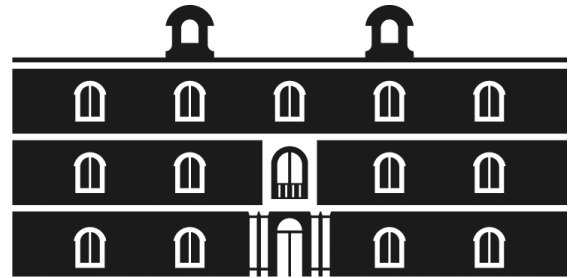




Universidad
Politécnica
de Cartagena



industriales

etsii UPCT

DISEÑO DEL CONJUNTO EJE- ACOPLAMIENTO-REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO

Titulación: Ingeniería Técnica Industrial
Intensificación: Mecánica
Alumno/a: Ruimán Burrueco Martínez
Director/a/s: Miguel Lucas Rodríguez

Cartagena, 28 de Octubre de 2010

DOCUMENTO N° 1

MEMORIA

Titulación: Ingeniería Técnica Industrial
Intensificación: Mecánica
Alumno/a: Ruimán Burrueco Martínez
Director/a/s: Miguel Lucas Rodríguez

Cartagena, 28 de Octubre de 2010

INDICE

1. Memoria

- 1.1 Antecedentes**
- 1.2 Objeto del Proyecto**
- 1.3 Reglamentación Industrial aplicada**
- 1.4 Descripción general de las instalaciones**
- 1.5 Emplazamiento de las instalaciones**
- 1.6 Impacto Ambiental**
- 1.7 Plazo de ejecución**
- 1.8 Resumen del presupuesto**
- 1.9 Agradecimientos**
- 1.10 Bibliografía**
- 1.11 Conclusión a la memoria**

2. Cálculos Justificativos

2.1 Eje de Baja

- 2.1.1 Cálculo y dimensionado del eje de Baja de un aerogenerador horizontal
- 2.1.2 Cargas y diagramas de esfuerzos
- 2.1.3 Comprobación del eje de baja para carga a fatiga

2.2 Multiplicadora

- 2.2.1 Cálculo de la fuerza tangencial en el brazo portasatélites y sus dimensiones
- 2.2.2 Cálculos justificativos para el eje intermedio de la multiplicadora
- 2.2.3 Comprobación del eje intermedio para cargas a fatiga
- 2.2.4 Cálculo de las dimensiones del chavetero en el eje intermedio de la multiplicadora
- 2.2.5 Cálculo de la relación de transmisión del tren epicicloidal con entrada por el brazo portasatélites y salida por la rueda sol dejando fija la corona
- 2.2.6 Cálculo del espesor de los engranajes de la 1ª Etapa
- 2.2.7 Cálculo del espesor de los engranajes de la 2ª Etapa
- 2.2.8 Dimensiones de los engranajes de la multiplicadora Epicloidal (Resumen)
- 2.2.9 Resistencia de la base de la carcasa

2.3 Eje de Alta

- 2.3.1 Cálculos justificativos para el eje de alta
- 2.3.2 Cálculo de las reacciones en los apoyos del eje de alta
- 2.3.3 Comprobación del eje de alta bajo cargas a fatiga
- 2.3.4 Cálculo de las dimensiones del chavetero en el eje de alta

2.4 Otros elementos

- 2.4.1 Freno
- 2.4.2 Cálculo de la vida de los rodamientos del sistema

3. Planos


SM 01/00/00	PLANO DE CONJUNTO
SM 01/01/00	EJE DE BAJA
SM 01/02/00	MULTIPLICADORA EPICICLOIDAL
SM 01/02/01	CARCASA
SM 01/02/02	BRAZO PORTASATÉLITES 1ª ETAPA
SM 01/02/03	BRAZO PORTASATÉLITES 2ª ETAPA
SM 01/02/04	SATÉLITES 1ª Y 2ª ETAPA EPICICLOIDAL
SM 01/02/05	RUEDA SOL 1ª ETAPA EPICICLOIDAL
SM 01/02/06	RUEDA SOL 2ª ETAPA EPICICLOIDAL
SM 01/02/07	CORONA 1ª ETAPA EPICICLOIDAL
SM 01/02/08	CORONA 2ª ETAPA EPICICLOIDAL
SM 01/02/09	TAPA DELANTERA CARCASA
SM 01/02/10	CUERPO CARCASA
SM 01/02/11	TAPA TRASERA CARCASA
SM 01/03/00	EJE DE ALTA

4. *Pliego de Condiciones*

- 4.1 *Condiciones generales*
- 4.2 *Alcance*
- 4.3 *Programa de trabajo*
- 4.4 *Materiales*
- 4.5 *Protección del trabajo, defectos y rechazos*
- 4.6 *Planos*
- 4.7 *Control de los trabajos*
- 4.8 *Seguridad e higiene en el trabajo*
- 4.9 *Condiciones del contrato*

5. *Presupuesto*

- 5.1 *Estado de mediciones*
- 5.2 *Tabla de precios unitarios*
- 5.3 *Presupuesto general*

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	MEMORIA DESCRIPTIVA	Revisión 0

1.1 Antecedentes

A petición de D. Miguel Lucas Rodríguez como director del proyecto se ha encargado al alumno de Ingeniería Técnica Industrial especialidad Mecánica Agustín Ruimán Burrueco Martínez la redacción del Proyecto de Diseño del **Conjunto eje acoplamiento multiplicadora epicicloidal de un aerogenerador eólico** como proyecto fin de carrera para la consecución del título anteriormente expuesto tras conseguir la aprobación de los miembros del Tribunal designado a tal efecto.


1.2 Objeto del Proyecto

El presente proyecto tiene como objetivo la realización del diseño y la planificación de los elementos necesarios para la puesta en funcionamiento del conjunto de eje de baja multiplicadora epicicloidal y eje de alta así como todos los accesorios necesarios para su correcto funcionamiento en un aerogenerador de eje horizontal de 900 Kilowatios a situar en la zona de Portman, perteneciente al municipio de La Unión, provincia de Murcia.


1.3 Reglamentación Industrial aplicada

Para la redacción de este Proyecto se han tenido en cuenta las siguientes normas y reglamentos:


1. Norma IEC 61400-1:2005 Aerogeneradores Parte 1: Requisitos de Diseño
2. Código ANSI/AGMA/AWEA/ 6006-A03. Standard for Design and Specification of Gearboxes for Wind Turbine
3. Normas ISO
4. Real Decreto 1495/1986
5. Directiva 89/392/CEE
6. Real Decreto 1435/1992 y modificaciones introducidas por el Real
7. Decreto 56/1995 (marcado CE)
8. Real Decreto 1215/97
9. Directiva 98/37/CEE y modificaciones introducidas por directiva
10. 98/79/CEE (sustituye a la 89/392/CEE)
11. Normas UNE sobre seguridad de máquina
12. Resolución de 20 de diciembre de 2000, de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, por la que se modifica el modelo de certificado sobre seguridad en las máquinas

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	MEMORIA DESCRIPTIVA	Revisión 0

13. Orden de 9 de septiembre de 2002, de la Consejería de Ciencia, Tecnología, Industria y Comercio, por la que se adoptan medidas de normalización en la tramitación de expedientes en materia de industria, energía y minas
14. Resolución de 4 de noviembre de 2002, de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, por la que se desarrolla la Orden de 9 de septiembre de 2002 de la Consejería de Ciencia, Tecnología, Industria y Comercio, por la que se adoptan medidas de normalización en la tramitación de expedientes en materia de industria, energía y minas
15. Resolución de 3 de julio de 2003, de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, por la que se aprueban los contenidos esenciales de determinados proyectos y el certificado como consecuencia de la aprobación por Real Decreto nº 842/2002, de 2 de agosto, del reglamento electrotécnico para baja tensión
16. Decreto nº 20/2003, de 21 de marzo, sobre criterios de actuación en materia de seguridad industrial y procedimientos para la puesta en servicio de instalaciones en el ámbito de la Región de Murcia
17. Ley 21/1992 de 16 de julio, de Industria. B.O.E. Nº 176 publicado el 23/7/1992.
18. Real Decreto 2200/1995, de 28 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de la infraestructura para la Calidad y la Seguridad Industrial. B.O.E. Nº 32 publicado el 6/2/1996.
19. Real Decreto 251/1997, de 21 de febrero de 1987, por el que se aprueba el Reglamento del Consejo de Coordinación de la Seguridad Industrial. B.O.E. Nº 66 publicado el 18/3/1997.
20. Real Decreto 411/1997, de 21 de marzo, por el que se modifica el Real Decreto 2200/1995, de 28 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de la Infraestructura para la Calidad y Seguridad Industrial. B.O.E. Nº 100 publicado el 26/4/1997.
21. Real Decreto 560/2010, de 7 de mayo, por el que se modifican diversas normas reglamentarias en materia de seguridad industrial para adecuarlas a la Ley 17/2009, de 23 de noviembre, sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio, y a la Ley 25/2009, de 22 de diciembre, de modificación de diversas leyes para su adaptación a la Ley sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio.. B.O.E. Nº 125 publicado el 22/5/2010. Corrección de errores: BOE Nº 149 de 19/6/2010
22. Ley 25/2009, de 22 de diciembre, de modificación de diversas leyes para su adaptación a la Ley sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio.. B.O.E. Nº 308 publicado el 23/12/2009.
23. Ley 17/2009, de 23 de noviembre, sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio.. B.O.E. Nº 286 publicado el 24/11/2009.
24. Real Decreto 559/2010, de 7 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento del Registro Integrado Industrial. B.O.E. Nº 125 publicado el 22/5/2010.

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	MEMORIA DESCRIPTIVA	Revisión 0

25. Real Decreto 212/2002, de 22 de febrero, por el que se regulan las emisiones sonoras en el entorno debidas a determinadas máquinas de uso al aire libre B.O.E. Nº 52 publicado el 1/3/2002.
26. Real Decreto 1495/1986, de 26 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad en las máquinas.
27. Orden del Ministerio de Relaciones con las Cortes y Secretaría de Gobierno, de 8 de abril de 1991, por la que se aprueba la instrucción técnica complementaria MSG-SM-1 del Reglamento de seguridad en las máquinas, referente a máquinas, elementos de máquinas o sistemas de protección usados.
28. Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas
29. Real Decreto 1614/2010, de 7 de diciembre, por el que se regulan y modifican determinados aspectos relativos a la actividad de producción de energía eléctrica a partir de tecnologías solar termoeléctrica y eólica.
30. Orden de 6 de octubre de 2004, por la que se establecen las condiciones técnico administrativas para la repotenciación de parques eólicos existentes
31. LEY 10/2006, de 21 de diciembre, de Energías Renovables y Ahorro y Eficiencia Energética de la Región de Murcia.
32. Real Decreto 1614/2010, de 7 de diciembre, por el que se regulan y modifican determinados aspectos relativos a la actividad de producción de energía eléctrica a partir de tecnologías solar termoeléctrica y eólica.
33. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (BOE 298 de 08/12/2010)
34. Real Decreto 187/2011, de 18 de febrero, relativo al establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía. B.O.E. Nº 53 publicado el 3/3/2011.

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	MEMORIA DESCRIPTIVA	Revisión 0

1.4 Descripción General de las Instalaciones

Este apartado será dividido en tres secciones para un mejor estudio de los elementos que componen el diseño, distinguiéndose:

1. Eje de baja
2. Multiplicadora
3. Eje de alta

Eje de baja

La misión principal del eje de baja es la transmisión del movimiento del rotor y las palas hacia el sistema mecánico con un elevado par torsor y una reducida velocidad de giro, absorbiendo los esfuerzos axiales en el primer apoyo y facilitando que únicamente llegue par torsor a la caja multiplicadora.

El eje de baja está fabricado en acero AISI 4340 Recocido, con un diámetro de 350 mm y una longitud de 2180 mm, su velocidad de giro es de 17,9 rpm


En la cabeza del eje tiene un acoplamiento para el buje con un aumento de diámetro de 10mm en la zona de acoplamiento.

Desde el extremo de acople al buje hasta una distancia de 650mm tiene un aumento de diámetro de 10 mm donde estarán colocados el acoplamiento para el buje y un rodamiento de rodillos cónicos emparejados cara a cara que soportan las cargas axiales producidas por el viento así como las radiales correspondientes a dicho apoyo.

A la distancia de 1625 mm se encuentra el segundo rodamiento, este es de rodillos cilíndricos y soporta las cargas radiales correspondientes. Junto al rodamiento se encuentra el acoplamiento a la multiplicadora.

Multiplicadora

La multiplicadora transforma la velocidad de giro de 17,9 rpm y un elevado par torsor en una velocidad de giro de 1500 rpm, apta para el generador, y un par torsor mucho más reducido, permitiendo unas dimensiones menores en el eje de alta que en el de baja.

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez
	MEMORIA DESCRIPTIVA	ETSII Revisión 0
PFC - UPCT		

La multiplicadora es de tipo epicicloidal con dos etapas de relación de transmisión en la primera etapa 1/7 y en la segunda 1/12 con entrada por el brazo portasatélites

El brazo portasatélites de la primera etapa será fabricado por fundición y engloba la parte a acoplar con el eje de baja, el disco y el brazo portasatélites, el material seleccionado es un hierro dúctil templado desde austemplado ASTM 897-90 de grado 2, en el brazo portasatélites se colocarán dos rodamientos de rodillos cilíndricos que faciliten el rodaje del satélite.

Tolos los engranajes de la multiplicadora están fabricados en acero AISI 5160 OQT 400F (Templado y revenido en aceite a 400°F) y disponen de las siguientes dimensiones

1ª Etapa Epicicloidal

Engranaje	Z	m	D_p	b
Corona	144	12	1728	500
Satélite	60	12	720	500
Sol	24	12	288	500


2ª Etapa Epicicloidal

Engranaje	Z	m	D_p	b
Corona	275	6	1650	140
Satélite	125	6	750	140
Sol	25	6	150	140

Las coronas son fijadas por un recorte en sus circunferencias exteriores y acoplándose a la carcasa de la multiplicadora y fijadas mediante tapa atornillada.

La rueda sol de la primera etapa se acopla mediante chavetero al brazo portasatélites de la segunda etapa. Este brazo portasatélites, fabricado en un hierro dúctil templado desde austemplado ASTM 897-90 de grado 4, con un diámetro del eje intermedio de 200mm y una velocidad de giro de 125 rpm, dispone de un rodamiento rígido de bolas en la parte central y se fabrican de una pieza el eje, el disco y los brazos portasatélites mediante fundición.

En la segunda etapa se colocan los satélites con dos rodamientos de rodillos cilíndricos engranando a la rueda sol de la segunda etapa que mediante un chavetero se acopla al eje de alta que gira a 1500 rpm


	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	MEMORIA DESCRIPTIVA	Revisión 0

Eje de Alta

La principal función del eje de alta es la transmisión de la potencia (par torsor y velocidad de giro) entre la multiplicadora y el generador

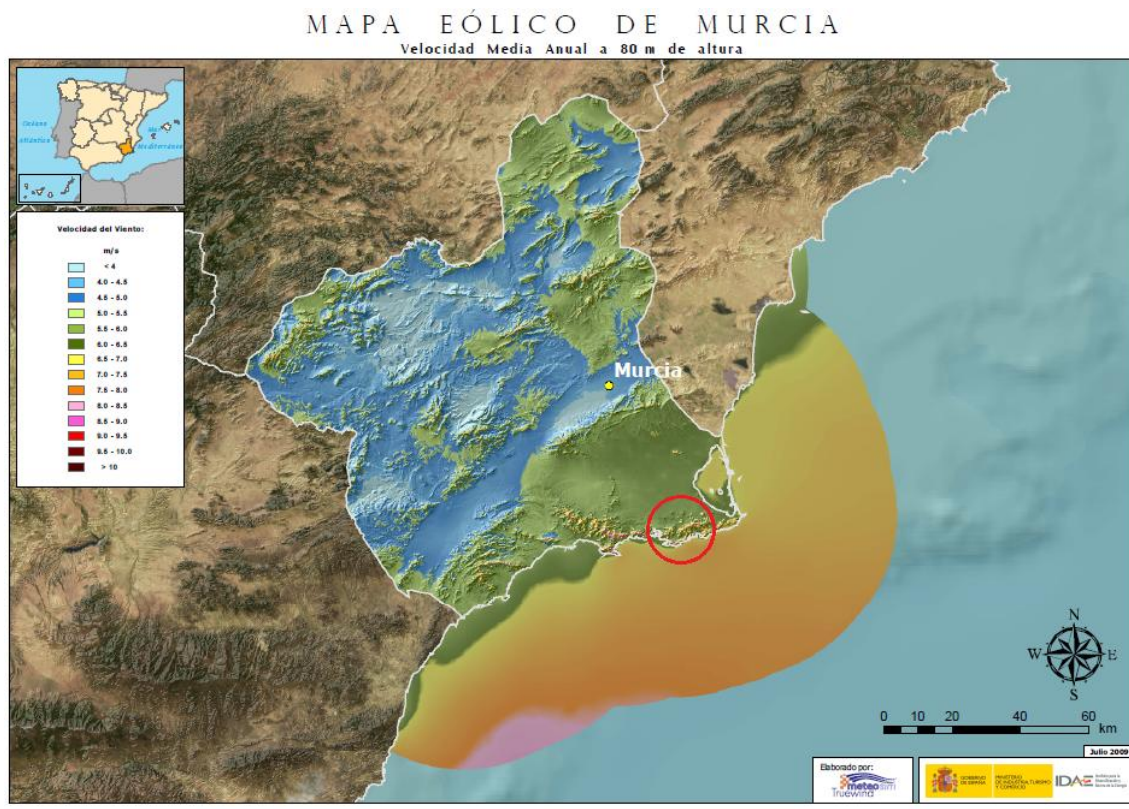
Las dimensiones del eje de alta son 100 mm de diámetro y 560mm de longitud girando a 1500 rpm, está fabricado en acero AISI 5140 recocido.

El eje de alta tiene a la salida de la multiplicadora, un acoplamiento con freno de disco de acero modelo GETB-295 con un diámetro de 600 mm seguro al fallo, para bloqueos en caso de mantenimiento y emergencias con una capacidad de frenada de hasta 18000 Nm.


	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	MEMORIA DESCRIPTIVA	Revisión 0

1.5 Emplazamiento de las Instalaciones

Según el mapa eólico de la Región de Murcia proporcionado por IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) se observa que la zona costera de Cartagena, la Unión y la Manga es la zona de mayores vientos por lo que se convierte en la zona más propicia dentro de la Región de Murcia para la instalación de aerogeneradores.

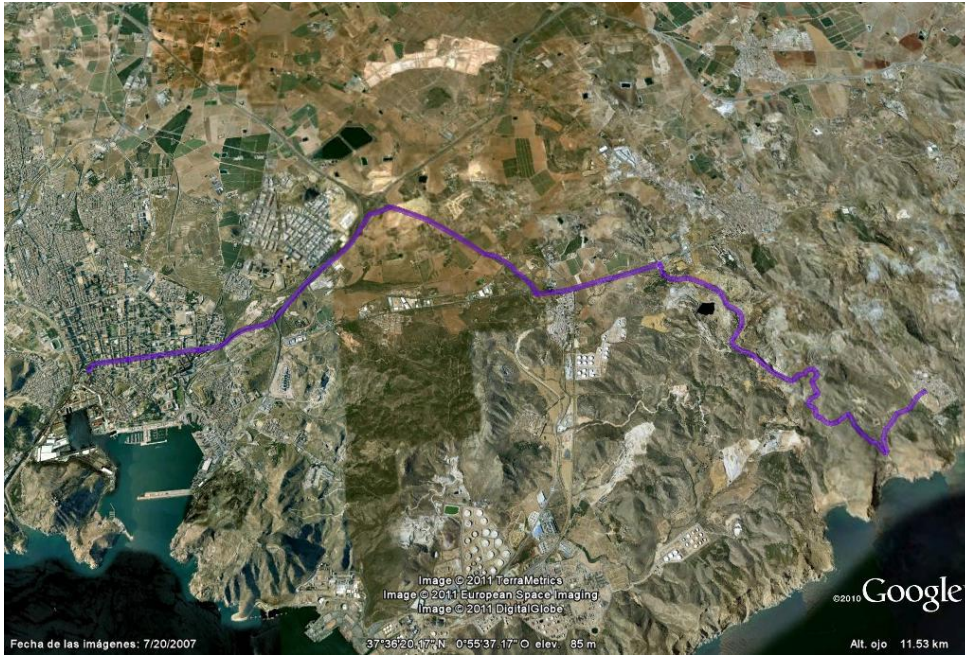


El emplazamiento previsto del aerogenerador es la zona de Portman Localidad de la Región de Murcia situada al sur del municipio de La Unión a los pies de la Sierra minera de Cartagena-La Unión.

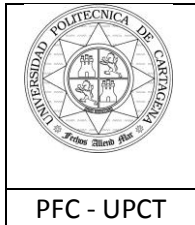
	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	MEMORIA DESCRIPTIVA	Revisión 0

FORMAS DE ACCESO

Desde Cartagena



Dirección	Distancia
A-30	2,9 Km
N-332/N-343 dirección Escombreras	3,5 Km
Ctra Barcelona-Cádiz/N-332	2,0 Km
N-345	7,1 Km



**DISEÑO DEL CONJUNTO EJE –
ACOPLAMIENTO – REDUCTORA
EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR
EÓLICO.**

Autor:
Ruimán Burrueco Martínez

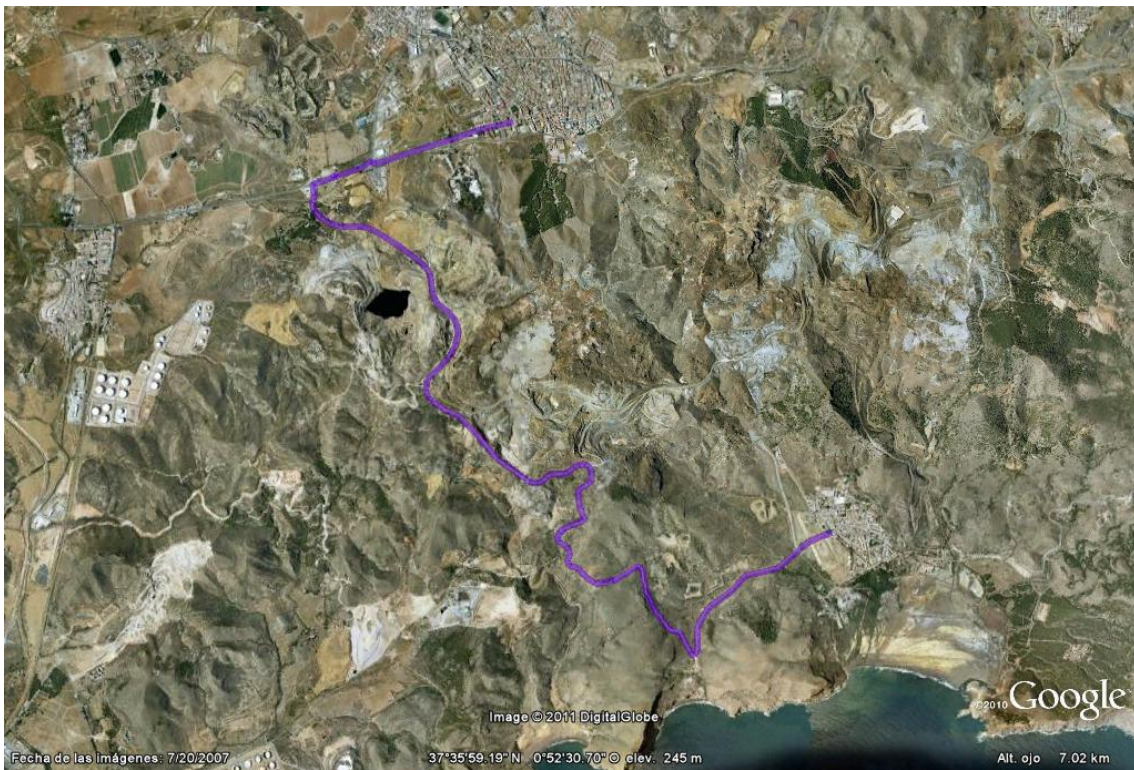
ETSII

PFC - UPCT


MEMORIA DESCRIPTIVA

Revisión 0

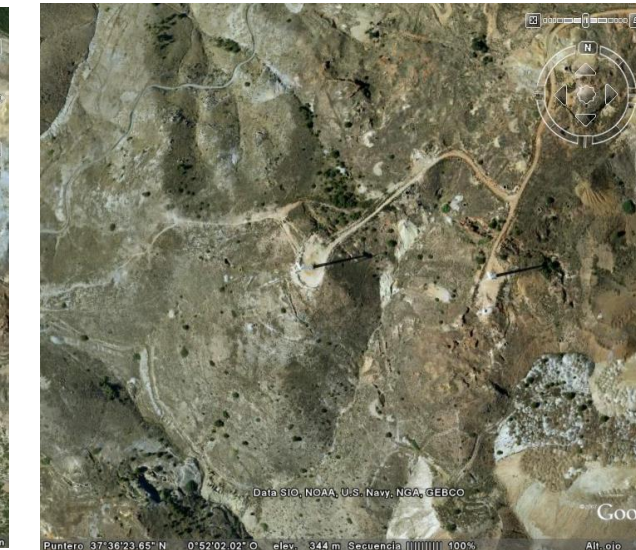
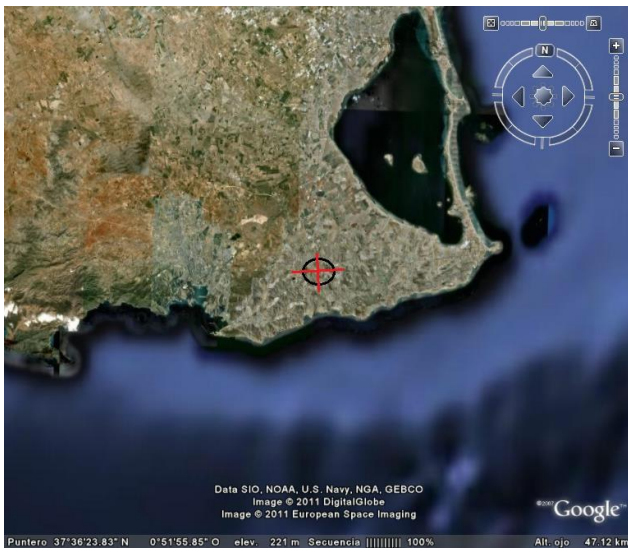
Desde La Unión




Dirección	Distancia
N-332	1,5 Km
N-345	7,1 Km

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	MEMORIA DESCRIPTIVA	Revisión 0

En las imágenes adjuntas se observa la localización concreta.




Imágenes extraídas del programa Google Earth donde se muestra la localización de los aerogeneradores actuales de la zona de Portman

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez
	MEMORIA DESCRIPTIVA	ETSII Revisión 0
PFC - UPCT		

Los datos de viento para esta zona extraídos del instituto nacional de meteorología son

Distribución por direcciones a 80m.					
ZONA DE LA COSTA DE PORTMAN					
Coordenadas UTM(m): 688447,4160761					
Dirección	Frecuencia (%)	Velocidad (m/s)	Potencia (%)	Weibull C (m/s)	Weibull K
N	9,3	6,730	7,05	7,488	2,595
NNE	8,29	6,932	10,11	8,420	2,193
NE	12,32	7,800	17,24	8,916	2,287
ENE	11,95	6,838	11,23	7,962	2,476
E	4,97	4,947	1,76	5,804	2,601
ESE	2,51	3,964	0,46	4,578	2,426
SE	1,98	3,513	0,3	4,299	2,339
SSE	1,96	3,594	0,31	4,245	2,129
S	2,83	4,119	0,64	4,982	2,542
SSW	7,06	5,996	4,63	7,054	2,453
SW	11,54	8,278	19,35	9,483	2,292
WSW	5,14	6,622	4,34	7,457	2,199
W	2,79	5,572	1,57	6,441	2,116
WNW	2,7	5,202	1,39	6,045	1,919
NW	4,96	6,878	5,23	7,760	1,981
NNW	9,73	8,163	14,4	9,258	2,469

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	MEMORIA DESCRIPTIVA	Revisión 0

1.6 Impacto ambiental

El tratamiento de todos los residuos generados por la fabricación y el mantenimiento del equipo deberá de ser aplicando las tecnologías relacionadas con el tratamiento, reutilización y depósito seguro de residuos.

La normativa expuesta a continuación será de obligado cumplimiento tanto por parte del taller de mecanizado y los obreros que realicen las labores de mantenimiento, como por parte de empresas subcontratadas para dicho fin.

Para el transporte de residuos se contactará con una empresa especializada en el transporte de residuos desde productores autorizados hasta gestores autorizados

NORMATIVA DE OBLIGADO CUMPLIMIENTO

Para el transportista

Durante el traslado no se realizará ninguna manipulación distinta a lo necesario o autorizado.

Se habrá de formalizar un Documento de Control y Seguimiento del residuo en el que participarán tanto el expedidor como el transportista y el destinatario sobre transferencia de la titularidad (conforme al artículo 35 del RD 833/88)

Las actividades de recogida y traslado de residuos peligrosos, estarán sometidas al régimen de control y seguimiento de origen y destino, del mismo modo que se establece para gestores en puntos anteriores.


Generales

REGIONALES

Decreto 48/2003, de 23 de mayo, por el que se aprueba el Plan de Residuos

Urbanos y No Peligrosos de la Región de Murcia (2001-2006). (BORM nº 125, de 02.06.03)

Resolución de 26 de junio de 2001, del Gobierno de Murcia, por la que se aprueba el Plan de Residuos Urbanos y de los Residuos No Peligrosos de la Región de

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	MEMORIA DESCRIPTIVA	Revisión 0

Murcia. Incluido su Programa de Gestión de Envases y Residuos de Envases publicado en Resolución en el Boletín Oficial de la Región de Murcia el 23 de julio de 2001.

Plan de RP y Suelos Contaminados de la Región de Murcia. Mayo 2000

NACIONALES

Real Decreto 679/2006, de 2 de junio, por el que se regula la gestión de los aceites industriales usados.


Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos. Corrección de errores B.O.E. del 12/03/2002.

COMUNITARIAS

Directiva del Consejo 1999/31/CE, 26 de abril, relativa al vertido de residuos, dirigida a limitar el vertido de determinados residuos.


Directiva 2000/76/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de diciembre de 2000, relativa a la incineración de residuos.

Directiva 101/1987/CEE, de 22 de diciembre de 1986, que modifica la Directiva 75/439/CEE, relativa a la gestión de Aceites Usados.

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	MEMORIA DESCRIPTIVA	Revisión 0

1.7 Plazo de Ejecución

El plazo de ejecución del proyecto se establece en 6 meses, contados a partir de la fecha del primer desembolso de la subvención

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez
	MEMORIA DESCRIPTIVA	ETSII Revisión 0
PFC - UPCT		

1.8 Resumen de Presupuesto

En el documento nº4 del presente proyecto “Presupuesto” se expone un cálculo detallado del presupuesto. A modo de resumen, el mismo asciende a:


Resumen	EUROS	%
Materiales	12330	43,66
Elementos normalizados	12093,5	42,82
Fabricación, mecanizado y tratamientos térmicos	3816,45	13,52
TOTAL EJECUCION MATERIAL	28239,95	100

VEINTIOCHO MIL DOSCIENTOS TREINTA Y NUEVE EUROS con CUARENTA Y CINCO CENTIMOS

CARTAGENA, a 28 de Octubre de 2011

LA PROPIEDAD

LA DIRECCIÓN FACULTATIVA

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	MEMORIA DESCRIPTIVA	Revisión 0


1.9 Agradecimientos

Quisiera agradecer el apoyo y comprensión a mi familia, que siempre han creído en mi

Asimismo, expresar mi especial agradecimiento al director de este Proyecto Fin de Carrera D. Miguel Lucas Rodríguez por la paciencia y dedicación ante mis preguntas y sus orientaciones para la realización de este proyecto.

Además quiero agradecer a los profesores que me recibieron para solucionar alguna duda sin ningún tipo de obligación por su parte


Muchas Gracias a todos

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	MEMORIA DESCRIPTIVA	Revisión 0

1.10 Bibliografía

Durante la realización del presente proyecto se han consultado los siguientes libros

- Elementos de Máquinas, Bernard J. Hamrock. Ed. McGrawHill.
- Energía Eólica, Pedro Fernández Díez.
- Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, Richard G. Budynas, 8ª Edición. Ed McGrawHill.
- Manual de Engranajes, Darle W. Dudley. Ed McGrawHill.
- Apuntes de Teoría de Mecanismos y Máquinas, 2º Curso de ITI mecánica. Alfonso Fuentes Aznar.
- Apuntes de Diseño de Máquinas, 3º Curso de ITI mecánica. Jorge Ripoll Camús.
- Apuntes de Fluidomecánica, 3º Curso de ITI mecánica. José Pérez García.

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	MEMORIA DESCRIPTIVA	Revisión 0

1.11 Conclusión a la memoria

El técnico que suscribe considera que con la descripción efectuada en el presente proyecto, Memoria, Planos y Pliego de Condiciones, la instalación queda suficientemente detallada al objeto de dar cumplimiento a lo especificado en la normativa y legislación aplicable a este tipo de industria, redactado en la forma y condiciones que lo hagan acreedor a la aprobación superior

El Ingeniero Técnico Industrial
Agustín Ruimán Burrueco Martínez


en Cartagena, a 28 de Octubre de 2011

DOCUMENTO N° 2

CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

Titulación: Ingeniería Técnica Industrial
Intensificación: Mecánica
Alumno/a: Ruimán Burrueco Martínez
Director/a/s: Miguel Lucas Rodríguez

Cartagena, 28 de Octubre de 2010

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

2.1.1 Cálculo y dimensionado del eje de baja de un aerogenerador horizontal

Se parte de la base de que el aerogenerador no tiene un rendimiento perfecto y que se producen una serie de pérdidas a lo largo del sistema.

Estas pérdidas tomarán los valores para la realización de los cálculos que se muestran a continuación, extraídos del libro “Energía Eólica” de Pedro Fernández Díez


Rendimiento del transformador	98%
Rendimiento del alternador	95%
Rendimiento del multiplicador	98%

Conocida la potencia que debe de producir el aerogenerador, que para el presente proyecto es de 900KW, podemos conocer la potencia necesaria a la entrada sin más que aplicar los rendimientos a la potencia

$$P_B = \frac{P_d}{\eta_m \eta_a \eta_t}$$

Siendo:

- P_B → Potencia necesaria de entrada en el eje de baja
- P_d → Potencia de diseño del aerogenerador.
- η_m → Rendimiento de la multiplicadora
- η_a → Rendimiento del alternador
- η_t → Rendimiento del transformador

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

Se sustituyen los valores obteniendo:

$$P_B = \frac{900000}{0,98 * 0,95 * 0,98} = 986431,1 W \approx 1MW$$

De acuerdo con la mecánica clásica, el trabajo realizado sobre el cuerpo en rotación, es igual a la variación de su energía cinética de rotación, por lo que la potencia desarrollada por el par o momento de fuerza es:

$$P = \frac{dW_{rot}}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} I_r \omega^2 \right) = T \omega$$

Donde:

- I_r → es el momento de inercia según su eje de giro.
- ω → es la velocidad angular del eje
- T → es el par motor aplicado sobre dicho eje.

La velocidad de giro del eje de baja se determina a partir de los datos del rotor y de su TSR, para un TSR de 6,5 y despejando desde la fórmula

$$TSR = \frac{\pi R n}{30 v}$$


Seleccionado un radio de pala $R = 28,80m$

Velocidad del viento en la zona de Portman de $v = 8,278 m/s$

Se obtiene un régimen de giro en el rotor, así como en el eje de baja de 17,9 rpm

Se sustituyen estos datos para calcular el par torsor al que estará sometido el eje de baja

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{1000000}{\left(17,9 * \frac{2\pi}{60} \right)} = 533480 Nm$$

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

Se aplica la teoría de Coulomb de Torsión recta para calcular el esfuerzo cortante máximo debido a la torsión

$$\tau_{max} = \frac{16T}{\pi D^3}$$

Sustituyendo

$$\tau_{max} = \frac{2716991,33}{D^3}$$

Los esfuerzos cortantes en el extremo del eje son los debidos al peso de los componentes del rotor. Los datos suministrados por el fabricante como peso del rotor del aerogenerador, incluidas palas y buje son


$$m = 14000 \text{ Kg}$$

Su peso será el resultado de multiplicar su masa por la aceleración de la gravedad

$$P = m * g = 14000 * 9,81 = 137340 \text{ N}$$

Y los esfuerzos cortantes son el resultado de dividir el peso por el área de la sección

$$\tau_c = \frac{P}{A} = \frac{P}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{4P}{\pi D^2} = \frac{4 * 137340}{\pi D^2}$$

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

Para la determinación de los esfuerzos axiales se utilizará la fórmula de la Ecuación de cantidad de movimiento en forma integral Aplicada a un volumen de control donde $S_1 = S_2 = A$.

$$\frac{d}{dt} \int_{V_c} \rho v dV + \int_{S_c} \rho v(v - v_c) \vec{n} d\sigma = - \int_{S_c} p \vec{n} \sigma + \int_{S_c} \vec{\tau} \vec{n} d\sigma + \int_{V_c} \rho f_m dV$$

(I)
(II)
(III)
(IV)
(V)

Siendo

- (I) Ecuación que indica la variación del volumen de control, al ser estacionario su valor es 0
- (II) Integral que nos da el flujo convectivo que entra en el volumen de control a través de sus paredes, para este caso las superficies serán S_1 y S_2 . Desarrollando la integral y conocido que el volumen de control no se mueve, tenemos que:

$$\int_{S_c} \rho v(v - v_c) \vec{n} d\sigma = \int_{S_c} \rho v(v) \vec{n} d\sigma = \rho v^2 \int_{S_c} d\sigma = \rho v^2 \int_{S_c} \pi r^2 dr$$

$$= \pi \rho v^2 \left. \frac{r^3}{3} \right|_0^R$$

$$(II) = \pi \rho v^2 \frac{R^3}{3}$$

- (III) Resultante de las fuerzas de presión.
- (IV) Resultante de las fuerzas viscosas.
- (V) Resultante de las fuerzas másicas de valor $(g - a)$. En el estudio del viento que impacta sobre un aerogenerador se considera horizontal, por lo que g no interviene y al no producirse aceleración a lo largo del volumen de control $a = 0$ Por lo que el término de las fuerzas másicas se anula.



**DISEÑO DEL CONJUNTO EJE –
ACOPLAMIENTO – REDUCTORA
EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR
EÓLICO.**

Autor:
Ruimán Burrueco Martínez

ETSII

PFC - UPCT

CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

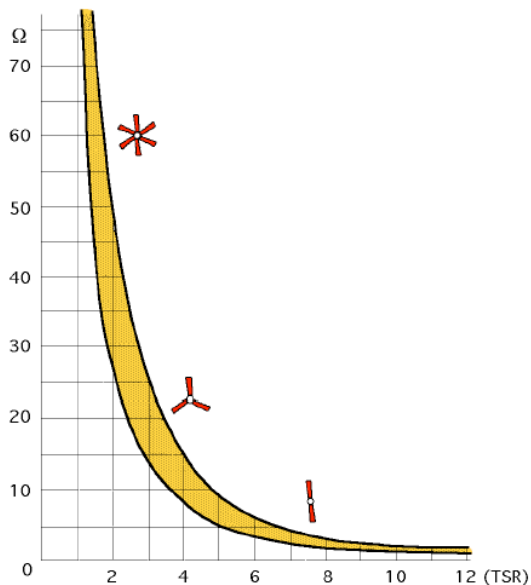
Revisión 0

La resultante \vec{D} de las fuerzas de presión y viscosidad que se ejerce sobre una superficie σ de normal \vec{n} dirigida hacia el fluido se obtiene como

$$\vec{D} = - \int_{S_c} p \vec{n} d\sigma + \int_{S_c} \vec{\tau} \vec{n} d\sigma$$

Por lo que

$$\vec{D} = \pi \rho v^2 \frac{R^3}{3}$$




El empuje será multiplicado por el coeficiente de solidez $\Omega = 5\%$ extraído de la tabla adjunta para un TSR de 6,5 correspondiente a una $\omega = 17,9 \text{ rpm}$ y un radio $R = 28,8 \text{ m}$

$$D = F_{axil} = \pi * 1,225 * 8,278^2 * \frac{28,8^3}{3} * 0,05 \\ = 104993,7N \approx 105000N$$

Lo que produce un esfuerzo axial de

$$\sigma_{axil} = \frac{F}{A} = \frac{4F}{\pi D^2} = \frac{4 * 105000}{\pi D^2}$$

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

Los valores que pueden tomar los esfuerzos por carga axil y cortante son del orden de 60 veces menores que los esfuerzos causados por la torsión del eje por lo que para el dimensionado se usarán los esfuerzos por torsión, siendo los demás cubiertos mediante los coeficientes de seguridad.

Según la Teoría de la energía de distorsión (DET por sus siglas en inglés) el valor del esfuerzo equivalente

$$\sigma_e = \sqrt{3} \tau_{max} = \frac{\sqrt{3} 2716991,33}{D^3} = \frac{4705967,03}{D^3}$$

Según El libro de V.M. Faïres “Diseño de Máquinas” uno de los mejores aceros AISI para aplicaciones generales como cigüeñales, ejes, engranajes es el AISI 4340, por lo que se utilizará para el eje de baja.

Material Acero AISI 4340 Recocido con una resistencia última a la tracción $S_{ut} = 745 \text{ Mpa}$ y una resistencia a la fluencia $S_y = 469 \text{ Mpa}$

Mediante la aplicación del método de Pugsley (Bernard J. Hamrock “Elementos de máquinas”) se obtiene un coeficiente de seguridad $n_s \approx 3$


Conocido que $\sigma_e < \frac{S_y}{n_s}$

$$\frac{4705967,03}{D^3} < \frac{469 * 10^6}{3}$$

$$D^3 = 4705967,03 * \frac{3}{469 * 10^6} = 0,030102$$

$$D \geq \sqrt[3]{0,030102} = 0,311 \text{ m} = 311 \text{ mm}$$

Tomando mediante redondeo al alza un diámetro de **350 mm**

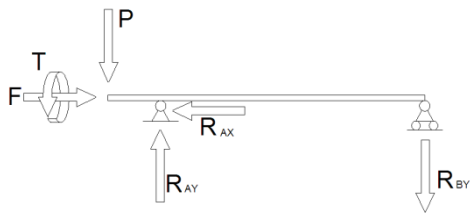
	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

Por lo que conocido el diámetro, se obtienen los siguientes valores para los esfuerzos en el extremo del eje.

Esfuerzo Axial	1091350 Pa	1,1MPa
Esfuerzo Cortante	1427484 Pa	1,43 MPa
Esfuerzo debido al par torsor	63370060,2 Pa	63,4MPa

La longitud estimada para el eje, dejando espacio en el Nacelle para la multiplicadora, el eje de alta y el generador será de 1,8 m.

2.1.2 Cargas y diagramas de esfuerzos



Donde

$$F = 105000 \text{ N}$$

$$P = 137340 \text{ N}$$

$$T = 533480 \text{ N m}$$

$$\text{Distancia entre apoyos} = L = 1500 \text{ mm}$$

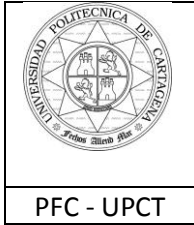
$$\text{Longitud del voladizo} = q = 300 \text{ mm}$$

Cálculo de las reacciones en los apoyos

$$\sum F_x = 0$$

$$F - R_{AX} = 0$$

$$F = R_{AX}$$



**DISEÑO DEL CONJUNTO EJE –
ACOPLAMIENTO – REDUCTORA
EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR
EÓLICO.**

Autor:
Ruimán Burrueco Martínez

ETSII

PFC - UPCT

CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

Revisión 0

$$\sum F_Y = 0$$

$$P - R_{AY} + R_{BY} = 0$$

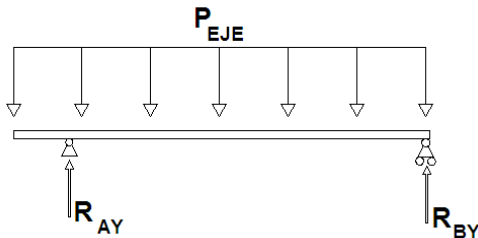
$$\sum M_B = 0$$

$$R_{AY} L - P (q + L) = 0$$

$$R_{AY} = \frac{P(q+L)}{L} = \frac{137340 \cdot 1800}{1500} = 164808 \text{ N}$$

$$R_{BY} = R_{AY} - P = 164080 - 137340 = 27468 \text{ N}$$

Las reacciones en los apoyos tienen un valor añadido por el peso del eje



$$\sum F_y = 0$$

$$R_{AY} + R_{BY} - P_{EJE} = 0$$

$$P_{EJE} = \rho_{acero} * Vol_{eje} = 7850 * \frac{\pi * 0,35^2}{4} * 1,8 = 1360 \text{ Kg} = 13341,6 \text{ N}$$

Que se aplica en el centro del eje, a una distancia de 0,9 del extremo

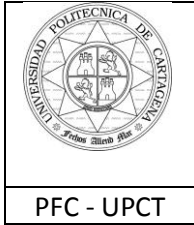
$$\sum M_B = 0$$

$$R_{AY} * 1,5 - P_{EJE} * 0,9 = 0$$

$$R_{AY} * 1,5 - 13341,6 * 0,9 = 0$$

$$R_{AY} = 8005 \text{ N}$$

$$R_{BY} = 5336,6 \text{ N}$$



**DISEÑO DEL CONJUNTO EJE –
ACOPLAMIENTO – REDUCTORA
EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR
EÓLICO.**

Autor:
Ruimán Burrueco Martínez

ETSII

PFC - UPCT

CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

Revisión 0

Por lo que las reacciones totales en los apoyos son de

<i>Apoyo A</i>	$R_{AY} = 172813 \text{ N}$	$R_{AX} = 105000 \text{ N}$
<i>Apoyo B</i>	$R_{BY} = 22131,4 \text{ N}$	$R_{BX} = 0 \text{ N}$

Momento entre P y A

$$M = P * x$$

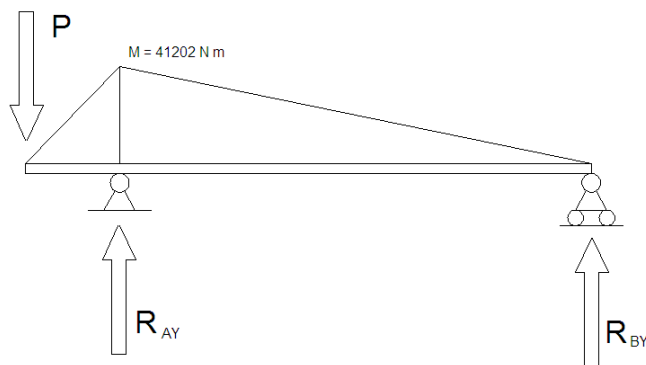
Momento entre A y B

$$M = P (q + x) - R_{AY} * x$$

Momento máximo sobre apoyo A


$$M = P * q + P_{tramo \text{ del eje}} * \frac{q}{2} = 41202 + 7850 * \frac{\pi * 0,35^2}{4} * 0,3 * \frac{0,3}{2} =$$

$$41202 + 34 = 41236 \text{ N m}$$



La fuerza axial se extiende entre el extremo del eje y el apoyo A con un valor constante de $F = 105000 \text{ N}$ hasta el apoyo fijo A, donde será resistida por la resultante horizontal, que corresponde a la carga que tendrá que resistir el rodamiento que se colocará en dicho punto

El par torsor T es constante a lo largo de toda la barra y de un valor $T = 533480 \text{ N m}$

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

Por estos motivos se considera que el punto crítico de nuestro eje es el punto A, por lo que se dimensiona en función de la resistencia que soporta ese apoyo, puesto que el eje está dimensionado en 0,35 m de diámetro, se obtiene:

$$\sigma_x = \frac{32M}{\pi d^3} + \frac{4F}{\pi d^2} = 9,8 + 1,1 \approx 11 \text{ MPa}$$

$$\tau_{XY} = \frac{16T}{\pi d^3} = 63,37 \approx 63,4 \text{ Mpa}$$

Esfuerzos principales

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma_x}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{XY}^2}$$

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{11}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{11}{2}\right)^2 + 63,4^2} = 5,5 \pm 63,64$$


$$\sigma_1 = 69,14 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = -58,14 \text{ MPa}$$

Usando el MSST (Teoría del esfuerzo cortante máximo) para la comprobación a carga estática

$$\frac{4}{\pi d^3} \sqrt{(8M + Fd)^2 + 64T^2} \leq \frac{S_y}{n_s}$$

$$127206934,2 \leq \frac{S_y}{n_s}$$

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

Para aerogeneradores, se estipula un coeficiente de seguridad de tres, por lo que se toma este valor para la comprobación del material

$$S_y \geq 381620802,5 \text{ Pa} \approx 382 \text{ MPa}$$

El material elegido es un AISI 4340 Recocido con $S_{ut} = 745 \text{ MPa}$ y $S_y = 469 \text{ MPa}$

Conocido el valor mínimo de S_y , se comprueba que el material elegido es válido, con un coeficiente de seguridad de 3,68

2.1.3 Comprobación del eje de baja para cargas a fatiga

El esfuerzo de valor más significativo en el eje es el esfuerzo cortante por torsión, con un valor de 63,4 MPa y una carga axial alternante de 11 MPa.

El material para el eje es el mismo anteriormente expuesto


Para el cálculo de los límites a fatiga por torsión se plantean las siguientes ecuaciones:

$$S'_L = 0,72 S_{ut} = 0,72 \times 745 = 536,4 \text{ MPa}$$

(Valor correspondiente para 10^3 ciclos)

$$S'_e = 0,29 S_{ut} = 0,29 \times 745 = 216,05 \text{ MPa}$$

(Valor correspondiente para 10^6 ciclos)

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

Los valores para la corrección de S'_e son

$$S_e = \frac{k_f k_s k_r k_m S'_e}{K_f}$$

Donde

K_f es el factor de concentración de esfuerzos

Debido a los resaltos en los valores del diámetro en el apoyo del primer rodamiento y en el extremo para el acoplamiento del buje, se calculará a fatiga suponiendo valor crítico de 3

k_f es el factor de acabado superficial

$$k_f = e S_{ut}^f$$

Los valores de “e” y “f” para esmerilado son de 1,58 y -0,085 respectivamente obteniendo

$$k_f = 1,58 \times 745^{-0,085} = 0,9$$

k_s es el factor de tamaño


El valor del factor de tamaño trabajando en mm y con diámetro comprendido entre $8mm < D \leq 250mm$ es de

$$k_s = 1,189 \times D^{-0,112}$$

Para este eje $D = 350mm$ por lo que no da un valor de

$$k_s = 1,189 \times 350^{-0,112} = 0,617$$

k_r y k_m son el factor de confiabilidad y de efectos diversos, en nuestros cálculos toman el valor de 1

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

Sustituyendo valores se obtiene

$$S_e = 0,9 \times 0,617 \times 216,05 = 120 \text{ MPa}$$

Para calcular el factor de seguridad a fatiga se aplica la línea de Goodman

$$\frac{K_f \sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n_s}$$

Se aplica un valor crítico del factor de concentración de esfuerzos $K_f = 3$


$$3 * \frac{11}{117} + \frac{61}{745} = \frac{1}{n_s}$$

$$n_s = 2,74$$

Para torsión y vida infinita

$$n_{s-fatiga} = \frac{S_e}{\tau} = \frac{117}{63,4} = 1,84 > 1$$

Por lo que ampliamente superará los 10^6 ciclos y se puede considerar vida infinita, por lo que el eje queda comprobado a fatiga.

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez
	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	ETSII Revisión 0
PFC - UPCT		

2.2.1 Cálculo de la fuerza tangencial en el brazo portasatélites y sus dimensiones

Para el cálculo de la fuerza tangencial se utilizará la ecuación

$$T = F_t * r$$

Donde

T es el par torsor que se produce en el eje al que está acoplado el brazo portasatélites en Nm

F_t es la fuerza tangencial resultante de dicho par torsor en el brazo portasatélites

r es la distancia entre el centro del eje al que está acoplado el brazo portasatélites y el centro del brazo donde está acoplado el satélite

Su valor es $r = r_{p_{sol}} + r_{p_{satélite}}$

Despejando

$$F_t = \frac{T}{r}$$

Sus valores son


	$r_{p_{sol}}(mm)$	$r_{p_{satélite}}(mm)$	$r(mm)$	$T(Nm)$	$F_t(N)$
1ª Etapa	144	360	504	533480	1058492
2ª Etapa	75	375	450	75630,5	168068

Esta fuerza tangencial producirá una flexión en el eje que calculada para el caso crítico, donde se aplicará la fuerza tangencial en el extremo y se calculará el momento flector que produce en el punto de contacto con el disco

Las longitudes de los brazos están estipuladas en función del espesor de los satélites que tienen que soportar,

$$M = F_t * L$$

$$\sigma_{flex} = \frac{32M}{\pi d^3}$$

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez
	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	ETSII Revisión 0

	Ancho de cara del diente (mm)	Longitud del brazo	F_t	Momento en el extremo (Nm)	Esfuerzo por flexión
1ª Etapa	500	530	1058492	561000	
2ª Etapa	140	170	168068	28572	

El valor del esfuerzo por flexión en función del diámetro es

$$\sigma_{flex} = \frac{5714300}{d^3} \quad \text{Para la primera etapa}$$

$$\sigma_{flex} = \frac{291032}{d^3} \quad \text{Para la segunda etapa}$$


$$\sigma_{flex} \leq \frac{S_y}{n_s}$$

Aplicando un coeficiente de seguridad de 3 inicialmente, y seleccionando un diámetro de 0,3 m para el brazo portasatélites de la primera etapa y un diámetro de 0,2 para la segunda etapa, necesitaremos un material con una resistencia a fluencia de

$$S_y = 3 * \frac{5714300}{0,3^3} = 3 * 211640741 \approx 635 \text{ MPa} \quad \text{Para la primera etapa}$$

$$S_y = 3 * \frac{291032}{0,2^3} = 3 * 36379000 \approx 110 \text{ MPa} \quad \text{Para la segunda etapa}$$

Al ser piezas realizadas por fundición, se seleccionará un material que resista la carga dentro del catálogo de hierro colado

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

Para la primera etapa, se seleccionará un hierro dúctil templado desde austemplado ASTM 897-90 de grado 2 con Resistencia a la tensión de $S_{ut} = 1050 \text{ MPa}$ y una resistencia de fluencia de $S_y = 700 \text{ MPa}$ con lo que se consigue un coeficiente de seguridad a carga estática de 3,3

Para la segunda etapa, se seleccionará un hierro dúctil templado desde austemplado ASTM 897-90 de grado 4 con Resistencia a la tensión de $S_{ut} = 1400 \text{ MPa}$ y una resistencia de fluencia de $S_y = 1100 \text{ MPa}$ con lo que se consigue un coeficiente de seguridad a carga estática de 30,2 el material seleccionado es este por la realización en una misma pieza del eje intermedio de la multiplicadora y del brazo portasatélites.

2.2.2 Cálculos justificativos para el eje intermedio de la multiplicadora

Se parte de la premisa de que las fuerzas transmitidas por la primera etapa de la multiplicadora de tipo epicicloidal hacia el eje intermedio que conecta con la segunda etapa son únicamente esfuerzos de torsión

Las pérdidas producidas por la primera etapa epicicloidal son para los cálculos dimensionales de un 1% con respecto a la potencia de entrada en la multiplicadora, por lo que la potencia soportada por el eje es de 990KW


La velocidad de giro del eje intermedio es de 125 rpm

Viendo la hoja anexa a esta se puede justificar el uso de la formula de la mecánica clásica

$$P = T \omega$$

Por lo que el Par Torsor que actuará en el eje será de

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{990 * 10^3}{125 * \left(\frac{2\pi}{60}\right)} = 75630,5 \text{ N} * \text{m}$$

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

El esfuerzo cortante máximo debido a esta carga es de

$$\tau_{XY} = \frac{16T}{\pi d^3}$$

Pero se desconocen los valores de τ_{XY} así como del diámetro “d”

Se calcula el valor de la tensión equivalente para el caso de tener solamente torsión,

$$\tau_e = \sqrt{3}\tau_{XY} = \sqrt{3}\frac{16T}{\pi d^3}$$


Para el cálculo de τ_e en función del valor del límite de fluencia el material es

$$\tau_e \leq \frac{S_y}{n_s}$$

Siendo n_s el valor del coeficiente de seguridad que para el caso de aerogeneradores es de 3

Por lo que el valor del límite de fluencia del material se extraería en función del diámetro como:

$$S_y \geq \frac{\sqrt{3}n_s 16T}{\pi d^3}$$

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

Sustituyendo valores se obtiene

$$S_y = \frac{2001469,5}{d^3}$$

Por lo que partiendo de estos valores y conocido un diámetro, podemos calcular el material, y viceversa.

Para un diámetro de 0,2 m, el valor necesario de $S_y = 250,2 \text{ MPa}$ (sin considerar el chavetero)


El material seleccionado para el eje es un hierro colado dúctil templado desde austemplado ASTM 897-90 de grado 4 con unos valores de resistencia a tensión y de resistencia a la fluencia son $S_{ut} = 1400 \text{ MPa}$ y $S_y = 1100 \text{ MPa}$

Y para el diámetro seleccionado de 200mm, el esfuerzo debido a la torsión teniendo en cuenta el chavetero es de

$$\tau_{XY} = \frac{16T}{0,6\pi d^3} = \frac{16 * 75630,5}{0,6 * \pi * 0,2^3} = 80246452,8 \text{ Pa} \approx 80,3 \text{ MPa}$$

$$\tau_{XY} * n_s * \sqrt{3} = 417 \text{ MPa} \leq S_y$$

Con dicho material, el coeficiente de seguridad de nuestro eje a carga estática es de 13,7

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

2.2.4 Comprobación del eje intermedio para cargas a fatiga

El esfuerzo de valor más significativo en el eje es el esfuerzo cortante por torsión, con un valor de 80,3 MPa.

El material para el eje es un hierro colado dúctil templado desde austemplado ASTM 897-90 de grado 4 con $S_{ut} = 1400 \text{ MPa}$ y $S_y = 1100 \text{ MPa}$

Para el cálculo de los límites a fatiga a torsión se plantean las siguientes ecuaciones:

$$S'_L = 0,72 S_{ut} = 0,72 \times 1400 = 1008 \text{ MPa}$$

(Valor correspondiente para 10^3 ciclos)

$$S'_e = 0,29 S_{ut} = 0,29 \times 1400 = 406 \text{ MPa}$$

(Valor correspondiente para 10^6 ciclos)

Los valores para la corrección de S'_e son

$$S_e = \frac{k_f k_s k_r k_m S'_e}{K_f}$$


Donde

K_f es el factor de concentración de esfuerzos

Su valor es de 1,6 ya que consideramos como sección crítica el chavetero donde se colocara la rueda sol de la primera etapa

k_f es el factor de acabado superficial

$$k_f = e S_{ut}^f$$

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

Los valores de “e” y “f” para esmerilado son de 1,58 y -0,085 respectivamente obteniendo

$$k_f = 1,58 \times 1400^{-0,085} = 0,853$$

k_s es el factor de tamaño

El valor del factor de tamaño trabajando en mm y con diámetro comprendido entre $8mm < D \leq 250mm$ es de

$$k_s = 1,189 \times D^{-0,112}$$

Para este eje $D = 200 \text{ mm}$, pero considerando el chavetero, $d = 0,85D$ por lo que no da un valor de

$$k_s = 1,189 \times (0,85 \times 200)^{-0,112} = 0,68$$

k_r y k_m son el factor de confiabilidad y de efectos diversos, en nuestros cálculos toman el valor de 1


Por lo que finalmente queda de la forma

$$S_e = \frac{0,853 \times 0,68}{1,6} \times 406 = 147,1 \text{ MPa}$$

Para torsión y vida infinita

$$n_{s-fatiga} = \frac{S_e}{\tau} = \frac{147,1}{80,3} = 1,83 > 1$$

Por lo que superará los 10^6 ciclos y considero vida infinita, por lo que el eje queda comprobado a fatiga

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

2.2.3 Cálculo de las dimensiones del chavetero en el eje intermedio de la multiplicadora

Según la norma ISO/R 773-1969 (E), las dimensiones del chavetero para un diámetro de eje de 0,2 m son de un ancho de $b = 45\text{mm}$ y una altura de $h = 25\text{mm}$, repartidas con 15mm en el eje y 10 en el engranaje, el material para la chaveta es un acero AISI 1045 laminado en caliente con una resistencia de fluencia $S_y = 310\text{ MPa}$

Cálculo de falla debida al corte de la cuña

$$P = \frac{T}{d/2} = \frac{2T}{d} = 2 * \frac{75630,5}{0,2} = 756305\text{N}$$

$$\tau_{diseño} = \frac{P}{A_s} = \frac{P}{b * l} \leq \frac{S_{sy}}{n_s} = \frac{0,4 S_y}{n_s}$$

Aplicando un $n_s = 1,5$

$$\frac{756305 * 1,5}{45 * 0,4 * 310} = l$$


$$l = 203,31\text{mm} \approx 210\text{mm}$$

Comprobación a falla por esfuerzo de compresión

$$A_c = lh/2$$

$$\sigma_{diseño} = \frac{P}{A_c} = \frac{2T}{dlh/2} = \frac{4T}{dlh} = \frac{4 * 75630,5}{0,2 * 0,21 * 0,025} = 288,116\text{ MPa}$$

$$\sigma_{diseño} \leq \frac{0,9S_y}{n_s} \leq 288,116\text{ MPa}$$

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

Se amplía la longitud para que aguante a compresión

$$l = 0,3 \text{ m}$$


$$\sigma_{diseño} = \frac{P}{A_c} = \frac{2T}{dlh/2} = \frac{4T}{dlh} = \frac{4 * 75630,5}{0,2 * 0,3 * 0,025} = 201,68 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{diseño} \leq \frac{0,9S_y}{n_s} \rightarrow 0,9 * \frac{310}{n_s} = 201,7 \rightarrow n_s = 1,383$$

Por lo que las dimensiones del chavetero son de $(b * h * l) = 45 * 25 * 300 \text{ mm}$

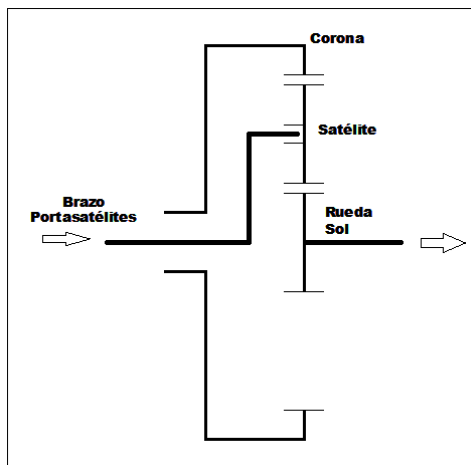
El chavetero provoca un factor de concentración de esfuerzos en la sección, según el material didáctico de diseño de máquinas para diseño de ejes, para un eje de acero aleado y dureza Brinell $HB \geq 200$ y sometido a cargas de torsión de $K_f = 1,6$

Valor que se considerará en el cálculo a fatiga del eje

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

2.2.5 Cálculo de la relación de transmisión del tren epicycloidal con entrada por el brazo portasatelites y salida por la rueda sol dejando fija la corona

Metodo de Willis



Para la realización de los primeros cálculos, se supondrá inicialmente que dejamos el Brazo Portasatelites “c” fijo y llamando “1” a la Rueda Sol, “2” al/los Satélites y “3” a la Corona.

$$m_{31}^c = \frac{\omega'_3}{\omega'_1}$$


Siendo ω'_3 y ω'_1 velocidades relativas de giro de los elementos 3 y 1 respectivamente a ω_c ya que

$$\omega'_1 = \omega_1 - \omega_c$$

$$\omega'_3 = \omega_3 - \omega_c$$

Dando como resultado la ley fundamental del engrane epicycloidal, o fórmula de Willis

$$m_{31}^c = \frac{\omega'_3}{\omega'_1} = -\frac{Z_1}{Z_3} = \frac{\omega_3 - \omega_c}{\omega_1 - \omega_c}$$

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

El objeto de estos cálculos será obtener la relación entre “c” y “1” dejando “3” fijo,

$$m_{c1}^{(3)} = \frac{\omega_c}{\omega_1}$$

Encontrando dicha relación en función del número de dientes de “1” y “3”

Para la citada transmisión


$$-\frac{Z_1}{Z_3} = \frac{\omega_3 - \omega_c}{\omega_1 - \omega_c}$$

Donde $\omega_3 = 0$ ya que es la corona se encuentra anclada a la carcasa por lo que

$$-\frac{Z_1}{Z_3} = \frac{-\omega_c}{\omega_1 - \omega_c} \rightarrow \frac{Z_1}{Z_3} = \frac{\omega_c}{\omega_1 - \omega_c} \rightarrow \omega_1 - \omega_c = \frac{Z_3 \omega_c}{Z_1} \rightarrow \omega_c = \omega_1 - \frac{Z_3 \omega_c}{Z_1}$$

Dividiendo en ambos lados por ω_1 se obtendrá

$$\frac{\omega_c}{\omega_1} = \frac{\omega_1}{\omega_1} - \frac{Z_3 \omega_c}{Z_1 \omega_1} \rightarrow \frac{\omega_c}{\omega_1} = 1 - \frac{Z_3 \omega_c}{Z_1 \omega_1}$$

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

Tratando $\frac{\omega_c}{\omega_1}$ como incognita y lo agrupandolo a un lado

$$1 = \frac{\omega_c}{\omega_1} + \frac{Z_3 \omega_c}{Z_1 \omega_1} \rightarrow 1 = \frac{\omega_c}{\omega_1} \left(1 + \frac{Z_3}{Z_1} \right) \rightarrow \frac{\omega_c}{\omega_1} = \frac{1}{1 + \frac{Z_3}{Z_1}}$$

Por lo que

$$m_{c1}^{(3)} = \frac{\omega_c}{\omega_1} = \frac{1}{1 + \frac{Z_3}{Z_1}}$$

Se instalarán dos etapas epicicloidales con las siguientes relaciones de transmisión

- 1ª etapa epicicloidal, relación 1/7
- 2ª etapa epicicloidal, relación 1/12

1ª Etapa


$$\frac{1}{7} = \frac{1}{1 + \frac{Z_3}{Z_1}} \rightarrow 7 = 1 + \frac{Z_3}{Z_1}$$

$$\frac{Z_3}{Z_1} = 6$$

Para un número de dientes $Z_1 = 24$ se obtiene un valor de $Z_3 = 144$

Cumpliendo la condición para engrane epicicloidal de

$$\frac{Z_3 + Z_1}{n^\circ \text{ Satélites}} = \text{número entero}$$

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

Siendo tres el número de satélites en la primera etapa.

$$\frac{24 + 144}{3} = 56$$

El número de dientes del satélite se obtendrá de la relación de dimensiones donde

$$Z_3 = 2Z_2 + Z_1$$

Obteniendo un valor de $Z_2 = 60$

2ª Etapa

$$\frac{1}{12} = \frac{1}{1 + \frac{Z_3}{Z_1}} \rightarrow 12 = 1 + \frac{Z_3}{Z_1}$$

$$\frac{Z_3}{Z_1} = 11$$

Para un número de dientes $Z_1 = 25$ se obtiene un valor de $Z_3 = 275$


Cumpliendo la condición para engrane epicicloidal con tres satélites,

$$\frac{Z_3 + Z_1}{3} = \text{número entero}$$

El número de dientes del satélite se obtendrá de la relación de dimensiones donde

$$Z_3 = 2Z_2 + Z_1$$

Obteniendo un valor de $Z_2 = 125$

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez
	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	ETSII Revisión 0
PFC - UPCT		

2.2.6 Cálculo del espesor de los engranajes de la 1ª Etapa

Se calcula el espesor de la rueda más crítica de la primera etapa, que debido al menor número de dientes y a la mayor velocidad de giro, se considerará a la rueda sol.

Se partirá de los siguientes datos iniciales calculados previamente

El material seleccionado es un acero AISI 5160 OQT 400F (Templado y revenido en aceite 400F) con unos valores característicos de $S_{ut} = 19000 \text{ MPa}$, un $S_y = 1560 \text{ MPa}$ y un $HB = 627$

P_{ot}	1000000W
Z_1	24
n_1	125 rpm
Modulo	12 mm
Diametro	288 mm
Fuerza tangencial	530516,47 N
Y_j	0,38

Utilizamos la fórmula de AGMA

$$b = \frac{W_t}{Y_j m \sigma_{rfp}} K$$

$$K = \frac{K_a K_s K_m}{K_v}$$

Siendo

b es el espesor de cara del engranaje


W_t es la fuerza tangencial aplicada sobre el diente

$$W_t = \frac{60 P_{ot}}{\pi n m Z}$$

Y_j es el factor geométrico del engrane

σ_{rfp} es la tensión soportada en el diente

$$\sigma_{rfp} = \frac{S_{rfp}}{CS}$$

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

CS es el coeficiente de seguridad con un valor de 1

$$S_{rfp} = \frac{K_N}{K_t K_c} * S'_{rfp}$$

$$S'_{rfp} = 43 + 1,2HB - 0,000868HB^2$$

$$K_N = 1,356 * N^{-0,0178}$$

Para $N = 10^9$ ciclos $\rightarrow K_N = 0,9377$

K_t es el factor de temperatura, toma el valor de 1 para temperaturas de funcionamiento inferiores a 120°C

K_c es el factor de confiabilidad, tiene de valor 1 para una confiabilidad del 99%

$$S'_{rfp} = 454,164$$

$$S_{rfp} = \frac{0,9377}{1} * S'_{rfp} = 425,87 \text{ MPa}$$

m es el módulo del engranaje


n es la velocidad de giro en revoluciones por minuto

K es el factor de corrección del módulo

K_a es el factor de aplicación que para un aerogenerador toma el valor de 1

K_s es el factor de tamaño, para valores de módulo entre 8 y 12 su valor es de 1,1

K_m es el factor de distribución de carga, su valor va en función del ancho de cara del diente, tomando un valor de 1,6

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

K_v es el factor dinámico

$$K_v = \left(\frac{A}{A + \sqrt{200v}} \right)^B$$

$$A = 50 + 56(1 - B)$$

$$B = 0,25(12 - Q_v)^{2/3}$$

Seleccionamos un valor de calidad $Q_v = 10$

$$B = 0,3969$$

$$A = 83,776$$

$$\omega_p = \frac{n \pi m Z}{60} = 1,885 \text{ rad/s}$$

$$v = \omega_p m \frac{Z}{2} = 0,2714 \text{ m/s}$$

$$K_v = 0,9671$$


El valor total de la constante es de

$$K = 1,82$$

Sustituyendo en la ecuación todos estos valores se obtiene un ancho de cara de

$$b = 0,4972 \text{ m} \approx 0,5 \text{ m}$$

Por lo que los espesores del satélite y la corona serán iguales con el fin de garantizar el mayor reparto de las cargas durante el engrane.

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

Cálculo de la resistencia a la fatiga superficial (Picadura) en la primera etapa epicicloidal

Según AGMA la resistencia a fatiga superficial sin corregir toma la forma

$$S'_{fsp} = 186 + 2,5HB$$

$$S'_{fsp} = 186 + 2,5 * 627 = 1753,5 \text{ MPa}$$

Determinación de los factores de corrección

$$S_{fsp} = \frac{C_N}{C_T C_C} S'_{fsp}$$

C_N es el coeficiente de fatiga, para un valor de $N \geq 10^6$ toma la forma

$$C_N = 1,449 N^{-0,023}$$

Siendo $N \approx 10^9$ ciclos


$$C_N = 1,449 * (10^9)^{-0,023} = 0,9$$

C_T es el coeficiente de temperatura, toma un valor de uno para temperaturas de funcionamiento menores de 120°C

C_C es el coeficiente de confiabilidad, el valor de 1 corresponde a una confiabilidad del 99%

Por lo que

$$S_{fsp} = \frac{0,9}{1} * 1753 = 1578,1 \text{ MPa}$$

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

El coeficiente de seguridad a fatiga es el resultado de

$$CS_{fs} = \frac{S_{fsp}}{\sigma_{fsp}}$$

$$\sigma_{fsp} = C_p \sqrt{\frac{F_t}{b * I_p * d_p} C}$$

C es el factor de corrección del módulo, toma el mismo valor de $K = 1,82$

C_p es el coeficiente elástico

$$C_p = \sqrt{\frac{1}{\pi \left[\left(\frac{1 - \nu_p^2}{E_p} \right) + \left(\frac{1 - \nu_r^2}{E_r} \right) \right]}}$$

E_p, E_r son los coeficientes de elasticidad del piñón y de la rueda, al ser ambos de acero al carbono, su valor es de 206800 MPa

ν_p, ν_r son los coeficientes de Poisson del piñón y de la rueda, su valor es de 0,28

$$C_p = \sqrt{\frac{1}{\pi \left[2 \left(\frac{1 - 0,28^2}{206800} \right) \right]}} = 188,9792 \approx 189 \text{ MPa}^{1/2}$$


I_p solo se utiliza en engranajes exteriores, por lo que toma el valor de 1

El valor de la tensión superficial del diente toma la forma

$$\sigma_{fsp} = 189 \sqrt{\frac{530516,47}{500 * 1 * 288}} * 1,82 = 489,4$$

$$CS_{fs} = \frac{S_{fsp}}{\sigma_{fsp}} = \frac{1578,1}{489,4} = 3,22$$

Por lo que la rueda sol queda comprobada a picadura, al ser esta rueda la más crítica debido a su mayor número de revoluciones, se considera que el resto de ruedas de la primera etapa epicicloidial quedan también comprobadas.

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez
	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	ETSII Revisión 0
PFC - UPCT		

2.2.7 Cálculo del espesor de los engranajes de la 2ª Etapa

Se calcula el espesor de la rueda más crítica de la primera etapa, que debido a la mayor velocidad de giro, es la rueda sol.

Partiendo de los siguientes datos calculados previamente

El material seleccionado es un acero AISI 5160 OQT 400F (Templado y revenido en aceite 400F) con unos valores característicos de $S_{ut} = 19000 \text{ MPa}$, un $S_y = 1560 \text{ MPa}$ y un $HB = 627$

P_{ot}	990000W
Z_1	25
n_1	1500 rpm
Modulo	6 mm
Diametro	150 mm
Fuerza tangencial	84033 N
Y_j	0,38

Utilizando la fórmula de AGMA

$$b = \frac{W_t}{Y_j m \sigma_{rfp}} K$$


$$K = \frac{K_a K_s K_m}{K_v}$$

Donde

- b es el espesor de cara del engranaje
- W_t es la fuerza tangencial aplicada sobre el diente

$$W_t = \frac{60 P_{ot}}{\pi n m Z}$$

- Y_j es el factor geométrico del engrane
- σ_{rfp} es la tensión soportada en el diente

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

$$\sigma_{rfp} = \frac{S_{rfp}}{CS}$$

- CS es el coeficiente de seguridad con un valor de 1 ya que los valores se encuentran maximizados por diversos coeficientes

$$S_{rfp} = \frac{K_N}{K_t K_c} * S'_{rfp}$$

$$S'_{rfp} = 43 + 1,2HB - 0,000868HB^2$$

$$K_N = 1,356 * N^{-0,0178}$$


Para $N = 10^9$ ciclos $\rightarrow K_N = 0,9377$

- K_t es el factor de temperatura, toma el valor de 1 para temperaturas de funcionamiento inferiores a 120°C
- K_c es el factor de confiabilidad, tiene de valor 1 para una confiabilidad del 99%

$$S'_{rfp} = 454,164$$

$$S_{rfp} = \frac{0,9377}{1} * S'_{rfp} = 425,87 \text{ MPa}$$

- m es el módulo del engranaje
- n es la velocidad de giro en revoluciones por minuto
- K es el factor de corrección del módulo
- K_a es el factor de aplicación que para un aerogenerador toma el valor de 1
- K_s es el factor de tamaño, para valores de módulo de 6 su valor es de 1,05
- K_m es el factor de distribución de carga, su valor va en función del ancho de cara del diente, tomando un valor de 1,3
- K_v es el factor dinámico

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

$$K_v = \left(\frac{A}{A + \sqrt{200v}} \right)^B$$

$$A = 50 + 56(1 - B)$$

$$B = 0,25(12 - Q_v)^{2/3}$$

Seleccionamos un valor de calidad $Q_v = 6$

$$B = 0,82548$$

$$A = 59,773$$

$$\omega_p = \frac{n \pi m Z}{60} = 11,78 \text{ rad/s}$$

$$v = \omega_p m \frac{Z}{2} = 0,8836 \text{ m/s}$$

$$K_v = 0,8472$$


El valor total de la constante es de

$$K = 1,6111$$

Sustituyendo en la ecuación todos estos valores se obtiene un ancho de cara de

$$b = 0,140 \text{ m}$$

Por lo que los espesores del resto de los elementos (Satélite y Corona) serán iguales

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

Cálculo de la resistencia a la fatiga superficial (Picadura) en la segunda etapa epicicloidal

La ecuación para el cálculo de la resistencia a fatiga superficial sin corregir según AGMA, toma la forma

$$S'_{fsp} = 186 + 2,5HB$$

$$S'_{fsp} = 186 + 2,5 * 627 = 1753,5 \text{ MPa}$$

Determinación de los factores de corrección

$$S_{fsp} = \frac{C_N}{C_T C_C} S'_{fsp}$$

C_N es el coeficiente de fatiga, para un valor de $N \geq 10^6$ toma la forma

$$C_N = 1,449 N^{-0,023}$$

Siendo $N \approx 10^{10}$ ciclos


$$C_N = 1,449 * (10^{10})^{-0,023} = 0,853$$

C_T es el coeficiente de temperatura, toma un valor de uno para temperaturas de funcionamiento menores de 120°C

C_C es el coeficiente de confiabilidad, el valor de 1 corresponde a una confiabilidad del 99%

Por lo que

$$S_{fsp} = \frac{0,853}{1} * 1753,5 = 1495,7 \text{ MPa}$$

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

El coeficiente de seguridad a fatiga es el resultado de

$$CS_{fs} = \frac{S_{fsp}}{\sigma_{fsp}}$$

$$\sigma_{fsp} = C_p \sqrt{\frac{F_t}{b * I_p * d_p}} C$$

C es el factor de corrección del módulo, toma el mismo valor de $K = 1,6111$

C_p es el coeficiente elástico

$$C_p = \sqrt{\frac{1}{\pi \left[\left(\frac{1 - \nu_p^2}{E_p} \right) + \left(\frac{1 - \nu_r^2}{E_r} \right) \right]}}$$

E_p, E_r son los coeficientes de elasticidad del piñón y de la rueda, al ser ambos de acero al carbono, su valor es de 206800 MPa

ν_p, ν_r son los coeficientes de Poison del piñón y de la rueda, su valor es de 0,28


$$C_p = \sqrt{\frac{1}{\pi \left[2 \left(\frac{1 - 0,28^2}{206800} \right) \right]}} = 188,9792 \approx 189 \text{ MPa}^{1/2}$$

I_p solo se utiliza en engranajes exteriores, por lo que toma el valor de 1

El valor de la tensión superficial del diente toma la forma

$$\sigma_{fsp} = 189 \sqrt{\frac{84033}{140 * 1 * 150}} * 1,6111 = 480 \text{ MPa}$$

$$CS_{fs} = \frac{S_{fsp}}{\sigma_{fsp}} = \frac{1495,7}{480} = 3,11$$

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez
	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	ETSII Revisión 0
PFC - UPCT		

Por lo que la rueda sol queda comprobada a picadura, al ser esta rueda la más crítica debido a su mayor número de revoluciones, se considera que el resto de ruedas de la segunda etapa epicicloidal quedan también comprobadas.


2.2.8 Dimensiones de los engranajes de la multiplicadora Epicicloidal (Resumen)

1ª Etapa Epicicloidal

Engranaje	Z	m	D_p	b
Corona	144	12	1728	500
Satélite	60	12	720	500
Sol	24	12	288	500

2ª Etapa Epicicloidal

Engranaje	Z	m	D_p	b
Corona	275	6	1650	140
Satélite	125	6	750	140
Sol	25	6	150	140

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez
	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	ETSII Revisión 0
PFC - UPCT		

Cálculo del peso de los elementos que componen la caja epicicloidal para evaluar la resistencia de la base

Con el fin de suponer condiciones críticas, los pesos serán maximizados evaluando los engranajes como cilindros perfectos con $D = D_p$ (Diámetro Primitivo)


TABLA DE PESOS

Elemento	Volumen (m^3)	Densidad (kg/m^3)	Cantidad	Peso unitario (Kg)	Peso Total (Kg)
1ª Etapa					
Satélites	0,16823	7850	3	1320,6	3961,8
Sol	0,01686	7850	1	132,4	132,4
Corona	0,32064	7850	1	2517	2517
Portasatélites	0,22297	7850	1	1751,3	1751,3
Rodamientos Sat.	-	-	3	270	810
2ª Etapa					
Satélites	0,05745	7850	3	451	1353
Sol	0,00138	7850	1	10,8	10,8
Corona	0,07697	7850	1	604,2	604,2
Potasatélites	0,01867	7850	1	146,6	146,6
Rodamientos Sat.	-	-	3	96,5	289,5
Rodamiento Eje	-	-	1	5,5	5,5
Eje entrada	0,06735	7850	1	528,7	528,7
Eje intermedio	0,022	7850	1	172,7	172,7
Carcasa superior	0,61261	7850	1	4810	4810
Peso total del conjunto					17093,5

Para el cálculo del espesor, se considerará la condición más crítica posible, flexión debida a la aplicación de toda la carga en un extremo de la base.

La tensión soportada corresponde a

$$\sigma_x = \frac{M_z * Y_{cg}}{I_z}$$

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

Siendo

M_z el momento generado por la carga en el extremo

$$M_z = P * L$$

P = Peso de los elementos, su valor es $P = m * g = 17093,5 * 9,81 = 167690N$

L = Longitud de la base, que tiene un valor redondeado al alza de $2m$

Por lo que el momento toma el valor de

$$M_z = 167690 * 2 = 335380 Nm$$

Y_{cg} = es la coordenada Y del centro de gravedad, tomando el valor de $\frac{e}{2}$

I_z = es el momento de inercia de la base respecto al eje z, su valor es de


$$I_z = \frac{b h^3}{12} = \frac{b e^3}{12} = \frac{2}{12} e^3 = \frac{e^3}{6}$$

Se sustituye en la fórmula obteniéndose

$$\sigma_x = \frac{335380 * \frac{e}{2}}{\frac{e^3}{6}} = \frac{1006140}{e^2}$$

$$\sigma_x = \frac{S_y}{CS}$$

Se selecciona como material Hierro dúctil templado desde austemplado ASTM 897-90 de grado 2 con un $S_y = 700 MPa$, imponemos un espesor inicial de 0,1m, lo que nos da un CS (Coeficiente de Seguridad) de 6,95 valor suficiente para garantizar su resistencia.

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

2.3.1 Cálculos justificativos para el eje de alta

Partiendo de la premisa de que las fuerzas axiales y los momentos flectores ya han sido absorbidos por el resto de la transmisión, encontramos que en el eje de alta se dará únicamente esfuerzo a torsión.

Se conoce la potencia nominal que debe de llegar al generador (900KW) así como la velocidad de giro de entrada (1500 rpm)

Viendo la demostración expuesta en los cálculos del eje de baja, se puede justificar el uso de la formula de la mecánica clásica

$$P = T \omega$$

Siendo la potencia necesaria en el eje, la potencia nominal aplicándole las pérdidas producidas por el alternador (95%) y en el transformador (98%)

$$P = \frac{900000}{0,98 * 0,95} = 966702,47 \approx 970000W$$


Por lo que el Par Torsor que actúa en el eje es

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{970 * 10^3}{1500 * \left(\frac{2\pi}{60}\right)} = 6175,22 N * m$$

El esfuerzo cortante máximo debido a esta carga es de

$$\tau_{XY} = \frac{16T}{\pi d^3}$$

Pero se desconocen los valores de τ_{XY} así como del diámetro “d”

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

Se calcula el valor de la tensión equivalente para el caso de tener solamente torsión,

$$\tau_e = \sqrt{3}\tau_{XY} = \sqrt{3}\frac{16T}{\pi d^3}$$

Para el cálculo de τ_e en función del valor del límite de fluencia del material es

$$\tau_e \leq \frac{S_y}{n_s}$$

Siendo n_s el valor del coeficiente de seguridad que para el caso de aerogeneradores es de 3

El valor del límite de fluencia del material se extrae en función del diámetro como:

$$S_y \geq \frac{\sqrt{3}n_s 16T}{\pi d^3}$$

Que en este caso toma el valor de

$$S_y = \frac{163420}{d^3}$$

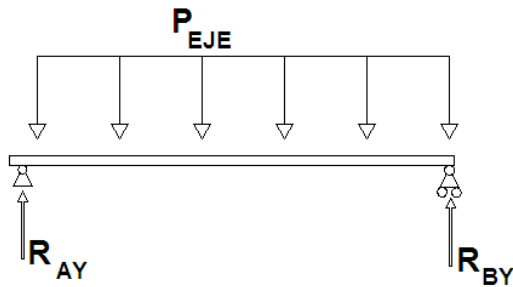
Por lo que partiendo de estos valores, conocido un diámetro se puede calcular su material, y viceversa.

Para un diámetro de 0,1 m, el valor necesario de $S_y = 163,42 \text{ MPa}$

El material seleccionado para el eje es un AISI 5140 Recocido con $S_{ut} = 572 \text{ MPa}$ y $S_y = 290 \text{ MPa}$

Con dicho material, el coeficiente de seguridad es de 5,3

2.3.2 Cálculo de las reacciones en los apoyos del eje de alta



$$P_{EJE} = \rho_{acero} * Vol_{eje} = 7850 * \frac{\pi D^2}{4} * L =$$

$$7850 * \frac{\pi * 0,1^2}{4} * 1 = 61,56Kg = 605 N$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{AY} + R_{BY} - P_{EJE} = 0$$

$$\sum M_B = 0$$


$$R_{AY} * 1 - P_{EJE} * 0,5 = 0 \rightarrow R_{AY} = 605 * 0,5$$

$$R_{AY} = 302,5 N = R_{BY}$$

2.3.3 Comprobación del eje de alta bajo cargas a fatiga

El esfuerzo de valor más significativo en el eje es el esfuerzo cortante por torsión, con un valor de 31,451 MPa.

El material para el eje es un acero AISI 5140 recocido con $S_{ut} = 572 MPa$ y $S_y = 290 MPa$

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

Para el cálculo de los límites a fatiga a torsión se plantean las siguientes ecuaciones:

$$S'_L = 0,72 S_{ut} = 0,72 \times 572 = 411,84 \text{ MPa}$$

(Valor correspondiente para 10^3 ciclos)

$$S'_e = 0,29 S_{ut} = 0,29 \times 572 = 165,88 \text{ MPa}$$

(Valor correspondiente para 10^6 ciclos)

Los valores para la corrección de S'_e son

$$S_e = \frac{k_f k_s k_r k_m S'_e}{K_f}$$

Donde

K_f es el factor de concentración de esfuerzos


El valor de K_f toma el valor de 1,6 por ser la sección más crítica la del chavetero donde se acopla a la rueda sol

k_f es el factor de acabado superficial

$$k_f = e S_{ut}^f$$

Los valores de “e” y “f” para esmerilado son de 1,58 y -0,085 respectivamente obteniendo

$$k_f = 1,58 \times 572^{-0,085} = 0,92$$

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

k_s es el factor de tamaño

El valor del factor de tamaño trabajando en mm y con diámetro comprendido entre $8mm < D \leq 250mm$ es de

$$k_s = 1,189 \times D^{-0,112}$$

Para este eje $D = 100mm$ por lo que no da un valor de

$$k_s = 1,189 \times 100^{-0,112} = 0,71$$

k_r y k_m son el factor de confiabilidad y de efectos diversos, en nuestros cálculos toman el valor de 1

Por lo que finalmente queda de la forma

$$S_e = \frac{0,92 \times 0,71 \times 165,88}{1,6} = 67,72 \text{ MPa}$$

Para torsión y vida infinita


$$n_{s-fatiga} = \frac{S_e}{\tau} = \frac{67,72}{31,451} = 2,15 \gg 1$$

Por lo que ampliamente superará los 10^6 ciclos y se puede tomar vida infinita, por lo que el eje queda probado a fatiga.

2.3.4 Cálculo de las dimensiones del chavetero en el eje de alta para acoplamiento con rueda sol

Según la norma ISO/R 773-1969 (E), las dimensiones del chavetero para un diámetro de eje de 0,1 m son de un ancho de $b = 28mm$ y una altura de $h = 16mm$, repartidas con 10mm en el eje y 6 en el engranaje, el material para la chaveta es un acero AISI 1045 laminado en caliente con una resistencia de fluencia $S_y = 310 \text{ MPa}$

Cálculo de falla debida al corte de la cuña

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

$$P = \frac{T}{d/2} = \frac{2T}{d} = 2 * \frac{6175,22}{0,1} = 123504,4N$$

$$\tau_{diseño} = \frac{P}{A_s} = \frac{P}{b * l} \leq \frac{S_{sy}}{n_s} = \frac{0,4 S_y}{n_s}$$

Aplicando un $n_s = 1,5$

$$\frac{123504,4 * 1,5}{28 * 0,4 * 310} = l$$

$$l = 53,36 \approx 60 \text{ mm}$$

Comprobamos a falla por esfuerzo de compresión

$$A_c = lh/2$$

$$\sigma_{diseño} = \frac{P}{A_c} = \frac{2T}{dlh/2} = \frac{4T}{dlh} = \frac{4 * 6175,22}{0,1 * 0,06 * 0,016} = 257,3MPa$$


$$\sigma_{diseño} \leq \frac{0,9S_y}{n_s} \leq 257,3 \text{ MPa}$$

Ampliamos para que aguante a compresión con mayor margen de seguridad

$$l = 0,1 \text{ m}$$

$$\sigma_{diseño} = \frac{P}{A_c} = \frac{2T}{dlh/2} = \frac{4T}{dlh} = \frac{4 * 6175,22}{0,1 * 0,1 * 0,016} = 154,38MPa$$

$$\sigma_{diseño} \leq \frac{0,9S_y}{n_s} = 0,9 * \frac{310}{n_s} = 154,38 \rightarrow n_s = 1,8$$


	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

El chavetero provoca un factor de concentración de esfuerzos en la sección, según el material didáctico de diseño de máquinas para diseño de ejes, para un eje de acero aleado y dureza Brinell $HB \geq 200$ y sometido a cargas de torsión de $K_f = 1,6$

Valor que se considerará en el cálculo a fatiga del eje

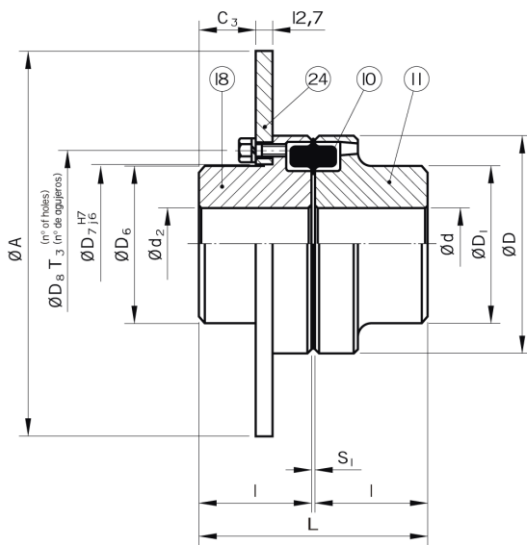
Cálculo del segundo chavetero del eje de alta para acoplamiento con el freno y el generador

El cálculo de este chavetero se hará siguiendo la norma DIN 6885/1 por exigencia del fabricante del acoplamiento, las medidas correspondientes para el diámetro de 100mm del eje de alta son $b = 28$ $h = 16$, siendo las mismas que las correspondientes a la norma ISO/R 773-1969, por lo que la comprobación es una repetición de los cálculos expuestos anteriormente.

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

2.4.1 Acoplamiento al generador del eje de alta con freno

El acoplamiento seleccionado para este fin es un acoplamiento GETB - 295 con freno de disco de 600 mm de diámetro incluido de la marca Flexomax Gplus con las dimensiones que se adjuntan en la tabla siguiente




Tam.	M máx (Nm)	n máx (rpm)	d, d ₁ , d ₂ min	d máx	d ₁ máx	d ₂ máx	A	C ₃	D	D ₁	D ₂	D ₆	D ₇	D ₈	I	L	L ₃	T ₃	S ₁
295	18000	2250	50	140	115	130	600	86	295	214	181	214	220	260	150	308	334	10	8,0±2,5

Las dimensiones se dan en milímetros

El eje de alta cumplirá las siguientes exigencias

- Interferencia admisible para el agujero máxima - H7/m6
- Tolerancia admisible en el rasgo de la chaveta para agujero máximo – JS9
- d1máx, d2máx considerado para chaveta conforme a la Norma DIN 6885/1

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

El freno estará colocado en el eje de alta, donde el par torsor es de $T = 6175,22 \text{ Nm}$

Por lo que será capaz de frenar el eje en caso de parada de emergencia.

Materiales:

Elemento 10: Elemento elástico en goma


Elemento 11: Cubo en hierro fundido gris

Elemento 12: Capa en hierro fundido gris

Elemento 14: Cubo en hierro fundido gris

Elemento 18: Cubo en hierro fundido gris

Elemento 24: Disco de freno recto en acero

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

2.4.2 Cálculo de la vida de los rodamientos del sistema

Formulas ISO para el cálculo de rodamientos

Cálculo de la carga dinámica equivalente

$$P = XF_r + YF_t$$

Donde:

- P = Carga dinámica equivalente, en N
- F_r = Componente radial de la resultante, en N
- F_a = Componente axial de la resultante, en N
- X = Factor de carga radial del rodamiento
- Y = Factor de carga axial del rodamiento

Cálculo de la duración nominal

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^a$$


- L = Duración nominal en millones de revoluciones
- C = Capacidad de carga dinámica del rodamiento, en N
- P = Carga equivalente sobre el rodamiento, en N
- a = constante, que toma los valores de
 - 3 para rodamientos de bolas
 - 10/3 para rodamientos de rodillos

Vida del rodamiento en horas de servicio

$$L_h = \frac{10^6}{60 n} * L$$

L_h = vida nominal, en horas de servicio

n = velocidad de giro, en r.p.m.

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez
	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	ETSII Revisión 0
PFC - UPCT		

Eje de baja

El rodamiento seleccionado para soportar la carga tanto radial como axial es un rodamiento de rodillos cónicos de una hilera emparejados cara a cara con designación 332298 A/HA5 del catálogo de SKF

Sus capacidades de carga son

Capacidad de carga dinámica	Capacidad de carga estática	Carga límite de fatiga	Velocidad de referencia	Velocidad límite	Masa
C	C ₀	P ₀			
kN		kN	rpm		kg
6050	11800	880	500	900	54,0

$$P = XF_r + YF_t$$

Para el rodamiento seleccionado los valores de cálculo son

$$e = 0,6$$

$$Y_1 = 1,15$$

$$Y_2 = 1,7$$


$$Y_0 = 1,1$$

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{105000}{172183} = 0,6098 > e$$

Por lo que la fórmula para el cálculo según SKF es

$$P = 0,67F_r + Y_2F_a$$

$$P = 0,67 * 172183 + 1,7 * 105000 = 293862,6 \text{ N}$$

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez
	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	ETSII Revisión 0

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^a$$

$$L = \left(\frac{6050000}{293862,6}\right)^{\left(\frac{10}{3}\right)} = 23916,82 \text{ Mrev}$$

$$L_h = \frac{10^6}{60 n} * L$$

$$L_h = \frac{10^6}{60 * 17,9} * 23916,82 = 22268919,9 \text{ horas} \approx 2542,1 \text{ años}$$

Segundo rodamiento del eje de baja


El rodamiento seleccionado para soportar la carga radial que se produce en el segundo apoyo del eje de baja es un rodamiento de rodillos cilíndricos de una hilera, con designación UN 1072MA del catálogo de SKF

Sus capacidades de carga son

Capacidades de carga		Carga	Velocidades		Masa
dinámica	estática	límite de fatiga	Velocidad de referencia	Velocidad límite	
C	C ₀	P ₀	rpm		kg
1100	1830	163	1300	1600	67,5

Al ser un esfuerzo puramente radial, la carga dinámica equivalente coincide con la calculada para este apoyo,

$$F_r = 22131,4 \text{ N} = P$$

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez
	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	ETSII Revisión 0
PFC - UPCT		

Para calcular la vida del rodamiento

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^a$$

$$L = \left(\frac{1100000}{22132}\right)^{10/3} = 451412,3 \text{ Mrev}$$

$$L_h = \frac{10^6}{60 n} * L$$

$$L_h = \frac{10^6}{60 * 17,9} * 451412,3 = 420309426,9 \text{ horas} \approx 47980 \text{ años}$$


Eje intermedio

Para el cálculo de la vida del rodamiento se le ha aplicado una carga sobredimensionada de 3KN como peso del eje y una carga axial de 3KN como un valor de comprobación de resistencia a carga axial por posibles desplazamientos del eje de alta en dicha dirección.

El rodamiento seleccionado para soportar la carga radial y axial en el eje intermedio es un rodamiento de rodillos cónicos de una hilera, con designación T4 DB 200 del catálogo de SKF

Sus capacidades de carga son

Capacidades de carga		Carga límite de fatiga P_c	Velocidades		Masa
dinámica	estática		Velocidad de referencia	Velocidad límite	
C	C_0				
kN		kN	rpm		kg
330	600	57	1600	2400	5,45

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Revisión 0

$$P = XF_r + YF_t$$

Para el rodamiento seleccionado los valores de cálculo son

$$e = 0,48$$

$$X = 0,4$$

$$Y = 1,25$$

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{3000}{3000} = 1 > e$$

Por lo que la fórmula para el cálculo según SKF es

$$P = 0,4F_r + 1,25F_a$$


$$P = 0,4 * 3000 + 1,25 * 3000 = 4950 \text{ N}$$

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^a$$

$$L = \left(\frac{330000}{4950}\right)^{\left(\frac{10}{3}\right)} = 1,2 * 10^6 \text{ Mrev}$$

$$L_h = \frac{10^6}{60 n} * L$$

$$L_h = \frac{10^6}{60 * 125} * 1,2 * 10^6 = 160000000 \text{ horas} \approx 438356 \text{ años}$$

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez
	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	ETSII Revisión 0
PFC - UPCT		

Eje de Alta

El rodamiento seleccionado para soportar las carga radial que se produce en los dos apoyos del eje de alta son dos rodamiento de rodillos cilíndricos de una hilera con diseño NU, con designación UN 1020 M del catálogo de SKF

Sus capacidades de carga son

Capacidades de carga		Carga	Velocidades		Masa
dinámica	estática	límite de fatiga	Velocidad de referencia	Velocidad límite	
C	C ₀	P ₀			
kN		kN	rpm		kg
85,8	114	13,7	5000	5000	1,45

Al ser un esfuerzo puramente radial, la carga dinámica equivalente coincide con la calculada para este apoyo,

$$F_r = 302,5 \text{ N} = P$$


Para calcular la vida del rodamiento

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^a$$

$$L = \left(\frac{85800}{302,5}\right)^{10/3} = 149924645,1 \text{ Mrev}$$

$$L_h = \frac{10^6}{60 n} * L$$

$$L_h = \frac{10^6}{60 * 1500} * 149924645 = 1665829389 \text{ horas} \approx 190163,1 \text{ años}$$

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez
	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	ETSII Revisión 0
PFC - UPCT		

Satélite de la primera etapa epicicloidal

Las fuerzas radiales que tendrán que soportar la pareja de rodamientos, corresponden a las fuerzas tangenciales que actúan sobre la barra, de valor $F_t = 977070 \text{ N}$ que será repartido entre los dos rodamientos a partes iguales, por lo que la F_r que actúa sobre cada rodamiento es de 488535 N

Los rodamientos seleccionados para soportar la carga radial que se produce en la barra del brazo portasatélites de la 1ª etapa epicicloidal son dos rodamiento de rodillos cilíndricos de una hilera, con designación UN 2360 ECMA del catálogo de SKF

Capacidades de carga		Carga	Velocidades		Masa
dinámica	estática	límite	Velocidad	Velocidad	
C	C_0	de fatiga	de referencia	límite	
kN		kN	rpm		kg
4020	5850	480	950	1600	270

$$F_r = 488535 \text{ N} = P$$


Para calcular la vida del rodamiento

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^a$$

$$L = \left(\frac{4020000}{488535}\right)^{10/3} = 1124,8 \text{ Mrev}$$

$$L_h = \frac{10^6}{60 n} * L$$

$$L_h = \frac{10^6}{60 * 50} * 1124,8 = 374933,3 \text{ horas} \approx 42,8 \text{ años}$$

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez
	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	ETSII Revisión 0
PFC - UPCT		

Satélite de la segunda etapa epicicloidal

La fuerza radial que tendrá que soportar el rodamiento, corresponde a las fuerzas tangenciales que actúan sobre la barra, de valor $F_t = 168068 \text{ N}$ que estará soportado como fuerza radial F_r .

Los rodamientos seleccionados para soportar la carga radial que se produce en la barra del brazo portasatélites de la 2ª etapa epicicloidal son dos rodamiento de rodillos cilíndricos de una hilera, con designación UN 2340 ECMA del catálogo de SKF

Sus capacidades de carga son

Capacidades de carga		Carga	Velocidades		Masa
dinámica	estática	límite de fatiga	Velocidad de referencia	Velocidad límite	
C	C_0	P_0			
kN		kN	rpm		kg
1980	2800	255	1400	2400	96,5

$$F_r = 168068 \text{ N} = P$$

Para calcular la vida del rodamiento

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^a$$

$$L = \left(\frac{1980000}{168068}\right)^{10/3} = 3720,49 \text{ Mrev}$$

$$L_h = \frac{10^6}{60 n} * L$$


$$L_h = \frac{10^6}{60 * 300} * 3720,49 = 206693,88 \text{ horas} \approx 23,6 \text{ años}$$

DOCUMENTO N° 4

PLIEGO DE CONDICIONES

Titulación: Ingeniería Técnica Industrial
Intensificación: Mecánica
Alumno/a: Ruimán Burrueco Martínez
Director/a/s: Miguel Lucas Rodríguez

Cartagena, 28 de Octubre de 2010

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	PLIEGO DE CONDICIONES	Revisión 0

4.1. CONDICIONES TÉCNICAS

4.1.1 DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DE REFERENCIA.

El Contratista deberá atenerse en la ejecución de los trabajos a las condiciones especificadas en los capítulos de este Pliego de Condiciones, respecto a las condiciones que deben reunir los materiales, forma de ejecución de las obras e instalaciones, normativa de ensayos a que deberán someterse las obras realizadas y condiciones de recepción de las mismas, a no ser que existan especificaciones o mayores concreciones en el Proyecto.

En aquellos puntos no señalados explícitamente, deberá atenerse a las condiciones especificadas en los textos oficiales que se indican a continuación:

a) Generales

-Reglamento de Seguridad e Higiene en el trabajo en la Industria de la Metalurgia.

b) Construcción

- Normas UNE

c) Instalaciones

- Reglamento de actividades molestas, insalubres, nocivas y peligrosas.

- Normas de Seguridad para elementos de transmisión mecánica (ANSI/ASSME B15.1-1996).

- Normas armonizadas con la directiva de máquinas 89/392/CEE.

4.1.2. CONDICIONES QUE DEBERÁN SATISFACER LOS MATERIALES

Todos los materiales deberán reunir las condiciones que para cada uno de ellos se especifican en los artículos siguientes, desechándose los que a juicio de la Dirección Facultativa no las reúnan, sin que ello pueda dar lugar a reclamación alguna por parte del Contratista.

4.1.2.1. Tornillería.


La tornillería empleada para la fijación de los soportes, bridas de unión entre elementos, así como tuercas y cualquier tipo de chavetas, serán de acero con recubrimiento superficial según normas y cálculos.

4.1.2.2. Tratamiento de las piezas

Los componentes del sistema que requieren de un tratamiento superficial serán el eje de baja, el eje de alta freno, el eje intermedio para adquirir las propiedades necesarias para la resistencia de los esfuerzos, tratamiento de templado y revenido. Para el tratamiento, se seguirá la norma UNE correspondiente.

4.1.2.3. Soportes

Es imprescindible que la superficie de contacto entre la bancada y la base de los soportes, esté perfectamente mecanizada, para evitar desalineaciones de los componentes que forman la instalación.

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	PLIEGO DE CONDICIONES	Revisión 0

4.1.2.3. Ejes

Los ejes recibirán un pulido superficial para la mejora del acabado previo al tratamiento térmico del templado y revenido

4.1.2.4. Rodamientos

Los rodamientos a colocar son los especificados en el presente proyecto, cualquier variación en estos no garantiza la integridad de la máquina, por lo que el contratista deberá de realizar los cálculos correspondientes y colocarlos previa revisión de ellos por la Dirección Facultativa. La fijación de los rodamientos que lo necesiten se realizara mediante anillo contractor en el extremo del eje, el que recibirá una mecanización normalizada para su colocación según la normativa estipulada.

4.1.3. RECONOCIMIENTO DE MATERIALES

Todos los materiales serán reconocidos por la Dirección Facultativa, o persona delegada por ella, antes de su empleo en taller, sin cuya aprobación no podrá procederse a su colocación, siendo retirados del taller los que sean desechados.

Este reconocimiento previo no constituye la aprobación definitiva, y la Dirección Facultativa podrá hacer quitar, aún después de colocados en taller, aquellos materiales que presenten defectos no percibidos en dicho primer reconocimiento. Los gastos que se originen en este caso serán cuenta del Contratista.

4.1.4. MUESTRAS DE MATERIALES

De cada clase de material presentará el Contratista oportunamente, muestras a la Dirección Facultativa para su aprobación, las cuales se conservarán para comprobar en su día los materiales que se empleen.

4.1.5. MATERIALES NO ESPECIFICADOS

Los materiales que no se hubiesen consignado en este pliego, y fuese menester emplear reunirán todas las condiciones de bondad necesarias a juicio de la Dirección Facultativa de la construcción del banco de ensayos.

4.1.6. CONDICIONES GENERALES DE EJECUCIÓN DE LA CONSTRUCCION DE LA MAQUINA


Queda entendido de una manera general, que las obras se ejecutarán de acuerdo con las normas de la buena construcción libremente apreciadas por la Dirección Facultativa. A continuación se indican de forma exhaustiva las condiciones de ejecución de la construcción.

4.1.6.1. Montaje

Las especificaciones de montaje del sistema, de todas las uniones roscadas, fijación de rodamientos, etc...se realizarán siguiendo las condiciones estándar (tablas de pares de apriete de montaje en función de la métrica y de la calidad del tornillo).

Otras especificaciones serán las detalladas:

- El montaje de los engranajes se realizará con valores correspondientes a calidad 10

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	PLIEGO DE CONDICIONES	Revisión 0

- La lubricación inicial así como el ajuste correcto en la presión del fluido de freno quedan a cargo del contratista, así como las labores de mantenimiento preventivo durante un periodo de garantía estimado de 2 años, excepto bajo causa mayor por mal uso (Uso fuera de las condiciones iniciales establecidas) o evidente intención de rotura por parte de la propiedad.

4.1.6.2 Mantenimiento:

El mantenimiento preventivo transcurrido el periodo de garantía, así como el mantenimiento correctivo de las instalaciones queda a cargo de la propiedad o de una empresa subcontratada por esta para tal fin.

- El cambio de aceite de la multiplicadora se realizará cada 18 meses, siendo el primero de ellos realizado por la empresa estipulada por el Contratista y/o la Dirección Facultativa, condición indispensable para el mantenimiento de la garantía durante los 6 meses restantes.

4.1.7. MATERIALES NO ESPECIFICADOS

El suministro de otras instalaciones técnicas, se regirá por los correspondientes Pliego de Condiciones generales Técnicas.

4.1.8. TRABAJOS NO PREVISTOS

La Dirección facultativa está facultada para modificar cualquier clase de elemento durante la ejecución de la misma, verificando el aumento o disminución de los precios.


4.1.9. CONDICIONES GENERALES DE MEDICION Y VALORACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN

Todos los precios unitarios a que se refiere las normas de medición y valoración de las obras contenidas en el documento nº 4 Presupuesto se entenderá que incluyen siempre el suministro, manipulación y empleo de todos los materiales necesarios para la ejecución de las unidades de obra correspondientes, a menos que explícitamente se excluyan algunos de ellos. Asimismo se entenderá que todos los precios unitarios comprenden los gastos de maquinaria, mano de obra, elementos, accesorios, transportes, herramientas, gastos generales y toda clase de operaciones, directas o incidentales, necesarias para dejar las unidades de obra terminadas con arreglo a las condiciones especificadas en los artículos de este Pliego de Condiciones.

También queda incluido en el precio la parte proporcional para la realización de ensayos acreditativos de las calidades previstas.

Si existiera alguna excepción a esta norma general deberá estar explícitamente indicada en el Contrato de Adjudicación.

La descripción de las operaciones y materiales necesarios para ejecutar las unidades de obra que figuran en el Pliego de Condiciones del Proyecto no es exhaustiva. Por lo tanto cualquier operación o material no descrito o relacionado, pero necesario, para ejecutar una unidad de obra, se considera siempre incluido en los precios, previa aprobación de la D.F. (Dirección Facultativa).

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	PLIEGO DE CONDICIONES	Revisión 0

Asimismo, las descripciones que en algunas unidades de obra aparezcan de los materiales y operaciones que se incluyen en el precio, es puramente enunciativa y complementaria para la mejor comprensión del concepto que representa la unidad de obra.

4.1.10. ENSAYOS Y PRUEBAS

Para el debido control de la calidad de la obra y de sus materiales se deberán realizar los ensayos y pruebas indicados en las correspondientes Especificaciones Técnicas; asimismo la D. F. Podrá solicitar un certificado de calidad de los materiales entregados en la construcción por el Contratista.

La D. F. tendrá la opción de designar al laboratorio empresa especializada en los distintos ensayos que el Contratista podrá aceptar, o en caso contrario, justificar su rechazo y proponer un nuevo laboratorio o empresa especializada.

El monto total de estos ensayos será por cuenta del Contratista. En caso de precisar por la D.F., ensayos suplementarios a los arriba señalados, se efectuarán por el correspondiente laboratorio o empresa especializada, corriendo a cargo del Contratista si su resultado estuviera fuera de normas y a cargo de la Propiedad en caso contrario.

La aceptación de una certificación de obra estará condicionada a la recepción del correspondiente informe del laboratorio o empresa especializada.

4.1.12. OBRAS OCULTAS

De todos los trabajos y unidades de la obra que hayan de quedar ocultos a la terminación de la obra, se levantarán los planos precisos e indispensables para que queden perfectamente definidos; estos documentos se extenderán por triplicado, distribuyéndose: uno para la Propiedad; otro a la D. F., quedando el tercer para el Contratista, siendo firmados todos ellos por estos dos últimos. Dichos planos, que deberán ir suficientemente acotados, se considerarán documentos indispensables e irrecusables para efectuar las mediciones y para dar como entregada la máquina.

4.1.13. POLICÍA DE TALLER

Será de cargo y cuenta del Contratista la conservación de la vigilancia del taller.

El Contratista cuidará de que los elementos de la máquina no sean utilizados para otros fines y se mantengan en completa limpieza.


4.1.14. PROTECCIÓN CONTRA LAS AGUAS

El Contratista deberá tomar las precauciones que se impongan para proteger los componentes de la máquina contra la invasión de aguas naturales o residuales. Se deberán almacenar estos componentes en lugar seco y cubierto para tal fin.

4.1.15. MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS

Las máquinas y demás útiles que sea necesario emplear para la ejecución de las obras reunirán las mejores condiciones para su funcionamiento, y serán a cargo del Contratista . La D. F. puede ordenar la retirada de las obras de aquellos elementos que no ofrezcan completa confianza, El Contratista reseñará el tipo y características de la maquinaria de que dispone.

4.1.16. SEÑALIZACIÓN Y PRECAUCIONES

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	PLIEGO DE CONDICIONES	Revisión 0

Durante la ejecución de los trabajos, el Contratista colocará señalización o vallas para advertir del peligro de la maquinaria y manipulación, durante la construcción de la máquina. Queda prohibida la fijación de anuncios en las vallas o cercas de precaución que instale el Contratista con motivo de la ejecución de las obras objeto de esta Contrata. No se considerará anuncio, el nombre o anagrama de la empresa Contratista, que obligatoriamente debe figurar en las vallas.

4.1.17. CIMBRAS Y MEDIOS AUXILIARES DE LA CONSTRUCCIÓN

Será obligación del Contratista admitir por su cuenta tener disponibles para ser empleadas en las obras las reglas, cuerdas, maquinaria de manipulación y demás medios auxiliares de construcción, los cuales serán por él retirados en cuanto dejen de ser necesarios.

4.1.18. PUESTA EN MARCHA DE LA MAQUINA

En el momento de la primera puesta en marcha de la máquina, estarán presentes La propiedad, la D.F.

4.1.19. INTERPRETACIÓN DE DOCUMENTOS Y PLANOS DE EJECUCION

La interpretación técnica del proyecto corresponderá a la D. F. El Contratista deberá ejecutar por su cuenta todos los dibujos y planos de detalle necesarios para facilitar y organizar la ejecución de los trabajos.

Dichos planos, acompañados con todas las justificaciones correspondientes, deberá someterlos a la aprobación de la D. F. de la construcción, a medida que sea necesario, pero en todo caso con 8 días de antelación a la fecha en que piense ejecutar los trabajos a que dichos diseños se refieran.

La D. F. de la obra dispondrá de un plazo de cinco días a partir de la recepción de dichos planos para examinarlos y devolverlos al Contratista debidamente aprobados o acompañados, si hubiera lugar a ello, de sus observaciones.

El Contratista será responsable de los retrasos que se produzcan en la ejecución de los trabajos como consecuencia de una entrega tardía de dichos planos, así como de las correcciones y complementos de estudio necesarios para su puesta a punto.


4.1.20. PROCEDENCIA Y CLASIFICACION DE LOS MATERIALES

El Contratista especificará, cuando así lo demande la D. F., la procedencia de los diversos materiales que intervendrán en la ejecución de la máquina. Hará constar asimismo cuantos métodos constructivos crea oportuno especificar, con el fin de que se pueda tener idea clara sobre la conveniencia de su empleo.

4.1.23. FABRICACIÓN DE LAS PIEZAS

La fabricación de las distintas piezas se hará de acuerdo al plano suministrado para tal fin. Todas las exigencias de mecanizado, tratamientos superficiales, características del material, etc, se encuentran en el plano correspondiente.

Los mecanizados se harán siguiendo las siguientes especificaciones del Pliego de condiciones

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	PLIEGO DE CONDICIONES	Revisión 0

Eje de baja y eje de alta: Los eje de baja y de alta se hará mediante torneado siguiendo las especificaciones expuestas en los documentos de que consta este proyecto.

Brazos Portasatélites: Los brazos portasatélites se realizarán mediante fundición con un pulido posterior para la mejora del acabado superficial, se evitarán impurezas que puedan poner en peligro la integridad del elemento

Engranajes: Los engranajes serán mecanizados mediante fresado con la máxima precisión posible mediante control numérico computerizado, realizando el programa un técnico cualificado y quedando los cargos debidos a errores de fabricación a cargo de la empresa que los realice.

Los rodamientos de los ejes estarán anclados al soporte mediante atornillado estipulado por el catálogo de las cajas correspondientes

Los rodamientos anclados para facilitar el movimiento de los satélites serán fijados por anillo contractor al eje, el mecanizado de la ranura se hará de forma artesanal sin poner en peligro la integridad del elemento

Los chaveteros de los ejes intermedio y de alta se realizarán mediante fresado vertical

Para todos los trabajos expuestos se requerirá personal cualificado y con experiencia de al menos 5 años, excepto peones y ayudantes.

4.2 CONDICIONES GENERALES


Al aceptar el pedido, el Proveedor garantiza el cumplimiento de todas las Normas e Instrucciones, incluyendo los tiempos requeridos, aunque un Subcontratista haya sido el encargado de ejecutar parte del contrato o en su totalidad. Las desviaciones serán aceptadas sólo cuando sean discutidas y confirmadas por escrito antes del comienzo de la fabricación del equipo, con el departamento correspondiente de la propiedad.

Las ofertas serán aceptadas sólo si cumplen con todos los puntos de todas las especificaciones y anexos.

Si existiese alguna variación de las especificaciones requeridas, éstas han de ser mencionada claramente y presupuestadas por separado de tal manera que una exacta comparación de costes sea posible.

Las necesarias reuniones para discutir detalles técnicos que hayan de tener lugar, serán mantenidas en presencia de un representante del Contratista Principal.

Todos los detalles deben ser discutidos con el departamento de Ingeniería responsable antes de presentar la oferta.

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	PLIEGO DE CONDICIONES	Revisión 0

Si alguna alteración fuera necesaria después del que el pedido haya sido ordenado, que signifique un incremento del costo para la empresa, dicha alteración debe ser notificada por escrito. El departamento Ingeniería responsable, pedirá entonces al departamento de Compras la obtención de un presupuesto adicional para revisar y colocar la orden.

Cualquier desviación de las "Normas de fabricación para Equipos Industriales" será aceptada solo si ha sido discutida con antelación con el ingeniero responsable y haya sido documentada por escrito.

Todas las ofertas y correspondencias, incluso las descripciones técnicas, han de ser escritas en inglés o castellano.

Los manuales y las instrucciones de mantenimiento han de ser escritos en castellano.

Antes de empezar la fabricación, todos los datos técnicos, así como diagramas, planos, gráficos de instalaciones, etc., tienen que ser sometidos a la aprobación del departamento responsable de la empresa.

Estos datos han de estar en poder de la oficina de expertos correspondientes, por lo menos, 7 días antes de su discusión.

El Vendedor debe de confirmar que garantiza la asistencia técnica en un plazo de 24 horas en caso de avería del equipo.


El programa completo de construcción, montaje y puesta en marcha debe ser establecido conjuntamente con el departamento responsable de la propiedad.

El proveedor es responsable del seguimiento del programa establecido.

El proveedor es responsable de llegar a un acuerdo con los subcontratistas que participan en el proyecto para facilitar su ejecución.

El proveedor tiene que nombrar un ingeniero cualificado que tiene que permanecer en el lugar durante el periodo de construcción y montaje. Este ingeniero tiene que conocer perfectamente el control del equipo.

Al ingeniero de la propiedad, responsable del proyecto, se le permitirá visitar los locales del proveedor en cualquier momento durante las horas de trabajo para asegurar el progreso de la construcción del equipo.

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	PLIEGO DE CONDICIONES	Revisión 0

4.3 ALCANCE

Se incluirá el suministro de toda la mano de obra, materiales, equipos, andamiaje, accesorios y cualquier otro servicio que aunque no se mencione explícitamente, sea necesario para la fabricación, suministro, instalación y puesta a punto de las obras tal y como se describen en las especificaciones y planos.

Se incluirá también el transporte y los trabajos necesarios para la entrega, descarga, manipulación y colocación final de todos los materiales involucrados en el proyecto.

Estará además incluido los trabajos de limpieza de residuos y chatarra de su responsabilidad, acumulados en su área de trabajo o en obras. La limpieza del área afectada se efectuará diariamente.

La instalación se suministrará con todos los equipamientos para los servicios rutinarios y de mantenimiento.

Inclusive, se añadirán las pruebas necesarias hasta la puesta en funcionamiento de la obra. El contratista se hará cargo de la obra hasta que sea aceptada por la propiedad.


4.4 PROGRAMA DE TRABAJO

Se concretará el programa de trabajo una vez adjudicada la obra y en función de las necesidades de producción. Los tiempos de ejecución se ajustarán en un calendario de trabajo que suministrará la propiedad, no permitiéndose desviaciones en el seguimiento del programa de trabajo mencionado.

Se considerará que los trabajos de instalación y conexión a las máquinas o equipos, deberán hacerse en horas o fechas de producción o no producción cuando el trabajo y las necesidades así lo requieran.

Además se deben indicar en la oferta los tiempos mínimos en que pueden ejecutarse los trabajos a partir de la orden de pedido.

Todo lo que respecta a presupuestos del nuevo sistema de visión está colocado en el apartado correspondiente del proyecto.

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	PLIEGO DE CONDICIONES	Revisión 0

4.5 MATERIALES

Todos los materiales, trabajos y equipos utilizados, se adaptarán estrictamente a las normas y especificaciones detalladas. Las desviaciones que sean necesarias se someterán a la aprobación escrita de la Ingeniería de la propiedad.

Todos los materiales y equipos empleados serán nuevos de primera calidad.

La oferta será aprobada entre los subcontratistas y suministradores que consten como tales para la propiedad.

4.6 PROTECCIÓN DEL TRABAJO, DEFECTOS Y RECHAZOS

El contratista deberá revisar convenientemente los trabajos y materiales para que estos no sean dañados por el tiempo, tráfico o cualquier otra causa. Cualquier trabajo o material que sufra daños será repuesto en buenas condiciones por el contratista y los costos serán a su cargo.

El Contratista será responsable de los errores y los defectos que se realicen fuera de las especificaciones. Estos serán subsanados a satisfacción de Ingeniería de Planta, con costos a cargo del Contratista. Ingeniería de Planta podrá rechazar los trabajos o materiales que no cumplan los requerimientos y especificaciones que se acompañan.


4.7 PLANOS

La interpretación técnica del proyecto corresponderá a la D. F. El Contratista deberá ejecutar por su cuenta todos los dibujos y planos de detalle necesarios para facilitar y organizar la ejecución de los trabajos.

Dichos planos, acompañados con todas las justificaciones correspondientes, deberá someterlos a la aprobación de la D. F. de la construcción, a medida que sea necesario, pero en todo caso con 8 días de antelación a la fecha en que piense ejecutar los trabajos a que dichos diseños se refieran.

La D. F. de la obra dispondrá de un plazo de cinco días a partir de la recepción de dichos planos para examinarlos y devolverlos al Contratista debidamente aprobados o acompañados, si hubiera lugar a ello, de sus observaciones.

El Contratista será responsable de los retrasos que se produzcan en la ejecución de los trabajos como consecuencia de una entrega tardía de dichos planos, así como de las correcciones y complementos de estudio necesarios para su puesta a punto.

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	PLIEGO DE CONDICIONES	Revisión 0

Se acompañan a este proyecto, planos que indican las dimensiones, situación y extensión de la obra. Estos planos servirán para preparar los costes de la oferta.

Estos planos no indican posiciones exactas de tuberías, cables, conexiones, válvulas, etc.

Es responsabilidad del Contratista asegurar que estas posiciones sean instaladas de acuerdo con las instrucciones de Ingeniería de Planta dentro de las normas y prácticas en uso.

4.8 CONTROL DE LOS TRABAJOS

El proveedor deberá conocer las disposiciones generales de todos los servicios de la planta los asegurará cuando realice sus trabajos. No obstruirá estos servicios ni el mantenimiento de los mismos por el personal de la propiedad o cualquier otro contratista. Se tomarán las precauciones necesarias para asegurar que sus trabajos no impidan el progreso de otros, implicados o no en esta obra.

El contratista mantendrá durante el período del contrato a una persona responsable y representativa, capaz de llevar a cabo los trabajos y el progreso general de los mismos, como supervisor en planta. Esta persona, además será responsable de la coordinación con otros contratistas y subcontratistas, añadiendo notificaciones a la propiedad de las dificultades, variaciones, cambios, etc., y de las notificaciones escritas a Ingeniería de la propiedad, de estar preparadas para las pruebas preliminares, las instalaciones y equipos de contrato, de la corrección de los defectos que surjan durante las pruebas, de la confección de informes exponiendo el resultado de las pruebas realizadas, así como de cualquier información relevante o dificultades en el transcurso de la obra.


4.9 SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO

Cualquier trabajo con esta obra está sujeto a los procedimientos de Seguridad e Higiene de la compañía. Es responsabilidad del contratista asegurarse de que todos sus empleados respeten estos requerimientos en todo momento.

El representante del proveedor responsable, se reunirá en el lugar de la obra con el Ingeniero de la propiedad, para revisar y tomar las precauciones necesarias en orden a la seguridad del trabajo.

a) Normas armonizadas europeas

- EN 292-2. Conceptos básicos, principios generales para el diseño.
- EN 1050. Evaluación de riesgos.
- EN 292-1. Conceptos básicos, principios generales para el diseño.
- EN 60204-1. Equipo eléctrico de las máquinas.
- EN 418. Equipo de parada de emergencia, aspectos funcionales.

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	PLIEGO DE CONDICIONES	Revisión 0

- EN 954. Partes de los sistemas de mando relacionados con la seguridad.
- EN 1037. Prevención de una puesta en marcha intempestiva.
- EN 1088. Selección de dispositivos de enclavamiento asociados a resguardos.
- EN 294. Distancias de seguridad para impedir que se alcancen zonas peligrosas con los miembros superiores.
- EN 811. Distancias de seguridad para impedir que se alcancen zonas peligrosas con los miembros inferiores.
- EN 349. Distancias mínimas para evitar el aplastamiento de partes del cuerpo humano.
- EN 953. Principios generales para el diseño y construcción de resguardos tanto fijos como móviles.
- EN 457. Señales audibles de peligro.
- EN 982. Requisitos de Seguridad para las transmisiones hidráulicas.
- EN 983. Requisitos de Seguridad para las transmisiones neumáticas.

b) Índice de legislación sobre seguridad en máquinas

- R.D. 1435/1992 del 24/11/1992. Sobre la transposición de la directiva de "Máquinas".
- R.D. 56/1995 del 20/01/95. Modificación y ampliación de la anterior. a.
- Ley 31/1995 del 8 de Noviembre de Prevención de Riesgos Laborales (BOE Nº 269 del 10 de Noviembre de 1995).

c) Legislación a nivel europeo

Máquinas:

- Directiva 89/392/CEE.
- Directiva 91/368/CEE.
- Directiva 93/44/CEE.
- Directiva 93/68/CEE.
- Directiva 98/37/CEE. Texto refundido de las directivas sobre "máquinas".


Para realizar pruebas de puesta en marcha el Contratista deberá:

- Colocar todos los elementos de señalización según normativa.
- Realizarse por un técnico cualificado que dictamine la D. F.

4.10 CONDICIONES DEL CONTRATO

La aprobación de la obra por parte del proveedor, así como la realización del proyecto está sujeto a las condiciones expuestas en los documentos de la propiedad "denominados Condiciones Generales de la propiedad" y " Condiciones y Términos de los Pedidos".

El Contratista deberá realizar todos los sus trabajos de acuerdo con los requerimientos y regulaciones nacionales en vigor, así como los estándares de la propiedad y requerimientos de la propiedad.

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	PLIEGO DE CONDICIONES	Revisión 0

El proveedor contratista garantizará la instalación por un período de veinticuatro meses, a partir de la terminación y aprobación final del trabajo, contra todo tipo de defecto de materiales o de instalación a criterio del Ingeniero de la propiedad responsable del trabajo. Los defectos detectados durante el montaje serán rectificadas de forma inmediata.


La garantía podrá ampliarse por plazo de un año previo pago por revisión inicial de la instalación y conformidad de la empresa contratada para dicho fin por la Dirección Facultativa.

DOCUMENTO N° 5

PRESUPUESTO

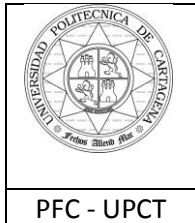
Titulación: Ingeniería Técnica Industrial
Intensificación: Mecánica
Alumno/a: Ruimán Burrueco Martínez
Director/a/s: Miguel Lucas Rodríguez

Cartagena, 28 de Octubre de 2010

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez
	PFC - UPCT	PRESUPUESTO

5.1 Estado de mediciones

DEFINICION	CANTIDAD	UNIDADES
MATERIALES		
Eje de Baja - Tocho (380x2200) AISI 4340	2415	Kg
Eje de Alta – Tocho (100x560) AISI 5140	34,5	Kg
-Portasatelites 1ª Etapa -Carcasa • ASTM 897-90 Grado 2	6751	Kg
Portasatélites 2ª Etapa - ASTM 897-90 Grado 4	146	Kg
Corona 1 (2100-1710x500) Sol 1 (315x500) Sat 1 (745x500) Corona 2 (2050-1630x140) Sol 2 (165x140) Sat 2 (765x140) • Acero AISI 5160	8600	Kg
ELEMENTOS NORMALIZADOS		
RODAMIENTOS		
Rodamiento SKF 332298 A/HAS	1	Unid.
Rodamiento SKF NU 1072 MA	1	Unid.
Rodamiento SKF UN 1020 M	1	Unid.
Rodamiento SKF NU 2360 ECMA	6	Unid.
Rodamiento SKF NU2340 ECMA	3	Unid.
Rodamiento SKF T4DB 200	1	Unid.
SOPORTE RODAMIENTOS		
Soporte de rodamientos SKF SNL 3076	1	Unid.
Soporte de rodamientos SKF SDG	1	Unid.
Soporte de rodamientos SKF THD	1	Unid.
ANILLOS CONTRACTORES		
Anillo Contractor DSH 360 SS-S	2	Unid.
Anillo Contractor DSH 300 SS-S	3	Unid.
Anillo Contractor DSH 200 SS-S	4	Unid.
Anillo Contractor DSH 100 SS-S	1	Unid.
OBTURADORES RADIALES		
Obturador Radial SKF CR360x400x17	1	Unid.
Obturador Radial SKF CR100x150x12 HMS 55 R6	1	Unid.
CHAVETAS		
Chaveta (45x25x300) DIN 6885/1	1	Unid.
Chaveta (28x16x100) DIN 6885/1	2	Unid.



**DISEÑO DEL CONJUNTO EJE –
ACOPLAMIENTO – REDUCTORA
EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR
EÓLICO.**

Autor:
Ruimán Burrueco Martínez


ETSII

PFC - UPCT

PRESUPUESTO


Revisión 0

TORNILLOS		
Tornillo M42 DIN 931 Métrica 12.9 L209	10	Unid.
Tornillo M42 DIN 931 Métrica 12.9 L279	10	Unid.
ACOPLAMIENTOS		
Acoplamiento ETP HYCON-F 360	1	Unid.
Acoplamiento ETP HYCON-S360	1	Unid.
Acoplamiento con freno GETB-295	1	Unid.
JUNTA		
Junta Klinguerit para carcasa	2	Unid.
MECANIZADO Y TRATAMIENTOS TERMICOS		
EJE DE BAJA		
Torneado	5	h
Rectificado	2	h
EJE DE ALTA		
Torneado	2	h
Rectificado	2	h
MULTIPLICADORA		
Fundición Brazo Portasatélites 1ª Etapa	1800	Kg
Repasado en torno	2	h
Acabado con terraja	4	h
Fundición Brazo Portasatélites 2ª Etapa	150	Kg
Repasado en torno	3	h
Acabado con terraja	4	h
Fundición Carcasa (3 piezas)	4900	Kg
Fresado de engranajes	44	h
Cementado de los dientes	8	h


	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez
	PFC - UPCT	PRESUPUESTO

5.2 TABLA DE PRECIOS UNITARIOS

UNIDADES	DEFINICION	PRECIO UNITARIO
MATERIALES		
Kg	Eje de Baja - Tocho (380x2200) AISI 4340	0,7 €/Kg
Kg	Eje de Alta – Tocho (100x560) AISI 5140	0,72€/Kg
Kg	-Portasatelites 1ª Etapa -Carcasa • ASTM 897-90 Grado 2	0,58 €/Kg
Kg	Portasatelites 2ª Etapa - ASTM 897-90 Grado 4	0,63€/Kg
Kg	Corona 1 (2100-1710x500) Sol 1 (315x500) Sat 1 (745x500) Corona 2 (2050-1630x140) Sol 2 (165x140) Sat 2 (765x140) • Acero AISI 5160	0,77€/Kg
ELEMENTOS NORMALIZADOS		
RODAMIENTOS		
Unid.	Rodamiento SKF 332298 A/HAS	880€
Unid.	Rodamiento SKF NU 1072 MA	280€
Unid.	Rodamiento SKF UN 1020 M	45€
Unid.	Rodamiento SKF NU 2360 ECMA	130€
Unid.	Rodamiento SKF NU2340 ECMA	126€
Unid.	Rodamiento SKF T4DB 200	230€
SOPORTES DE RODAMIENTOS		
Unid.	Soporte de rodamientos SKF SNL 3076	1300€
Unid.	Soporte de rodamientos SKF SDG	1100€
Unid.	Soporte de rodamientos SKF THD	375€
ANILLOS CONTRACTORES		
Unid.	Anillo Contractor DSH 360 SS-S	24


	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez
	PFC - UPCT	PRESUPUESTO

Unid.	Anillo Contractor DSH 300 SS-S	24
Unid.	Anillo Contractor DSH 200 SS-S	18
Unid.	Anillo Contractor DSH 100 SS-S	11
	OBTURADORES RADIALES	
Unid.	Obturador Radial SKF CR360x400x17	47
Unid.	Obturador Radial SKF CR100x150x12 HMS 55 R6	28
	CHAVETAS	
Unid.	Chaveta (45x25x300) DIN 6885/1	5
Unid.	Chaveta (28x16x100) DIN 6885/1	4
	TORNILLOS	
Unid.	Tornillo M42 DIN 931 Métrica 12.9 L209	7,5
Unid.	Tornillo M42 DIN 931 Métrica 12.9 L279	9,55
	ACOPLAMIENTOS	
Unid.	Acoplamiento ETP HYCON-F 360	1790
Unid.	Acoplamiento ETP HYCON-S360	1600
Unid.	Acoplamiento con freno GETB-295	2850
	JUNTAS	
Unid.	Junta Klinguerit para carcasa	12
FABRICACIÓN, MECANIZADO Y TRATAMIENTOS TERMICOS		
	EJE DE BAJA	
h	Torneado	33€/h
h	Rectificado	33€/h
	EJE DE ALTA	
h	Torneado	33€/h
h	Rectificado	33€/h
	MULTIPLICADORA	
Kg	Fundición Brazo Portasatélites 1ª Etapa	
h	Repasado en torno	33€/h
h	Acabado con terraja	28€/h
Kg	Fundición Brazo Portasatélites 2ª Etapa	0,089€/Kg
h	Repasado en torno	33€/h
h	Acabado con terraja	28€/h
Kg	Fundición Carcasa (3 piezas)	0,089€/Kg
h	Fresado de engranajes	42€/h
h	Cementado de los dientes	80€/h


	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez
	PFC - UPCT	PRESUPUESTO

5.3 PRESUPUESTO GENERAL

UNIDADES	DEFINICION		PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
MATERIALES				
Kg	Eje de Baja - Tocho (380x2200) AISI 4340	2415	0,7 €/Kg	1692,4€
Kg	Eje de Alta – Tocho (100x560) AISI 5140	34,5	0,72€/Kg	25€
Kg	-Portasatelites 1ª Etapa -Carcasa • ASTM 897-90 Grado 2	6751	0,58 €/Kg	3915,6€
Kg	Portasatélites 2ª Etapa - ASTM 897-90 Grado 4	146	0,63€/Kg	92€
Kg	Corona 1 (2100-1710x500) Sol 1 (315x500) Sat 1 (745x500) Corona 2 (2050-1630x140) Sol 2 (165x140) Sat 2 (765x140) • Acero AISI 5160	8600	0,77€/Kg	6605€
TOTAL MATERIALES				12330€
ELEMENTOS NORMALIZADOS				
RODAMIENTOS				
Unid.	Rodamiento SKF 332298 A/HAS	1	880€	880€
Unid.	Rodamiento SKF NU 1072 MA	1	280€	280€
Unid.	Rodamiento SKF UN 1020 M	1	45€	45€
Unid.	Rodamiento SKF NU 2360 ECMA	6	130€	780€
Unid.	Rodamiento SKF NU2340 ECMA	3	126€	378€
Unid.	Rodamiento SKF T4DB 200	1	230€	230€
SOPORTES DE RODAMIENTOS				
Unid.	Soporte de rodamientos SKF SNL 3076	1	1300€	1300€
Unid.	Soporte de rodamientos SKF SDG	1	1100€	1100€
Unid.	Soporte de rodamientos SKF THD	1	375€	375€
ANILLOS CONTRACTORES				
Unid.	Anillo Contractor DSH 360 SS-S	2	24€	48€
Unid.	Anillo Contractor DSH 300 SS-S	3	24€	72€
Unid.	Anillo Contractor DSH 200 SS-S	4	18€	72€
Unid.	Anillo Contractor DSH 100 SS-S	1	11€	11€
OBTURADORES RADIALES				
Unid.	Obturador Radial SKF CR360x400x17	1	47€	47€
Unid.	Obturador Radial SKF CR100x150x12 HMS 55 R6	1	28€	28€
CHAVETAS				
Unid.	Chaveta (45x25x300) DIN 6885/1	1	5€	5€

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez
	PFC - UPCT	PRESUPUESTO

Unid.	Chaveta (28x16x100) DIN 6885/1	2	4€	8€
	TORNILLOS			
Unid.	Tornillo M42 DIN 931 Métrica 12.9 L209	10	7,5€	75€
Unid.	Tornillo M42 DIN 931 Métrica 12.9 L279	10	9,55€	95,5€
	ACOPLAMIENTOS			
Unid.	Acoplamiento ETP HYCON-F 360	1	1790€	1790€
Unid.	Acoplamiento ETP HYCON-S360	1	1600€	1600€
Unid.	Acoplamiento con freno GETB-295	1	2850€	2850€
	JUNTAS			
Unid.	Junta Klinguerit para carcasa	2	12€	24€
TOTAL PIEZAS NORMALIZADAS				12093,5€
FABRICACIÓN, MECANIZADO Y TRATAMIENTOS TERMICOS				
	EJE DE BAJA			
h	Torneado	5	33€/h	165€
h	Rectificado	2	33€/h	66€
	EJE DE ALTA			
h	Torneado	2	33€/h	66€
h	Rectificado	2	33€/h	66€
	MULTIPLICADORA			
Kg	Fundición Brazo Portasatélites 1ª Etapa	1800	0,089€/Kg	160€
h	Repasado en torno	2	33€/h	66€
h	Acabado con terraja	4	28€/h	112€
Kg	Fundición Brazo Portasatélites 2ª Etapa	150	0,089€/Kg	13,35€
h	Repasado en torno	3	33€/h	66€
h	Acabado con terraja	4	28€/h	112€
Kg	Fundición Carcasa (3 piezas)	4900	0,089€/Kg	436,1€
h	Fresado de engranajes	44	42€/h	1848€
h	Cementado de los dientes	8	80€/h	640€
TOTAL DE FABRICACION, MECANIZADO Y TRATAMIENTOS TÉRMICOS				3816,45€

	DISEÑO DEL CONJUNTO EJE – ACOPLAMIENTO – REDUCTORA EPICICLOIDAL DE UN AEROGENERADOR EÓLICO.	Autor: Ruimán Burrueco Martínez ETSII
PFC - UPCT	PRESUPUESTO	Revisión 0

RESUMEN DEL PRESUPUESTO

• MATERIALES	12330 €
• PRODUCTOS NORMALIZADOS	12093,5 €
• FABRICACIÓN, MECANIZADO Y TRATAMIENTOS TERMICOS	3816,45 €
TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL	28239,95 €

Asciende el presupuesto de ejecución material del presente proyecto a la cantidad de **VEINTIOCHO MIL DOSCIENTOS TREINTA Y NUEVE EUROS con NOVENTA Y CINCO CENTIMOS.**

El Ingeniero Técnico Industrial
Agustín Ruimán Burrueco Martínez

Cartagena a 28 de Octubre de 2011