

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

De Villafior Alejandro Blas, Bracco Ramiro Marcos, Bufanio Ruben Domingo,  
Rubido Javier, Meroniuk Matias, Stortoni Carlos

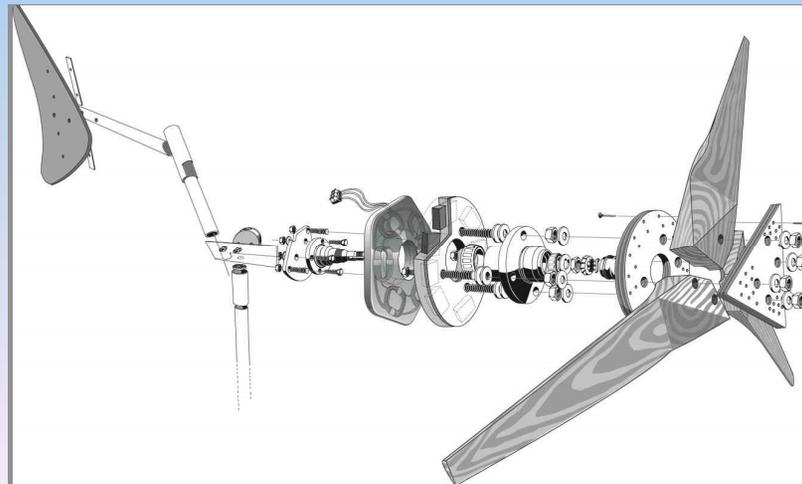
**GESE (Grupo Estudio Sobre Energía)**

Participación Especial del Laboratorio de Aerodinámica y Fluidos

Organiza:

# El aerogenerador Piggott

- Es un aerogenerador desarrollado por Hugh Piggott, el cual tiene un diseño de acceso público y se caracteriza por:
  - Mínimos conocimientos para su construcción
  - Materiales fácilmente adquiribles
  - Robustez
  - Simplicidad
  - Control de potencia por furling
  - Abrupta entrada en pérdida dado un  $\alpha$  plano y borde de ataque agudo
  - Coeficientes de desempeño de rotor dado perfil alar, no óptimo



Organiza:

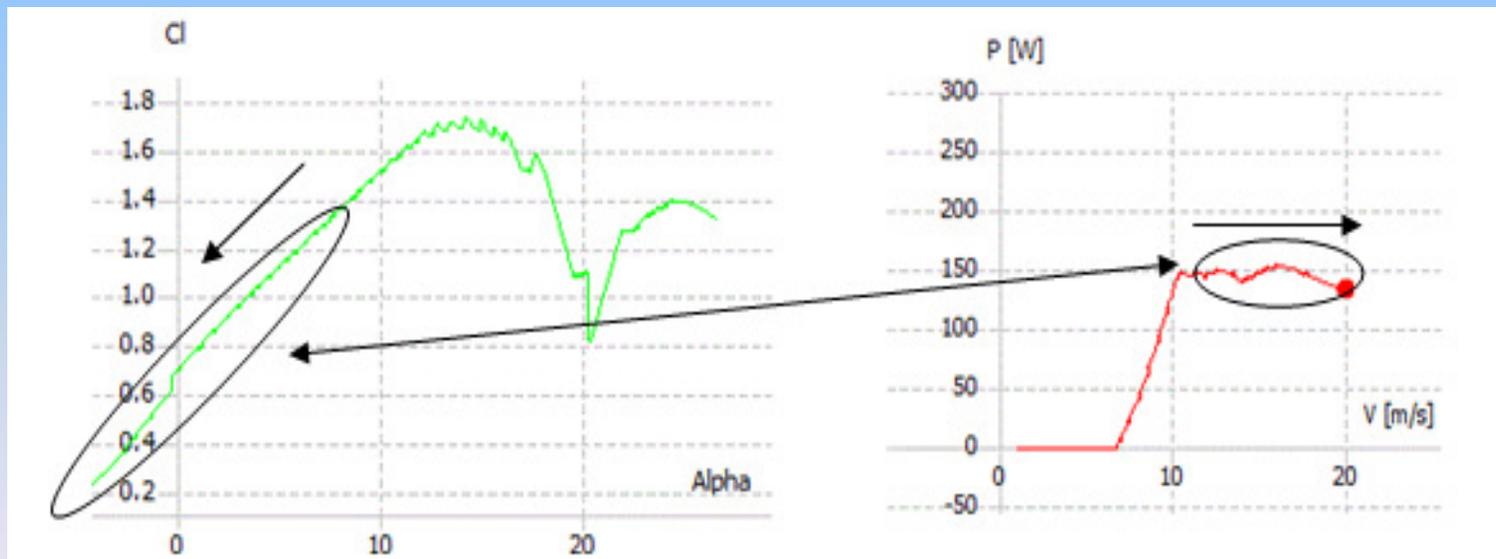
## ➤ Objetivo y Propuestas de Trabajo

### ▪ Objetivo:

- Mejorar desempeño, del aerogenerador de baja potencia, en zona de trabajo de carga total, producción energética y nueva construcción de rotor.

### ▪ 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.



Organiza:

- **Determinación de pitch por medio de modelado aerodinámico del sistema (estrategia de control)**

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

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

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

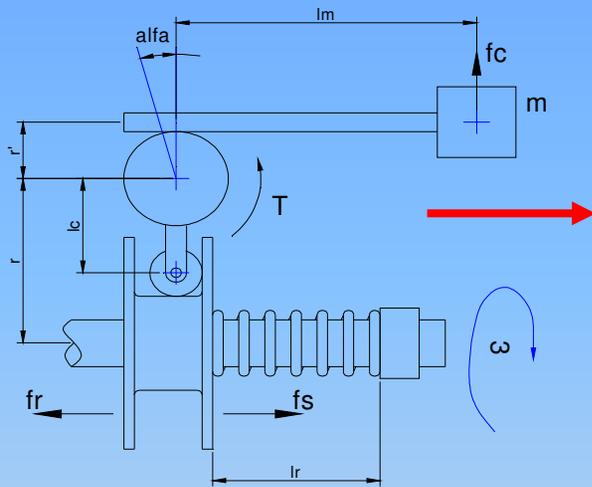
$$\lambda = \frac{\omega_e R}{V}$$



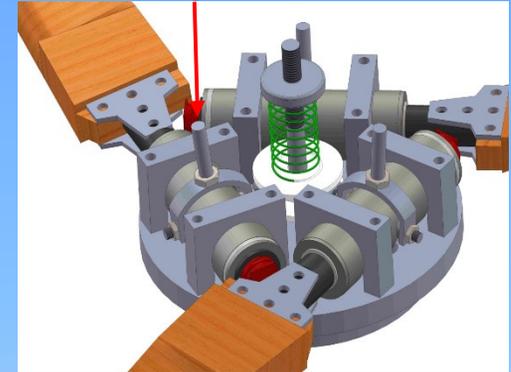
Necesidad de variación de potencia, para variación de RPM y Pitch

Organiza:

# Desarrollo y construcción de sistema de control de paso de pala centrífugo



Ubicación de masas para acción centrífuga



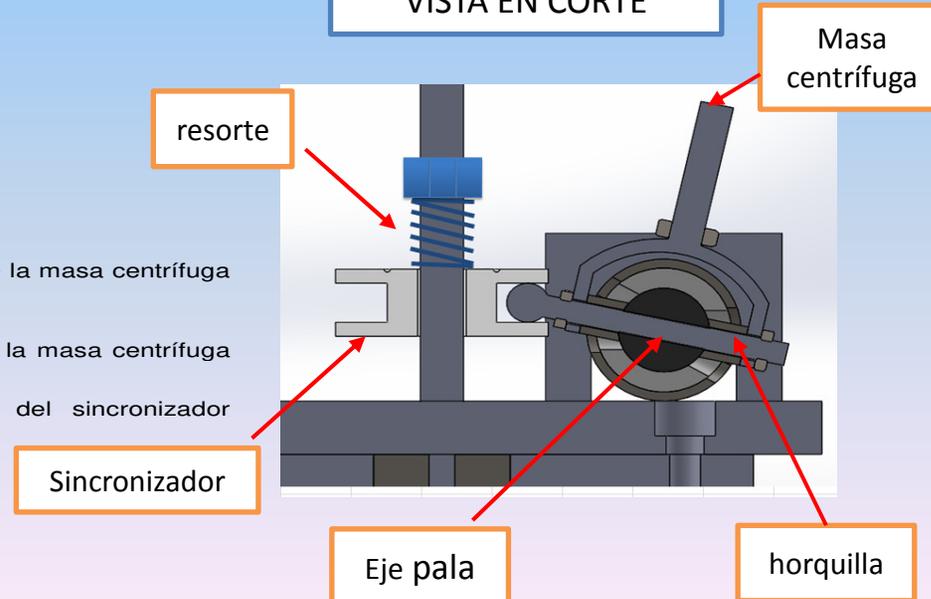
$$\omega = \sqrt{\frac{l_c \times K \times [\Delta l_{r(ini)} + l_c \times \sin(2\alpha)]}{3 \times m \times l_m \times [r + r' \times \cos(\alpha) + l_m \times \sin(\alpha)]}}$$

- $\omega$  : Velocidad angular del rotor [rad / s]
- $\alpha$  : 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]

Organiza:

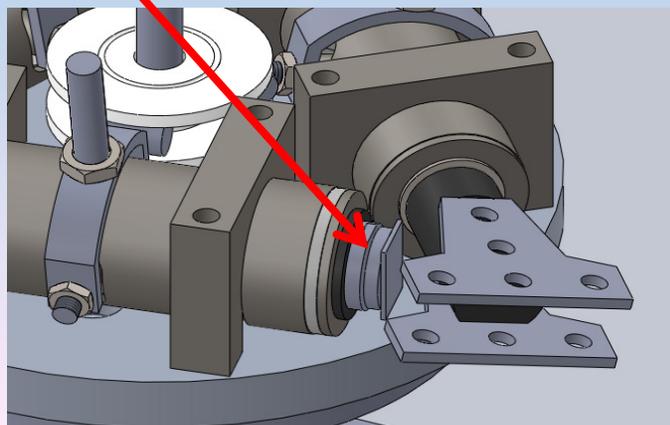
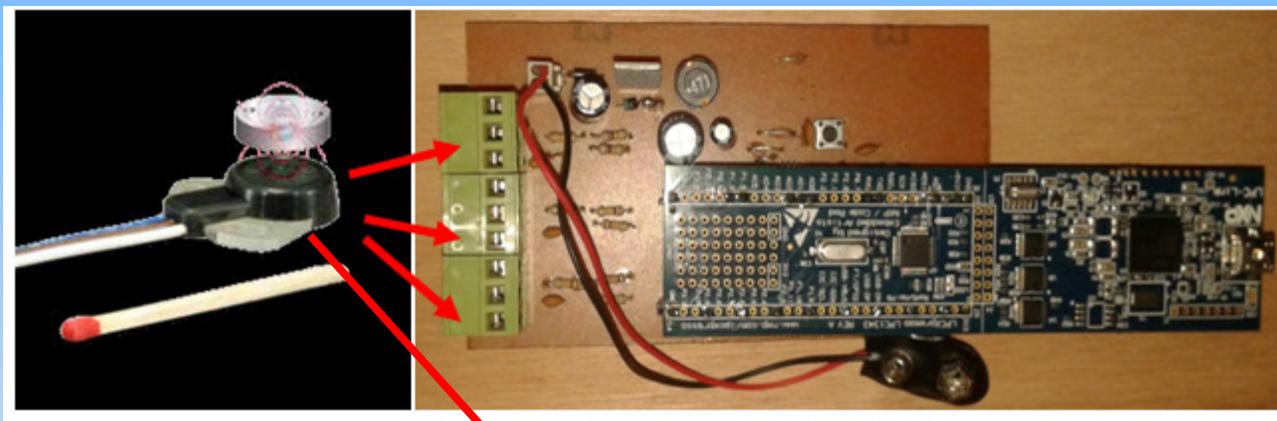


VISTA EN CORTE



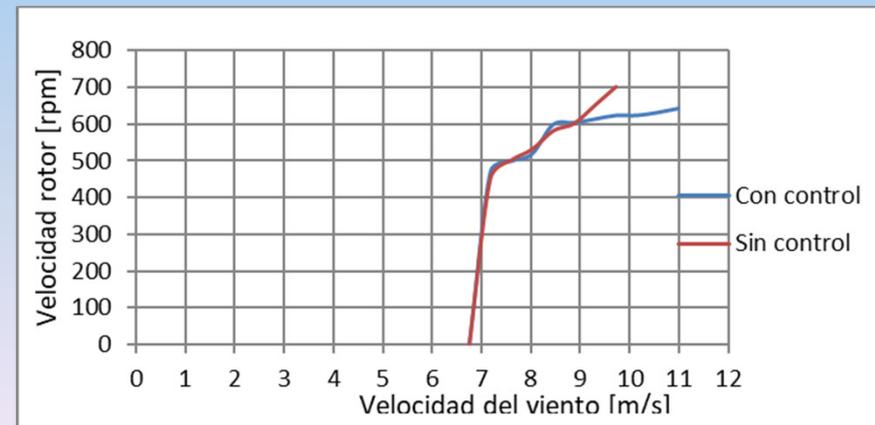
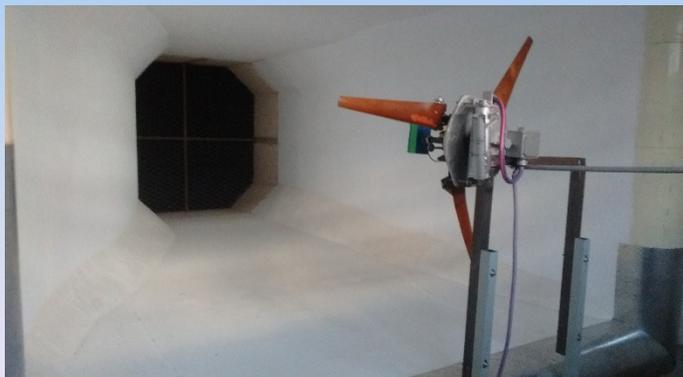
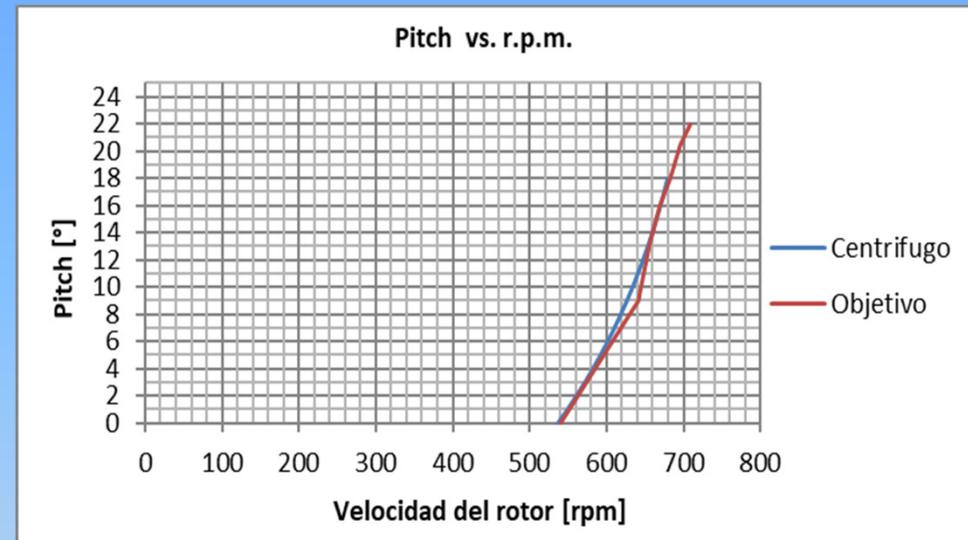
## ➤ Desarrollo de placa electrónica para adquisición de ángulo de paso de pala

- Necesidad de medir inalámblicamente por giro del rotor:
- LPCXpresso con la programación del microcontrolador de 32 bits LPC1769
- Sensores magnéticos para adquisición de pitch (40mV/°)



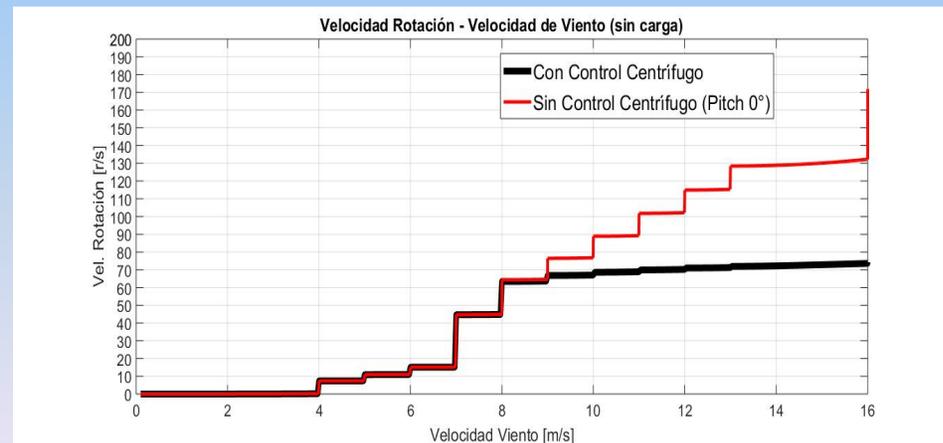
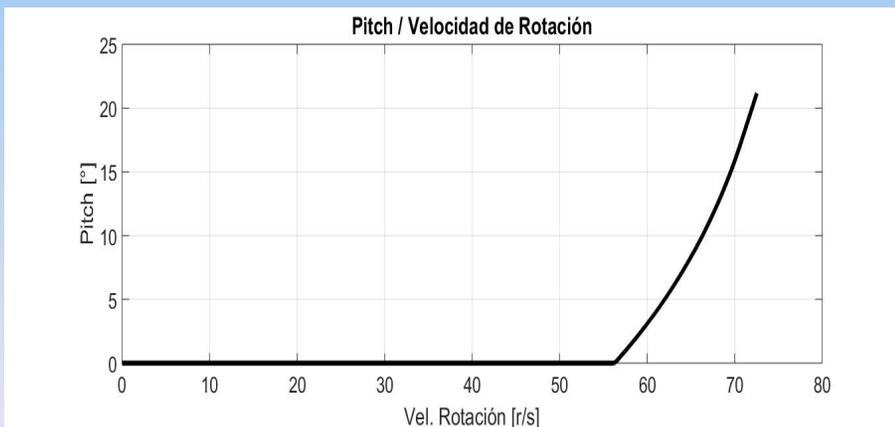
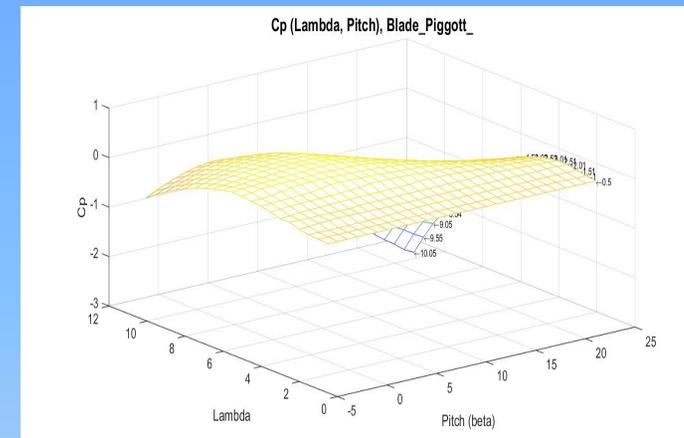
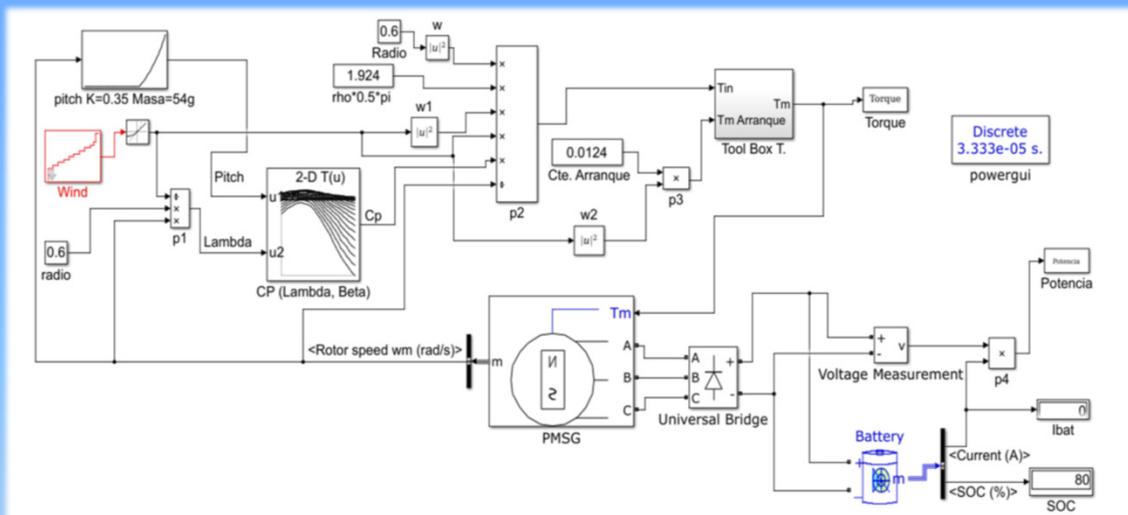
Organiza:

## ➤ Implementación en banco de pruebas y Túnel de Viento



Organiza:

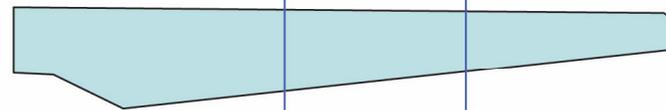
## ➤ Modelización dinámica del sistema aerogenerador



Organiza:

➤ Necesidades para el rediseño de las palas

### OBJETIVOS DE DISEÑO PARA PERFILES DE AEROGENERADORES HORIZONTALES

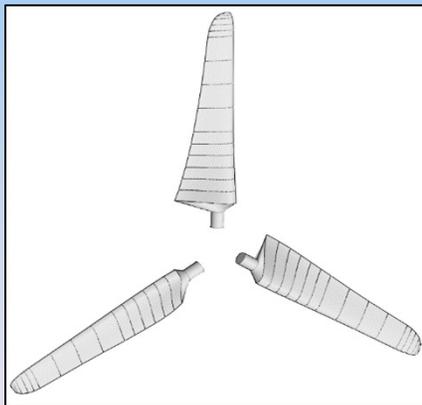


ESPEJOR RELATIVO	> .28	.28 - .21	.21 >
ALTA RELACIÓN SUSTENTACIÓN/RESISTENCIA	⌋	⌋ ⌋	⌋ ⌋ ⌋
SUAVE ENTRADA EN PÉRDIDA			⌋ ⌋
INSENSIBILIDAD A LA RUGOSIDAD	⌋	⌋ ⌋	⌋ ⌋ ⌋
BAJO RUIDO		⌋	⌋ ⌋ ⌋
COMPATIBILIDAD GEOMÉTRICA	⌋ ⌋	⌋ ⌋	⌋ ⌋
DEMANDA ESTRUCTURAL	⌋ ⌋ ⌋	⌋ ⌋	⌋

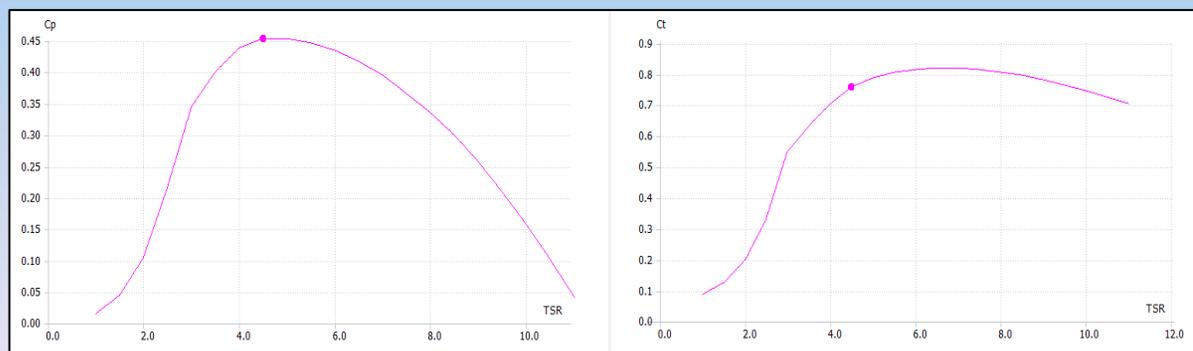
Organiza:

## Diseño de pala

- Para el diseño del rotor se utilizó el Software Qblade de código abierto
  - Se realizó el diseño para una 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



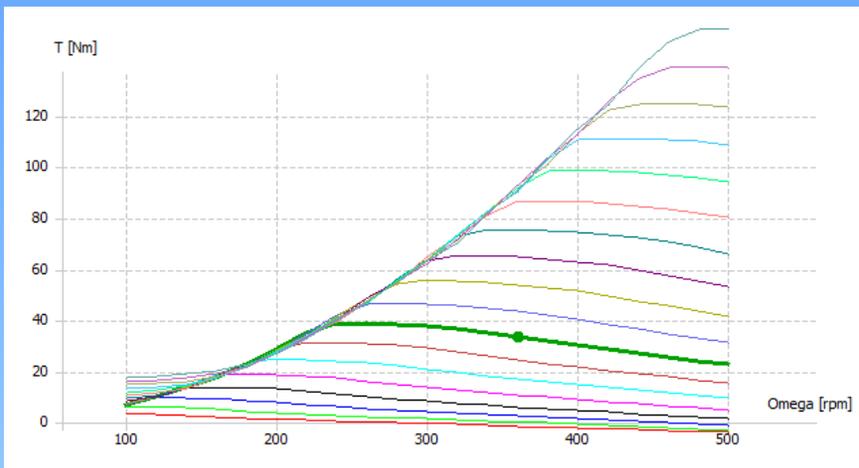
Rotor diseñado



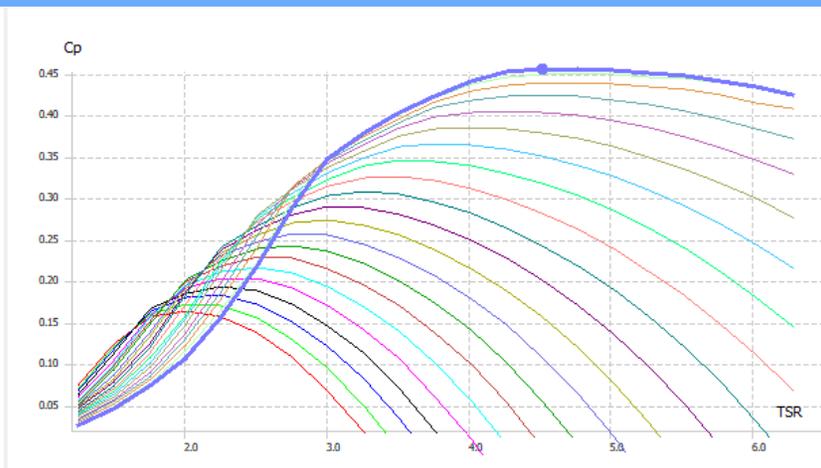
Curvas de  $C_p$  Vs TSR y  $C_t$  Vs. TSR

Organiza:

## Curvas de Qblade



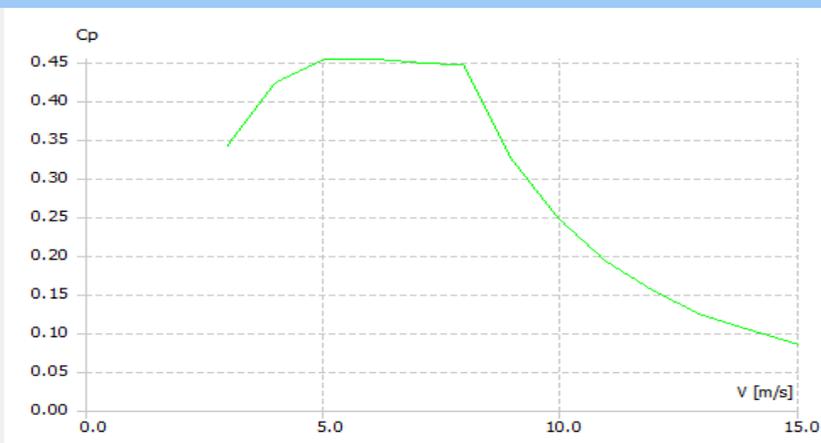
Torque Vs RPM para dif Vinf



Cp Vs TSR para dif beta



Potencia Vs Vinf con control

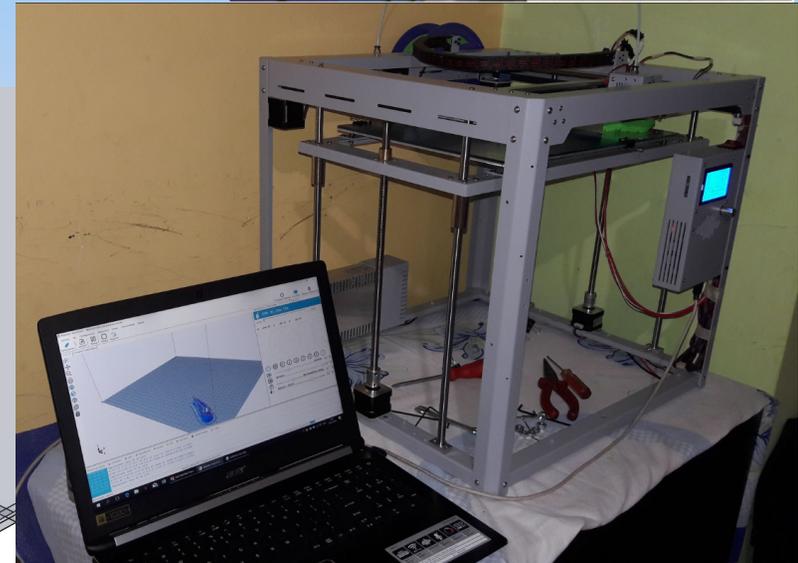
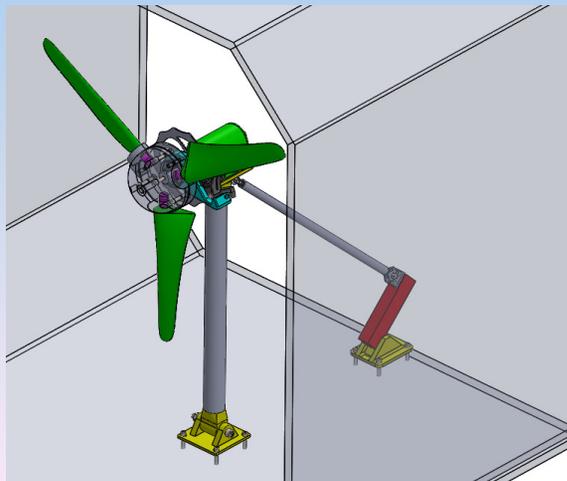
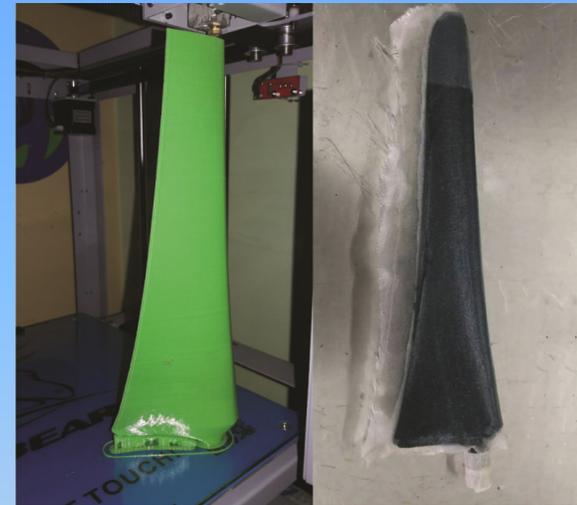


Cp Vs Vinf con control

Organiza:

# Construcción del rotor mediante impresión 3D

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



Organiza:

# Ensayo aerodinámico en túnel de viento

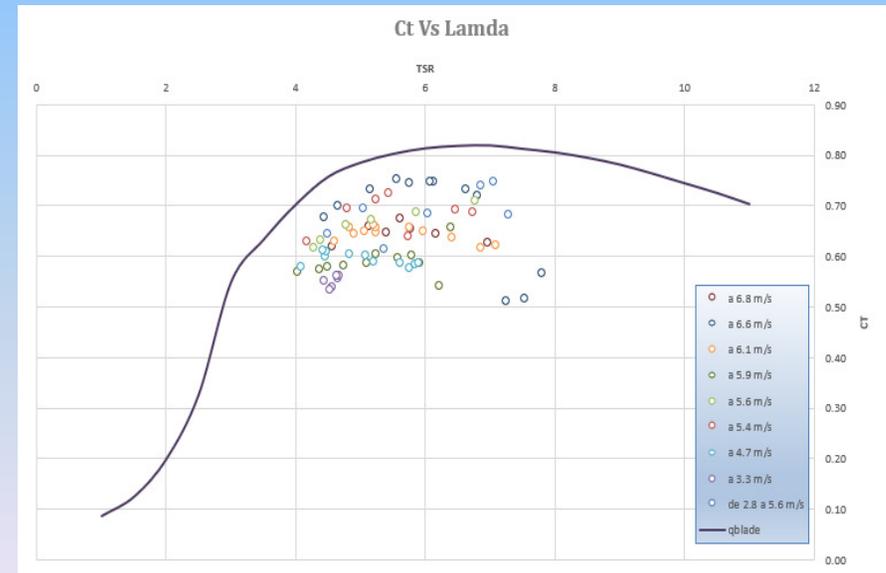
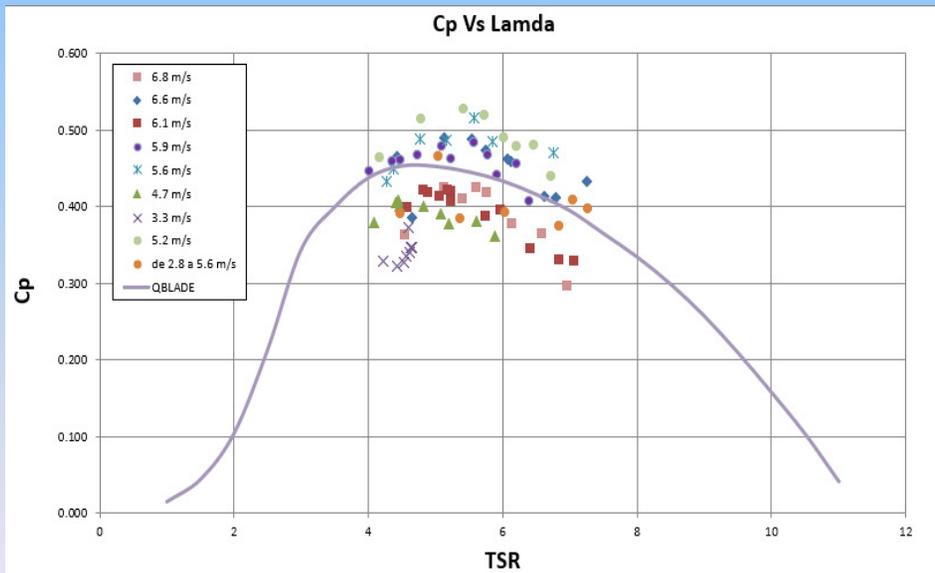
- Celdas de carga de trust y torque.
- Sistema de frenado.
- Sensor tacómetro.
- Medición de velocidad.
- Medición de temperatura humedad y presión atmosféricas
- Corrección por bloqueo
- Fricción de rodamientos
- Adimensionalización



Organiza:

## ➤ Curvas de desempeño según 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



Organiza:

## 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 para los ensayos en el sistema de adquisición de RPM y velocidades de equilibrio, a través de sistema de frenado por máquina eléctrica y control PWM.

Organiza:

# Muchas gracias

[ramiro.bracco@gmail.com](mailto:ramiro.bracco@gmail.com), [devillab@speedy.com.ar](mailto:devillab@speedy.com.ar),  
[ruben.bufanio@speedy.com.ar](mailto:ruben.bufanio@speedy.com.ar)



Organiza:

