

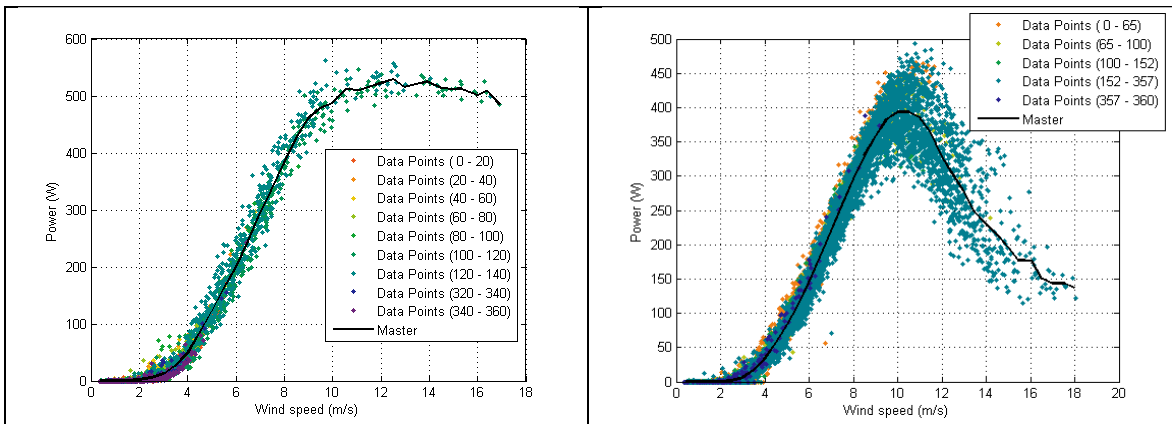
Grupo de Estudio Sobre Energía (GESE)

ESTUDIO DE LAS CARGAS EN EVENTOS DE FURLING. COMPARATIVO CON CONTROL DE POTENCIA ATRAVES DE CAMBIO DE PASO POR SISTEMA CENTRIFUGO.

Este informe presenta el estudio de las cargas, esfuerzos de tensión y un acotado estudio de la vida de las palas del diseño de la turbina Piggot 2,4 m de diámetro de rotor].

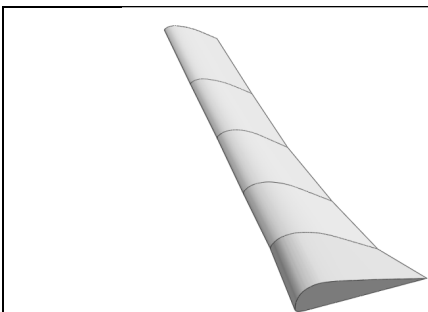
El cálculo de cargas parte del estudio aerodinámico del diseño del rotor, según lo descrito en [1]. De [2] también podemos ver varias curvas de potencia-velocidad del viento de sistemas similares. Partiendo de estas dos fuentes definimos las características principales del diseño:

- Diseño aerodinámico de las palas: según planos de [1]
- Velocidad de viento de inicio de carga de baterías: 3 m/s [2]
- Velocidad el viento de inicio de furling: 10 m/s [2].

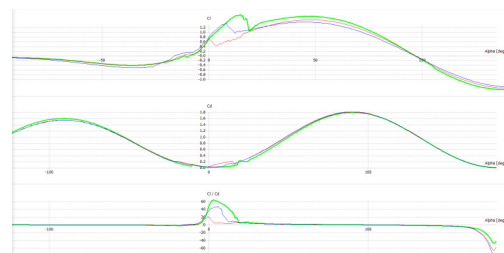


De [2], Distintas curvas de potencia-viento reales para equipos Piggot de 2,4 m

El grupo de trabajo contaba con un diseño aerodinámico realizado en el programa Qblade. Se decidió utilizarlo como base, reformulando la geometría utilizando los planos en [1]. Así mismo, se reformularon las curvas de características aerodinámicas, que son obtenidas a través del algoritmo Xfoil que se encuentra en Qblade. Idealmente, estas curvas se obtendrían por ensayos de túnel de viento, pero como aproximación se utilizarán las obtenidas del algoritmo Xfoil modificadas.



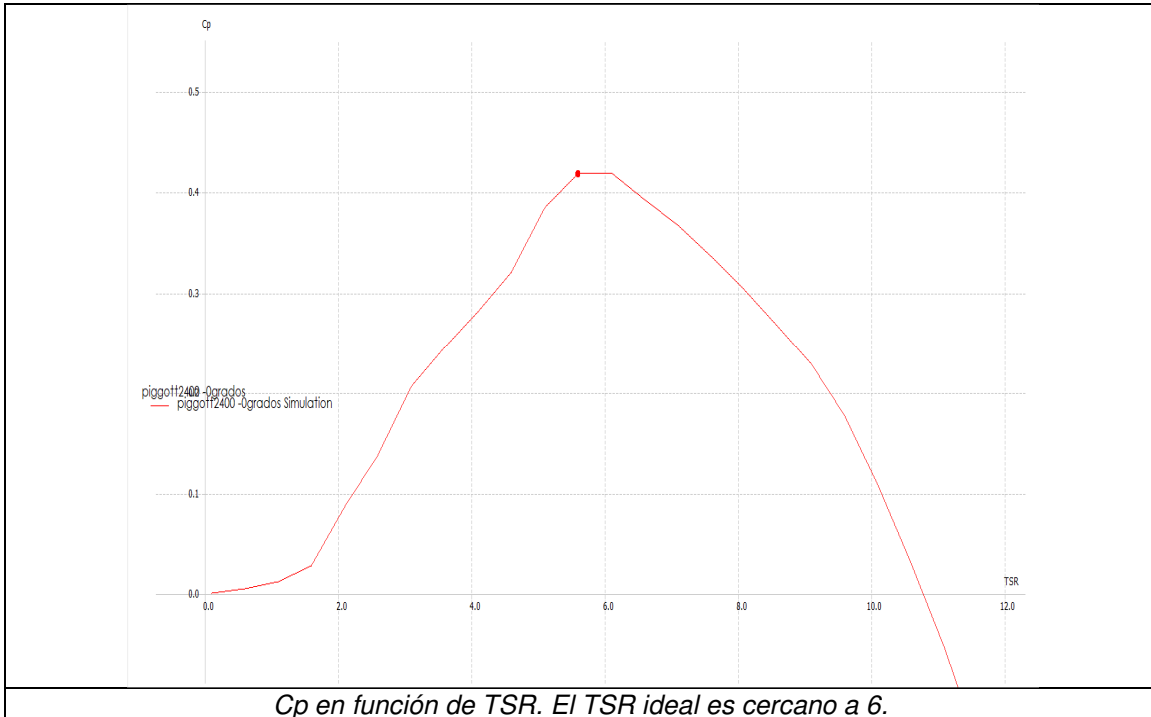
El diseño geométrico de la pala



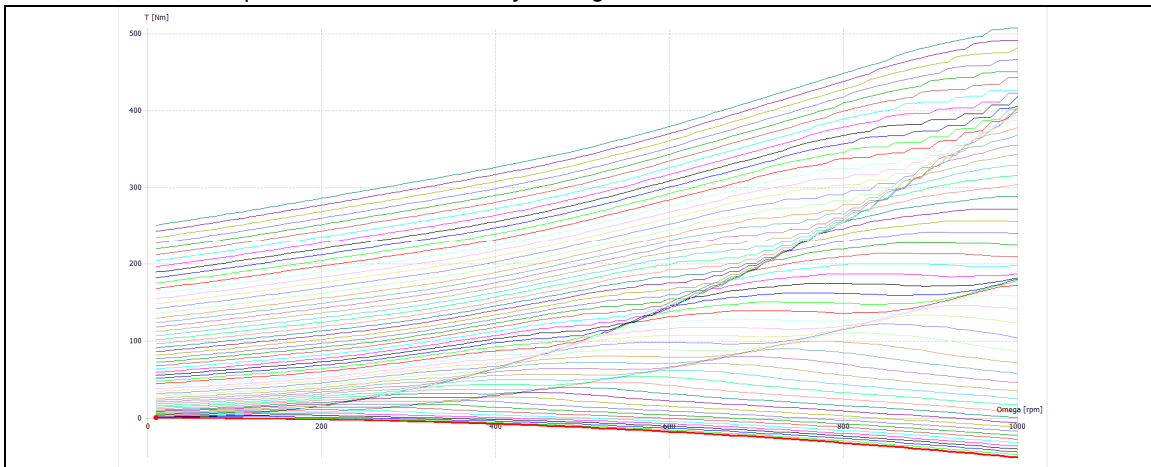
El diseño aerodinámico de los perfiles es aproximado.

Grupo de Estudio Sobre Energía (GESE)

El Qblade nos otorga entonces los parámetros aerodinámicos básicos del aerogenerador.



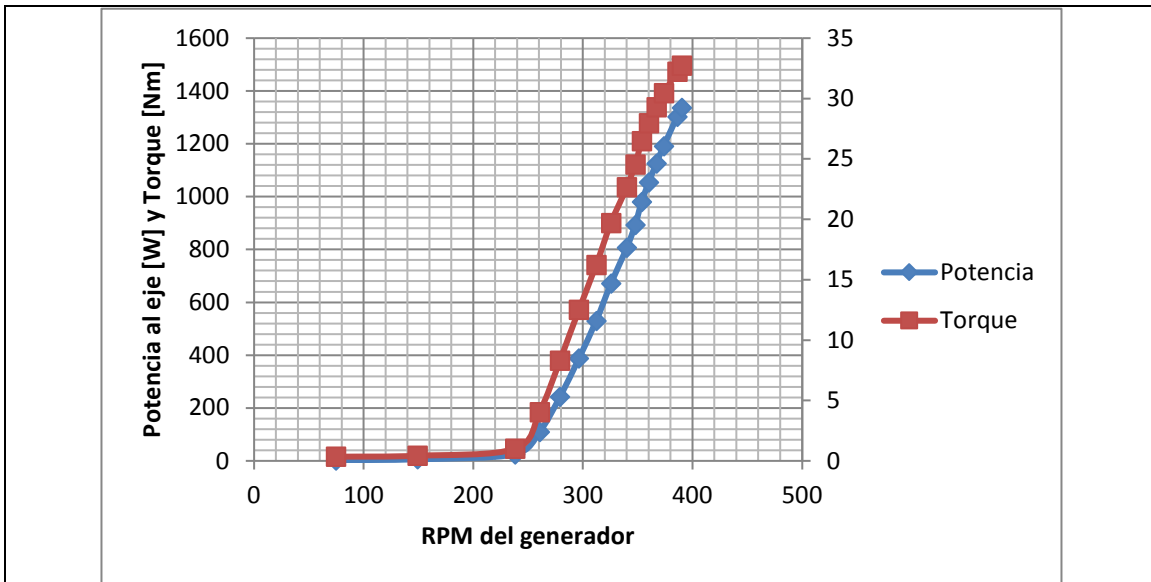
Utilizando el modulo Multi Parameter BEM simulation del Qblade se obtienen las curvas de Torque disponible vs RPM vs Velocidad del viento. El aerogenerador desacoplado de un torque resistente conserva esas 3 variables y el sistema se completa cuando se agrega la curva Torque resistente vs RPM, que se obtiene de ensayo del generador en banco.



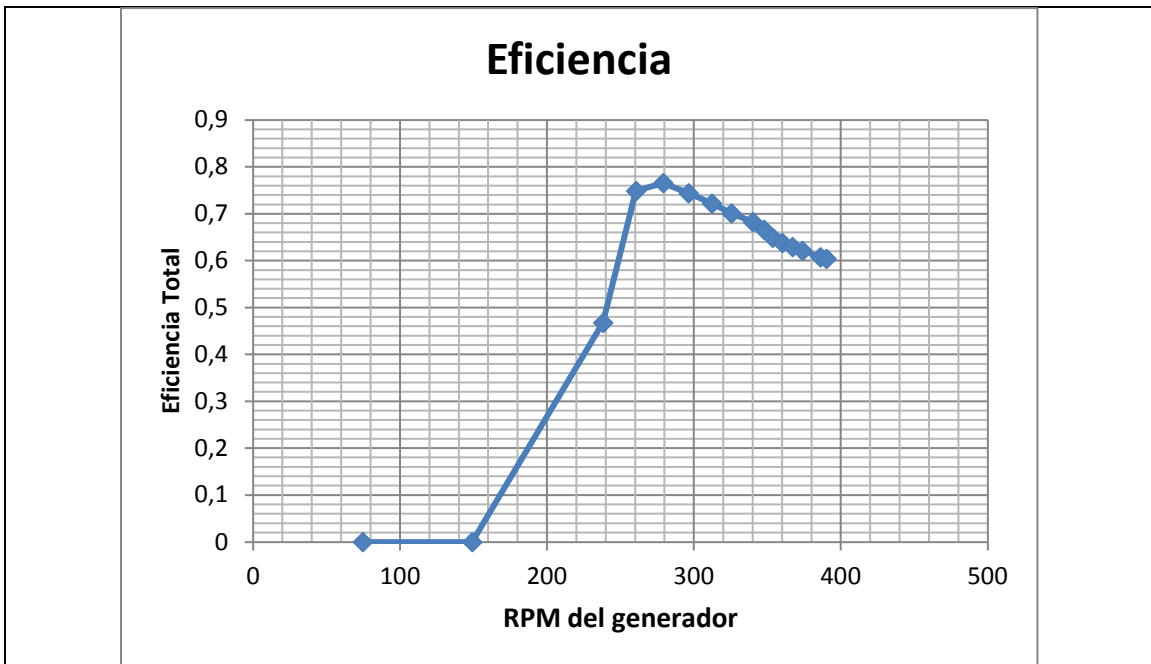
La gran cantidad de curvas se debe a que el algoritmo que utilizaremos más adelante requiere un entorno grande de valores de viento y RPM para no producir discontinuidades.

Grupo de Estudio Sobre Energía (GESE)

En este periodo y dada la necesidad de obtener la curva Torque resistente vs RPM, se adaptó un banco de ensayos para medir estas características. Esto a su vez derivó en el estudio de un gran número de variables mecánicas y eléctricas que se describirán en otro apartado.



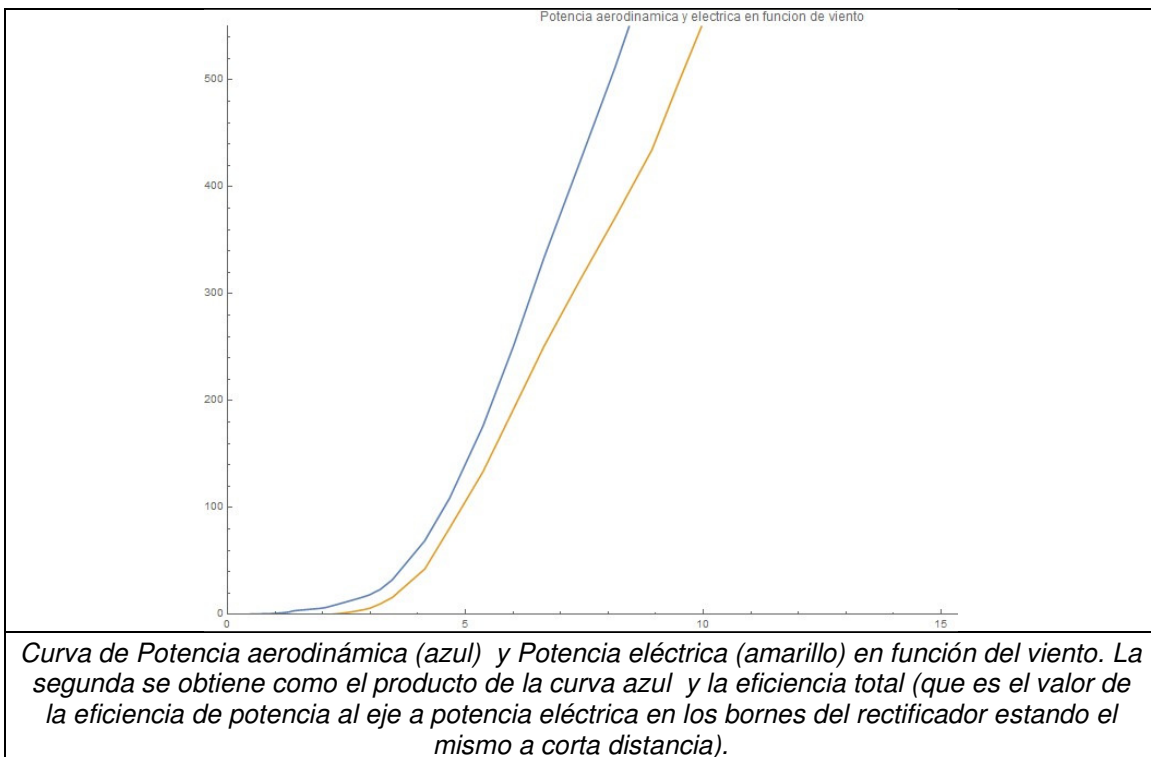
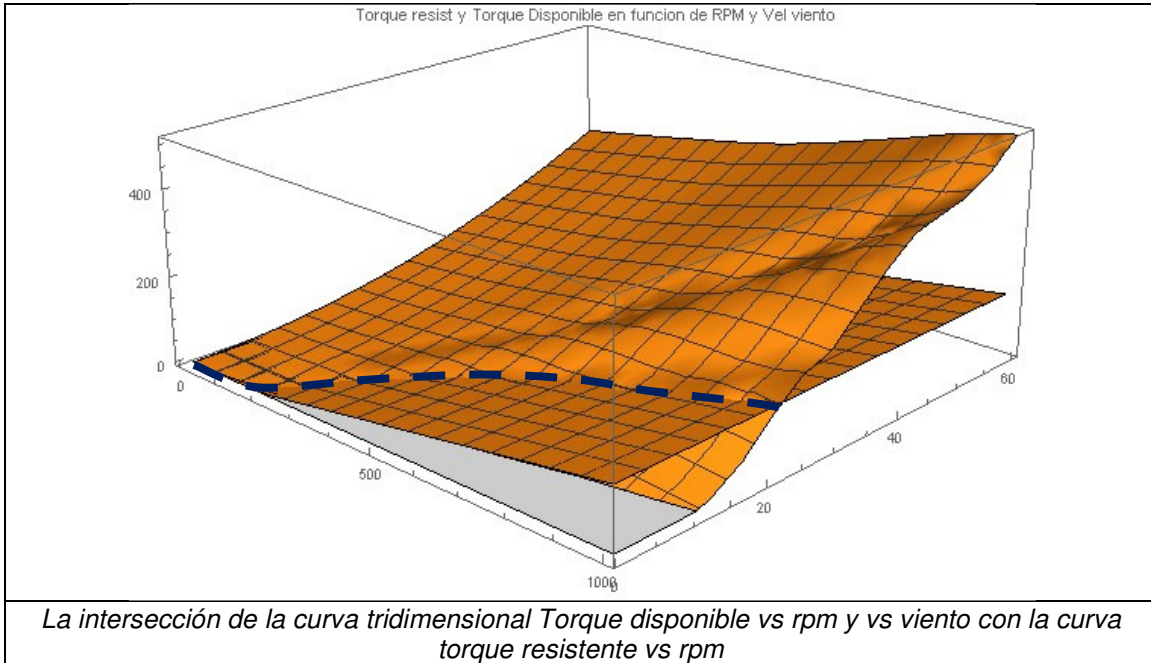
Potencia al Eje y Torque vs RPM. En ensayo fue realizado manteniendo el voltaje de baterías en el rango de 25,2 V \pm 5%.



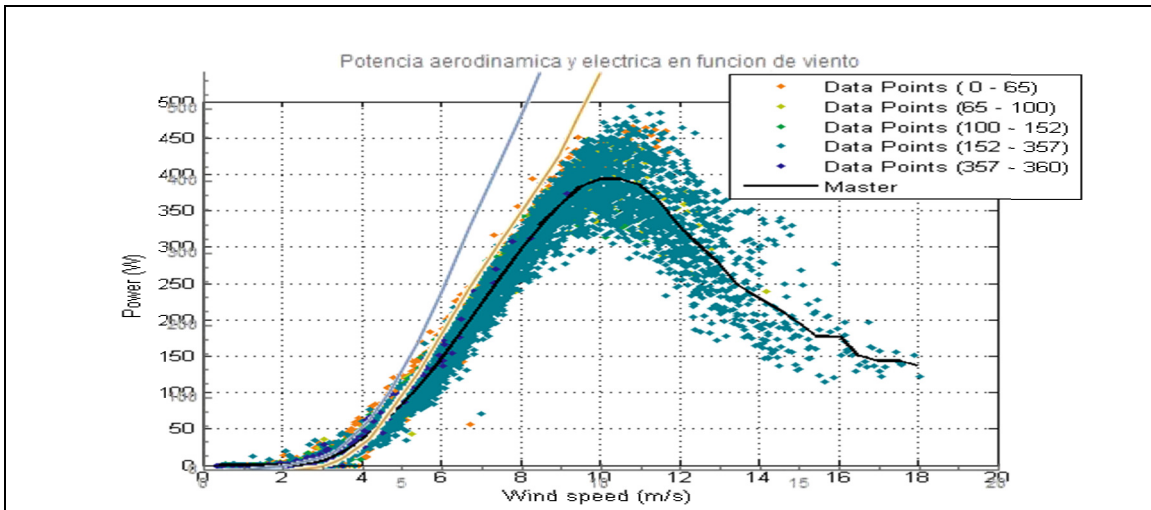
La curva de eficiencia se obtiene para conformar la curva de potencia eléctrica luego del rectificador.

Grupo de Estudio Sobre Energía (GESE)

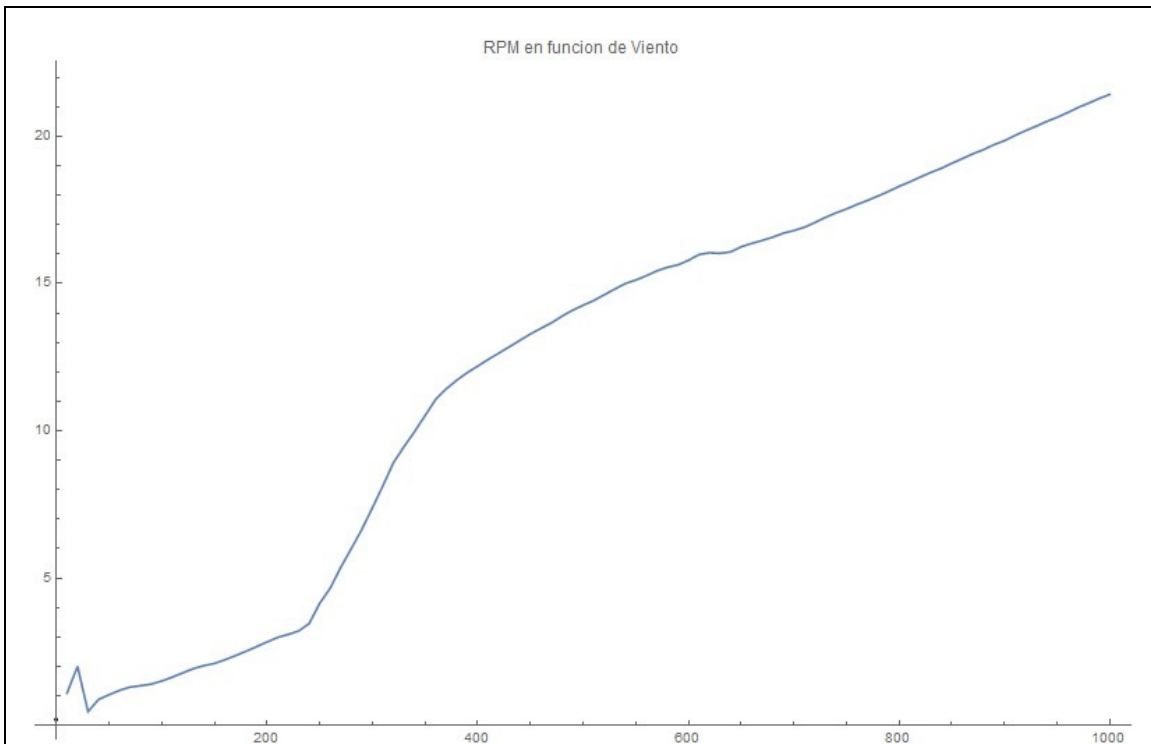
Estas curvas y las obtenidas en Qblade se exportan a un algoritmo realizado en Wolfram Mathematica 10. El algoritmo vincula automáticamente las curvas de torque resistente con las curvas de torque disponible y así fija los valores de torque, velocidad de viento y RPM de manera de reducir el sistema a dos variables dependientes solo de una tercera.



Grupo de Estudio Sobre Energía (GESE)



Comparación de la curva calculada con la curva real de un Piggott 2,4m. Las curvas son similares aunque el modelo sobreestima ligeramente la potencia.

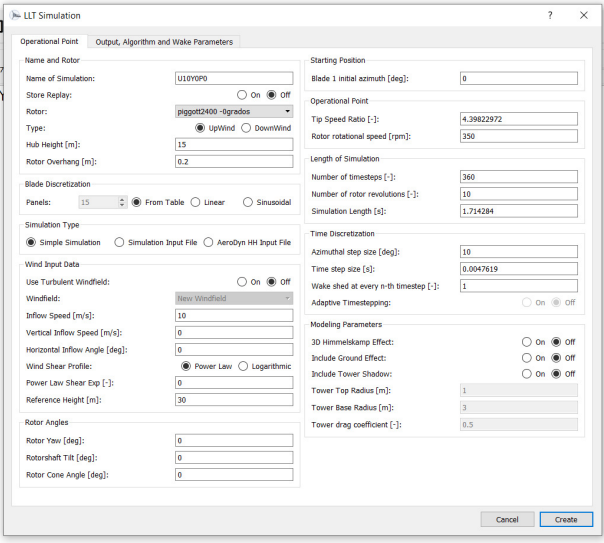


Curva Viento vs RPM. Nos indica que con muy poco viento el generador comenzará a generar potencia y torque resistente.

Grupo de Estudio Sobre Energía (GESE)

Estas curvas nos permiten obtener entonces los valores reales de RPM de equilibrio para cada valor de viento. A raíz de esto, podemos calcular a través del modulo QLLT de Qblade, valores de empuje y cargas aerodinámicas para el aerogenerador entrando en régimen de furling.

Del grafico, sabemos que las RPM son 350 para Vwind de inicio del furling (10m/s). Buscamos el Thrust del rotor para los datos de esa velocidad:

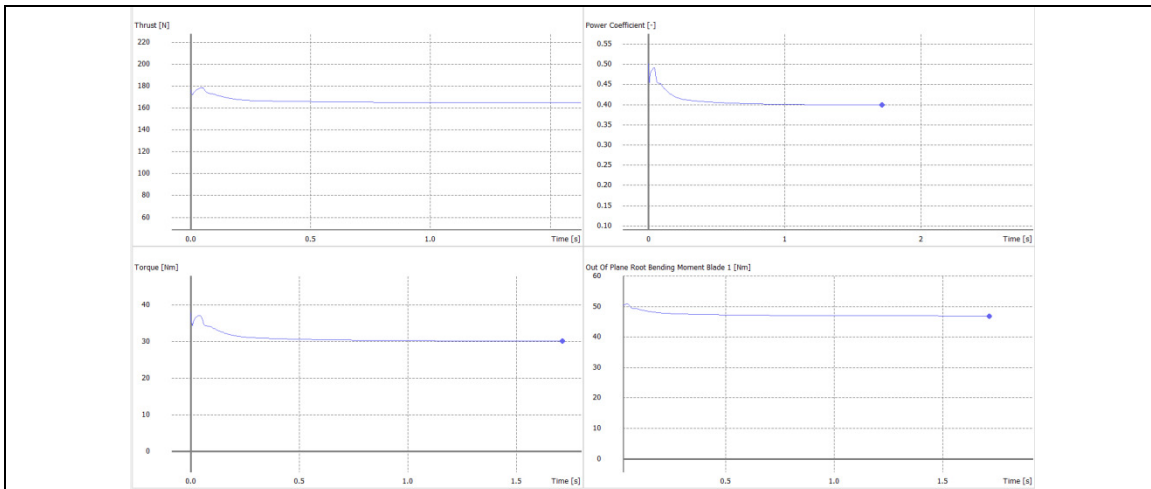


The screenshot shows the 'LLT Simulation' dialog box with the following parameters:

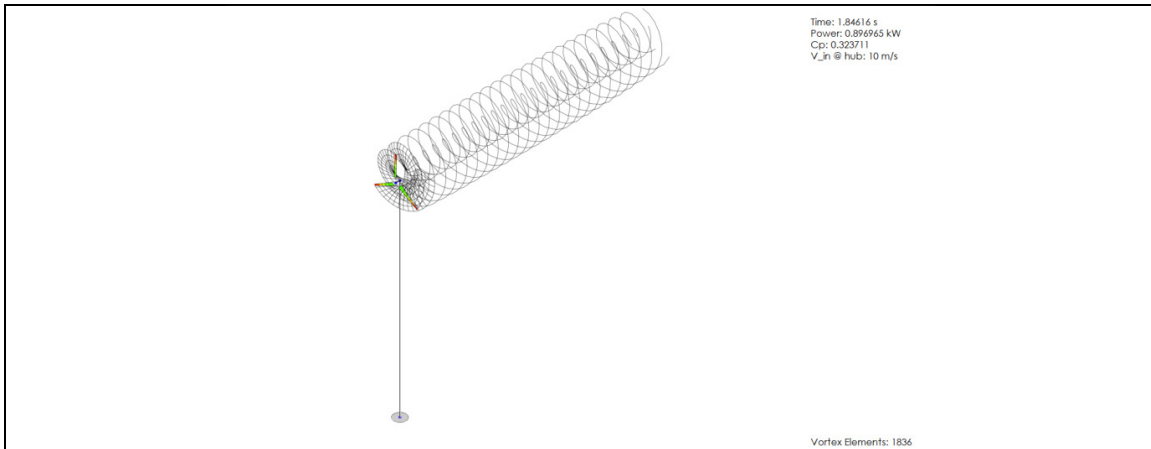
- Name and Rotor:** Name of Simulation: U1170P0; Store Replay: Off; Rotor: pigott2400 -tgrados; Type: UpWind; Hub Height [m]: 15; Rotor Overhang [m]: 0.2
- Blade Discretization:** Panels: 15; From Table, Linear, Sinusoidal
- Simulation Type:** Simple Simulation, Simulation Input File, AeroDyn HK Input File
- Wind Input Data:** Use Turbulent Windfield: Off; Windfield: New Windfield; Inflow Speed [m/s]: 10; Vertical Inflow Speed [m/s]: 0; Horizontal Inflow Angle [deg]: 0; Wind Shear Profile: Power Law, Logarithmic; Power Law Shear Exp [-]: 0; Reference Height [m]: 30
- Rotor Angles:** Rotor Yaw [deg]: 0; Rotorshaft Tilt [deg]: 0; Rotor Cone Angle [deg]: 0
- Starting Position:** Blade 1 initial azimuth [deg]: 0
- Operational Point:** Tip Speed Ratio [-]: 4.39823972; Rotor rotational speed [rpm]: 250
- Length of Simulation:** Number of timesteps [-]: 360; Number of rotor revolutions [-]: 10; Simulation Length [s]: 1.714284
- Time Discretization:** Azimuthal step size [deg]: 10; Time step size [s]: 0.0047619; Wake shed at every n-th timestep [-]: 1; Adaptive Timestepping: Off
- Modeling Parameters:** 3D Himmelkamp Effect: Off; Include Ground Effect: Off; Include Tower Shadow: Off; Tower Top Radius [m]: 1; Tower Base Radius [m]: 3; Tower drag coefficient [-]: 0.5

Parámetros de LLT del Qblade para el diseño utilizado.

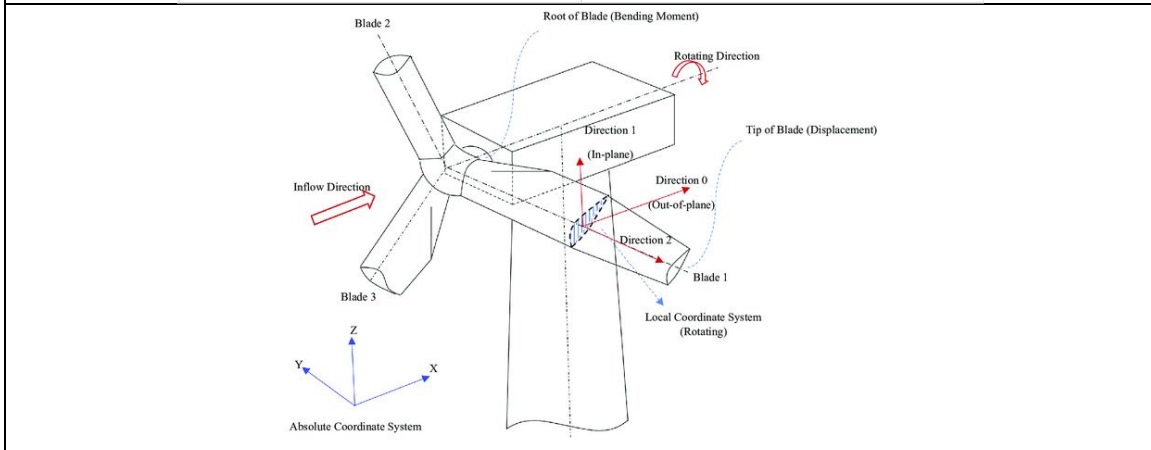
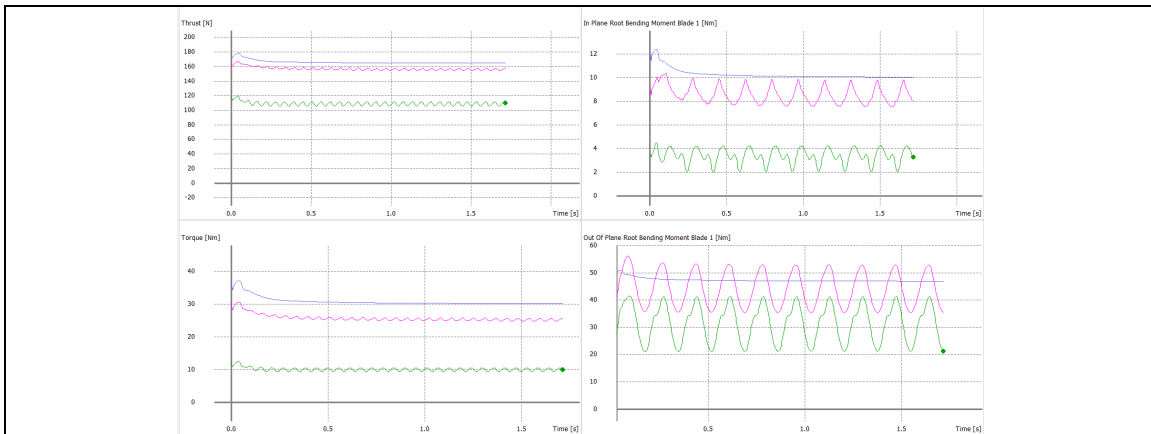
El valor obtenido de Thrust es 165 N, o sea, ese sería el empuje necesario para producir el Furl del aerogenerador según nuestro calculo.



Grupo de Estudio Sobre Energía (GESE)



Luego planteamos el sistema para 30 y 60 grados de yaw. De aquí, obtenemos las cargas aerodinámicas por tener el rotor desenfacha al viento.



Arriba: Curvas para 0 (azul), 30 grados (violeta) y 60 grados (verde) de yaw, para el sistema a 10 m/s de Vwind y 350 RPM. Notese que el torque disponible cae dramáticamente y por lo tanto el rotor tendera a frenarse a medida que se desenfacha. Abajo: esquema de la convención del marco de referencia.

Grupo de Estudio Sobre Energía (GESE)

Es de notarse en la simulación que existen pulsaciones importantes en el momento de aleteo de la pala (out of plane moment) debido a cargas aerodinámicas y estas posiblemente deriven en la pequeña pulsación de los parámetros de torque y thrust (recordar que la simulación asume al sistema conformado por partes completamente rígidas y además no evalúa cargas mecánicas de ningún tipo). Esto derivará en una estructura sometida a vibraciones.

Además, se debe señalar que las mayores cargas debido al furling no surgen de los grandes ángulos de yaw sino de las grandes tasas de cambio de yaw (yaw rate) para RPM considerables (**Analysis of the furling behavior of small wind turbines, Audierne et al.**). Las cargas debidas al yaw rate suelen ser las cargas de mayor importancia en el cálculo de diseño planteado segun IEC 61400-2 (ver el ejemplo planteado para un aerogenerador de 500W en **Small Wind Turbines: Analysis, Design, and Application, David Wood**).

[1] "MANUAL DE AUTO CONSTRUCCIÓN DE GENERADORES EÓLICOS" Hugh Piggot, traducido por M. Herrero Morales - www.bajatec.net

[2] "<http://scoraigwind.co.uk/measured-performance-versus-recipe-book-predictions/>" Hugh Piggot - Hugh Piggot Blog

[3] "QBlade v0.95 Guidelines for Lifting Line Free Vortex Wake Simulations" David Marten

[4] "Performance Testing a Homebrew Axial Flux Generator" Steven Fahey

[5] "Measuring the Power Curve of a Small-scale Wind Turbine: A Practical Example" Loïc Quéval

[6] "Small Wind Turbines: Analysis, Design, and Application" David Wood