



MEMORIA ACADÉMICA DEL PROYECTO FINAL DE CARRERA

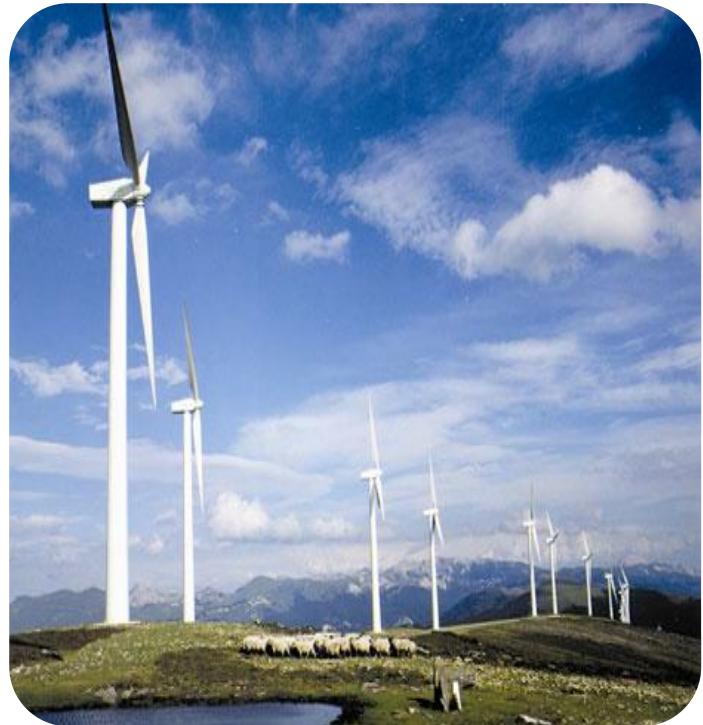


Escuela
Universitaria
Ingeniería
Técnica
Industrial
ZARAGOZA

ENERGÍA EÓLICA TERRESTRE Y MARÍTIMA

Autor:

Juan Lahoz Lafuente



Director del proyecto:

Miguel Ángel Torres Portero



Especialidad:
Electrónica

Convocatoria:
Septiembre 2010

INDICE

1) Introducción.....	1
2) Desarrollo.....	2
3) Planificación.....	9
4) Ejecución y seguimiento.....	10
5) Balance de horas.....	11
6) Conclusiones personales.....	12
7) Agradecimientos.....	14
8) Bibliografía.....	15

1) Introducción:

El propósito de realización de este proyecto es el de obtener el título de la carrera universitaria que estoy realizando, título universitario de Ingeniero Técnico Industrial Especialidad de Electrónica en la universidad de Zaragoza, con un estudio que me permita conocer más profundamente el mundo de las energías renovables o energías verdes ,en este caso el de la energía Eólica.

El título de este proyecto , “Energía Eólica terrestre y marítima”, como su propio nombre indica, se basa en el estudio del uso del viento para la obtención de uno de los tipos de energía renovable que existen hoy en día, entre los que se encuentra la energía solar, la energía de las biomasas o la energía fotovoltaica entre otras. Uno de los temas que me llamaba mucho la atención era el comienzo de la proliferación de aerogeneradores situados en el mar, por ello decidí que un buen tema para el desarrollo de mi proyecto de fin de carrera, no sería otro que el de indagar, buscar y entender las posibles diferencias que podían existir entre un aerogenerador situado en el medio terrestre o en el medio marítimo.

El desarrollo de este proyecto permite conocer cómo podemos obtener energía eléctrica de forma limpia mediante el uso de la fuerza del viento. También podemos comprender de mejor forma los usos de esta energía, que puede ir desde el simple abastecimiento eléctrico para una bomba de agua hasta el abastecimiento de una vivienda aislada o de todo un pueblo.

Es también un tema de desarrollo importante para entender los cuidados que como seres humanos debemos de tener con el medio ambiente respetando así los acuerdos del protocolo de Kioto sobre el cambio climático que se establecieron en la susodicha ciudad el 11 de diciembre de 1997 para reducir las emisiones de gases que son causas del calentamiento global.

2) Desarrollo:

El documento principal del proyecto, la memoria, sigue le siguiente índice:

1.- Historia, Definición y Contexto.....	1
1.1.- Definiciones:.....	1
1.2.- Contexto:.....	3
1.3.- Historia:.....	4
Los primeros molinos:.....	4
En Europa:.....	7
Molinos de bombeo:.....	8
Turbinas modernas:.....	8
2.-El viento recurso eólico, aerodinámica y cálculo energético.....	9
2.1.- El viento recurso eólico:.....	9
2.1.1.- Naturaleza del viento:.....	9
2.1.1.1.- Fuerza de Coriolis:.....	12
2.1.1.2.- Cinturones de presión:.....	13
2.1.1.3.- Viento geostrófico:.....	14
2.1.1.4.- Vientos locales:.....	14
a.-Brisas de la costa-mar:.....	14
b.-Vientos de montaña-valle:.....	15
c.-Alisios y monzones:.....	15
2.1.1.5.- Sistemas de bajas presiones extra tropicales:.....	16
2.1.2.- Caracterización de los valores medios. Curvas de distribución de velocidad y Rosa de vientos:.....	17
2.1.3.- Variación del viento con la altura:.....	19
2.1.3.1.- Capa superficial:.....	21
2.2.1.- Efectos orográficos y de estelas:.....	23
a.-Orografía del terreno:.....	24
b.-Cizalladura:.....	28
3- Aerogeneradores.....	30
3.1.- ¿Que es un aerogenerador?.....	30
3.2.- Aerodinámica:.....	32

3.2.1.- Perfiles y potencia:.....	32
3.3.- Tipos de generador eléctrico:.....	37
3.3.1.- Generadores asíncronos o de inducción:.....	38
3.3.2.- Generadores síncronos:.....	40
3.4.- Diferentes partes de un aerogenerador:.....	42
3.4.1.- Descripción general y componentes:.....	42
3.4.1.1.- La góndola:.....	42
3.4.1.2.- El rotor:.....	43
3.4.1.2.1.- Parámetros de diseño de rotores eólico:.....	46
3.4.1.2.2.- Influencia del número de palas:.....	47
3.4.1.2.3.- Diseño óptimo de la pala. Factor de actividad:.....	48
3.4.1.2.4.- Tecnología de palas:.....	49
a.- Geometría:.....	49
3.4.1.3.- Sistemas de transmisión:.....	51
3.4.1.3.1.- Aspectos generales:.....	52
3.4.1.3.2.- Configuración del sistema de transmisión:.....	54
a) Diseño estándar:.....	54
a.- Generador de eje vertical en la zona superior de la torre:.....	55
b.- Generador en la base de la torre:.....	55
c.- Generador directamente acoplado:.....	56
3.4.1.3.3.- Apoyo del sistema de transmisión:.....	56
a.- Eje del rotor con apoyos separados:.....	57
b.- Eje del rotor integrado en la caja multiplicadora:.....	57
c.- Eje del rotor conectado a un soporte fijo:.....	58
3.4.1.4.- Freno mecánico:.....	58
3.4.1.5.- Caja multiplicadora:.....	60
a.- Tipos de cajas multiplicadoras:.....	62
b.- Dimensionamiento:.....	64
c.- Rendimiento:.....	65
d.- Ruido acústico:.....	66
3.4.1.6.- Amortiguamientos mecánicos:.....	66
3.4.1.7.- Torre:.....	69
3.4.1.7.1.- Tipos de torre:.....	70

 Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Zaragoza	Memoria Académica	Energía Eólica terrestre y marítima
---	------------------------------------	--

a.- Torre de celosía:.....	70
b.- Torre tubular de acero:.....	71
c.- Torre tubular de hormigón:.....	72
d.- Accesibilidad:.....	73
e.- Diseño estructural:.....	74
3.4.1.8.- Mecanismo de cambio de pala:.....	76
3.4.1.8.1.- Componentes básicos:.....	76
a.- Elementos de conexión con el buje:.....	76
b.- Accionamiento del sistema de giro:.....	77
3.4.1.8.2.- Sistemas electrónicos de cambio de paso:.....	78
3.4.1.8.3.- Sistemas individuales de cambio de paso:.....	79
3.4.1.8.4.- Sistemas pasivos de cambio de paso:.....	81
3.4.1.9.- Mecanismo de orientación:.....	82
a.- El buje:.....	84
b.- El eje de baja velocidad:.....	85
c.- El eje de alta velocidad:.....	85
d.- El anemómetro y la veleta:.....	86
e.- La unidad de refrigeración:.....	86
f.- Turbina:.....	86
3.5.- Tipología de los Aerogeneradores:.....	91
3.5.1.-Por la posición del aerogenerador:.....	91
3.5.1.1.- Eje vertical:.....	91
a.- Darrieus:.....	91
b.- Panemonas:.....	92
c.- Savonius:.....	92
3.5.1.2.- Eje horizontal:.....	92
3.5.2.- Por la posición del equipo con respecto al viento:.....	94
a.- A barlovento:.....	94
b.- A sotavento:.....	94
3.5.3.- Por el número de palas:.....	95
a.- Un pala:.....	95
b.- Dos palas:.....	95
c.- Tres palas:.....	96

d.- Multipalas:.....	96
3.5.4.- Por la manera de adecuar la orientación del equipo a la dirección del viento en cada momento:.....	97
3.6.- Control de potencia:.....	98
3.6.1.- Comparación de las aeroturbinas según su coeficiente de potencia y su velocidad de giro:.....	100
3.7.- Sistemas de almacenamiento:.....	108
4.- Usos de los aerogeneradores.....	104
4.1.- Pequeña potencia:.....	104
4.1.1.- Generalidades:.....	104
4.1.2.- Molinos de bombeo de agua:.....	105
4.1.3.- Aerogeneradores para una vivienda aislada:.....	112
4.1.3.1.- Aerogeneradores de 800 W:.....	112
4.1.3.2.- Aerogenerador de 1,5 kW:.....	119
4.2.- Media potencia:.....	122
4.2.1.- Generalidades:.....	122
4.2.2.- Coste de un aerogenerador destinado a un pueblo o una isla:.....	123
4.2.2.1.- Introducción:.....	123
4.2.2.2.- Alimentación exclusiva de un pueblo o de una isla sin conectar a la red eléctrica (aerogenerador 250 kW):.....	125
4.2.2.3.- Alimentación de un pueblo con conexión a la red eléctrica vendiendo la energía sobrante (aerogenerador 600 kW):.....	129
4.3.- Potencia alta:.....	134
4.3.1.- Generalidades:.....	134
4.3.2.- Coste aproximado de un aerogenerador de 3MW:.....	138
4.4.- Otros usos:.....	141
4.4.1.- Desalación de agua marina:.....	141
4.4.2.- Producción de Hidrógeno:.....	142
4.5.- Perspectivas futuras:.....	143
4.5.1.- Tornado like:.....	143
4.5.2.- Turbinas en los aerogeneradores:.....	144
4.5.3.- Aerogeneradores con forma de cometa captarán la energía eólica de la atmósfera:.....	144
4.5.4.- Rascacielos con aerogeneradores:.....	146
4.5.5.- Un aerogenerador para suministrar electricidad a 5.000 hogares:.....	147

5.- Parques eólicos terrestres:.....	149
5.1.- Generalidades :.....	149
5.2.- Evaluación del potencial eólico:.....	151
5.2.1.- Generalidades:.....	151
5.2.2.- Mapa eólico:.....	152
5.2.3.- Rugosidad del terreno:.....	156
5.2.4.- Descripción del terreno:.....	158
5.2.5.- Porosidad:.....	159
5.3.- Aviación:.....	159
5.4.- Transporte:.....	160
5.5.- Disposición de los aerogeneradores en el parque:.....	160
5.5.1.- Generalidades:.....	160
5.5.2.- Efecto sombra:.....	162
5.5.3.- Estimación velocidad del viento:.....	163
5.5.4.- Característica aerogenerador:.....	164
5.6.- Potencia del viento:.....	165
5.7.- Calidad de la energía de un parque eólico inyectada a la red eléctrica:.....	170
5.8.- Conexión del parque eólico a la red:.....	172
5.9.- Sistemas de gesntión del parque eólico:.....	174
5.10.- Cálculo del coste de un parque:.....	176
5.11.- Emisiones de un parque:.....	183
5.12.- Seguridad:.....	183
5.13.- Estado actual de la tecnología:.....	184
6.-Parques eólicos en el mar: Offshores.....	187
6.1.-Generalidades:.....	187
6.2.- Recursos del viento:.....	189
6.3.- Cimentación:.....	192
6.4.- Tipos de aerogeneradores:.....	195
6.5.-Transmisión de potencia de los aerogeneradores a tierra:.....	196
6.6.- Disposición de los aerogeneradores:.....	201
6.7.- Impacto ambiental en la vida marina:.....	202
6.7.1.- Campos electromagnéticos generados por el cable submarino:.....	202
6.7.2.- Ruido:.....	203
6.8.- Control del parque eólico:.....	206

6.9.- Viabilidad del parque eólico:.....	210
6.9.1.- Gastos de instalación y operación:.....	210
6.9.2.- Criterios de desarrollo:.....	211
6.10.- Análisis de coste y balance económico de un parque eólico:.....	212
6.11.- Parques eólicos marinos en el mundo:.....	217
7.- Medio Ambiente:.....	227
7.1.- Introducción:.....	227
7.2.- Elementos constitutivos de un sistema de gestión:.....	229
7.3.- Impacto visual:.....	230
7.4.- El ruido:.....	234
7.5.- Los destellos:.....	238
7.6.- Parpadeos por sombra de las palas (shadow flicker):.....	239
7.7.- Riesgo de rotura del aerogenerador:.....	242
7.8.- Caída de rayos:.....	242
7.9.- Efectos electromagnéticos:.....	243
7.10.- Afectación de la vida animal:.....	245
7.11.- Aviación:.....	246
7.12.- Desmontaje:.....	250
7.13.- Emisiones:.....	250
7.14.- Empleo:.....	251
7.15.- Recursos arqueológicos y paleontológicos:.....	252
7.16.- A nivel marítimo:.....	252
7.17.- Ventajas de la energía eólica:.....	253
8.- Legislación:.....	255
8.1.- Internacional:.....	255
8.2.- Unión Europea:.....	255
8.3.- Nacional:.....	256
8.4.- Comunidades Autónomas:.....	258
8.4.1.- Andalucía.....	258
8.4.2.- Aragón:.....	258
8.4.3.- Asturias:.....	259
8.4.4.- Cantabria:.....	259
8.4.5.- Castilla La Mancha:	259
8.4.6.- Castilla y León:.....	259

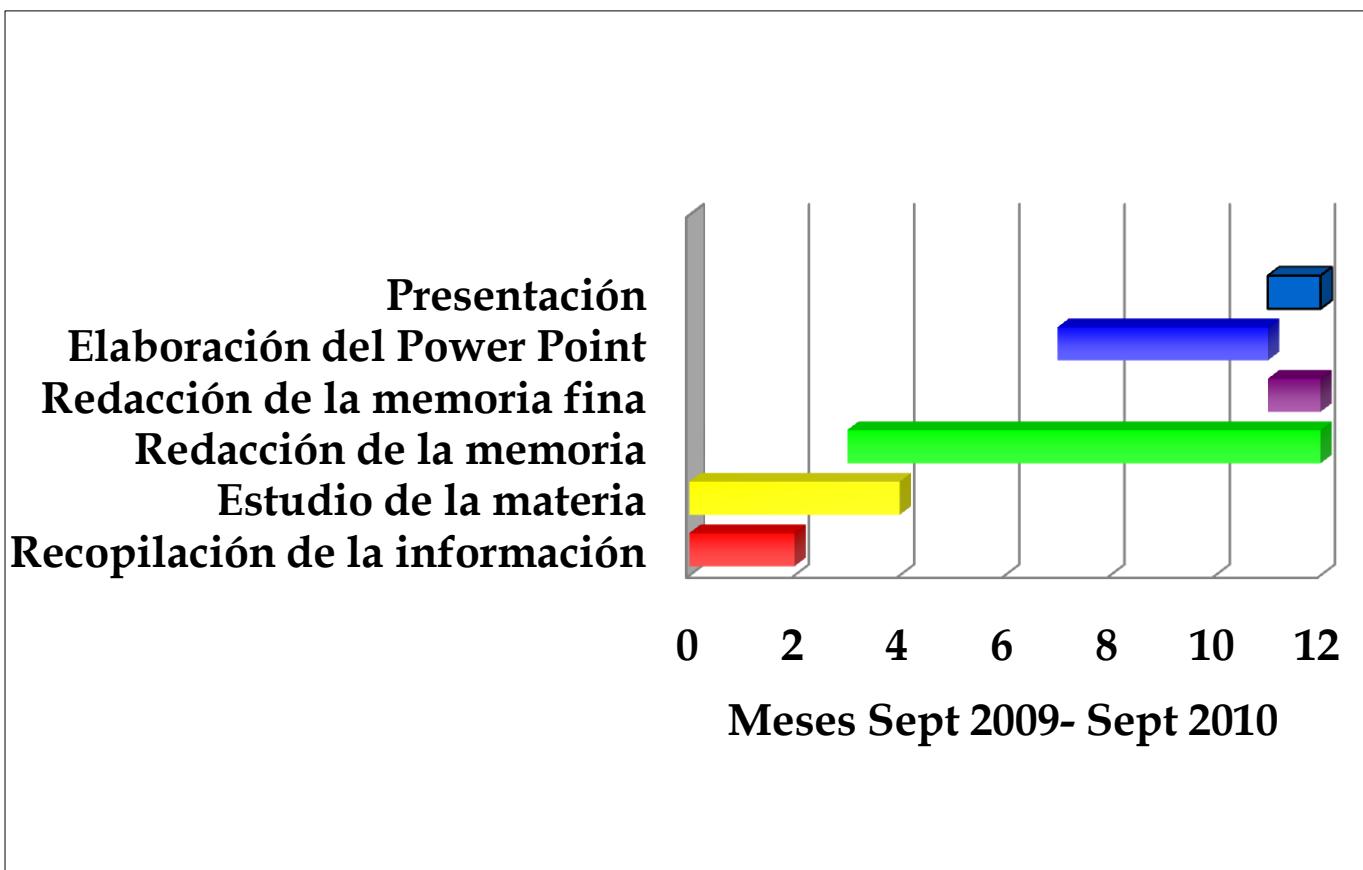
 Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Zaragoza	Memoria Académica	Energía Eólica terrestre y marítima
---	------------------------------------	--

8.4.7.- Cataluña:.....	260
8.4.8.- C.F. Navarra:.....	260
8.4.9.- Comunidad Valenciana:.....	261
8.4.10.- Extremadura:.....	261
8.4.11.- Galicia:.....	261
8.4.12.- Islas Baleares:.....	261
8.4.13.-Islas Canarias:.....	262
8.4.14.- La Rioja: ..	262
8.4.15.- Madrid:.....	262
8.4.16.- Murcia:.....	263
8.4.17.- País Vasco:.....	263
9.- Bibliografía.....	264

3) Planificación

En el gráfico inferior, se muestra la planificación y el desarrollo de las diferentes tareas para poder finalizar correctamente el proyecto fin de carrera:

Planificación



4) Ejecución y seguimiento:

Con el directo del proyecto tuve bastantes contactos a lo largo del año para la correcta realización de la memoria final.

En el mes de septiembre, tuve el primer contacto con mi director del proyecto para especificar y centrar el estudio del proyecto fin de carrera.

En el mes de octubre fui varias veces a su despacho para poder terminar de redactar correctamente el índice final que llevaría el proyecto y empezar a buscar más información para poder ir redactando lo que luego acabaría siendo la memoria final.

En el mes de diciembre y enero realicé tareas de búsqueda de información sobre los distintos puntos establecidos en el índice así como empecé a redactarlos.

En el mes de marzo nos pusimos en contacto para ver como iban quedando los diferentes capítulos del proyecto final de carrera, aún quedaba por retocar y cambiar lo que sería el formato de las páginas.

Durante los meses de abril y mayo nos pusimos en contacto para determinar como iría quedando la memoria final con la mayoría de los puntos redactados.

En el mes Junio empecé a realizar la presentación en Power Point y durante los meses de verano nos pusimos varias veces en contacto para corregir algunas diapositivas.

5) Balance de horas:

Recopilación de información:	175 horas
Estudio de la materia:	90 horas
Redacción de la memoria:	280 horas
Redacción de la memoria académica:	10 horas
Elaboración del CD:	4 horas
Reuniones con el tutor:	5 horas
Total:	564 horas

6) Conclusiones personales:

Gracias a la realización de este proyecto he podido comprender lo que nos puede aportar el uso de la energía eólica a la sociedad en lo que se refiere al medio ambiente. Hoy en día, la actividad humana consume mucha energía en transporte, iluminación, calefacción, refrigeración e industria, y para ello se utiliza en gran parte energías no renovables aportadas por los combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural). Estos combustibles son además recursos finitos que se encuentran en vías de extinción, que por tanto se irán encareciendo con el tiempo y que además dañan el medio ambiente, polucionando la atmósfera y las aguas. En contraste, las energías renovables, en particular la eólica, abarcan una serie de fuentes energéticas que se regeneran con el viento de manera natural y de forma continua, son además respetuosas con el medio ambiente y son prácticamente inagotables con el tiempo. Por todo esto es muy importante que su desarrollo y expansión siga aumentando como lo está haciendo hoy en día para de esta forma seguir cumpliendo con lo establecido en el protocolo de Kioto.

He podido conocer de una mejor forma, la importancia del estudio de las características del viento muy necesarias para estimar por ejemplo la energía que será capaz de desarrollar. También es muy importante conocer el estudio tecnológico de los aerogeneradores, conocer sus componentes, el rotor, la caja multiplicadora, ejes de transmisión, el estudio aerodinámico y ensayos que se realizan a las palas, y el control y regulación de un aerogenerador, y de todo un parque eólico.

He logrado comprender y entender los estudios previos a la construcción de un parque eólico terrestre y marítimo, analizando los factores que intervienen para su emplazamiento, la calidad de energía inyectada a la red, costes y viabilidad.

En conclusión, con la realización de este proyecto sobre la energía eólica he podido conocer todo el estudio previo para la construcción de un parque eólico, así como el estudio del recurso eólico y como contribuye en un aspecto muy importante



que es el de evitar el cambio climático y reducción las emisiones de gases que producen el efecto invernadero tan presente en nuestro día a día

7) Agradecimientos:

Este proyecto ha sido posible gracias a la visualización durante mucho tiempo del parque eólico situado en la Muela y de ver como poco a poco ha ido creciendo y aumentando en número de aerogeneradores, fue a partir de este momento cuando empecé a tener curiosidad por como funcionaban los aerogeneradores, por ver aquellos gigantes en medio del terreno, como giraban sus palas movidos por la fuerza inagotable del viento.

Me gustaría agradecer a la Universidad de Zaragoza por los medios disponibles en la biblioteca Hypatia, en la cual he podido realizar consultas de libros para recopilar información.

También me gustaría agradecer el interés mostrado por mi director del proyecto el profesor Miguel Ángel Torres Portero que siempre ha estado guiándome a lo largo del proyecto, encaminándome en algunos puntos y corrigiéndome en otros.

8) Bibliografía:

- http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_e%C3%B3lica
- <http://erenovable.com/energia-eolica/>
- <http://www.infoeolica.com/>
- <http://www.enbuenasmanos.com/articulos/muestra.asp?art=409>
- <http://elblogverde.com/energia-eolica/>
- <http://www.windpower.org/>
- <http://www.ewea.org/>
- <http://www.ieawind.org/>
- <http://www.aeeolica.org>
- <http://www.risoe.dk/>
- <http://www.chalmers.se/>
- <http://www.ncar.ucar.edu/>
- <http://anemos.cma.fr/>
- <http://www.inm.es>
- <http://redibericamm5.uib.es/>
- <http://www.ciemat.es/sweb/superconductividad/seducot.html>
- <http://www.ciemat.es/sweb/superconductividad/>
- <http://www.theflywheel.com/>
- <http://www.iea-eces.org/>
- Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico.

- Guía del instalador de energías renovables: energía fotovoltaica; energía térmica; energía eólica; climatización - PERALES BENITO, TOMAS-2006-Limus
- ENERGIA EOLICA de VILLARRUBIA, MIGUEL-GRUPO EDITORIAL CEAC-2004.
- ENERGÍAS RENOVABLES PARA EL DESARROLLO:ANTONIO CRESPO MARTÍNEZ; ADOLFO DE FRANCISCO; JESÚS FERNÁNDEZ GONZÁLEZ; MIGUEL ÁNGEL HERRERO GARCÍA; JOSÉ MARÍA DE JUANA SARDÓN; FLORENTINO SANTOS GARCÍA-Paraninfo-2007