

Universitat Politècnica de Catalunya – Universitat de Barcelona**Màster oficial d'Enginyeria en Energia*****Fitxa de descripció d'assignatura***

Assignatura	Fusion Nuclear	Codi:			
		Versió:			
Tipus:		Crèdits totals ECTS:	5	Hores/setmana totals:	
Idioma:		Crèdits presencials Teoria:	2.5	Hores/setmana presencials Teoria:	
Hores/crèdit:		Crèdits presencials Problemes:	1	Hores/setmana presencials Problemes:	
Quadrimestre:		Crèdits presencials Laboratori:	1.5	Hores/setmana presencials Laboratori:	
Nivel:		Crèdits no presencials:		Hores/setmana no presencials:	
Coordinador:	Javier Dies, FEEL-DFEN-UPC				
Professors:	Guillem Cortes, FEEL-DFEN-UPC				
Professors convidats:	Enrico Di Pietro EDFA-CSU-Barcelona Alfredo Portone EFDA-CSU-Barcelona Joaquin Sanchez Asociacion Euratom-Ciemat para la Fusion Jeronimo Garcia CEA-DRFC-Cadarache				
Horari i lloc de tutories:	UPC-ETSEIB-SEN, Cuatrimestre de otoño. QI				
Prerrequisits:					
Correquisits:					
Objectius generals:	Presentar los principios físicos y tecnológicos en que se basa el desarrollo de la energía nuclear de fusión.				
Objectius específics:	Proporcionar una panorámica general de los diferentes caminos que actualmente se contemplan para la consecución del reactor comercial de fusión. Introducir los aspectos tecnológicos que requiere la energía de fusión Conocer los fundamentos básicos de cálculo y evaluación. Presentar el proyecto ITER, sus aspectos tecnológicos, programa de construcción.				
Objectius transversals:					
Programa de Teoria:					
0. Presentación de la asignatura (1h).					
1. Introducción (3h).					
1.1. Recursos Energéticos.					
1.2. Reacciones de fusión.					
1.3. Combustibles de los reactores de fusión.					
1.4. Productos de fusión.					
1.5. Historia de la fusión termonuclear.					
2. Tasa de reacciones de fusión (5h)					
2.1. Funciones distribución en un plasma.					
2.2. Evolución de un plasma termonuclear.					
2.3. Secciones eficaces.					
2.4. Dos distribuciones maxwelianas.					
2.5. Un haz monoenergético y un plasma maxweliano.					

- 2.6. Tasa de reacciones.
- 2.7. Tasa de reacciones en un plasma de una sola especie.
- 2.8. Densidad de potencia. Fluencia.

3. Perdidas de energía en un plasma termonuclear (3h).

- 3.1. Perdidas por radiación de frenada, Bremsstrahlung.
- 3.2. Perdidas por radiación ciclotrón.
- 3.3. Ionización y recombinación.
- 3.4. Intercambio de carga.

4. Balance de energía en un plasma termonuclear (3h).

- 4.1. Criterio de Lawson.
- 4.2. Ecuaciones de conservación.
- 4.3. Equilibrio y temperatura de ignición.

5. Sistemas de confinamiento de plasmas (5h).

- 5.1. Introducción. Clasificación.
- 5.2. Sistemas abiertos. Espejos magnéticos: principio de confinamiento; espejo simple, espejo de mínimo B; espejo baseball, espejo Ying-yang.
- 5.3. Sistemas cerrados. Introducción, inestabilidades, familias de sistemas cerrados. Campos magnéticos: toroidal, poloidal.
- 5.4. Tokamaks. JET. Tore-Supra, DIII-D. ITER.
- 5.5. Stellarators. TJ-II, LHD, Wendelstein 7-AS, Wendelstein 7-X.

6. Sistemas de calentamiento de plasmas (2h).

- 6.1. Calentamiento óhmico.
- 6.2. Inyección neutros.
- 6.3. Compresión adiabática.
- 6.4. Calentamiento por radiofrecuencia.
- 6.5. Calentamiento por electrones relativistas.

7. Pureza del plasma. Alimentación de combustible (2h).

- 7.1. Impurezas: efectos, concentraciones.
- 7.2. Acumulación de helio.
- 7.3. Divertores.
- 7.4. Alimentación de combustible: gas-puffing, inyección de neutros.

8. Sistemas de extracción de energía (2h).

- 8.1. Termohidráulica en reactores de fusión.
- 8.2. Diseño de módulos de pared.
- 8.3. Conversión directa de energía.

9. Sistemas de Diagnostico (2h).

- 9.1. Medidas de densidades.
- 9.2. Medidas de temperaturas.
- 9.3. Medidas de productos de fusión.

10. Neutrónica. Producción de tritio (2h).

- 10.1. Distribución del flujo neutrónico.
- 10.2. Tasa de producción tritio.
- 10.3. Efectos de los neutrones sobre materiales del reactor.
- 10.4. Diseño de blindajes.

11. Fusión por confinamiento inercial (2h).

- 11.1. Introducción.
- 11.2. Criterio de Lawson en los SCI.
- 11.3. Etapas del confinamiento inercial.
- 11.4. Fusión por láser: el láser. Transferencia de energía al plasma.
- 11.5. Fusión por haces de partículas: por electrones relativistas, por iones.

12. El proyecto ITER (4h)

- 12.1. Características principales.
- 12.2. Diseño.
- 12.3. Programa de construcción.
- 12.4. Programa de operación.
- 12.5. Estudios de seguridad e impacto ambiental.

Conferencias Invitadas:

- CONFERENCIA INVITADA 1
ENRICO DI PIETRO
DIRECTOR EFDA-CSU BARCELONA
TECNOLOGIA DEL REACTOR ITER
- CONFERENCIA INVITADA 2
ALFREDO PORTONE
EFDA-CSU BARCELONA
PLASMA CONTROL OF FUSION REACTORS
- CONFERENCIA INVITADA 3
JOAQUIN SANCHEZ
DIRECTOR LABORATORIO NACIONAL DE FUSION
PRESENTACIÓN DEL REACTOR DE FUSION TJ-II

Pràctiques de Laboratori:

Para favorecer el aprovechamiento de la asignatura se ha preparado un conjunto de prácticas.

- **Utilización de un simulador de un reactor de fusión nuclear tipo tokamak para fines docentes.**

Estas prácticas se realizarán en las aulas informáticas de la ETSEIB. El desarrollo de las prácticas se hará individualmente.

P1. Reproducción de experiencias reales de dispositivos de fusión (Jet y Tore Supra).

P2. Simulación de la operación del reactor de fusión ITER.

P3. Mejora del confinamiento de un plasma termonuclear: Inversión del perfil del factor de seguridad.

(10 horas)

Metodología para el desarrollo de las prácticas:

-Presentación de las aplicaciones por parte del profesor: alcance, modelos y bases de datos.

-Ejecución de los programas: definición de parámetros, entrada de datos, almacenaje de datos.

-Análisis de resultados.

-Resolución de las cuestiones planteadas y elaboración de la memoria.

- **Participación remota en un experimento de fusión termonuclear. Seguimiento remoto de una descarga del experimento TJ-II flexible heliac, del Laboratorio Nacional de Fusión, en el CIEMAT, Madrid.**

Se puede ver en tiempo real unas 300 variables del experimento TJ-II, con sonido e imagen de la sala de control del dispositivo. Se realiza el control remoto del diagnóstico CX, que permite medir la temperatura de los iones. Se ha realizado medidas de hasta 20 millones de grados.

VISITA TÉCNICA:

En cada curso se realizará **una** visita técnica al reactor francés Tore Supra y al emplazamiento ITER :

Tore Supra es un reactor de fusión termonuclear tipo tokamak, construido en 1989. Para crear el campo magnético toroidal, utiliza bobinas superconductoras. Departament de Recherches sur la Fusion Contrôlée, Commissariat d'Energie Atomique, Associació EURATOM-CEA sur la fusion, Cadarache França.

<http://www-cad.cea.fr>

-Se visitará el emplazamiento donde se han iniciado los trabajos para la construcción del ITER. Este es un reactor de fusión de 500 MW de potencia nominal, tipo tokamak. Utiliza bobinas superconductoras. El presupuesto es de unos 4500 M€. Se trata del segundo proyecto de investigación de carácter internacional más grande del mundo. Participan: Estados Unidos, Japón, Europa, China, Rusia, Corea del Sur, India.

<http://www.iter.org>

(Tiempo, 7 horas + viajes)

Durante las visitas se da especial importancia a los aspectos tecnológicos relativos a: sistemas de calentamiento por inyección de neutros, por radiofrecuencia, sistemas criogénicos, sistemas eléctricos para generación de campos magnéticos, sistemas de diagnóstico de plasmas, seguridad.

Activitats No Presencials:

La Universidad Politécnica de Cataluña ha desarrollado el entorno ATENEA sobre el cual la ETSEIB ha implementado su CAMPUS DIGITAL.

Para incrementar la comunicación entre el estudiante y el profesor, en el desarrollo de esta asignatura se utilizará el Campus Digital como medio adicional de comunicación asíncrona.

Los usos habituales del Campus Digital de la ETSEIB en la asignatura Fusión Nuclear son:

- Poner calificaciones de los estudiantes en los distintos actos de evaluación.
- Anuncio de conferencias, videoconferencias y seminarios.
- Anuncio de cambios de fechas u horas, en la programación de la asignatura: prácticas, visitas técnicas, evaluaciones.
- Concertar entrevistas entre profesor y estudiante.
- Visualizar el historial del estudiante.
- Distribuir documentación.
- Anuncios generales (ofertas de trabajos, ofertas de becas, noticias relativas a la ingeniería nuclear,..)

Càrrega setmanal de l'estudiant en hores:

Tipus d'activitat / Setmana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Total
Teoria																
Pràctiques																
Problemes																
Activitat No presencial																
Treball individual																
Treball en grup																
Proves i exàmens																
Altres activitats																
TOTAL																

Metodologia docent:

CLASES TEÓRICAS Y DE EJERCICIOS.

En las exposiciones en el aula se desarrolla el contenido de las diferentes lecciones que constituyen el programa, incluyendo la realización de ejercicios que permitan fijar y cuantificar los conceptos presentados.

Para mejorar el aprovechamiento de estas sesiones, el profesorado usará transparencias que permitan enriquecer gráficamente las ideas principales de la exposición. Con antelación suficiente se distribuirán a los estudiantes ejemplares en papel de las transparencias, facilitando la concentración en las explicaciones y evitando la necesidad de tomar excesivas notas.

Se distribuirá material multimedia relativo a la asignatura.

PROYECCIÓN DE DOCUMENTALES.

Para ilustrar los aspectos tecnológicos de algunos temas, el desarrollo de los mismos se complementa con la proyección de diversos documentales.

- Fusión por confinamiento magnético.
- Materiales superconductores utilizados en el reactor Tore Supra.
- JET, Joint European Torus.

PRÁCTICAS.

Para favorecer el aprovechamiento de la asignatura se ha preparado el conjunto de prácticas descrito anteriormente.

Bibliografía Bàsica:

1. Raeder, J. (1986): *Controlled nuclear Fusion, fundamentals of its utilization for energy supply*, Wiley & Sons, New York, 316 págs.
2. Wesson, J. (2004): "Tokamaks", Oxford Science publications, Clarendon press- Oxford, 680 pag.
3. Dolan, J.J. (1982): *Fusion research*. Pergamon Press, (tres volúmens).
4. Dies, J.; Albajar, F.; Fontanet, J. (1998); "Utilització d'un simulador d'un reactor de fusió nuclear tipus tokamak per a fins docents", 94 pag., Barcelona.
5. Dies, J.; (2007); "Transparencias Fusión Nuclear, ITER" Edicions CPDA, 304 pag., Barcelona.
6. DG XII Fusion Programme "dominar la energia de las estrellas", CD-Rom, 2003.

Bibliografía Complementària:

1. Hutchinson, I.H., (2000): "Principles of plasma diagnostics", Cambridge University press, 364 pag.
2. Masahiro Wakatami (1998) ; "Stellarators and heliotron devices", Oxford University Press.
3. CEA (1987), *La fusion thermonucléaire contrôlée par confinement magnétique*. Masson.
4. Kammash, T. (1975): *Fusion Reactor Physics*, Ann Arbor Science, Ann Arbor, Michigan.
5. JET, Joint Undertaking (1995), *JET Progress Report*, EUR EN, EUR-JET-PR8.
6. Jeffrey Freidberg (2007); "Plasma Physics and Fusion Energy", Cambridge University press, 671 pag.

Criteri d'avaluació:

La evaluación se realiza asignando un peso a las diferentes actividades desarrolladas en el marco de la asignatura, tal como se indica en la expresión siguiente. Se considera la asistencia a las clases y conferencias invitadas (A), las memorias presentadas por los estudiantes correspondientes a cada trabajo práctico (MP), la asistencia a las prácticas (AP), la participación en la visita técnica (V). La calificación final (NF) se obtendrá con la siguiente expresión:

$$NF = 0.40 \cdot A + 0.25 \cdot MP + 0.15 \cdot AP + 0.15 \cdot V$$

EUROPEAN MASTER OF SCIENCE IN NUCLEAR ENGINEERING (EMSNE):

Los cinco créditos ECTS correspondientes a esta asignatura contabilizan como formación nuclear para la obtención del European Master of Science in Nuclear Engineering (EMSNE) impulsado por la European Nuclear Education Network (ENEN).

<http://www-sen.upc.es>