

Uso de Simulación Numérica en Diseño de Aerogeneradores



CENER: Centro Nacional de Energías Renovables



Fundación privada sin ánimo de lucro

22.5 M€

Presupuesto para el 2010 (60% auto-financiado)

~200

Investigadores, técnicos y personal de apoyo

Inversiones totales desde el 2002

100 M€

Más de 200 clientes en los cinco continentes



Infraestructuras



Sede Central
Sarriguren (Navarra)



Planta de Biofuel
Aoiz (Navarra)



**Laboratorio de Ensayo
de Aerogeneradores**
Sangüesa (Navarra)



**Parque Experimental en
Terreno Complejo**
Alaiz (Navarra)

Oficinas en Madrid y Sevilla

Areas de Investigación

Energía Eólica

Biomasa

Solar Fotovoltaica

Solar Térmica

Integración en Red

Arquitectura Bioclimática

Análisis y Diseño de Aerogeneradores (ADA)

- Nuevos conceptos de aerogeneradores y componentes.
- Diseño avanzado de palas
- Desarrollo de herramientas de cálculo
- Desarrollo de nuevos materiales y procesos para aerogeneradores
- Diseño de aerogeneradores marinos (offshore) y sus plataformas

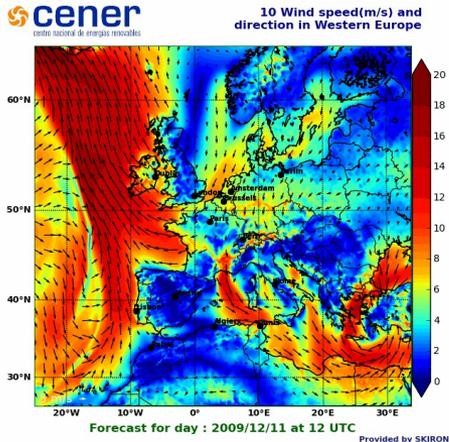


Departamento de Energía Eólica



Laboratorio de Ensayo de Aerogeneradores (LEA)

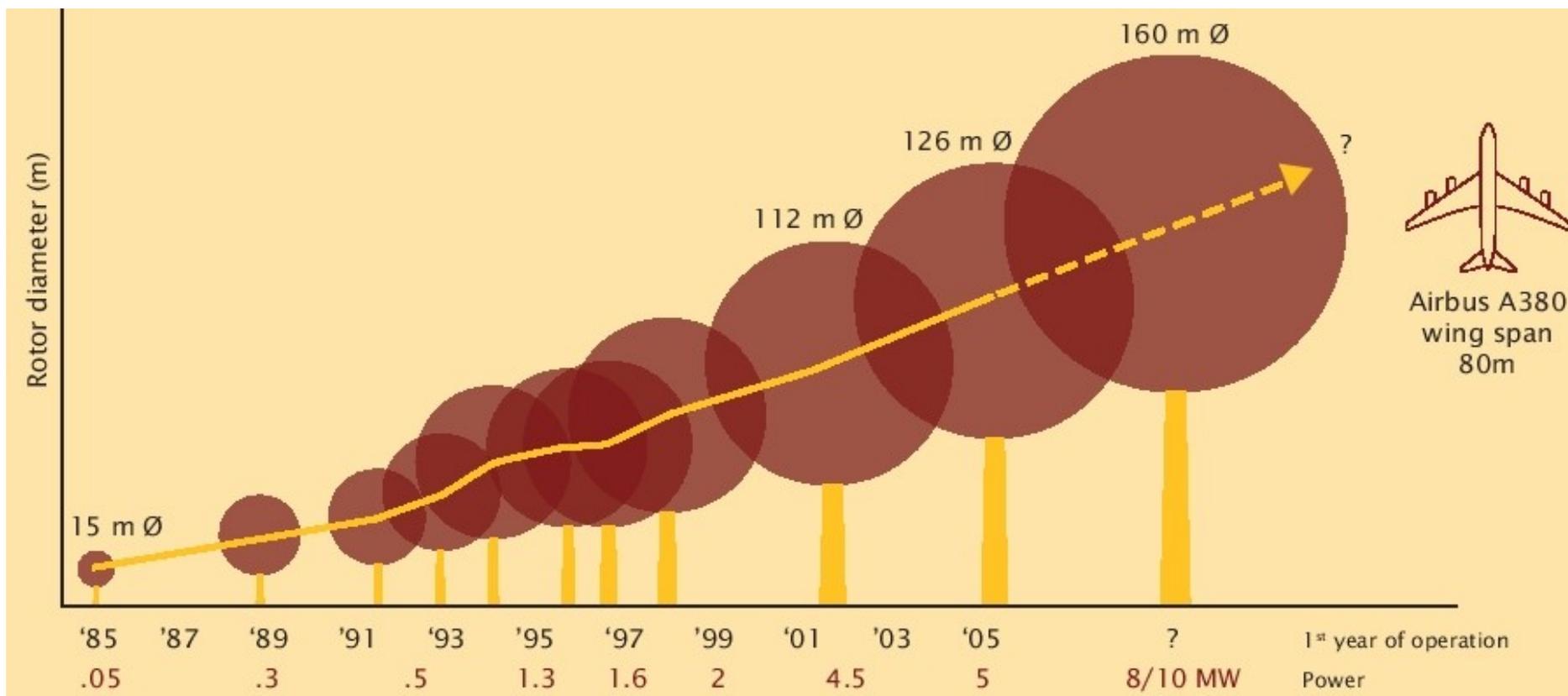
- Ensayos de pala (estático, a fatiga,...)
- Ensayo del tren de potencia: generador, nacelle, engranaje,...
- Parque experimental en terreno complejo



Evaluación y Predicción del Recurso Eólico (EPR)

- Metodología avanzada en el análisis de recursos y diseño de parques
- Preparación de mapas eólicos de alta resolución
- Predicción energética del parque eólico
- Predicción del oleaje y del recurso eólico offshore

Evolución de los Aerogeneradores de Eje Horizontal



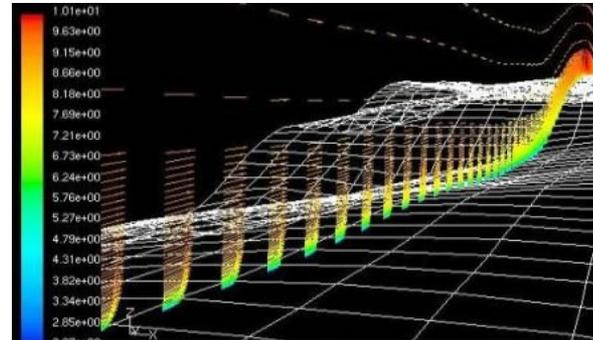
From EWEA:

http://ec.europa.eu/research/energy/nn/nn_pu/renews/005/article_4133_en.htm

Herramientas de Simulación Numérica en Eólica

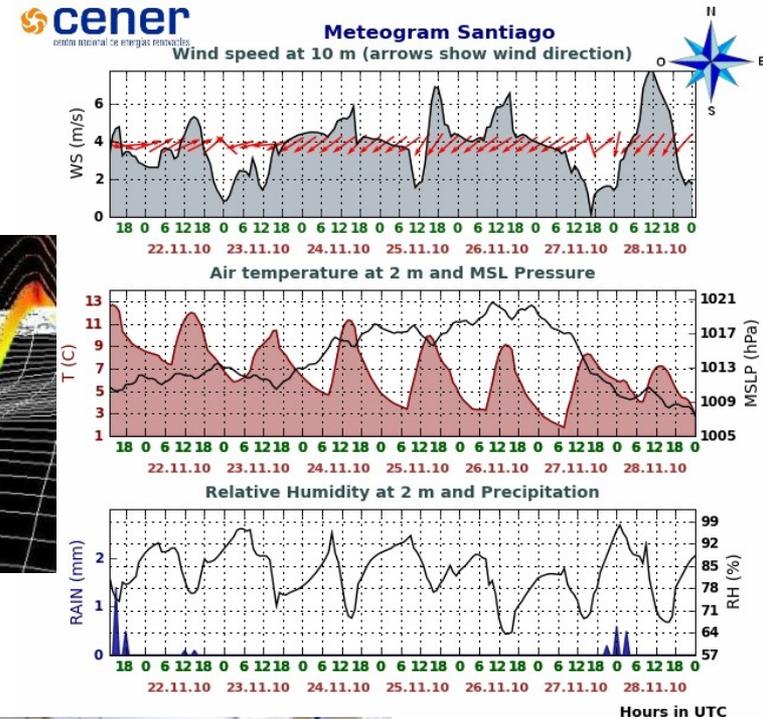
Evaluación y Predicción del Recurso Eólico (EPR)

- ↙ FLUENT
- ↙ OpenFoam
- ↙ SATURNE
- ↙ SKIRON



Laboratorio de Ensayo de Aerogeneradores (LEA)

- ↙ MTS
- ↙ Catman
- ↙ Matlab



Herramientas de Simulación Numérica en Eólica

■ Análisis y Diseño de Aerogeneradores (**ADA**)

Materiales

PAM-RTM

Origin

Control

Matlab + Simulink

Estructural

Patran + Nastran

Mentat + MSC.Marc

MSC.Adams

MSC.Fatigue

BASSF

FMAC

Unigraphics + Fibersim

3D Studio

AutoCad

Aerodinámica

Bladed

Dystool

Fast

Hase2D/3D

XFOIL + Dakota

WMB

(IcemCFD + Tecplot)

Herramienta – CFD

- ❑ El diseño de aerogeneradores, debido al incremento del diámetro, está fuera del conocimiento básico de los fabricantes.
 - ↙ Efectos de Compresibilidad del fluido
 - ↙ Flujo en pérdida
 - ↙ Deflexiones de pala

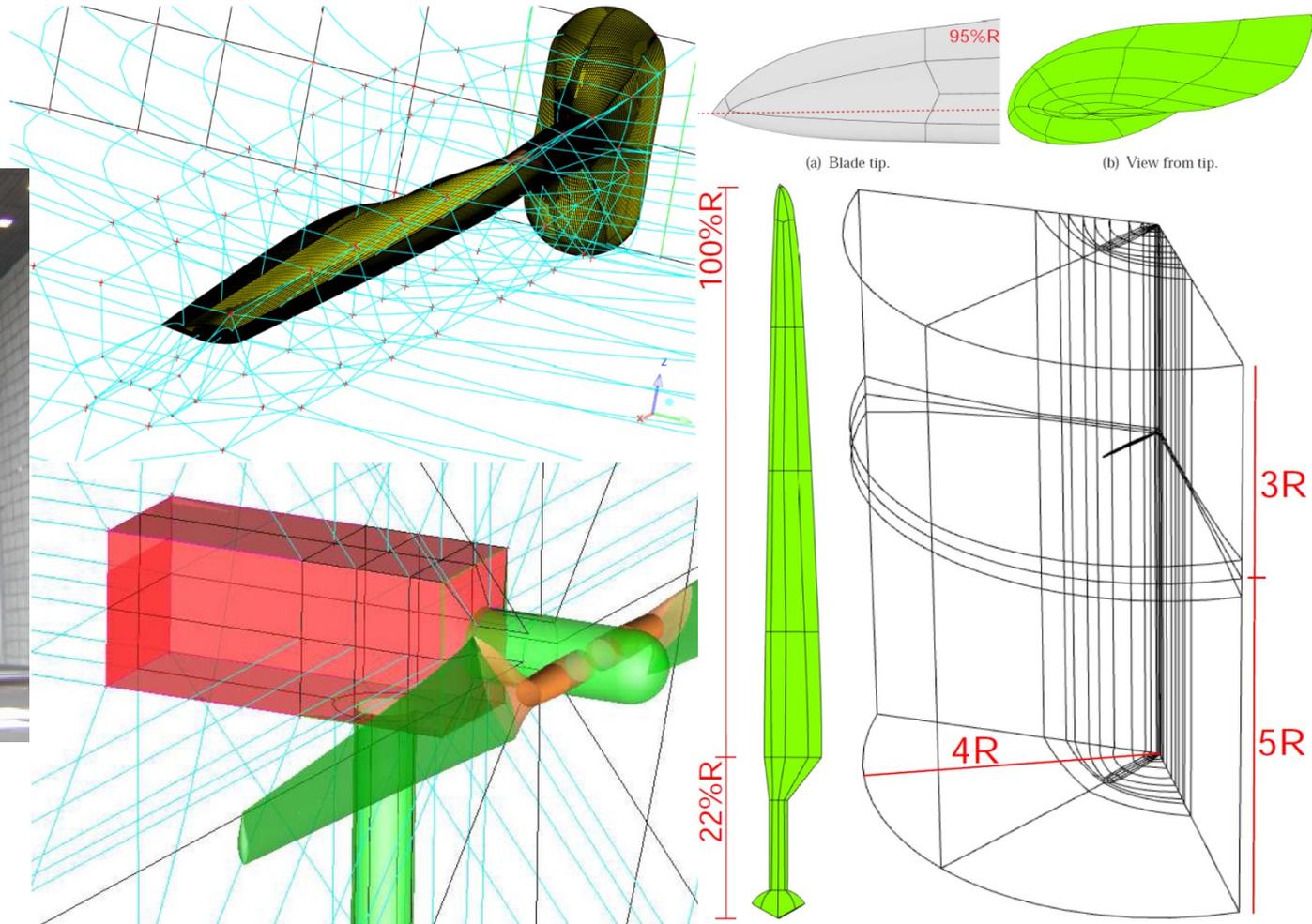
- ❑ CFD para el diseño de aerogeneradores donde se tienen en cuenta las carencias mencionadas.



Herramienta – CFD

- WMB** – Wind Multi-block
- Implicit** time marching
- Osher's scheme for convective fluxes
- MUSCL scheme for formally 3rd order accuracy
- Central differences for viscous fluxes
- Multi-block capability
- Paralleled** using the SPMD paradigm (just requires MPI)
- Flow Physics: Euler, RANS, **URANS**, **DES**
- Aeroelastic** analysis based on modal representation of structures
- Moving and deforming grids
- Validated for wind turbine flows**
- Developed by academics and engineers**

Pre - Cálculo

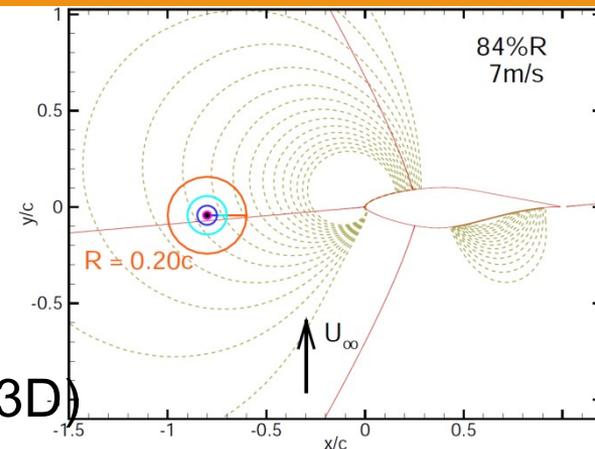


Ángulo de Ataque (AoA or α)

Wind speed (m/s)	Span-wise station	CFD	$C_n - C_N$	LFA (°)	AoA (°)	$\Delta(LFA_{3D}) - AoA$ (°)	"Down-wash" (°)
5	34%R	2D	0.3093	2.66	1.41	1.25	2.64
		3D	0.3095	5.29	-	-	-
	51%R	2D	0.4271	4.26	2.45	1.81	2.40
		3D	0.4269	6.66	-	-	-
	67%R	2D	0.4513	4.49	2.60	1.89	2.01
		3D	0.4486	6.50	-	-	-
84%R	2D	0.4117	3.95	2.25	1.70	2.05	
	3D	0.4120	5.97	-	-	-	
91%R	2D	0.3596	3.26	1.80	1.46	2.38	
	3D	0.3598	5.64	-	-	-	
7	34%R	2D	0.9534	11.64	7.34	4.30	1.26
		3D	0.9525	12.90	-	-	-
	51%R	2D	0.9496	11.46	7.20	4.26	1.04
		3D	0.9495	12.53	-	-	-
	67%R	2D	0.8515	10.11	6.30	3.81	0.82
		3D	0.8514	10.93	-	-	-
84%R	2D	0.7084	8.09	4.95	3.14	1.26	
	3D	0.7088	9.35	-	-	-	
91%R	2D	0.6066	6.56	3.93	2.63	2.24	
	3D	0.6042	8.80	-	-	-	
10	34%R	2D	1.2202	15.78	10.21	5.57	5.01
		3D	1.2199	20.79	-	-	-
	51%R	2D	1.2860	16.63	10.78	5.85	2.84
		3D	1.2862	19.47	-	-	-
	67%R	2D	1.1895	15.25	9.88	5.37	1.95
		3D	1.1893	17.20	-	-	-
84%R	2D	1.0219	12.63	8.02	4.61	2.33	
	3D	1.0219	14.96	-	-	-	
91%R	2D	0.8826	10.53	6.58	3.95	3.52	
	3D	0.8823	14.05	-	-	-	
13	34%R	2D	1.1384	14.21	9.06	5.15	17.90
		3D	1.1386	32.11	-	-	-
	51%R	2D	1.1209	13.93	8.86	5.07	14.19
		3D	1.1213	28.05	-	-	-
	67%R	2D	1.0574	13.15	8.38	4.77	16.46
		3D	1.0552	23.61	-	-	-
84%R	2D	0.9833	12.04	7.61	4.43	8.44	
	3D	0.9840	20.48	-	-	-	
91%R	2D	0.8977	10.59	6.58	4.01	8.60	
	3D	0.8975	19.19	-	-	-	

Down-wash =
= LFA_{3D} - LFA_{2D}

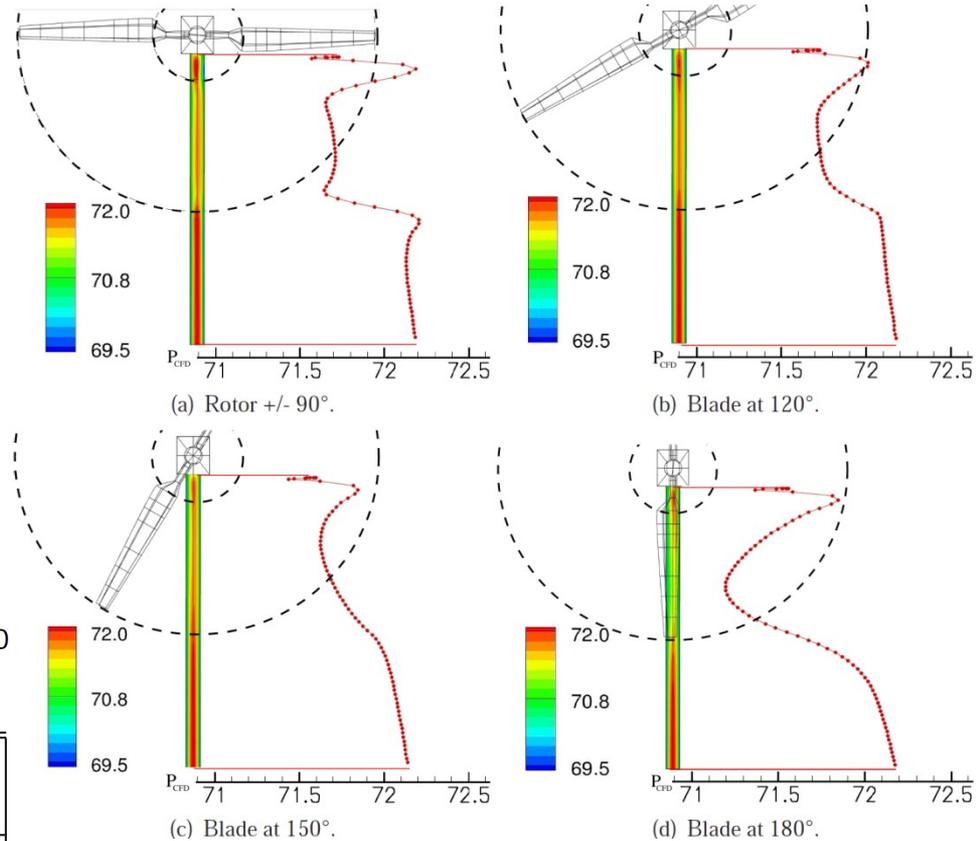
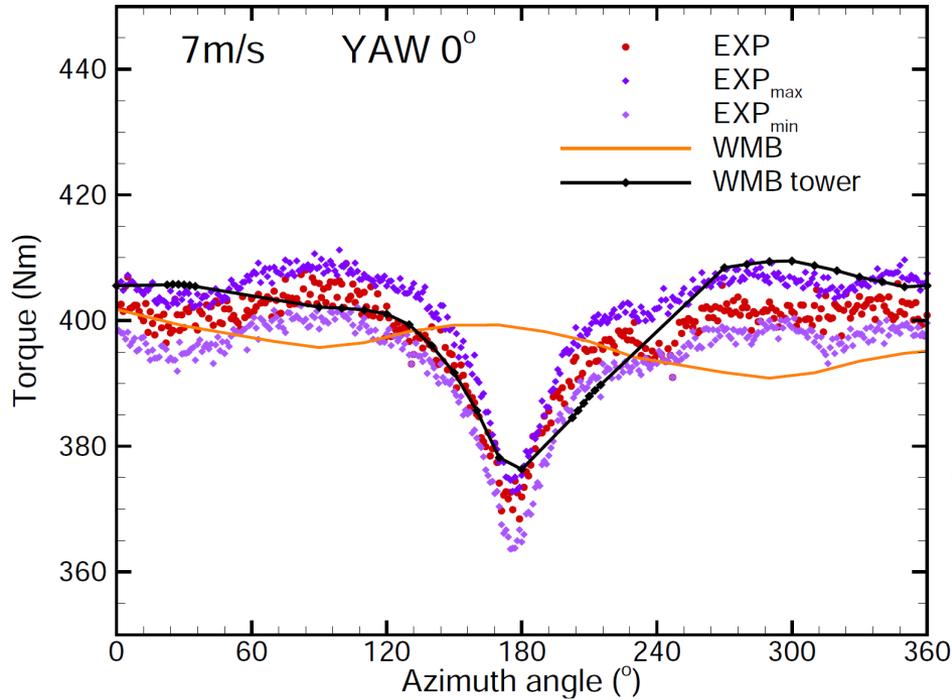
- Calcular el flujo 3D
- Extraer LFA y CN (3D)
- Calcular 2D al = Re_{local} y obtener el = C_n que C_N variando el AoA
- Extraer el LFA 2D
- Down-wash:
la influencia de la inducción



Correcciones de AoA para códigos BEM!!!

S. Gómez-Iradi, G.N. Barakos and X. Munduate, A CFD Investigation of the Near-Blade 3d Flow for a Complete Wind Turbine Configuration, EWEC2010 20th August 2010

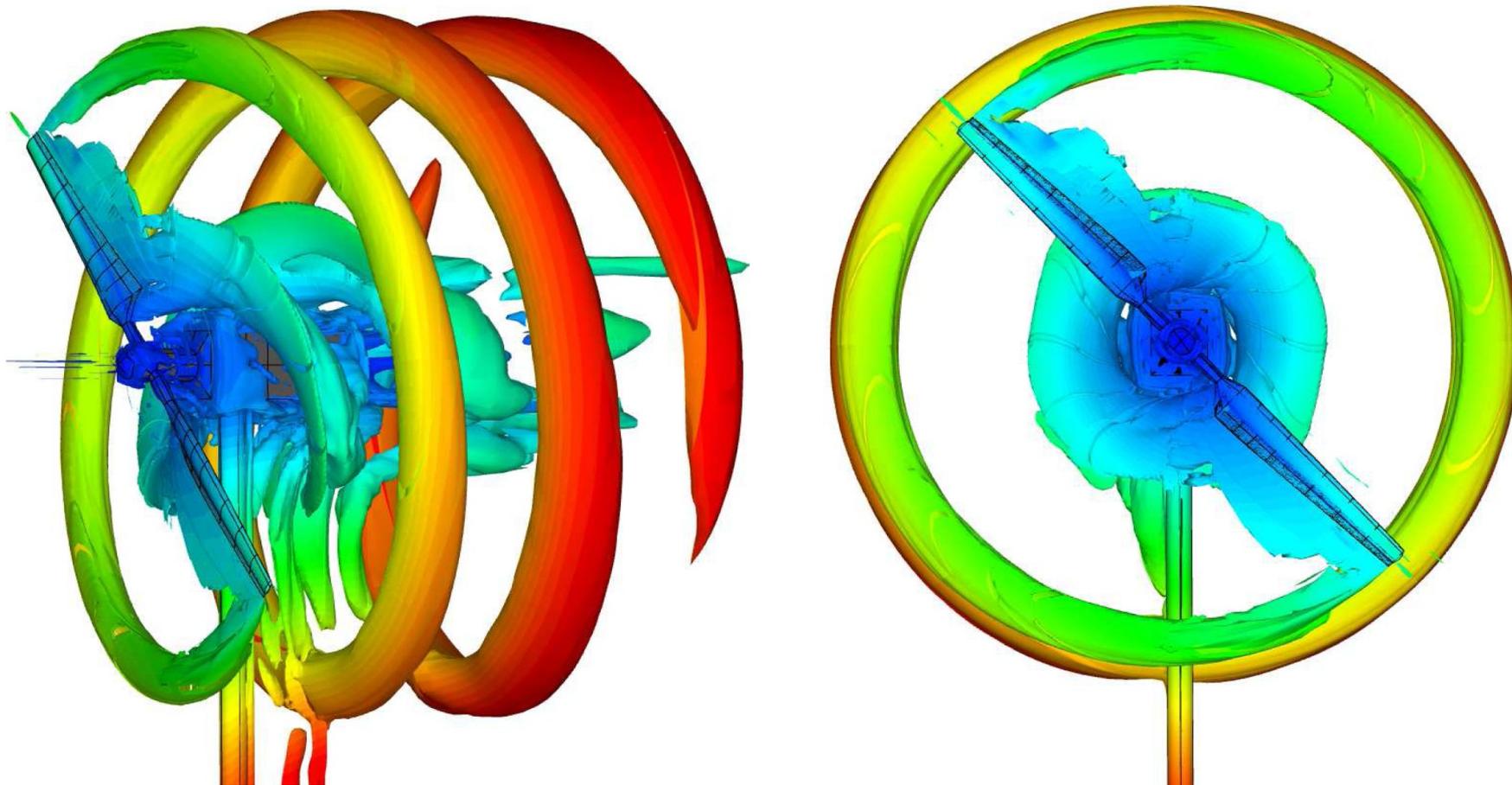
Aerogenerador Completo



	Nacelle	Tower	Rotor with Tower / No tower	Total	
Thrust	31.6 (2.3%)	127.5 (9.2%)	1,233.7 (88.5%) / 1280.0	1,392.8	N
Torque	0.5 (0.1%)	-41.8 (-5.4%)	810.2 (105.3%) / 823.2	768.9	N.m

Estudio de variación de cargas en palas y torre para el análisis de fatiga.

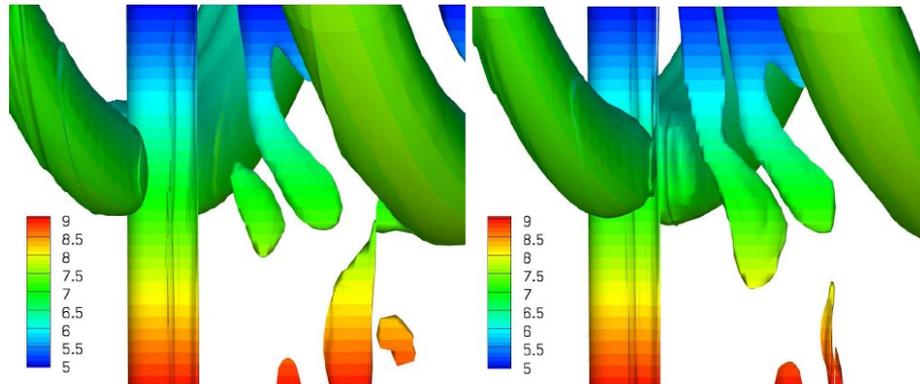
Aerogenerador Completo



S.Gómez-Iradi, R.Steijl and G.N. Barakos, Development and Validation of a CFD Technique for the Aerodynamic Analysis of HAWT, *Journal of Solar Energy Engineering- ASME* 131 (August), 2009, DOI: [10.1115/1.3139144](https://doi.org/10.1115/1.3139144)

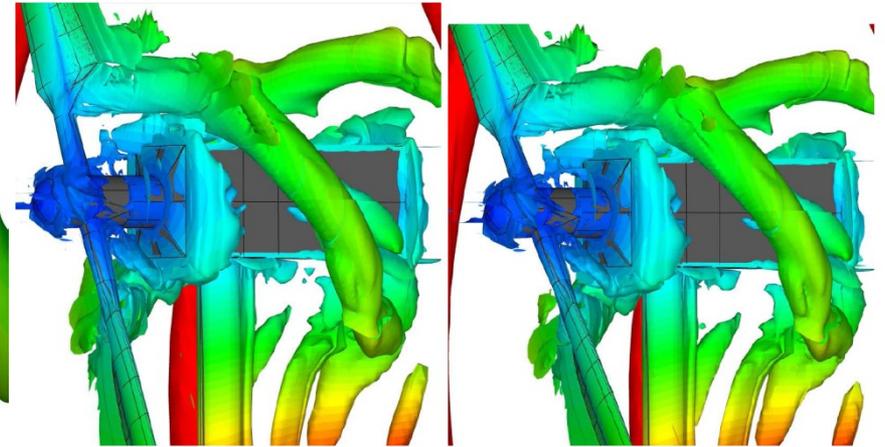
Aerogenerador Completo

Vorticidad emanada por la torre y su interacción con el vórtice de punta



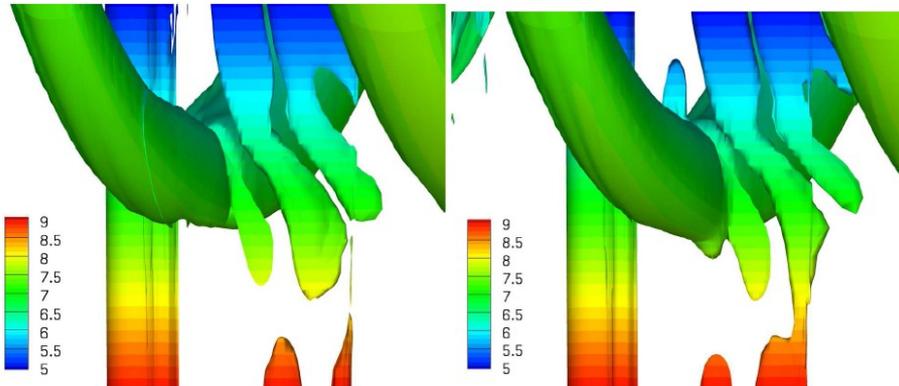
(a) $\Omega = 90/270^\circ$.

(b) $\Omega = 110/290^\circ$.



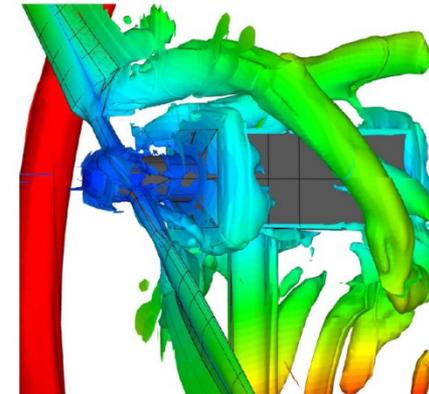
(a) $\Omega = 25^\circ & 205^\circ$.

(b) $\Omega = 35^\circ & 215^\circ$.



(c) $\Omega = 130/310^\circ$.

(d) $\Omega = 150/330^\circ$.



(c) $\Omega = 45^\circ & 225^\circ$.

Flujo en raíz y góndola

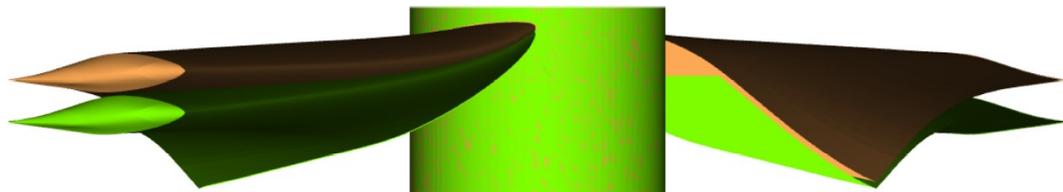
Estudio de la influencia de vorticidad de raíz en el anemometro !!!

Aeroelasticidad

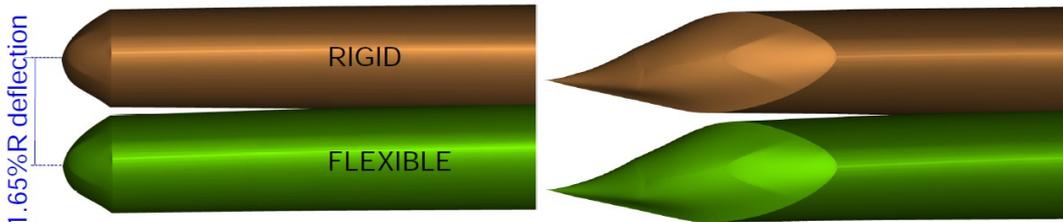


0.95 degree difference span-wise
0.023 degree difference chord-wise at 95%R

(a) Side view.

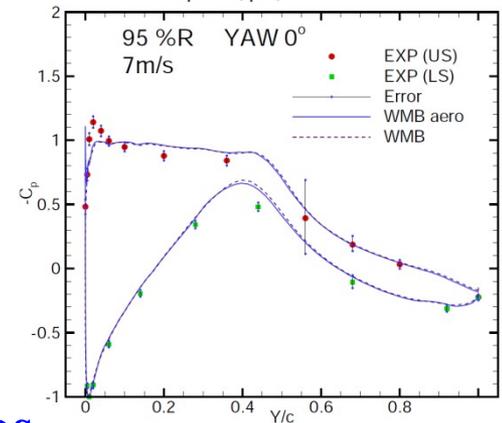
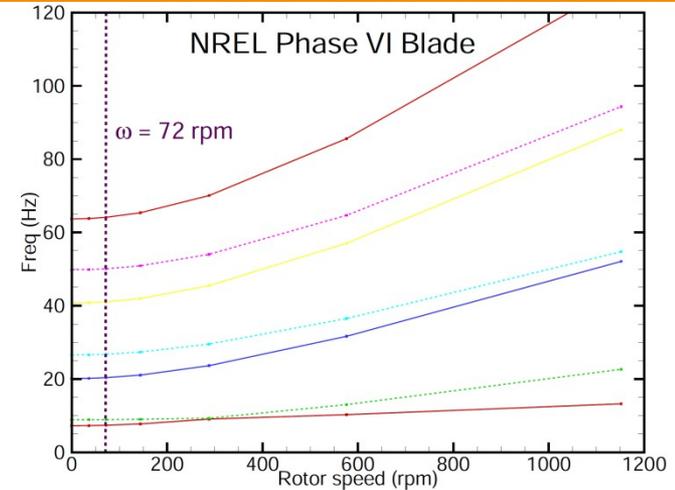


(b) Full rotor.



(c) Detailed view.

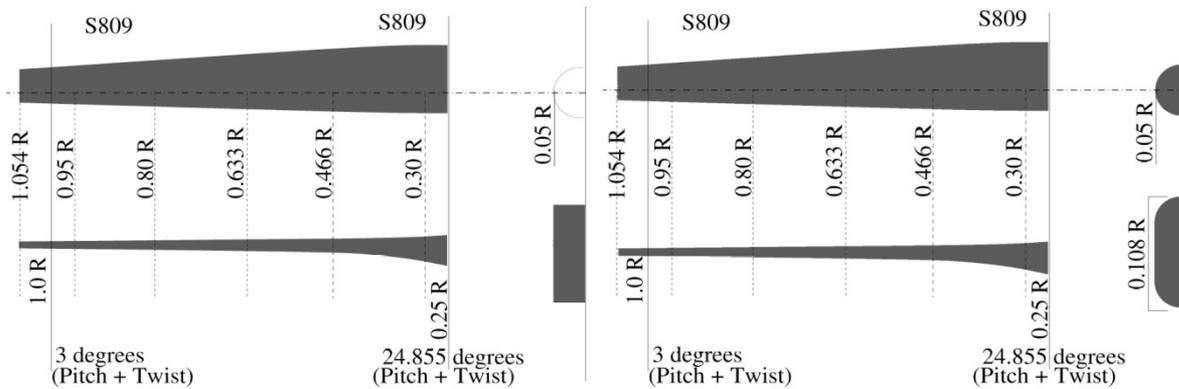
(d) Detailed view.



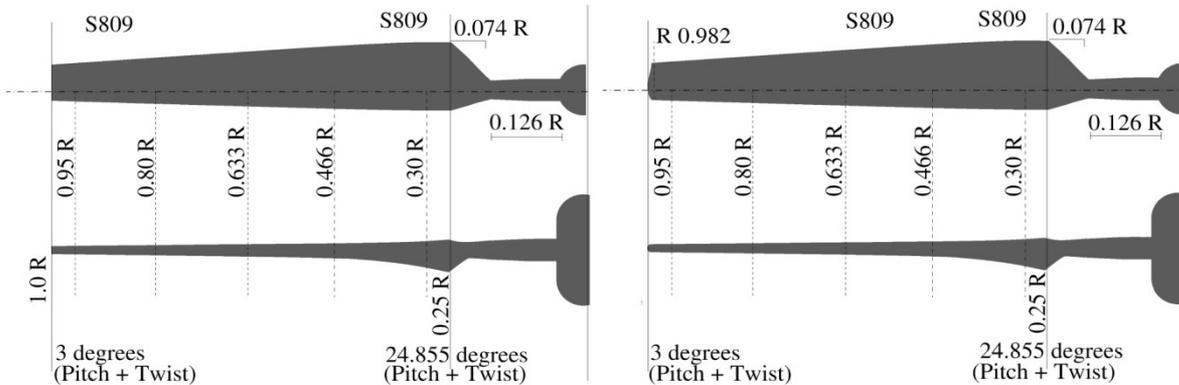
	1 st Flap (Hz)	1 st Edge (Hz)	2 nd Flap (Hz)
Experiments <i>fix</i>	7.25-7.313	8.90-9.062	29.438-30.062
NASTRAN <i>fix</i>	7.26	8.90	20.14
NASTRAN <i>rotating</i>	7.39	8.93	20.34

Estudio de los efectos dinámicos (distancia rotor/torre & variación de cargas) !!!

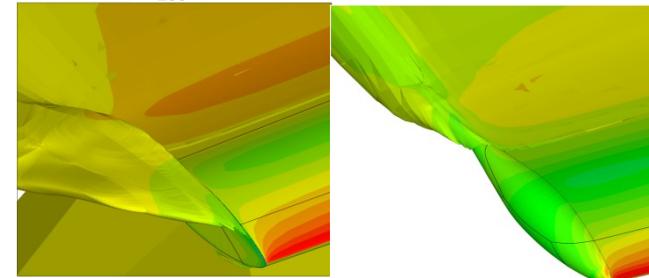
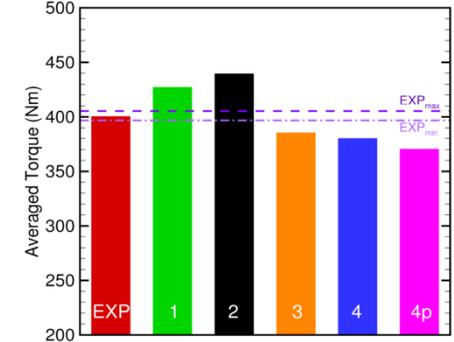
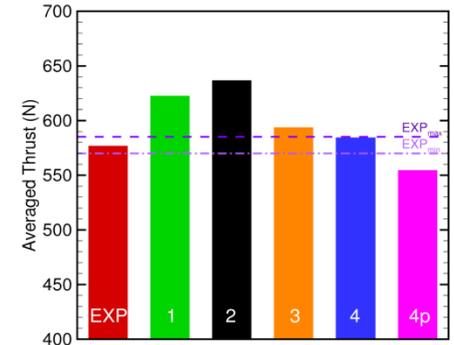
Parametros Geométricos



(a) Case 1: Extended blade with flat root and tip ends. (b) Case 2: Extended blade with flat root and tip ends (I-III).



(c) Case 3: Correct aspect ratio and root section with flat tip end. (d) Case 4: Correct aspect ratio and root section with rounded tip end.



S. Gómez-Iradi and G. Barakos, Computational Fluid Dynamics Investigation of Some Wind Turbine Rotor Design Parameters, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy, 222(5):455-470, 2008. DOI:10.1243/09576509JPE526.

Importancia del Diseño !!!

<http://www.ukarea51.com/wp-content/uploads/2009/02/wind-turbine-ufo11.jpg>



<http://www.burnham-on-sea.com/news/2006/wind-shock-2.jpg>

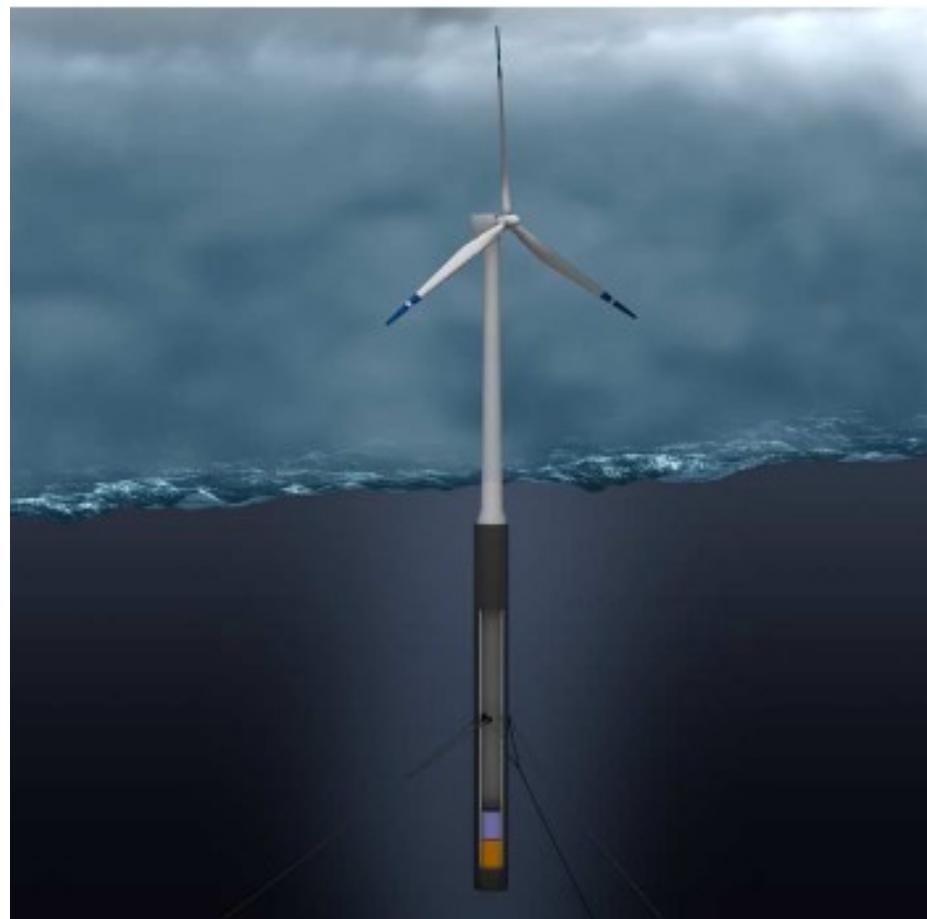
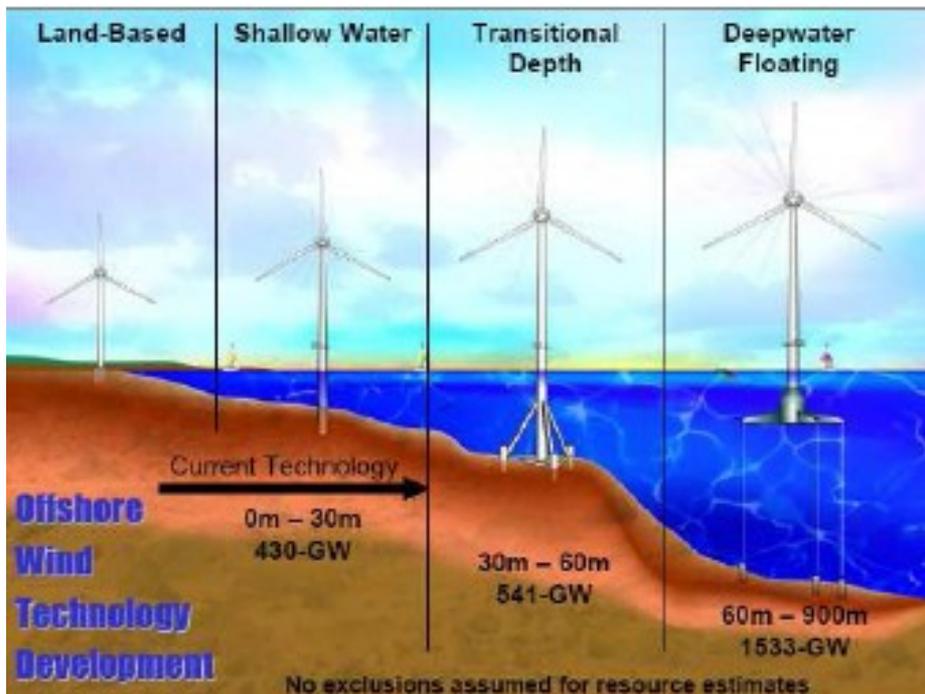


<http://static2.stuff.co.nz/1285111846/941/4154941.jpg>

<http://www.nhwag.co.uk/picts/goldenstedt.jpg>



En un futuro próximo, muy próximo...



www.siemens.com

Algunos Estudios de Interés Industrial

- 2D rugosidad superficial
- 3D: Polares de coeficientes de fuerza y momentos teniendo en cuenta efectos 3D (cizalladura del viento, rotación, torre, góndola, deflexión de pala,...)
- Estado idling (parada no fija)
- Estudio de punta de pala y generación de correcciones de los coeficientes de fuerzas y momentos por pérdida debido a la punta
- Influencia de la intensidad de turbulencia en las curvas C_L , C_D y C_M
- Estudio del vórtice de raíz y punta, así como su interacción con el resto del aerogenerador
- Estudio de la deflexión de pala y la variación de cargas en las palas por revolución.

CESGA HPCN, Santiago de Compostela, 25/11/2010

Grazas polo seu tempo !!!

sgomez@cener.com

www.cener.com

