

**5to SEMINARIO NACIONAL DE ENERGIA Y SU USO  
EFICIENTE  
CIUDAD DE CUTRAL-CO, NEUQUEN**

**Estudio de Controles de Paso de Pala para Generador eólico de Baja Potencia,  
UTN1899**

De Villaflor Alejandro Blas\*, Bufanio Ruben, Persello Andrés, Rubido Javier, Cortes Luis  
Daniel, Osvaldo Cassieri, Garbuglia Hugo

**Facultad Regional Haedo, Universidad Tecnológica Nacional**

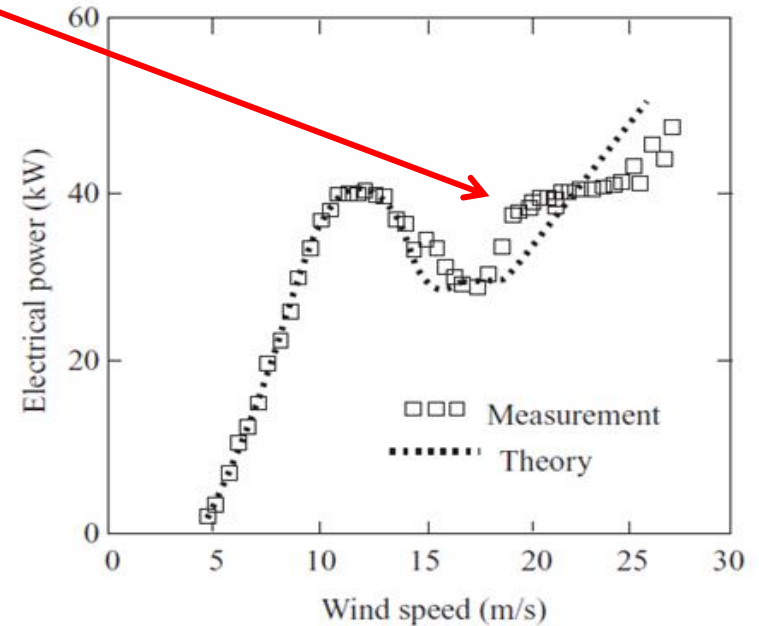
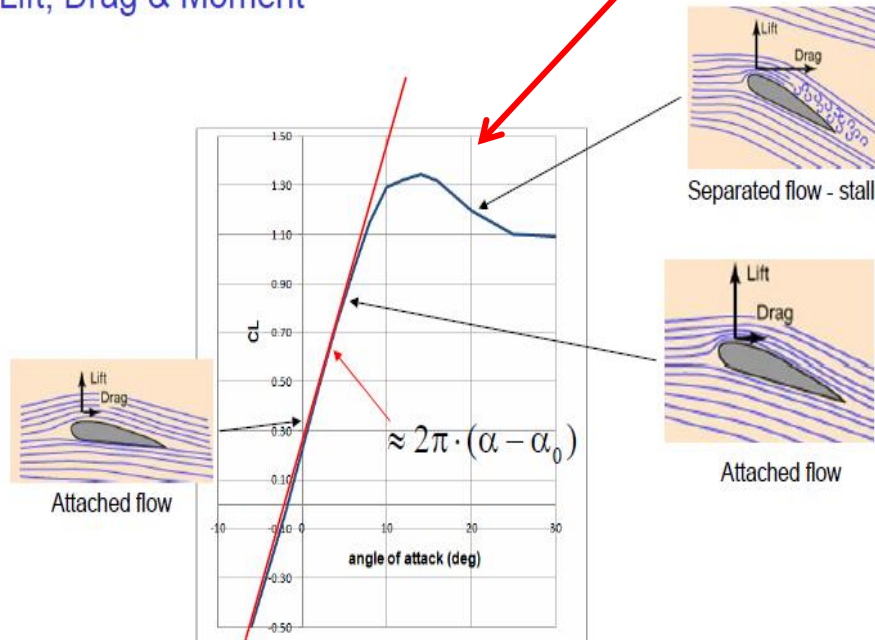
*devillab@speedy.com.ar, ruben.bufanio@speedy.com.ar, perselloa@hotmail.com,  
javierrubido@yahoo.com.ar, luisdanielcortes87@gmail.com, osvaldo@edelta.com.ar,  
hugogar@ciudad.com.ar,*

## ➤ Objetivo y Propuestas de Trabajo

### ▪ Objetivo:

- ▶ Mejorar desempeño, del aerogenerador de baja potencia, en zona de trabajo de carga total.

### Lift, Drag & Moment



Fuente: T. Burton (2001), Wind Energy Handbook

## **Propuestas:**

- Modificar el paso de pala, por encima de velocidad de viento nominal, de manera de incrementar las condiciones de amortiguamiento de cargas aerodinámicas
- Desarrollar, en principio, un aerogenerador con rotor por control de potencia por pérdida aerodinámica “Stall” (paso fijo) y luego con controles de paso de pala.
- Modelar, por medio de programa computacional, un método de control de potencia por paso de palas, haciendo énfasis a la zona de trabajo de la turbina eólica por encima de viento nominal.
- Realizar análisis comparativo técnico–económico entre los prototipos planteados.

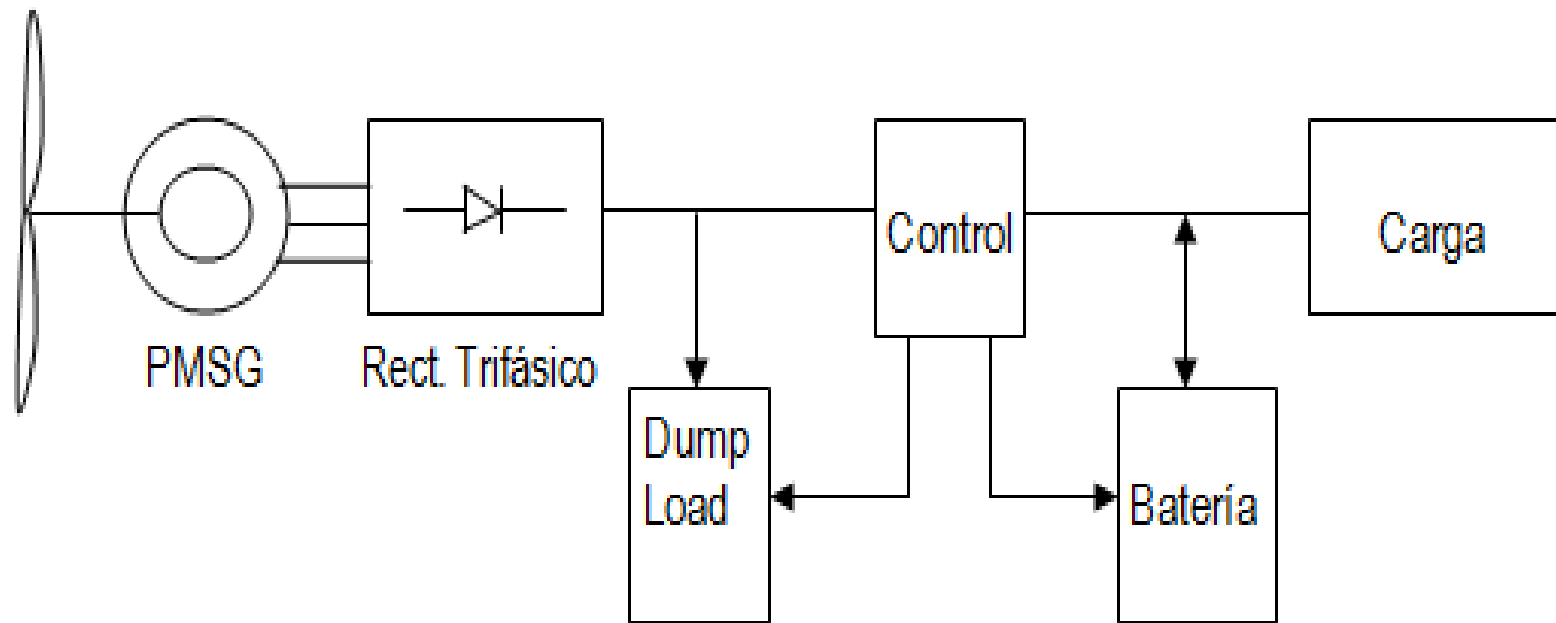
- **Desarrollo Aerogenerador de Paso Fijo**
  - **Etapas:**
    - Construcción de generador sincrónico a imanes permanentes
    - Construcción de rotor aerodinámico
    - Construcción sistema mecánico
    - Desarrollo Sistema eléctrico
    - Ensamble y prueba de Aerogenerador

## ➤ Desarrollo Aerogenerador de Paso Fijo



## ➤ Desarrollo Sistema eléctrico y Control

### ▪ Diagrama de bloques empleado



## ➤ **Análisis de desempeño generador PMSG (generador sincrónico a imanes permanentes)**

### ▶ **Objetivo**

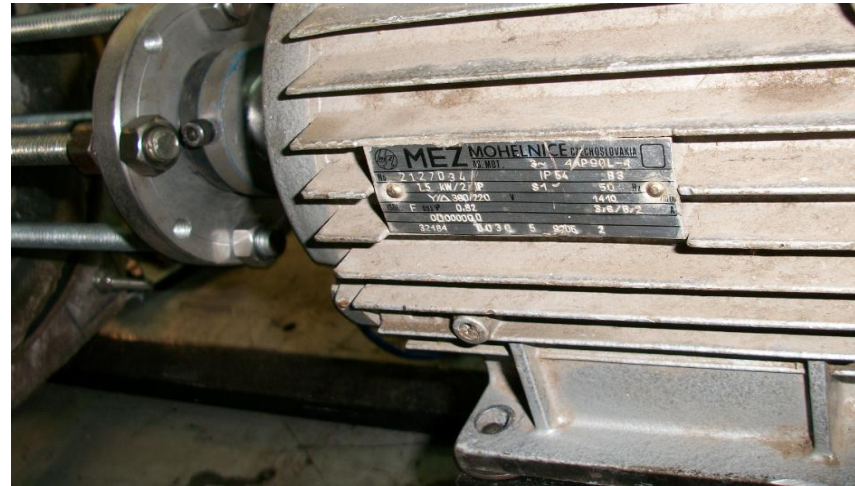
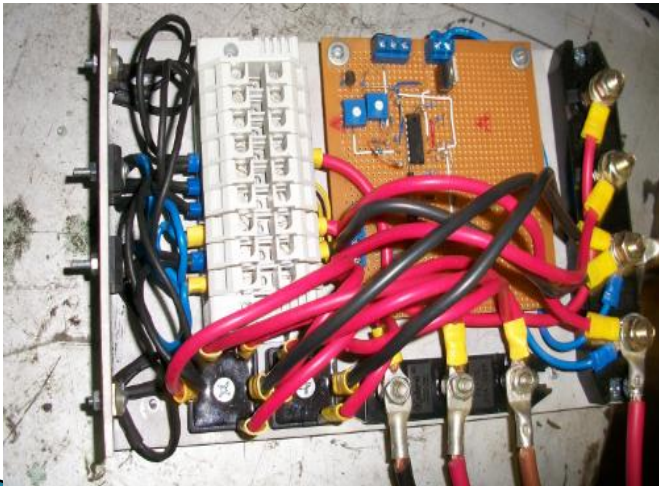
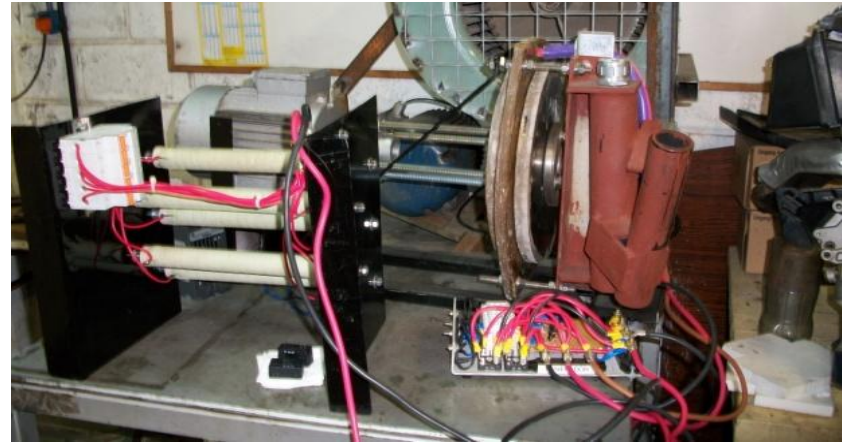
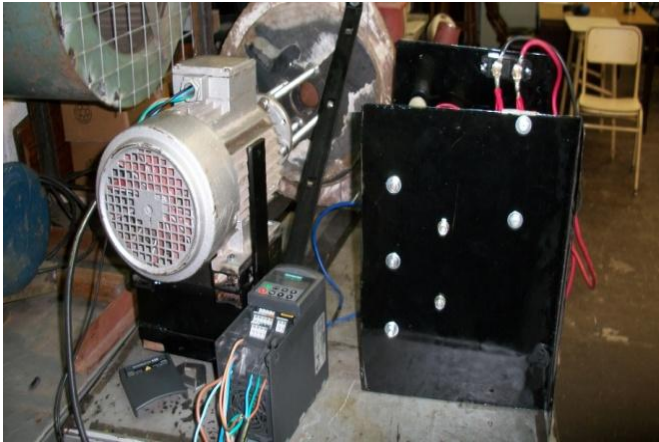
- ▶ Obtener desempeño eléctrico (perfil de tensión y potencia) del PMSG para velocidades de rotación previstas en campo.

### ▪ **Etapas:**

- Desarrollo y construcción de carga variable con resistores
- Desarrollo de placa de control y carga de batería (se utilizó para esta etapa solo el rectificador trifásico)
- Desarrollo y construcción de sistema mecánico para acople de motor y variador de velocidad a eje del generador
- Desarrollo de carga “Dump Load” (no utilizada en esta etapa).
- Obtención de medidas eléctricas a través de osciloscopio (conectado a salida aerogenerador), multímetro digital ,resistores de cuatro terminales en carga variable, punta de corriente (medición de corriente de carga en banco de baterías no necesario en esta etapa) y medidor de calidad de energía (Fluke 435) a entrada de variador de velocidad.



## ➤ Banco de trabajo empleado

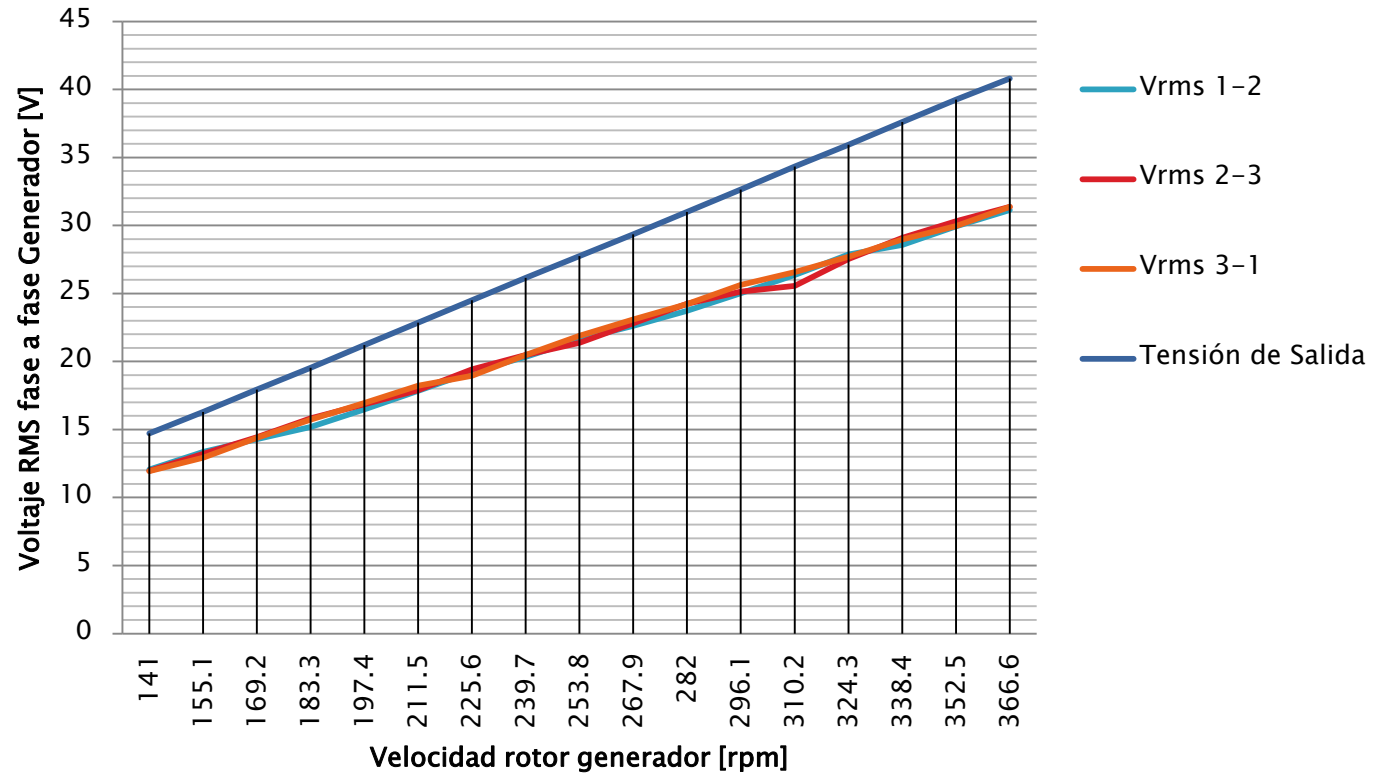




## ➤ Medidas Obtenidas en Vacío

Velocidad Variador [Hz]	Velocidad rotor [RPM]	Vrms 1-2	Vrms 2-3	Vrms 3-1	THDv [%]	Tensión de Salida [V]	Frecuencia Salida [Hz]
5	141	12.06	11.96	11.95	49.1	14.71	14.1
5.5	155.1	13.36	13.22	12.92	46.5	16.3	15.51
6	169.2	14.3	14.43	14.38	44.3	17.93	16.92
6.5	183.3	15.19	15.83	15.72	36.5	19.55	18.33
7	197.4	16.48	16.86	16.94	31.7	21.22	19.74
7.5	211.5	17.85	17.89	18.22	22.6	22.85	21.15
8	225.6	19.24	19.43	18.96	17	24.5	22.56
8.5	239.7	20.33	20.48	20.48	13.5	26.14	23.97
9	253.8	21.63	21.37	21.88	12.8	27.74	25.38
9.5	267.9	22.62	22.81	23.08	11.8	29.36	26.79
10	282	23.73	24.24	24.21	11.64	31	28.2
10.5	296.1	25.02	25.14	25.63	7.7	32.64	29.61
11	310.2	26.37	25.55	26.57	6.5	34.34	31.02
11.5	324.3	27.86	27.54	27.7	5.5	35.94	32.43
12	338.4	28.58	29.09	28.98	4.6	37.6	33.84
12.5	352.5	29.93	30.32	29.97	3	39.25	35.25
13	366.6	31.13	31.37	31.38	3	40.8	36.66

## ➤ Medidas Obtenidas en Vacío

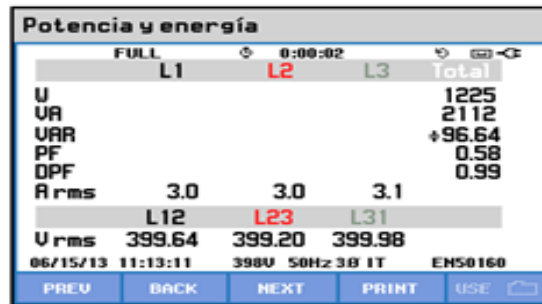
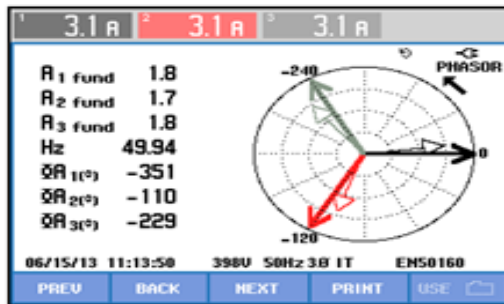


## ➤ Medidas Obtenidas en carga con acople directo Motor-PMSG

### Tercera medida

$R_o = 2 \Omega$  (dos resistencias de carga)

$V_o = 28,3v$

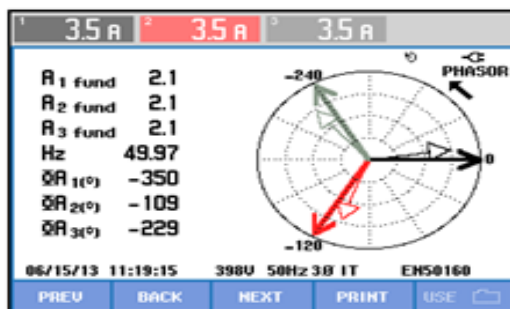


### Cuarta medida

$R_o = 1.34 \Omega$  (tres resistencias de carga)

$V_o = 22v$

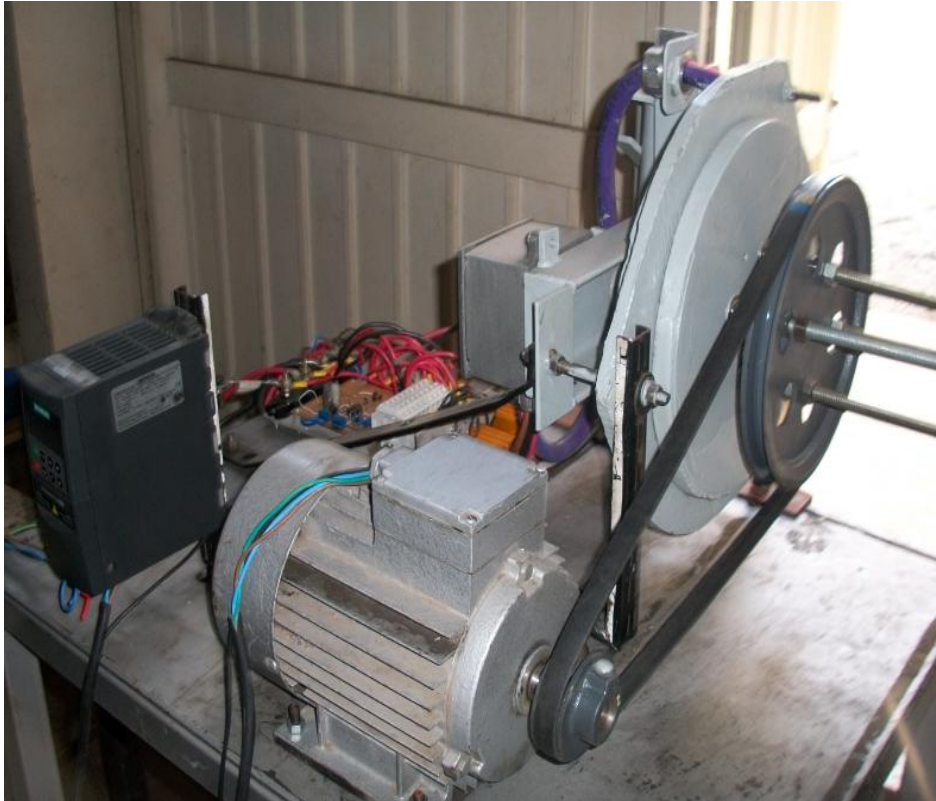
Nota: En esta medida el variador comienza a limitar su salida (por exceso de pérdidas por deslizamiento en el motor de 1.5kW).



➤ **Medidas Obtenidas en carga con acople directo Motor-PMSG**

R Carga [Ω]	RPM Motor	f Var. [Hz]	f Gen. [Hz]	Vo [V]	Io [A]	I.Fase Gen. [A]	Perd. Gen. [W]	S [%]	Pin [W]	Po [W]	Perd. motor [W]	Perd. Conv. [W]
Vacio	272	9.2	27.2	28.2				1%	143	0	3	
4	302.3	12.2	30.23	28.2	7.05	5.75	22	17%	503	198	86	12.00
2	328	15.8	32.8	28.3	14.1	11.54	87	31%	1200	399	370	28.00
1.34	250.5	14.67	25.05	22	16.4	13.4	126	43%	1420	362	610.6	31.00

- **Cambio de acople (polea de reducción) entre Motor-PMSG**



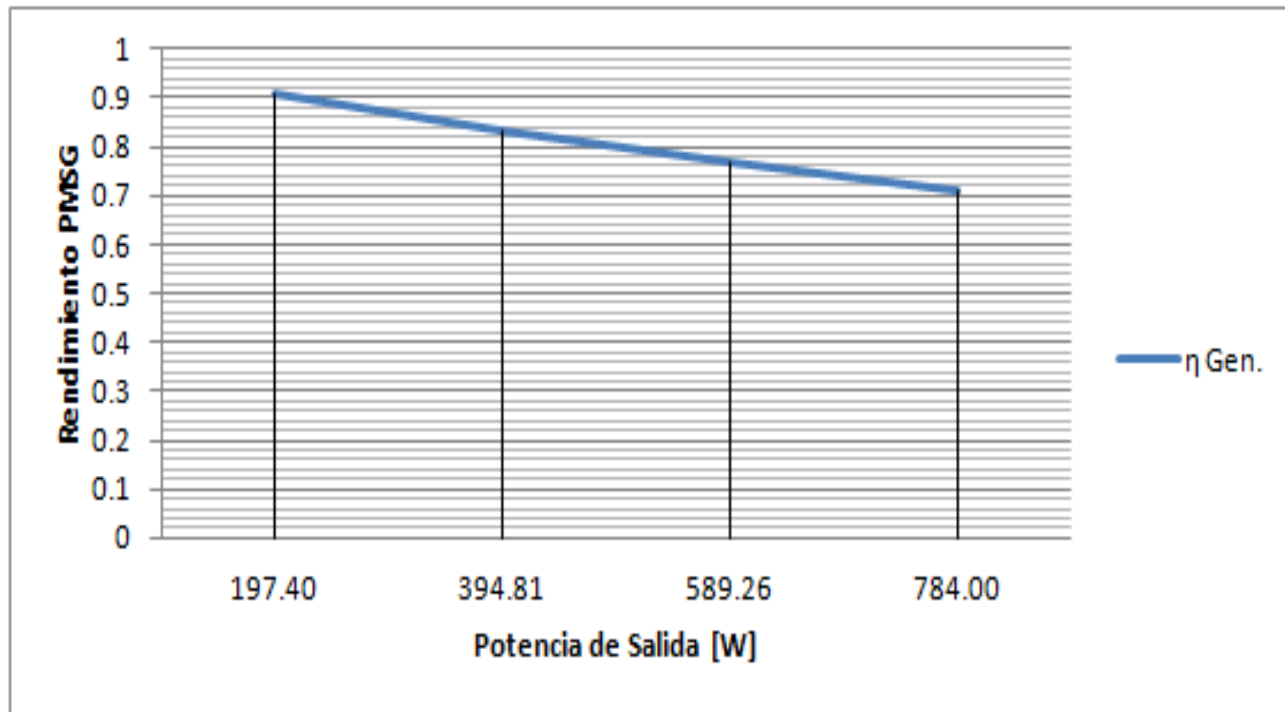


➤ **Medidas Obtenidas en carga con acople con reducción, Motor-PMSG**

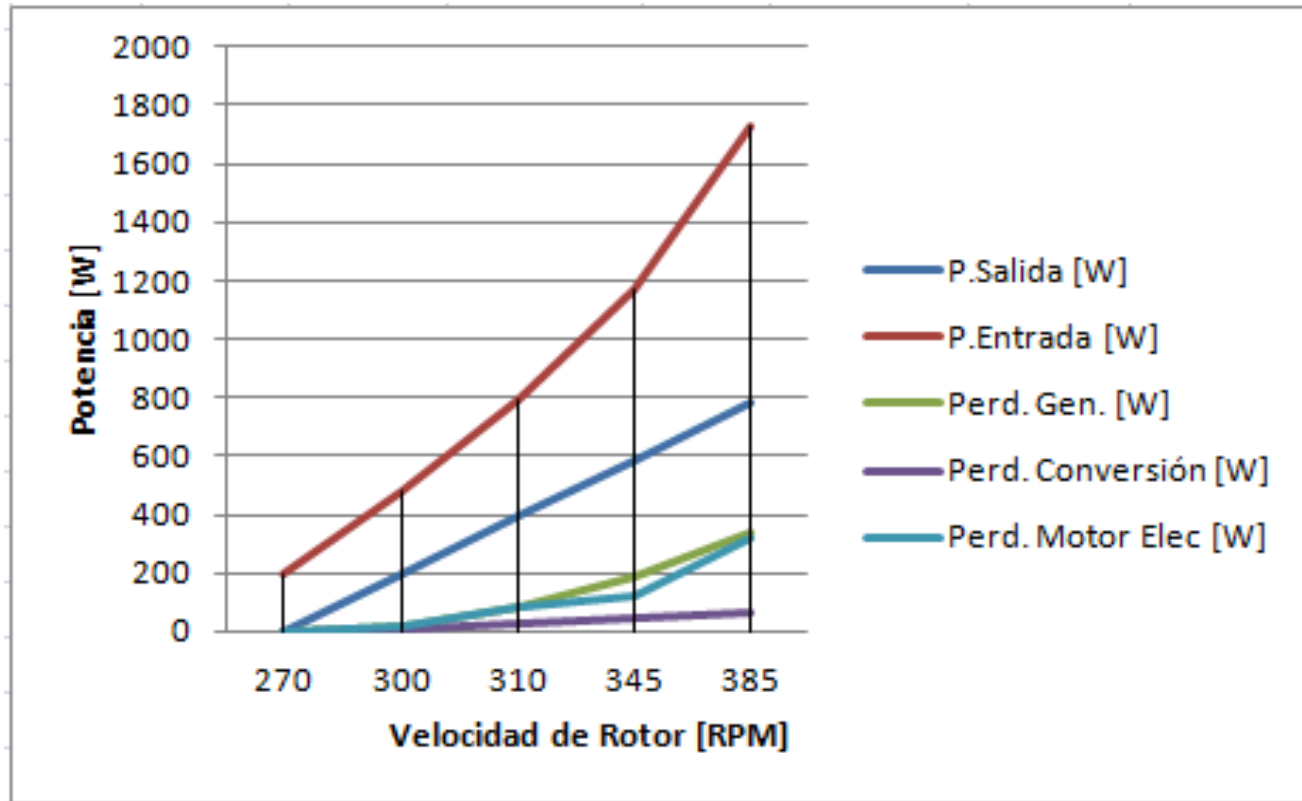
➤

R Carga [Ω]	RPM Gen.	f Var. [Hz]	f gen. [Hz]	Vo [V]	Io [A]	I. Fase Gen. [A]	Perd. Gen. [W]	S	Pin [W]	Po [W]	Perd. Mot. [W]	Perd. Conv. [W]	η Gen.
Vacio	270	31.8	27	28.1	0.00	0.00	0.00	0.007	200	0	1.32	0.0	
4	300	36.1	30.08	28.1	7.03	5.74	21.3	0.028	483	197	13.38	12.00	0.91
2	309	40.4	30.9	28.1	14.05	11.47	85.5	0.105	794	395	83.47	28.00	0.83
1.34	345	45.2	34.5	28.1	20.97	17.12	190.5	0.107	1175	590	125	42.00	0.77
1	385	55.3	38.5	28	28.00	22.86	339.6	0.185	1731	784	321	60.00	0.71

## ➤ Medidas Obtenidas en Carga



## ➤ Medidas Obtenidas en Carga

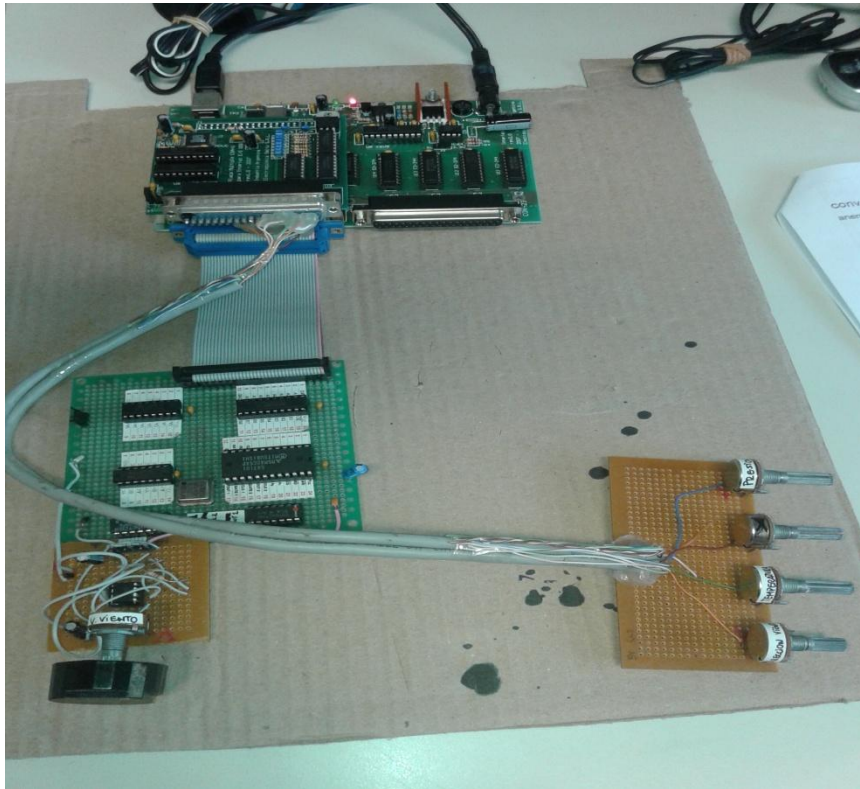


## ➤ Conclusiones de pruebas PMSG

- Los cálculos teóricos del PMSG, aunque aproximados y basados en experiencias anteriores ([David\_Wood]\_Small\_Wind\_Turbines\_Analysis,\_Design), fueron satisfactorios respecto de los resultados obtenidos en el banco de prueba.
- Las medidas obtenidas a través del esquema mostrados indican un desempeño aceptable del generador PMSG en conjunto con baterías, Dump Load, sistema de control eléctrico y diferentes disposiciones de carga.
- El rendimiento del generador, aunque pudiendo ser mayor, entre un 70% y 90% es aceptable en las potencias de generación que se trabajan por debajo del kW.
- Para evaluación final es necesario instalar el aerogenerador en campo, censar recurso eólico en torre meteorológica en conjunto con parámetros eléctricos dentro de un sistema de adquisición, obtener la curva de potencia de acuerdo a norma IEC y analizar desempeño del rotor con paso de pala fijo en zona de regulación de potencia.
- Una vez finalizada la etapa anterior se reemplazará el rotor de paso fijo, para mismo PMSG, por el del control centrífugo repitiéndose nuevamente todas las medidas, de manera de permitir comparaciones de desempeño y obtener conclusiones del control centrífugo respecto del Stall según diferentes índices como mitigación de cargas aerodinámicas y producción de energía

- **Etapa de adquisición de datos meteorológicos para pruebas en campo**

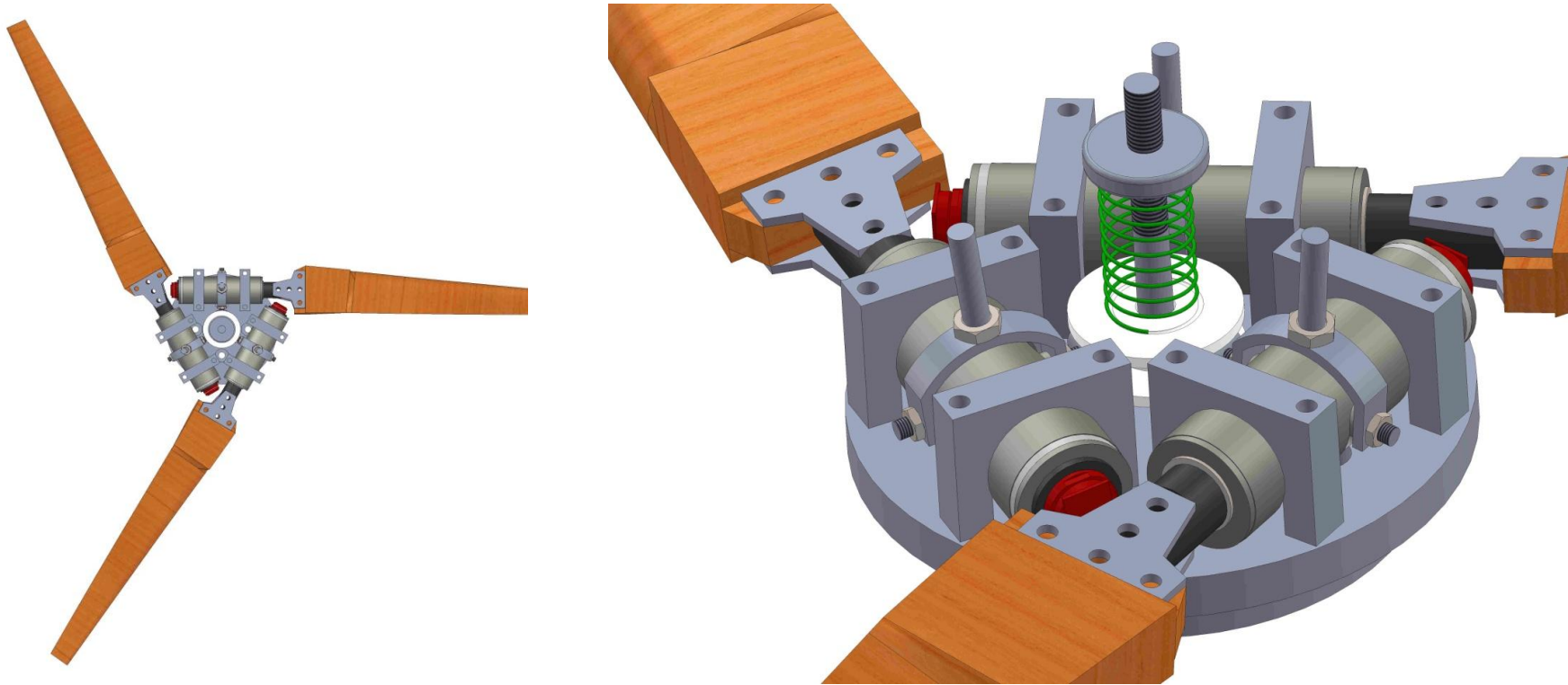
## Desarrollo de “Datalogger” (IEC 61400-12-1)



Fecha	Hora	Viento, Intensidad (m/s)	Viento, Direccion (°)	Temperatura (°C)	Presion (mb)
2/08/2014	11:25:56	13,7109276476756 m/s	----	215,032967032967°	215,120879120879°
2/08/2014	11:25:57	13,7109276476756 m/s	----	215,120879120879°	215,120879120879°
2/08/2014	11:25:57	13,7109276476756 m/s	----	215,120879120879°	215,120879120879°
2/08/2014	11:25:58	13,7132676105576 m/s	----	215,120879120879°	215,120879120879°
2/08/2014	11:25:59	13,7109276476756 m/s	----	215,120879120879°	215,120879120879°
2/08/2014	11:26:00	13,7109276476756 m/s	----	215,032967032967°	215,120879120879°
2/08/2014	11:26:01	13,7109276476756 m/s	----	215,120879120879°	215,120879120879°
2/08/2014	11:26:02	13,6133823733518 m/s	----	215,120879120879°	215,120879120879°



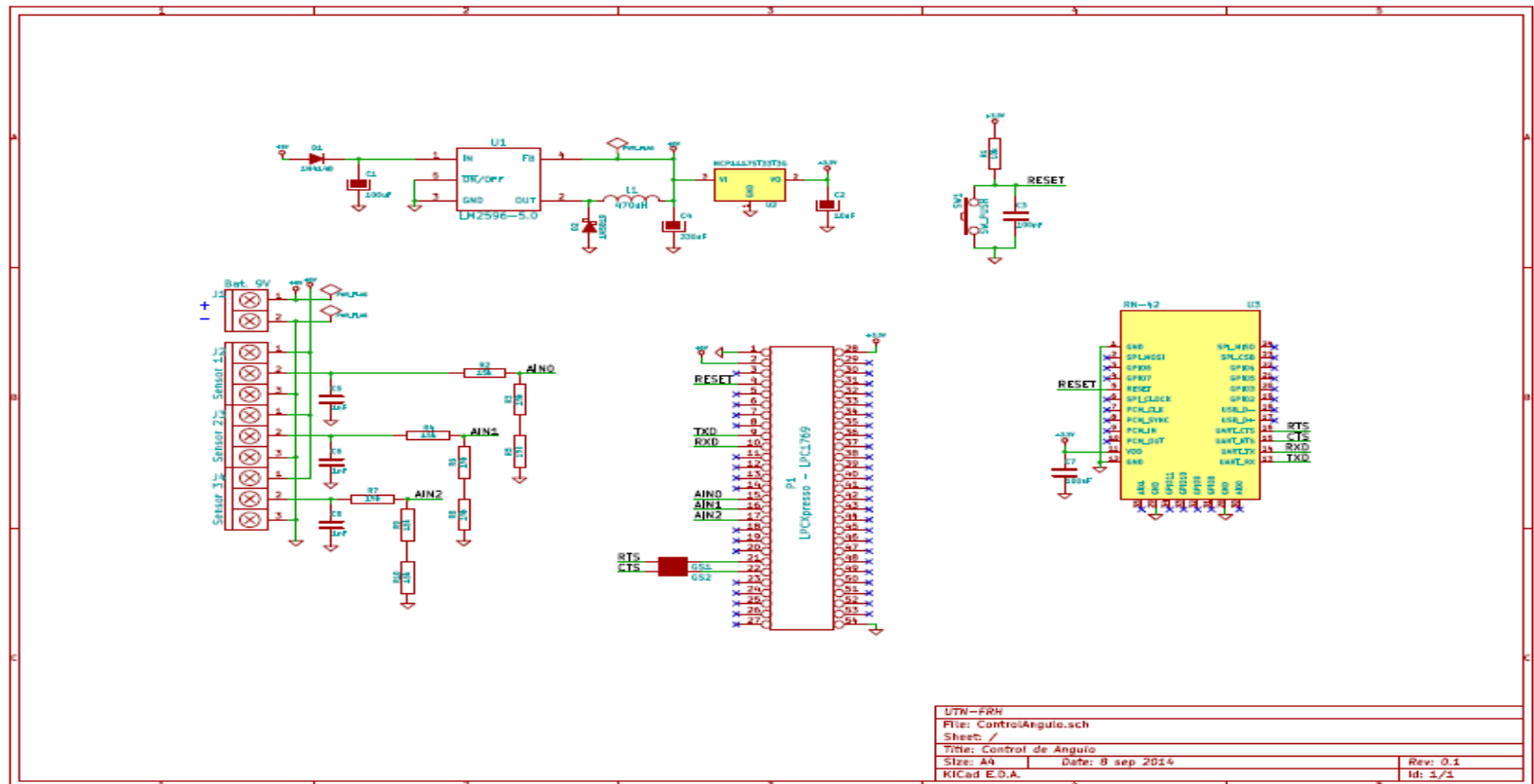
- **Desarrollo de prototipo de paso de pala**
  - ▶ **Modelado de rotor con paso de pala a través de centrífugos**



- **Desarrollo de prototipo de paso de pala**
  - ▶ **Mecanizado de rotor con paso de pala a través de centrífugas**



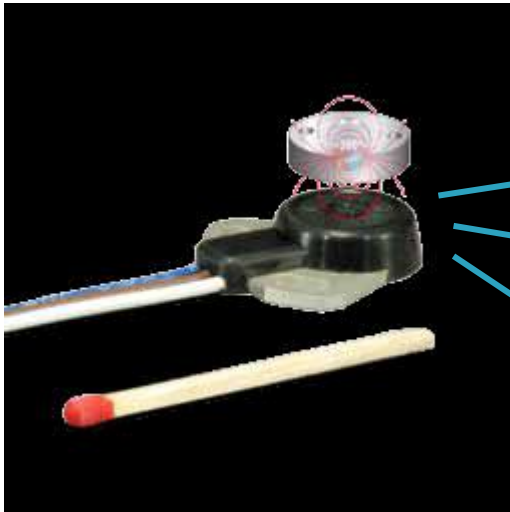
- **Etapas en desarrollo de prototipo de paso de pala**
  - ▶ **Construcción de adquiredor de datos de ángulo de posición de pala para prueba en túnel de viento**



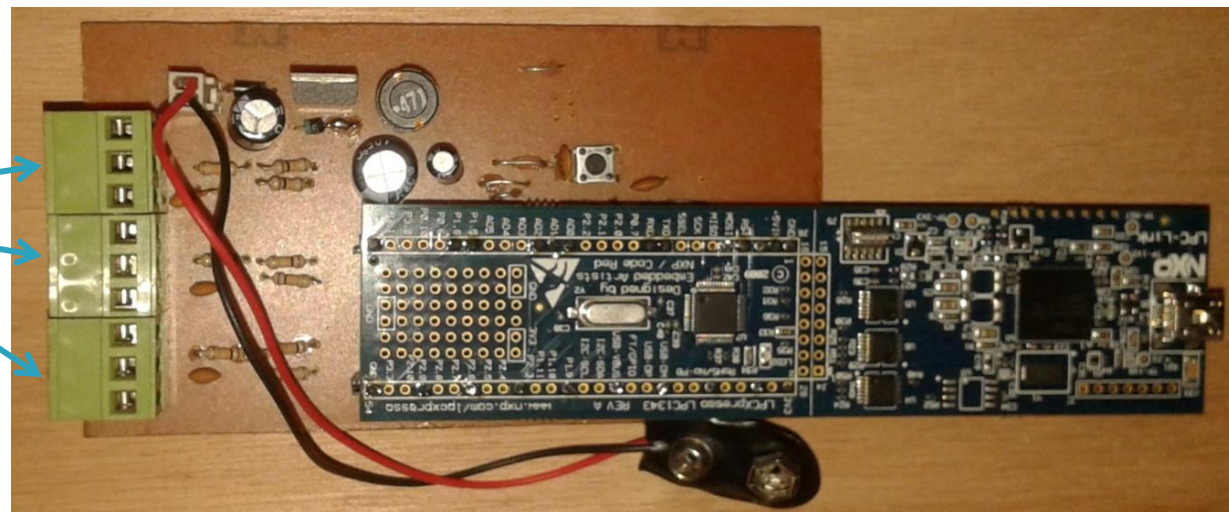


- **Etapas en desarrollo de prototipo de paso de pala**
  - ▶ **Construcción de adquisidor de datos de ángulo de posición de pala para prueba en túnel de viento**

**Sensor Magnético**



**Placa electrónica**



**¿CONSULTAS?**