSIÓN
TJ-I, Formación NBI, NBI (Teoría), Fase I (EURATOM)
1988-1995

CIEMAT- FUSIÓN
NBI (Preparación), Fase II (EURATOM), Construcción, Puesta en marcha
1996-2003

CIEMAT- FUSIÓN
Operación NBI#1, Puesta en marcha NBI#2, Tareas EFDA
2004-2011

CIEMAT- FUSIÓN
Operación NBI#1 y NBI#2
Desarrollo diagnósticos
Comités Internacionales
2012-2019

Trayectoria profesional

Laboratorio Nacional de Fusión
Ciemat

Bachillerato- COU
1970-73

C. Físicas- Univ. Complutense
1973-78

DEA – Semiconduct. (Montpellier)
1978-1980

Doctorado-Profesora Ayudante en la U. Complutense (Magnetismo)
1980-1987

Bachillerato: el concepto de Energía

COU: la Cosmología

Física Fundamental: las dos fronteras

Física-Filosofía
Física-Tecnología

Departamento de Magnetismo: Tesis Doctoral

El trabajo científico
La Investigación pública

Trayectoria profesional

Laboratorio Nacional de Fusión
Ciemat

CIEMAT- FUSIÓN
TJ-I, Formación NBI, NBI (Teoría),
Fase I (EURATOM)
1988-1995

CIEMAT- FUSIÓN
NBI (Preparación), Fase II (EURATOM),
Construcción, Puesta en marcha
1996-2003

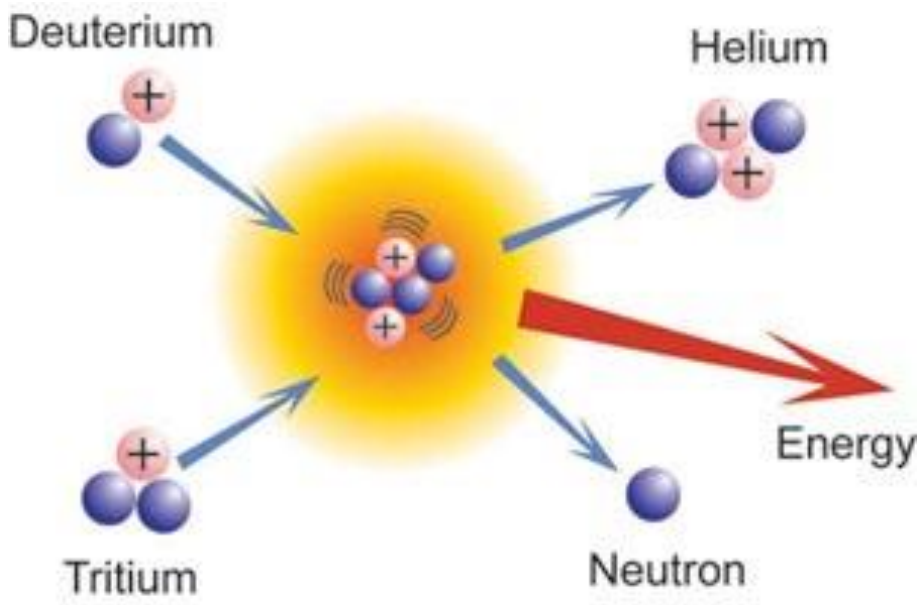
CIEMAT- FUSIÓN
Operación NBI#1, Puesta en marcha
NBI#2, Tareas EFDA
2004-2011

CIEMAT- FUSIÓN
Operación NBI#1 y NBI#2
Desarrollo diagnósticos
Comités Internacionales
2012-2019

La atracción de la Fusión en CIEMAT:

Proyecto con proyección social: el problema de la Energía
Proyecto moderno e integrado en un programa europeo: EURATOM
Grupo heterogéneo: físicos teóricos y experimentales, ingenieros, técnicos
Proyecto propio: TJ-II necesitaba NBI

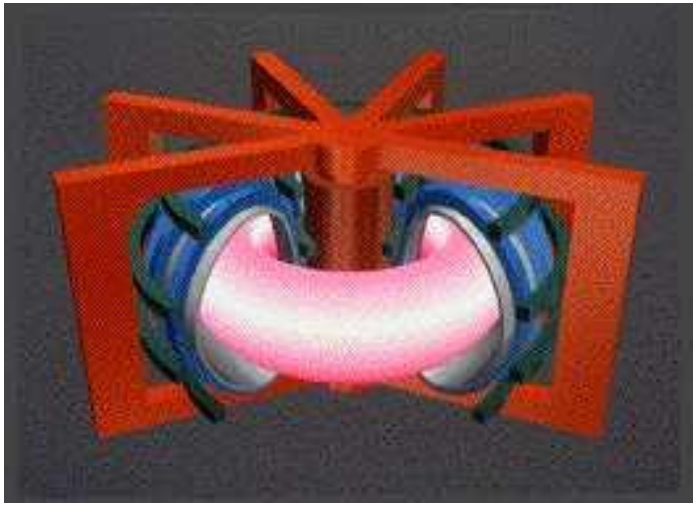
Fusión termonuclear= Energía de las Estrellas

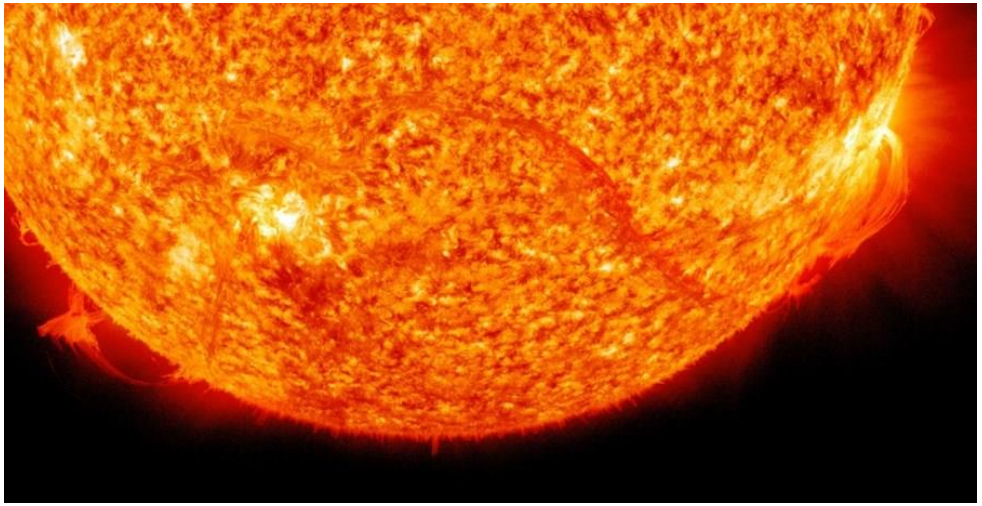


$\Delta E = \Delta m . c^2$

$D + T \rightarrow He + n + 17.6\ MeV$

Fusión termonuclear= Energía de las Estrellas





Fusión en Laboratorio:

T = 150 millones de grados → **Plasma**

Densidad = $\frac{Densidad\ del\ aire}{1.000.000}$

D + T → He + n + energía

Fusión en las Estrellas:

T = 10 millones de grados

Densidad: 8 x densidad del oro

4 H→ He + energía

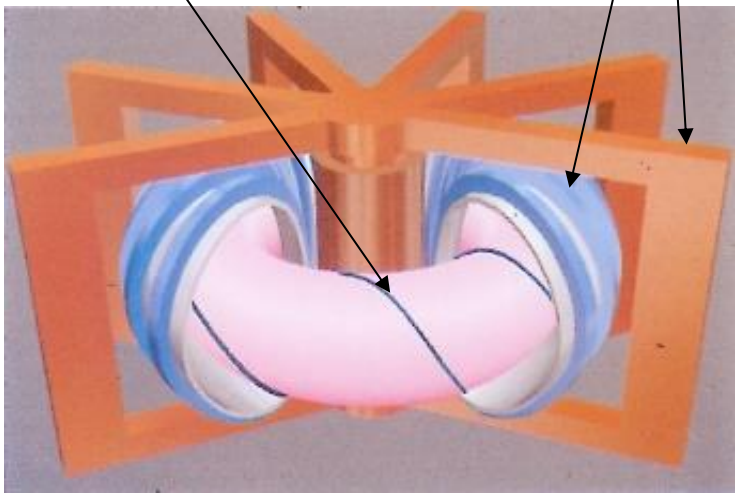
Fusión por Confinamiento Magnético: Retos

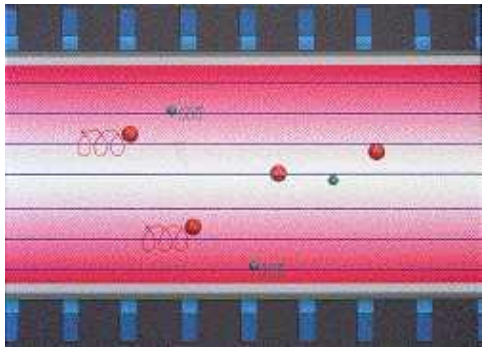
Laboratorio Nacional de Fusión Ciemat

Confinar las partículas

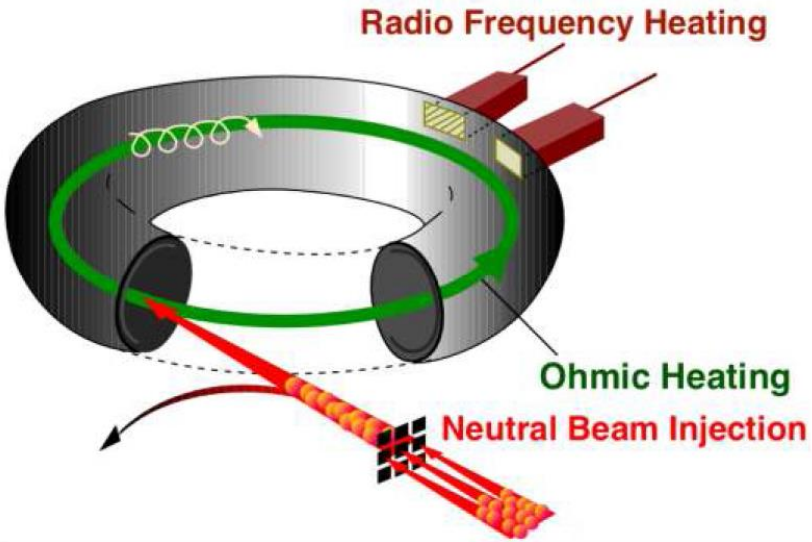
Bobinas de campo magnético

Líneas de fuerza helicoidales

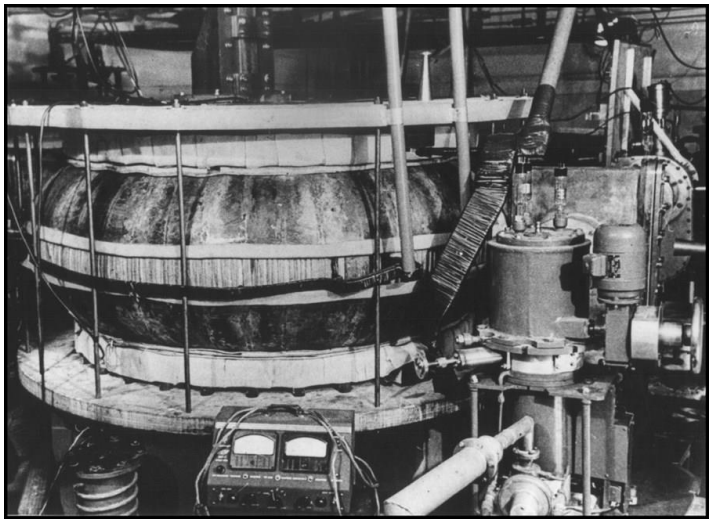




Calentar el plasma

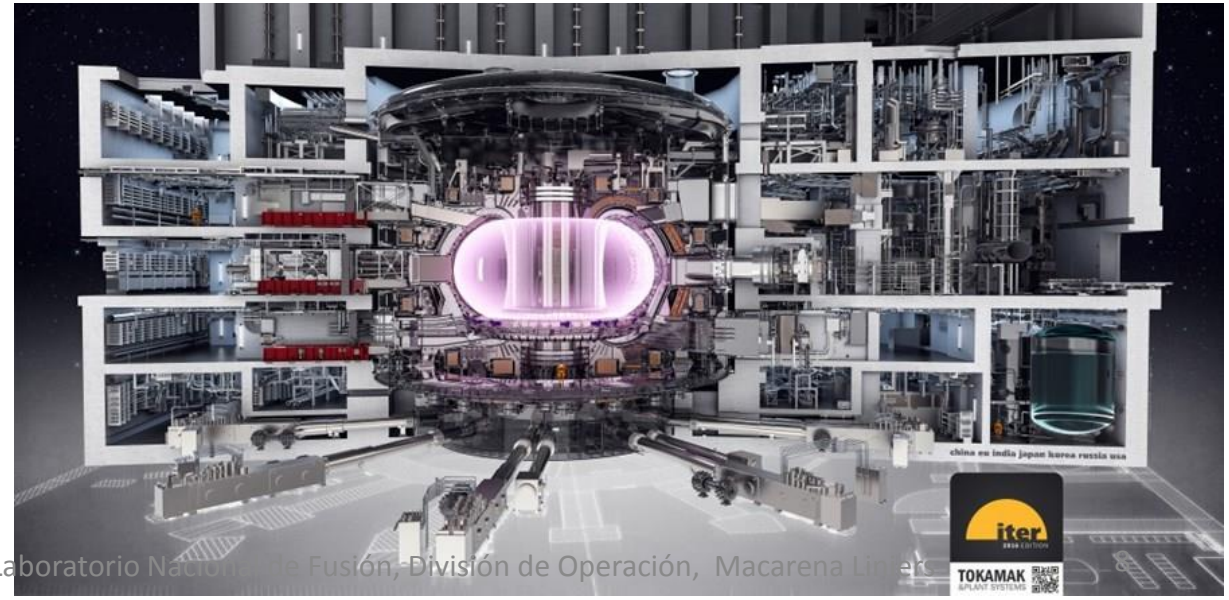


Fusión por Confinamiento Magnético: Evolución



Tokamak T1: Instituto Kurchatov, Moscú, 1958

ITER = International Tokamak Experimental Reactor
China- EU- India- Japón- Korea- Rusia- EEUU
2025-



500 MW output Power

El premio de tanto esfuerzo….

Laboratorio Nacional de Fusión
Ciemat

Fusión termonuclear: fuente de energía para la producción de electricidad

- **Limpia:**
  - -Gases de efecto invernadero: 1 gramo de Deuterio+ Tritio = 10.8 toneladas de carbón
  - -Componentes activados: almacenamiento 100 años

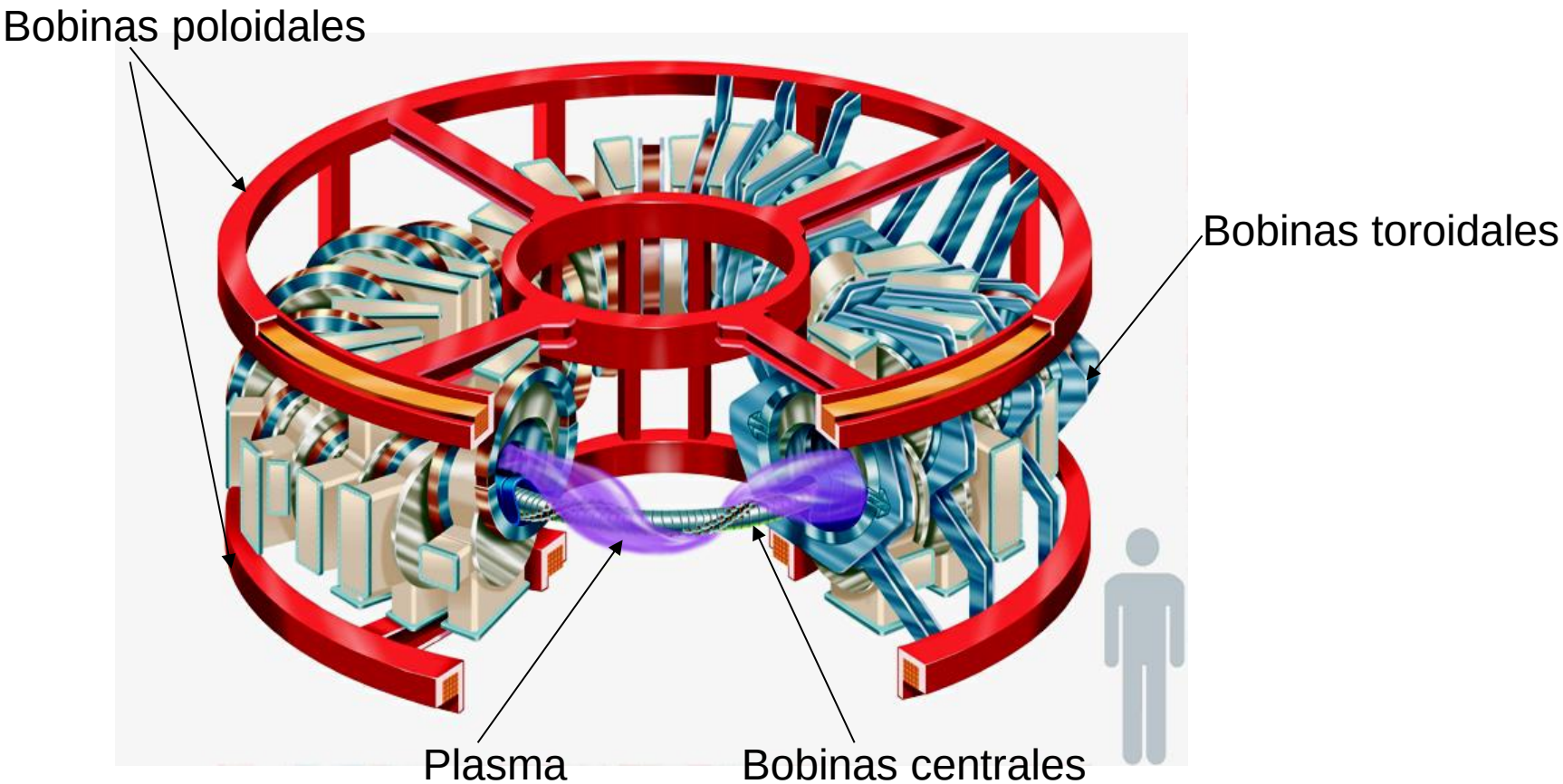
- **Segura: "Chernobyl" es imposible**

- **Inagotable:**
  - El Deuterio es abundante en el agua del mar (30 g/m3)
  - El Tritio es radiactivo, con una vida media de 12.36 años, por lo que no se encuentra en la naturaleza. Pero se produce "in situ" en las plantas de fusión a partir del Litio
  - El Litio se encuentra en grandes cantidades (30 ppm) en la corteza de la tierra y en el mar

La Fusión en CIEMAT: TJ-II

Laboratorio Nacional de Fusión
Ciemat

TJ-II es un estellarator



En operación desde 1998: ¡casi 50.000 pulsos!

Sistema NBI en TJ-II

Laboratorio Nacional de Fusión
Ciemat

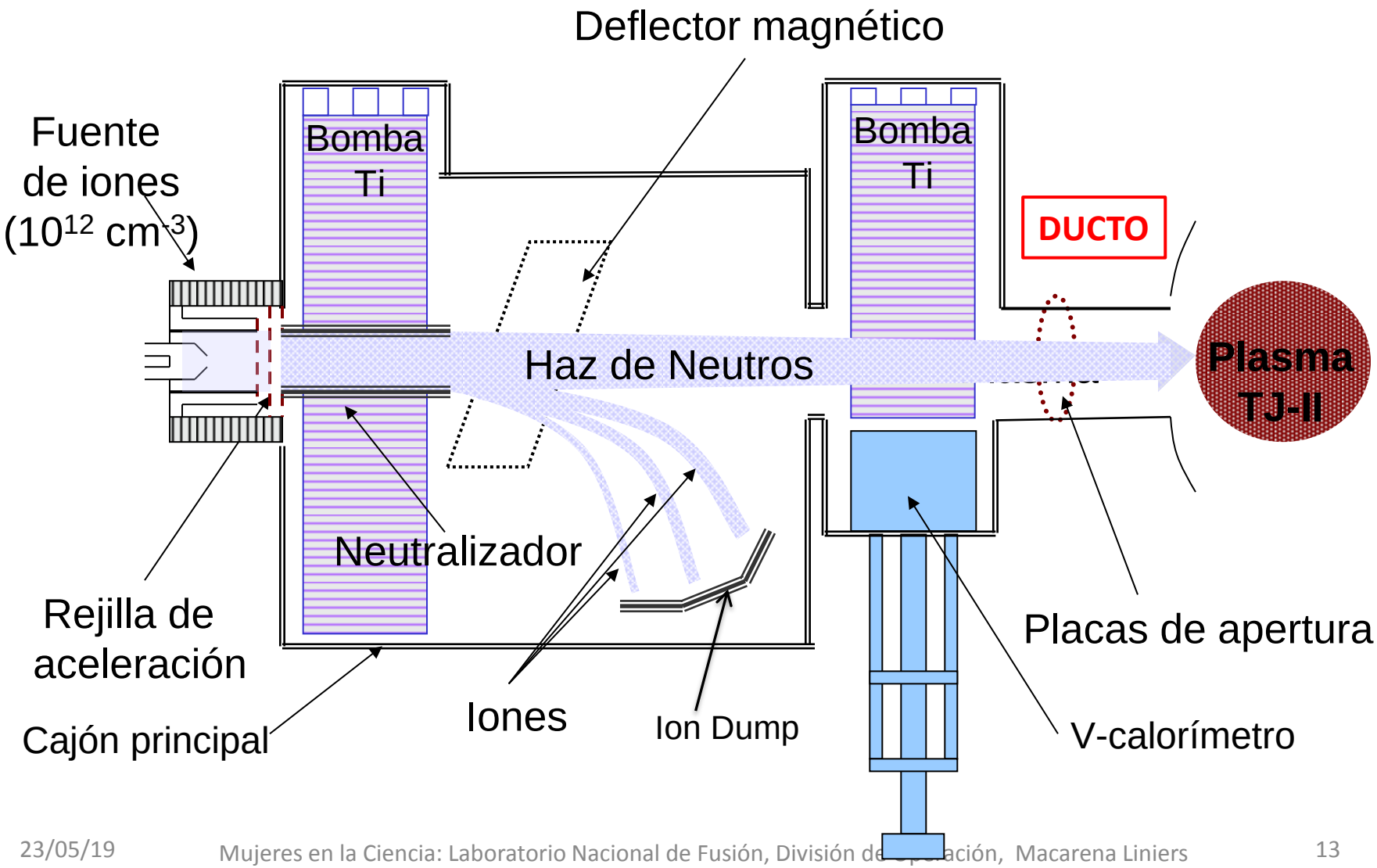
NBI= Neutral Beam Injection
2 Inyectores: Co / Counter

Miembros del Laboratorio de Fusión en torno a TJ-II en 2017

2016

Sistemas NBI

NBI en TJ-II: E= 34 keV, Potencia=0.7MW + 0.7 MW, t_{pulso}=200 ms



Laboratorio Nacional de Fusión
Ciemat

CIEMAT- FUSIÓN 1988 →1995

TJ-I: Diagnóstico NPA (Ti)
Formación NBI (IPP Garching): 1989-1990
Fase II EURATOM de TJ-II (NBI): 1989
Coordinación Grupo Ingeniería-Grupo Física: Construcción TJ-II
NBI (Teoría): códigos DENSB, FAFNER
Fase I (EURATOM): Estudios conceptuales
CCNB: Comité Europeo de NBI
[11 Artículos, 2 Tesis de Master]

CIEMAT- FUSIÓN 1996 →2003

Jefe de Unidad NBI
NBI se concreta: Inyectores de ORNL: Contrato DOE (1997, 1.6 M€)
Preparación: más simulaciones: OPTIMUS, SLAC, DENSB
Fase II (EURATOM): FINANCIACIÓN (1998, 2.1 M€)
Construcción: 1999-2003 (-2007): Ingeniería, Contratos con Empresas
Puesta en marcha: 2003 (NBI#1)- 2008 (NBI#2): lo más divertido

2003: ¡Primer HAZ NBI#1!

[23 Artículos]

CIEMAT- FUSIÓN 2004→2011

Jefe de Unidad NBI
Operación NBI- Experimentos TJ-II- Diagnósticos NBI
Construcción y Puesta en Marcha NBI#2
IP en Tareas EFDA de NBI para ITER: mucha Ingeniería
Formación del **Grupo NBI**

2008: ¡Primer HAZ NBI#2!

[37 Artículos, 1 Tesis Doctoral]

CIEMAT- FUSIÓN 2012→2019

Jefe de Unidad NBI
Grupo NBI: estabilización, estado óptimo (**NO** laboralmente)
Operación NBI- Experimentos TJ-II -
Desarrollos NBI: Termografía IR, Medidas rápidas de Presión
IP Proyectos Plan Nacional (2)
Comités Internacionales: TAP (F4E), STC (EURATOM)
[20 Artículos]

CIEMAT- FUSIÓN 1988 →1995

TJ-I: Diagnóstico NPA (Ti)

Formación NBI (IPP Garching): 1989-1990

Fase II EURATOM de TJ-II (NBI): 1989

Coordinación Grupo Ingeniería-Grupo Física: Construcción TJ-II

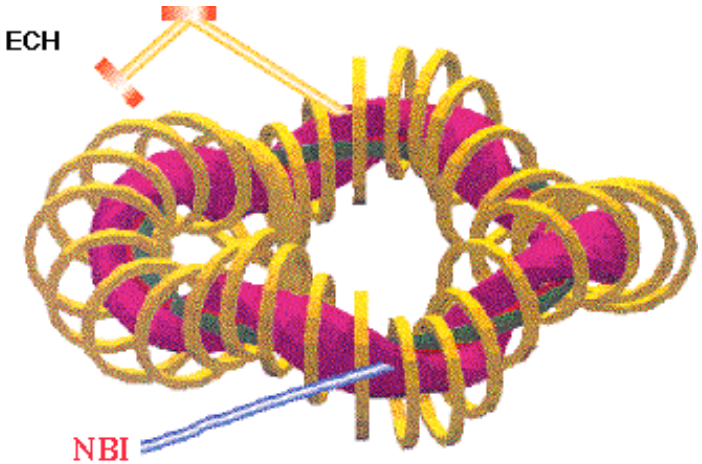
NBI (Simulaciones): códigos DENSB, FAFNER

Fase I (EURATOM): Estudios conceptuales

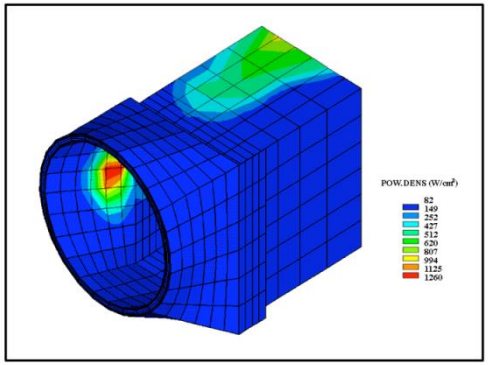
Miembro del CCNB

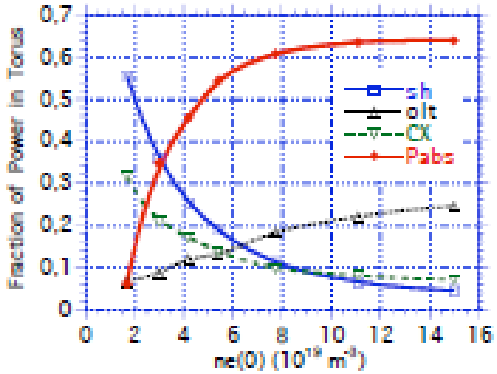
[11 Artículos, 2 Tesis de Master]

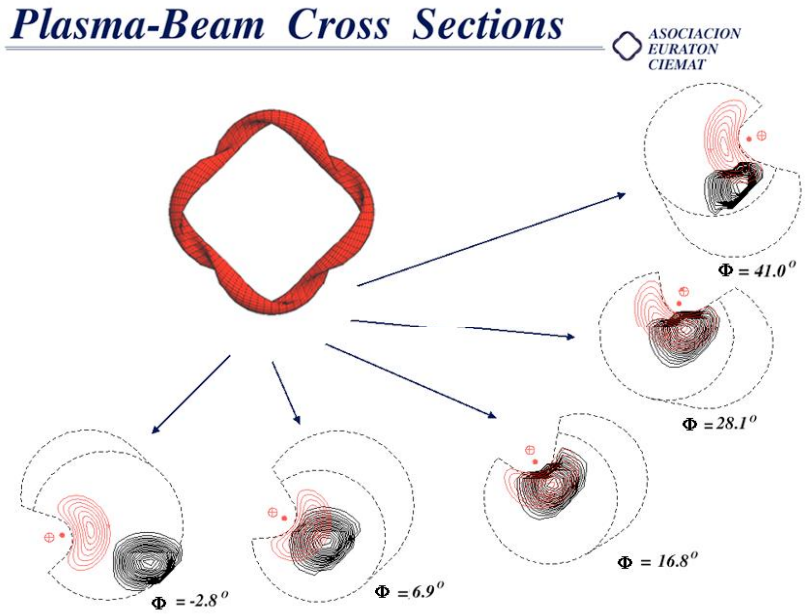
¿Puede NBI funcionar en TJ-II?



Las cargas térmicas son elevadas, pero soportables







Se puede absorber hasta un 60% de la potencia

CIEMAT- FUSIÓN 1996 → 2003

Jefe de Unidad NBI

NBI se concreta: Inyectores de ORNL: **Contrato DOE (1997, 1.6 M€)**

Preparación: más simulaciones: OPTIMUS, SLAC, DENSB

Fase II (EURATOM): FINANCIACIÓN (1997, 2.1 M€)

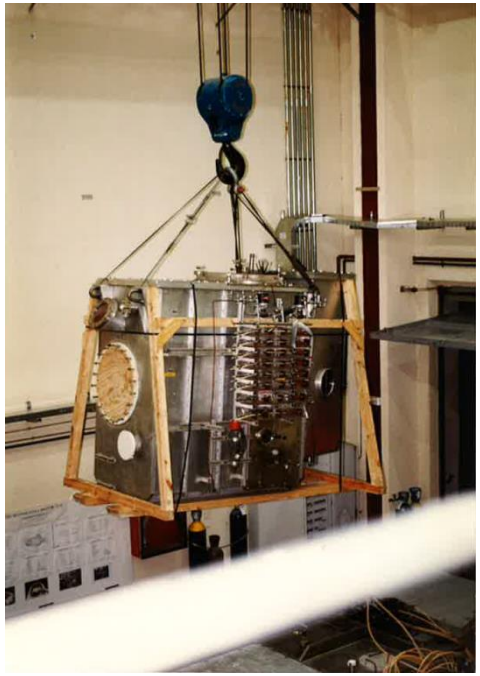
Construcción: 1999-2003 (-2007): **Ingeniería,** Contratos con Empresas

Puesta en marcha: 2002 (NBI#1)- 2008 (NBI#2): lo más divertido

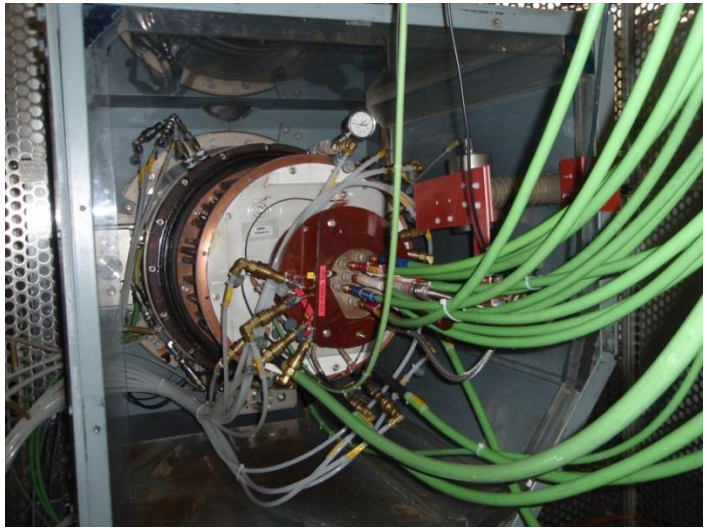
2003: ¡Primer HAZ NBI#1!

[23 Artículos]

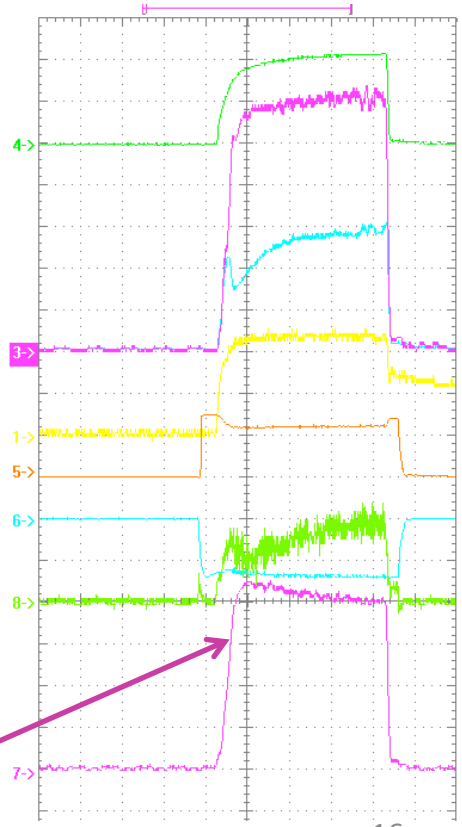
Enero 1998: llegada de los contenedores desde ORNL



Descargando en la nave de TJ-II



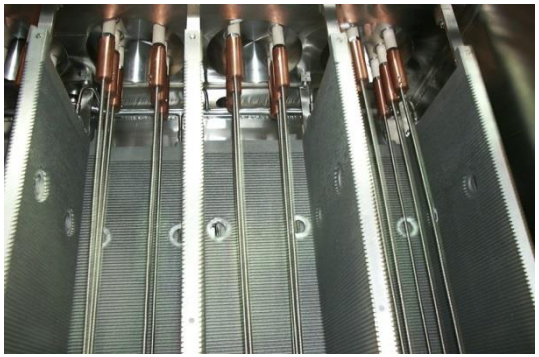
Fuente de Iones: conexiones eléctricas



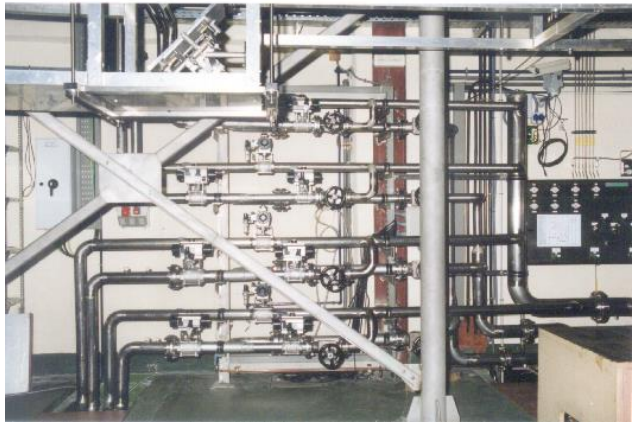
Primer Haz Inyectado: Febrero 2003

Proyecto NBI en TJ-II: mucha ingeniería, toda de Fusión

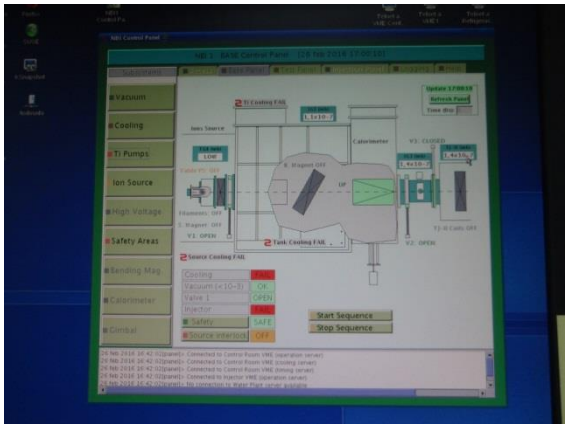
F.A.A.T.



Bombas de gettering de Titanio



Sistema de refrigeración



Sistema de Control

El proyecto NBI de TJ-II ha sido apasionante (y agotador):

-Unidad de Ingeniería de TJ-II

-Ingenieros del Grupo NBI

-Adquisición de equipos por concurso público, contratos mayores y menores….mucho trabajo de “gestión”: Unidad de apoyo de Fusión

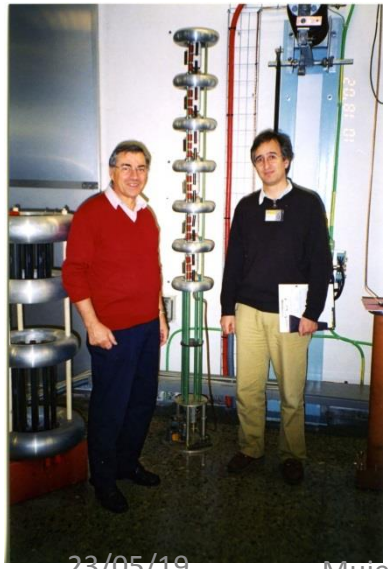
-Colaboración de otros departamentos de CIEMAT:

Tecnología
Renovables
Química
Administración
……..

Personas

Laboratorio Nacional de Fusión
Ciemat

Algunos ingenieros de la Unidad de Ingeniería



CIEMAT- FUSIÓN 2004→2011

Jefe de Unidad NBI

Operación NBI- Experimentos TJ-II- Diagnósticos NBI

Construcción y Puesta en Marcha NBI#2

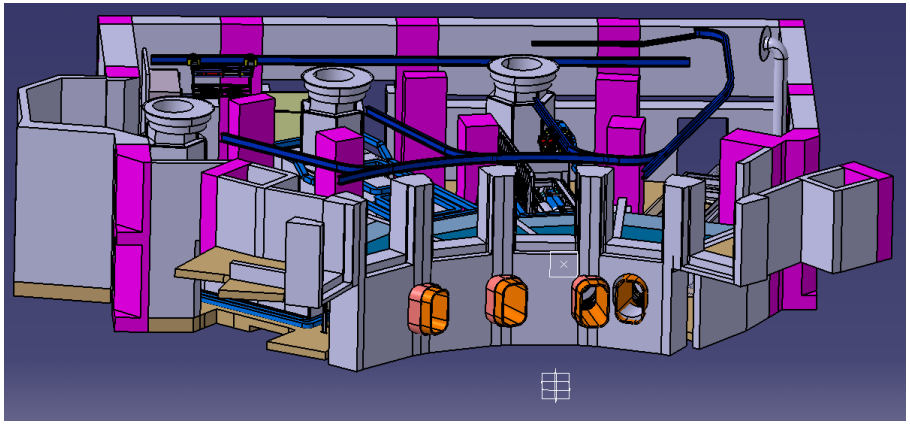
IP en **Tareas EFDA de NBI para ITER**: mucha Ingeniería

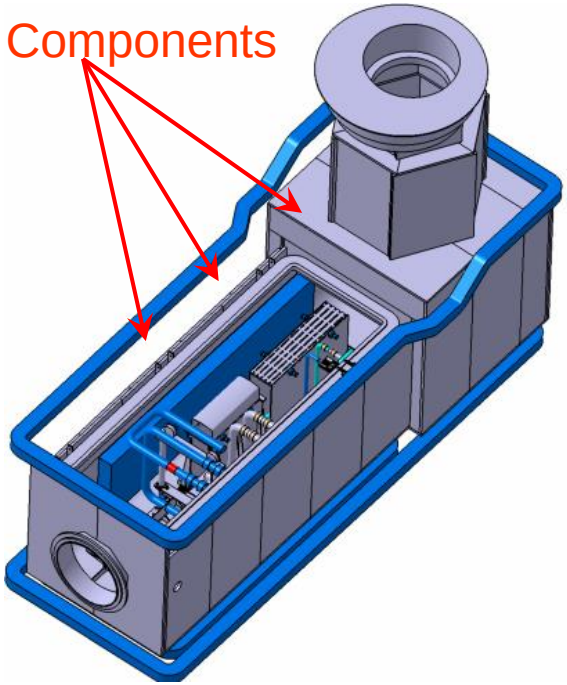
Formación del **Grupo NBI**

2008: ¡Primer HAZ NBI#2!

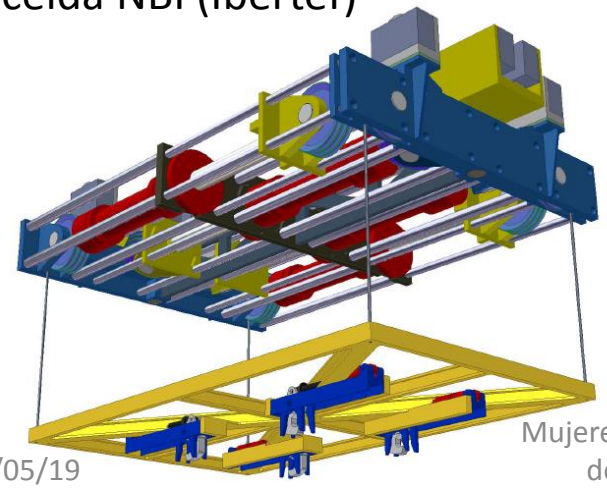
[37 Artículos, 1 Tesis Doctoral]

ITER: Mantenimiento Remoto

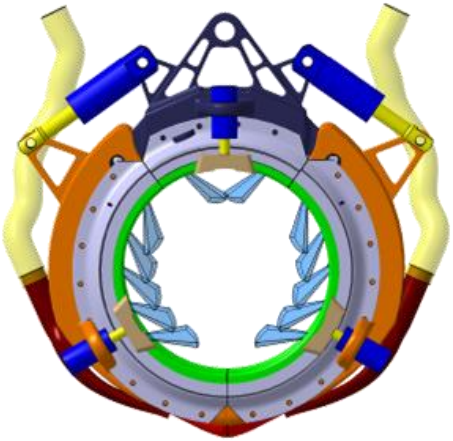




Grúa para el mantenimiento remoto en la celda NBI (Ibertef)

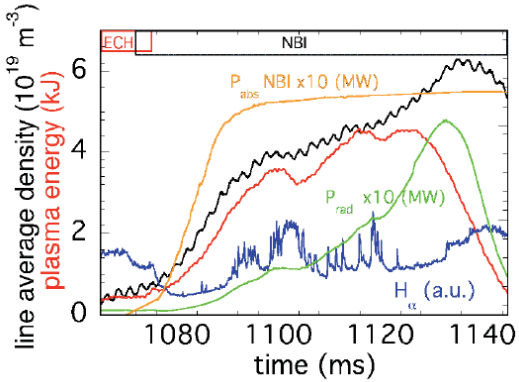


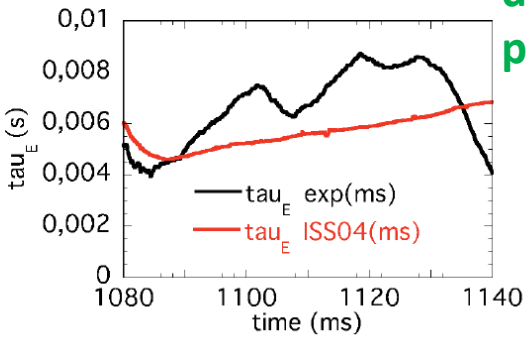
Operación remota de corte y soldadura de tuberías (Tecnatom)



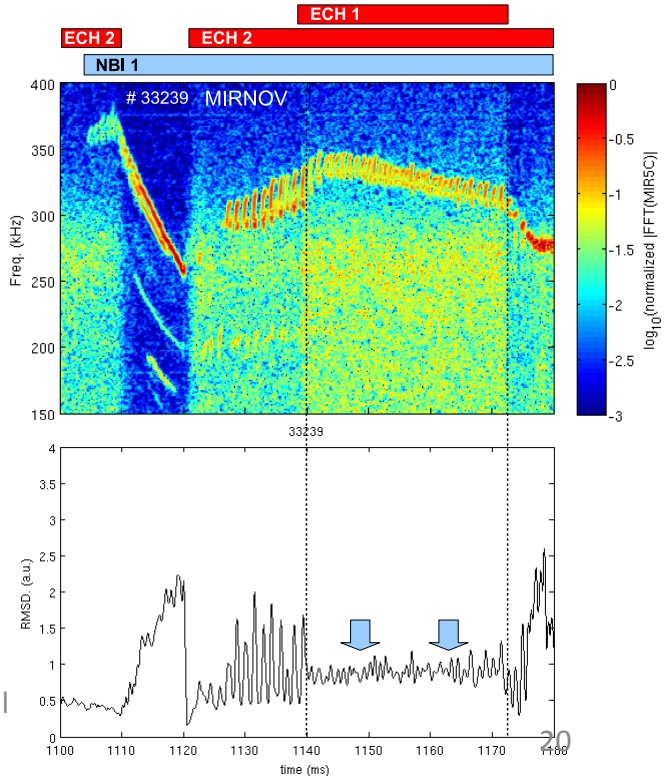
CIEMAT- FUSIÓN 2012→2019

Jefe de Unidad NBI
Operación NBI- **Experimentos TJ-II -**
Desarrollos NBI: **Termografía IR**, Medidas rápidas de Presión
Grupo NBI: estabilización, estado óptimo (**NO** laboralmente)
IP Proyectos Plan Nacional (2)
Comités Internacionales: TAP (F4E), STC (EURATOM)
[20 Artículos]





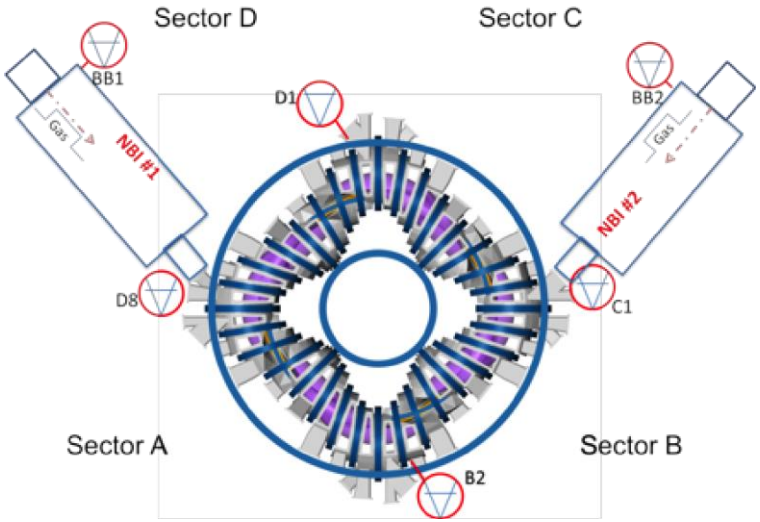
Se estudian las transiciones de confinamiento L-H en los plasmas NBI



Se estudian las inestabilidades conocidas como modos "Alfvèn", generadas por los iones rápidos de NBI.
Este estudio es relevante para predecir el comportamiento de las partículas α en un reactor de fusión

NBI en TJ-II: Balance de Energía y Partículas

Medidas rápidas de presión (FIG=Fast Ion Gauge) → Estimación del caudal de gas re-emitido



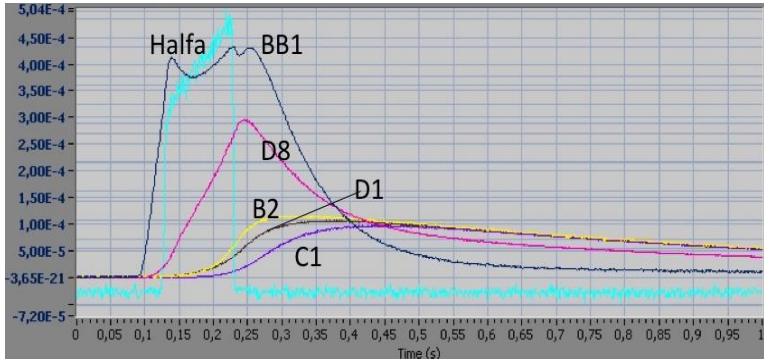


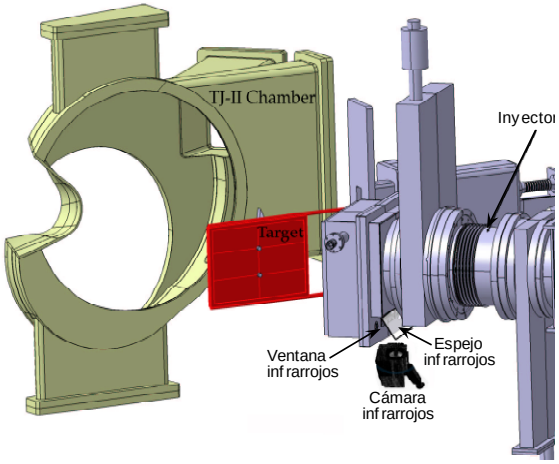
Figure 5: Pressure traces of the 5 Fast Ion Gauges during NBI#1 beam pulse (100 ms). Pressure unit is mbar.

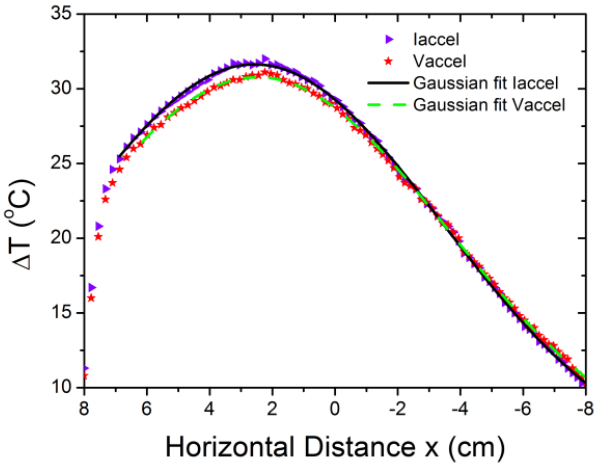
$$\frac{d(P_{D8}V_P)}{dt} = Q_D + C_{D1}(P_{BB1} - P_{D8}) - C_{12}(P_{D8} - P_{D1}) - C_{14}(P_{D8} - P_{B2}) - S_1 P_{D8}$$

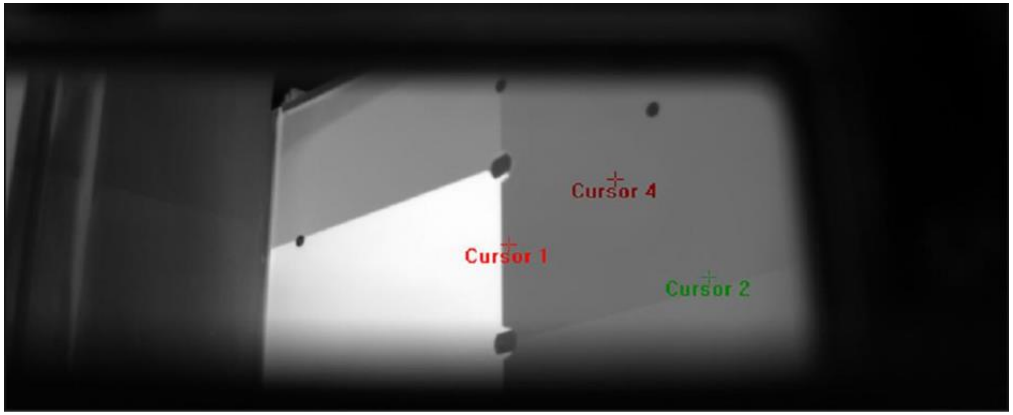
Gas re-emitido: importante contribución al combustible del plasma

NBI en TJ-II: Balance de Energía y Partículas

Termografía IR del Target Calorimeter → Perfiles del Haz



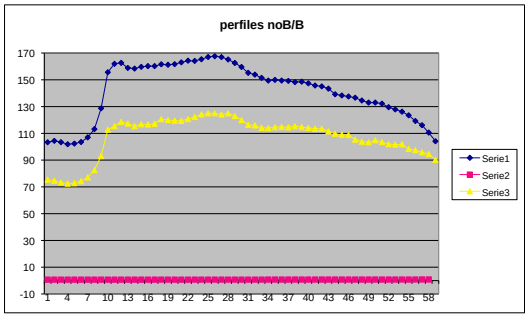




NBI en TJ-II: Balance de Energía y Partículas

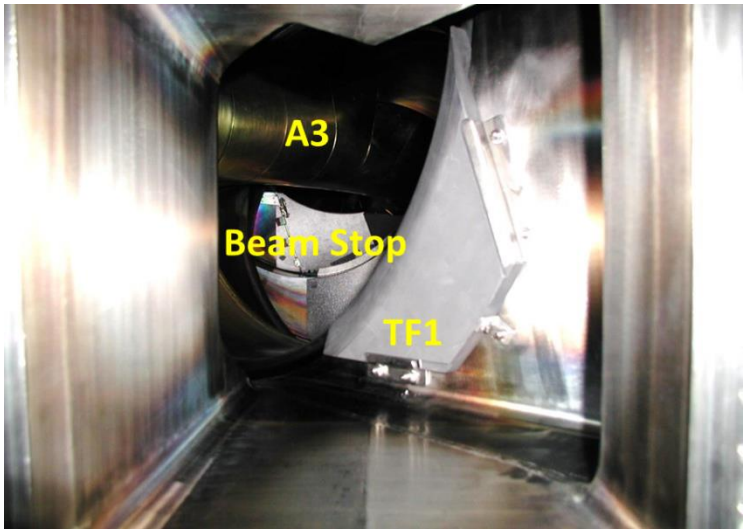
Pérdidas por "**reionización**": $F_R \leq 1 - (\Delta T_B / \Delta T_{no\text{-}B})$

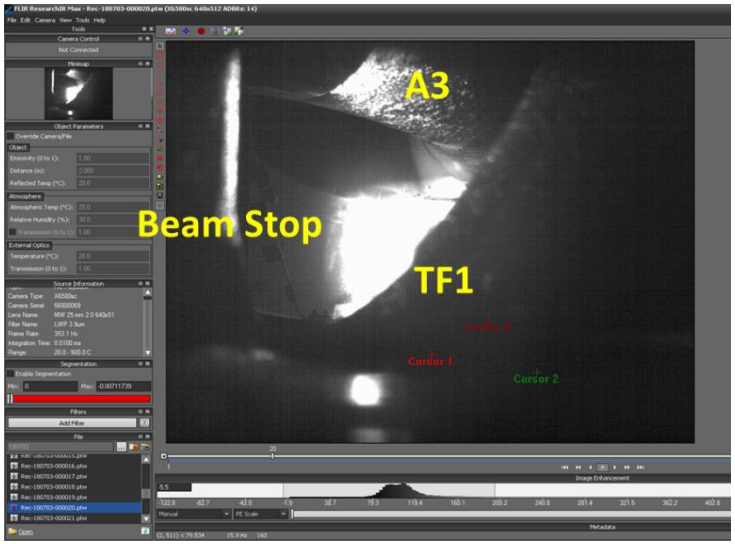
Pérdidas por **"Shine-through"**: $F_{S\text{-}T} \approx 1 - \Delta T_{plasma} / \Delta T_{no\text{-}B}$



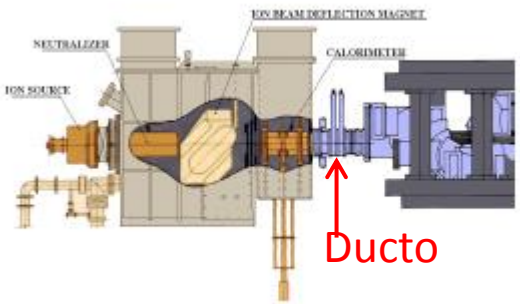
T profiles at Beam Stop w/wo B field

Termografía IR del Beam Stop: Potencia absorbida por el plasma





NBI en TJ-II: Estudio de trayectories de iones



Direct beam interaction

Reionization impacts

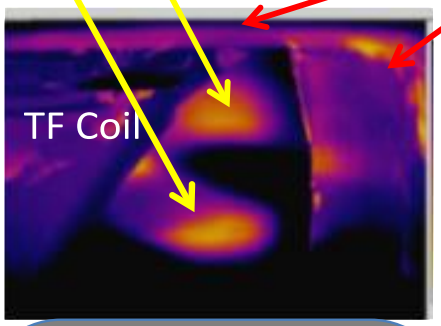
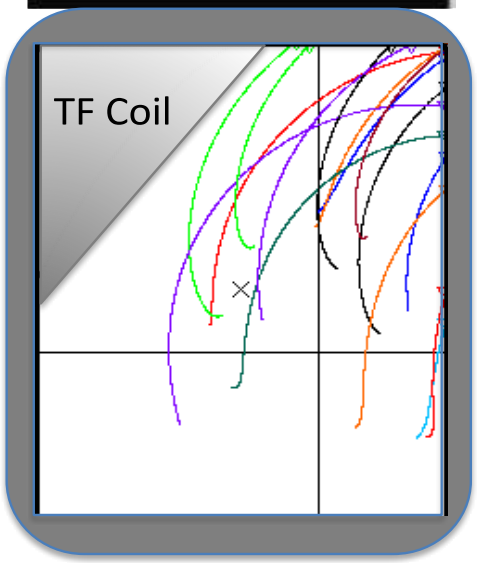
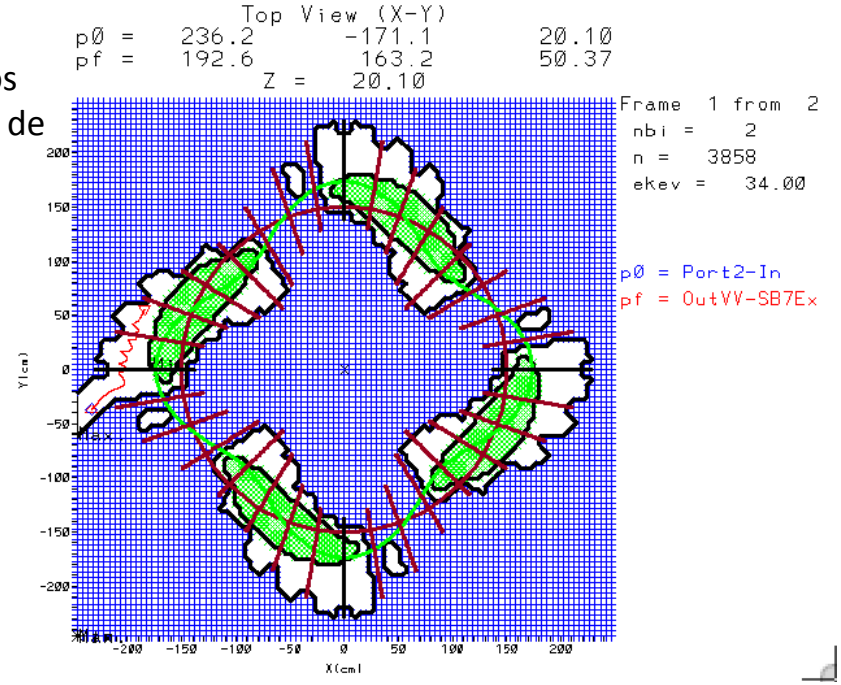


Imagen IR de las zonas de interacción Haz-Pared: puntos calientes debidos a impactos de iones en el ducto



Cálculo de trayectorias con TRAYN: proyección en el plano de la ventana de inyección de las trayectorias de iones nacidos en el ducto

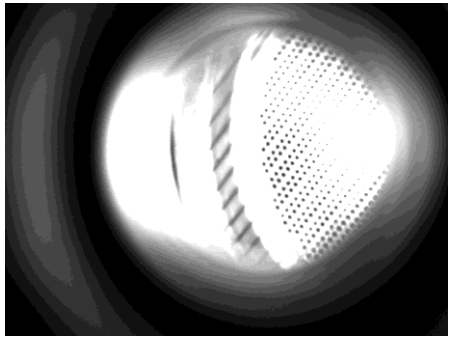
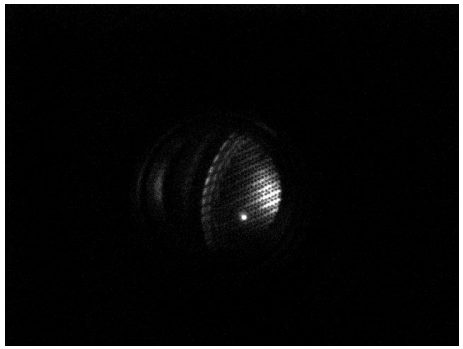
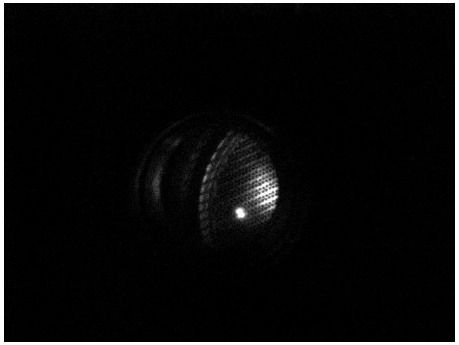
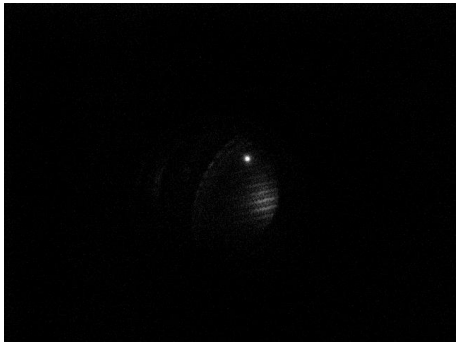


"A study of ion trajectories in the Neutral Beam duct of TJ-II stellarator"
M. Liniers, J. Guasp et al., 40th EPS Conference on Plasma Physics, Espoo, Finland, 2013

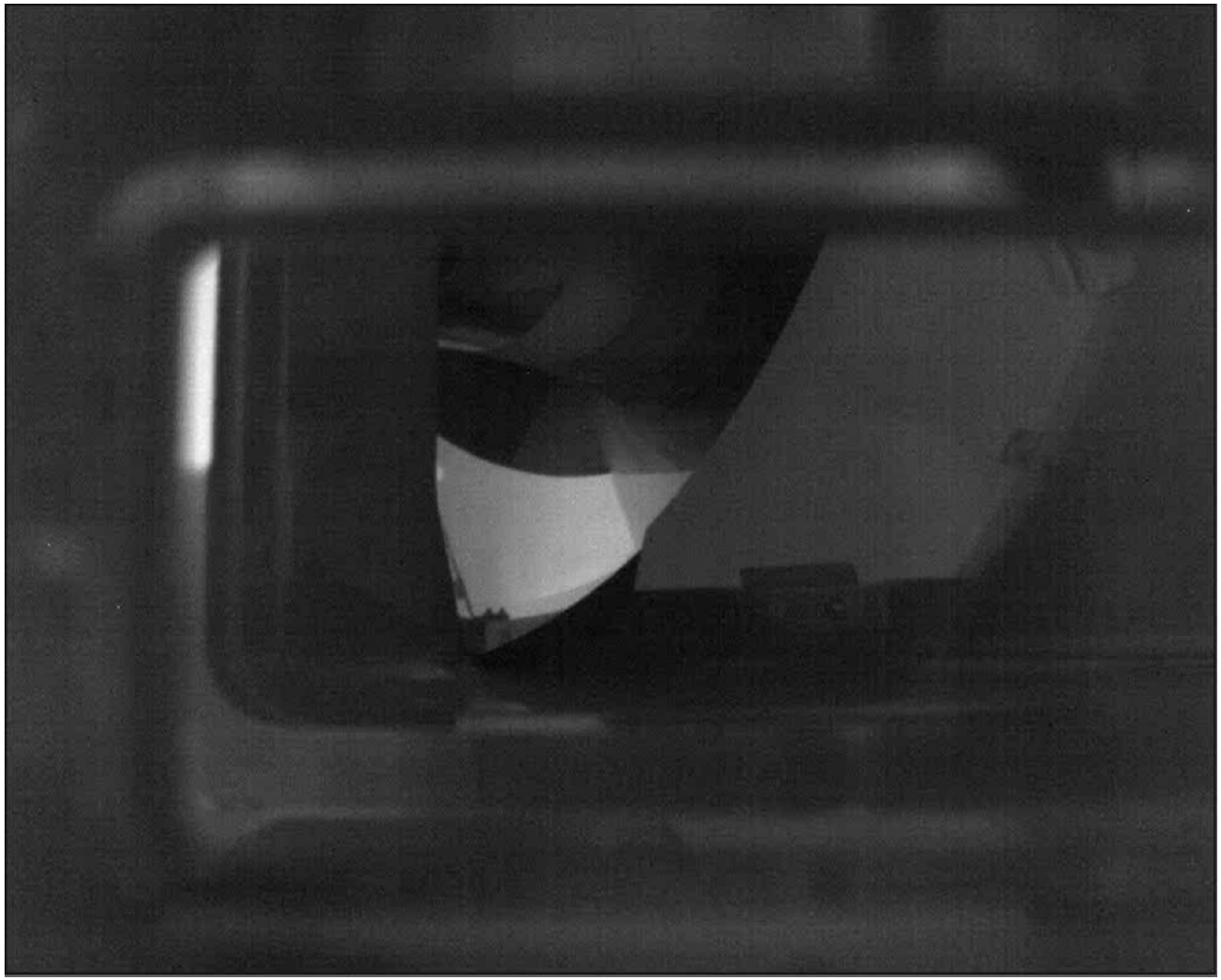
I +D en tecnologías relacionadas con NBI

Laboratorio Nacional de Fusión
Ciemat

1. Cámara de visible para visualización de “breaks” en las rejillas:

2. Programas de automatización del “Acondicionamiento” (toma de decisiones en función del comportamiento de las rejillas)
3. Mejora de los “snubber”: refuerzo del sistema de disipación de la potencia eléctrica almacenada en la línea de transmisión de Alta Tensión
4. Sistema de bombeo de los ductos NBI
5. OLMAT: Optimization of Liquid Metal Advanced Targets: bombardeo de un blanco de Litio líquido con un haz de neutros→ simular el divertor de DEMO



Reflexiones I+D

Frontera Física-Tecnología:

- **Realidad compleja**: muchos procesos físicos convergen en un mismo problema:
  - Rejillas de aceleración: Campos E y B autoconsistentes, pero también Termomecánica (dilataciones térmicas, circuitos de refrigeración), Arcos de Alta Tensión (acabado superficie, impurezas, efecto de altas corrientes, etc), problemas de alineamiento, problemas de alto vacío, electrónica de potencia (protección contra los arcos de AT), control en tiempo real (sincronización de los pulsos de Haz), etc

    →enorme riqueza de temas →dependencia de expertos en distintas áreas

- **Equipos humanos**: el grupo NBI y las colaboraciones "externas"
  - Relación físicos-ingenieros: dos maneras de enfocar los problemas
  - Aprender TODOS los días de los compañeros
  - Colaboraciones "externas": CIEMAT lugar privilegiado, expertos en muchas áreas, disposición a la colaboración
  - Crear un grupo (y mantenerlo): el mayor reto- lo más importante al encarar un proyecto – lo más difícil en nuestro entorno, en este momento

Reflexiones "Mujer en la Ciencia"

- Las diferencias son sutiles en su origen, difícil adscribir un hecho concreto al "sesgo por sexo"
- Pero las consecuencias pueden no ser sutiles: afectan a la carrera profesional, pero también al **desarrollo del trabajo**: más difícil desarrollar un proyecto si no consigues los recursos necesarios
- En mis 40 años de vida profesional he visto una **gran** mejora
- Todavía baja presencia de mujeres en puestos altos:
  - Diferencias de actitud, de carácter (prioridades vitales)
  - **Conciliación:** necesaria para todos: mujeres y hombres, jóvenes y viejos, con niños y sin niños
  - Ayudaría muchísimo **mejorar la productividad del sistema de ciencia** (menos esfuerzo para el mismo resultado)
  - Ausencia de relevo generacional
- Bajo número de vocaciones científicas y tecnológicas en las niñas (y niños)
  - Poca cultura de esfuerzo: se admira lo que brilla, redes sociales enfocadas al éxito social
  - Formación en materias científicas en la escuela: materias áridas, no se alienta la comprensión, la creatividad, la participación, se transmite que el saber es de "sabios", algo cerrado e inaccesible para la gente "normal", temor a equivocarse….
  - No hay problema en admitir diferencias estadísticas de habilidades técnicas entre varones y hembras. También hay diferencias de sentido opuesto en otro tipo de capacidades: organización, lenguaje, comunicación, etc
  - El problema está en considerar "menores" las capacidades típicamente femeninas, o en asignar menos valor a los logros de una mujer → Curriculum "ciego"