



**Universidad  
Zaragoza**

# Proyecto Fin de Carrera

Investigación y diseño de entrenador  
didáctico "góndola de aerogenerador"

Autor

**Anthony Michot**

Director y ponente

**César Bonilla**

**Francisco Alcrudo Sánchez**

Universidad Zaragoza

2013

# Investigación y diseño de entrenador didáctico “góndola de aerogenerador”

## RESUMEN

El objetivo del proyecto es de *investigar y diseñar un entrenador didáctico de góndola de aerogenerador* para la empresa *Edibon International* que diseña y fabrica equipamientos didácticos técnicos.

En efecto, esta empresa quiere completar su gama en todos los dominios donde las energías renovables se manifiestan cada vez más, y competir con las otras empresas de mismo género.

El proyecto se desarrolla por las etapas siguientes y según el competidor LabVolt.

El análisis de la competencia ya existente consiste en buscar las empresas proponiendo un entrenador didáctico de góndola de aerogenerador y caracterizar los productos vendidos (ventajas y desventajas). Esto permite saber lo que existe o no, y así focalizarse sobre lo que se puede hacer y añadir para desmarcarse de la competencia.

La investigación sobre los aerogeneradores es esencial para saber lo que se está haciendo en el dominio de los aerogeneradores, así como las características y tecnologías adaptadas a cada uno. Esto permite elegir lo que existe y se quiere para nuestra unidad.

La búsqueda de proveedores de aerogeneradores consiste en ponerse en contacto con ellos y hacer una lista de prioridad en función de las soluciones técnicas propuestas, y de los precios y plazos de entrega. Esto es la primera opción que se puede elegir: comprar un aerogenerador ya existente y adaptarlo para su utilización didáctica.

La identificación de los elementos del equipamiento de *LabVolt* permite conocer su precio global vía los fabricantes habituales de *Edibon*, y estudiar el diseño completo de nuestro propio aerogenerador. Esto es la segunda opción que se puede elegir: comprar los elementos deseados y diseñar nuestro propio aerogenerador.

El análisis de factibilidad del entrenador didáctico y elección la más interesante al nivel económico y técnico se hace con los precedentes estudios, un balance de sus ventajas y desventajas, su clasificación mediante factores importantes (precio, plazo y diseño por orden), y la elección y aprobación de la empresa según sus objetivos y prioridades.

El diseño del equipamiento consiste en la elección de los elementos de la parte mecánica y su dimensionamiento, las otras partes haciéndose en interno de *Edibon*.

# Tabla de contenidos

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>8</b>
<b>1 PRESENTACIÓN DEL CONTEXTO.....</b>	<b>9</b>
11 EMPRESA .....	9
12 PROYECTO .....	10
<b>2 INVESTIGACIÓN DE LAS SOLUCIONES POTENCIALES .....</b>	<b>12</b>
21 ANÁLISIS DE LA COMPETENCIA .....	12
211 <i>Búsqueda de las empresas</i> .....	12
212 <i>LabVolt</i> .....	13
213 <i>Otros competidores</i> .....	14
22 INVESTIGACIÓN SOBRE LOS AEROGENERADORES .....	19
221 <i>Interés</i> .....	19
222 <i>Constitución de un aerogenerador</i> .....	19
223 <i>Tecnología</i> .....	21
224 <i>Dos tipos de aerogeneradores</i> .....	25
23 BALANCE.....	27
<b>3 ESTUDIO DE LAS SOLUCIONES POTENCIALES .....</b>	<b>28</b>
31 ADAPTACIÓN DE UN AEROGENERADOR YA EXISTENTE .....	28
311 <i>Contexto</i> .....	28
312 <i>Método</i> .....	29
313 <i>Resultado</i> .....	30
314 <i>Análisis</i> .....	33
32 DISEÑO COMPLETO DE UN AEROGENERADOR .....	35
321 <i>Identificación de los elementos de LabVolt</i> .....	35
322 <i>Determinación del coste global del modelo de LabVolt</i> .....	46
323 <i>Análisis</i> .....	50
<b>4 ELECCIÓN DE LA MEJORA SOLUCIÓN .....</b>	<b>51</b>
41 BALANCE DE AMBAS SOLUCIONES .....	51
411 <i>Coste</i> .....	51
412 <i>Facilidad</i> .....	51
413 <i>Interés</i> .....	52
414 <i>Plazo</i> .....	52
42 CLASIFICACIÓN DE AMBAS SOLUCIONES.....	52
43 SOLUCIÓN FINAL .....	53
<b>5 DISEÑO DEL ENTRENADOR DIDÁCTICO .....</b>	<b>54</b>
51 PRINCIPIO DEL DIMENSIONAMIENTO .....	54
52 GRUPO MOTOPROPULSOR .....	55
521 <i>Presentación</i> .....	55
522 <i>Dimensionamiento</i> .....	56
53 MECANISMO DE GUIÑADA .....	60
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>62</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>64</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>66</b>
ANEXO 1 OBJETIVOS/PROGRESIÓN .....	66
ANEXO 2 CARTA DE SOLICITUD DE INFORMACIÓN .....	67
ANEXO 3 LISTA COMPLETA DE LOS AEROGENERADORES DE TAMAÑOS PEQUEÑOS Y MEDIANOS ENCONTRADOS Y CLASIFICADOS.....	69
ANEXO 4 LISTA DETALLADA NO EXHAUSTIVA DE LOS ELEMENTOS DEL MODELO DE <i>LabVolt</i> .....	76
ANEXO 5 PRE-ESTUDIO CON <i>LabVolt</i> .....	83
ANEXO 6 DIMENSIONAMIENTO VÍA EXCEL .....	87

# Índice de ilustración

<i>Ilustración 1 Diseño y fabricación de equipamientos didácticos técnicos en la empresa Edibon (Edibon International, 2013)</i> .....	5
<i>Ilustración 2 Investigación y desarrollo de nuevos equipamientos didácticos técnicos en Edibon (Edibon International, 2013)</i> .....	9
<i>Ilustración 3 Equipo de energía solar térmica (Edibon International, 2013) y de energía eólica de Edibon International (Edibon International, 2013)</i> .....	10
<i>Ilustración 4 Wind Turbine Training System Model 46122 de LabVolt (LabVolt, 2013)</i> .....	13
<i>Ilustración 5 Eolienne didactisée de GTI Systèmes (BTS Électrotechnique, 2004)</i> .....	15
<i>Ilustración 6 Wind Turbine Troubleshooting Learning System de Amatrol (Amatrol, 2013)</i> .....	16
<i>Ilustración 7 Wind Turbine Trainer de Lotus Creative Innovations (Lotus Creative Innovations, 2012) y (Progressive Educational Systems Inc, 2008)</i> .....	17
<i>Ilustración 8 Producto de Synchrony (The Rockbridge Weekly, 2013)</i> .....	18
<i>Ilustración 9 Componentes principales de un aerogenerador (Energías Renovables, 2009)</i> .....	20
<i>Ilustración 10 Ejemplos de aerogeneradores: horizontal (Energías Renovables, 2010) y vertical (tipo Darrieus) (ecosources, 2008)</i> .....	21
<i>Ilustración 11 Sistema de orientación: activo (Bosch Rexroth, 2012) y pasivo con timón articulado (Bornay, 2012)</i> .....	22
<i>Ilustración 12 Sistema de regulación: paso variable (Bosh Rexroth, 2013) y paso fijo con un perfil particular al viento (Ekotekoo, 2012)</i> .....	23
<i>Ilustración 13 Freno de disco (Twiflex, 2012)</i> .....	24
<i>Ilustración 14 Aerogenerador Eole-System: presentación del aerogenerador en un salón y diseño del mecanismo en taller (Eole-System, 2012)</i> .....	33
<i>Ilustración 15 Aerogenerador Aeolos: vista del despiece y representación completa (Aeolos, 2012)</i> .....	34
<i>Ilustración 16 Entrenador didáctico de LabVolt</i> .....	40
<i>Ilustración 17 Estación de trabajo móvil</i> .....	40
<i>Ilustración 18 Sistema de guiñada</i> .....	41
<i>Ilustración 19 Sistema de viento</i> .....	41
<i>Ilustración 20 Grupo motopropulsor de la góndola (1)</i> .....	42
<i>Ilustración 21 Grupo motopropulsor de la góndola (2)</i> .....	42
<i>Ilustración 22 Unidad hidráulica</i> .....	43
<i>Ilustración 23 Panel eléctrico</i> .....	43
<i>Ilustración 24 Ordenador industrial</i> .....	44
<i>Ilustración 25 Sensores de clima</i> .....	44
<i>Ilustración 26 Software (1)</i> .....	45
<i>Ilustración 27 Software (2)</i> .....	45
<i>Ilustración 28 Software (3)</i> .....	45
<i>Ilustración 29 Esquema del grupo motopropulsor</i> .....	55
<i>Ilustración 30 Cadena de transmisión del grupo motopropulsor</i> .....	56
<i>Ilustración 31 Estudio del eje lento</i> .....	59
<i>Ilustración 32 Esquema del mecanismo de guiñada</i> .....	61

## Introducción

Soy estudiante en último año de *Ingeniería Industrial*, especialidad *Energía y Tecnología de Calor y Fluidos*, en la *Universidad de Zaragoza*, y con doble titulación en la escuela de ingeniería francesa los *Arts & Métiers ParisTech*.

A falta de un Proyecto Fin de Carrera (PFC) y siguiendo la costumbre francesa, quería hacerlo a través de una práctica profesional por varias razones.

La iniciativa es un primer contacto con el mundo laboral en España, después de dos prácticas hechas en Francia.

La primera práctica me permitió integrarme en la vida laboral y la segunda contemplar las expectativas del oficio de un ingeniero: descubrir y participar en un equipo con sus relaciones, responsabilidades y todo lo que lo rodea, con el fin de responder a un futuro ámbito laboral.

Esta mezcla de práctica y proyecto me proporcionó un elemento positivo y formativo para mi futura carrera, y sobre todo en el dominio del desarrollo sostenible donde me oriento. En efecto, esta experiencia me permitió vivir el papel de un ingeniero en el mundo real en el campo de las energías renovables que me faltaba en mi formación actual y que quería subsanar.



**Ilustración 1** Diseño y fabricación de equipamientos didácticos técnicos en la empresa *Edibon* (Edibon International, 2013)

El objetivo del proyecto es de *investigar y diseñar un entrenador didáctico de góndola de aerogenerador* para la empresa *Edibon International* que diseña y fabrica equipamientos didácticos técnicos (cf. Ilustración 1).

En efecto, esta empresa quiere completar su gama de artículos en todos los dominios donde las energías renovables se manifiestan cada vez más, y también competir con las otras empresas de mismo giro.

Anthony

Investigación y diseño de entrenador

Michot

didáctico "góndola de aerogenerador"

5/87

El proyecto se desarrolla por etapas dirigidas por mi director de PFC según el plano siguiente:

- ✓ Análisis de la competencia ya existente.

Consiste en buscar las empresas que ofrezcan un entrenador didáctico de góndola de aerogenerador y caracterizar los productos vendidos recuperando el máximo de información y estableciendo las ventajas y desventajas de unas y otras.

Esto permite saber lo que existe o no, y así focalizarse sobre lo que se puede hacer y añadir para desmarcarse de la competencia.

- ✓ Investigación sobre los aerogeneradores.

Teniendo en cuenta que se quiere diseñar y realizar un modelo de aerogenerador, es esencial analizar lo que se hace en el dominio de los aerogeneradores, divididos en pequeños y grandes elementos con sus características y las tecnologías adaptadas a cada uno.

Esto permite completar nuestra propia visión del entrenador que se desea diseñar y ver lo que se puede hacer o no.

- ✓ Búsqueda de proveedores de aerogeneradores completos.

Consiste en ponerse en contacto con los varios proveedores de pequeños y grandes aerogeneradores (presentar lo que se quiere hacer, recuperar y completar el máximo de información posible en sus productos al nivel técnico y económico), hacer una lista de prioridad en función de las soluciones técnicas propuestas, de los precios y plazos de entrega.

Esto es la primera opción que se puede elegir: comprar un aerogenerador ya existente y adaptarlo para su utilización didáctica.

- ✓ Identificación y descripción de los elementos utilizados por la competencia especialmente *LabVolt*.

Consiste en reunir la mayor cantidad de datos del equipamiento de *LabVolt*, y completarlo con otros entrenadores similares a partir de los diferentes soportes utilizados por la competencia (videos, imágenes, documentos...), buscar los precios y plazos de los diferentes elementos con los fabricantes habituales de la empresa *Edibon* o de otras empresas en caso de que esta última no los maneje, y estudiar el diseño completo de nuestro propio aerogenerador.

Esto es la segunda opción que se puede elegir: comprar los elementos deseados y diseñar nuestro propio aerogenerador.

- ✓ Análisis de factibilidad del entrenador didáctico de góndola de aerogenerador entre ambas opciones y elección de la más interesante al nivel económico y técnico para la empresa.

Se hace con los datos de los precedentes estudios, un balance de sus ventajas y desventajas, su clasificación mediante factores importantes (precio, plazo y diseño por orden), y la elección y aprobación de la empresa según sus objetivos y prioridades.

- ✓ Diseño del entrenador didáctico de góndola de aerogenerador.

Consiste en la elección de los elementos de la parte mecánica componiendo el entrenador didáctico y su dimensionamiento según un estudio completo siguiendo, lo más posible, la elaboración de un aerogenerador real. Sin embargo, la parte eléctrica y programación se hace en interno por *Edibon*, según los objetivos del equipo, pero no es el tema de este PFC.

De manera general, todo tipo de resultado se obtiene según un trámite de funcionamiento mezclado entre general a todas las personas y empresas, y propio a la manera de ser y hacer de cada uno de nosotros.

Así, la presente memoria se declina en dos partes principales siguiendo este lineamiento aplicado al caso del entrenador didáctico "góndola de aerogenerador". Primero, presentación del contexto, investigación y estudio de las soluciones potenciales, y elección de la mejor solución. Segundo, su diseño constando en un dimensionamiento de la parte mecánica del modelo permitiendo preparar su realización eligiendo los elementos principales.

Luego, como toda memoria, se encuentran las partes siguientes directas o indirectas con respecto al proyecto: tabla de contenidos, introducción, agradecimiento, conclusión y bibliografía.

En anexos, se insertan los diferentes trabajos realizados a lo largo de los cinco meses del proyecto siguiendo la planificación que he pensado, escrito y seguido más o menos durante mi trabajo, algunos documentos redactados durante la búsqueda de información, los varios estudios no presentados en la memoria pero sustituidos por balance/resultados.

# Agradecimientos

Quiero aprovechar estas líneas para agradecer a todas las personas que me han ayudado y me han apoyado en el ámbito de mi Proyecto Fin de Carrera (PFC).

En primero lugar, quería agradecer a César Bonilla, director de mi PFC y responsable técnico, diseño, control de calidad y informática de la empresa *Edibon International*, permitiéndome hacer este estudio, transformando un proyecto interesante para el desarrollo de su empresa en un tema de PFC, y también dirigirme y ayudarme en el desarrollo y seguimiento del proyecto.

En segundo lugar, quería agradecer a Francisco Alcrudo Sánchez, ponente de mi PFC y profesor de mecánica de fluidos de la *Universidad de Zaragoza*, permitiéndome realizar este PFC mediante consejos, apoyo, seguimiento y otras ayudas al nivel tanto técnico como humano.

Luego, quiero agradecer a Alfonso Caño, por su experiencia en el dominio de los aerogeneradores ayudándome en el progreso de mis investigaciones y respondiendo a todas mis preguntas con mucho interés y paciencia.

Además, quiero agradecer a las personas siguientes quienes me ayudaron de manera directa o indirecta en este proceso: a Elías Bonilla Blázquez, director general y presidente, permitiéndome hacer un PFC en su empresa aunque buscaba un ingeniero y no un estudiante, a Begoña López García, responsable diseño gráfico y informática, y otras personas trabajando en el mismo despacho: Felipe, Luis, Fran, Nuria, Sandra, Mercedes, Maite, Miguel, Diego, Alberto,... y a los que se me pasen por alto.

Finalmente, quiero agradecer a una amiga Marian que ha corregido mi trabajo en parte.



# 1 Presentación del contexto

Como he dicho en la introducción, he tenido la suerte de hacer mi Proyecto Fin de Carrera sobre un entrenador didáctico de góndola de aerogenerador en una empresa de nombre *Edibon International* que diseña y fabrica equipamientos didácticos técnicos (cf. Ilustración 2).



**Ilustración 2 Investigación y desarrollo de nuevos equipamientos didácticos técnicos en *Edibon* (Edibon International, 2013)**

En esta parte, se desarrolla el contexto en el cual he hecho mi PFC/practica es decir presentar de manera breve la empresa y luego el proyecto en relación con el deseo de la empresa de invertirse en las energías renovables.

## 11 Empresa

*Edibon International* trabaja en el área del equipamiento didáctico técnico desde hace más de treinta años, diseñando y fabricando todo tipo de equipamiento (Edibon International, 2007). Está en Madrid más precisamente en Leganés.

Se dispone de un equipo de más de veinte ingenieros que continuamente está desarrollando nuevos equipamientos didácticos, incluso equipamientos a medida. *Edibon* ha:

- ✓ Diseñado más de 1300 equipamientos distintos en la mayoría de las áreas técnicas, como por ejemplo: electrónica, electricidad, mecánica, química, y más en más energías renovables (energía solar, eólica, geotérmica, biomasa...).
- ✓ Fabricado varios de los componentes de sus equipamientos, incluso muchas piezas mecanizadas utilizando sus maquinas de torno, fresa... Solamente los componentes estándares (tarjetas madre, perfiles de aluminio, tanques metálicos...) son subcontratados.
- ✓ Realizado la interfaz electrónica y software que trabaja con la unidad, la interfaz y la placa electrónica de adquisición de datos.

- ✓ Efectuado los manuales de todos los equipamientos didácticos para dirigir los estudiantes en sus trabajos.

*Edibon* exporta un 98% de su producción a universidades, escuelas técnicas y vocacionales en todo el mundo. Se ha suministrado equipamiento a unos 80 países (industrializados y países en desarrollo).

Tiene representantes en la mayoría de los países del mundo. Ellos colaboran como agentes, representantes o colaboradores a comisión, dependiendo de las características de cada país y del tipo de negocio.

## 12 Proyecto

Como toda empresa, *Edibon International* busca satisfacer y ampliar sus clientes, la mayoría al internacional. Así, desea constantemente renovar su gama de artículos para competir con las otras empresas de mismo interés.

Se centra en todos los dominios donde las energías renovables se manifiestan con vistas a la globalización y su tendencia actual. En efecto, se nota una toma de conciencia en el mundo al nivel político, social, económico... Y no se puede olvidar este mercado en plena expansión.



**Ilustración 3** Equipo de energía solar térmica (*Edibon International*, 2013) y de energía eólica de *Edibon International* (*Edibon International*, 2013)

Ya existen equipamientos didácticos diseñados y fabricados en las energías renovables por *Edibon* (cf. Ilustración 3) pero al nivel eólico, falta un entrenador didáctico de aerogenerador permitiendo a los estudiantes estudiar el funcionamiento general de un aerogenerador real.

Desarrollar este producto no me parecía ser una verdadera prioridad para *Edibon* porque privilegia sus clientes y trabaja día a día en función de sus solicitudes. No obstante, pertenece a los proyectos manifestándose ante la competencia y el mercado.

Finalmente, este proyecto me ha sido muy útil ya que tenía cierta libertad en mi trabajo debido a esta no-prioridad aunque necesitara el seguimiento de mi director y su aprobación para hacerme progresar e ir en la buena dirección.

Así, el objetivo de mi proyecto es de *investigar y diseñar un entrenador didáctico de góndola de aerogenerador* que ha seguido más o menos mi planificación actualizada poco a poco (cf. Anexo 1). Ahora, se puede tratar del proyecto en sí mismo.

## 2 Investigación de las soluciones potenciales

Esta parte trata de la primera etapa en la realización de un entrenador didáctico de góndola de aerogenerador: la búsqueda de las soluciones potenciales.

Se declina en dos partes:

- ✓ Análisis de la competencia ya existente.
- ✓ Investigación sobre los aerogeneradores.

### 21 Análisis de la competencia

El análisis de la competencia consiste en:

- ✓ Buscar las empresas que proponen un entrenador didáctico de góndola de aerogenerador.
- ✓ Caracterizar los productos vendidos, recuperando el máximo de información.
- ✓ Establecer las ventajas y desventajas de unas y otras.

Esto permite saber lo que existe o no, y focalizarse sobre lo que se puede hacer y añadir para desmarcarse de la competencia.

#### 211 Búsqueda de las empresas

He procedido de manera más o menos básica pero de modo minucioso y con una metodología, lo cuál puede dar un buen resultado. A falta de otro medio, la única solución encontrada fue: utilizar Internet y saber lo que se busca con palabras claves.

Primero que nada, es la empresa *LabVolt* la cual ha dado la idea a *Edibon* de hacer un entrenador didáctico sobre el tema de los aerogeneradores, especialmente su góndola. Así, el primero objetivo de *Edibon* es diseñar algo similar o mejor a la propuesta de *LabVolt* para llamar la atención de sus clientes potenciales.

Segundo, de la búsqueda, se sacan las empresas (como *Amatrol* competidora directa de *Edibon*) u organismos (como el caso de *GTI Systèmes* siendo una escuela de electrotécnica) que proponen productos similares pero diferentes en sus diseños: *GTI Systèmes*, *Amatrol*, *Lotus Creative Innovations* y finalmente *Synchrony*.

Pocas empresas proponen este tipo de producto, lo cuál hace más interesante desarrollarlo para *Edibon* ya que las empresas existentes no pueden satisfacer todos los mercados (particularmente África y Asia), pues *Edibon* podrá introducirse y hacerse un sitio fácilmente sobre este.

## 212 LabVolt

### Descripción

*LabVolt* ha diseñado un producto muy completo de góndola de aerogenerador que se llama *Wind Turbine Training System Model 46122* (LabVolt, 2013).

Consiste en una formación manual sobre situaciones reales de funcionamiento y mantenimiento de aerogeneradores, preparando a los estudiantes con habilidades (técnicas y de reparación) y formación para los trabajos como técnicos de aerogeneradores (cf. Ilustración 4).



**Ilustración 4** Wind Turbine Training System Model 46122 de *LabVolt* (LabVolt, 2013)

### Composición

Se compone de los elementos principales siguientes:

- ✓ Estación de trabajo móvil: mecanismo de bloqueo y funcionamiento estable.
- ✓ Sistema de giro: movimiento 360° con motorreductor y variador de frecuencia variable, freno hidráulico para parar el sistema y guardar en posición, codificador óptico para posicionamiento del sistema de giro, detector de torsión por cable.
- ✓ Grupo de motopropulsión a baja velocidad: motorreductor  $\frac{3}{4}$  HP abajo del sistema de giro, cadena entre eje de rotación/palas (paso fijo) y el motor, eje de rotación con mecanismo de bloqueo del rotor y sensor de velocidad, anillo de apriete entre eje de rotación y caja de cambio
- ✓ Grupo de motopropulsión a alta velocidad: caja de cambio de aerogenerador real 5 kW (transparente, supervisión y rellenado del nivel de aceite, tapón magnético, ventilador) y 38,45 de reducción, generador de inducción 4 polos (187W), acoplamiento multidisco resistente a la torsión entre caja de cambio y generador,

freno hidráulico al nivel del acoplamiento para parar el sistema y guardar en posición.

- ✓ Unidad hidráulica: control de los 2 frenos hidráulicos, indicador de presión, válvula solenoide.
- ✓ Sensores climáticos: veleta, anemómetro, simulación del viento accionando los elementos (no viento real).
- ✓ Panel eléctrico: interruptores, variador de frecuencia variable, disyuntores, fusibles, fuentes de alimentación, entradas/salidas remotas para PLC.
- ✓ Ordenador: brazo móvil, pantalla táctil, HMI, PLC.
- ✓ Protecciones: botones de emergencia, dispositivos de protección (eléctricos con interruptores de fin de carrera - el sistema no funciona si uno está abierto).
- ✓ Conexión a la red: opcional.

### **Balance**

#### ***Ventajas***

- ✓ Propio al aerogenerador: sistema de giro (*yaw control*) con veleta y anemómetro, caja de cambio (*gearbox*), frenos hidráulicos, acoplamientos, generador asíncrono similares a un aerogenerador real.
- ✓ Propio al diseño: sistema estable y poco voluminoso (no se gira verdaderamente).

#### ***Desventajas***

- ✓ Propio al aerogenerador: no sistema de paso variable (*pitch control*) presente sobre los aerogeneradores de tamaños medianos y grandes.
- ✓ Propio al diseño: conjunto fijo (no se ve el movimiento del sistema de giro) salvo la hélice y sistema complejo (diseño comparable a un aerogenerador a hacer).

## **213 Otros competidores**

### **2131 GTI Systèmes**

#### **Descripción**

GTI Systèmes propone un equipamiento, llamado *Système éolienne didactisée*, permitiendo comprender el funcionamiento, analizar las soluciones y explicar el comportamiento de un aerogenerador de producción de electricidad con acoplamiento de la energía producida en la red (GTI Systèmes, 2004).

Su concepción robusta permite realizar actividades de estudio, de puesta en servicio y de mantenimiento (cf. Ilustración 5).

## Composición



**Ilustración 5 Eolienne didactisée de GTI Systèmes (BTS Électrotechnique, 2004)**

Consiste en:

- ✓ Una torre soportando una góndola orientable compuesto de una hélice tripalas (eje lento), un multiplicador (19,31), un freno monodisco y un generador asíncrono (1,5kW y eje rápido).
- ✓ La góndola soporta igualmente un conjunto generador de viento variable en dirección y velocidad instrumentado por una veleta y un anemómetro.
- ✓ Un motorreductor montado sobre el eje lento simula la energía cinética del viento y acciona el conjunto.
- ✓ Un armario de control/mando integrando un autómata con terminal de dialogo y un analizador de potencia.
- ✓ Conexión a la red realizada por un arranque progresivo con compensación del reactivo.

## Balance

### ***Ventajas***

- ✓ Propio al aerogenerador: sistema de paso variable con veleta y anemómetro, caja de cambio, freno, generador asíncrono similares a un aerogenerador real.
- ✓ Propio al diseño: sistema estable y poco voluminoso.

### ***Desventajas***

- ✓ Propio al aerogenerador: no hay sistema de giro presente sobre los aerogeneradores de tamaños medianos y grandes, no tiene freno hidráulico pero si eléctrico y no tiene acoplamientos reales.

- ✓ Propio al diseño: conjunto fijo salvo el movimiento de las palas y sistema de complejidad (diseño más distante de un aerogenerador).

## 2132 Amatrol

### Descripción

*Amatrol* ha diseñado un equipamiento más completo que el de *LabVolt* presentado, llamado *Wind Turbine Troubleshooting Learning System* (Amatrol, 2013).

Sin embargo, en el caso de *LabVolt*, he tratado solo del ya muy completo producto 46122 omitiendo otros equipamientos. Un sistema de red (46125) puede estar unido al 46122 y otros presentan aspectos diferentes como el paso variable (46123 y 46124) de manera eléctrica e hidráulica.

En efecto, *Amatrol* tiene un modelo completo pero dividido en tres partes (cf. Ilustración 6) pudiendo estar unidas para hacer un gran modelo. Permite estudiar y comprender las diferentes partes de un aerogenerador, así que formar los futuros técnicos simulando varios defectos o problemas.



Ilustración 6 Wind Turbine Troubleshooting Learning System de Amatrol (Amatrol, 2013)

### Composición

Se compone de tres equipamientos:

- ✓ Góndola: sistema de giro con veleta y anemómetro (estación móvil), unidad hidráulica y frenos hidráulicos.
- ✓ Buje: buje, palas y sistema de paso variable con veleta y anemómetro.
- ✓ Generador: sistema de simulación entre el generador y su conexión a la red.

### Balance

#### *Ventajas*

- ✓ Propio al aerogenerador: sistema de paso variable y de giro con veleta y anemómetro, frenos hidráulicos y generador.



- ✓ Propio al diseño: sistema estable y mecanismo claro (con muchos detalles).

### **Desventajas**

- ✓ Propio al aerogenerador: no tiene caja de cambio, no tiene acoplamientos (una parte mecánica limitada) y no tiene generador asíncrono (parece síncrono ya que no hay un multiplicador).
- ✓ Propio al diseño: sistema muy voluminoso y físicamente no parece a un aerogenerador (solo partes).

## **2133 Lotus Creative Innovations**

### **Descripción**

Esta unidad didáctica de aerogenerador, *Wind Turbine Trainer*, parece la más completa de todas (Lotus Creative Innovations, 2012) pero, a causa de querer ser una versión a escala reducida, el sistema interesante (parte mecánica y eléctrica) es muy pequeño con respecto al conjunto global, y producción de energía eléctrica limitada (generador de 0.5V)



**Ilustración 7 Wind Turbine Trainer de Lotus Creative Innovations (Lotus Creative Innovations, 2012) y (Progressive Educational Systems Inc, 2008)**

No obstante, propone un estudio muy completo de un aerogenerador al nivel del funcionamiento o mismo para la formación de futuros técnicos con simulación de defectos y problemas (cf. Ilustración 7).

## Composición

Tiene los componentes siguientes:

- ✓ Sistema de giro y de paso variable.
- ✓ Buje y tripalas, ejes de baja y alta velocidad, multiplicador (transparente) y generador magnético.
- ✓ Panel eléctrico.

## Balance

### *Ventajas*

- ✓ Propio al aerogenerador: sistema de giro y de paso variable (con o sin veleta y anemómetro), multiplicador, generador asíncrono similares a un aerogenerador real
- ✓ Propio al diseño: sistema estable y medio voluminoso.

### *Desventajas*

- ✓ Propio al aerogenerador: no frenos (parece), potencia limitada.
- ✓ Propio al diseño: elementos pequeños con respecto al conjunto global, producción de electricidad limitada.

## 2134 Synchrony

No se sabe mucha información sobre el producto de *Synchrony* (The Rockbridge Weekly, 2013), excepto que existe y está diseñado por una empresa queriendo mostrar sus habilidades para hacer elementos que se pueden integrar en un aerogenerador (cf. Ilustración 8).



**Ilustración 8 Producto de Synchrony (The Rockbridge Weekly, 2013)**

El equipamiento, hecho para los estudiantes como precedamente, tiene la apariencia de un aerogenerador real pero no hay ninguna otra información.

## 22 Investigación sobre los aerogeneradores

La investigación sobre los aerogeneradores consiste en:

- ✓ Buscar los datos generales sobre los aerogeneradores.
- ✓ Estudiar sus diferentes tecnologías.
- ✓ Diferenciar los aerogeneradores entre los pequeños y grandes.

Esto permite analizar lo que se hace en el dominio de los aerogeneradores.

### 221 Interés

Esta parte consiste en analizar y caracterizar los aerogeneradores actuales. En efecto, la idea no es hablar de la energía eólica en general pero aplicarla a nuestra necesidad.

Se sabe casi todos los elementos principales a partir del estudio anterior, pero hay que confirmar las tecnologías utilizadas en los equipamientos didácticos técnicos de la competencia y sobretodo completarlas. Eso facilitará la comprensión de lo que rodea el proyecto.

Primero, el objetivo es saber la constitución de un aerogenerador y de esa, se sacan un cierto número de elementos. Segundo, con esos, se puede buscar y encontrar las diferentes tecnologías utilizadas en los aerogeneradores y cómo funcionan.

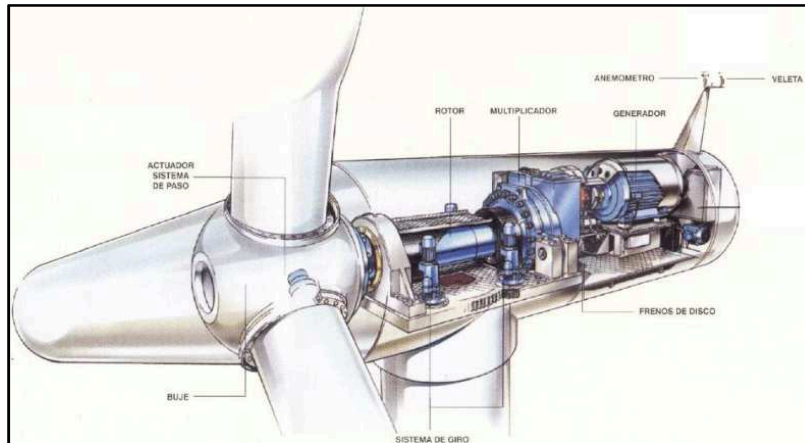
### 222 Constitución de un aerogenerador

Un aerogenerador "normal" (Wiki Éolienne, 2013) se compone de los elementos principales siguientes (cf. Ilustración 9):

- ✓ Un *aeromotor* o *rotor*: se constituye de una o varias palas que provee de un *sistema de regulación y de protección* confiriendo a la hélice una frecuencia (velocidad de rotación) estable a partir de una cierta velocidad de viento, y eventualmente de un sistema de seguridad para parar la maquina en caso de viento demasiado fuerte si el sistema de regulación no funciona más allá de una cierta velocidad de viento.
- ✓ Un *generador eléctrico*: permite convertir la energía mecánica en energía eléctrica, o directamente acoplado al aeromotor - la hélice está montada directamente sobre el eje del generador eléctrico - (generador síncrono) o entrenado por el multiplicador colocado entre el aeromotor y el generador eléctrico (generador síncrono).
- ✓ Un *sistema de orientación* (un motor eléctrico en el caso de los aerogeneradores grandes): permite a la máquina de presentar el rotor al viento cualquiera su dirección, la energía eléctrica producida está transmitida de la parte orientable a la parte fija del aerogenerador, solidario de la torre, a través de un dispositivo a

colector asociado al pivote o de un cable soplado que hay que dé-retorcer periódicamente.

- ✓ La *góndola*: se compone de un cárter o chasis que envuelve, protege y une entre ellas el conjunto de las piezas.



**Ilustración 9 Componentes principales de un aerogenerador (Energías Renovables, 2009)**

- ✓ La *torre*: soporta la góndola y el rotor, y abriga una escalera permitiendo el acceso a la góndola para el mantenimiento (en el caso de los aerogeneradores grandes).
- ✓ Un *cubo*: soporta las palas y si hay un paso variable, conlleva un mecanismo permitiendo variar el ángulo de ataque simultáneamente y se puede igualmente ajustar el ángulo de las palas fijos pues se preve siempre una manera de corregir la instalación de las palas.
- ✓ Un *grupo hidráulico*: permite la orientación de las palas y de la góndola, así que el pilotaje de los frenos aerodinámicos.
- ✓ Un *árbol (eje)*: se dice árbol lento entre el rotor y la caja de cambios (multiplicador) y árbol rápido entre la caja de cambios y el generador, es una pieza imponente (sufre esfuerzos elevados), y para los aerogeneradores sin multiplicador, hay un único árbol.
- ✓ Un *freno de disco*: se coloca sobre el árbol rápido y permite la inmovilización del rotor durante el mantenimiento y paliar a un fallo eventual del freno aerodinámico.
- ✓ El *armario eléctrico* de conexión a la red eléctrico: convierte la energía producida para inyectarla en la red de distribución.
- ✓ Una *veleta* y un *anemómetro* colocados sobre la góndola: suministran las informaciones necesitadas para orientar correctamente el aerogenerador de manera automática.

## 223 Tecnología

### 2231 Eje (vertical u horizontal)

Existe dos tipos de aerogeneradores, clasificados según su eje principal: vertical u horizontal (cf. Ilustración 10). Además, la mayoría instalada en el mundo son de tipo horizontal (Wiki Éolienne, 2013).



**Ilustración 10 Ejemplos de aerogeneradores: horizontal (Energías Renovables, 2010) y vertical (tipo Darrieus) (ecosources, 2008)**

En efecto, un aerogenerador a eje horizontal tiene buenas prestaciones con vientos tranquilos es decir no débiles pero suporta difícilmente los importantes gradientes y vientos envolventes. El par desarrollado por el aerogenerador es más importante pero hay que prever un dispositivo de paro en caso de vientos considerables.

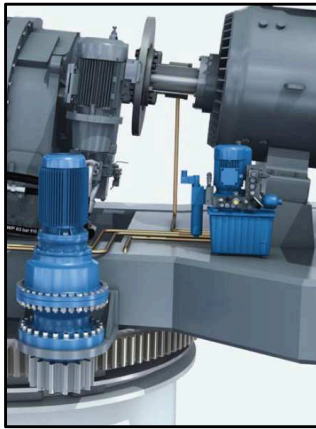
Aunque un aerogenerador a eje vertical no necesita una orientación es decir tiene buenas prestaciones con vientos inestables pero su par es muy pequeño con respecto a un eje horizontal, y funciona siempre pero con menos prestaciones que un aerogenerador bien orientado (ecosources, 2008).

### 2232 Sistema de orientación

En los pequeños aerogeneradores, la góndola se puede orientar según una deriva o timón regulándose a través de la sola fuerza del viento (cf. Ilustración 11). Sin embargo, en los aerogeneradores grandes, la góndola es muy pesada para estar orientada en el viento por una deriva o timón.

Así, un autómatas manda a un servomotor modificar la dirección de la góndola en función de la indicación del viento recibida de la veleta colocada sobre el aerogenerador. El sistema de orientación hace girar la góndola a través del pivote de orientación (corona

dentada) utilizando motores eléctricos a fin de poner el rotor frente al viento (Wiki Éolienne, 2013).



**Ilustración 11 Sistema de orientación: activo (Bosch Rexroth, 2012) y pasivo con timón articulado (Bornay, 2012)**

### **2233 Sistema de regulación y de protección**

Es un elemento esencial de la supervivencia de un aerogenerador, a fin de evitar la destrucción del aeromotor cuando el viento es demasiado violento. Es necesario equipar un aerogenerador de un sistema permitiendo disminuir las tensiones mecánicas sobre la máquina en caso de sobrevelocidad del rotor. Estos sistemas pueden ser más o menos finos, y/o automáticos (Wiki Éolienne, 2013).

Dos sistemas de frenado están instalados sobre un aerogenerador a fin de proteger el generador eléctrico contra la sobreproducción y el sobrecalentamiento, y evita un destrozo mecánico importante del aerogenerador él mismo.

#### **Sistema de freno manual**

Es el medio lo más simple para evitar la destrucción de una máquina, un operador puede inmovilizar el aerogenerador cuando el viento tiene una cierta velocidad.

Se puede hacer gracias a un freno, cambiando la orientación de la hélice (hélice colocada paralela al viento - posición de bandera -) o modificando el calado de las palas a fin de obtener un par motor nulo.

#### **Sistema de freno automático**

##### ***Regulación y frenado por balanceo del aerogenerador***

El balanceo del aerogenerador implica una reducción de la superficie efectiva recorrida por el rotor. Se hace con una aumentación del ángulo formado entre el eje de rotación del

rotor y la dirección del viento o haciendo bascular la hélice hacia arriba o haciéndola girar de lado. Así el rendimiento y la potencia producida baja muy rápido.

#### Regulación y frenado por timón articulado

A partir de una cierta velocidad del viento, el timón se repliega progresivamente y automáticamente atravesado el eje del viento. No sólo frena el flujo, ralentizando la velocidad, pero desvía el aerogenerador de la perpendicular al viento.

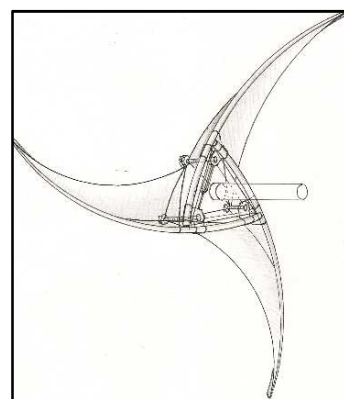
Se habla de borrado lateral o de "furling" en este caso preciso, muy utilizado sobre los pequeños aerogeneradores ya que es un sistema simple a aplicar.

#### **Sistema de regulación aerodinámico**

##### El paso variable

El paso variable o pitch control es un sistema de regulación aerodinámico activo (cf. Ilustración 12): permite hacer variar el ángulo de calado de las palas en el cubo gracias a gatos hidráulicos en torno a un eje longitudinal para recuperar el máximo de viento y limitar la potencia para velocidades superiores a la velocidad nominal. Esta variación arrastra una disminución o aumentación de la sustentación de la pala pues del par motor.

Un sistema de control permite determinar la mejor posición de las palas en función de la velocidad del viento y manda el sistema hidráulico a fin de ejecutar el posicionamiento. Además, permite maximizar la energía absorbida por el aerogenerador para hacerla arrancar.



**Ilustración 12 Sistema de regulación: paso variable (Bosh Rexroth, 2013) y paso fijo con un perfil particular al viento (Ekotekoo, 2012)**

Es el sistema lo más eficaz porque permite una regulación constante y casi perfecta de la rotación de generador pues de la potencia, pero es un dispositivo complejo y exige más mantenimiento.

### El paso fijo

La designación "paso fijo" (cf. Ilustración 12) es impropia puesto que designa una pala con calado fijo pero el paso varía a lo largo de la envergadura de la pala (como el paso variable, la pala es rodada).

El paso fijo, también llamado Stall control, es un sistema de regulación aerodinámico pasivo. Las palas están fijas con respecto al cubo. Este sistema impide las palas, diseñadas especialmente para sufrir descolgamientos, acelerar utilizando el efecto Stall, procediendo como un freno por el descolgamiento aerodinámico al nivel de la pala del rotor. En efecto, gracias a su forma, la pala no puede acelerar aunque el viento aumente.

Este tipo de regulación está utilizado en el caso de los pequeños aerogeneradores porque no necesita piezas móviles o sistema de regulación en el rotor. Es un sistema simple, fiable y menos costoso pero engendra pérdidas de eficacia al arranque y con las grandes velocidades.

### Los alerones tipo flap

Los flaps se abren automáticamente si la velocidad del viento se vuelve excesivo o si hay un problema y ralentizan las palas provocando un descolgamiento aerodinámico.

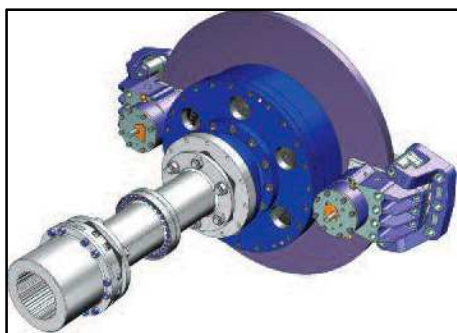
### Los alerones tipo spoiler

Los spoilers están encastrados en el borde de ataque de las palas (freno aerodinámico). Cada spoiler está mantenido en su alojamiento por un muelle de retorno y una masa tarados en función de la posición del spoiler en el borde de ataque de la pala. A partir de una cierta velocidad lineal, la fuerza centrífuga provoca la eyección de todos los spoilers en el mismo momento modificando así el perfil aerodinámico de la pala.

### ***Paro por freno de disco automático***

Un detector de velocidad activa, a un nivel predeterminado, un mecanismo automático de paro completo (no de desaceleración) del aerogenerador. Cuando el viento baja de intensidad, el freno está relajado.

Los aerogeneradores a paso fijo y regulación Stall tienen a menudo, por seguridad, dos frenos de discos (cf. Ilustración 13).



**Ilustración 13 Freno de disco (Twiflex, 2012)**



### ***Regulación activa por descolgamiento aerodinámico***

También llamada "active Stall", este sistema está utilizado por los aerogeneradores de importantes potencias. Tiene las ventajas de la regulación pasiva y activa a fin de controlar de manera más precisa la producción de energía.

### **Los mecanismos de paro**

Son los dispositivos permitiendo inmovilizar el rotor a fin de hacer reparaciones, trabajos de mantenimiento u otras operaciones.

### **2234 Generador**

Dos tipos de generadores pueden ser utilizados: el asíncrono con multiplicador o el síncrono directamente unido al eje del rotor. Cada uno tiene sus ventajas y desventajas (Wiki Éolienne, 2013).

Los generadores síncronos se desarrollan cada vez más y también existe aerogeneradores con multiplicador y generador síncrono (ejemplo: Gamesa para los aerogeneradores grandes).

#### **Generador asíncrono**

- ✓ Ventajas: sistema simple, utilizado desde mucho tiempo, y coste menor.
- ✓ Desventajas: pérdidas de energía debidas al multiplicador, vibraciones más importantes, ruido más importante, desgaste más importante de las piezas (mantenimiento), riesgo de incendio más importante, calidad menor de la energía producida (perturbaciones en la red).

#### **Generador síncrono**

- ✓ Ventajas: peso menor (no multiplicador), reducción del número de piezas (ruido menor, reducción de carga, aumentación de la vida útil, disminución del mantenimiento), buen rendimiento.
- ✓ Desventajas: tecnología utilizando mucho los imanes (precio medio-carro y material más en más raro) y necesidad una conversión eléctrica a fin de guardar una frecuencia constante.

### **224 Dos tipos de aerogeneradores**

Después haber visto las varias tecnologías existentes en los aerogeneradores, necesita aplicarlas en función del tipo de aerogenerador deseado, eligiéndose con la potencia eléctrica.

Se puede clasificar los aerogeneradores en función de sus tamaños (pequeños y grandes), y sus criterios principales: las características y las tecnologías utilizadas (energieplus, 2013) y (Wong, 2006).

Lo que sigue es una visión general y sintetiza del mercado. Ver los comentarios para más precisión.

### Características

	Altura	Diámetro	Potencia
Aerogeneradores pequeños	10 – 35 m	2-10 m	0,1 – 20 kW
Aerogeneradores grandes	100 m	50 m	2 MW

### Tecnologías

	Orientación	Regulación	Generador
Aerogeneradores pequeños	Pasiva (timón, desviación, inercia)	Pasiva (spoiler, furling, paso fijo, flap)	Síncrono
Aerogeneradores grandes	Activa (engranaje)	Activa (paso variable y stall)	Asíncrono

### Comentarios

- ✓ Un aerogenerador se caracteriza sobre todo con su potencia y pues de su aplicación (domestica, comercial...)
- ✓ Si un aerogenerador tiene una potencia entre 20 kW y 2 MW, así se puede llamarlo como un aerogenerador de tamaño mediano siendo una mezcla entre los dos con a menudo o una orientación activa o una regulación activa pero no ambas.
- ✓ Hay excepciones como un pequeño aerogenerador con orientación y regulación activas como se hablará en la parte siguiente 31, pero no es frecuente ya que a la vista de la potencia, no es útil.

## 23 Balance

Primero, *LabVolt* vende un entrenador didáctico simulando un aerogenerador grande como lo muestra su estudio. Propone un multiplicador de 5 kW (y no un aerogenerador de 5 kW como lo he pensado al principio porque su generador asíncrono hace solo 187 W), un sistema de orientación activa (engranaje), una unidad hidráulica asociada a un freno de disco del eje secundario pero un sistema de regulación pasiva (paso fijo). Se puede añadir un sistema simulando el viento con motorreductor y cadena (LabVolt, 2013).

Además, ningún otro entrenador tiene todas las tecnologías en un solo producto y el aerogenerador puede presentarse con varias posibilidades (módulos complementarios, diseño del conjunto global o de partes...), lo que nos da una cierta libertad en el proyecto.

Sin embargo, *Edibon* quiere competir principalmente con el modelo de *LabVolt*, puesto que esta empresa es una referencia en los equipamientos didácticos en el mercado de los Estados Unidos y Canadá, pero no se ocupa de los otros mercados como *Edibon* lo hace.

Segundo, en el dominio de los aerogeneradores grandes, le falta al modelo *LabVolt* un sistema de regulación activo con paso variable, aunque esta empresa prefiere focalizarse en el multiplicador, quedando la primera fuente de fallos, defectos y mantenimiento.

Para diferenciarse de *LabVolt*, mostrar un real aerogenerador alrededor de 5 kW y adaptarlo en el caso de un entrenador didáctico sería a lo mejor interesante, depende mucho de las posibilidades (precio y plazo sobre todo) y de las disponibilidades (propenso a vender su producto en un caso didáctico) de las empresas vendiendo aerogeneradores.

Sin embargo, según el análisis sobre los aerogeneradores, solo los aerogeneradores grandes poseen todas las tecnologías (excepto seguramente ciertos prototipos pero no comercializados), pues si se quiere hacer un producto real lo más común a escala reducida, se puede adaptar un aerogenerador ya existente de baja potencia o sino diseñar del principio al final el equipamiento en función nuestro deseo y habilidades.

Finalmente, de esta parte, salen dos soluciones viables:

- ✓ Adaptar un aerogenerador ya existente.
- ✓ Diseñar completamente un aerogenerador.

La parte siguiente nos permitirá elegir la mejor opción para *Edidon International* después estudiar los diferentes casos al nivel del precio principalmente, del plazo (aunque lo recuerdo, se tiene una cierta margen debida a una prioridad *actual* mínima de este proyecto) y del interés de la empresa.

### 3 Estudio de las soluciones potenciales

Esta parte trata de la segunda etapa en la realización de un entrenador didáctico de góndola de aerogenerador: el estudio de las soluciones potenciales.

La parte anterior nos ha permitido caracterizar lo que existe y se hace en el dominio de los entrenadores didácticos y aerogeneradores. De esa, han salido dos opciones viables.

El estudio de las soluciones potenciales se divide así en dos partes:

- ✓ Adaptar un aerogenerador ya existente.
- ✓ Diseñar completamente un aerogenerador.

#### 31 Adaptación de un aerogenerador ya existente

Adaptar un aerogenerador ya existente consiste en dos etapas mínimas:

- ✓ Elegir un aerogenerador vendido por una empresa.
- ✓ Adaptarlo para su utilización didáctica.

##### 311 Contexto

Buscamos un aerogenerador pequeño (aproximadamente de potencia entre 1 y 10 kW para acercarnos del modelo de *LabVolt*) con las características de un grande, es decir orientación y regulación activas (sistema de giro con engranaje y paso variable), y con multiplicador.

Las grandes empresas conocidas no son interesantes para nosotros. En efecto, esas trabajan con parques eólicos y así se componen principalmente de grandes aerogeneradores de potencia superior a 800 kW. Algunas tienen más pequeños aerogeneradores pero no es común.

Por eso, debemos buscar las pequeñas y medias empresas pero son múltiples (Santianes, Martínez, & Jiménez, 2008). La mayor parte proponen un único producto de donde una cierta dificultad: al final, he pasado mucho tiempo a buscarlas y ponerme en contacto con los diferentes proveedores para un resultado más que moderado.

En efecto y desgraciadamente, son aerogeneradores para los particulares principalmente es decir tienen orientación y regulación pasivas, y sin multiplicador para la mayoría. Eso se explica fácilmente: estos tres sistemas no sirven a nada para los pequeños aerogeneradores, porque no hay las mismas expectativas (solo para la consumación de un particular) y exigencias que en el caso del suministro de una ciudad.

A pesar de todo esto, existen muchas empresas en el mundo buscando de manera inteligente y minuciosa. He buscado esencialmente en Francia, España y en el mundo.

## 312 Método

La primera etapa es buscar y encontrar los aerogeneradores pareciendo ser capaces de responder a nuestras necesidades y/o acercarse de estas. Se hace consultando a partir de las informaciones encontradas en los varios sitios Internet y/o folletos de los productos Sin embargo, siendo más o menos imprecisas (dependen de los casos), necesitan más precisiones antes de saber si se puede ser interesante y sobre todo tomar una decisión.

Se busca un aerogenerador real equipado de las características siguientes: horizontal, tripalas, potencia de 5kW, servo control de regulación y de orientación, y presencia de un multiplicador. De hecho, un pequeño aerogenerador con propiedades semejantes a un gran aerogenerador.

Segundo, necesita presentar nuestro proyecto, es decir diseñar un entrenador didáctico de una góndola de aerogenerador a fin de estudiar su funcionamiento según diferentes condiciones, simulando diversas averías para el dominio escolar.

Tercio, ponerse en contacto con los varios proveedores de aerogeneradores pequeños y grandes (cf. Anexo 2) permite completar las informaciones precedentes para caracterizar y clasificar (lista de prioridad) el interés de cada proveedor/aerogenerador en función de los otros.

Después de conocer exactamente el aerogenerador vendido, las conversaciones tienen varios objetivos sobre la posibilidad de:

- ✓ Comprar su producto vendido en calidad de equipo didáctico técnico: por ejemplo, comprar solo la góndola y no todo el conjunto con la torre, o cambiar el tamaño de las palas no interesante en nuestro caso (viento simulado).
- ✓ Comprar su producto adaptándole a las características deseadas: por ejemplo, añadir un sistema de orientación si no existe, mientras que hay las otras funciones.
- ✓ Comprar partes de su producto: por ejemplo, comprar solo el sistema de orientación o el de regulación para subcontratar y hacer más fácil nuestra labor.
- ✓ Negociar los precios: bajar los precios y plazos lo más posible para ser rentable.

Por otro lado, la clasificación entre los diferentes aerogeneradores/proveedores se hace según cuatros criterios por orden decreciente:

1. Tecnología utilizada: al menos dos de los tres elementos esenciales entre el multiplicador, el sistema de regulación activa y el sistema de orientación activa.

2. Precio: el precio total es decir el único producto y otros costes (particularmente el transporte, o la diferencia entre vender una unidad o cien).
3. Capacidad de adaptación en nuestro sentido: si la empresa se hace cargo de cambios en su producto (añadir un multiplicador por ejemplo) y/o vender partes de su aerogenerador (subcontratar algunas partes).
4. Procedencia: España prioritaria a Europa y luego otros continentes.
5. Plazo: depende del interés de *Edibon* a corto/medio/largo plazo, pero actualmente no es una prioridad requiriendo un plazo predeterminado.

Además, para mostrar el interés de la empresa en esta colaboración, se añade que luego la fase de prototipo pasada se preve de vender entre diez y veinte unidades por año. Y como *Edibon* trabaja casi únicamente al internacional, su producto podría hacerse conocer muy fácilmente y en todo el mundo. Parece una buena publicidad de venta si la empresa duda inicialmente porque vender solo un producto para hacer un "prototipo" no es interesante para una empresa, pero contribuir a su publicidad de manera gratuita en el mundo son argumentos de venta validos mejor.

### **313 Resultado**

Se presenta aquí la lista final de los aerogeneradores de tamaños pequeños y medianos existentes en el mercado y respondiendo a nuestra espera. Es una lista completa que he actualizado a lo largo de mis tomas de contacto.

Al nivel de las colores, el azul corresponde a los productos que al principio me necesitaba una información más completa al nivel de las características, el rojo los productos interesantes según la descripción de sus características encontrada, el negro los productos conocidos pero no interesantes, y el violeta los productos mantenidos.

Se puede ver la lista total en Anexo 3 para constatar el nombre consecuente de búsqueda que he podido hacer en un mes y medio.

Empresa	Orientación		Regulación		Potencia (kW)		Multip	Precio euro	Plazo sem	Comentarios	Elec
	Pasiva	Activa	Pasiva	Activa	Mín	Máx					
CF Green Energy		Accionador		Accionador	6	50	No	63000		no modificaciones posibles (torre, palas)	No
Kestrel	Timón			Paso variable	3.5		No	4400			No
Aeolos		X	No		5		No	6890	5	modificación posible (añadido de una regulación activa pero precio aumenta 20000 euros incluyendo concepción))	Si
Electrovent	X		X		0,3	0,5					No
Eole-System		Accionador		Accionador	10			25300	2		Si
Bornay	Timón		X		0.8	6	No	9995	1 a 8	finalmente no paso variable	No
SuperWind	Desviación		X		0.35						No
Gaia Wind			Stall		11		Si			bipala	No
Aircon		Engranaje	Stall		9.8		No	33000	8	precio sin la torre	No
Evance Wind	Timón y rotor			Control reactivo	5		No			no modificaciones posibles	No
Aventa		Azimut		Paso variable	6.5		No			ya no existe	No
Quietrevolution					5					no mercado español	No

Endurance Wind Power			Stall	5	Si	no mercado europeo	No
Temiskaming Independent Energy	X		Furling	0.9 3.2			No
Xzeres Wind	Timón		Stall		No		No
Northeast Wind Energy		Motor	Paso variable	1.5		ya no existe	No
Aerosmart		X	Stall	5	Si	no interesado	No
AllEarthRenewables			Stall Paso variable	2,5	No	nuevo dominio : energía solar	No
Cyclone wind generators	X		X	5	No		No
Finnwind Oy				4	No	no mercado español	No
JSC Wind Energy Company	Timón			5	No	aerogeneradores grandes	No
TozziNord		X	Paso variable	10	Si	no modificaciones posibles (torre, palas)	No



### 314 Análisis

A partir de la lista resumida precedente, se saca dos aerogeneradores interesantes para nuestro caso (en violeta): los productos de Eole-System (francés) y de Aeolos (inglés).

El primero *Eole-System* (cf. Ilustración 14) tiene dos características importantes: sistemas de orientación y de regulación activos (como en los aerogeneradores grandes). También el plazo de 2 semanas es muy interesante. Pero, no tiene un multiplicador (como lo hemos dicho antes, al visto de la potencia recuperada bajada un sistema de multiplicador y de generador asíncrono no sirve) y su potencia es más grande que lo que se quiere (10 kW).

Además su coste de 25000 euros parece mucho (*Edibon* quería no sobrepasar 10000 euros al principio...). Se puede añadir que el producto se puede venderse sin torre (o una torre adaptable) y cambiando el tamaño de las palas como lo muestra la ilustración.

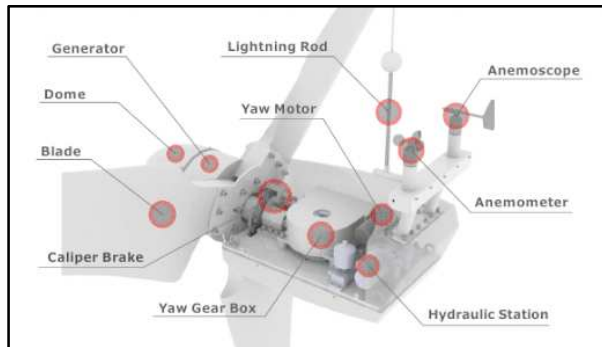


**Ilustración 14 Aerogenerador Eole-System: presentación del aerogenerador en un salón y diseño del mecanismo en taller (Eole-System, 2012)**

El segundo *Aeolos* no tiene un multiplicador (como antes) sino un sistema de orientación activo y una potencia de 5 kW para un precio abordable de 7000 euros pero sin sistema de regulación (cf. Ilustración 15). El plazo es muy largo pero no es el principal problema.

Además, después una larga discusión, se puede añadir un sistema de regulación pero con un coste superior para hacer el nuevo diseño de este tipo de aerogenerador (se basaría en sus modelos de 25 kW) de 20000 euros mínimo todo incluido y también con un plazo aún más grande. A propósito del multiplicador, no quieren porque no es necesario. La empresa se interesa mucho ya que desarrollar un nuevo aerogenerador puede ser

interesante para ella al visto de su originalidad y así se puede demarcarse de su competencia colaborando con nosotros.



**Ilustración 15 Aerogenerador Aeolos: vista del despiece y representación completa (Aeolos, 2012)**

Si no, en observaciones generales sobre las diferentes empresas, se puede citar que:

- ✓ La mayoría de las empresas no quieren modificar sus productos como *CF Green Energy* o *Tozzi Nord* ("la" empresa la más interesante porque presenta todos los sistemas deseados, pero no es interesado para nuestra aplicación) no queriendo vender su producto sin torre, lo que cuesta caro y sin interés para nosotros.
- ✓ Ninguna empresa quiere vender algunas partes de sus productos porque representan a menudo patentes o sistemas propios a cada empresa, y se desconfían del espionaje industrial, sobretodo que se quiere estudiar y mostrar el funcionamiento de un aerogenerador, así nuestros intereses divergen.
- ✓ Algunas empresas no venden sus productos en el mercado español y así las elecciones de aerogeneradores se restringen.
- ✓ Desgraciadamente, otras empresas parecían interesantes pero no responden (correo electrónico o teléfono), dicen que tienes algunas tecnologías pero no (abuso de términos o no he bien entendido su significación), o desde hace cinco años, han cambiado sus dominios (ahora hacen aerogeneradores grandes, se focalizan en la energía solar, y/o pertenecen a una otra empresa) porque no he encontrado un lista de aerogeneradores actualizada a hoy, o ya no existen.

## 32 Diseño completo de un aerogenerador

Antes de diseñar nuestro propio aerogenerador, debemos estudiar el de *LabVolt*.

Para obtener un coste global de un diseño completo del aerogenerador, se hacen las etapas siguientes:

- ✓ Identificar y describir los elementos utilizados por la competencia especialmente *LabVolt* mediante dos soportes (video de explicación y documentos técnicos).
- ✓ Determinar el coste global de su producto, buscando los costes de cada uno de los elementos componiendo el sistema, con la ayuda de los fabricantes habituales de la empresa *Edibon* o de otras empresas en caso de que esta última no los maneje.

### 321 Identificación de los elementos de *LabVolt*

Se identifican y se describen con lo más detalle posible los diferentes elementos y partes utilizados por *LabVolt* mediante primero su video de presentación (LabVolt, 2012) y segundo sus documentos técnicos (LabVolt, 2013) permitiendo de obtener una identificación completa de los elementos.

Después, se encuentra la lista semi-detallada (completa en Anexo 4) pero no exhaustiva de los elementos y luego la identificación sobre imágenes tomadas del modelo de *LabVolt* a fin de situar los elementos.

Lista semi-detallada no exhaustiva de los elementos del modelo de *LabVolt*

Elementos		Características Lab Volt
<b>Requisito de potencia</b>		220V 6 A 220/380 V 50 Hz
<b>Estación de trabajo móvil</b>	<b>0.</b>	
	0.1	Mecanismo de bloqueo
	0.2	Estructura
<b>Sistema de guiñada</b>		dimensiones 1.7 x 1.8 x 0.8 m, peso 576 kg
	<b>1.</b>	
	1.1	Motor reductor
	1.2	Piñón
	1.3	Corona giratoria estándar
	1.4	Columna
	1.5	Tubo hidráulico
	1.6	Freno hidráulico
	1.7	Sensor de torsión de cable
	1.8	Codificador óptico
	1.9	Conectores
<b>Sistema de viento</b>		
	<b>2.</b>	
	2.1	Motor reductor
	2.2	Rueda dentada
	2.3	Cadena
<b>Grupo motopropulsor</b>		
	<b>3.</b>	
	3.1	Buje
	3.2	Palas
	3.3	Disco
	3.4	Sensor de velocidad
	3.5	Dispositivo de cerradura del rotor
	3.6	Eje principal de baja velocidad

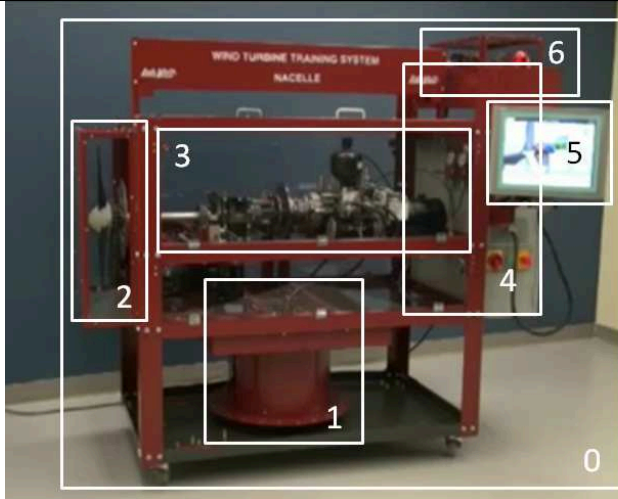
	3.7	Palieres	2 unidades, (diámetro 45mm)
	3.8	Unión eje-cubo	diámetro 45mm, (>60Nm)
	3.9	Reductora	Ratio 38,45
	3.10	Vista en corte	Placa en Lexan (policarbonato)
	3.11	Aceite	1.3 L, aceite sintética CLP ISO PAO VG220
	3.12	Tapón con mirilla de vidrio	
	3.13	Tapón magnético	
	3.14	Tapón respiradero	
	3.15	Disco	254mm
	3.16	Sensor de velocidad	Interruptor de proximidad inductivo
	3.17	Eje principal de alta velocidad	
	3.18	Freno de disco hidráulico	Muelle, hidráulico, 3Nm
		Acoplamiento multidisco de	
	3.19	prueba de torsión	(>5Nm)
	3.20	Disco	250mm
	3.21	Sensor de vibración	4-20 mA contra reacción
			Inducción 187 W (1/4 HP) 380V 0.8 A 4 polos (1500 rpm)
	3.22	Generador	Inducción 249 W (1/3 HP) 208V 1.7 A 4 polos (1800 rpm)
<b>Unidad hidráulica</b>	<b>4.</b>		
	4.1	Válvulas (solenoides)	
	4.2	Válvulas de retención	
	4.3	Válvulas de alivio ajustable	
	4.4	Acumulador	
	4.5	Tanque hidráulico	3.8 L
	4.6	Filtro	
	4.7	Indicadores hidráulicos	2 unidades
	4.8	Bomba manual	57-64 bar
	4.9	Aceite	ISO32 o AW32
	4.10	Presostato regulable	
	4.11	Transmisores de presión	
	4.12	Estanquidad	
<b>Panel eléctrico</b>	<b>5.</b>		
	5.1	Placa de vidrio	
	5.2	Alimentación de potencia	24V y 5 Vdc

	5.3	Series de contactores	
	5.4	Interruptores (Disyuntores)	
	5.5	Fusibles	10 unidades
	5.6	Variador de frecuencia variable	
	5.7	Entradas/Salidas remotas para PLC	
	5.7.1		Entradas digitales 24 Vdc
	5.7.2		Salidas de relé
	5.7.3		Entradas analógicas 4-20 mA
	5.7.4		Entradas analógicas 0-10 V
	5.7.5		Contadores de alta velocidad
	5.7.6		Salidas analógicas 0-10 V
	5.7.7		Entradas de termopar
<b>Ordenador industrial</b>	<b>6.</b>		
	6.1	Pantalla táctil	
	6.2	Software HMI	Siemens WinCC Flexible RT512
	6.3	Software PLC	Siemens WinAC RTX 2009
	6.4	Brazo móvil	
	6.5	Ordenador	Siemens IPC477C Pro, Windows XP, Ethernet (Profinet) Profibus USB Serial DVI
<b>Sensores de clima</b>	<b>7.</b>		
	7.1	Motor	
	7.2	Anemómetro	Señal de pulso
	7.3	Veleta	Señal 0-5 VDC
<b>Protecciones</b>	<b>8.</b>		
	8.1	Botones de emergencia	2 unidades
	8.2	Interruptores de fin de carrera	6 unidades, eléctrico
	8.3	Embase/Pies	
	8.4	Bisagras	
	8.5	Ruedas	
	8.6	Anillos de carga	
	8.7	Tornillos	
<b>Accesorios incluidos</b>	<b>9.</b>		
	9.1	Candado y etiquetas de peligro	
	9.2	Accesorios de aceite	
	9.2.1		Carter
	9.2.2		Tubos
	9.2.3		Taza medidora
		Herramienta de alineación del	
	9.3	acoplamiento	

	9.4	Pistola y tubo de grasa
	9.5	Llave dinamométrica
	9.6	Llaves estándares
	9.7	Llaves Allen
	9.8	Cuñas
<b>Otros</b>	<b>10.</b>	
<b>Software</b>	<b>11.</b>	
		Diferentes parámetros de la
	11.1	góndola
		Camino de la simulación del
	11.2	viento
	11.3	Sección de tendencia
	11.4	Sección de alarma
	11.5	Sección de defectos
	11.6	Modo manual
	11.7	Servicio Windows

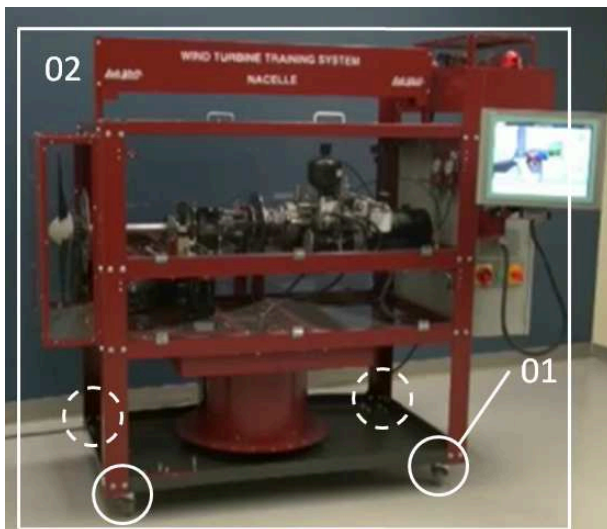
## Identificación de los elementos mediante imágenes del modelo de *LabVolt*

(cf. Ilustraciones de 16 a 28 (LabVolt, 2012))



**Ilustración 16** Entrenador didáctico de LabVolt

- 0 Estación de trabajo móvil
- 1 Sistema de guiñada
- 2 Sistema de viento
- 3 Grupo motopropulsor de la góndola
- 4 Panel eléctrico
- 5 Ordenador industrial a pantalla táctil con HMI y un software PLC
- 6 Sensores de clima



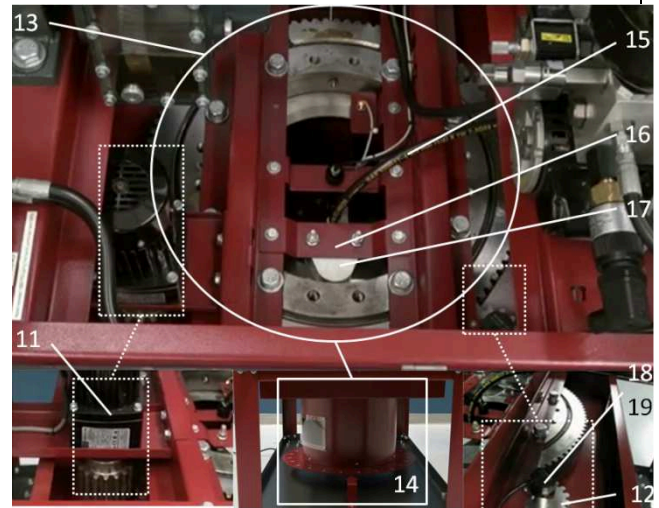
**Ilustración 17** Estación de trabajo móvil

- 0 Estación de trabajo móvil
- 01 Mecanismo de bloqueo
- 02 Estructura

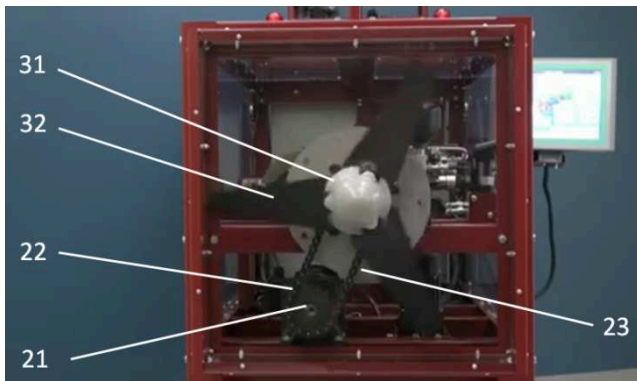


## 1 Sistema de guiñada

- 11 Motor reductor
- 12 Piñón
- 13 Corona giratoria estándar
- 14 Columna
- 15 Tubo hidráulico
- 16 Freno hidráulico
- 17 Sensor de torsión de cable
- 18 Codificador óptico
- 19 Conectores



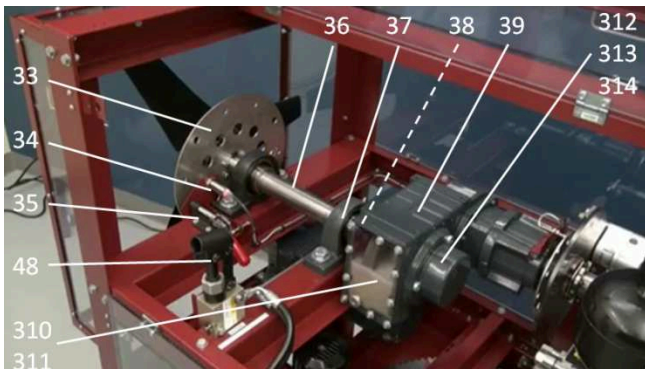
**Ilustración 18 Sistema de guiñada**



**Ilustración 19 Sistema de viento**

## 2 Sistema de viento

- 21 Motor reductor
- 22 Rueda dentada
- 23 Cadena
- 3 Grupo motopropulsor de la góndola
- 31 Bujes
- 32 Palas



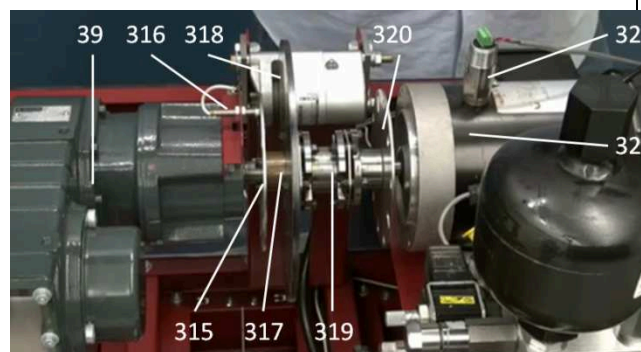
**Ilustración 20 Grupo motopropulsor de la góndola (1)**

### **3 Grupo motopropulsor de la góndola**

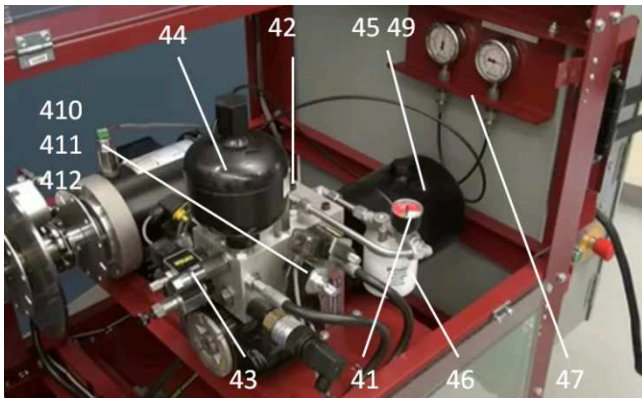
- 33 Disco
- 34 Sensor de velocidad
- 35 Dispositivo de cerradura del rotor
- 36 Eje principal de baja velocidad
- 37 Palieres
- 38 Unión eje-cubo
- 39 Reductora
- 310 Vista en corte
- 311 Aceite
- 312 Tapón con mirilla de vidrio
- 313 Tapón magnético
- 314 Tapón respiradero
- 4 Unidad hidráulica
- 48 Bomba manual

### **3 Grupo motopropulsor de la góndola**

- 39 Reductora
- 315 Disco
- 316 Interruptor de proximidad inductivo
- 317 Eje principal de alta velocidad
- 318 Freno de disco hidráulico
- 319 Acoplamiento multidisco de prueba de torsión
- 320 Disco
- 321 Sensor de vibración
- 322 Generador



**Ilustración 21 Grupo motopropulsor de la góndola (2)**



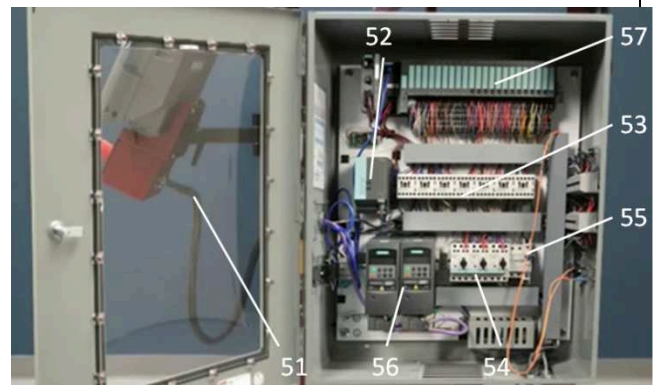
**Ilustración 22 Unidad hidráulica**

#### **4 Unidad hidráulica**

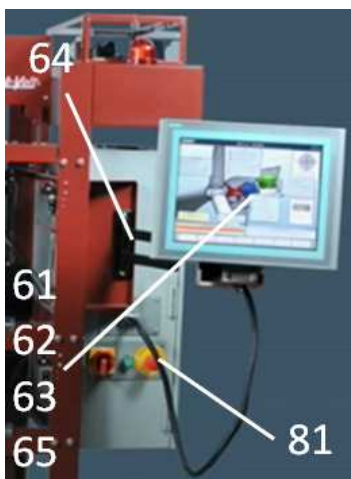
- 41 Válvulas (solenoides)
- 42 Válvulas de retención
- 43 Válvulas de alivio
- 44 Acumulador
- 45 Tanque hidráulico
- 46 Filtro
- 47 Indicadores hidráulicos
- 49 Aceite
- 410 Presostato regulable
- 411 Transmisores de presión
- 412 Estanquidad

#### **5 Panel eléctrico**

- 51 Placa de vidrio
- 52 Alimentación de potencia
- 53 Series de contactores
- 54 Interruptores (Disyuntores)
- 55 Fusibles
- 56 Variador de frecuencia variable
- 57 Entradas/Salidas remotas para PLC



**Ilustración 23 Panel eléctrico**



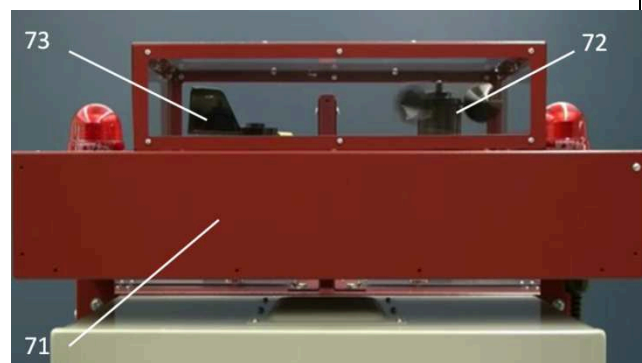
**Ilustración 24 Ordenador industrial**

## **6 Ordenador industrial**

- 61 Pantalla táctil
- 62 Software HMI
- 63 Software PLC
- 64 Brazo móvil
- 65 Ordenador
- 8 Protecciones
- 81 Botones de emergencia

## **7 Sensores de clima**

- 71 Motores
- 72 Anemómetro
- 73 Veleta



**Ilustración 25 Sensores de clima**

## **8 Protecciones**

- 81 Botones de emergencia
- 82 Interruptores de fin de carrera
- 83 Embase(Pies
- 84 Bisagras
- 85 Ruedas
- 86 Anillos de carga
- 87 Tornillos

## **9 Accesorios incluidos**

- 91 Candado y etiquetas de peligro
- 92 Accesorios de aceite
- 93 Herramienta de alineación del acoplamiento
- 94 Pistola y tubo de grasa
- 95 Llave dinamométrica
- 96 Llaves estándares
- 97 Llaves Allen
- 98 Cuñas

## **10 Otros**



## 11 Software

111 Diferentes parámetros de la góndola

112 Camino de la simulación del viento

113 Sección de tendencia

Ilustración 26 Software (1)

## 11 Software

113 Sección de tendencia

114 Sección de alarma

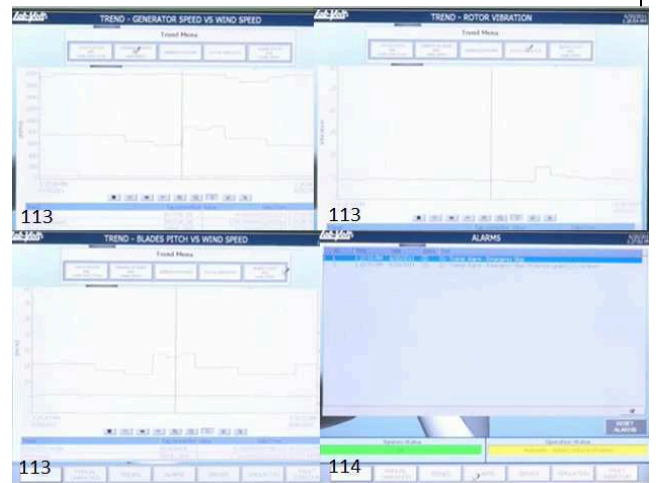


Ilustración 27 Software (2)



## 11 Software

115 Sección de defectos

116 Modo manual

117 Servicio Windows

Ilustración 28 Software (3)

### **322 Determinación del coste global del modelo de *LabVolt***

Encontrar los diferentes costes de cada uno de los elementos componiendo el sistema no era muy fácil, o mejor dicho fastidioso.

En efecto, a pesar de los datos recuperados mediante el equipamiento didáctico de *LabVolt*, no hemos hecho ningún plano u otra cosa permitiendo bien mostrar lo que deseamos. Y así, muchos fabricantes dicen que no entienden el problema y que, sin diseño con dimensionamiento - que a esta etapa, no se lo permite antes de elegir qué solución será elegida - son incapaces de dar ninguno coste.

Sin embargo, algunos pueden/quieren bien dando largas gamas de costes, o si no he utilizado catálogos o sitios internet para encontrar la mayoría de todos los costes. Con estos dos medios de buscar, he podido determinar un coste de cada uno de los elementos y sobre todo estos me han dado el coste global de un producto tipo él de *LabVolt*.

He completado los costes con la ayuda de los fabricantes habituales de la empresa *Edibon*, además de los costes encontrados a fin de comparar y homogenizar lo más posible los diferentes costes. Se puede citar principalmente (Axes Industries, 2013), (Norelem, 2013), (Conrad, 2013) y (RadioSpares).



## Lista de los costes de cada uno de los elementos

Elementos		Características Lab Volt	Precio	
			Min	Max
<b>Requisito de potencia</b>		220V 6 A 220/380 V 50 Hz		
<b>Estación de trabajo móvil</b>	<b>0.</b>		<b>650</b>	<b>1150</b>
	0.1	Mecanismo de bloqueo	150	350
	0.2	Estructura dimensiones 1.7 x 1.8 x 0.8 m, peso 576 kg	500	800
<b>Sistema de guiñada</b>	<b>1.</b>		<b>2270</b>	<b>3135</b>
	1.1	Motor reductor	200	350
	1.2	Piñón	40	80
	1.3	Corona giratoria estándar	1000	1200
	1.4	Columna	150	200
	1.5	Tubo hidráulico	20	40
	1.6	Freno hidráulico	400	500
	1.7	Sensor de torsión de cable	300	400
	1.8	Codificador óptico	150	350
	1.9	Conectores	10	15
<b>Sistema de viento</b>	<b>2.</b>		<b>400</b>	<b>750</b>
	2.1	Motor reductor	200	350
	2.2	Rueda dentada	150	300
	2.3	Cadena	50	100
<b>Grupo motopropulsor</b>	<b>3.</b>		<b>1955</b>	<b>3430</b>
	3.1	Buje	50	60
	3.2	Palas	450	500
	3.3	Disco	50	60
	3.4	Sensor de velocidad	80	180
	3.5	Dispositivo de cerradura del rotor	50	100
	3.6	Eje principal de baja velocidad	100	200
	3.7	Palieres	50	150
	3.8	Unión eje-cubo	45	105
	3.9	Reductora	200	400
	3.10	Vista en corte	40	60

		1.3 L, aceite sintética CLP ISO PAO			
	3.11	Aceite	VG220	5	10
	3.12	Tapón con mirilla de vidrio		1	5
	3.13	Tapón magnético		2	5
	3.14	Tapón respiradero		2	5
	3.15	Disco	254mm	40	50
		Interruptor de proximidad			
	3.16	Sensor de velocidad	inductivo	80	180
	3.17	Eje principal de alta velocidad		100	200
	3.18	Freno de disco hidráulico	Muelle, hidráulico, 3Nm	200	250
		Acoplamiento multidisco de			
	3.19	prueba de torsión	(>5Nm)	120	310
	3.20	Disco	250mm	40	50
	3.21	Sensor de vibración	4-20 mA contra reacción	100	200
			Inducción 187 W (1/4 HP) 380V		
	3.22	Generador	0.8 A 4 polos (1500 rpm)		
			Inducción 249 W (1/3 HP) 208V		
			1.7 A 4 polos (1800 rpm)	150	350
Unidad					
hidráulica	4.			935	1875
	4.1	Válvulas (solenoides)		20	30
	4.2	Válvulas de retención		15	25
	4.3	Válvulas de alivio ajustable		10	20
	4.4	Acumulador		200	400
	4.5	Tanque hidráulico	3.8 L	40	80
	4.6	Filtro		20	40
	4.7	Indicadores hidráulicos	2 unidades	80	140
	4.8	Bomba manual	57-64 bar	300	600
	4.9	Aceite	ISO32 o AW32	20	30
	4.10	Presostato regulable		100	200
	4.11	Transmisores de presión		100	250
	4.12	Estanquidad		30	60
Panel eléctrico	5.			1055	1480
	5.1	Placa de vidrio		30	50
	5.2	Alimentación de potencia	24V y 5 Vdc	60	100
	5.3	Series de contactores		25	60
	5.4	Interruptores (Disyuntores)		20	80
	5.5	Fusibles	10 unidades	10	15
	5.6	Variador de frecuencia variable		800	1000
	5.7	Entradas/Salidas remotas para		220	350



		PLC			
	5.7.1	Entradas digitales 24 Vdc	110	175	
	5.7.2	Salidas de relé	10	15	
	5.7.3	Entradas analógicas 4-20 mA	20	30	
	5.7.4	Entradas analógicas 0-10 V	20	30	
	5.7.5	Contadores de alta velocidad	20	30	
	5.7.6	Salidas analógicas 0-10 V	20	40	
	5.7.7	Entradas de termopar	20	30	
Ordenador industrial	6.		900	1450	
	6.1	Pantalla táctil	100	200	
	6.2	Software HMI	Siemens WinCC Flexible RT512	100	200
	6.3	Software PLC	Siemens WinAC RTX 2009	100	200
	6.4	Brazo móvil	50	100	
		Siemens IPC477C Pro, Windows XP, Ethernet (Profinet) Profibus			
	6.5	Ordenador	USB Serial DVI	550	750
Sensores de clima	7.		70	140	
	7.1	Motor	50	100	
	7.2	Anemómetro	Señal de pulso	10	20
	7.3	Veleta	Señal 0-5 VDC	10	20
Protecciones	8.		905	1545	
	8.1	Botones de emergencia	2 unidades	50	100
	8.2	Interruptores de fin de carrera	6 unidades, eléctrico	300	420
	8.3	Embase/Pies	120	200	
	8.4	Bisagras	15	25	
	8.5	Ruedas	120	200	
	8.6	Anillos de carga	50	100	
	8.7	Tornillos	250	500	
Accesorios incluidos	9.		180	400	
	9.1	Candado y etiquetas de peligro	15	25	
	9.2	Accesorios de aceite	45	85	
	9.2.1	Carter	20	35	
	9.2.2	Tubos	10	20	
	9.2.3	Taza medidora	15	30	
		Herramienta de alineación del			
	9.3	acoplamiento	25	50	
	9.4	Pistola y tubo de grasa	15	25	

	9.5	Llave dinamométrica	40	50
	9.6	Llaves estándares	10	15
	9.7	Llaves Allen	10	15
	9.8	Cuñas	20	50
Otros	10.		500	1000

#### Coste global

<b>Total</b>	9820	16355
Promedio	<b>13088</b>	

<i>Coefficiente de seguridad (1,5)</i>	14730	24533
Promedio	<i>19631</i>	

#### Nota

No he podido encontrar el coste del multiplicador a través de un fabricante porque hay que contactar un fabricante especial y este tipo de empresa no da fácilmente información (sobre todo en el caso de los aerogeneradores, un dominio un poco encerrado y refractario a proyectos de este tipo con respecto a un aerogenerador real).

Lo he determinado a partir de algunos comentarios (Grass, 2011) sobre el tema de los aerogeneradores diciendo que el coste del multiplicador representa 15% del coste total de un aerogenerador mientras que los otros costes son repartidos entre: palas (12%), generador (13%), hidráulica/eléctrica/góndola (10%), torre (20%) y otros.

Conociendo el coste del generador, el coste de la reductora se aproxima de esta manera y si diseñamos todo el producto, se podrá obtener el real coste, que pienso no será lejos.

### 323 Análisis

Según los diferentes costes encontrados a través varios soportes (sitio internet, correo electrónico, catalogo...), el producto final sería cerca de 20000 euros en promedio (o sino 25000 euros para el coste máximo) con un coeficiente de seguridad dado de 1,5 y sabiendo que las valores de los costes encontrados están tomado con una importante margen (sobre todo los costes máximos).

Se puede añadir que es el coste del producto completo que se debería gastar al final para realizarlo, con respecto a los costes de la parte precedente donde se debe añadir otros costes adicionales para adaptar un aerogenerador real.

Sin embargo, antes de sacar una elección precipitada, se debe hacer un estudio completo como lo demuestra la parte siguiente, porque a lo mejor se olvidan algunos factores como la facilidad/dificultad de diseñar el producto que se desea, el plazo muy importante comprendiendo su diseño (que puede permitir también de hacer lo que se quiere verdaderamente) u otros.

Anthony  
Michot

Investigación y diseño de entrenador  
didáctico "góndola de aerogenerador"

## 4 Elección de la mejora solución

Esta parte es un resumen de la parte precedente puesto que se compara ambas opciones posibles para realizar el entrenador didáctico de góndola de aerogenerador, que consisten en adaptar un aerogenerador ya existente (a) o diseñar un aerogenerador completo (b).

Se declina en tres partes:

- ✓ Hacer un balance de sus ventajas y desventajas.
- ✓ Clasificarlos mediante factores determinado.
- ✓ Elegir y obtener la aprobación de la empresa según sus objetivos y prioridades.

### 41 Balance de ambas soluciones

Se puede hacer un balance de ambas soluciones según los criterios siguientes por orden de prioridad decreciente.

#### 411 Coste

La opción (a) tiene un promedio de 20000 euros para comprar el producto pero hay que añadir el coste para adaptarlo en nuestro proyecto, estimándose entre 10000 y 15000 euros según la parte detallando los costes de las diferentes partes de *LabVolt*.

Mientras que la (b) debería costar al máximo 25000 euros con una visión muy pesimista y englobando toda la realización.

Se nota que el coste es el factor principal y determinante cuando he empezado el estudio de factibilidad de este entrenador didáctico técnico.

#### 412 Facilidad

Para la solución (a), depende mucho del tipo de producto recibido, pero se debe añadir algunas partes que faltan (multiplicador, paso variable y/o mecanismo de giro) y seguro, el sistema de viento y el chasis.

Mientras que elegir la (b) impone de hacer todo el diseño del aerogenerador, y así presenta más trabajo, aunque no es fácil de adaptar un producto a lo que se desea. Sin embargo, esta opción permite obtener lo que se quiere al final.

Es un criterio importante porque se puede simplificar la realización del producto y se acercan mucho.

## 413 Interés

La solución (a) permite sobre todo tener el sistema de regulación activo, la tecnología la más complicada (y que no existe en el modelo *LabVolt*, excepto en un otro producto) y que no se hará en el caso de la (b) actualmente por su complejidad.

Sin embargo, la opción (a) no tiene un multiplicador, parte esencial de lo que se desea hacer, mientras que en la (b) se puede hacer y diseñar sin ninguno fastidio.

El interés habla del lado técnico de la solución adoptada y es un factor prácticamente tan esencial como el precedente.

## 414 Plazo

El plazo depende mucho del caso ya sea para la solución (a) o (b) puesto que hay el plazo para recibir el producto añadiéndolo el resto para adaptarlo, o si no hay el plazo para diseñar y realizar el entrenador didáctico.

Sin embargo, la solución (a) será más rápido que si se tiene que diseñar el producto desde el principio (b) pero no mucho.

Además, el plazo no es el criterio lo más importante porque, lo recuerdo, diseñar este entrenador puede esperar, no siendo una prioridad urgente para *Edibon*.

## 42 Clasificación de ambas soluciones

Según la parte precedente, se puede atribuir una calificación (entre 1 y 10 según su calidad) a ambas soluciones en función de cuatro criterios juzgados principales y esenciales para determinar la solución la más adecuada a lo que deseamos. Estos criterios están encajados un coeficiente representando su prioridad con respecto a nuestro proyecto.

Así, se obtiene la tabla siguiente:

	coste	facilidad	interés	plazo	total	promedio
(a) adaptar un aerogenerador ya existente	3	10	10	10	160	6,96
(b) diseñar un aerogenerador completo	10	7	9	8	203	8,83
<i>coeficiente</i>	<i>10</i>	<i>6</i>	<i>5</i>	<i>2</i>	<i>23</i>	

### Nota

Esta clasificación es muy cualitativa y se podría discutir de múltiples maneras porqué se ha elegido estas calificaciones y/o otros coeficientes, pero parece la más adecuada en nuestro caso, y *Edibon International* la ha aprobado después varias citas.

## 43 Solución final

Según la clasificación precedente, admitiendo que los criterios y las soluciones son en adecuación con sus coeficientes y calificaciones respectivamente, la solución elegida es la (b) es decir *diseñar un aerogenerador completo*.

Finalmente, es la solución la más interesante para la empresa *Edibon* a varios niveles: el precio, factor primordial para toda empresa, y la tecnología permitiendo diseñar lo que se desea hacer y no depender de un intermediario; mientras que el plazo es un factor no determinante al visto de la prioridad secundaria calificada por *Edibon* en este entrenador.

El diseño consistirá en hacer el producto con las características siguientes: horizontal, tripalas, potencia mínima (menos de 1kW), mecanismo de giro, y un multiplicador con generador asíncrono. Es decir cómo el modelo de *LabVolt* propone, y sobre todo como se hace en los aerogeneradores grandes, excepto el sistema de paso variable (y para algunos, un generador síncrono).

No obstante, se guarda la idea de incluir un generador síncrono para desmarcarse de *LabVolt* y a lo mejor, el paso variable si se tiene la oportunidad de hacerlo.

Para concluir, quiero añadir que, normalmente, no se presentará un entrenador didáctico de góndola de aerogenerador original con respecto a *LabVolt*, pero actualmente, existe solo el modelo de *LabVolt* en todo el mundo, y así, se puede encontrar una clientela para ambos, sabiendo la presencia de *Edibon* en países en auge como Asia, América, o también África.

## 5 Diseño del entrenador didáctico

Esta parte permite tratar de una parte del diseño del entrenador didáctico de góndola de aerogenerador.

En efecto, el diseño se compone de las partes siguientes:

- ✓ Parte mecánica: grupo motopropulsor y mecanismo de guiñada.
- ✓ Parte hidráulica: suministrando la parte mecánica.
- ✓ Parte eléctrica: gestionando las dos partes precedentes.
- ✓ Parte programación: pilotando el equipamiento.

Las dos últimas partes se hacen en función de lo que se establece en la parte mecánica (la parte hidráulica siendo solo un complemento de esta última) y no son incluidos en mi proyecto, porque se hace de manera distinta por un grupo calificado de personas en la empresa *Edibon* y cuyo es el trabajo.

Así, diseñar el producto consiste a dimensionar su parte mecánica y presentarla a este equipo a fin de realizar el entrenador didáctico final de góndola de aerogenerador.

### 51 Principio del dimensionamiento

El estudio se basa en un diseño y dimensionamiento parcial de un aerogenerador - hecha en parte durante mi primero año en mi escuela francesa de ingeniera (Grupo 8, 2010) - pero adaptado a los datos de *LabVolt* (cf. Anexo 5).

Aquí se presenta solo el método para elegir sus componentes: generador, multiplicador, motor de viento, piñones – cadena, acoplamientos y frenos. Los valores marcados son cerca de los valores finales, pero mi práctica acabándose, no he determinado precisamente los diferentes elementos ya que depende de lo que se tiene en depósito y si no hay, se hace con proveedores.

En efecto, las elecciones se hacen a partir de lo que *Edibon* tiene y no ha utilizado, y después, como los elementos son unidos, se puede elegir el sistema completa.

Para el proyecto, he hecho una tabla Excel (cf. Anexo 6) permitiendo modificar los valores fácilmente en función de los elementos elegidos, y así establecer el sistema paso a paso, siguiendo el proceso que se presenta en adelante.

Esta tabla es válida para el grupo motopropulsor mientras que no se necesita para el mecanismo de guiñada como se verá.

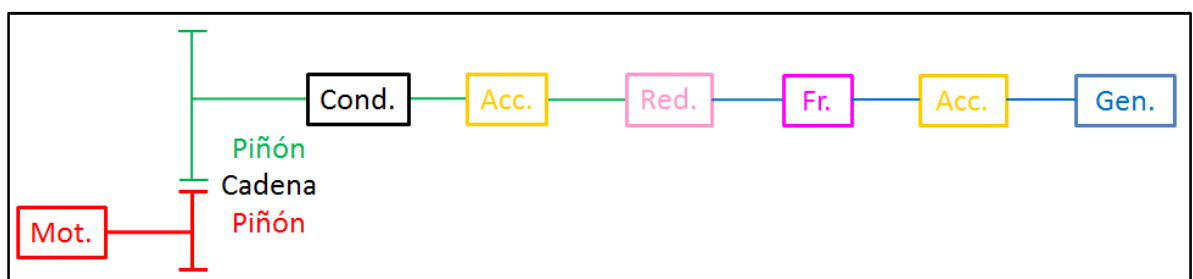
## 52 Grupo motopropulsor

### 521 Presentación

La cadena de transmisión principal (grupo motopropulsor) consiste en (cf. Ilustración 29):

- ✓ Un motorreductor: simula el viento a una velocidad de rotación nominal de 50rpm y a una potencia nominal de 560W, pero esta última se fija con la potencia requerida de un generador.
- ✓ Una conexión piñones-cadena uniendo el motorreductor a un eje lento: con un cierto rendimiento que se puede comparar por analogía a un factor real de rugosidad del viento.
- ✓ El eje lento unido a un conjunto buje-palas por encaje y girando a través dos palieres.
- ✓ Un acoplamiento (unión eje-cubo) uniendo el eje lento a un multiplicador.
- ✓ El multiplicador: permite aumentar la velocidad de rotación de 38,45 veces.
- ✓ Un acoplamiento multidisco de prueba de torsión uniendo el multiplicador al generador.
- ✓ El generador de velocidad de rotación nominal de 1800rpm y de potencia 187W: permite recuperar la energía "eólica".

Además, se nota la presencia de un freno de disco hidráulico al nivel del eje rápido entre la salida de la multiplicadora y el segundo acoplamiento para parar el sistema en caso de emergencia (velocidad máxima del viento, fallo al nivel de la red...)



**Ilustración 29 Esquema del grupo motopropulsor**

El dimensionamiento del grupo motopropulsor se basa en el producto de *LabVolt* y se hace como si se ha elegido todos los elementos aunque no es el caso, porque no he tenido el tiempo en la duración de la práctica de mi PFC.

Sin embargo, con la tabla Excel, se puede modificar los valores fácilmente en función de los elementos elegidos, y así establecer el sistema paso a paso, siguiendo el proceso que se presenta en adelante.

Código del color: en **rojo** son los valores de los elementos elegidos, en **verde** los parámetros supuestos conocidos y en **violeta** los resultados esenciales.

## 522 Dimensionamiento

La cadena de transmisión se resume a los valores siguientes (cf. Ilustración 30):

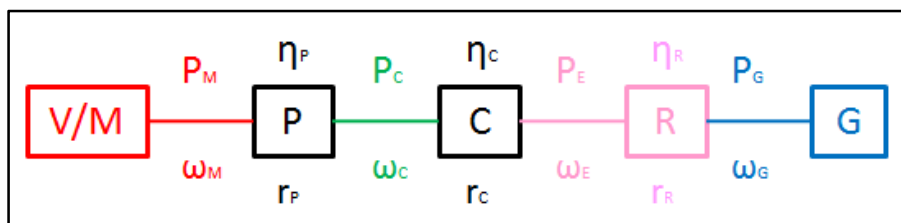


Ilustración 30 Cadena de transmisión del grupo motopropulsor

### Con:

V/M: Viento/Motor

P: Rugosidad del sol/Piñones-cadena

C: Conducción de los palieres

R: Reductora/Multiplicador

G: Generador

### Nota:

El viento es caracterizado por la potencia  $P_M$  y la velocidad de rotación  $\omega_C$ .

### Elección del generador

Se elige un **generador** de potencia  $P_G = 200 \text{ W}$  y de tipo cuatro polos  $p = 2$ , conectado a la red con frecuencia  $f = 50 \text{ Hz}$ .

Así, esto implica:  $\omega_G = 60 \cdot \frac{f}{p} = 1500 \text{ rpm}$  (no es totalmente verdad porque un generador gira a una velocidad de rotación ligeramente más reducida como 1450 rpm pero es una buena aproximación) y también:  $C_G = \frac{P_G}{\omega_G} = 1,27 \text{ Nm}$ , en condición nominal.

### Elección del multiplicador

A fin de tener un velocidad de rotación de viento  $\omega_C$  alrededor de 40 rpm (promedio entre 20 y 60 rpm), se elige un multiplicador con relación  $r_R = 37,5$ , rendimiento  $\eta_R = k^n =$



0,96 (el multiplicador tiene dos plantas  $n = 2$  y cada planta tiene un rendimiento de  $k = 0,98$ ), y se supone hacer un aerogenerador con paso variable es decir se debe tener una entrada con eje hueco.

Pues, se tiene:  $\omega_C = \omega_E = \frac{\omega_G}{r_R} = 40 \text{ rpm}$ .

### Elección del conjunto piñones – cadena

Se elige un conjunto con relación  $r_p = 1$  y  $\eta_p = 0,9$  ( $\eta_p$  simulando la rugosidad del sol y también el rendimiento de una transmisión por cadena).

### Elección del motorreductor

Se elige un motorreductor girando a  $\omega_M = \frac{\omega_C}{r_p} = 40 \text{ rpm}$  en nominal y de potencia:  $P_M = \frac{P_G}{\eta_R \cdot \eta_C \cdot \eta_p} = 243,56 \text{ W}$  ( $\eta_C$  representando las pérdidas energéticas al nivel de la conducción sobre el eje primario E).

### Determinación de las palas

Se supone, en este cálculo, determinar palas reales, aunque se utilizará pequeñas palas. No se quiere recuperar energía eólica real, pero es para encontrar valores de pares lo más cercanos posibles de la potencia requerida en nuestro modelo. Esto permite añadir un coeficiente de seguridad porque se hace en el mismo sentido.

El rayo de las palas se calcula por:  $R_p = \sqrt[5]{\frac{2 \cdot P_M \cdot \lambda^3}{\rho_{\text{aire}} \cdot C_p \cdot \omega_C}} = 4,08 \text{ m}$ . Y así,  $V_C = \frac{R_p \cdot \omega_C}{\lambda} = 2,7 \text{ m/s}$ .

Con analogía (cf. Anexo 5, sección Analogía), se calcula  $V_{C_{\text{max}}} = 3,80 \text{ m/s}$  y  $V_{C_{\text{puntamax}}} = 18,80 \text{ m/s}$ .

Se verifica la velocidad a la punta de las palas que no debe sobrepasar la valor  $V_{C_{\text{puntamax}}}$  y es el caso ya que  $V_{C_{\text{punta}}} = \lambda \cdot V_C = 17,08 \text{ m/s}$ .

Además, se puede determinar el peso de una pala y la longitud de la pala, que servirán en adelante en los cálculos de pares a través la inercia de los ejes.

Con los datos de fabricantes de palas, y se supone que como una pala no es plena, la masa es proporcional a la superficie. Pues:  $m_p = m_1 \cdot \left(\frac{R_p}{R_1}\right)^2 = 19,62 \text{ kg}$ .

Y de la misma manera, si la longitud de la pala es proporcional al diámetro de rotor:  $L_p = L_2 \cdot \frac{2 \cdot R_p}{D_2} = 3,95 \text{ kg}$ .

### Elección del freno

El freno se pone de costumbre al nivel del eje rápido del generador porque el par es el mínimo. Sin embargo, se estudia los dos casos para mostrarlo, suponiendo un tiempo de frenado  $T_f = 15 \text{ s}$ .

Para elegir el freno, se tiene que determinar el par de frenado necesario en el eje. Por seguridad, el par se calcula en condiciones máximas permitiendo dimensionar los elementos.

### **Freno en el eje lento E**

El principio fundamental de la dinámica se escribe en el eje lento E:

$$C_{E\max} + C_{FE\max} = I_E \cdot \dot{\omega}_{E\max}$$

Se tiene  $V_{C\max} = 3,80 \text{ m/s}$ .

Es decir  $P_{M\max} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot S_P \cdot V_{C\max}^3 \cdot C_P = 737,04 \text{ W}$  ( $P_{G\max} = 605,21 \text{ W}$ ) y  $\omega_{M\max} = \frac{\omega_{C\max}}{r_P} = \frac{\lambda \cdot V_{C\max}}{R_P \cdot r_P} = 57,86 \text{ rpm}$ .

Estos valores permitirán simular este caso durante ensayos del entrenador.

- ✓ Luego,  $C_{E\max} = \frac{P_{M\max}}{\omega_{C\max}} \cdot \eta_C \cdot \eta_P = 104,01 \text{ Nm}$ .
- ✓ Suponiendo la velocidad de frenado constante, se tiene:  $\dot{\omega}_E = -\frac{\omega_{E\max}}{T_F} = 0,40 \text{ rad/s}^2$ .
- ✓ Suponiendo el centro de inercia de las palas está a 1/3 del rayo del rotor, el momento de inercia puede expresarse, si se desatiende su componente dado a su parte central:  $I_E = 3I_P = 3 \cdot m_P \cdot \left(\frac{L_P}{3}\right)^2 = 102,27 \text{ kg/m}^2$ .

Al final, se obtiene:  $C_{FE\max} = 145,32 \text{ Nm}$ .

### **Freno en el eje rápido G**

El principio fundamental de la dinámica se escribe en el eje lento G:

$$C_{G\max} + C_{FG\max} = I_G \cdot \dot{\omega}_{G\max}$$

- ✓ Igualmente:  $C_{G\max} = \frac{C_{E\max} \cdot \eta_R}{r_R} = 2,66 \text{ Nm}$ .
- ✓ Del mismo modo:  $\dot{\omega}_G = -\frac{\omega_{G\max}}{T_F} = 15,15 \text{ rad/s}^2$ .
- ✓ Y la energía cinética se conserva:  $\frac{1}{2} \cdot I_E \cdot \omega_{E\max}^2 = \frac{1}{2} \cdot I_G \cdot \omega_{G\max}^2$ , pues:  $I_G = \frac{I_E}{r_R} = 0,07 \text{ kg/m}^2$ .

Al final, se obtiene:  $C_{FG\max} = 3,77 \text{ Nm}$ .

### **Balance**

Así, se tiene que elegir un freno de par superior a  $3,77 \text{ Nm}$  y colocado en el eje del generador.

### **Elección del eje lento E**

Se utiliza el criterio de torsión para dimensionar el eje lento que impone más seguridad que la deformación en flexión. Además, el cálculo se hace en condición límite durante el frenado máximo.

También, se supone un eje hueco para, a lo mejor, incluir o no un sistema de regulación por paso variable.

Se tiene:  $\theta = \frac{C_{FE\max}}{G \cdot I_o} < \theta_{ideal} = 0,5^\circ/m$ .

De donde: el módulo de elasticidad transversal (acero)  $G = 80 \text{ Gpa}$  y el momento cuadrático  $I_o = \frac{\pi \cdot (D_e^4 - D_i^4)}{32}$ .

Con  $D_i = 0$ ,  $D_e > \sqrt[4]{\frac{32 \cdot C_{FE\max}}{\theta_{ideal} \cdot G \cdot \pi}} = 38,16 \text{ mm}$ .

Si se coge  $D_e = 45 \text{ mm}$  (como *LabVolt* pero este valor depende del multiplicador elegido),  $D_i < \sqrt[4]{D_e^4 - \frac{32 \cdot C_{FE\max}}{\theta_{ideal} \cdot G \cdot \pi}} = 37,52 \text{ mm}$ . Así se toma:  $D_i = 35 \text{ mm}$ .

Y finalmente, se tiene:  $\theta = 0,41^\circ/m$ .

### Elección de los acoplamientos

Los acoplamientos se eligen en función de los elementos precedentes: el del eje lento con los diámetros del eje y del multiplicador, y el otro del eje rápido con los del multiplicador y del generador. Y por supuesto, con los pares subidos en condiciones máximas.

### Elección de los rodamientos

Para elegir los rodamientos del eje lento (el eje rápido se compone del eje de salida del multiplicador, del acoplamiento y del eje del generador, pues no hay rodamientos), hay que determinar las fuerzas a niveles de los dos rodamientos sobre la carga de la acción del viento máximo (Hernández, 2011).

Se tiene así tres acciones: el rodamiento A, el rodamiento B y el viento C, en un plano.

Además, se elige una longitud del eje igual a  $l = 300 \text{ mm}$ , dos veces inferior al valor de *LabVolt*, y también,  $a = \frac{3}{10} \cdot l = 90 \text{ mm}$ ,  $b = \frac{3}{5} \cdot l = 180 \text{ mm}$  y  $c = \frac{1}{10} \cdot l = 30 \text{ mm}$  en cuanto al diseño.

Se aísla el eje sometido a tres acciones (cf. Ilustración 31):

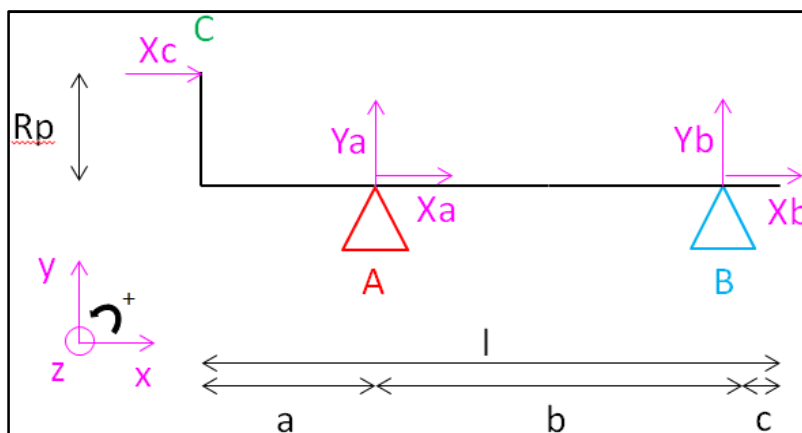


Ilustración 31 Estudio del eje lento

Según el principio fundamental de la estática, se tiene:

- ✓ Fuerzas en el eje X:  $X_A + X_B + X_C = 0$ .
- ✓ Fuerzas en el eje Y:  $Y_A + Y_B = 0$ .
- ✓ Momentos alrededor del eje Z y en A:  $-X_C \cdot R_P + Y_B \cdot b = 0$ .

$$\text{Pues: } Y_B = -Y_A = \frac{X_C \cdot R_P}{b} = \frac{C_{FE_{max}}}{b} = 807,31 \text{ Nm}$$

Luego, se puede poner  $X_A$  o  $X_B$  nulo para que el sistema no sea hiperestático: un rodamiento libre en translación (rodamiento de rodillos) y otro fijo (rodamiento de bolas). Es más juicioso de coger un rodamiento de bolas en A para amortizar la fuerza del viento directamente, y utilizar un rodamiento de rodillos en B.

$$\text{Pues: } X_B = 0 \text{ y } X_A = -X_C = 35,65 \text{ N.}$$

Se puede así elegir los rodamientos con estas fuerzas  $P = \sqrt{X^2 + Y^2}$  añadiéndolas la duración de vida  $L_{10}$  deseada para determinar la carga dinámica  $C$  con la formula siguiente:  $C = P \cdot L_{10}^n$  ( $n$  depende de tipo de rodamiento:  $n = 3$  para rodamientos de bola y  $n = 1/3$  para rodamientos de rodillos).

Así, se ha visto como se hace la elección de los varios elementos de la parte del grupo motopropulsor con un dimensionamiento adaptado.

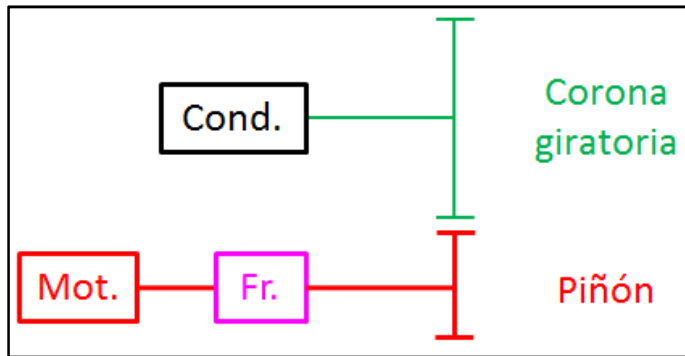
## 53 Mecanismo de guiñada

En lo que concierne al mecanismo de guiñada, no hay prácticamente ningún dimensionamiento a hacer como el sistema precedente con respecto al modelo de *LabVolt* para nuestro caso.

En efecto, la segunda cadena de transmisión (sistema de guiñada) es muy simple y consiste en (cf. Ilustración 31):

- ✓ Un motorreductor (con las características siguientes: 124 W y 28 rpm): permite simular la rotación de la góndola.
- ✓ Un piñón uniendo el motorreductor a una corona giratoria estándar.
- ✓ La corono giratoria: hace girar la góndola.

Asimismo, se nota la presencia de un freno hidráulico para parar el sistema y/o fijarle.



**Ilustración 32 Esquema del mecanismo de guiñada**

Se debe elegir un motorreductor con características próximas de las de *LabVolt* y adaptarlo a un sistema piñón - corona giratoria según el tamaño deseado (alrededor del valor de *LabVolt*: 520 mm de diámetro y con dentado exterior).

Se elige:

- ✓ Motorreductor: 130 W y 30 rpm.
- ✓ Piñón – corona giratoria: diámetros 40 mm – 500 mm
- ✓ Freno hidráulico: 65 Nm (según el motorreductor elegido:  $C_F = \frac{P_M}{\omega_M} = 41,4 \text{ Nm}$ , y un coeficiente de seguridad de 1,5)

Finalmente, se tiene el dimensionamiento de las partes mecánicas principales del aerogenerador (grupo motopropulsor y mecanismo de guiñada) que nos permitirá obtener el producto como se desea cuando se hará el inventario de los elementos que se tiene y se necesita.

## Conclusiones

Durante todo el periodo de mi proyecto/práctica, del principio (proposición del tema) al final (balance y redacción de mi memoria), quería acabar el proyecto o a falta dejar un trabajo de característica propia permitiendo reemprenderlo por respecto a la empresa *Edibon* y a mi director que me han permitido hacer el Proyecto Fin de Carrera en el dominio de las energías renovables y sobre todo en una empresa.

Primero, no he podido acabar el proyecto debido a su complejidad más las investigaciones progresaban (especialmente llegado a la parte dimensionamiento) y también a una ampliación de los diferentes plazos (con respecto a los proveedores) retrasando el proyecto. Espero que lo que he hecho servirá a realizar verdaderamente el entrenador didáctico.

En efecto, después tres practicas (dos en Francia y ésta en España), se saca que la duración de todo tipo de proyecto es debida principalmente al nombre de los intermedios implicados en éste. La mejor posibilidad de reducir este tiempo es de anticipar las respuestas y/o de tratar varios aspectos en el mismo tiempo. He logrado a reducir este tiempo trabajando sobre ambas soluciones durante el mes de enero pero no se puede realizar a cada momento.

Segundo, mediante este proyecto, he podido tocar al mundo profesional desde diferentes aspectos tales cuales investigación (estudio para diseñar un entrenador didáctico de góndola de aerogenerador a través de la competencia y el mercado eólico), comercial (tomas de contacto con los proveedores de aerogeneradores) y técnico (dimensionamiento de un grupo propulsor), comparables al trabajo de un ingeniero.

La no prioridad del proyecto ha reforzado ésta ya que, aunque he sido seguido por mis tutores, tenía la oportunidad de trabajar de la manera que pensaba la mejor, o al menos la más adaptada a yo mismo.

Tercero, pensándolo, al principio cuando me ha propuesto hacer mi proyecto en el tema de *investigar y diseñar un entrenador didáctico de góndola de aerogenerador*, lo he encontrado muy interesante y perfecto para presentarlo, aunque no he visto su impacto al nivel de todo el trabajo que se debe hacer, sobre todo su complejidad y duración total, y así no se puede hacer en un Proyecto Fin de Carrera incluido entre cuatro y seis meses de costumbre.

No obstante, se puede ser en dos temas de proyecto componiéndose de la parte del estudio del entrenador didáctico y de su realización. He hecho la primera lo más precisamente posible, y intentado desbordar en la segunda pero se revela imposible debido a los plazos sobre todo.

Finalmente, este proyecto me ha sido muy útil según múltiples puntos particularmente en el sentido técnico, comercial, investigación, económico, experiencia, dominio etc. y sobre todo al nivel humano, el factor lo más importante en una empresa y en la vida en general.

Haciendo esta experiencia, pienso que he probado lo que me espera después el fin de mis estudios, viniendo más en más rápidamente y al cual no se puede escapar.

# Bibliografía

- Aeolos. (2012). Specifications.
- Amatrol. (2013). Obtenido de <http://www.amatrol.com/blog/2011/02/25/950-tgc1/>
- Amatrol. (2013). Obtenido de <http://www.amatrol.com/program/green-energy-technology/wind-turbine-technology/>
- Axes Industries. (2013). Obtenido de <http://www.axesindustries.com/>
- Bornay. (2012). Obtenido de OLX: <http://alpicat.olx.es/aerogenerador-bornay-600w-iid-233439985>
- Bosch Rexroth. (2012). Obtenido de [http://www.boschrexroth.com/country\\_units/america/united\\_states/sub\\_websites/brus\\_brh\\_i/en/industries\\_sm/wind\\_energy/hydraulic\\_control\\_technology/wind\\_tracking/index.jsp](http://www.boschrexroth.com/country_units/america/united_states/sub_websites/brus_brh_i/en/industries_sm/wind_energy/hydraulic_control_technology/wind_tracking/index.jsp)
- Bosh Rexroth. (2013). Obtenido de [http://www.boschrexroth.com/country\\_units/america/united\\_states/sub\\_websites/brus\\_brh\\_i/en/industries\\_sm/wind\\_energy/hydraulic\\_control\\_technology/pitch\\_control\\_systems/index.jsp](http://www.boschrexroth.com/country_units/america/united_states/sub_websites/brus_brh_i/en/industries_sm/wind_energy/hydraulic_control_technology/pitch_control_systems/index.jsp)
- BTS Électrotechnique. (2004). Obtenido de <http://enselec.santonum.eu/eolienne-didactisee-de-gti-systemes-art109.html>
- Conrad. (2013). Obtenido de <http://www.conrad.fr/ce/fr/overview/0214003/Interrupteur-impulsions>
- ecosources. (2008). Obtenido de [http://www.ecosources.info/dossiers/Eolienne\\_verticale\\_Darrieus](http://www.ecosources.info/dossiers/Eolienne_verticale_Darrieus)
- ecosources. (2008). Obtenido de ecosources: [http://www.ecosources.info/dossiers/Eolienne\\_verticale\\_Darrieus](http://www.ecosources.info/dossiers/Eolienne_verticale_Darrieus)
- Edibon International. (2013). Obtenido de Edibon International: <http://www.edibon.com/>
- Edibon International. (2013). Equipo de energia eolica. En *Catalogo Edibon*.
- Edibon International. (2013). Equipo de energia solar termica. En *Catalogo Edibon*.
- Edibon International. (2007). Perfil resumido de Edibon.
- Ekotekoo. (2012). Obtenido de <http://www.ekotekoo.fr/Une-eolienne-soupe-a-turbo-pales.html>
- Energias Renovables. (2009). Obtenido de <http://www.renovables-energia.com/2009/09/componentes-de-un-aerogenerador/>
- Energías Renovables. (2010). Obtenido de <http://www.gstriatum.com/energiasolar/blog/2013/01/08/tipos-de-aerogeneradores/>
- energieplus. (2013). Obtenido de energieplus: <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16656>
- Eole-System. (2012).
- Grass, R. (2011). *La démarche Windustry France*. Energieteam SAS.
- Grupo 8. (2010). *Jalon 4 Dimensionnement d'une éolienne*. Burdeos: Arts&Métiers ParisTech.



GTI Systèmes. (2004). Obtenido de DMSeducation:  
[http://www.dmseducation.net/files/dms/fiche/2495\\_fiche\\_produit.pdf?PHPSESSID=ccde1bf914d8d84d6850910909add5d9](http://www.dmseducation.net/files/dms/fiche/2495_fiche_produit.pdf?PHPSESSID=ccde1bf914d8d84d6850910909add5d9)

Hernández, M. Á. (2011). *Diseño del conjunto eje-acoplamiento-reductora epicicloidal de un aerogenerador eólico*. Cartagena.

LabVolt. (2013). Obtenido de <http://www.labvolt.com/downloads/datasheet/dsa46122.pdf>

LabVolt. (2012). *Wind Turbine Nacelle Training System 46122*. Obtenido de  
<http://www.youtube.com/watch?v=125jrEOnMTk&feature=BFa&list=UUVS9qk6J3PKrY5BDMHmifjg&lf=plcp&context=C318693dFDOEgsToPDskJzQjd7sPWqEl6G6Zujqp34>

Lotus Creative Innovations. (2012). Obtenido de <http://www.lotuscreativeinnovations.com/>

Lotus Creative Innovations. (2012). Obtenido de <http://www.lotuscreativeinnovations.com/>

Norelem. (2013). Obtenido de  
<http://www.norelem.fr/App/WebObjects/XSeMIPSNORELEMFR.woa/cms/page/locale.frFR/pid.434.438.1253.1255/agid.4880.12958/ecm.ag/Accouplements.html>

Progressive Educational Systems Inc. (2008). Obtenido de  
<http://www.progressiveinc.ca/Lotus%20Wind.html>

RadioSpares. (s.f.). Obtenido de <http://radiospares-fr.rs-online.com/web/c/pneumatique-hydraulique-et-transmission-de-puissance/chaines-a-rouleaux-et-accessoires/chaines-a-rouleaux/>

Santianes, M. J., Martínez, M. P., & Jiménez, J. A. (2008). *Aerogeneradores de potencia inferior a 100 kW*.

The Rockbridge Weekly. (2013). Obtenido de  
[http://www.rockbridgeweekly.com/rw\\_article.php?ndx=18430](http://www.rockbridgeweekly.com/rw_article.php?ndx=18430)

Twiflex. (2012). Obtenido de <http://www.directindustry.fr/prod/twiflex/freins-a-disques-pour-eoliennes-14102-457481.html>

Wiki Éolienne. (2013). Obtenido de Wiki Éolienne: <http://eolienne.f4jr.org/aerogenerateur?redirect=2>

Wong, M. E. (2006). *Estudio de Aerogeneradores de pequeña potencia*. Centro de Estudio de Termoenergética Azucarera (CETA). Facultad de Mecánica. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

## Anexos

### Anexo 1 Objetivos/Progresión

Fecha	Objetivo/Progresion
	Diseño de un entrenador didáctico de una barquilla de aerogenerador Según un modelo ya existente
29/10/12 – 05/11/12	Observación de un modelo ya existente de Lab Volt que la empresa Edibon quiere hacer o por lo menos inspirarse de manera más compleja y diferente
05/11/12– 12/11/12	Análisis de los elementos principales y de los accesorios aconsejados por Lab Volt o que parece interesante según Edibon
12/11/12-26/11/12	Análisis de la competencia en el mundo (cuyo España y Francia) de lo que existe ahora y así completar la visión general del modelo, intentando recuperar las mejoras ideas ya existentes y que sería interesante de añadir a nuestro entrenador
26/11/12 – 10/12/12	Búsqueda de las diferencias entre los aerogeneradores pequeños y grandes. Búsqueda de los aerogeneradores existentes parecidos al modelo de Lab Volt incluso mejor : es decir un pequeño con las propiedades de un grande.
10/12/12 – 14/01/13	Contacto con las empresas que fabrican pequeños aerogeneradores parecidos a grandes satisfaciendo al menos dos criterios sobre los cuatro principales (paso variable, sistema de giro controlado, potencia de 5kW y presencia de una multiplicadora). Estudio de precio y de plazo y elección de tres/cuatro productos si posible con el principal y algunas alternativas (Investigación, estudio y realización de manuales para las prácticas del entrenador previsto) Elección de contactos potenciales, redacción de 3 cartas en inglés, francés y español.
31/12/12 – 21/01/13	Despiece de los diferentes elementos elegidos por Lab Volt para su producto, a partir de su video Estudio de sus diferentes precios y del precio total de tanto producto. Comparación con los precios y plazos de una aerogenerador ya existente
21/01/13-18/02/13	Estudio del dimensionamiento del entrenador didáctico. Elaboracion del fichero Excel. Comienzo de la elección de los elementos con <i>Edibon</i> y los proveedores.

## Anexo 2 Carta de solicitud de información

### *Versión francesa*

Demande d'information sur vos produits

Monsieur, Madame,

Je suis ingénieur chez Edibon International, entreprise qui conçoit et construit des équipements didactiques techniques vendus essentiellement à l'international.

J'aimerais obtenir de plus amples renseignements sur quelques-uns de vos produits, en espérant m'adresser au service adéquat, auquel cas je vous remercie d'avance de rediriger ma demande à ledit service.

Dans l'intention d'améliorer notre gamme de produits, nous envisageons de concevoir un entraîneur didactique d'une nacelle d'éolienne afin d'étudier son fonctionnement sous différentes conditions, simulant diverses pannes.

Pour cela, je cherche à adapter une éolienne réelle munie des caractéristiques suivantes : horizontale, tripale, puissance de 5kW, contrôle asservi de régulation et d'orientation, et présence d'un multiplicateur. Ainsi une petite éolienne avec des propriétés semblables à une grande éolienne.

J'ai consulté votre site internet et/ou les brochures de vos produits mais des renseignements plus précis me seraient nécessaires avant toute prise de décision. C'est pourquoi je vous contacte afin de m'indiquer le(s)quel(s) de vos produits est(sont) susceptible(s) de répondre à nos attentes (j'ai repéré le modèle ... mais peut-être il y en a d'autres).

Toutes les caractéristiques mentionnées ci-dessus sont idéales mais nous pouvons élargir notre demande : horizontale et tripale nécessaires, puissance de 1 à 10kW, contrôle asservi de régulation et/ou d'orientation, et multiplicateur préférable.

Actuellement nous préparons un prototype et par la suite, nous prévoyons d'en réaliser une série de 2 à 10 unités. Ainsi je souhaiterais connaître les prix et les délais correspondant aux produits cités.

Je vous remercie de l'attention que vous porterez à ma demande et je vous prie de croire en l'assurance de mes meilleurs sentiments.

Anthony Michot  
Ingénieur, EDIBON International

### *Versión inglés*

Information request on your products

Dear Sirs,

I am engineer in Edibon International, company that designs and manufactures technical teaching equipments sold essentially in international markets.

I would like to get more information about some of your products, hoping to contact the adequate service, in which case I thank you in advance to send my request to said service.

With the intention of improving our range of products, we plan to design a teaching instructor of a wind turbine nacelle to study its operation under different conditions, simulating various faults.

For this cause, I try to adapt a real wind turbine equipped with the following features : horizontal, three-blade, power 5kW, servo control of regulation and orientation, and presence of a multiplier. Thus, a small wind turbine with properties similar to a large wind turbine.

I have consulted your website and/or brochures of your products but I would need more details before taking a decision. That is why I contact you in order to give me which of your product is(are) likely to meet our expectations (I noticed the model ... but maybe there are others).

Anthony  
Michot

Investigación y diseño de entrenador  
didáctico "góndola de aerogenerador"

All the features above-mentioned are ideal but we can expand our request : horizontal and three-blade necessary, power from 1 to 10 kW, servo control of regulation and/or orientation, and multiplier preferable.

Currently, we are planning a prototype and then, we anticipate making a series from 2 to 10 units. So, I would like to know prices and deadlines corresponding to products cited.

Thank you for considering my request and yours faithfully.

Anthony Michot,  
Engineer, Edibon International

*Versión española*

Solicitud de información sobre sus productos

Distinguidos señores,

Soy ingeniero de Edibon International, empresa que diseña y construye equipos didácticos técnicos vendidos esencialmente al mercado internacional.

Me gustaría obtener una mayor información de algunos de sus productos, esperando dirigirme al servicio adecuado, en caso contrario le agradezco anticipadamente redirigir mi solicitud al susodicho servicio.

Con intención de mejorar nuestra gama de productos, tenemos previsto diseñar un entrenador didáctico de una góndola de aerogenerador a fin de estudiar su funcionamiento según diferentes condiciones, simulando diversas averías.

Por ello, intento adaptar un aerogenerador real equipado de las características siguientes : horizontal, tripala, potencia de 5kW, servo control de regulación y de orientación, y presencia de una multiplicadora. De hecho, un pequeño aerogenerador con propiedades semejantes a un gran aerogenerador.

He consultado su sitio internet y/o los folletos de sus productos pero necesitaría informaciones más precisas antes de tomar una decisión. Es por eso que contacto con usted a fin de indicarme el(los) cual(es) de sus productos está(están) más dispuesto(s) a responder a mis expectativas (he notado el modelo ... pero a lo mejor hay otros).

Todas las características mencionadas más arriba son ideales pero podemos ampliar nuestra solicitud : horizontal y tripala necesarios, potencia de 1 a 10kW, servo control de regulación y/o de orientación, y multiplicadora preferible.

Actualmente estamos preparando un prototipo y después, prevemos realizar una serie de 2 a 10 unidades. Así, desearía conocer los precios y los plazos correspondientes a los productos citados.

Le agradezco anticipadamente la atención que usted prestará a mi solicitud y les saluda atentamente.

Anthony Michot  
Ingeniero, Edibon International

## Anexo 3 Lista completa de los aerogeneradores de tamaños pequeños y medianos encontrados y clasificados

Empresa	Orientación		Regulación		Potencia (kW)		Multip	Contacto	Precio euro	Plazo sem	Comentarios	Elec
	Pasiva	Activa	Pasiva	Activa	Mín	Máx						
Siliken	X		Paso fijo		3.5							No
CF Green Energy		Accionador		Accionador	6	50	No	info@cfgreenenergy.com	63000		no modificaciones posibles (torre, palas)	No
Kingspan	Inercia		Articulación "Furling"		6		No					No
Skystream	X		Paso fijo "Stall"		2.4							No
Kestrel	Timón			Paso variable	3.5		No	kestrel.admin@eveready.co.za	4400			No
			Stall		0.6							No
DonQi	No clásico											No
Noveol	No clásico											No
Urban Green Energy	No clásico											No
Eoltec/Sciricco	Timón		Centrifugo "Spoiler"		6		No					No
Wind Power Concept/Ampair 6000	X		Stall		6							No

Aeolos	X	No	5	No	sales@windturbinestar.com	6890	5	modificación posible (añadido de una regulación activa pero precio aumenta 20000 euros incluyendo concepción)	Si
Apple Wind	No clásico (eje vertical)								No
Auton'home	Ya no existe				contact@auton-home.com				No
Celeol	Ya no existe								No
Ecolab Energies	No clásico (aerogenerador de bombeo)				sitio				No
Electrovent	X	X	0,25	0,5	info@electrovent.com				No
Eol'Process	No clásico (nueva tecnología)								No
	X	X	2						No
Eole-System	Accionador		Accionador	10	contact@eole-system.com	25300	2		Si
Gual	No clásico (eje vertical)								No
Nhéolis	No clásico								No
Noveol	No clásico								No
AWP	X	Furling	2						No
Ampair microwind	X	Mecánico	0.3	0.6	No				No
Mariah Power	No clásico								No
Fuhrländer			1500						No
Marlec	X	X		0.7					No
LVM	Ya no existe								No
Fortis	Timón	Furling	1.4	10	No				No
Bergey	X	Furling	5	10	No				No

Bornay	Timón	X	0.8	6	No	bornay@bornay.com	9995	1 a 8	finalmente no paso variable	No
Jonica Impianti		Stall	30							No
Ropatec	No clásico (eje vertical)									No
SouthWest	X	Stall	2.4		No					No
WindPower	X	X	30	40	No					No
	Control de carga Whisper		0.9		No					No
SuperWind	Desviación	X	0.35			power@superwind.com				No
TurboWind			25							No
WestWind	X	Furling	3	10	No					No
ACSA	Timón	Furling	0.25	10	No					No
Gaia Wind		Stall	11		Si	sitio			bipala	No
Home Energy	No clásico									No
Joliet	Ya no existe					info@joliet-europe.com				No
Zytech Aerodyne	Timón	X	0.9	1	No					No
SVIAB	Timón	Furling		0.75						No
Turby	No clásico									No
Aircon	Engranaje	Stall	9.8		No	sitio	33000	8	precio sin la torre	No
Atlantic Orient			50							No
Canada Inc		Paso variable (centrifugo)								No
WindSpot	Timón		1.5	7.5	No					No
Energy Solutions BV			50							No
UseTheWind		X	5			john@usethewind.co.uk			no respuesta	No
	X	Stall	10							No

Coemi	2 palas			11				No
				55				No
Evance Wind	Timón y rotor		Control reactivo	5	No	enquiries@evancewind.com	no modificaciones posibles	No
Aventa		Azimet	Paso variable	6.5	No	info@jura-energie.ch	ya no existe	No
Evoco	Autoregulador	Stall o manual		10	No	info@evocoenergy.com	no respuesta	No
Quietrevolution				5		hy5@quietrevolution.com	no mercado español	No
EastWindPower	Timón	Stall		2	10	No		No
Endurance Wind Power		Stall		5	Si	info@endurancwindpower.com	no mercado europeo	No
Hummer Dynamo	Ya no existe							No
Northern Power				60				No
Temiskaming Independent Energy	X	Furling		0.9	3.2	info@tempower.com		No
Xzeres Wind	Timón	Stall				No	info@XZERES.com	No
Vergnet				200				No
Céleste énergie/Windancer	7 palas			2.2	7			No
Eastern Wind Power				50				No
Northeast Wind Energy		Motor	Paso variable	1.5		rapechie@snet.net	ya no existe	No



Aerocraft	Timón			1	No			No
Aerosmart		X	Stall	5	Si	info@SMA.de	no interesado	No
Inventus GmbH	Timón		X	6	No			No
Moratec	Ya no existe							No
Windtechnik	Ya no existe							No
Geiger GmbH	Ya no existe							No
Abatec	Ya no existe							No
Invap Ingeniera	Ya no existe							No
Flowtrack	Timón		Stall	5	2 palas	kali@flowtrack.com.eu	no respuesta	No
Enersud Ind					No	enersud@enersud.com,br	no respuesta	No
AllEarthRenewables			Stall	Pitch variable	2,5	No	info@allearthrenewables.com	nuevo dominio : energía solar
Cyclone wind generators	X		X	5	No	sales@cyclonewindgenerators.com		No
Energie PGE	EnduranceWindPower							No
Energy Resource Development	Vertical							No
Quantum Wind Power				50				No
Windturbine	Ya no existe							X
Huamin Win. Power Inc			X	2	No			No
Zhejiang Liten Wind Power			X		No			No

Windeco	Timón		5	No			No
Wind Simplicity	5 pales						No
<a href="#">Finnwind Oy</a>			4	No	sitio	no mercado español	No
Travere Industries	Ya no existe						X
<a href="#">Energotech BFE</a>					<a href="mailto:wind@energotech.gr">wind@energotech.gr</a>		
	X		6	No	<a href="mailto:energogr@otenet.gr">energogr@otenet.gr</a>	no respuesta	No
The Wind Factory	X	X		No			No
TH Rijswijk	Ya no existe						X
Vaigunth Enertek	Timón	X	5	No			No
Nikko	X	X		No			No
<a href="#">Craftskills</a>			6	No	<a href="mailto:simon@craftskillseastafrica.com">simon@craftskillseastafrica.com</a>	no respuesta	No
Enwia			40				No
Eurowind Small Turbines	Vertical						No
Iskra Wind Turbine Manufactures	EvanceWind						No
Navitron	Ya no existe						No
Proven Energy products	Ya no existe						X
<a href="#">JSC Wind Energy Company</a>	Timón		5	No	<a href="mailto:wind@electrosfera.ru">wind@electrosfera.ru</a>	Aerogeneradores grandes	No
Turbex	Multipalas						No

Winglette Wind Machines	Timón			3			sitio		no respuesta	No
Enflo Systems	Especial									No
Wind Electric							sitio		no respuesta	No
Braun Windturbinen	Timón		X	4,5	5,5	No				No
Nordic Folkcenter Renewable Energy				75	575					No
Eolys		X	X	6		No				No
Wipo		X		40						No
WindSpot	Timón			40						No
TozziNord		X		Paso variable	10	Si	sitio		no modificaciones posibles (torre, palas)	No

## Anexo 4 Lista detallada no exhaustiva de los elementos del modelo de *LabVolt*

Elementos		Características Lab Volt	Notas
Requisito de potencia		220V 6 A	
		220/380 V 50 Hz	
Estación de trabajo móvil	0.		
	0.1	Mecanismo de bloqueo	
	0.2	Estructura	dimensiones 1.7 x 1.8 x 0.8 m, peso 576 kg
Sistema de guiñada	1.		girar para estar de cara al viento
	1.1	Motor reductor	124 W (1/6 HP), 28 rpm, (42Nm)
	1.2	Piñón	producir la energía
	1.3	Corona giratoria estándar	520mm, acero, dentado exterior
	1.4	Columna	
	1.5	Tubo hidráulico	
	1.6	Freno hidráulico	simple efecto, hidráulico (50Nm)
	1.7	Sensor de torsión de cable	el disco cuando el aerogenerador está alineado con el viento
			detectar si la góndola ha hecho demasiado turnos y los cables de potencia han trenzado

Sistema de viento	1.8	Codificador óptico		leer la posición relativa de la guiñada para comparar con el suelo
	1.9	Conectores		
	2.			
Grupo motopropulsor	2.1	Motor reductor	560 W (3/4 HP), 50 rpm, (107Nm)	similar el efecto del viento estando de cara a las palas
	2.2	Rueda dentada	diámetro 100mm, 2 unidades	
	2.3	Cadena	longitud entre ejes 300mm	transmitir la potencia
	3.			
	3.1	Buje		recuperar la energía del viento
	3.2	Palas	diámetro 0,7mm	
	3.3	Disco	300mm	
	3.4	Sensor de velocidad		medir la velocidad del lado de baja velocidad
	3.5	Dispositivo de cerradura del rotor		representar el pistón hidráulico actual que bloquea el buje
	3.6	Eje principal de baja velocidad	610 x 45 mm	
	3.7	Palieres	2 unidades, (diámetro 45mm)	
	3.8	Unión eje-cubo	diámetro 45mm, (>60Nm)	
	3.9	Reductora	Ratio 38,45	aumentar la velocidad hasta 40 veces y muchas tareas de mantenimiento
	3.10	Vista en corte	Placa en Lexan (policarbonato)	ver el movimiento actual de las ruedas dentadas al interior y la circulación del aceite
	3.11	Aceite	1.3 L, aceite sintética CLP ISO	

		PAO VG220	
3.12	Tapón con mirilla de vidrio		
3.13	Tapón magnético		
3.14	Tapón respiradero		
3.15	Disco	254mm	
		Interruptor de proximidad	
3.16	Sensor de velocidad	inductivo	medir la velocidad de la salida de la reductora
3.17	Eje principal de alta velocidad		
			parar la góndola, doble función (parar el disco y después parar el grupo motopropulsor completo)
3.18	Freno de disco hidráulico	Muelle, hidráulico, 3Nm	
	Acoplamiento multidisco de		
3.19	prueba de torsión	(>5Nm)	juntar la reductora al generado
3.20	Disco	250mm	crear una vibración dentro del eje de accionamiento
3.21	Sensor de vibración	4-20 mA contra reacción	el PLC para o no la aplicación
		Inducción 187 W (1/4 HP)	
3.22	Generador	380V 0.8 A 4 polos (1500 rpm)	
		Inducción 249 W (1/3 HP)	
		208V 1.7 A 4 polos (1800 rpm)	
<b>Unidad</b>			
<b>hidráulica</b>	4.		suministrar la potencia y controlar ambos frenos
	4.1	Válvulas (solenoides)	
	4.2	Válvulas de retención	
	4.3	Válvulas de alivio ajustable	
	4.4	Acumulador	para frenado de emergencia
	4.5	Tanque hidráulico	3.8 L

Panel eléctrico	4.6	Filtro		
	4.7	Indicadores hidráulicos	2 unidades	poder ser colocados utilizando los puertos removibles para supervisar la presión
	4.8	Bomba manual	57-64 bar	aumentar la presión dentro de la unidad hidráulica ( pérdida de potencia)
	4.9	Aceite	ISO32 o AW32	con barra removible
	4.10	Presostato regulable		
	4.11	Transmisores de presión		
	4.12	Estanquidad		
	5.			controlar la barquilla
	5.1	Placa de vidrio		ver los componentes dentro
	5.2	Alimentación de potencia	24V y 5 Vdc	
	5.3	Series de contactores		
	5.4	Interruptores (Disyuntores)		
	5.5	Fusibles	10 unidades	
	5.6	Variador de frecuencia variable		controlar el sistema de guiñada, el grupo motopropulsor y la unidad hidráulica
		Entradas/Salidas remotas para		
	5.7	PLC		controlar and supervisar a distancia vía PLC
	5.7.1		Entradas digitales 24 Vdc	
	5.7.2		Salidas de relé	
	5.7.3		Entradas analógicas 4-20 mA	
	5.7.4		Entradas analógicas 0-10 V	
	5.7.5		Contadores de alta velocidad	
	5.7.6		Salidas analógicas 0-10 V	
	5.7.7		Entradas de termopar	

<b>Ordenador industrial</b>	<b>6.</b>			ordenar el sistema completo
	6.1	Pantalla táctil		
	6.2	Software HMI	Siemens WinCC Flexible RT512	
	6.3	Software PLC	Siemens WinAC RTX 2009	
	6.4	Brazo móvil		
			Siemens IPC477C Pro, Windows XP, Ethernet (Profinet) Profibus USB Serial DVI	
<b>Sensores de clima</b>	6.5	Ordenador		
	<b>7.</b>			supervisar la velocidad y la dirección del viento
	7.1	Motor		manejar los sensores de clima
	7.2	Anemómetro	Señal de pulso	
	7.3	Veleta	Señal 0-5 VDC	
<b>Protecciones</b>	<b>8.</b>			
	8.1	Botones de emergencia	2 unidades	
	8.2	Interruptores de fin de carrera	6 unidades, eléctrico	
	8.3	Embase/Pies		
	8.4	Bisagras		
	8.5	Ruedas		
	8.6	Anillos de carga		
	8.7	Tornillos		
<b>Accesorios incluidos</b>	<b>9.</b>			



Otros Software	9.1	Candado y etiquetas de peligro	
	9.2	Accesorios de aceite	
	9.2.1		Carter
	9.2.2		Tubos
	9.2.3		Taza medidora
		Herramienta de alineación del	
	9.3	acoplamiento	
	9.4	Pistola y tubo de grasa	
	9.5	Llave dinamométrica	
	9.6	Llaves estándares	
	9.7	Llaves Allen	
	9.8	Cuñas	
	10.		
	11.		
	11.1	Diferentes parámetros de la góndola	el rotor, rpm, en la baja velocidad y la alta velocidad, la temperatura de la reductora, la vibración del sistema, que la guiñada está haciendo, sentido horario o antihorario, frenado, dirección del viento en la posición actual de la góndola de cara al viento, posición del paso de las palas, posición actual...
	11.2	Camino de la simulación del viento	deber entrar por estudiantes, 10 pasos para programar la aplicación (paso activo o no, duración en segundos, dirección del viento, velocidad del viento en metro por segundo, interruptor en unidad imperial) y luego la simulación puede empezar

11.3 Sección de tendencia

11.4 Sección de alarma

11.5 Sección de defectos

11.6 Modo manual

11.7 Servicio Windows

monitor algunos parámetros importantes como la posición de la guiñada frente la dirección del viento, la velocidad del generador frente la velocidad del viento, la potencia del generador, la vibración del rotor y el paso de las palas frente la velocidad del viento

identificar y solucionar problemas en la unidad (usuario podrá reconocer y reiniciar las alarmas)

series de defectos hardware como contactos abiertos en el panel eléctrico o defectos simulados (alta temperatura de la reductora o malcontrolar la unidad hidráulica, iniciar/pararla, poner algunas válvulas on/off, liberar los frenos, arrastrar el rotor a una velocidad predefinida y mover la guiñada calidad del aceite en la reductora) con retraso

controlar la unidad hidráulica, iniciar/pararla, poner algunas válvulas on/off, liberar los frenos, arrastrar el rotor a una velocidad predefinida y mover la guiñada

accesible para diferentes partes de la góndola como la guiñada donde se puede ver y calibrar todos los parámetros importantes en las operaciones de la guiñada, el buje para conectar uno de ambos entrenadores al entrenador de la góndola (orden del paso de las palas actuado en el entrenador del buje y el comentario envía de vuelta a la góndola)

## Anexo 5 Pre-estudio con LabVolt

Primero, se estudia el entrenador didáctico de LabVolt a fin de identificar y caracterizar completamente el sistema de LabVolt y así hacer nuestro propio estudio a partir de un estudio viable y funcionando, y poder competir con él.

Se busca en un primer lugar la relación de piñones - cadena  $r_p$  con los datos dejados por LabVolt y en un segundo lugar la velocidad del viento virtual  $V_C$ .

### Determinación de la relación de piñones - cadena $r_p$

#### ***Datos según LabVolt y suposiciones para condiciones nominales:***

Potencia requerida del generador:  $P_G = 249 \text{ W}$

Frecuencia de la red:  $f = 60 \text{ Hz}$

Numero de pares de polos:  $p = 2$

Relación del multiplicador:  $r_R = 38,45$

Velocidad de rotación del viento/motor:  $\omega_M = 50 \text{ rpm}$

Rendimiento de cada planta del multiplicador:  $k = 0,98$

Número de plantas del multiplicador:  $n = 2$

Rendimiento de la conducción (perdidas mecánicas al nivel de la conducción):  $\eta_C = 0,95$

Rendimiento de rugosidad del sol/piñones-cadena:  $\eta_P = 0,9$

#### ***Relaciones existentes:***

Rendimientos:

$$\eta_R = \frac{P_G}{P_E} = k^n$$

$$\eta_C = \frac{P_E}{P_C}$$

$$\eta_P = \frac{P_C}{P_M}$$

Reducción:

$$r_R = \frac{\omega_G}{\omega_E}$$

$$r_P = \frac{\omega_C}{\omega_M}$$

Generador:

$$\omega_G = 60 \cdot \frac{f}{p}$$

#### ***Cálculos:***

Los cálculos se hacen paso a paso:

Anthony

Investigación y diseño de entrenador

Michot

didáctico "góndola de aerogenerador"

Reducción:

$$\omega_G = 60 \cdot \frac{f}{p} = 1800 \text{ rpm}$$

$$\omega_E = \omega_C = \frac{\omega_G}{r_R} = 46,81 \text{ rpm}$$

$$r_P = \frac{\omega_C}{\omega_M} = 0,94$$

Potencia:

$$\eta_R = k^n = 0,96$$

$$P_E = \frac{P_G}{\eta_R} = 259,27 \text{ W}$$

$$P_C = \frac{P_E}{\eta_C} = 272,91 \text{ W}$$

$$P_M = \frac{P_G}{\eta_R} = 259,27 \text{ W}$$

Par:

$$C = \frac{P}{\omega}$$

**Resultados:**

	<i>P</i>		<i>ω</i>		<i>C</i>		<i>η</i>	<i>r</i>
<i>G</i>	249,00	W	1800,00	rpm	1,32	Nm		
<i>E</i>	259,27	W	46,81	rpm	52,89	Nm	0,96	38,45
<i>C</i>	272,91	W	46,81	rpm	55,67	Nm	0,95	1,00
<i>M</i>	303,24	W	50,00	rpm	57,91	Nm	0,90	0,94

**Determinación de la velocidad del viento virtual  $V_c$**

**Datos según LabVolt y suposiciones para condiciones nominales:**

Se guardan los mismos datos que en la parte precedente, pero se cambian algunas (en azul) y se añaden otras (en verde).

Potencia requerida del generador:  $P_G = 187 \text{ W}$

Frecuencia de la red:  $f = 50 \text{ Hz}$

Relación de piñones-cadena:  $r_P = 0,94$

Coeficiente de Betz:  $C_P = 0,42$

Velocidad específica:  $\lambda = 6,5$

Densidad del aire:  $\rho_{aire} = 1,225 \text{ kg/m}^3$

**Relaciones conocidas**

Aerogenerador:

$$P_M = \frac{1}{2} \cdot \rho_{aire} \cdot S_P \cdot V_c^3 \cdot C_P$$

Anthony

Investigación y diseño de entrenador

Michot

didáctico "góndola de aerogenerador"

$$S_p = \pi \cdot R_p^2$$

$$\lambda = \frac{R_p \cdot \omega_c}{V_c}$$

### Analogía:

El radio de las palas  $R_p$ , la velocidad (nominal) del viento  $V_c$ , la velocidad máxima del viento  $V_{cmax}$  y la velocidad máxima en punta de palas  $V_{cpuntamax}$  pueden obtenerse a partir de una analogía entre los datos del estudio francés en el cual nos basamos para hacer nuestro diseño y los datos elegidos en nuestro caso.

Si se considera  $\lambda$ ,  $\rho_{aire}$  et  $C_p$  constantes en los dos estudios (características del viento), se puede escribir las analogías siguientes:

Primero, combinando las tres relaciones del aerogenerador, se tiene:

$$P_M = \frac{1}{2} \cdot \rho_{aire} \cdot \pi \cdot R_p^2 \cdot \left( \frac{R_p \cdot \omega_c}{\lambda} \right)^3 \cdot C_p$$

$$\text{Pues: } \frac{1}{2} \cdot \rho_{aire} \cdot \pi \cdot \frac{1}{\lambda^3} \cdot C_p = cte = \frac{P_G}{R_p^5 \cdot \omega_c^3} = \frac{P_{G1}}{R_{p1}^5 \cdot \omega_{c1}^3}$$

$$\text{Así: } R_p = R_{p1} \cdot \left[ \frac{P_M}{P_{M1}} \cdot \left( \frac{\omega_{c1}}{\omega_c} \right)^3 \right]^{1/5}$$

$$\text{Después: } V_c = \frac{R_p \cdot \omega_c}{\lambda}$$

$$\text{Y finalmente con relaciones simples: } V_{cmax} = V_{c1max} \cdot \frac{V_c}{V_{c1}} \text{ y } V_{cpuntamax} = V_{c1puntamax} \cdot \frac{V_c}{V_{c1}}$$

Y admitiendo los valores del estudio francés (en azul), se puede determinar los valores esenciales en el estudio de un aerogenerador (en violeta) velocidad máxima en nuestro caso.

Estudio francés			LabVolt		
$P_{m1}$	36534,48	W	$P_m$	227,73	W
$R_{p1}$	4,05	m	$R_p$	4,08	m
$\omega_{c1}$	22,5	rad/s	$\omega_c$	4,09	rad/s
	214,8591732	rpm		39,01	rpm
$V_{c1}$	14,01997409	m/s	$V_c$	2,57	m/s
$V_{c1max}$	20	m/s	$V_{cmax}$	3,660921967	m/s
$V_{c1puntamax}$	100	m/s	$V_{cpuntamax}$	18,30460983	m/s

### Resultados:

Según el mismo método que precedente, se tiene los resultados siguientes:

	$P$		$\omega$		$C$		$\eta$	$r$	$V$	
$G$	187,00	W	1500,00	rpm	1,19	Nm				
$E$	194,71	W	39,01	rpm	47,66	Nm	0,96	38,45		
$C$	204,96	W	39,01	rpm	50,17	Nm	0,95	1,00	2,57	m/s
$M$	227,73	W	41,67	rpm	52,19	Nm	0,90	0,94		

***Nota***

Todo esto nos permite conocer los valores importantes del sistema del grupo motopropulsor

Así, se puede hacerse una idea muy precisa de las características tomadas por LabVolt como los pares permitiendo elegir los acoplamientos y todos los elementos, el coeficiente de reducción del conjunto piñones-cadena, y también la potencia inicial del motor para engendrar la del generador.

Se puede hacer nuestra elección a partir de estas valores que se basa en un modelo funcionando, el de LabVolt.

Se nota que LabVolt trabaja con valores reales de velocidad de rotación (entre 20 y 60 rpm para el viento/motor y entre 750 y 1800 para el generador) mientras que las de potencia no son representativas de un largo aerogenerador real. Sin embargo, en nuestro caso, es completamente suficiente para simular el funcionamiento de un aerogenerador: no necesita recuperar energía eléctrica pero solo comprender y estudiar los mecanismos y sus fallos.

Además, este orden de valores es posible para los pequeños aerogeneradores como lo hemos visto anteriormente. Y así, se podría basarse en un estudio de pequeño aerogenerador para completar nuestro estudio y diseño.

## Anexo 6 Dimensionamiento vía Excel

Datos fijos			Datos elegidos			G			E			C			M		
$f$	50,00	Hz	$P_g$	200,00	W	$P_g$	200,00	W	$P_e$	208,25	W	$P_c$	219,21	W	$P_m$	243,56	W
$k$	0,98		$\omega_g$	1500	rpm	$\omega_g$	1500,00	rpm	$\omega_e$	40,00	rpm	$\omega_c$	40,00	rpm	$\omega_m$	40,00	rpm
$n$	2,00		$p$	2		$C_g$	1,27	Nm	$C_e$	49,72	Nm	$C_c$	52,33		$C_m$	58,15	Nm
$\rho_{\text{aire}}$	1,225	kg/m <sup>3</sup>	$r_p$	1,00					$\eta_r$	0,96		$\eta_c$	0,95		$\eta_p$	0,90	
$C_p$	0,42		$r_r$	37,5		$I_g$	0,07	kg.m <sup>2</sup>	$r_r$	37,50		$r_c$	1,00		$r_p$	1,00	
$\lambda$	6,50		$l$	300,00	mm				$I_e$	102,27	kg.m <sup>2</sup>	$R_p$	4,08	m			
$m_1$	30,00	kg				$C_{fg}$	2,03	Nm	$\omega_e/T_f$	0,27925268	rad/s <sup>2</sup>	$V_c$	2,627189476	m/s			
$L_1$	4,89	m							$C_{ie}$	28,56	Nm						
$L_2$	38,80	m							$C_{fe}$	78,27	Nm						
$D_2$	80,00	m				$C_{gmax}$	2,66	Nm				$V_{cpunta}$	17,08	m/s			
$T_{\text{frein}}$	15,00	s				$\omega_{gmax}/T_f$	15,147	rad/s <sup>2</sup>	$C_{emax}$	104,01	Nm	$L_p$	3,95	m			
$G$	80000,00	MPa				$C_{fgmax}$	3,77	Nm	$\omega_{emax}/T_f$	0,4039146	rad/s <sup>2</sup>	$m_p$	19,62	kg	$P_{mmax}$	737,04	W
$\theta_{\text{ideal}}$	0,50	°/m				$P_{gmax}$	605,21	W	$C_{iemax}$	41,31	Nm	$P_{cmax}$	663,3318364	W	$\omega_{mmax}$	57,86	rpm
	0,008727	rad/m							$C_{femax}$	145,32	Nm	$\omega_{cmax}$	57,86	rpm			
$\eta_c$	0,95																
$\eta_p$	0,90								$De_{\text{sup}}$	38,16	mm						
$r_c$	1,00								$De$	45,00	mm						
$V_{cmax}$	3,80	m/s							$Di_{\text{inf}}$	37,51365	mm						
$V_{cpuntamax}$	18,80	m/s							$Di$	35,00	mm						
$E$	200,00	GPa							$I_o$	0,00000026	m <sup>4</sup>						
									$\theta$	0,00711626	rad/m						
										0,41	°/m						
									$F_p$	35,64504332	N						
									$a$	0,09	m						
									$b$	0,18	m						
									$F_b$	807,3145595	N						
									$F_a$	-807,3145595	N						