

Estudio de Control de Paso de Pala para Generador eólico de Baja Potencia, UTI4726TC

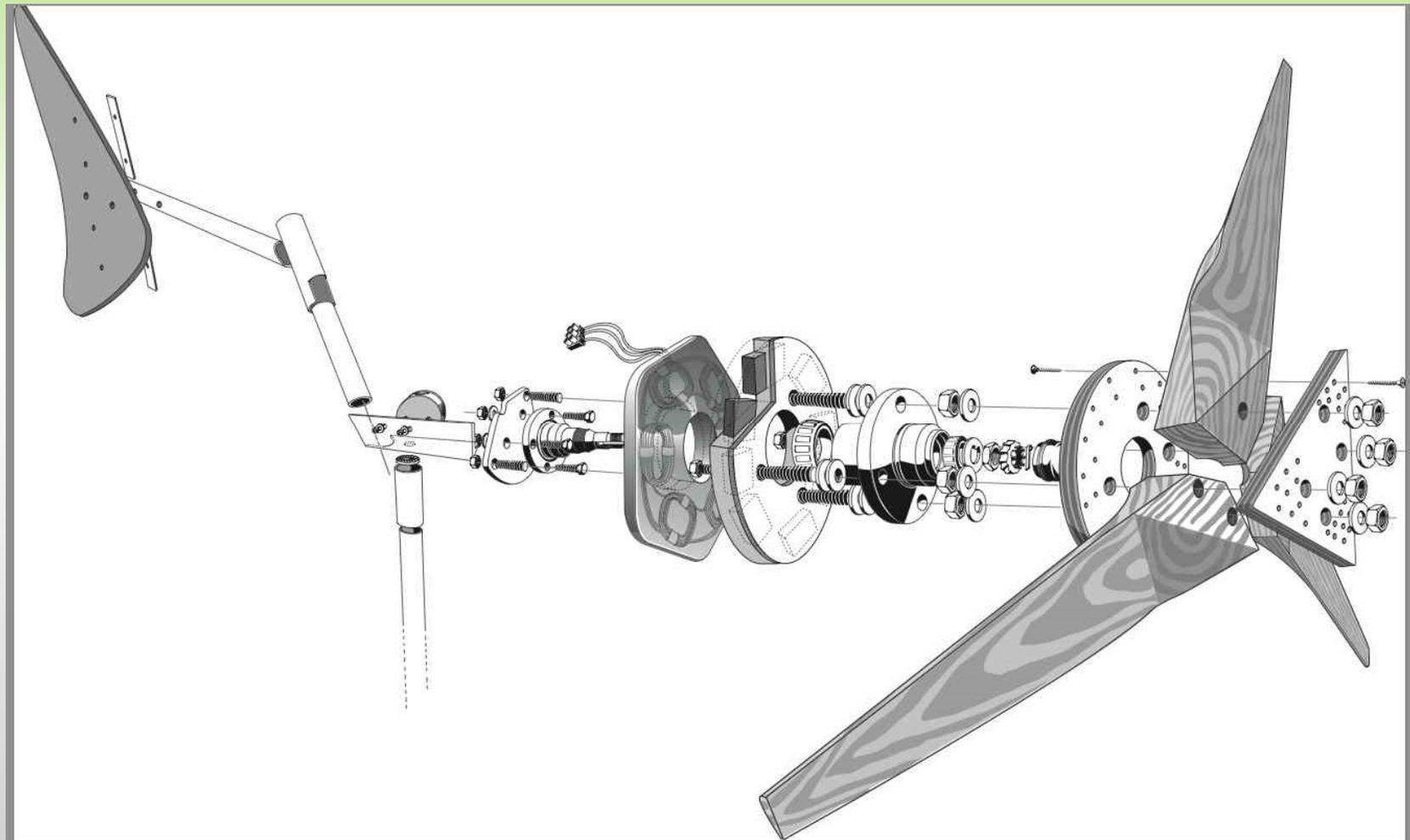
de Villaflor Alejandro Blas, Bufanio Ruben Domingo, Bracco Ramiro Marcos,
Rubido Javier, Flores Mariano, Stortoni Carlos

GESE (Grupo Estudio Sobre Energía)

Participación Especial del Laboratorio de Aerodinámica y Fluidos

Aerogenerador Piggott

Es un aerogenerador de baja potencia desarrollado por Hugh Piggott de acceso público:



➤ Características comparativas:

Ventajas:

- Mínimos conocimientos para su construcción.
- Materiales de fácil adquisición.
- Simplicidad de fabricación y montaje
- Robustez.

Desventajas:

- Deficiente control de potencia (por furling).
- Deficiente desempeño aerodinámico del rotor.

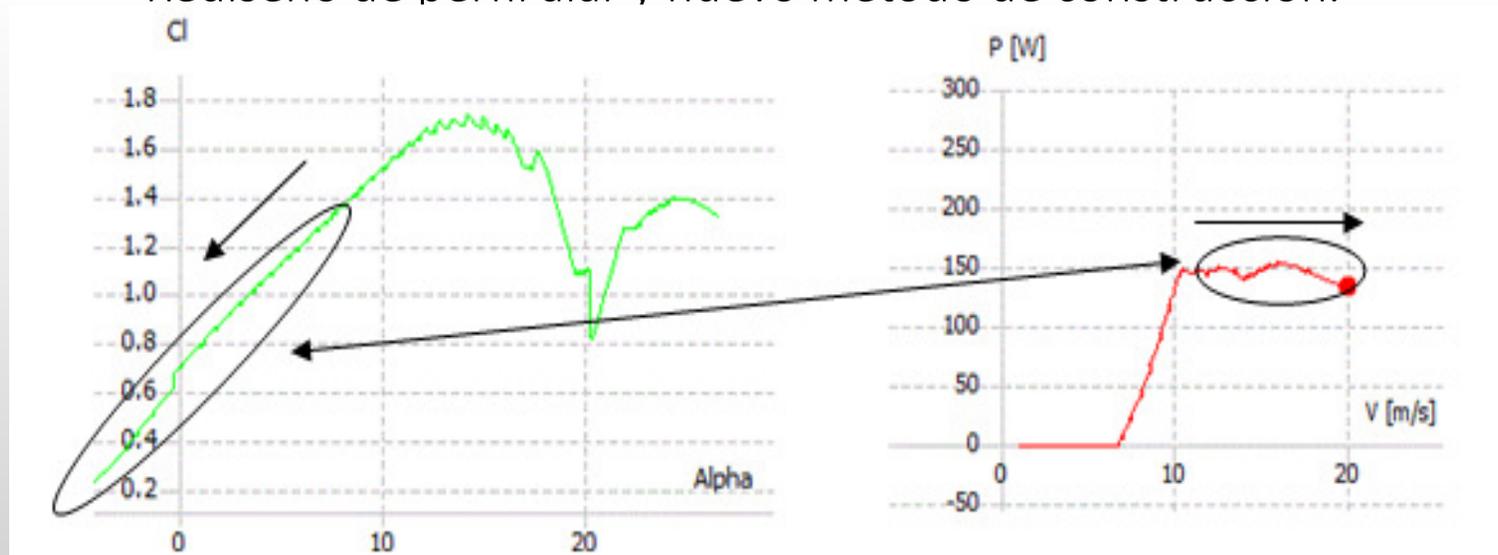
➤ Objetivo y Propuestas de Trabajo:

▪ Objetivo:

Mejorar el desempeño del aerogenerador manteniendo las características originales de robustez, simplicidad y bajo costo.

▪ Propuestas:

- Control de potencia por paso de pala con control de acción centrífuga “pitch to feather”.
- Rediseño de perfil alar y nuevo método de construcción.



➤ Estrategia de control:

$$P = P_i + \frac{P_f - P_i}{V_f - V_i} \times (V - V_i)$$

$$\omega_e = \sqrt{\frac{P}{k_e}}$$

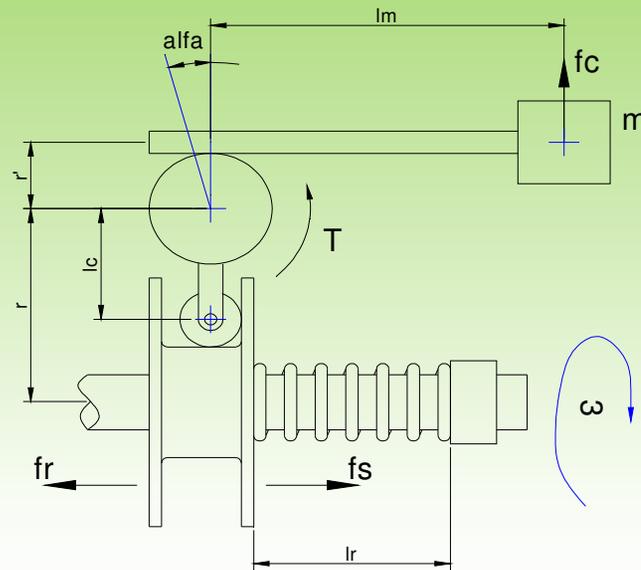
$$C_P = \frac{2 \times P}{\rho \times V^3 \times A}$$

$$\lambda = \frac{\omega_e \times R}{V}$$



Necesidad de variación de potencia, para variación de RPM y Pitch

➤ Modelo matemático:

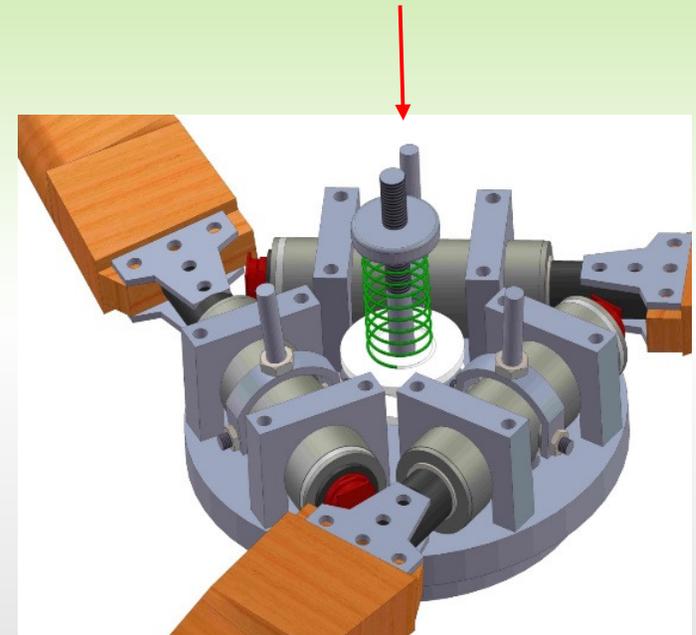


$$\omega = \sqrt{\frac{l_c \times K \times [\Delta l_{r(ini)} + l_c \times \text{sen}(2\alpha)]}{3 \times m \times l_m \times [r + r' \times \cos(\alpha) + l_m \times \text{sen}(\alpha)]}}$$

- ω : Velocidad angular del rotor [rad / s]
- α : Ángulo de paso de pala [°]
- m : Masa centrífuga asociada a cada pala [kg]
- r : Distancia entre el eje del rotor y el eje de cada pala [m]
- r' : Distancia entre el eje de cada pala y el centro del brazo de montaje de la masa centrífuga correspondiente [m]
- K : Constante elástica del resorte [N / m]
- l_m : Distancia del centro del eje de cada pala y el centro de gravedad de la masa centrífuga correspondiente [m]
- l_c : Distancia entre el centro del eje de cada pala y el actuador del sincronizador correspondiente [m]
- $\Delta l_{r(ini)}$: Precarga del resorte [m]

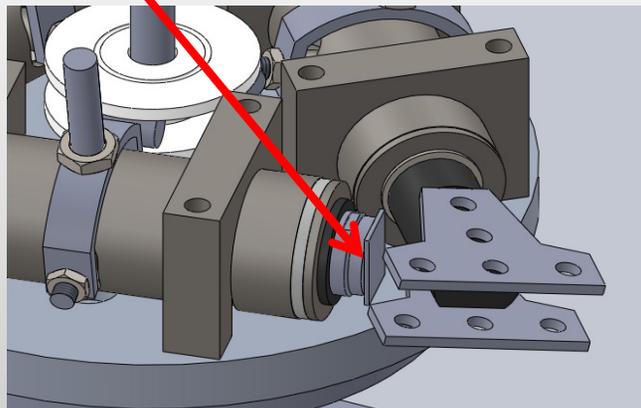
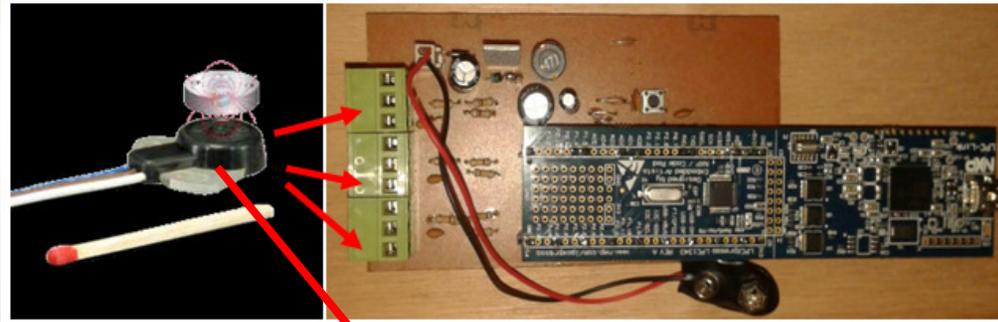
➤ Implementación del control centrífugo:

Ubicación de masas para acción centrífuga

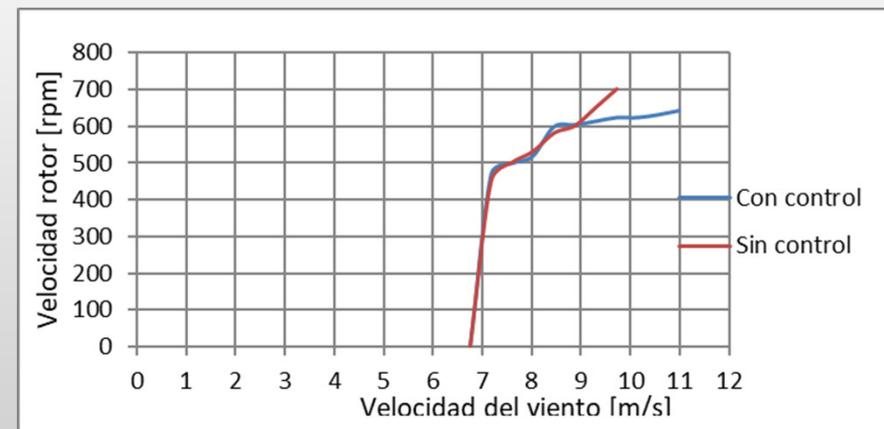
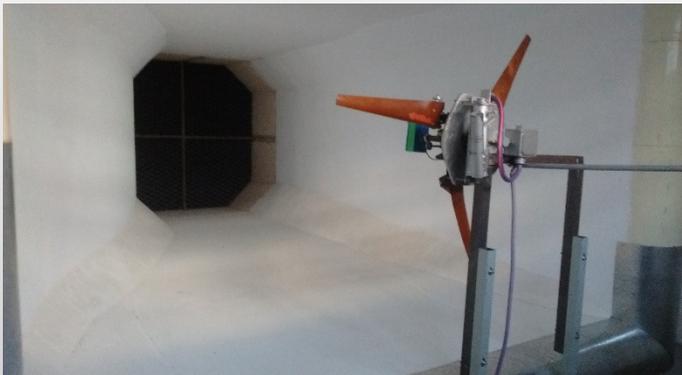
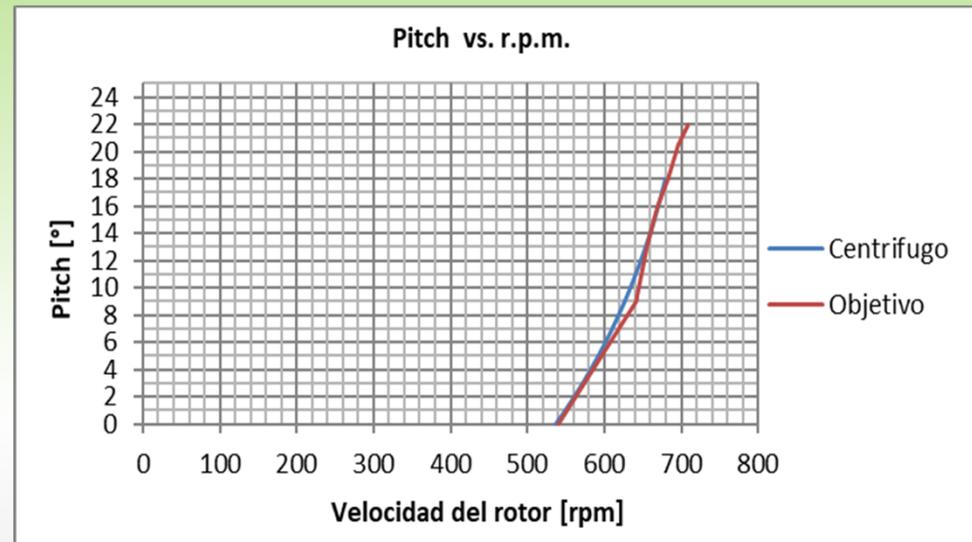


➤ Placa electrónica para adquisición de paso de pala:

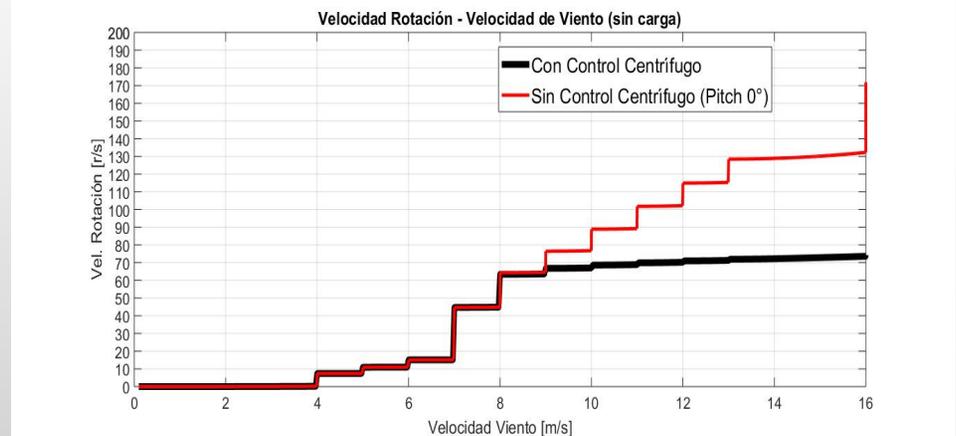
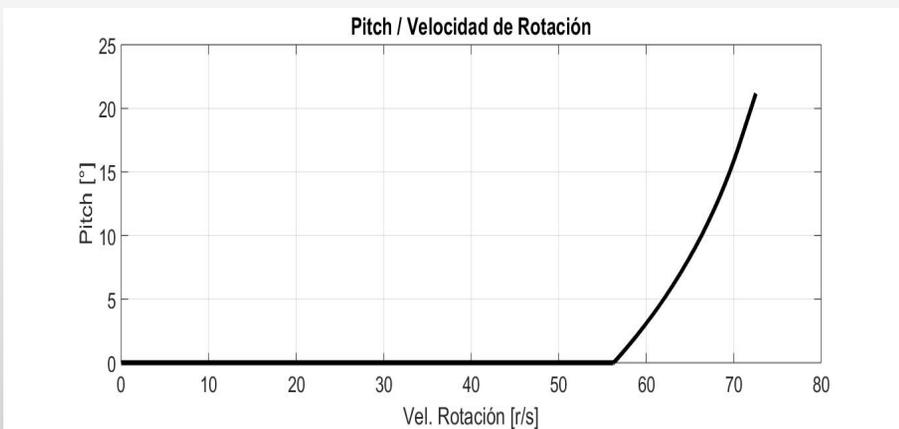
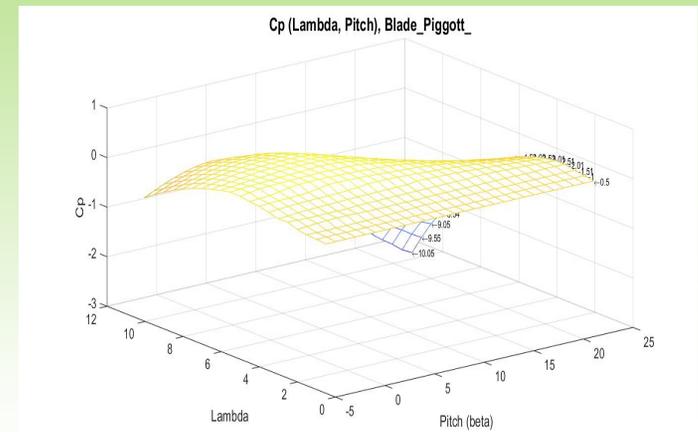
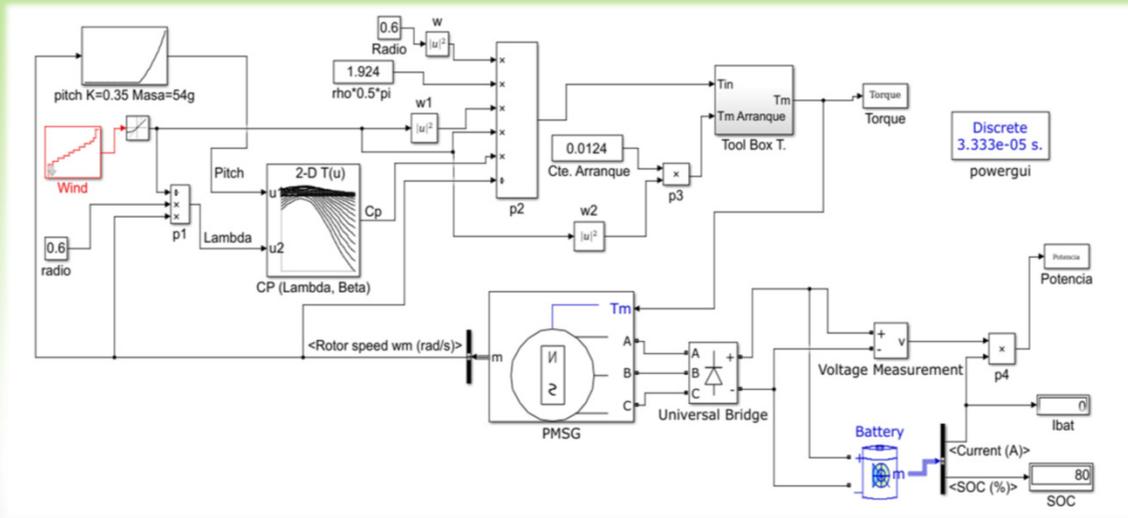
- Necesidad de medir el ángulo de pala en forma inalámbrica.
- LPCXpresso con la programación del microcontrolador de 32 bits LPC1769
- Sensores magnéticos para adquisición de pitch (40mV/°)



➤ Ensayos en banco de pruebas y túnel de viento:

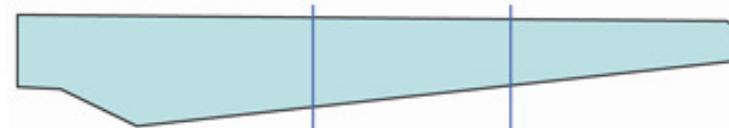


➤ Simulación dinámica del aerogenerador:



➤ Rediseño aerodinámico de las palas:

OBJETIVOS DE DISEÑO PARA PERFILES DE AEROGENERADORES HORIZONTALES

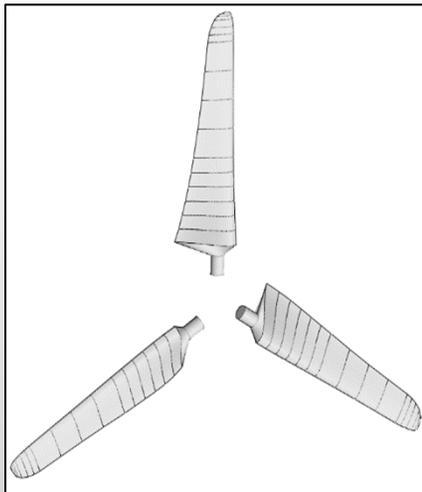


ESPEJOR RELATIVO	> .28	.28 - .21	.21 >
ALTA RELACIÓN SUSTENTACIÓN/RESISTENCIA	☞	☞☞	☞☞☞
SUAVE ENTRADA EN PÉRDIDA			☞☞
INSENSIBILIDAD A LA RUGOSIDAD	☞	☞☞	☞☞☞
BAJO RUIDO		☞	☞☞☞
COMPATIBILIDAD GEOMÉTRICA	☞☞	☞☞	☞☞
DEMANDA ESTRUCTURAL	☞☞☞	☞☞	☞

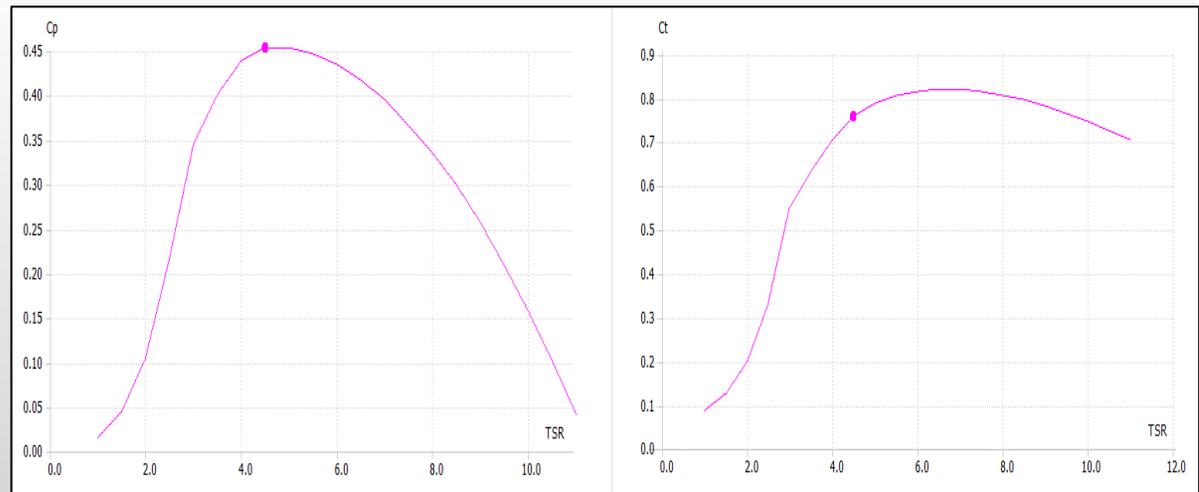
➤ Pautas para el diseño de las palas:

En base a los objetivos planteados se procedió al nuevo diseño aerodinámico de las palas para lo cual se utilizó el Software Qblade de código abierto con las siguientes pautas de diseño:

- Relación de punta de pala de 4.5
- Alabeo geométrico según C_l/C_d óptimo.
- Variación de perfiles lineal entre un NREL 823 y 822.
- Variación de punta de pala en forma elíptica.
- Variación de cuerdas según criterio de Schmitz.
- Análisis a la rugosidad por aplicación de transición forzada.

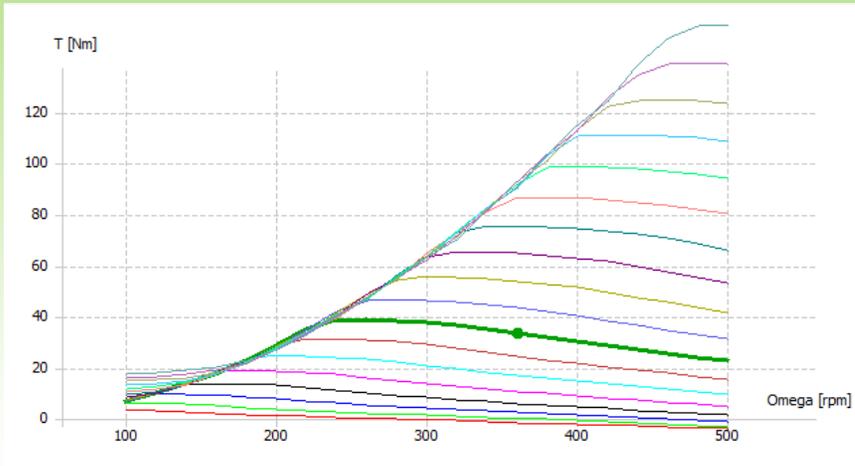


Rotor diseñado

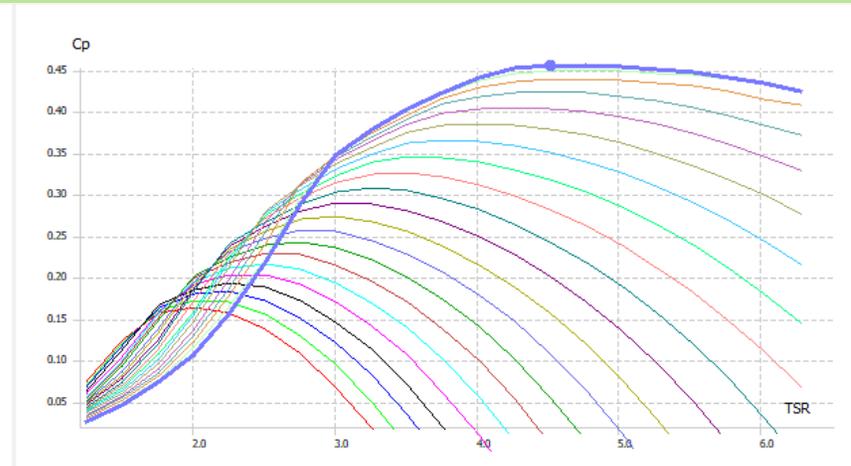


Curvas de C_p Vs TSR y C_t Vs. TSR

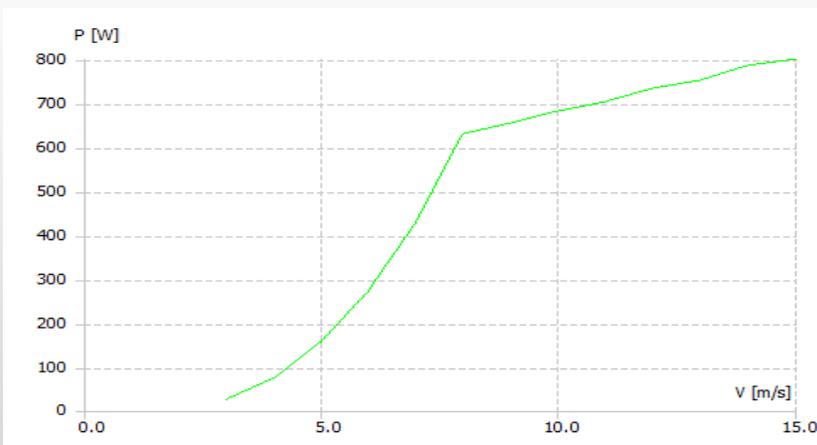
➤ **Curvas obtenidas con el software Qblade :**



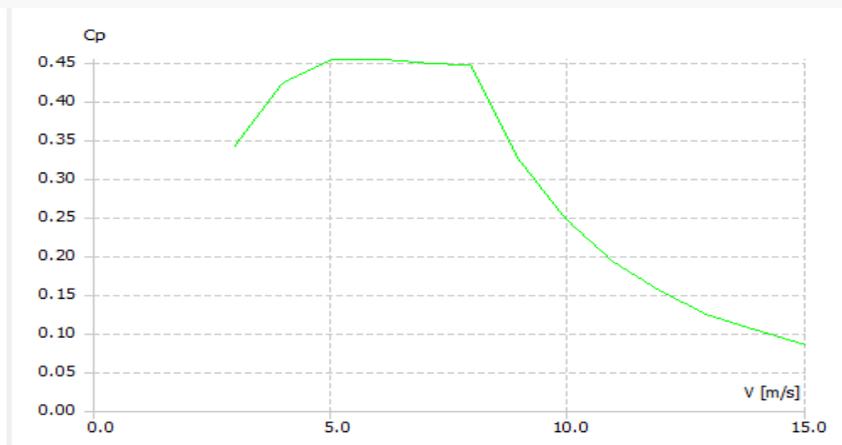
Torque Vs RPM para dif V_{inf}



C_p Vs TSR para dif β



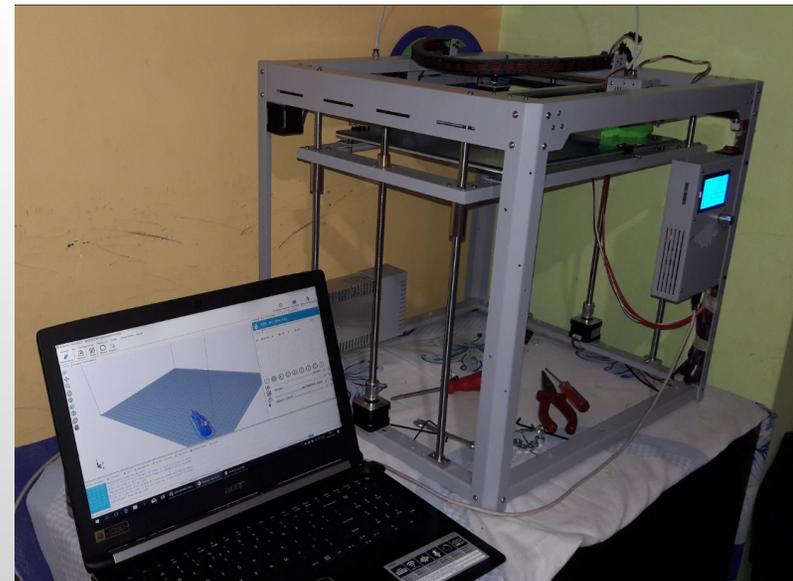
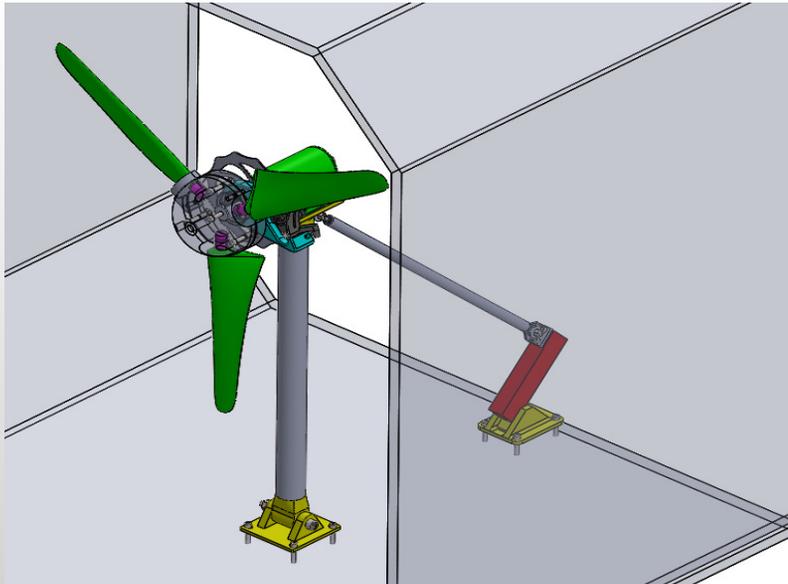
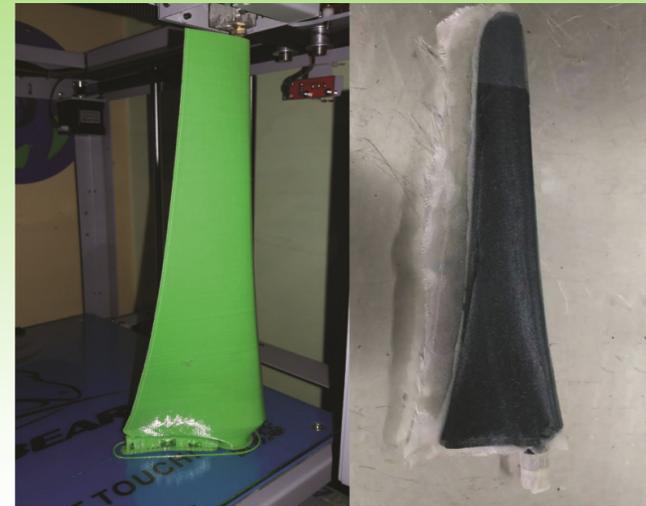
Potencia Vs V_{inf} con control



C_p Vs V_{inf} con control

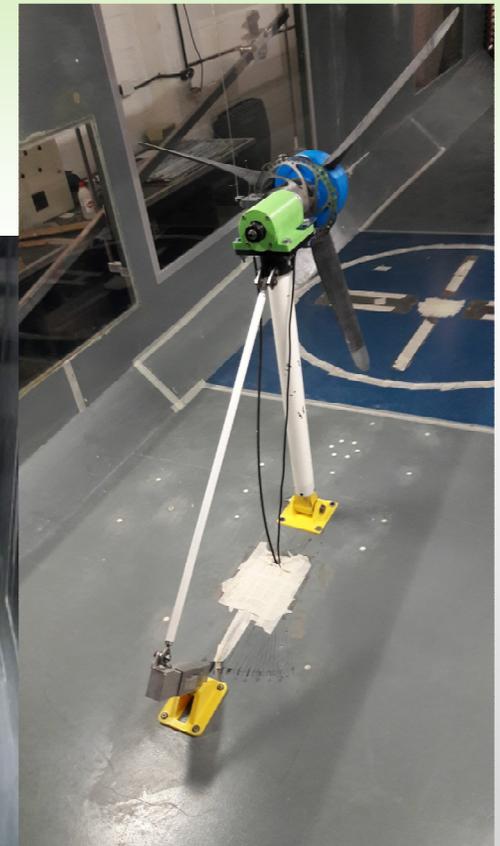
➤ Construcción del rotor mediante impresión 3D:

- Material (PLA, PLAmix, ABS, Nylon).
- Método de impresión.
- Vinculación pala rotor.
- Refuerzo exterior.
- Larguero central.



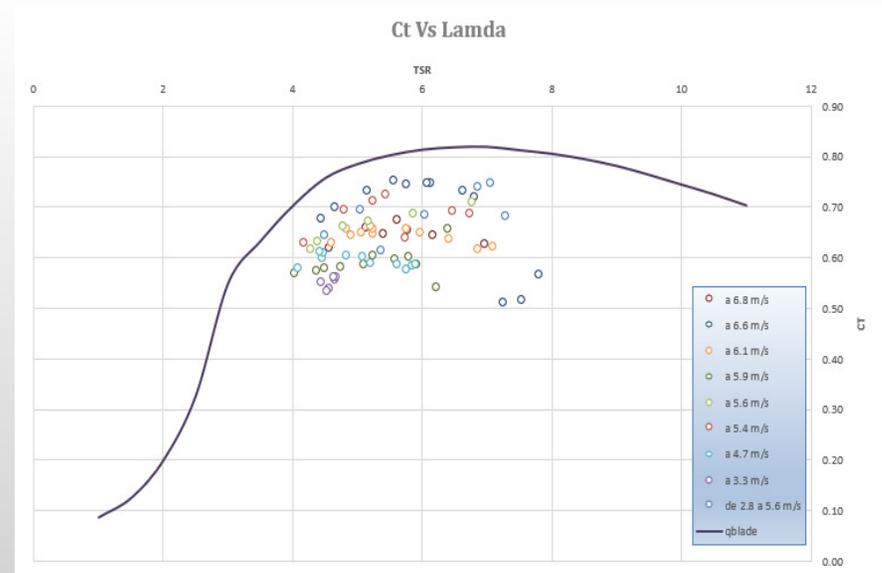
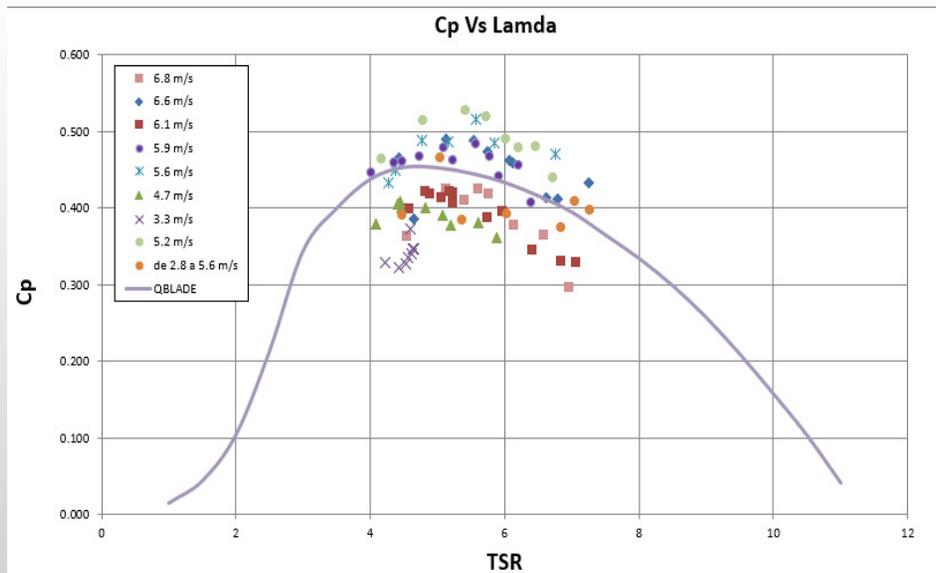
➤ Ensayo aerodinámico en túnel de viento:

- Celdas de carga de trust y torque.
- Sistema de frenado.
- Sensor tacómetro.
- Medición de velocidad.
- Medición de temperatura humedad y presión atmosféricas.
- Corrección por bloqueo.
- Fricción de rodamientos.
- Adimensionalización.



➤ Curvas obtenidas de ensayos en túnel de viento:

- Adimensionalización
- Corrección por bloqueo C_p y C_t
- Fricción de rodamientos
- Resistencia de poste y hub
- Corrección de TSR
- Comparación curvas objetivo según herramienta informática y valores de ensayo en túnel de viento



➤ **Trabajos Futuros:**

- Prueba en campo del sistema planteado de control centrífugo con palas PIGGOTT.
- Prueba de modelo reducido con variación de ángulo de pala y control centrífugo.
- Desarrollo de sistema, con control centrífugo, y palas de ejes radiales.
- Mejora en el diseño estructural de las palas y cubierta de laminado de fibra de vidrio.
- Mejora en el modelo de corrección por bloqueo por características del túnel de viento con el que se cuenta.
- Mejora en el sistema de adquisición de RPM y velocidades de equilibrio en los ensayos de túnel de viento, a través de sistema de frenado por máquina eléctrica y control PWM.

MUCHAS GRACIAS

devillab@speedy.com.ar ; ruben.bufanio@speedy.com.ar ;
ramiro.bracco@gmail.com ; javierrubido@yahoo.com.ar ;
mqxflores@gmail.com ; damy16@hotmail.com