

eman la zabal zazu



Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea

BILBOKO INGENIARITZA ESKOLA ESCUELA DE INGENIERÍA DE BILBAO

INDUSTRIA INGENIARITZA TEKNIKOKO ATALA

SECCIÓN INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL

--

FDO.: FECHA:	FDO.: FECHA:
-----------------	-----------------



## Resumen

### Índice del Resumen

1. OBJETO Y ALCANCE DEL PROYECTO .....	1
2. DATOS DE PARTIDA .....	2
3. RESULTADOS .....	3
3.1. Eje de baja velocidad .....	3
3.2. Ejes intermedios y eje de alta velocidad .....	3
3.3. Ejes planetarios .....	3
3.4. Engranajes.....	3
3.5. Chavetas .....	3
3.6. Rodamientos de eje.....	4
3.7. Rodamientos de giro y de pala.....	4
4. PLANOS.....	5
5. PRESUPUESTO.....	6
6. BIBLIOGRAFÍA .....	8
6.1. Libros .....	8
6.2. Catálogos .....	8
6.3. Páginas web .....	8
6.4. Normativas.....	9

## **RESUMEN**

### **1. OBJETO Y ALCANCE DEL PROYECTO**

La finalidad de este proyecto es el diseño mecánico de la transmisión de un aerogenerador eólico de eje horizontal tripala para un parque eólico situado en Pena Ventosa (Lugo). El aerogenerador a diseñar será uno de los muchos aerogeneradores del parque eólico de Pena Ventosa encargado de generar energía para los municipios colindantes.

El aerogenerador a diseñar tendrá una potencia de 1,5 MW y un margen de velocidades para su correcto funcionamiento. La velocidad de arranque será 3 m/s, la velocidad de parada 25 m/s y la velocidad nominal de funcionamiento 9 m/s.

La finalidad del proyecto será el diseño y cálculo de la transmisión del aerogenerador. Se trata del grupo de elementos mecánicos encargados de transmitir el par tórsor generado por el viento, hasta el generador eléctrico dispuesto a la salida de la transmisión. Los elementos que forman la transmisión son el eje de baja velocidad, el eje de alta velocidad, la caja multiplicadora de tres etapas planetarias de engranajes de dientes rectos, el freno mecánico, rodamientos y otros elementos secundarios como anillos o chavetas.

Por otro lado, también se diseñará el rodamiento encargado del giro de la góndola y rodamientos de las palas. El rodamiento principal o rodamiento de orientación, es el encargado de orientar la góndola para lograr que la dirección del viento sea lo más perpendicular posible al plano que forman el giro de las palas.

El proyecto no se centrará en el diseño de las palas del aerogenerador por lo que se escogerá un perfil de pala normalmente utilizado. Por ello, el cálculo de la transmisión se realizará a partir de la potencia y la velocidad del viento anual media en la ubicación establecida (Pena Ventosa).

Ya que se trata de un proyecto de diseño mecánico, tampoco se realizarán cálculos eléctricos ni electrónicos. Los elementos eléctricos y electrónicos que forman parte del sistema solamente serán mencionados.

## 2. DATOS DE PARTIDA

Los datos de partida son los siguientes:

- Potencia del aerogenerador eólico: 1.5 MW.
- Orientación a Barlovento.
- Localización: Pena Ventosa (Lugo).
- Velocidad nominal del viento: 8,5-9 m/s.
- Velocidades de funcionamiento: 3,5-25 m/s.
- Altura de la torre: 80 m.
- Tipo de palas: Naca 4415.
- Caja multiplicadora: tres etapas planetarias de engranajes cilíndricos de dientes rectos.
- Freno de disco.
- Motor eléctrico a 1500 rpm.

### **3. RESULTADOS**

En el siguiente apartado se van a especificar los métodos de cálculo adoptados en los diferentes componentes que forman la transmisión del aerogenerador.

#### **3.1. Eje de baja velocidad**

El eje de baja velocidad ha sido calculado a fatiga mediante la expresión del código ASME. También se han realizado comprobaciones de deflexiones y de vibraciones. Se ha utilizado un perfil de sección tubular con la finalidad de minimizar su peso.

#### **3.2. Ejes intermedios y eje de alta velocidad**

Los dos ejes intermedios de la caja multiplicadora y el eje de salida o eje de alta velocidad han sido calculados a fatiga mediante la expresión del código ASME. A estos ejes no se les ha realizado ninguna comprobación de deflexiones ni vibraciones ya que solo tienen aplicado un momento torsor. Se trata de ejes de sección circular maciza.

#### **3.3. Ejes planetarios**

Los ejes planetarios de las diferentes etapas que forman la caja multiplicadora han sido calculados a cortadura mediante la expresión de Collignon de resistencia de materiales. Se trata de ejes de sección circular maciza.

#### **3.4. Engranajes**

Todos los engranajes que componen la caja multiplicadora han sido calculados a desgaste y a rotura de dientes mediante las expresiones de Hertz y Lewis.

#### **3.5. Chavetas**

Todas las chavetas que forman parte de la transmisión han sido calculadas a cortante y a aplastamiento mediante las expresiones de resistencia de materiales.

### **3.6. Rodamientos de eje**

Todos los rodamientos utilizados como apoyo de ejes, han sido calculados mediante las expresiones matemáticas de los catálogos, en este caso, Timken.

### **3.7. Rodamientos de giro y de pala**

Los rodamientos del sistema de orientación de la góndola y los rodamientos del sistema de cambio de paso de pala han sido calculados a estática mediante el catálogo de la empresa suministradora Rothe Erde.

## 4. PLANOS

Los planos que forman parte del presente proyecto son los siguientes:

- 1- Conjunto de la transmisión.
- 2- Eje de baja velocidad.
- 3- Primer eje intermedio.
- 4- Segundo eje intermedio.
- 5- Eje de alta velocidad.
- 6- Primer eje planetario.
- 7- Segundo eje planetario.
- 8- Tercer eje planetario.
- 9- Engranaje con dentado interior etapa uno.
- 10- Engranaje con dentado interior etapa dos.
- 11- Engranaje con dentado interior etapa tres.
- 12- Engranaje planetario de la primera etapa.
- 13- Engranaje planetario de la segunda etapa.
- 14- Engranaje planetario de la tercera etapa.
- 15- Engranaje sol de la primera etapa.
- 16- Engranaje sol de la segunda etapa.
- 17- Engranaje sol de la tercera etapa.
- 18- Porta-planetas etapa uno.
- 19- Porta-planetas etapa dos.
- 20- Porta-planetas etapa tres.
- 21- Carcasa de la etapa uno.
- 22- Carcasa de la etapa dos.
- 23- Carcasa de la etapa tres.
- 24- Tapas de la primera y segunda etapa.
- 25- Tapa de la tercera etapa.
- 26- Juntas de la primera y segunda etapa.
- 27- Junta de la tercera etapa.



## 5. PRESUPUESTO

En el siguiente apartado se indicarán los diferentes presupuestos y el presupuesto final del proyecto.

### **PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL**

CAPÍTULO 6.1: MATERIALES.....	62.153,5 €
CAPÍTULO 6.2: MECANIZADOS.....	1.600 €
CAPÍTULO 6.3: MONTAJE.....	1.050 €
CAPÍTULO 6.4: TRANSPORTE Y MAQUINARIA.....	1.995 €
CAPÍTULO 6.5: INGENIERÍA.....	16.075 €

**TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL.....82.873,5 €**

Asciende el presente presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de:

**OCHENTA Y DOS MIL OCHOCIENTOS SETENTA Y TRES CON CINCO EUROS**

### **PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA**

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL.....	82.873,5 €
GASTOS GENERALES (13%).....	10.773,56 €
BENEFICIO INDUSTRIAL (10%).....	8.287,35 €
TOTAL.....	101.934,41 €

IVA (21%).....21.406,22 €

**TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA..... 123.340,64 €**

Asciende el presente presupuesto de ejecución por contrata la expresada cantidad de:

**CIENTO VEINTI TRES MIL TRESCIENTOS CUARENTA CON SESENTA Y CUATRO EUROS**

**PRESUPUESTO TOTAL DEL PROYECTO**

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA.....123.340,64 €

PROYECTO (5%).....6.167,032 €

DIRECCIÓN DE OBRA (6%).....7.400,44 €

**TOTAL PRESUPUESTO.....136.908,11 €**

Asciende el presupuesto total del proyecto a la expresada cantidad de:

**CIENTO TREINTA Y SEIS MIL NOVECIENTOS OCHO CON ONCE EUROS**

## 6. BIBLIOGRAFÍA

### 6.1. Libros

- Mikel Abasolo Bilbao, Santiago Navalpotro Cuenca, Edurne Iriondo Plaza: "Diseño de maquinas". 1ª Edición, UPV-EHU 2015.
- Miguel Villarrubia: "La ingeniería de la energía eólica". 1ª Edición, Barcelona 2012.
- Miguel Villarrubia: "Energía eólica". Madrid, 2004.
- Javier María Méndez Muñiz y Luis Manuel Rodríguez Rodríguez: "Energía eólica". Madrid 2012.
- J.L. Rodríguez Amenedo, J.C. Burgos Díaz y S. Arnalte Gómez: "Sistemas eólicos de producción de energía eólica". Madrid 2003.
- Richard Budynas, Keith Nisbett: "Diseño de ingeniería mecánica de Shigley". 9ª Edición, 2012.

### 6.2. Catálogos

- Rodamientos empresa SKF.
- Rodamientos empresa TIMKEN.
- Anillas de retención empresa BENERI.
- Chavetas empresa OPAC.
- Rodamientos grandes empresa ROTHE ERDE.
- Perfiles tubulares de GRUPO ALMESA.
- Frenos de disco empresa SVENDBORG BRAKES.

### 6.3. Páginas web

- [www.atlaseolico.idae.es](http://www.atlaseolico.idae.es)
- [https://es.wikipedia.org/wiki/Energia\\_eólica](https://es.wikipedia.org/wiki/Energia_eólica)
- [www.erenovable.com](http://www.erenovable.com)
- [www.timken.com](http://www.timken.com)
- [www.skf.com](http://www.skf.com)

- [www.opac.net](http://www.opac.net)
- [www.beneri.com](http://www.beneri.com)
- [www.svendborg-brakes.com](http://www.svendborg-brakes.com)
- [www.acciona.com](http://www.acciona.com)
- [www.almesa.com](http://www.almesa.com)
- [www.roteisa.es](http://www.roteisa.es)

## 6.4. Normativas

- UNE-157001-2002: "Criterios generales para la elaboración de proyectos".
- UNE-EN 61400 -1 2011: Aerogeneradores. Parte 1: Requisitos de diseño.
- UNE-EN 61400-1 2007: Aerogeneradores. Parte 2: Requisitos de diseño pequeños aerogeneradores.
- Normativa DIN 6885 para dimensiones de chavetas.
- Normativa DIN 471 para anillos de retención.