

# **ESCUELA UNIVERSITARIA INGENIERIA TÉCNICA INDUSTRIAL DE ZARAGOZA**



## **ESTUDIO TECNOLÓGICO SOBRE LA ENERGÍA NUCLEAR DE FISIÓN Y DE FUSIÓN**

### **MEMORIA ACADÉMICA**

**AUTOR: ALBERTO SANZ MONTESINOS**

**ESPECIALIDAD: MECÁNICA**

**DIRECTOR: MIGUEL ÁNGEL TORRES PORTERO /  
MANUEL TORRES PORTERO**

# ÍNDICE

1.- Introducción.....	3
2.- Desarrollo.....	4
3.- Planificación.....	8
4.- Ejecución y seguimiento tutorial.....	9
5.- Balance de horas.....	10
6.- Conclusiones personales.....	11
7.- Agradecimientos.....	12
8.- Referencias bibliográficas.....	13

# 1 Introducción

El objetivo de este proyecto, además de aprobar el proyecto fin de carrera y obtener el título de ingeniero técnico industrial, es el conocer un poco mejor el sistema eléctrico español y la energía de origen nuclear, que tan desconocida es en nuestra sociedad.

Así como aprender como son tratados los residuos, quién los regula y controla, conocer el parque nuclear español y su contribución en la generación de energía eléctrica, conocer el proyecto del Almacén Temporal Centralizado y sobre todo descubrir la energía nuclear de fusión en la que tantos esfuerzos se están volcando tanto económicos como humanos por parte de los científicos. Un ejemplo es el proyecto ITER que se trata del segundo proyecto de investigación más caro de la historia sólo por detrás de la estación espacial internacional.

## 2 Desarrollo

- 1 Introducción
- 2 Energía nuclear de fisión
  - 2.1 Descubrimiento de la fisión y su desarrollo
  - 2.2 Sector eléctrico español
    - 2.2.1 Demanda eléctrica
    - 2.2.2 Oferta eléctrica
    - 2.2.3 Generación eléctrica de origen nuclear
  - 2.3 Equipamiento energético nuclear e infraestructuras
    - 2.3.1 Parque nuclear español
    - 2.3.2 Instalación de almacenamiento residuos radiactivos sólidos (El Cabril)
  - 2.4 Industria española de fabricación de equipos
  - 2.5 Aplicación salvaguardias integradas a las instalaciones españolas
  - 2.6 Plan general de residuos radiactivos
    - 2.6.1 Introducción
    - 2.6.2 Generación de residuos radiactivos
    - 2.6.3 Líneas de actuación
    - 2.6.4 Aspectos económicos – financieros
  - 2.7 Proyecto Almacén Temporal Centralizado (ATC)
    - 2.7.1 Introducción
    - 2.7.2 Características principales de las instalaciones
    - 2.7.3 Condiciones reguladoras
    - 2.7.4 Criterios básicos para la selección del emplazamiento
    - 2.7.5 Actualidad del ATC
  - 2.8 Consejo de seguridad nuclear (CSN)
    - 2.8.1 ¿Qué es el CSN?
    - 2.8.2 Funciones
    - 2.8.3 Plan estratégico
    - 2.8.4 Recursos económicos y financieros
    - 2.8.5 Relaciones institucionales
    - 2.8.6 Relaciones internacionales
    - 2.8.7 Comunicación

- 2.8.8 Información al público
- 2.9 Futuro de la energía nuclear de Fisión
- 2.10 Normativa aprobada y en elaboración
  - 2.10.1 Normativa nacional aprobada
  - 2.10.2 Normativa nacional en elaboración
  - 2.10.3 Normativa comunitaria en elaboración
- 3 Energía nuclear de fusión
  - 3.1 Fusión en la naturaleza
  - 3.2 Historia de la fusión termonuclear
  - 3.3 Principios básicos de la energía nuclear de fusión
  - 3.4 Fusión fría
  - 3.5 Física del plasma
    - 3.5.1 Definición de plasma
    - 3.5.2 Condiciones mínimas para la obtención de energía en un reactor de fusión: Criterio de Lawson e ignición
    - 3.5.3 Confinamiento del plasma
      - 3.5.3.1 Confinamiento gravitacional
      - 3.5.3.2 Confinamiento inercial
      - 3.5.3.3 Confinamiento magnético
        - 3.5.3.3.1 Tokamak
        - 3.5.3.3.2 Stellarators
    - 3.5.4 Calentamiento del plasma
      - 3.5.4.1 Calentamiento ohmico
      - 3.5.4.2 Inyección de haz de neutro
      - 3.5.4.3 Compresión adiabática
      - 3.5.4.4 Calentamiento por radiofrecuencia
  - 3.6 Proyectos de investigación
    - 3.6.1 Proyecto ITER
      - 3.6.1.1 Introducción ITER
      - 3.6.1.2 Historia de ITER
      - 3.6.1.3 Objetivos de ITER
      - 3.6.1.4 La máquina
      - 3.6.1.5 Emplazamiento de ITER
      - 3.6.1.6 Costes de ITER

- 3.6.2 JET
  - 3.6.2.1 Introducción de JET
  - 3.6.2.2 Parámetros de JET
  - 3.6.2.3 Hitos de JET
  - 3.6.2.4 Logros científicos de JET
  - 3.6.2.5 Objetivos de JET
- 3.6.3 MAST
  - 3.6.3.1 Introducción del MAST
  - 3.6.3.2 Parámetros del MAST
  - 3.6.3.3 Hitos del MAST
  - 3.6.3.4 Objetivos y logros del MAST
- 3.6.4 Wendelstein 7-X
  - 3.6.4.1 Introducción del W 7-X
  - 3.6.4.2 Parámetros del W 7-X
  - 3.6.4.3 Hitos del W 7-X
  - 3.6.4.4 Objetivos del W 7-X
- 3.6.5 Tore-Supra
  - 3.6.5.1 Historia de Tore-Supra
  - 3.6.5.2 Parámetros de Tore-Supra
  - 3.6.5.3 Hitos de Tore-Supra
  - 3.6.5.4 Objetivos de Tore-Supra
- 3.6.6 Frascati tokamak upgrade (FTU)
  - 3.6.6.1 Historia de FTU
  - 3.6.6.2 Parámetros de FTU
  - 3.6.6.3 Hitos de FTU
  - 3.6.6.4 Objetivos de FTU
- 3.6.7 TJ II
  - 3.6.7.1 Historia de TJ II
  - 3.6.7.2 Parámetros de TJ II
  - 3.6.7.3 Objetivos de TJ II

- 3.6.8 TCV
  - 3.6.8.1 El dispositivo
  - 3.6.8.2 Parámetros del TCV
  - 3.6.8.3 Hitos del TCV
  - 3.6.8.4 Logros del TCV
- 3.6.9 RFX
  - 3.6.9.1 Historia del RFX
  - 3.6.9.2 Hitos del RFX
  - 3.6.9.3 Objetivos del RFX
- 3.7 Beneficios derivados de la I+D de fusión
- 3.8 Seguridad e impacto ambiental de la fusión
  - 3.8.1 Introducción
  - 3.8.2 Conceptos de seguridad en la fusión
  - 3.8.3 Evaluación de la seguridad en el funcionamiento normal
  - 3.8.4 Evaluación de la seguridad en caso de accidente
  - 3.8.5 Gestión de materiales activados
- 3.9 Ventajas de la energía nuclear de fusión
- 3.10 Futuro de la energía nuclear de fusión
- 3.11 Normativa

#### 4 Bibliografía

### 3 Planificación

Desde octubre que me puse en contacto con mi tutor el cronograma de acciones y pasos para la realización del proyecto ha sido el siguiente:

#### Estudio de la materia y recopilación de material

Año →	2009				2010															
Mes →	Oct.		Nov.		Dic.		Enero		Feb.		Marzo		Abril		Mayo					
Semana →	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Tareas ↓																				
Recopilación de información																				
Estudio de los principios básicos																				
Estudio de la fisión nuclear																				
Estudio de la fusión nuclear																				
Estudio legislativo																				
Estudio medioambiental																				

#### Redacción y elaboración de documentos

Año →	2009				2010															
Mes →	Oct.		Nov.		Dic.		Enero		Feb.		Marzo		Abril		Mayo					
Semana →	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Tareas ↓																				
Memoria																				
Memoria académica																				
Elaboración del CD																				
Presentación																				

## 4 Ejecución y seguimiento tutorial

A continuación se detallan las reuniones realizadas y el control realizado sobre el proyecto.

### **26 de Octubre de 2009**

Primera reunión en la que Miguel Ángel me orienta sobre la realización del Proyecto Fin de Carrera y me expone varios temas a elegir. En la misma me decanto por el tema de la energía nuclear de fusión a raíz de mi interés por el tema.

### **19 de Noviembre de 2009**

Mediante correo electrónico le mando el primer borrador de lo que tengo pensado incluir en el proyecto. Decidimos conjuntamente incluir nuevos temas sobre la energía nuclear de fisión y el Almacén Temporal Centralizado.

### **25 de Enero de 2010**

Mediante correo electrónico le mando el índice completo del proyecto.

### **26 de Enero de 2010**

Quedamos en su despacho para repasar juntos el índice y hacer pequeñas modificaciones. Miguel Ángel da su visto bueno y empieza la redacción del proyecto.

### **17 de Abril de 2010**

Mediante correo electrónico le envío el proyecto completo para su revisión. Tras unos días me responde felicitándome y animando a que incluya un pequeño apartado.

### **28 de Abril de 2010**

Quedamos para que Miguel Ángel me oriente en la memoria académica.

## 5 Balance de horas

El total aproximado de horas dedicadas a este proyecto son las siguientes:

CONCEPTO	HORAS
Recopilación de material	200
Estudio de la materia	100
Redacción de la memoria	310
Redacción de la memoria académica	8
Elaboración del CD	2
Reuniones con el tutor	4
<b>TOTAL</b>	<b>624</b>

## 6 Conclusiones personales

Después de realizar el proyecto, estoy gratamente satisfecho, ya que me ha permitido aprender mucho sobre el sistema eléctrico español, que a diferencia de lo que pensaba el saldo de importación frente al de exportación es positivo. Es decir, generamos mayor cantidad de electricidad de la que necesitamos para venderla a Portugal y Marruecos y a su vez compramos o vendemos a Francia según nuestras necesidades. Que España es una isla eléctrica y necesita la construcción de nuevas líneas de muy alta tensión con Francia, porque según determinó en 2002 la Unión Europea el índice de interconexión de un país para garantizar el suministro eléctrico y evitar los temidos “apagones” (como ocurrió el pasado verano en Cataluña) debería ser del 10%, y en estos momento es del 3%.

También me ha permitido aprender sobre temas de actualidad como el Almacén Temporal Centralizado y que tanto rechazo social ha generado en los pueblos que se han ofrecido ha albergarlo.

Y sobre todo aprender sobre la energía nuclear de fusión, que a pesar de las inversiones estratosféricas que manejan es una tecnología completamente desconocida. Y que aunque se encuentra aún muy lejos de poder ser comercialmente utilizable, promete a largo plazo ser una buena solución en la generación de electricidad por su ausencia de emisiones de gases de efecto invernadero, la ausencia de residuos radiactivos de alta actividad y la mayor seguridad intrínseca frente a los reactores de fisión.

## 7 Agradecimientos

En primer lugar y como no puede ser de otra manera, quiero agradecer a mi tutor Miguel Ángel Torres Portero la predisposición que siempre ha tenido, desde el primer momento que contacté con él, en ayudarme en todas las dudas que he tenido en la realización del proyecto y además de una forma muy rápida.

A los responsables de la biblioteca por adquirir y mantener ese gran fondo bibliográfico del que disponemos y que tanto me ha servido en la recopilación de información, a pesar de ser un tema tan novedoso y desconocido cómo es la fusión nuclear.

Y por último, a mis padres por el apoyo y la comprensión que siempre han mostrado, y sin los cuales nunca podría haber realizado esta carrera.

A todos ellos, muchas gracias.

## 8 Referencias bibliográficas

A continuación se detallan las fuentes de información utilizadas para la realización del proyecto.

### Textos:

FREIDBERG, Jeffrey. *Plasma Physics and Fusión Energy*. Cambridge, 2007. 671p. ISBN-10: 0-511-27375-4

HARMS, A.A.; SCHOEPF, K.F.; MILEY, G.H.; KINGDON, D.R. *Principles of fusion energy : an introduction to fusion energy for students of science and engineering*. Worl Scientific. 289 p. ISBN: 9789812380333

MARTINEZ – VAL, José M.; PIERA, Mireira. *Reactores nucleares*. Universidad Politécnica de Madrid, 1997. 680p. ISBN: 8474841194

PALLARÉS HUICI, Enrique. *Centrales Térmicas y Nucleares*. Universidad Politécnica de Valencia.

*Sexto Plan General de Residuos Radiactivos*, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Depósito legal: M-38978-2006

*Revista estratos*, ed. nº 93 Invierno 2010.

*La energía en España 2008*, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. ISBN: 978-84-96275-86-7

*Energía 2009*, Foro Nuclear. Depósito legal: M-26890-2009

*La investigación de fusión*, Comisión Europea Dirección General de Investigación en Energía de Fusión. ISBN: 92-894-7710-9

### Web:

[www.iter.org](http://www.iter.org) – Proyecto ITER

[www.efda.org](http://www.efda.org) – European Fusión Development Agreement

[www.enresa.es](http://www.enresa.es) – Empresa Nacional de Residuos Radiactivos

[www.mityc.es](http://www.mityc.es) – Ministerio de Industria, Turismo Y Comercio

[www.ciemat.es](http://www.ciemat.es) – Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.