

# 1 Antecedents, objecte, especificacions i abast

Degut a la crisi del petroli dels anys 70 i l'aparició dels moviments anti-nuclears dels 80, l'energia eòlica va potenciar-se per part d'alguns països fins a resultar una energia amb un preu prou competitiu per poder entrar al mercat energètic.

Així van començar a construir-se parcs eòlics, tant a terra ferma com al mar amb els anomenats parcs off-shore. Els aerogeneradors eòlics eren cada vegada més grans i més potents fins a arribar als actuals.

Però paral·lelament a aquest augment de potència, des de ja fa bastants anys també s'han anat dissenyant petits aerogeneradors, anomenats aerogeneradors minieòlics o fins i tot microeòlics si són molt petits. A la UdG hi ha 2 aerogeneradors minieòlics: el del terrat del P2 i un de més petit al laboratori d'energies.

Aquest segon aerogenerador minieòlic és el que s'ha utilitzat en aquest projecte. Es tracta d'un Air-X de la casa Technosun amb les següents característiques:

- Té un pes de 6Kg, un radi de 0,582 metres, un TSR de 8,8 i una potència de 545W.
- Perfil de la pala tipus SD2030.
- Velocitat d'engegada de 3m/s.
- Amb vents forts (més de 15m/s) un dispositiu electrònic redueix la velocitat fins a 600rpm, reduint les càrregues sobre la turbina i l'estructura mentre encara segueix produint energia.
- Baix manteniment. Només consta de dues parts mòbils.

L'objecte que s'ha plantejat per aquest projecte ha estat trobar la corba de potència del minigenerador Air-X mitjançant simulació amb CFD, i utilitzant només les dades geomètriques de l'aparell.

Com a especificacions s'ha imposat que:

- Només es poden utilitzar dades geomètriques, ja sigui les que es tenen o si cal mesurades sobre l'Air-X. No es pot fer cap prova o simulació per obtenir cap dada.
- El procediment s'ha de poder realitzar íntegrament amb els ordinadors de la UdG i amb el software que ja tenen instal·lat.

L'abast que s'ha establert és el de calcular la corba de potència únicament per a l'Air-X del laboratori d'energies. No es contempla fer la comprovació amb altres aerogeneradors minieòlics ni utilitzar els models informàtics per proposar variacions en el disseny existent de les pales.

## 2 Explicació de la metodologia

El procés realitzat s'ha estructurat en forma de metodologia per a facilitar la seva rèplica en altres models d'aerogenerador si es desitja. Els passos a seguir són:

- estimar les velocitats del vent que es simularan
- escollir un paràmetre lambda per a l'aerogenerador
- calcular les revolucions teòriques a que girarà
- calcular alguns límits de potència teòrics per tenir unes referències pels resultats que s'obtidran
- dibuixar la geometria del generador minieòlic amb ordinador
- fer el mallat d'aquesta geometria i de la canalització per on passarà l'aire
- fer els càlculs amb les condicions inicials i de contorn adequades

El primer pas, estimar les velocitats del vent que es simularan, es simplement decidir unes velocitats mínima i màxima per a les simulacions. Es decideix bàsicament en funció de les velocitats d'arrencada i de parada habituals en els aerogeneradors.

Seguidament s'escull un valor del paràmetre  $\lambda$ , que definirà una velocitat de gir per a cada velocitat del vent.

Amb aquest paràmetre  $\lambda$  es pot calcular la velocitat de gir teòrica de l'aerogenerador, però com que el valor escollit de  $\lambda$  no té perquè coincidir amb el real, la velocitat obtinguda s'utilitza només com a referència per decidir un interval de simulació per a cada velocitat del vent.

Després es calculen els límits teòrics de potència per als aerogeneradors per tenir-los com a referència en els càlculs posteriors. Són el límit de Betz i el d'aerogeneradors ràpids, que es calculen segons es pot veure a les equacions 1 i 2, respectivament:

$$N_{Betz} = \frac{8}{27} \cdot \rho \cdot s \cdot V^3 \quad (1)$$

$$N_{Ar} = 0,2 \cdot D^2 \cdot V^3 \quad (2)$$

on  $\rho$  és la densitat de l'aire,  $s$  correspon a la superfície que escombren les pales,  $D$  correspon al diàmetre de l'aerogenerador i  $V$  és la velocitat del vent.

Un cop feta la part teòrica es pot passar a fer la part que ocupa més temps i esforç, la simulació informàtica.

El primer pas és dibuixar un model en 3D de l'aerogenerador. Es tenia prou informació de la pala per dibuixar-la amb relativa facilitat, i per l'eix s'ha pogut aproximar un polinomi que el definís i dibuixar-lo amb una rotació del mateix. La unió entre l'eix i la pala ha suposat bastants problemes. Ha calgut agafar algunes mides de l'aerogenerador i fer algunes aproximacions fins que el resultat s'ha considerat adequat comparant-lo amb l'aerogenerador. Després el crea un canal exterior per on es farà circular l'aire durant les simulacions.

Un cop feta la geometria i el canal, s'exporta a l'Ansys i es malla tot el conjunt amb la major precisió possible mantenint-se dintre els límits de les llicències de la universitat.

Finalment, es defineix l'entrada i sortida del vent, les parts que giren i les que estan quietes, la rugositat de les pales, el comportament de les parets del canal exterior i les condicions de la simulació. Si tot està fet correctament, després d'un temps de simulació més o menys llarg depenent de l'ordinador que s'estigui utilitzant, els resultats s'estabilitzen i es pot procedir a utilitzar la calculadora de l'Ansys per obtenir el parell produït per les pales de l'aerogenerador.

### 3 Resultats

Després de fer 83 simulacions a 8 velocitats del vent diferents, s'obtenen les potències que es poden veure a la figura 1. Un cop estudiades les taules de resultats i les seves representacions gràfiques, s'ha vist que la corba de potència per a cada velocitat té dos pendents diferenciats. Inicialment s'esperava que es produís un màxim en les gràfiques que marqués clarament el punt de potència màxima per a cada velocitat. No obstant, aquest canvi de pendent podria indicar que la pala perd eficàcia aerodinàmica per la formació de remolins a la seva part posterior, i s'ha decidit que la velocitat on es produeix aquest canvi de pendent correspon a la velocitat de rotació òptima per a cada velocitat del vent.

Representant la part de les diferents velocitats només fins aquest punt considerat com a òptim en un mateix gràfic, es veu que descriuen una corba. Calculant una corba de regressió per a aquestes dades, s'observa que té una equació similar a les vistes a l'apartat 2, i si a més es representa aquesta corba juntament amb les potències, com es veu a la figura 1, segueix raonablement bé la part de les gràfiques que s'ha considerat com a bona. A més aquesta corba de regressió actua de forma similar a un límit superior i marca el punt

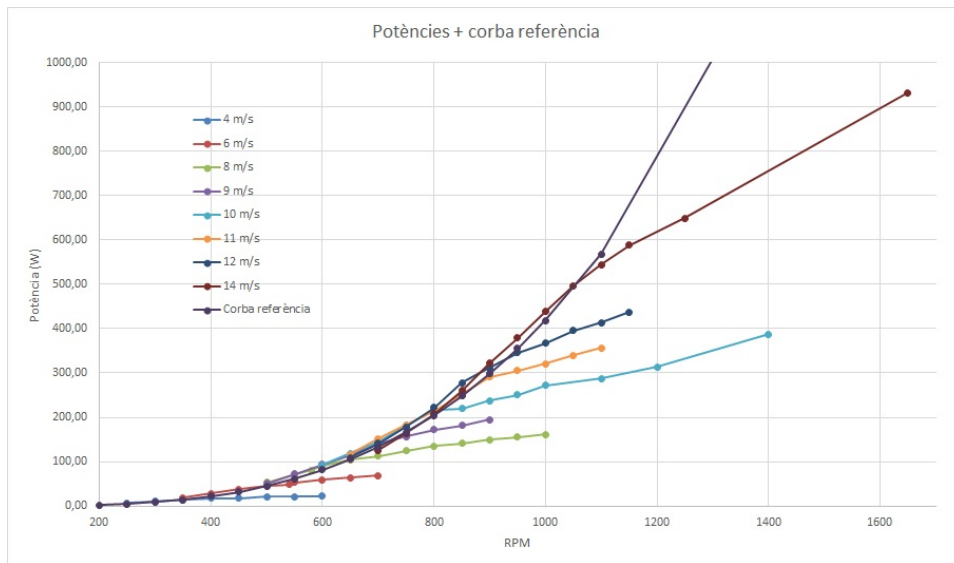


Figura 1: Potències obtingudes en les simulacions juntament amb la recta de regressió calculada.

de separació de cadascuna de les velocitats simulades en el moment que les pales perden eficiència aerodinàmica.

Per tant, es pot dir que els resultats obtinguts semblen bons, i es pot procedir a trobar una corba de potència teòrica a partir dels punts òptims de cada velocitat del vent simulada. La corba resultant es pot veure en color vermell a la figura 2, on també estan representades les corbes de potència segons els límits teòrics i les corbes reals de l'aerogenerador.

Es pot veure com la corba calculada és perfectament comparable amb la corba negra que correspon a la corba real de l'aerogenerador amb vents amb baixes turbulències (les simulacions s'han fet amb unes turbulències del vent del 5%). L'oscil·lació que fa la corba vermella probablement és deguda a l'interval escollit entre simulacions, que ha fet que alguns dels valors òptims escollits estiguin més pròxims als teòrics que altres.

Així doncs sembla que els resultats obtinguts han estat correctes i la corba teòrica calculada es correspon amb la real, però faltava veure el rang de validesa d'aquests resultats. Què passaria si es simulés una velocitat de vent molt més alta? Per respondre aquesta pregunta s'han fet més simulacions, a una velocitat del vent més alta i on, en teoria, l'aerogenerador no pot funcionar. El resultat ha estat que segons les simulacions l'aerogenerador seguiria amb el mateix comportament que a velocitats més baixes.

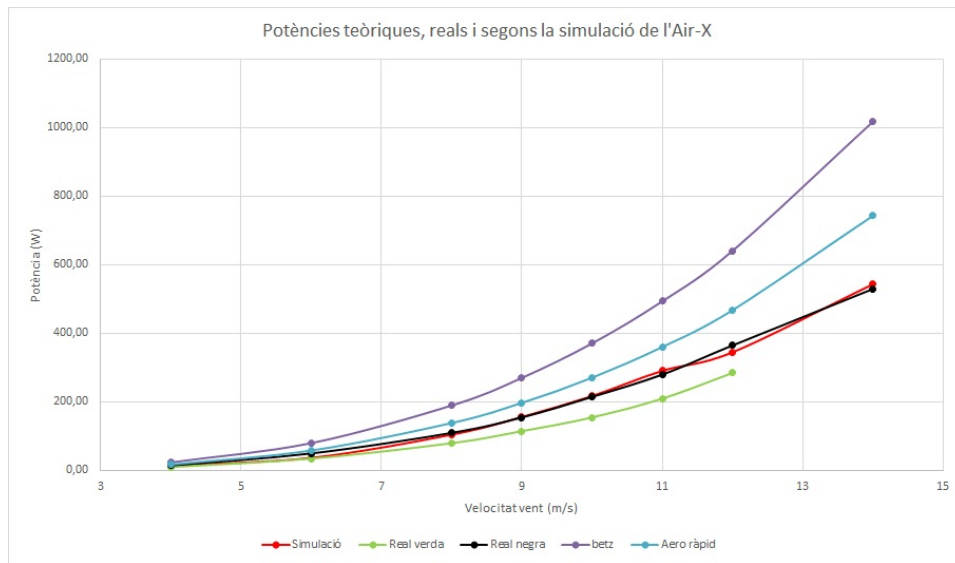


Figura 2: Corba de potència obtinguda comparada amb les reals i els límits teòrics de Betz i d'aerogeneradors ràpids.

## 4 Conclusions

El resum de les conclusions obtingudes en aquest projecte seria:

- La metodologia creada serveix realment per obtenir la corba de potència de l'aerogenerador, tal com es proposava a l'objecte d'aquest projecte.
- Tot el procés s'ha fet seguint les especificacions que s'havien imposat.
- Encara que el mètode proposat ha demostrat ser eficaç per trobar la corba de potència, no obté una velocitat màxima de funcionament. Per obtenir-la caldria fer altres càlculs basats en les propietats mecàniques de l'aerogenerador i en la fatiga que pateixen durant el seu funcionament. També es podria calcular una velocitat màxima segons criteris aerodinàmics segons la velocitat lineal de les puntes de les pales.
- Haver suposat una  $\lambda$  diferent de la real simplement suposa que es mogui l'interval de simulació, però no afecta en absolut en els resultats que s'obtenen.
- Els resultats obtinguts estan en relació amb els límits dels ordinadors i llicències de software de que es disposa a la UdG.