

Trabajo a realizar.

Nosotros vamos a realizar un rotor tripala, estos rotores son los que están presentes en los aerogeneradores instalados en Navarra. Nosotros realizaremos el ya mencionado rotor junto con un soporte. El trabajo que vamos a realizar se divide en dos bloques o partes, el rotor (el cual es la parte más importante del proyecto) y el soporte.

Rotor tripala:

El rotor como su nombre indica consta de tres palas, estas se fabricarán individualmente a partir de unos listones de madera de pino, o una madera similar. Las palas al estar construidas de manera separada deben unirse a un buje metálico, esto a grandes rasgos supone la realización de esta parte del proyecto.

Soporte:

El soporte constará de un listón cilíndrico de madera, la función de esta pieza es muy importante ya que gracias a ella podemos colocar el rotor cara a el viento, comprobando así su correcto funcionamiento. En el soporte se debe incluir un mecanismo para unirlo al rotor este se explicará más adelante.

Ideas (tormenta de

ideas.)

* Los datos que presentan este signo son los que hemos elegido, para realizar el proyecto.

La primera tormenta de ideas que realizamos hizo referencia a los materiales que íbamos a utilizar para la construcción de las palas del rotor. Los datos aportados en esta tormenta fueron:

El *1 De madera. 3 De resina.

Rotor. 2 De plástico. 4 De poliexpan.

El *1 De madera.

Soporte. 2 De plástico.

Tanto en el rotor como en el soporte nos decantamos por la madera, las razones por las cuales hemos elegido este material se explicarán más adelante.

Una vez que tuvimos claro que las dos "piezas" iban a ser de madera surgió otro interrogante, ¿Qué tipo de madera vamos a utilizar? Razón por la cual realizamos una segunda tormenta de ideas, en la que se quiso definir el tipo de madera a utilizar. Los datos fueron los siguientes:

El 1 Madera de balsa.

Rotor 2 Madera de pino (Madera más dura que la de balsa)

El 1 Madera de balsa

Soporte 2 Madera de pino (Madera más resistente que la de

balsa)

Consideramos las opciones y elegimos realizar tanto el rotor como el soporte en madera de pino, las razones de nuestra elección se expondrán más adelante.

Nuestro tercer interrogante surgió a la hora de decidir el modo de trabajar, pero no hizo falta realizar una tormenta de ideas ya que a todos se nos ocurrió la misma idea, cada uno de nosotros realizaría una pala, y cuando las tres estuvieran realizadas, las ensamblaríamos.

Memoria.

La memoria se divide en cuatro apartados, los cuales son los siguientes:

- **Justificación.**
- **Materiales.**
- **Procesos.**
- **Herramientas.**

A continuación se va a realizar la explicación de los diferentes apartados de los que consta la memoria.

- **Justificación.**

1-1 Justificación de la realización del proyecto.

En primer lugar debemos decir el motivo por el cual no

hemos decantado ha realizar este proyecto. Todos los miembros del grupo constatamos que el aprovechamiento de la energía eólica es patente en nuestros días, ya que supone una fuente de energía limpia y que está adquiriendo un gran desarrollo. Razón por la cual el aprovechamiento de esta energía y los medios utilizados para este fin nos parecen dignos de mención y análisis. También hay un hecho que cabe destacar, el cual ha influido para que realicemos este proyecto. El motivo es conocido por todos, la cantidad de parques eólicos que se están construyendo en Navarra, lo que a otorgado a la comunidad foral la segunda posición en Europa en lo que al aprovechamiento de la energía eólica se refiere. Casi todos, por no decir todos los parques eólicos, de Navarra están equipados con aerogeneradores tripalas, por esta razón nos parece, muy interesante realizar un proyecto de un rotor de dichas características ya que la aplicación de los mismos nos parece palpable y muy interesante.

1-2 Justificación de los materiales.

Como ya se ha expuesto anteriormente tanto el rotor en sí como el soporte para el mismo van a estar realizados en madera. Los materiales se escogieron tras una lluvia de ideas. Escogimos madera debido a que es un material resistente, aunque un poco incomodo de trebajar – dadas nuestras condiciones, limitación en las horas de utilización del taller y de la herramientas, etc.– y deseamos materiales como por ejemplo: Plástico, poliexpan, resina, debido a que son materiales más fácilmente manejables pero que presentan numerosos inconvenientes, como pueden ser: elevados precios, poca resistencia y por lo tanto poca practicidad, etc. Lo ideal sería realizar el rotor de fibra de vidrio tal y como se hace en la realidad, pero el realizar el rotor con ese material requiere numerosos y costosos medios técnicos que no están a nuestro alcance, por lo cual y después de informarnos ni se planteo esta opción. Una vez tuvimos claro que tanto el rotor como el soporte serían realizados en madera, realizamos una segunda lluvia de ideas con el fin de determinar el tipo de madera que emplearemos. Desde el principio tuvimos claro que el soporte sería de una madera resistente, ya que este no precisa de una elevada manipulación– cuando digo manipulación me refiero a modelación de las piezas, principalmente – por lo cual, que la madera empleada sea más o menos manipualable tiene un carácter

secundario, lo que realmente prima en esta pieza es la resistencia, por lo cual elegimos una madera resistente, madera de pino.

El problema surgió cuando debimos determinar el tipo de madera del rotor. Las piezas más importantes del rotor, las aspas, precisan de mucha modelación, para obtener el perfil adecuado, el borde de ataque correcto, la anchura determinada en las diferentes cotas, etc. Basándose en estas consideraciones, en un principio estábamos dispuestos a realizar el rotor con madera de balsa, esta es una madera muy manejable –es el tipo de madera empleada en el aeromodelismo –, pero presenta también algunos inconvenientes como por ejemplo, su elevado precio y su poca resistencia.

Después de analizar los pros y los contras de la utilización de este tipo de madera consideramos más oportuno, realizar el rotor en madera de pino. La utilización de madera de balsa es más cómoda ya que es bastante fácil de trabajar, pero poco práctica ya que es

poco resistente, así si hubiésemos elegido esta madera para realizar el rotor correríamos el riesgo de que este se rompa debido a su escasa resistencia tal y como se ha mencionado anteriormente. Por el contrario la madera de pino – la elegida para realizar el rotor – es más difícil e incomoda de trabajar, pero a diferencia de la de balsa es muy resistente lo cual da más garantía al rotor en cuanto a su efectividad.

• 3 Justificación del modo de trabajo.

Como ya se expuso anteriormente, el modo de

trabajar va a consistir, en realizar cada uno de los componentes del grupo una pala del rotor. Este hemos considerado que es el mejor método ya que disponemos de poco tiempo en clase – el tiempo de clase es el que más cunde ya que se disponen de los medios materiales necesarios – para la realización del proyecto, por lo cual si cada uno realiza una pala permitirá aprovechar mejor dicho tiempo. Cuando las tres palas estén realizadas los miembros del grupo nos juntaremos para montar el rotor. Como se va a montar el rotor se explicará más adelante.

2– Materiales.

Los materiales necesarios para la realización del rotor

se expondrán a continuación en una lista los materiales son los siguientes:

- Tres listones de madera de pino – o similar– de cinco

centímetros de ancho por cincuenta centímetros de largo.

5 por 50.

2 – Un listón de madera cilíndrico de dos centímetros de radio.

3 – Nueve tornillos de cabeza de estrella, de 8–10 mm ".

4 – Dos chapas metálicas circulares de entre cuatro y cinco centímetros de radio y de entre dos y tres mm de anchura. Las chapas servirán para unir las tres palas, estas deben ser fuertes y consistentes, por lo que deberán ser de un material que reúna esas condiciones, como por ejemplo acero, o un metal similar.

5 – Un listón de madera de pino cilíndrico de un centímetro de radio y una longitud de diez centímetros.

6 – Un tornillo de cinco centímetros de largura de cabeza de estrella.

7 – Una tuerca válida para un agujero de una broca del dos.

8 – Dos piezas de goma.

3– Procesos

En la construcción del rotor se distinguen cuatro partes principales :

1– La construcción de cada una de las palas

2– El ensamblaje de las palas, en un buje.

3– La construcción del soporte.

4– El ensamblaje del rotor en el soporte.

3–1 Construcción de cada una– de las palas.

Para la construcción cada pala del rotor debemos partir de tablas de la misma madera, en este caso la madera va a ser madera de pino.

Esta es muy importante que este limpia, sin nudos y seca. Marcamos lo que hay que rebajar y quitamos las cuñas que sobran con un cepillo a mano o con una cepilladora para ir más rápidos. Una vez que se han quitado las cuñas hay que proceder a dar la forma correcta a la pala. Par ello se dibuja en la testa del perfil aerodinámico teniendo en cuenta el sentido el sentido de giro y el borde de salida. Una vez echo esto queda un buen trabajo de cepillado y de raspado hasta dejar todo debastado según las cotas del desarrollo, teniendo especial cuidado en el borde de ataque, salida, y punta, para que el rozamiento aerodinámico sea mínimo. Una vez realizadas las palas, se debe realizar un lijado final y pintarlas o barnizarlas. Cuando las palas estén ya terminadas hay que ensamblarlas, equilibrar el rotor y unirlo al soporte.

3–2 Ensamblaje de las palas en un buje.

Una vez que las palas estén correctamente realizadas, procederemos a su ensamblaje en un buje formado por dos chapas metálicas de características anteriormente expuestas. En su colocación se debe cuidar la perfecta simetría de las palas tal como indica el dibujo, y el buen equilibrado de las mismas. Para ensamblarlas utilizaremos nueve tornillos – tres por cada pala – y las dos chapas metálicas.

3–3 Realización del soporte.

El soporte se realizará con dos listones de madera cilíndricos, el cuerpo del soporte debe medir aproximadamente un metro, mientras que la pieza de unión o eje del soporte debe medir diez centímetros de largo y un centímetro de radio. Antes de unir las dos piezas se debe realizar a la pieza de unión del soporte un agujero, tal como indica el dibujo. Una vez realizado esto se procede a unir las dos piezas del soporte, para ello se pone la pieza de unión perpendicular al cuerpo del soporte y se atornilla. Es importante que el cuerpo del soporte incluya dos tiras de goma a su alrededor para que al poner el rotor al viento se nos resbale, todo esto queda más claro observando el dibujo que se adjunta a continuación.

3-4 Ensamblaje del rotor en el soporte.

Una vez realizado el rotor y el soporte debemos proceder a su ensamblaje. Para ello lo primero que tenemos que hacer es un agujero de 2.05 centímetros en el centro del rotor con un taladro y una broca redonda de dos centímetros de radio. Una vez realizado este agujero lo que haremos será pasar el eje del soporte por el mismo y colocaremos una tuerca en el agujero previamente realizado. Cuando se coloca el rotor se debe cuidar que este se encuentre en un plano perpendicular perfecto al eje o soporte, tal como indica la figura.

4- Herramientas.

Las herramientas necesarias para realizar este proyecto son:

- Sierras. - Lijas. - Lijadoras. - Sargentas. - Taladro.
- Cepillo. - Reglas - Escofinas - Broca normal del dos
- Broca redonda de un centímetro de radio.

Diseño.

En este apartado se va a hacer mención a dos cosas principalmente: 1- al diseño de una hélice aerodinámica, y

2- al desarrollo de las cotas de una pala de perfil estrecho.

1- Diseño de una hélice aerodinámica.

La hélice aerodinámica tiene un buen rendimiento energético ($Cr = 0,45$) por lo que se obtiene la misma energía que la multipala, pero con menos diámetro. Esta hélice funciona gracias al mismo principio que permite volar a un ave, un avión, etc. La sustentación, enunciada bajo el principio de Bernoulli.

* Funcionamiento de una hélice aerodinámica:

Dentro de las hélices aerodinámicas las más utilizadas son las hélices de perfiles planos conversos por ser los más adecuados. Los perfiles más usados son NACA 4415 y

Clark Y.

* Cotas generales de un perfil aerodinámico normal: (la cara plana es la que mira al viento)

* Cotas precisas del perfil Clark Y utilizado en numerosas hélices aerodinámicas:

2- Desarrollo de las cotas de una pala de perfil estrecho.

Notas de la

realización.

El Proyecto fue realizado con éxito, pero como ya era de suponer tuvimos que realizar algunos cambios provocados por diversos motivos, falta de tiempo útil (cuando decimos tiempo útil nos referimos a tiempo de manipulación) escasa disponibilidad de determinados materiales, etc, o simplemente mejoras que se quisieron introducir a medida que el proyecto avanzaba. A continuación se realizará un análisis en el cual se valorará los

cambios o mejoras realizamos durante la elaboración del rotor junto con los motivos que provocaron dichos cambios o mejoras.

El análisis se va a realizar evaluando las "partes" o fases de las que constaba la realización del proyecto. Estas fases están recogidas de manera explícita en el anteproyecto, anteriormente entregado y evaluado, las fases son las siguientes:

- 1 – La construcción de cada una de las palas
- 2 – El ensamblaje de las palas en un buje.
- 3 – La construcción de un soporte.
- 4 – El ensamblaje de las palas en el soporte.

1 – Construcción de cada una de las palas.

La realización de las palas sufrió alguna modificación. Se partió de unos listones de madera de pino secos y limpios de nudos, se cortaron y se dejaron con la medidas que nos interesaron. Una vez tuvimos los listones cortados con las medidas que nos interesaban tuvimos que eliminar las cuñas que sobraban con la ayuda de una sierra de calar. Una vez quitadas las cuñas sobrantes procedimos a dar la forma correcta a la pala. Para ello dibujamos en las testas del perfil aerodinámico teniendo en cuenta el sentido de giro, el borde de ataque y de salida.

Una vez realizamos esto tuvimos por delante un buen trabajo de cepillado y de lijado hasta que las palas quedaron con la forma adecuada y con las cotas de desarrollo correctas, aquí es donde se dio un pequeño cambio con respecto a lo que teníamos ideado, este cambio afecto a la forma de trabajar. Durante la realización de las palas se trabajo en clase y en casa, el trabajar en casa durante esta parte del proyecto no estaba para nada previsto, el motivo que sugirió este planteamiento del trabajo fue el siguiente. El trabajo de corte de las palas (eliminación de cuñas, etc.) se cobró mucho tiempo, por diversos motivos, como por ejemplo; escasez de herramientas en lo que a número se refiere, escasez de tiempo en cada sesión, etc. Por ello en el taller las palas no se realizaron completamente tal y como estaba pensado, se realizaron entre el tiempo disponible en clase y en casa. En el taller realizamos las tareas de corte, principalmente la eliminación de cuñas. En casa se realizó el trabajo de lijado y por tanto también el trabajo de dar forma a las palas según las cotas del desarrollo. Esto no supuso ningún problema ya que uno de los miembros del grupo (Óscar Purroy) dispuso durante ese tiempo de herramientas en su casa, tales como una lijadora de rodillo, limas, papel de lijas, etc. Por lo cual se le entregaron a él los listones totalmente cortados, solo faltos de la forma adecuada según las ya mencionadas cotas de desarrollo y él las terminó.

Una mejora que se dio a las palas fue el darles una mano de tapa poros, lo cual hizo que el acabado final una vez barnizadas fuera más fino, a demás de dar a la madera más resistencia a la corrosión si el rotor se expusiera a la intemperie, y que aunque nuestro rotor no va a tener una verdadera capacidad operacional ya que no se va a utilizar para producir energía eléctrica

decidimos realizarlo como si este fuera un rotor que se va a emplear para este fin. Consiguiendo así que la maqueta tenga gran semejanza, en numerosos aspectos con la realidad.

2 – Ensamblaje de las palas en un buje.

El ensamblaje de las palas sufrió modificaciones sustanciales. En un principio se pretendió seguir el ensamblaje tal y como se ideo y recogió en el anteproyecto, unir las tres palas por medio de dos chapas metálicas. Para unir se tenía previsto cortar los extremos de las palas para que entre las tres formaran un

ángulo de 360°. Una vez realizado esto se colocarían las chapas metálicas (con la forma de las palas unidas) por la parte de arriba y por la parte de abajo y se atornillarían con unos pequeños tirafondos, para posteriormente equilibrar el rotor marcar el centro y agujerear con una broca plana del dos, este agujero servirá para pasar el soporte y comprobar el correcto funcionamiento del rotor. Lo anteriormente descrito es lo que se tenía previsto hacer para unir las tres palas en un buje, en gran medida se siguió pero tuvimos que realizar algún cambio, este cambio afectó, ligeramente al proceso y mayormente a los materiales y la forma de las piezas que debían hacer las veces de buje. Para unir las palas realizamos en un principio lo que estaba previsto, cortamos los extremos de las palas para que entre todas formasen un ángulo de 360°, después lo que hicimos fue encolarlas para que su unión en el buje fuese más limpia y consistente, esto no estaba previsto ni recogido en el anteproyecto, el motivo que suscitó este cambio fue que no tuvimos en cuenta que si no encolábamos las palas sería muy difícil unir las palas en el buje y la unión sería poco consistente. Este es el cambio que afectó al proceso. Una vez tuvimos las palas cortadas y encoladas procedimos a su unión en buje. A diferencia de lo que se tenía previsto no se unieron con chapas metálicas sino con ocho piezas de aglomerado. De las ocho, las más importantes fueron las dos principales que sujetaban las palas por arriba y por abajo, para colocarlas primero se cortaron con la forma adecuada (la forma de las tres palas unidas) y posteriormente se atornillaron con dos pequeños tirafondos en cada pala, uno por arriba y otro por abajo colocados asimétricamente. Las seis piezas de aglomerado se colocaron en los laterales, estas se colocaron en los laterales y se colocaron con cola blanca, el fin de estas pequeñas piezas es disminuir la resistencia al viento, y mejorar la estética del rotor. El motivo que nos hizo decantarnos por esta opción en lugar de la que estaba prevista para unir las palas en un buje, fueron varios. En primer lugar la disponibilidad de los materiales, ya en el taller no se disponía de los materiales necesarios, y cuando decimos materiales no referimos a las dos chapas metálicas, otro motivo fue la dificultad para trabajar y para perforar el metal, ya que necesitamos cortar y atornillar en numerosas ocasiones, a demás también necesitamos hacer un agujero bastante grande en el centro del buje, por lo cual el metal al ser un material duro es un material desaconsejable para el uso que se le pretendió dar.

Lo anteriormente expuesto fueron las variantes, los motivos etc, que se realizaron en el ensamblaje de las palas en un buje. A continuación se adjunta un dibujo que ayudara a entender mejor lo descrito.

3 – Realización del soporte.

El soporte se realizó casi sin ninguna modificación, se respetó en su realización tanto los materiales como las medidas, etc. Una de los cambios más importantes que realizamos fue incorporar al eje del soporte un pequeño tope. La colocación de este tope no estaba recogida en el anteproyecto, pero a medida que fuimos construyendo el soporte vimos que era necesario. El porque era necesario es evidente; el rotor no puede girar correctamente si el eje no tiene un tope en su parte posterior, y no puede girar correctamente por diversos motivos, las aspas pegan en el mástil de soporte, etc.

Otra cosa que añadimos al soporte, más concretamente al eje añadir a la banda de giro (franja de la pieza de unión del soporte en la que el rotor gira) unas vueltas con cinta aislante. El motivo por el cual nos vimos obligados a añadir dicha cinta fue para aumentar el grosor de la banda de giro.

Decidimos aumentar el grosor de la banda, porque el agujero que realizamos en el centro del rotor era más grande de lo deseado, por lo que al introducir el eje en el agujero del rotor, quedaba demasiada holgura, la cual impide el correcto funcionamiento del rotor; por tanto al colocar la cinta se reduce la holgura, por tanto se consigue el correcto funcionamiento del rotor. Otro punto que se varió en el rotor fue que suprimimos las bandas de goma que debían colocarse en el mástil del soporte, y que servían para agarrar el soporte y evitar que este se nos resbalase cuando pusiéramos lo pusiéramos junto con el rotor al viento para comprobar su funcionamiento. No las colocamos por problemas de disponibilidad, ya que en el taller no disponíamos de dichas bandas y nos resultó imposible conseguirlas en ningún comercio especializado. Un aspecto en el que también varió el soporte con respecto a lo planteado en el anteproyecto, fue que le dimos una mano de barniz, el objeto de esta mano es primordialmente mejorar la estética.

A continuación se adjunta un dibujo para comprender mejor lo anteriormente explicado.

4 – Ensamblaje del rotor en el soporte.

El ensamblaje del rotor en el eje del soporte se realizó según lo previsto, esta fue en la única parte en la que no tuvimos que realizar ningún cambio o modificación.