



La fusión, más cercana.
Un sencillo experimento de bajo coste

Vicente M. Queral Mas
Ingeniero Industrial

24 Abril 2007

Conferencias 'ZIVIS, supercomputador ciudadano', Zaragoza

Foto : Un plasma del experimento

Esquema de la charla

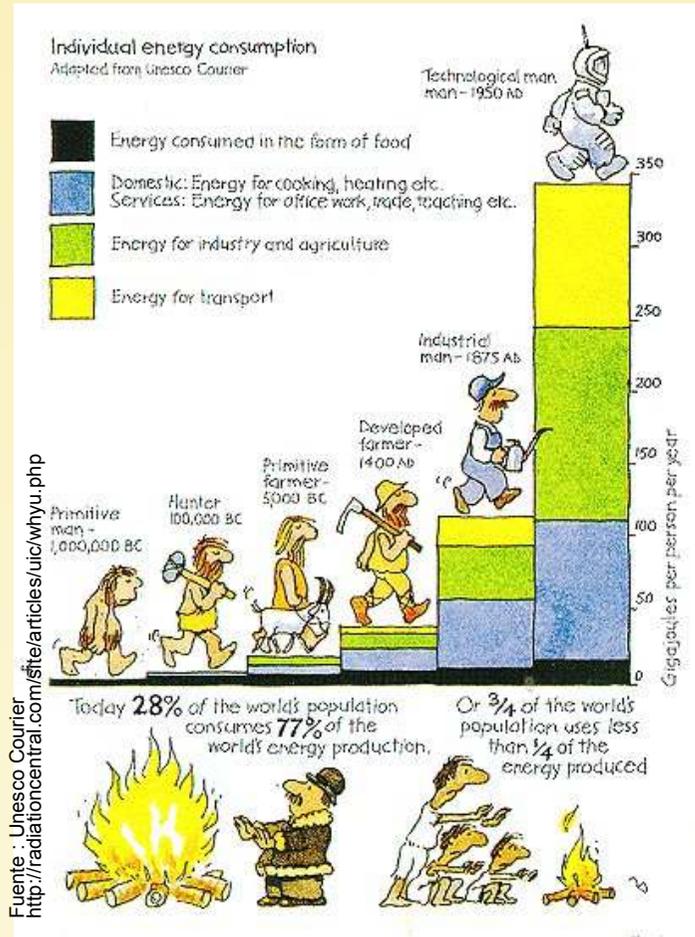
I) **Introducción** : La energía. La fusión. Cercana?. Sencilla?

II) **Elementos del experimento** : Cámara de vacío, bobinas, escayola, mecanizador, sistema de vacío y calentamiento. Plasma.

III) **Computación**. Simulación para el diseño

IV) **Ideas finales**

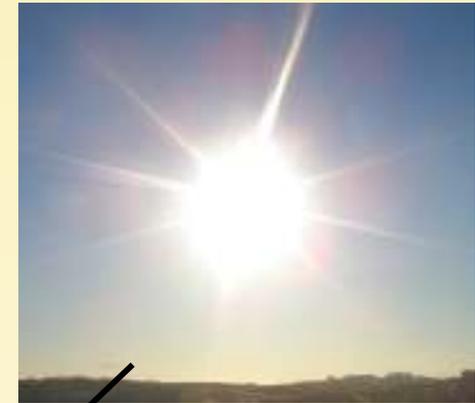
El sol, energía única



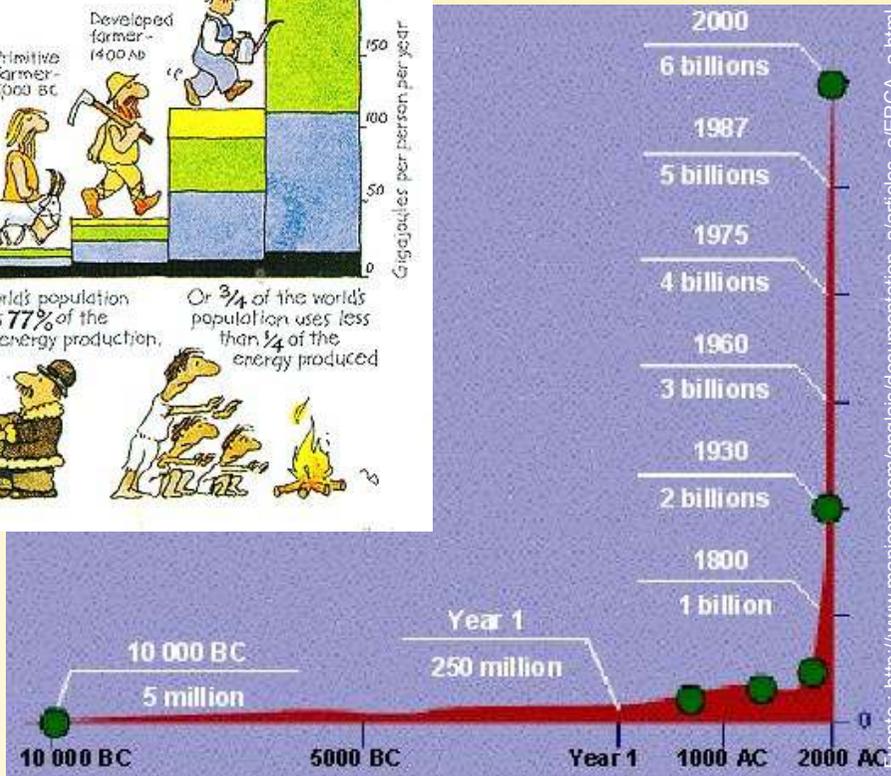
1 Consumo por habitante según época

La Fusión intenta producir energía de forma similar al sol

Casi toda la energía ha provenido del sol



Combustibles fósiles

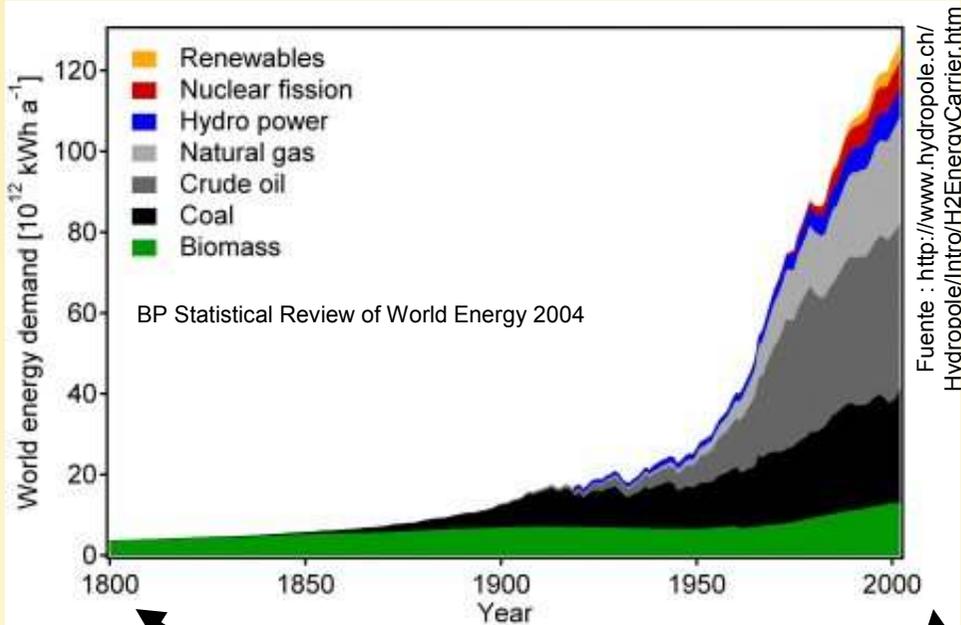


2 Crecimiento de población

3 Consumo mundial histórico de energía. 10000A€

La fusión (sol + reactores), energía única

1 Consumo mundial histórico



Fuente : <http://www.hydropole.ch/Hydropole/Intro/H2EnergyCarrier.htm>

Gráfico expandido

Consumida en 50 años. Acumulada durante millones

Energías futuras : Cada una con sus ventajas y sus limitaciones e inconvenientes



Eólica

Foto : <http://www.cmu.edu/greenpractices/>

Otras menores (biomasa, hidroel., mar, ...)



Solar térmica y fotovoltaica

Foto : <http://www.greengeek.ca/category/society/>

Inicio del consumo de petróleo y gas

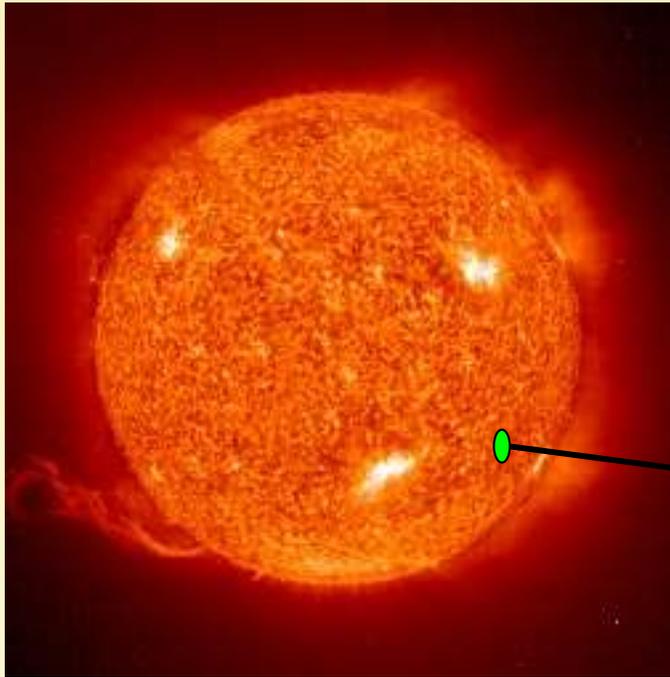


Fusión

Tenemos un gravísimo problema energético

1' Consumo mundial histórico 10000AC

La esencia de la fusión



1

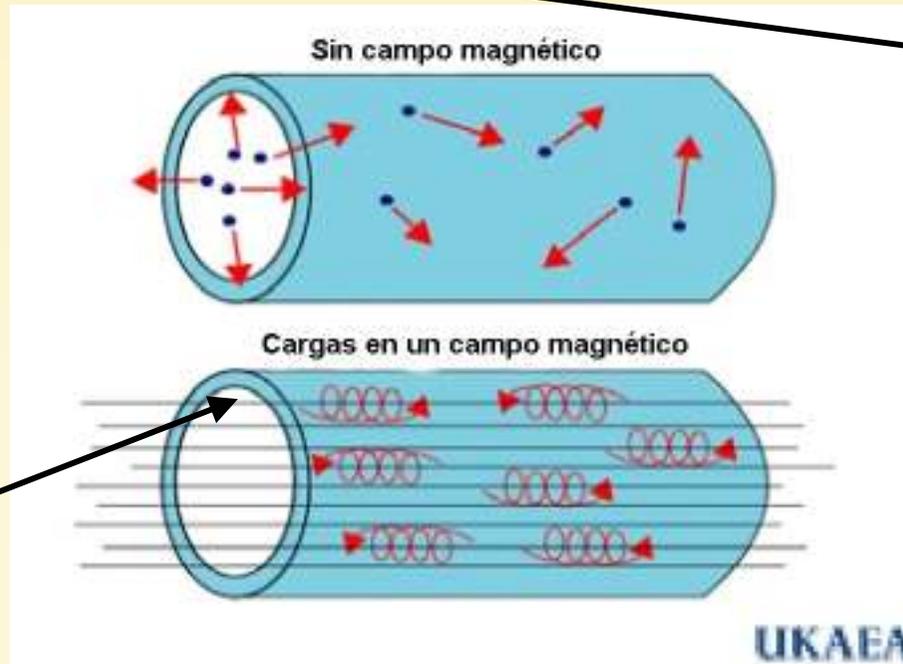
En concreto hablaremos de fusión por **confinamiento magnético**

Se intenta mantener un 'pequeñísimo sol', un plasma, en el interior de una '**botella**'.

2



3



Botella magnética :

La botella es un poco más compleja que la '2'.

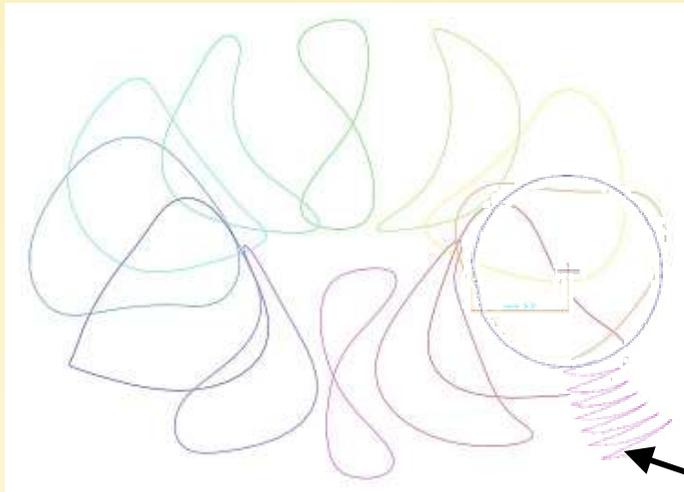
- Requiere de **campos magnéticos** para minimizar el nº de partículas que alcanzan las paredes.

Bobinas

Reacción de fusión

Campo magnético → **la forma de las bobinas es esencial.**

Cuanto más bien diseñadas y precisas, más temperatura se alcanza con el mismo tamaño del reactor.



1

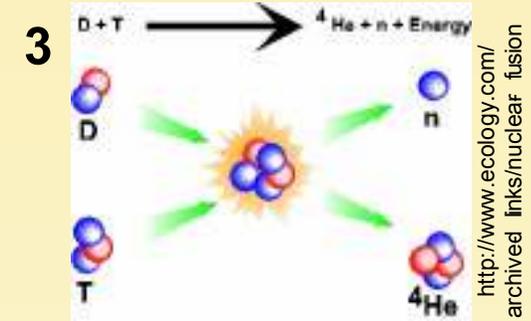
Bobinas en el presente dispositivo : La partícula escapa pronto (también en casi todos en el mundo)



2

HSX, año 1999 :
‘Mejores’ bobinas

Simulación y cálculo intensivo ~ZIVIS



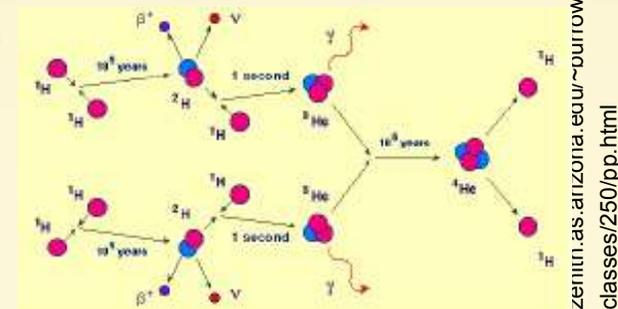
La **reacción** de fusión más fácil en la tierra $\sim 10^8$ °C



Más difícil, pero posible y ‘mejor’

Hay otras reacciones casi imposibles en la tierra

5



Por comparar : Reacciones nucleares de fusión en el sol

De qué experimento se trata?

El stellarator UST_1

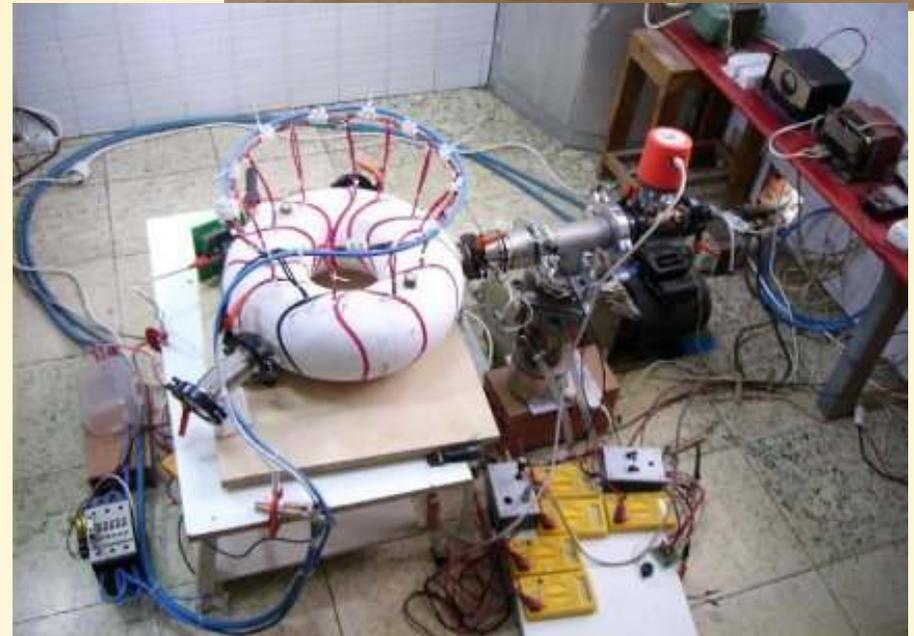
Lo que **NO** he construido :

- No es un reactor termonuclear, *no hay reacciones*
- No produce energía, *aunque sería estupendo que lo hiciera*
- No es ningún invento *excepcional, sólo una construcción*

Lo que **SÍ** he construido :

- Se trata de un dispositivo experimental cuyo nombre es **UST_1**, del tipo **stellarator** (*cierta botella magnética en forma toroidal = 'donut'*)
- **Objetivo** : *Aprender y experimentar en fusión, especialmente en tecnologías para fusión, y en menor medida en simulación y física del plasma*

La instalación completa



De qué experimento se trata?

Las características del stellarator:

- Es de los más pequeños, 370mm de diámetro exterior
- No es de los más exactos (errores < 0.5%)
- Se encuentra instalado en una vivienda

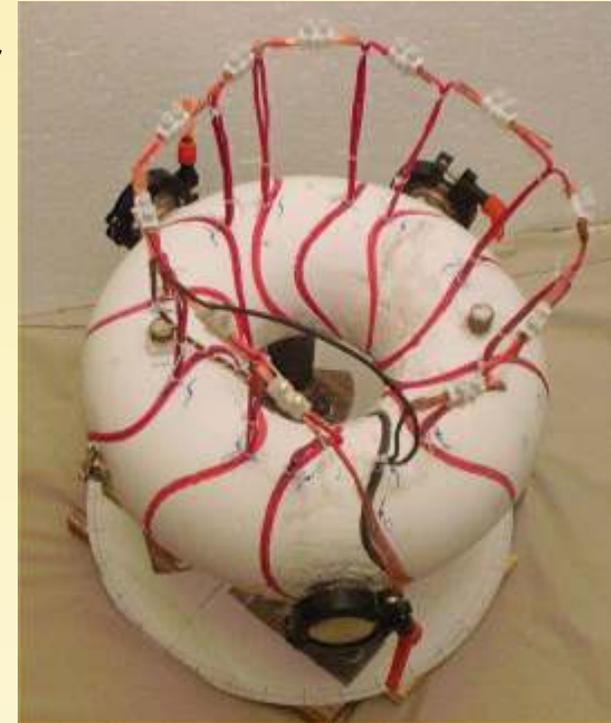
Muy posiblemente es :

- El más económico. Menos de 3000€
- El más sencillo. Solo elementos imprescindibles
- El único diseñado y construido por una sola persona

Debemos recordar que :

- NO produce energía, ni reacciones debido a su pequeño tamaño, desafortunadamente.

El stellarator
UST_1



Otro stellarator,
HSX

Más cercana?

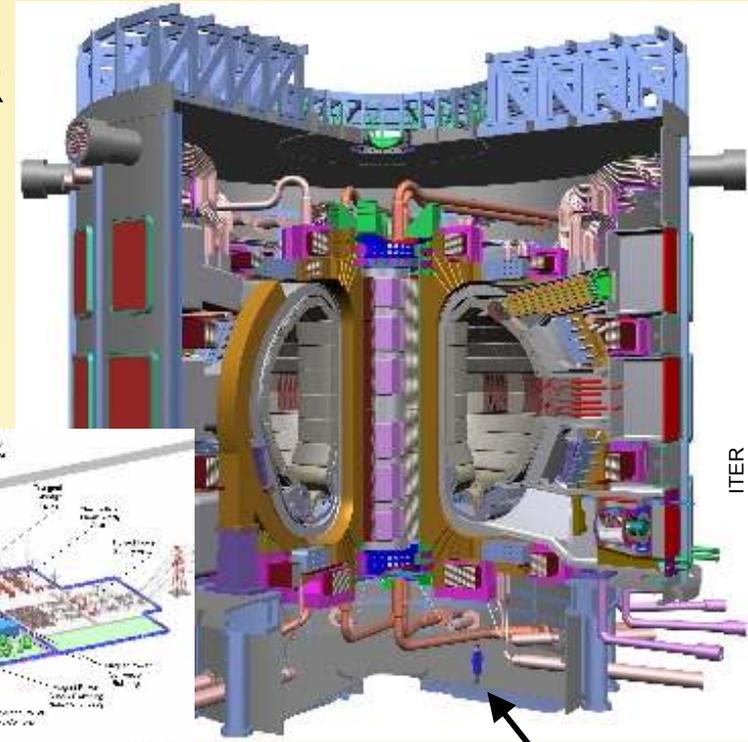
Año 1988

~20 años de diseño y negociaciones ~10 años para construirlo

miles de personas involucradas
~ 6000 000 000 €

Año 2017

1
ITER



- **UST_1** es el más cercano a las dimensiones humanas y su espacio,
- pero no acercará la fusión en el tiempo, la industrial, probablemente



2 Edificios ITER

Una persona

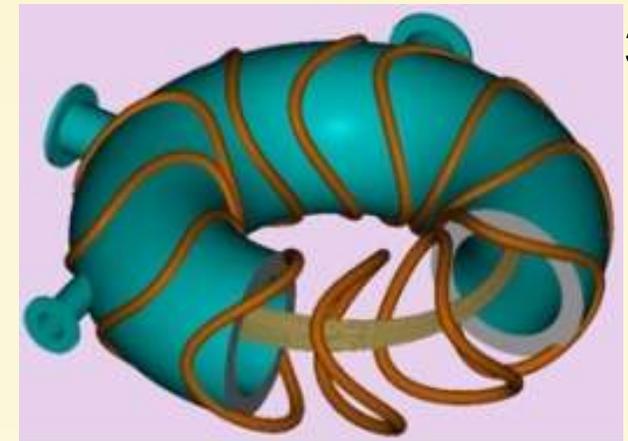
Junio 2005

~1 año de diseño y construcción

1.1 personas involucradas
~ 3000 €

Agosto 2006

UST_1



3

Cuestión de tamaño + calidad

Cada experimento de fusión tiene su calidad y su magnitud :

**	ITER	JET	W7 X	TJ-II	TJ-K	UST_1
Volumen de plasma en m ³ *	1000	100	30	1	0.1	0.001
Calidad	excelente	buena	excel.	buena		regular

Calidad de UST_1 es regular (precisión, optimización) pero el coste extremadamente bajo.

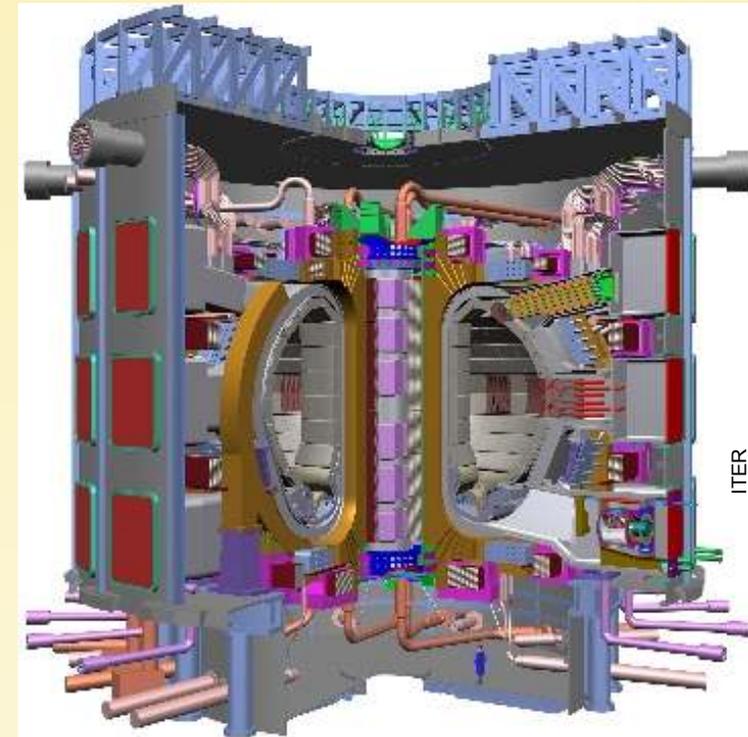
Es muy 'sencillo'!! (comparar con ITER).

Carece de muchos sensores (=diagnósticos) y sistemas de calentamiento (NBI, microondas ...).

** NOTA : Nombre de distintos stellarators y tokamaks en el mundo

* NOTA : Valores más exactos o típicos: ITER 840 m³ , JET 85 m³

Tamaños comparativos



ITER, Francia (en construcción)

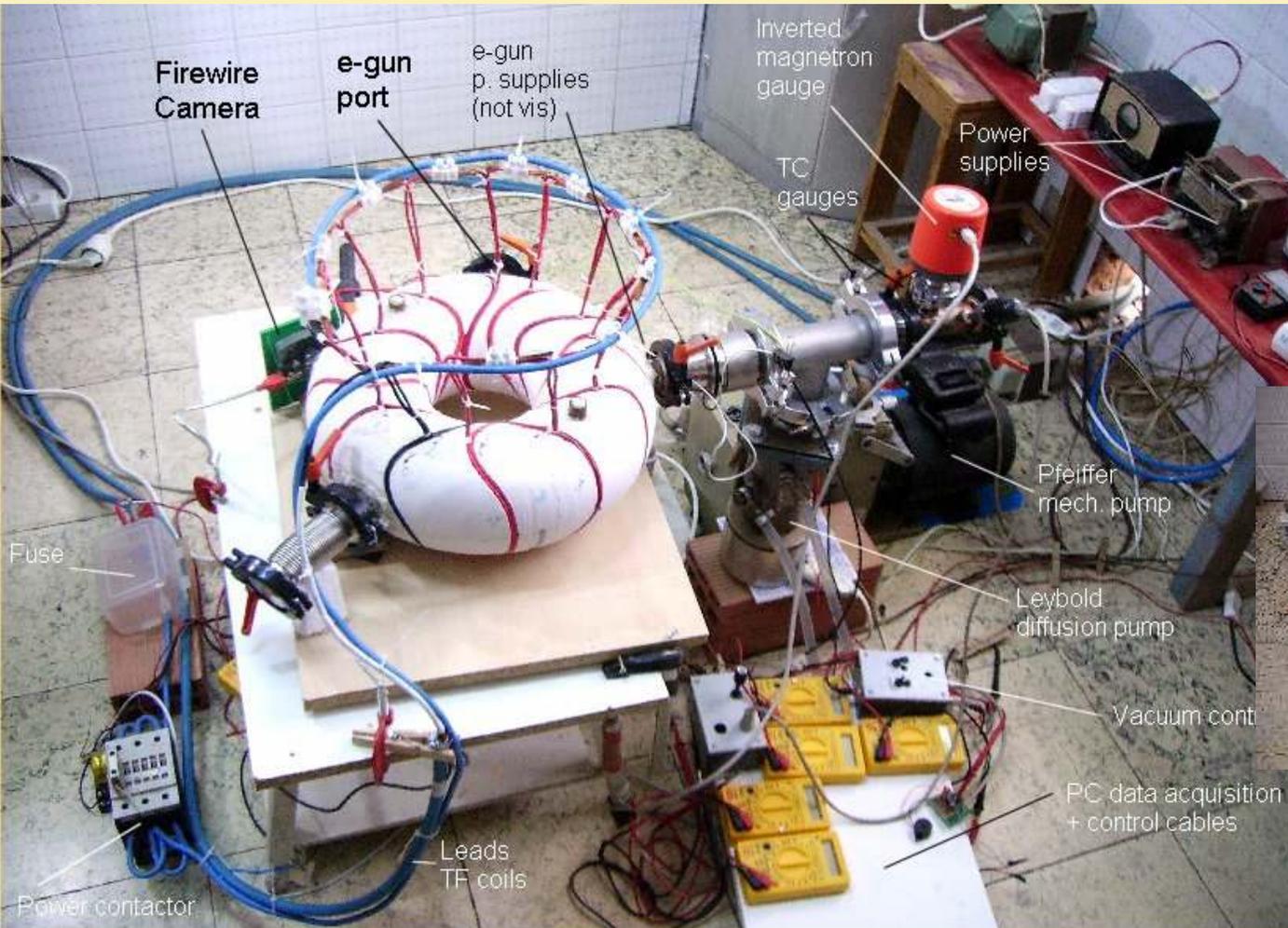
TJ-II, Madrid



UST_1, Castellón



Una visión general



◀ Los sistemas principales son: Sistema de vacío, fuentes de alimentación, PC's de control y adquisición de datos y el stellerator en sí.



◀ Fuentes de alimentación
2

1 UST_1

- Se han diseñado y construido sólo los **sistemas estrictamente necesarios**. Son elementos de segunda mano, en general

La elección

Primero tenemos que elegir entre el modelo :

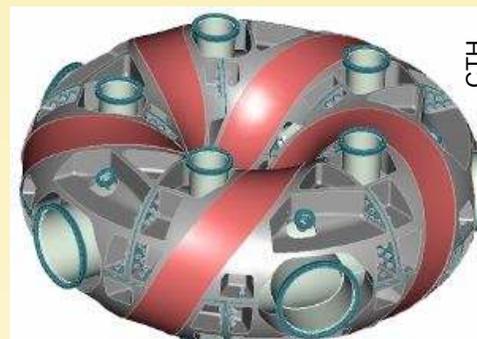
Algunos tipos diferentes de stellarators



1 Modelo llamado stellarator modular



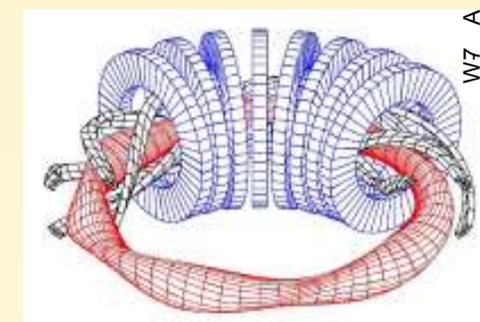
2 De 'bobinas planas inclinadas'



3 Torsatrón o heliotrón



4 Heliac

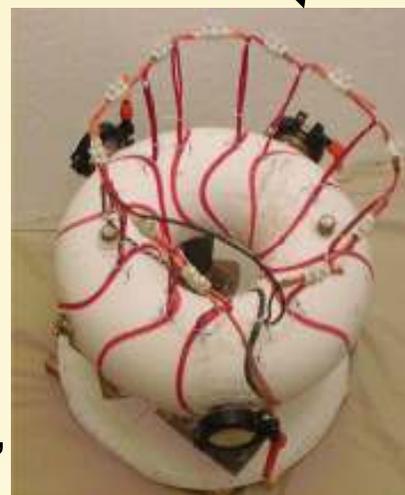


5 Stellarator clásico

▪ La decisión fue sobre todo **económica,**

▪ si no podemos 'comprar' el modelo 1, pues construimos una mezcla entre el estilo 1 y el 3, que sí podemos pagarlo

UST_1
Stellarator modular 'circular'



II . Elementos de UST_1 :
Cámara de vacío, bobinas, escayola,
mecanizador, sistema de vacío y
calentamiento. Plasma.

El principio, la cámara de vacío

1



Codo de cobre. Pared de 0.8mm de espesor

2



◀ Cámara de vacío formada por 5 codos de 75°. Tubo 80mm diam. R-toro 119mm. Soldado con plata-Sn al 5%

3



Detalle, perforación para una boca y dos anillos para reforzar la cámara

→ Cámara finalizada. 3 bocas de 35mm diam. Soldado con plata-Sn al 50%. Una ventana de vidrio. No materiales ferromagnéticos.

4



Selección del conductor adecuado

- Pruebas :**
- Probé varios tipos de conductores de cobre, normales-bricolaje
 - El cable elegido es de **'gran' sección de cobre y** mínima de aislante
 - Está bobinado sobre un cilindro de **escayola** que se estaba probando como **soporte**
 - **Superconductores** : Fue estudiado. Caros (Bi-2223 3000€ + extras). Difícil fabricarlos con calidad suficiente sin medios. YBCO es el ideal para nitrógeno líquido.

Alternativas:

Varios tests



1

4



3



2



Selección : ►
6mm² cond.
flexible,
desaislado y
funda
termorretractil.
Diam. ext
=3.5mm

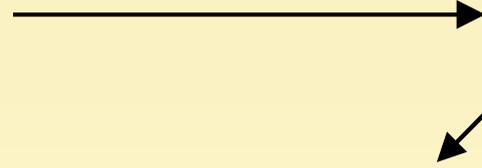


5 Test surco-bobina

La escayola



1 Mecanizando el molde de corcho blanco para la escayola. Semicírculo de alambre caliente girando sobre un eje



2 Test de la cámara de vacío dentro del molde de corcho



3 Cámara de vacío recubierta de capa flexible y hermética



4

Molde preparado para verter la escayola

Preparación del toroide de escayola

Rectificación de la escayola
antes de mecanizar los surcos



1 Rectificando el 'donut' porque el molde de corcho es bastante imperfecto



2 ◀ Rectificando las imperfecciones debidas al molde



3 Detalle de parte rectificada y parte sin rectificar

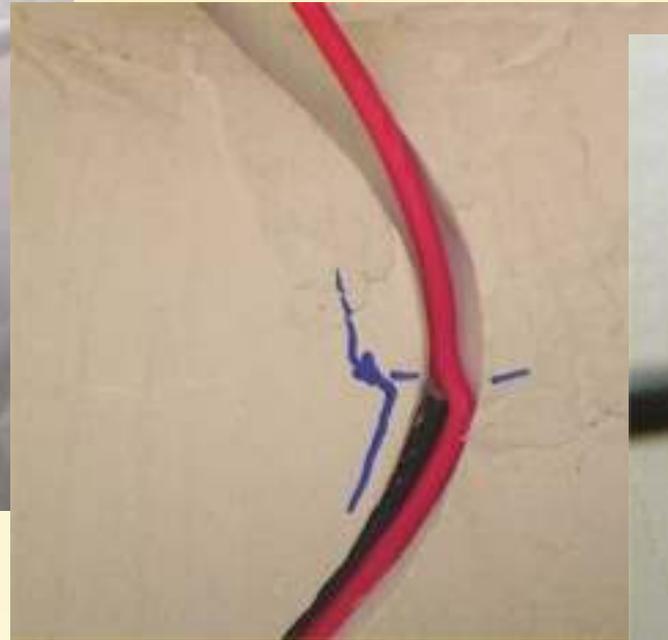


4 Resultado. Ahora el toroide ya es 'perfecto'

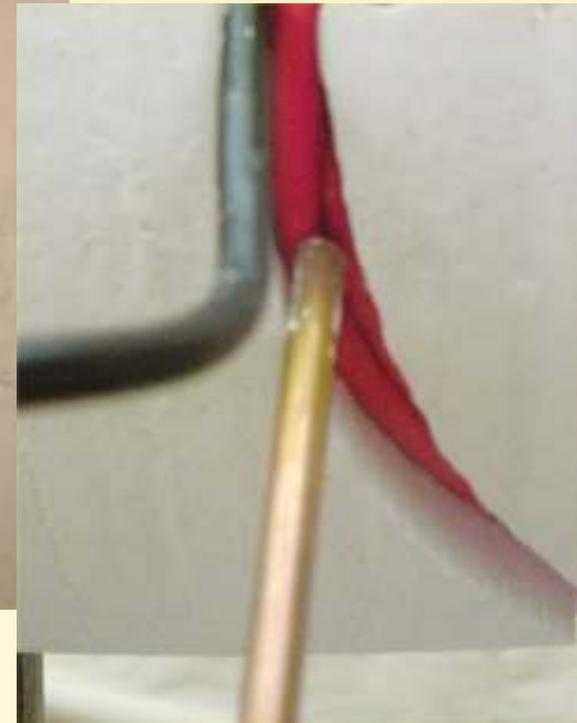
Proceso de bobinado



1 ◀ Surcos mecanizados en el marco compacto de escayola, ancho 7mm, profundidad 12.5mm. Precisión $\pm 0.3\text{mm}$



2 Inicio del bobinado. Conductor auxiliar negro, conductor real rojo



3 Compactación y posicionamiento de los conductores en el surco

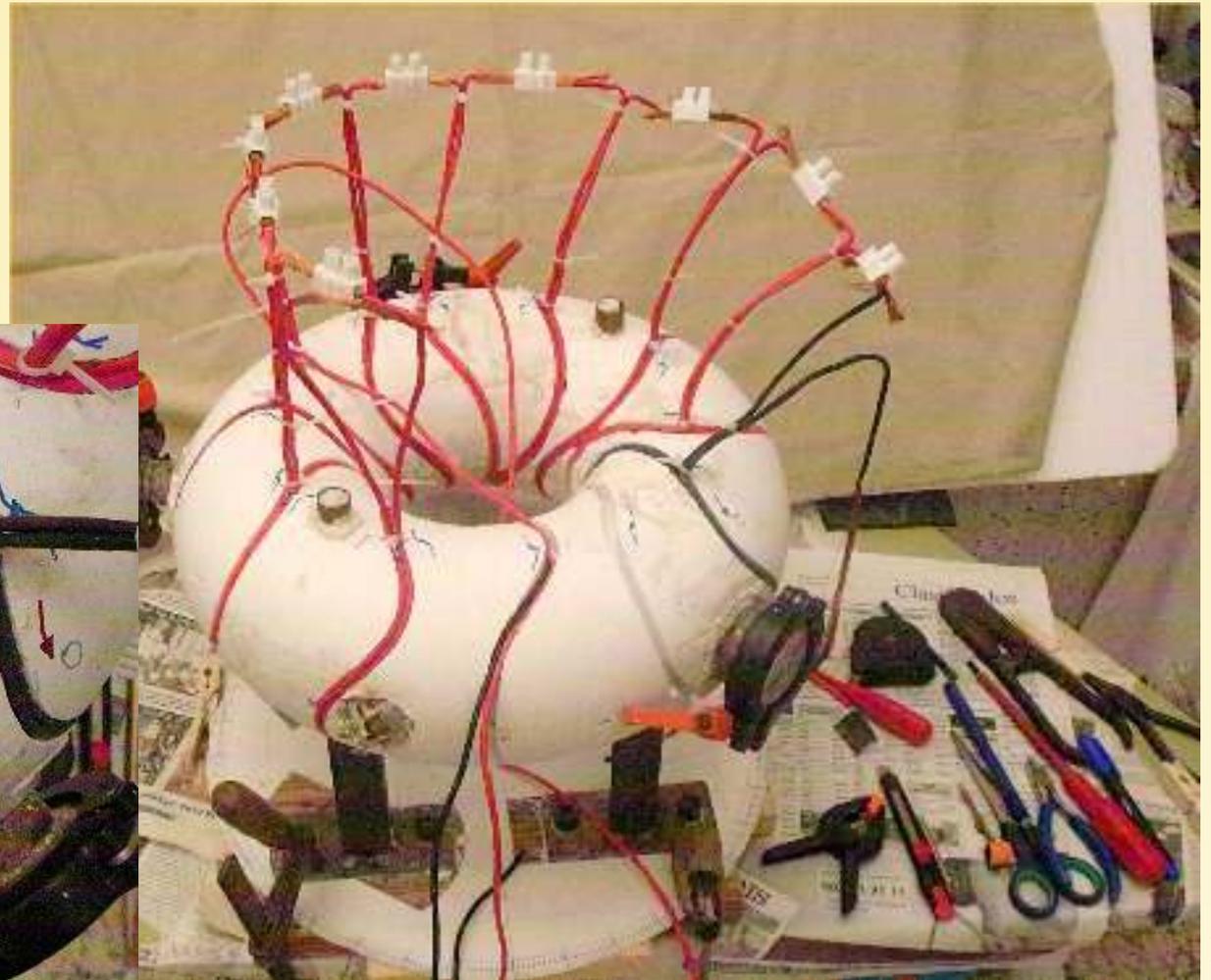
NOTA : Luego veremos como se han creado los surcos

Ya casi está !

- **Lo siento**, pero no he podido traer el stellarator (pesado y frágil).



1 ▲ Acabando la penúltima bobina

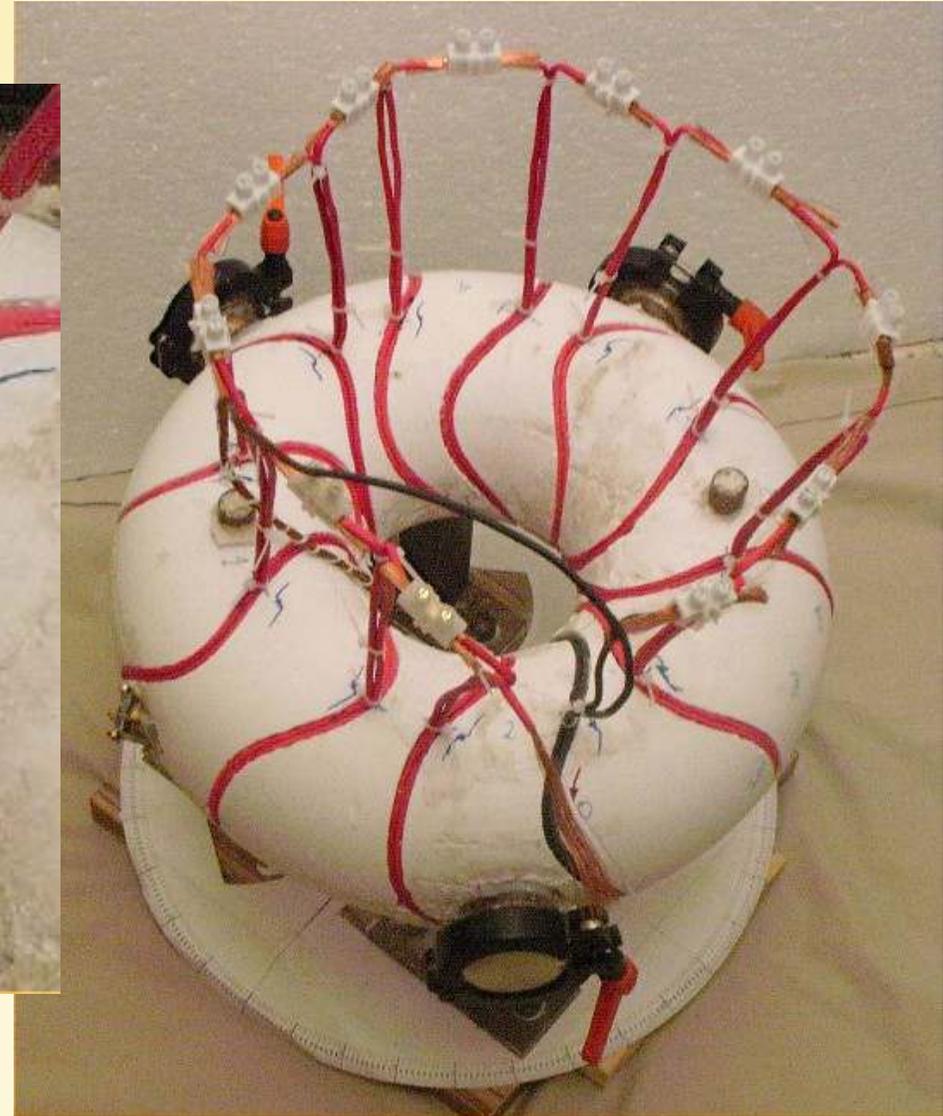


2 ▲ Faltan dos bobinas para finalizar. Se observan las herramientas de trabajo (*Varias tijeras, cutex, alicates, destornilladores, pinzas, barritas para presionar y bridas*)

El resultado, UST_1

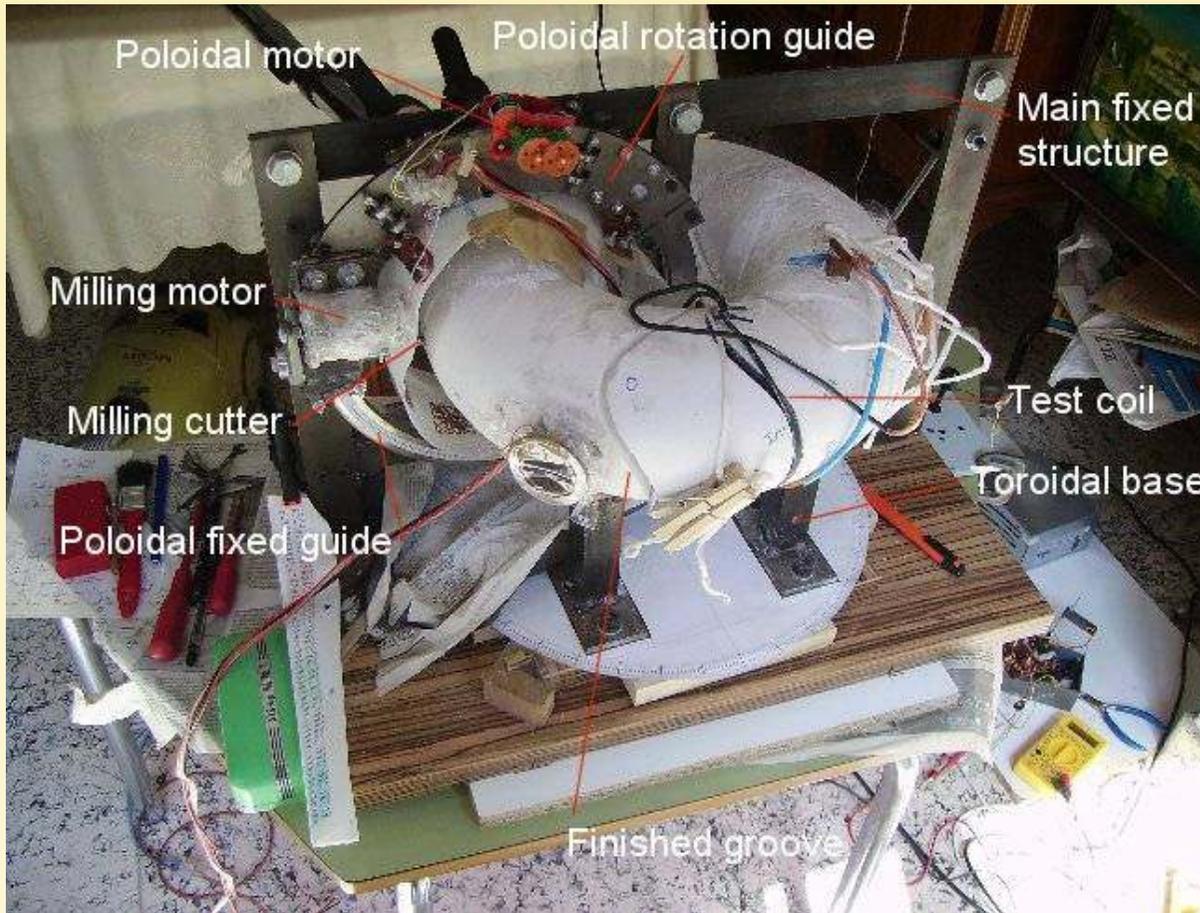


1 Detalle de las bobinas



2 Vista en perspectiva del stellarator de bajo coste. Finalizado.

Creatividad → bajo coste → posible lo imposible



Innovador **aparato mecanizador**

Ventajas :

- La mecanización y posicionamiento de las bobinas es el mismo proceso → errores menores.
- Los errores geométricos = + \varnothing mm son pequeños y pueden ser menores.

Inconvenientes :

- No muy adecuado para stellarators de ciertos tipos, grandes, ni reactores.

Fresadora* especial que trabaja en coordenadas toroidales**. Fue ideado, diseñado, patentado, construido, probado y los surcos mecanizados

- Costó bastante tiempo y esfuerzo, pero resultado muy satisfactorio (bajo coste y exactitud)

fresadora* = máquina-herramienta para el mecanizado de piezas

Pero, cómo funciona el aparato mecanizador?



Algunos elementos :

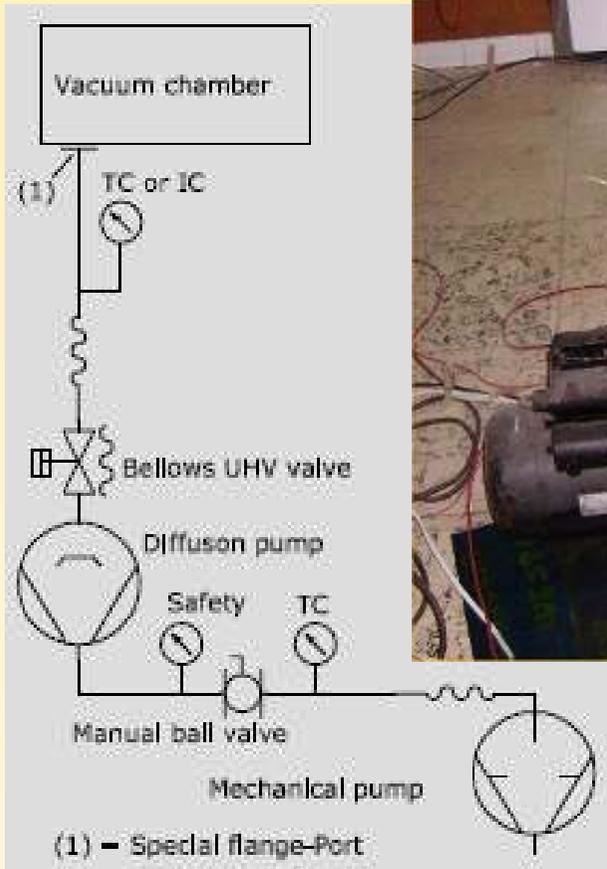
- Guía poloidal + motor
 - Motor de fresado y fresa
 - Pórtico soportante
 - Dos semianillos fijos
 - Tubo de aspiración de partículas
 - Cobre antipartículas
 - Listado de coordenadas
-
- Algunos surcos mecanizados
 - Una bobina de prueba (negro)

Emplea ~2 horas para mecanizar un surco de ancho 7mm ,
profund. 12.5mm . Posicionamiento semiautomático

Función auxiliar : Corte de moldes toroidales. Soporte, alambre caliente y molde



Sistema de vacío



Esquema del sistema de vacío



Elementos principales

- Una bomba de vacío mecánica
- Otra bomba para producir alto vacío, alrededor de una centésima de millonésima de la presión atmosférica.
- Varios sensores de vacío para conocer la presión
- Acoplamientos (tubos, bocas...)

- Logrado un vacío de $5\text{mPa} = 5$ centésimas de millonésima de la presión atmosférica.
- Lo correcto sería 1 mil millonésima o menos.

Sistema de calentamiento y un plasma

Por medio de microondas se calienta el plasma (en UST_1 es un horno de microondas común)

Video de uno de los primeros plasmas. Pulso 222



- La calidad del plasma es todavía baja.
- Faltan aparatos de medida (diagnósticos) y meses o años de mejoras en la calidad del plasma.



Se observa : un horno de microondas común, líneas coaxiales de transmisión de microondas, medidor de potencia, antena(no visible, dentro de UST_1)

1

2

Primer plasma



Coste

- **Coste total = 2700€,**

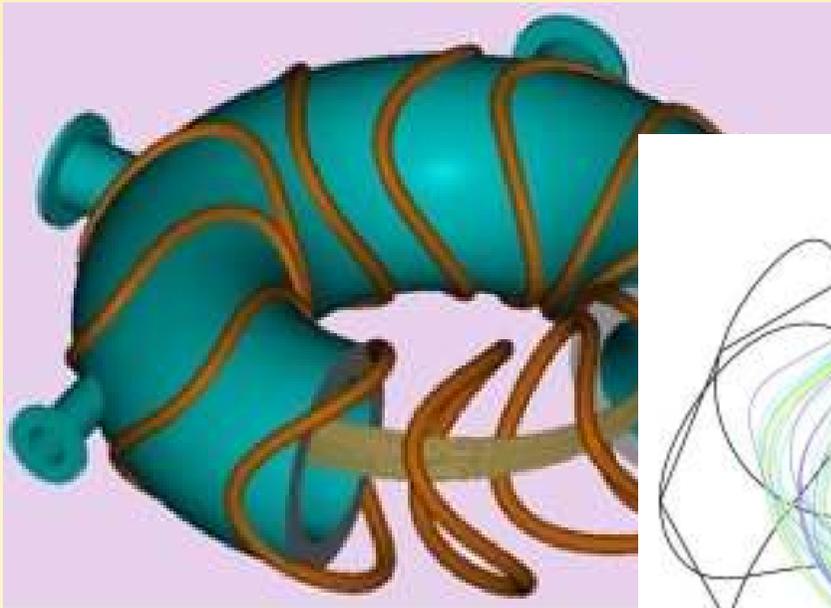
Incluyendo el núcleo de UST_1, sistema de vacío, de e-gun, control, calentamiento, pero no el trabajo.

- *Aunque a primera vista no lo parezca, 2700€ es muy poco comparado con lo que sería normal, 15 000€ ó 30 000€*

<i>(Trabajo no incluido) Coste, incl. transporte</i>	<i>€ (Euros)</i>
<i>Cámara de vacío + marco para las bobinas</i>	<i>61</i>
<i>Conductor eléctrico</i>	<i>75</i>
<i>Calentamiento microondas</i>	<i>~120</i>
<i>Fuentes alimentación + líneas + contactor</i>	<i>206</i>
<i>Aparato mecanizador (sólo elementos pagados)</i>	<i>222</i>
<i>Diagnósticos: e- gun + RGA + espectroscopio</i>	<i>441</i>
<i>Sistema de vacío</i>	<i>1610</i>

III . Computación. Simulación para el diseño de UST_1

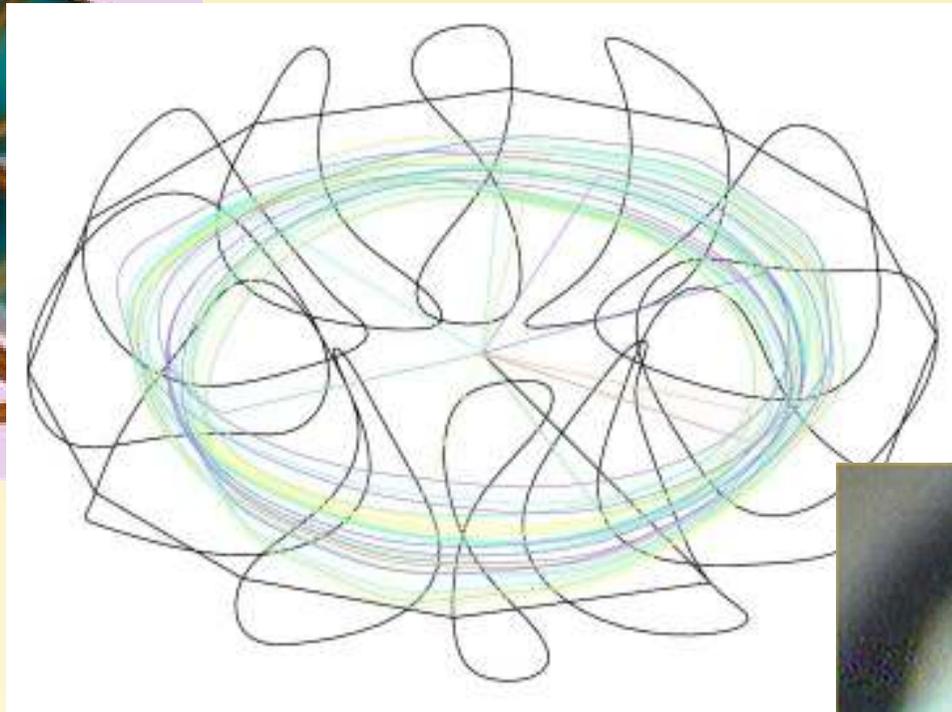
Un objetivo, minimizar las partículas que escapan



1



Simulación de trayectorias
de partículas ▼ 2

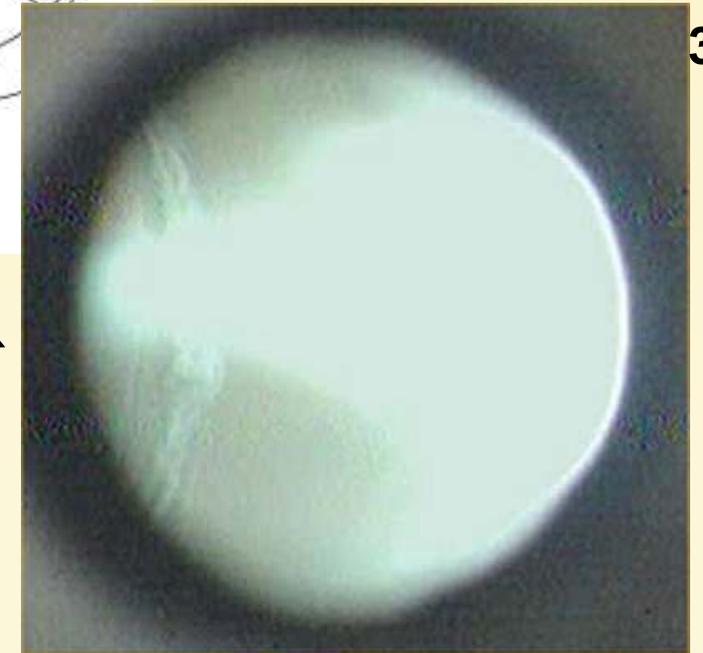


Un plasma real. Son electrones e iones moviéndose a alta velocidad. Los e^- a casi 1 millón de metros por segundo ▼

El **objetivo** principal es **minimizar el número de partículas energéticas*** que **escapan** hacia la pared en un segundo

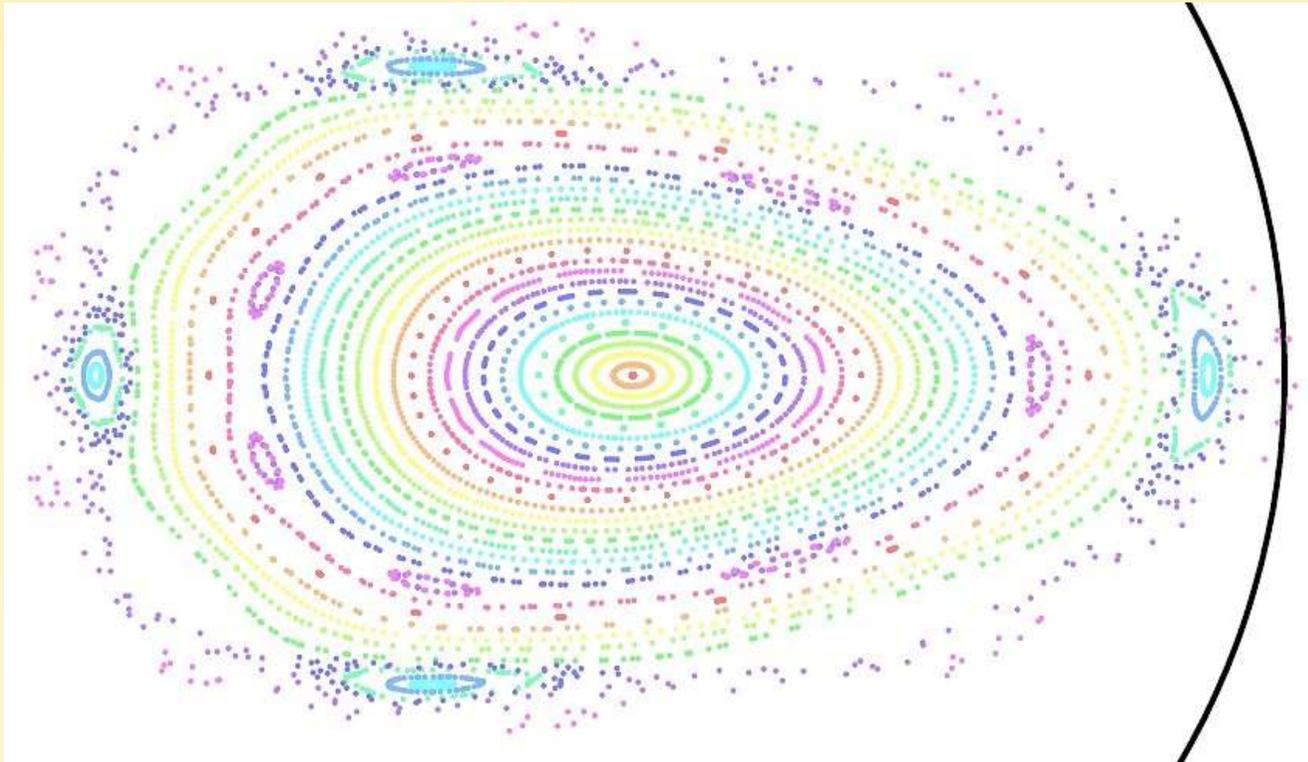
* *Energéticas ~ Alta temperatura =*

- 20 000 °C en UST_1
- 100 000 000 °C en reactores y grandes experimentos



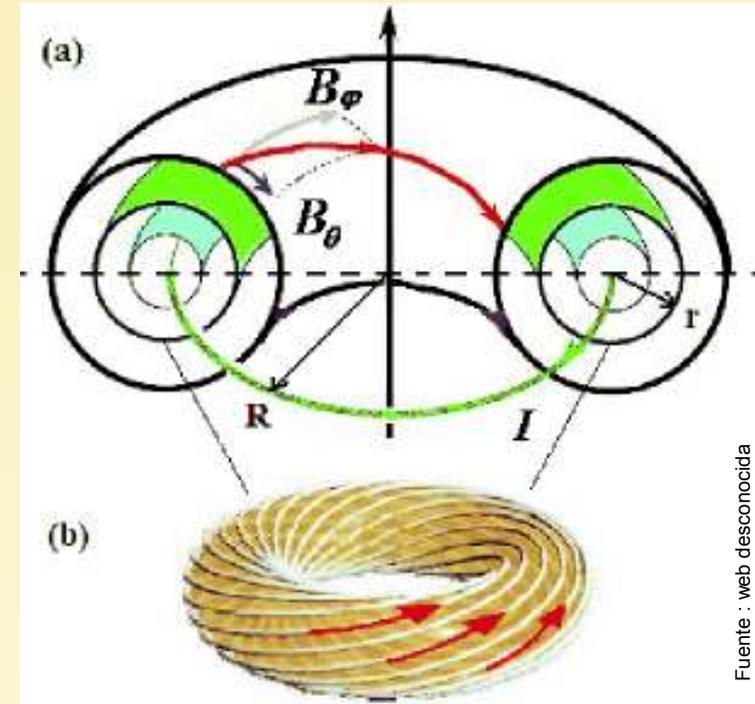
3

Primer cálculo : superficies magnéticas



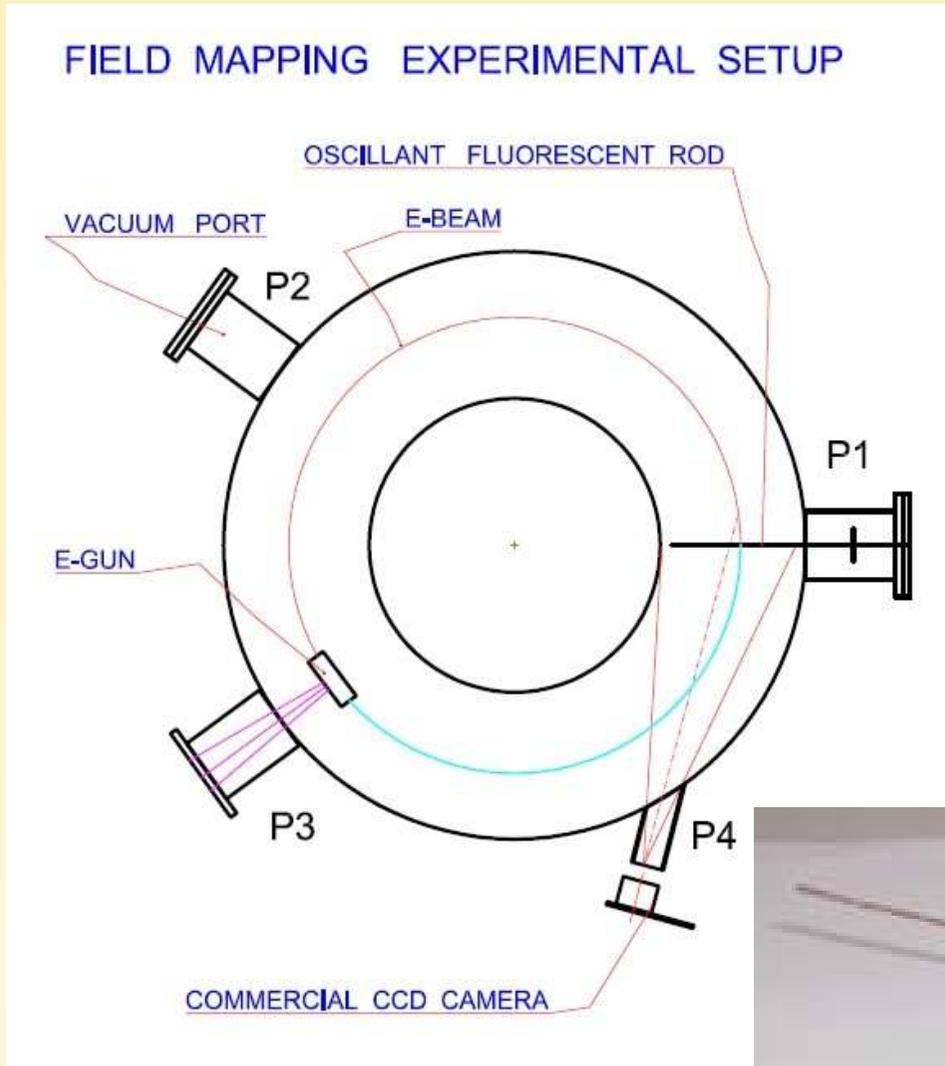
Simulación-Cálculo : Superficies magnéticas en UST_1
Utilizando 'Grid' preciso $1/400m = 2.5mm$ de lado, 725000 nodos

- Lo anterior ha sido simulado utilizando un código JAVA llamado SimPIMF, corriendo sobre un PC a 3GHz
- Esta simulación es rápida y no da problemas de tiempo de cómputo. Costó sólo 278s. Cada una de las 34 partículas en la realidad 'viviría' 0.2 milisegundos.



Esquema del significado y origen de las superficies magnéticas

Experimento. Son correctos los cálculos?



2 ▲ Interior : Filamento de bombilla halógena 10 W

Varilla fluorescente oscilante.
▼ Fósforo P24 3



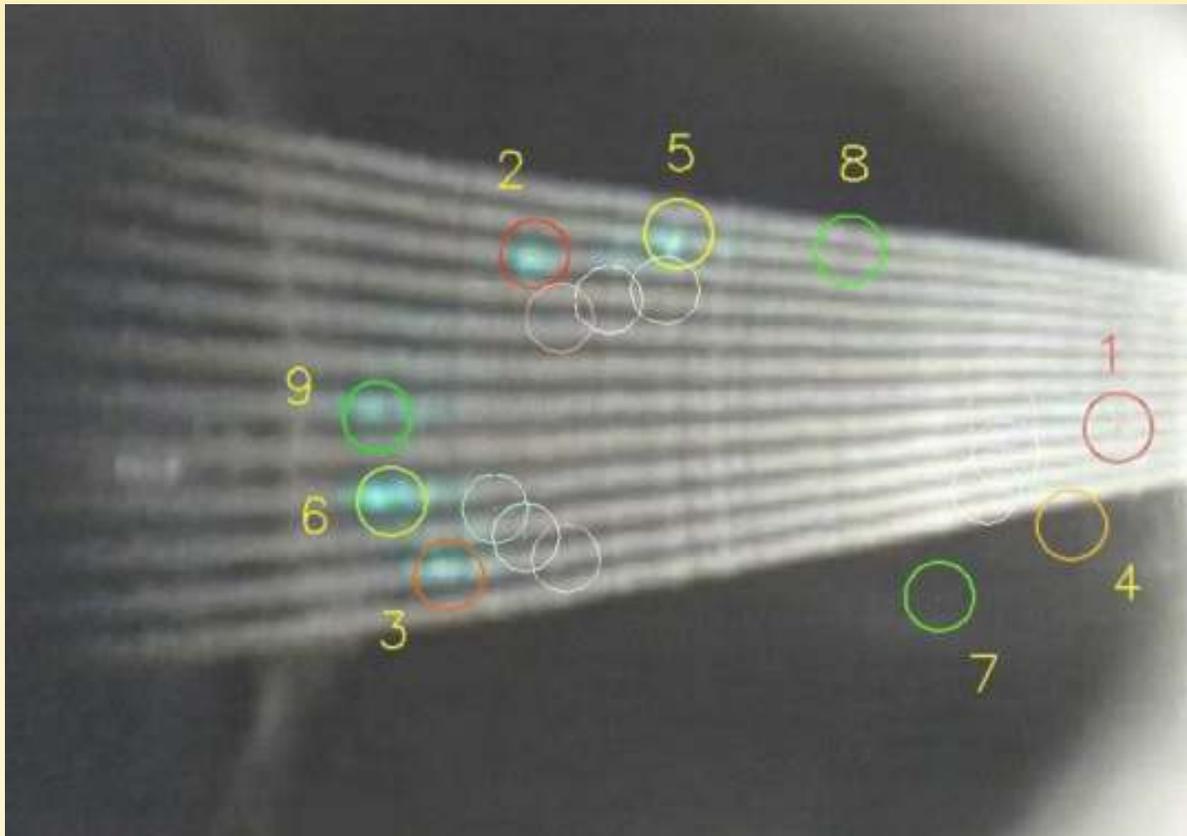
Segundo modelo de cañón de electrones :
Diam. externo = 14mm . Corriente e beam < 1 mA

4



1

Experimento. Los cálculos eran correctos



1

Video del experimento.

Pulso #202

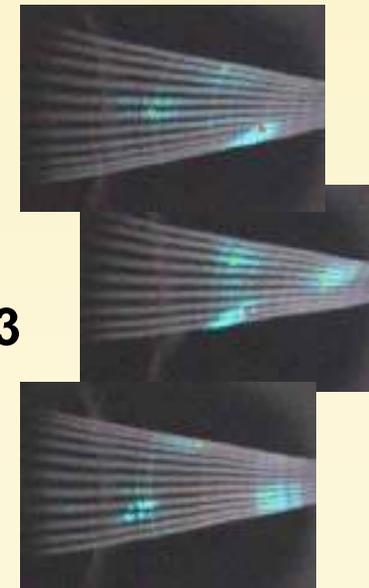


Superposición de simulación-puntos reales. Los puntos azules son puntos de luz similares a los de una pantalla CRT(no plana).

▪ Es un rayo de electrones que choca sobre la varilla fluorescente oscilante y genera las superficies que habíamos simulado anteriormente,

SI TODA LA CONSTRUCCIÓN DEL STELLARATOR y los CÁLCULOS SON CORRECTOS !!)

▪ Los puntos simulados (círculos) concuerdan ~bien con los reales



3

Pulsos #128 127 126

Cómo se han generado las bobinas?



1



2



3



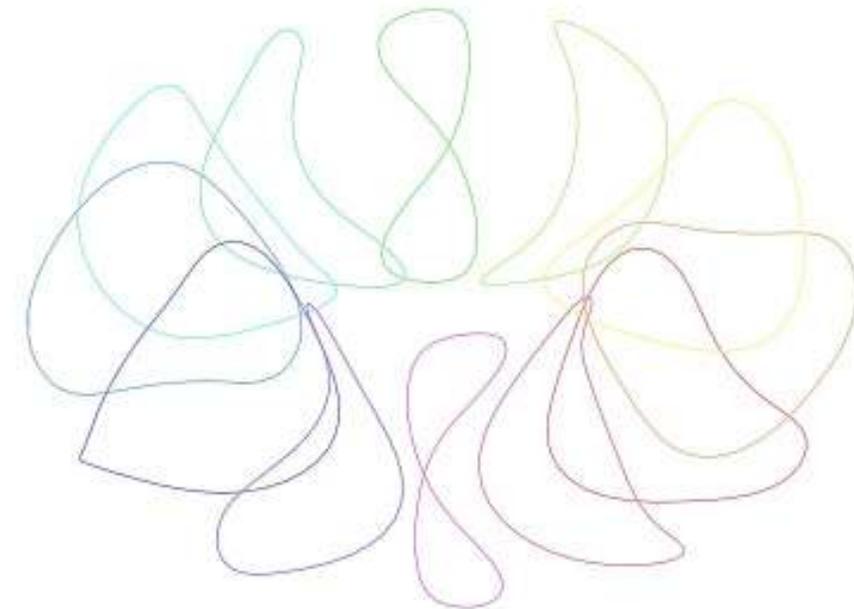
UST_1

Proceso :

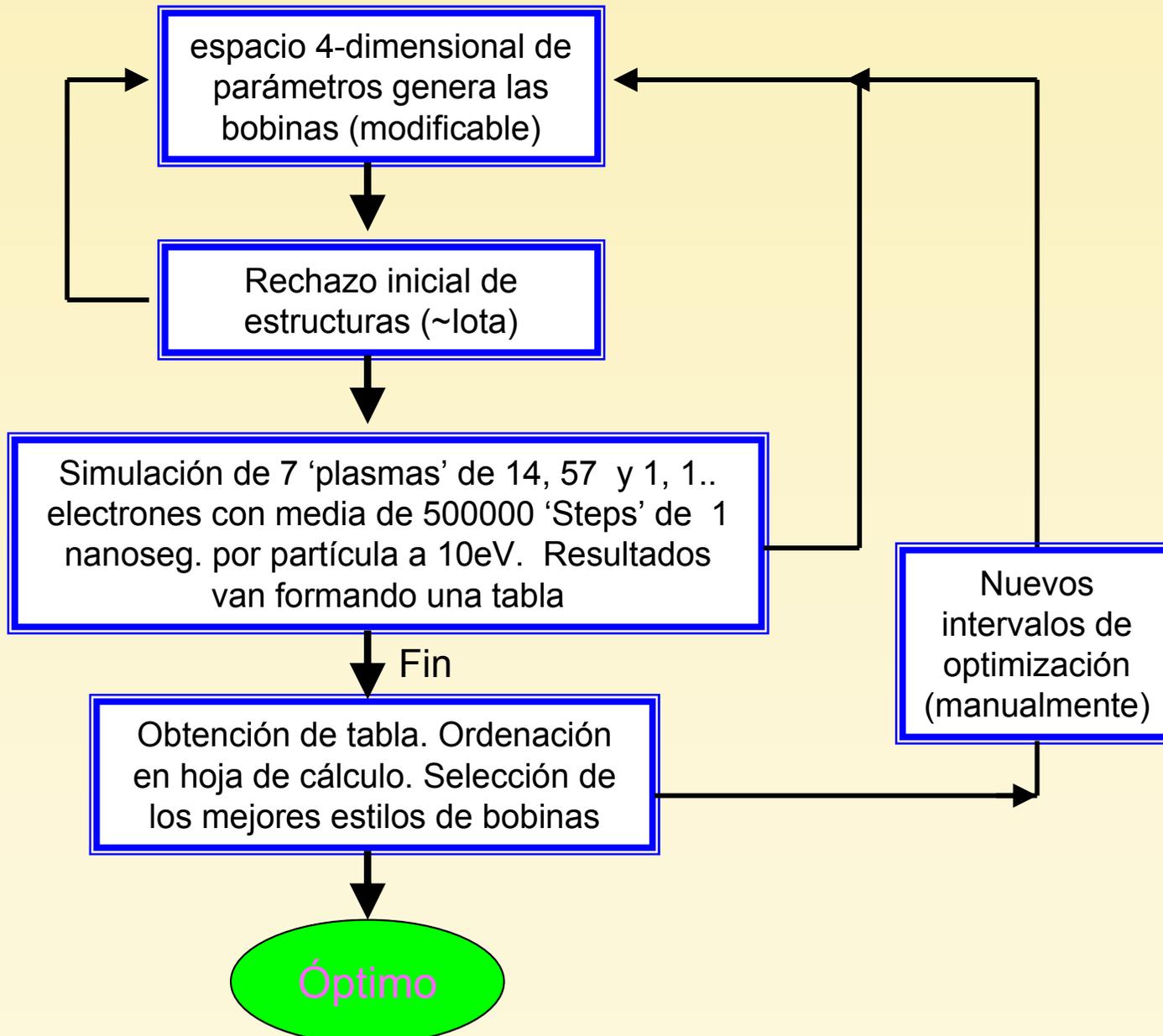
- Se van 'probando' conjuntos de bobinas con deformaciones diferentes.
- Se elige el mejor.

El método :

- Es un método actualmente poco utilizado, pero
- aún se utiliza en las fases finales de optimización.
- **Desventaja** : Necesaria gran potencia de cálculo.
- Una **ventaja** : Es posible obtener bobinas satisfactorias sin restricciones pre-impuestas.
- Estilo **evolución natural**. Selección de las 'líneas' evolutivas más favorables. Pero evol. = lenta y casual



Obtención de las bobinas (más técnicamente)



Prueba de bobinas

- **Rápida** simulación de la órbita de cada partícula.
- El '*Rechazo inicial*' acelera el proceso
- **Centenares de horas** de proceso si 5 dimensiones (~40000 estructuras de bobinas a probar). Requeriría decenas de PC's
- **De 6 a 27 PC-horas** para ~6000 estructuras de bobinas (4 parámetros=dimensiones)
- **Estos cálculos y simulaciones son muy adecuados para el Grid-supercomputador ZIVIS**

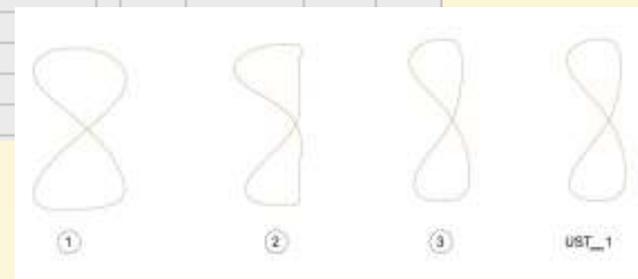
Obtención de bobinas. Tabla de resultados

Lo relevante de la tabla :

- Miles de tablas de resultados similares a ésta necesitan ser calculadas
- ZIVIS utiliza una potencia de cómputo sobrante que puede ser utilizada

Order	lota_1	Ripple_1	%T	Bmin_Desvia	Average_Rip	PlasmaSiz	lota_2	Speci	Speci	MinDistanc	Fr	Pitch_On	Pitch2	Pitch3	Pitch4	H	Positi	up/dwon	well	
5	0,32121037	0,21300687	0	0,00374385	0,11439581	0,05125	0,33552672	9,98	10	0,009852	0	1,4	1,25	1,6	0,65	1	0,13	1,045	0,005	
73	0,32177544	0,19787124	0	0,00318734	0,11406053	0,05	0,33412121	9,75	9,82	0,007882	0	1,5	1,35	1,55	0,6	1	0,13	1,038	0,007	
65	0,32024554	0,20227083	0	0,00373036	0,10963253	0,05125	0,33327691	9,59	9,7	0,008333	0	1,5	1,3	1,55	0,65	1	0,13	1,041	0,011	
66	0,31997029	0,21509815	0	0,00312266	0,11926719	0,05125	0,33323999	9,88	9,96	0,008333	0	1,5	1,3	1,6	0,55	1	0,13	1,041	0,008	
58	0,31962951	0,21167492	0	0,00411215	0,11538991	0,05125	0,33303551	9,76	9,81	0,008784	0	1,5	1,25	1,6	0,6	1	0,13	1,042	0,006	
100	0,32221723	0,20706325	0	0,00441405	0,11215376	0,055	0,33275596	9,55	9,68	0,007348	0	1,55	1,35	1,55	0,6	1	0,13	1,033	0,013	
21	0,31750303	0,22302173	0	0,00378824	0,12245854	0,05	0,33218611	10,2	10,3	0,00895	0	1,4	1,35	1,6	0,55	1	0,13	1,046	0,002	
38	0,31735654	0,21121886	0	0,00379767	0,11032161	0,0525	0,33182238	9,74	9,83	0,008867	0	1,45	1,3	1,55	0,65	1	0,13	1,046	0,009	THIS
46	0,31811712	0,20618378	0	0,00347575	0,11421107	0,0525	0,33172369	9,91	9,94	0,008416	0	1,45	1,35	1,55	0,6	1	0,13	1,043	0,004	
31	0,31552703	0,22044592	0	0,0037769	0,1160773	0,05125	0,33076228	9,89	9,98	0,009318	0	1,45	1,25	1,6	0,6	1	0,13	1,048	0,009	
39	0,31629678	0,22423351	0	0,00345106	0,12014642	0,0525	0,33013713	10	10,1	0,008867	0	1,45	1,3	1,6	0,55	1	0,13	1,044	0,006	
84	0,31663715	0,2027263	0	0,00370281	0,11769417	0,055	0,32961367	9,7	9,78	0,008056	0	1,55	1,25	1,6	0,55	1	0,13	1,041	0,009	
91	0,31780244	0,19299761	0	0,00414231	0,11246796	0,05375	0,32909387	9,54	9,63	0,00778	0	1,55	1,3	1,55	0,6	1	0,13	1,036	0,009	
99	0,31631804	0,20671245	0	0,00468787	0,11574988	0,055	0,32851403	9,66	9,76	0,007348	0	1,55	1,35	1,55	0,55	1	0,13	1,039	0,011	
83	0,3154783	0,19315352	0	0,00436111	0,10875171	0,0525	0,32830247	9,39	9,51	0,008056	0	1,55	1,25	1,55	0,65	1	0,13	1,041	0,013	
11	0,31369671	0,21665571	0	0,00410095	0,11192947	0,05125	0,32827982	9,9	9,98	0,009401	0	1,4	1,3	1,55	0,65	1	0,13	1,046	0,007	
4	0,31422598	0,2092244	0	0,0035935	0,11873827	0,05125	0,32806725	10	10,1	0,009852	0	1,4	1,25	1,6	0,6	1	0,13	1,044	0,006	
19	0,31346058	0,21258333	0	0,00432119	0,11584367	0,05	0,32744505	10,1	10,1	0,00895	0	1,4	1,35	1,55	0,6	1	0,13	1,045	0,003	
Cut																				
90	0,30859755	0,21014439	0	0,00433755	0,11578788	0,055	0,32115361	9,61	9,69	0,00778	0	1,55	1,3	1,55						
63	0,31314478	0,20095219	0	0,00297516	0,1167087	0,05625	0,32018027	9,75	9,83	0,008333	0	1,5	1,3	1,55						
18	0,30694923	0,2152499	0	0,00340183	0,12000274	0,0525	0,32006331	10,1	10,2	0,00895	0	1,4	1,35	1,55						
55	0,30714644	0,20132164	0	0,00371561	0,1123814	0,05375	0,31927263	9,61	9,72	0,008784	0	1,5	1,25	1,55						

UST_1



- La bobina conjunto 3 da como resultado la línea '21'. Mejorable
- La 1 y 2 serían eliminadas en la *preselección inicial*.
- La 'UST_1', línea '38' son las **bobinas elegidas**.
- Sólo 4 parámetros 'Pitch' y 7 variables a optimizar, por tanto decisión difícil.
- **Más potencia de cómputo** es necesaria para obtener un diseño mejorado.

Minimizando las partículas que escapan

Lo ideal: Decirle al programa de simulación :
'dame la estructura de bobinas para la cual
escapan menos partículas'.

Pero **el PC podría tardar siglos
en dar una respuesta !!
(ZIVIS meses)**

Caso real :

- Simulación para el stellarator CNT (no el UST_1).
- Se simulan 'estructuras' con 9 ángulos y 6 relaciones de corrientes = 54 estructuras SÓLO!, (~6000!! en UST_1)
- 41 estructuras se evitaron en el 'Rechazo inicial'.
- 13 estructuras se simularon con **200 protones durante 5ms. Total 8 horas PC.**
- La estructura llamada '6620' ganó el 'concurso'!!
Tardan en escapar 325 microsegundos.

Más info. en www.fusionvic.org , ver CNT



Fuente : 'First results from CNT', Thomas S. Pedersen

CNT stellarator = 'Columbia
non neutral torus'

IV . Ideas finales

Mañana, construimos un reactor para producir energía?

El reactor sería caro → energía cara (a precios actuales)

Porqué el coste es elevado?

- El tamaño ~**30m** de diám. exterior (stellarator)
- Las bobinas tienen que ser **superconductoras** :
 - resistir fuerzas enormes
 - muy exactas, errores < 0.2% (mejor < 0.1%)
- **Se crean neutrones** que :
 - * activan las paredes internas del 'donut' y ello complica las reparaciones y la operación.
 - * destruyen las paredes en 5 o 10 años (depende).
 - * hay que almacenar bastantes metales activados unos 100 años**.



Inversión alta

+

Dudas

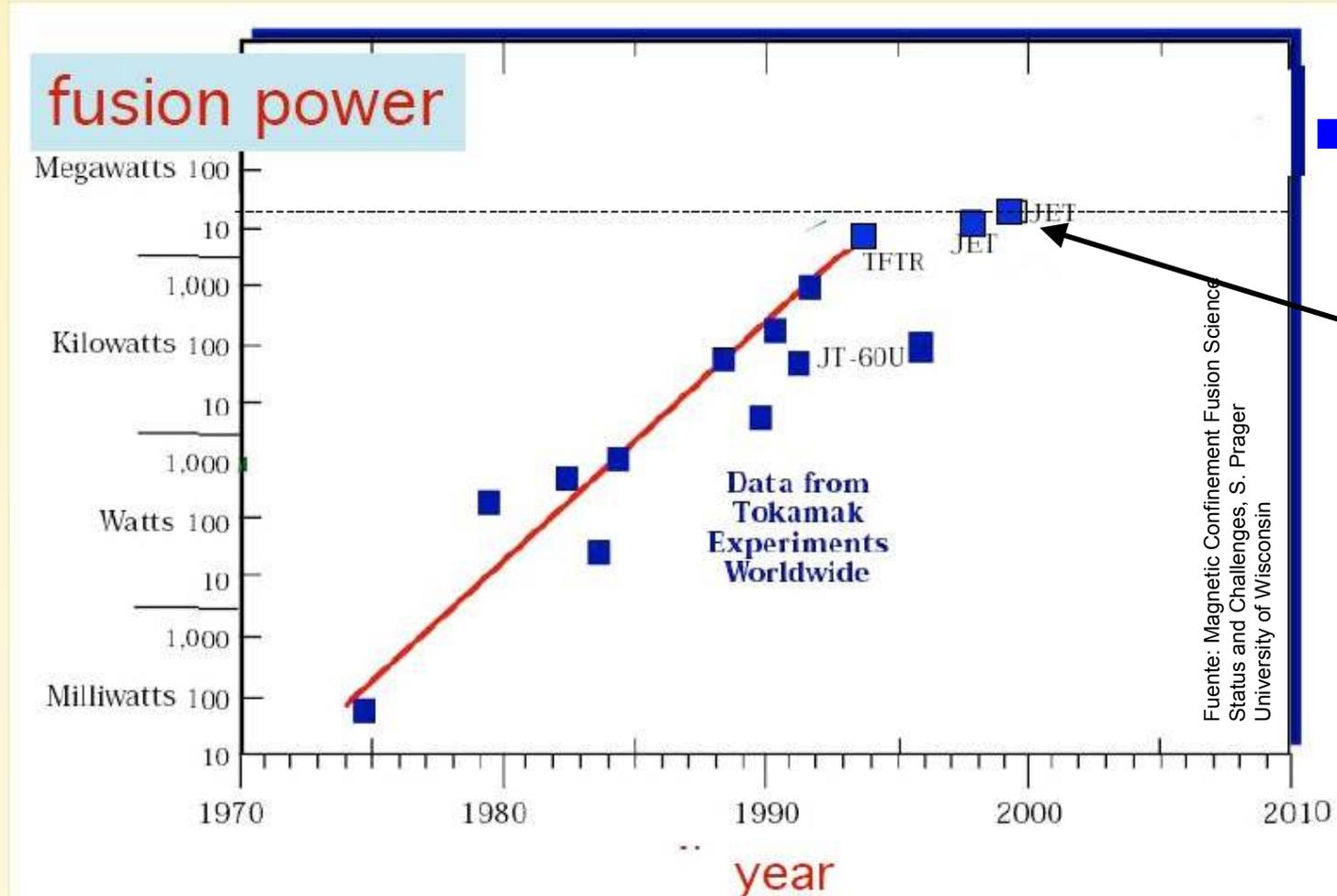


NO inversión empresarial (por ahora)

** Son metales estructurales, nada que ver con los residuos en la fisión (centrales actuales de uranio)

pero, la fusión ya ha producido mucha energía

- No hay duda,
- la fusión ya ha generado energía, 16MW ,
- ITER producirá cientos de megavatios de energía



Valor experimental, JET en 1997, 16 MW

Alguna idea brillante ?

- Hacen falta **ideas creativas** y creíbles en fusión,

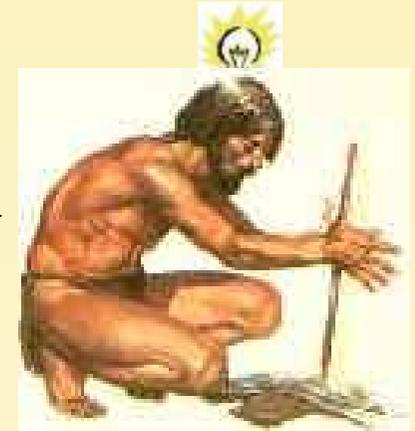
- para
 - **reducir costes,**
 - **simplificar diseños y**
 - **avanzar más rápido**



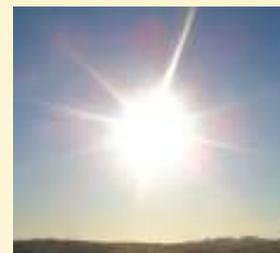
Fuego natural
(~rayos o calor)



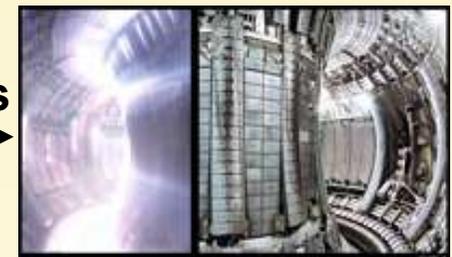
Probaron,
fracasaron,
intentaron
nuevamente...
durante
cientos de
miles de años



Fuego a voluntad.
*Intuición + técnica =
arte*



unos cien años

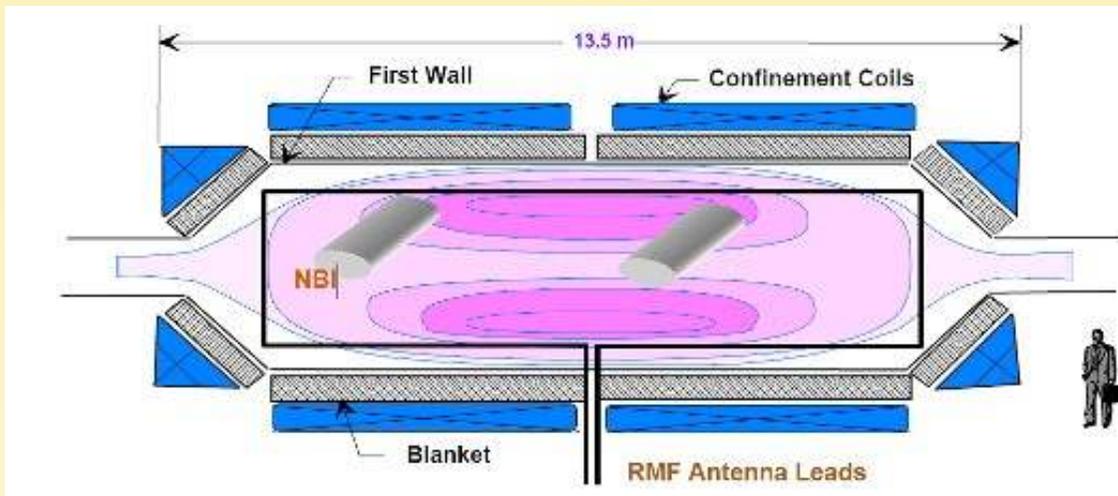


- Se invierte poco en **conceptos alternativos o innovadores.**

Quizás I+D a invertir = **Ahorro global futuro** x **Probabilidad de éxito** x €I+D

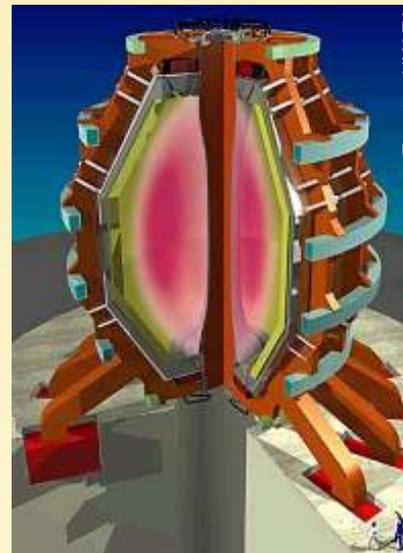
Dos buenas ideas (en mi opinión)

FRC : 'Field reversed configuration'



Fuente : 'Recent Progress on FRC', Houyang Guo, RPPL

Spherical Tokamak 'creativo'



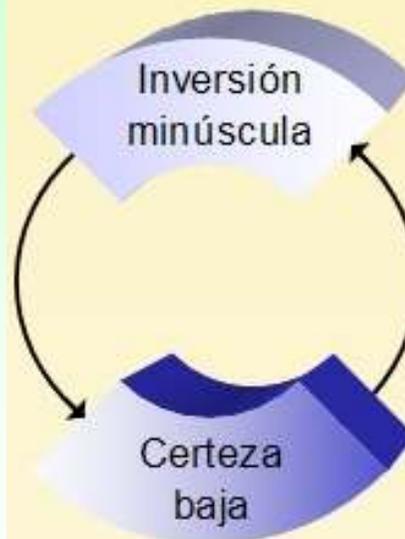
Ventajas de todos los ST:

- Pequeño tamaño → interés empresarial ya.
- ↓ tamaño ; ↑ Beta, ↓ B ↓↓ F , ↓ bobinas, fácil mantenimiento, continuo a ↓ CD → ↓ coste.

Ventajas (utilizando ^3He) :

- ~97% menos neutrones, (Kulcinski, Santarius + otros).
- ~97% menos activación.
- **No tritio** en la central.
- Fácil mantenimiento (lineal, no blanket).
- **Conversión directa** en electricidad
- ↓↓ activación del 'divertor' + fácil acceso, espacioso.
- Económico, ingeniería simple.

Inconveniente



Ventajas adicionales de los ST 'creativos' :

- Li-Walls : 10- 100 veces menos residuos ↑ activados que en tokamak común, aún más fácil mantenimiento (APEX Interim Report)
- PROTO-SPHERA e ideas similares: aún menos residuos y más fácil mantenimiento.

El futuro

Consumimos mucho, somos muchos →
necesitamos mucha energía limpia y barata →

La fusión es importante

Un gran ZIVIS es importante !!

Más información en :

ZIVIS : <http://zivis.zaragoza.es>

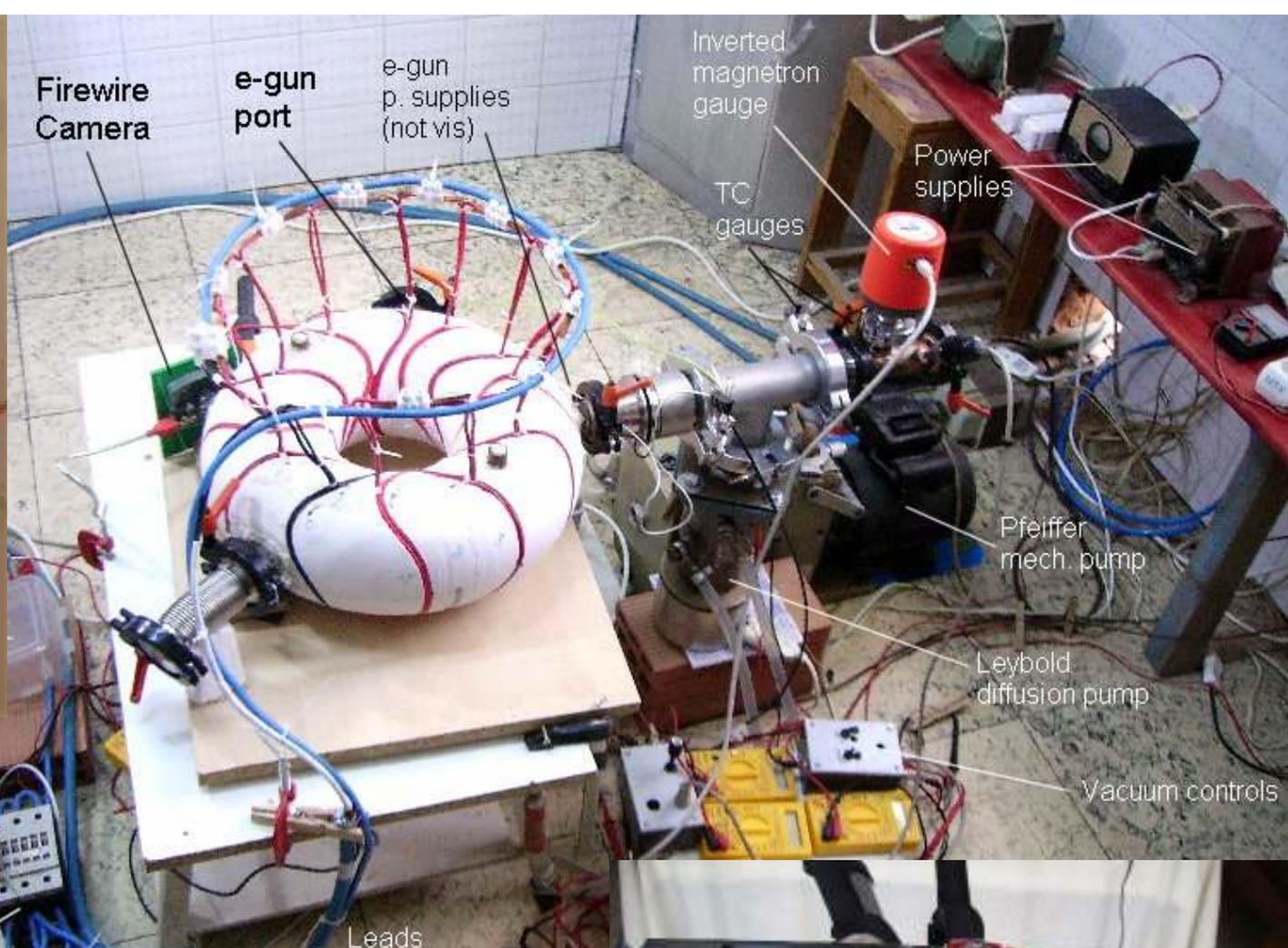
Fusión, (castellano) : www-fusion.ciemat.es/New_fusion/es/Fusion/

Fusión, (inglés) : www-fusion-magnetique.cea.fr/gb/

UST_1 : www.fusionvic.org



Gracias



Más información en www.fusionvic.org
<http://zivis.zaragoza.es>

