

# Cómo cuantificar las pérdidas debido a la degradación aerodinámica de las palas

David Torres

Wind Energy Manager  
TÜV SÜD Iberia



Add value.  
Inspire trust.

Más valor.  
Más confianza.

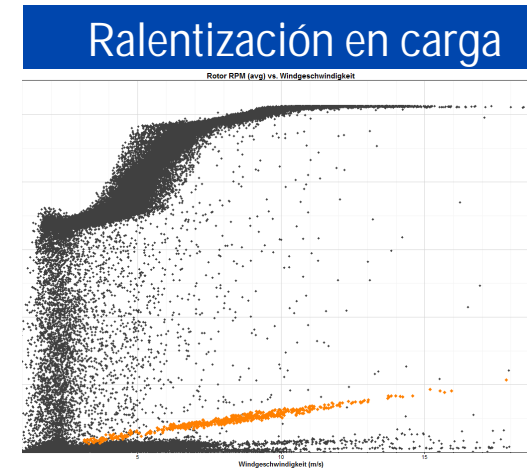
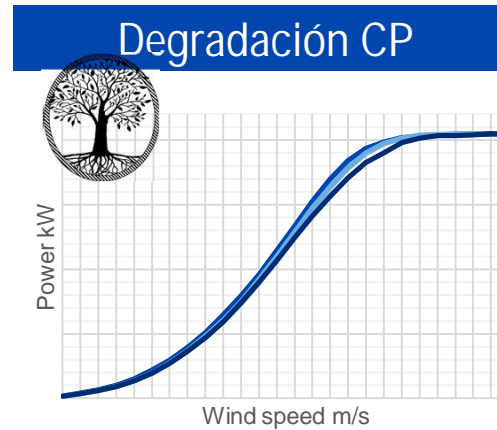
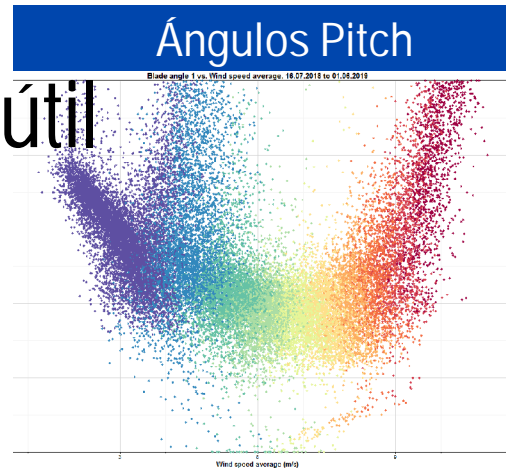
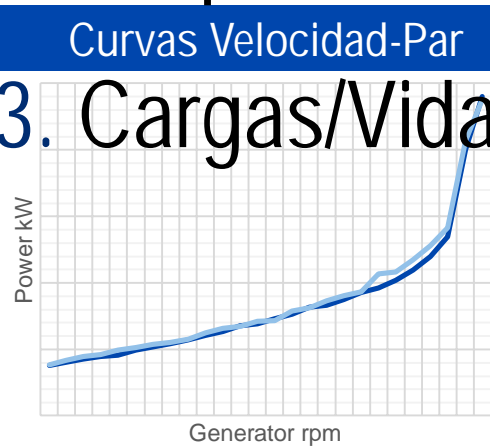


# Categorización de defectos

1. Rendimiento Energético €€

2. Requerimientos de conexión §§

3. Cargas/Vida útil



# Pérdida de rendimiento

Causas



Efectos Meteorológicos



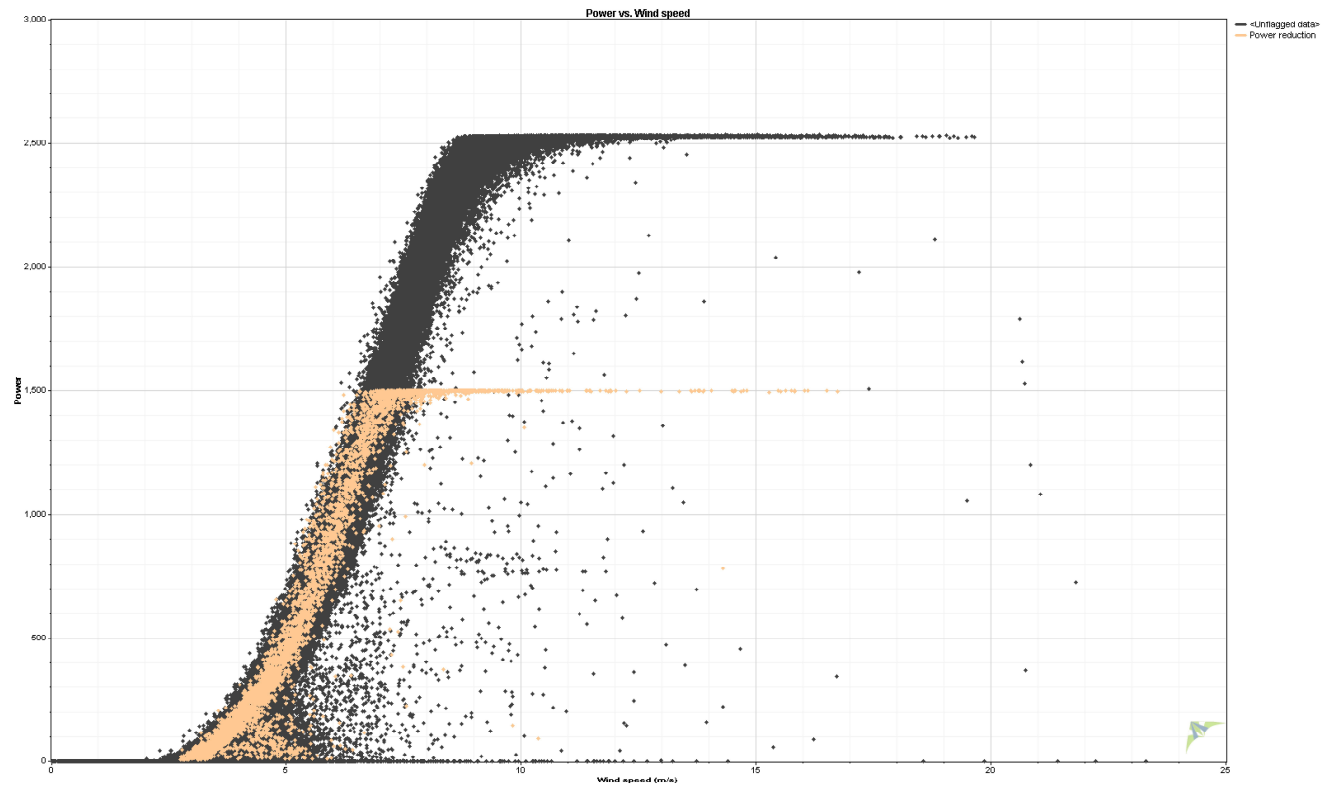
Condiciones de viento



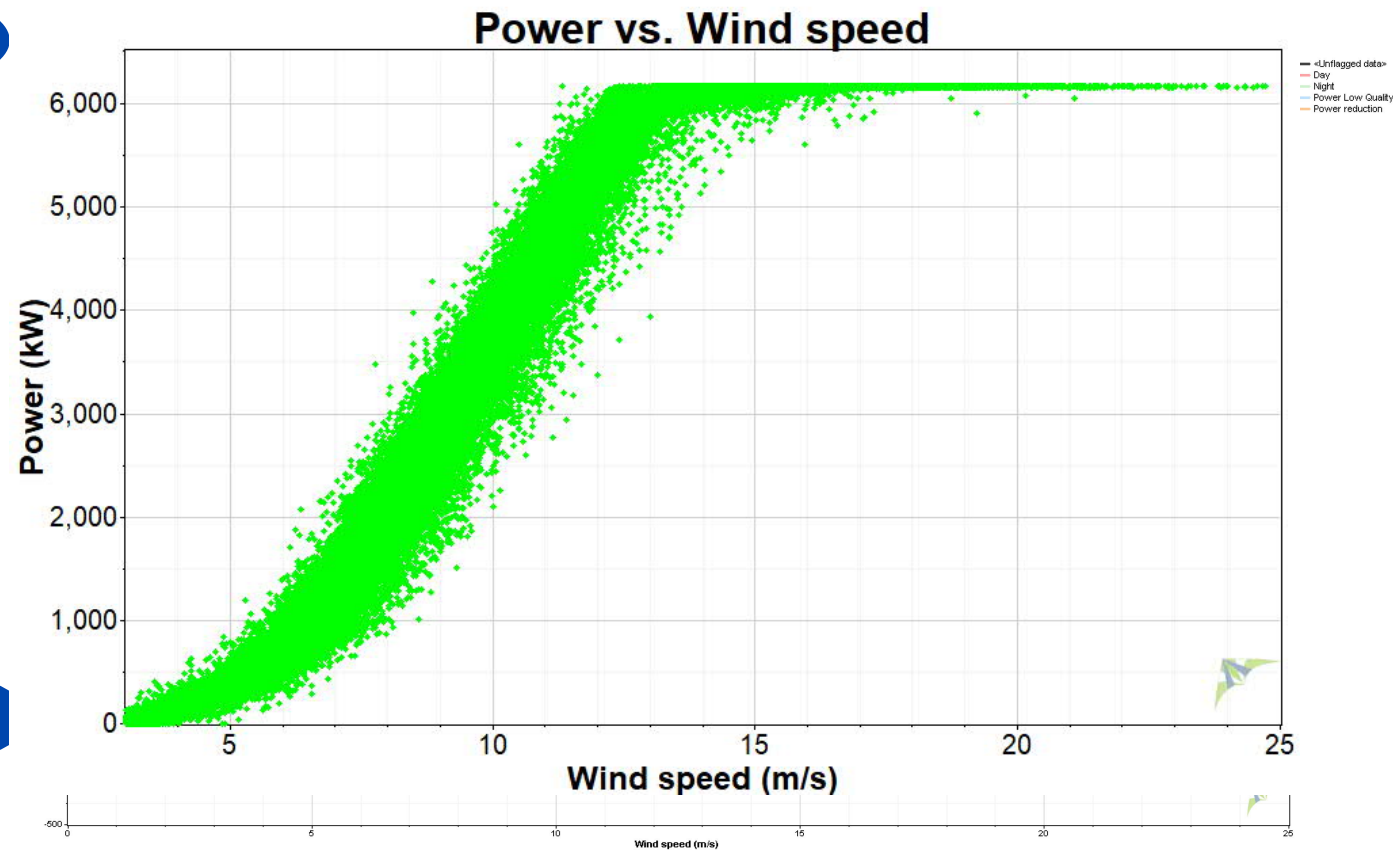
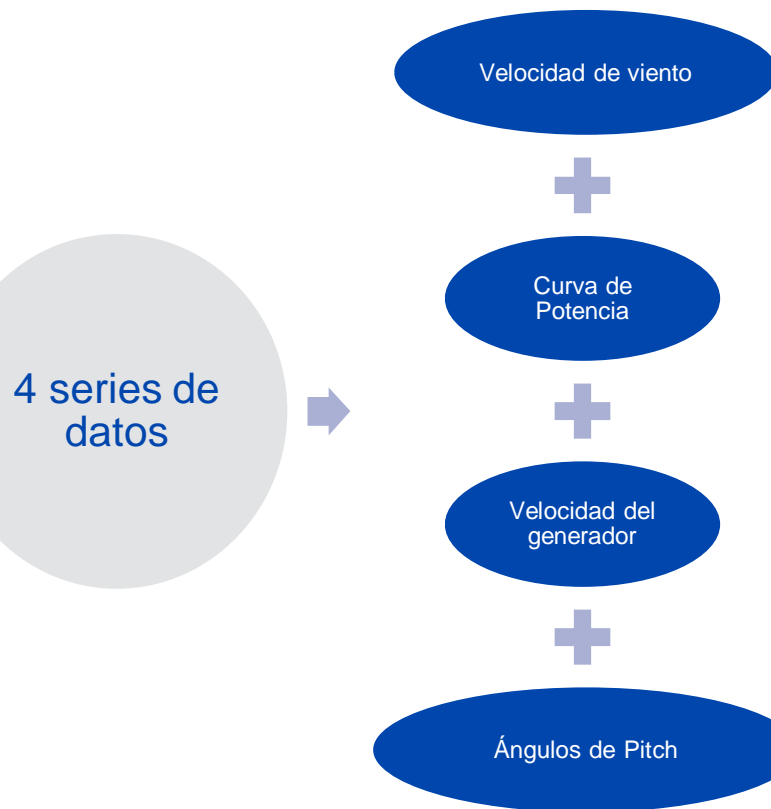
Funcionamiento Anormal



Degradación de la turbina



# Filtrado de datos



# Evaluación

Agrupación por  
bines

Velocidad de viento: 0,5 m/s



Velocidad del  
generador  
(con multi): 10 rpm



Velocidad del generador  
(sin multi): 1 rpm

Summary

Time Series

Wind Rose

Diurnal Profile

Histogram

Scatter Plot

Tables

Reports

Table

Statistics by Bin

Settings

Data column

Active power avg

Bin column

Wind speed from active wind sensor avg

Direction sensor

Nacelle position avg

Direction sectors

16

☐ Combine years together

Bin settings

☒ Width

0.5 m/s

☐ 1st bin half this width

☐ Start at

0 m/s

Filter by

☒ Flag

Include

☒ <Unflagged data>

☐ Low quality

☒ Date

Year

2014

Month

<All>

☐ Date range

01.01.2014

to

31.08.2018

☐ Direction sector

All

Sectors

16

Direction sensor

Nacelle position avg

☐ Data column

Resource (Default power loss de

☒ Min

0

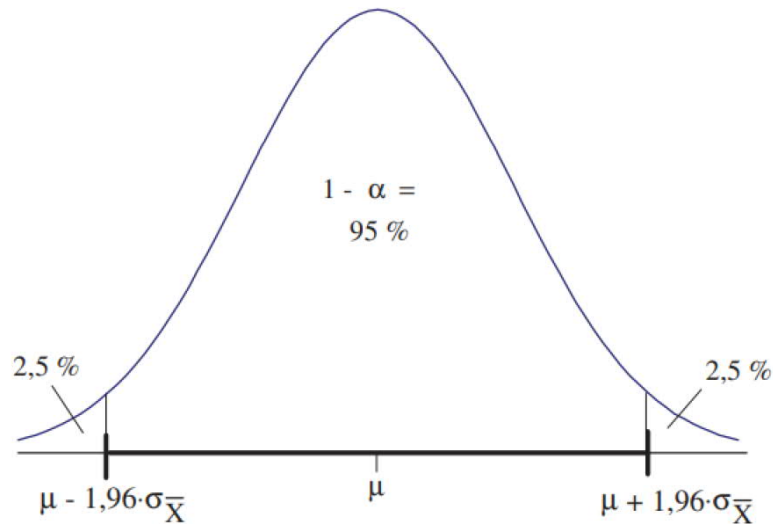
☒ Max

50

Export Table...

	Bin Endpoints (m/s)		Occurrences	Mean	Median	Min	Max	Std. Dev.	Std. Err.
	Lower	Upper		kW	kW	kW	kW	kW	kW
1	0.000	0.500	562	-10.6	-10.7	-13.5	-7.0	1.27	0.05
2	0.500	1.000	911	-11.1	-11.2	-15.4	0.0	1.85	0.06
3	1.000	1.500	1,389	-11.4	-12.3	-19.3	18.9	3.77	0.10
4	1.500	2.000	1,784	-7.4	-11.2	-17.7	66.6	10.38	0.25
5	2.000	2.500	2,160	4.0	-7.8	-19.6	129.0	23.06	0.50
6	2.500	3.000	2,235	24.9	17.9	-20.2	230.3	36.37	0.77
7	3.000	3.500	2,202	61.2	55.2	-18.5	280.5	45.68	0.97
8	3.500	4.000	2,346	100.7	91.9	-17.8	394.5	58.52	1.21
9	4.000	4.500	2,275	146.1	133.9	-9.8	468.3	74.40	1.56
10	4.500	5.000	2,306	208.6	188.8	31.9	579.6	91.17	1.90
11	5.000	5.500	2,231	277.3	255.9	13.8	774.8	108.97	2.31
12	5.500	6.000	2,356	356.7	329.8	59.8	897.2	129.21	2.66
13	6.000	6.500	2,289	446.7	417.5	169.3	1,080.6	141.40	2.96
14	6.500	7.000	2,317	551.4	522.4	253.2	1,304.1	155.04	3.22
15	7.000	7.500	2,241	676.1	643.5	357.1	1,514.7	170.83	3.61
16	7.500	8.000	2,102	812.2	780.0	475.3	1,554.3	176.05	3.94
17	8.000	8.500	1,932	973.5	946.3	544.8	1,762.5	191.51	4.36
18	8.500	9.000	1,690	1,159.3	1,137.6	691.9	1,976.7	203.14	4.94
19	9.000	9.500	1,412	1,354.1	1,340.9	831.4	2,223.3	207.08	5.51
20	9.500	10.000	1,371	1,562.3	1,564.3	922.9	2,204.4	194.18	5.24
21	10.000	10.500	1,318	1,751.5	1,751.4	1,093.3	2,290.7	186.51	5.14
22	10.500	11.000	1,287	1,930.5	1,946.1	1,326.1	2,285.2	155.87	4.34
23	11.000	11.500	1,210	2,081.1	2,097.5	1,580.3	2,303.3	122.09	3.51
24	11.500	12.000	1,131	2,186.2	2,202.6	1,806.4	2,303.1	83.01	2.47
25	12.000	12.500	907	2,245.5	2,261.7	1,956.0	2,304.3	54.37	1.81
26	12.500	13.000	721	2,275.6	2,287.8	2,083.9	2,306.0	33.47	1.25
27	13.000	13.500	575	2,289.3	2,298.7	2,102.9	2,306.6	21.41	0.89
28	13.500	14.000	488	2,294.7	2,300.1	2,193.6	2,313.6	13.71	0.62
29	14.000	14.500	345	2,296.9	2,300.5	2,134.0	2,311.0	13.54	0.73
30	14.500	15.000	297	2,298.0	2,300.7	2,229.5	2,311.9	9.82	0.57
31	15.000	15.500	312	2,298.0	2,300.6	2,210.3	2,315.3	9.47	0.54
32	15.500	16.000	249	2,299.1	2,300.6	2,264.9	2,310.1	6.40	0.41
33	16.000	16.500	244	2,298.8	2,300.8	2,172.0	2,307.3	10.20	0.65
34	16.500	17.000	215	2,298.8	2,300.6	2,233.4	2,307.7	8.21	0.56
35	17.000	17.500	203	2,299.3	2,300.7	2,250.4	2,311.1	6.47	0.45
36	17.500	18.000	188	2,299.1	2,300.5	2,255.9	2,309.8	6.64	0.48
37	18.000	18.500	151	2,299.1	2,300.4	2,269.9	2,308.3	5.48	0.45
38	18.500	19.000	126	2,299.4	2,300.6	2,259.9	2,306.9	5.74	0.51
39	19.000	19.500	129	2,298.6	2,300.3	2,259.6	2,306.6	6.65	0.59
40	19.500	20.000	117	2,298.3	2,300.6	2,232.7	2,307.5	8.97	0.83
41	20.000	20.500	101	2,298.3	2,300.4	2,260.2	2,309.0	7.72	0.77
42	20.500	21.000	75	2,298.2	2,300.4	2,266.9	2,311.1	8.00	0.92
43	21.000	21.500	55	2,298.0	2,300.8	2,257.6	2,304.4	9.15	1.23
44	21.500	22.000	57	2,296.2	2,299.4	2,231.0	2,306.0	11.69	1.55
45	22.000	22.500	26	2,297.3	2,300.9	2,235.6	2,308.2	14.14	2.77
46	22.500	23.000	17	2,289.6	2,296.2	2,251.6	2,302.5	15.00	3.64
47	23.000	23.500	6	2,293.4	2,296.6	2,272.2	2,301.8	10.85	4.43
48	23.500	24.000	1	2,297.5	2,297.5	2,297.5	2,297.5	0.00	0.00

# Evaluación

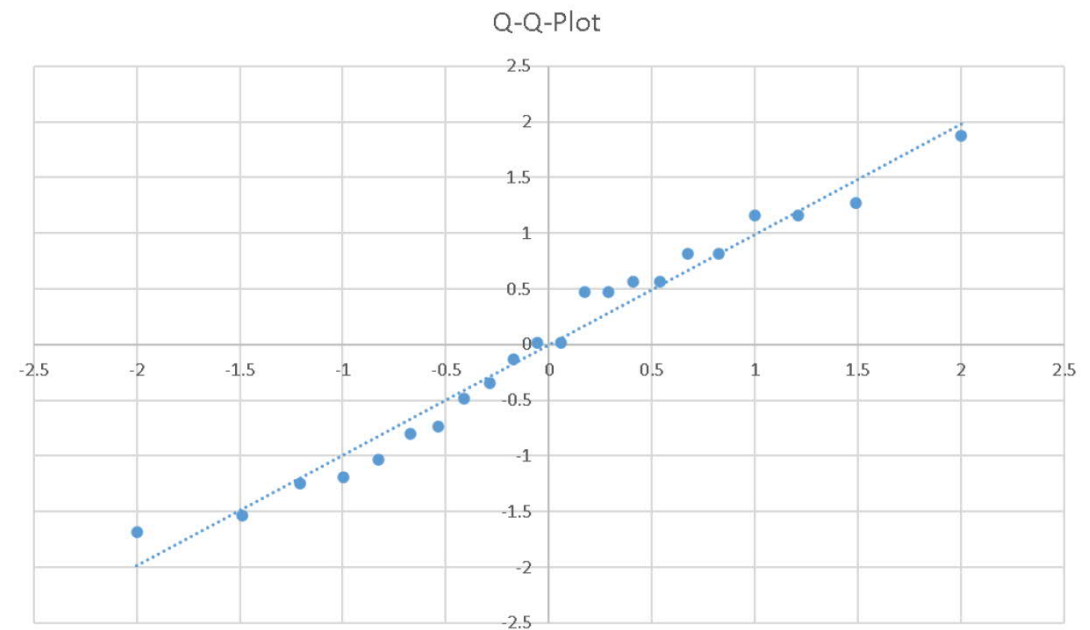


## Parámetros del intervalo de confianza

- Estimación puntual
- Nivel de confianza o probabilidad de error
- Máximo error de estimación
- Límites de confianza

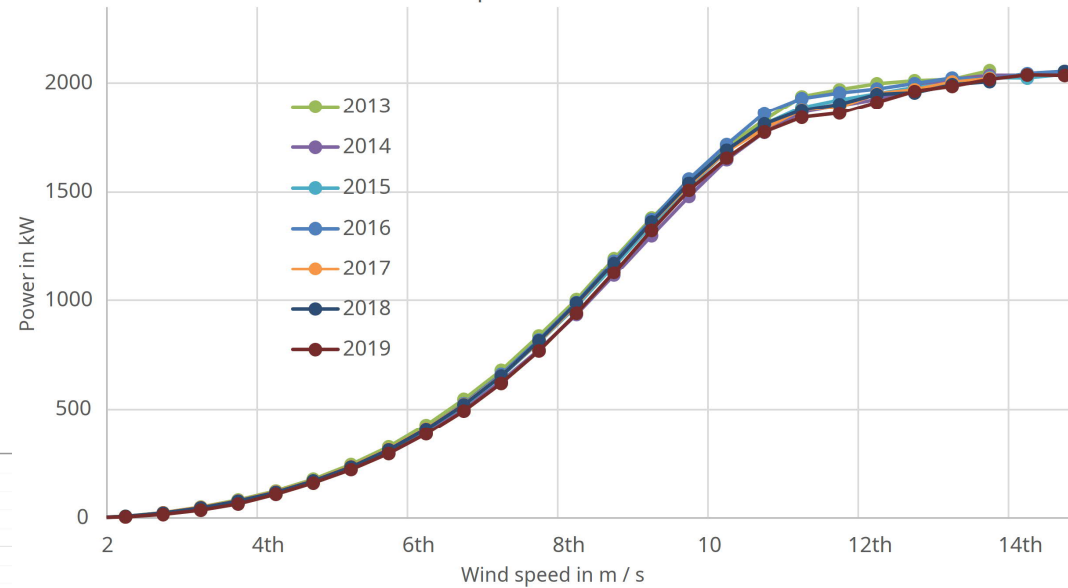
## Parámetros importantes para ambos métodos

- Número de valores
- Valor medio
- Desviación estándar

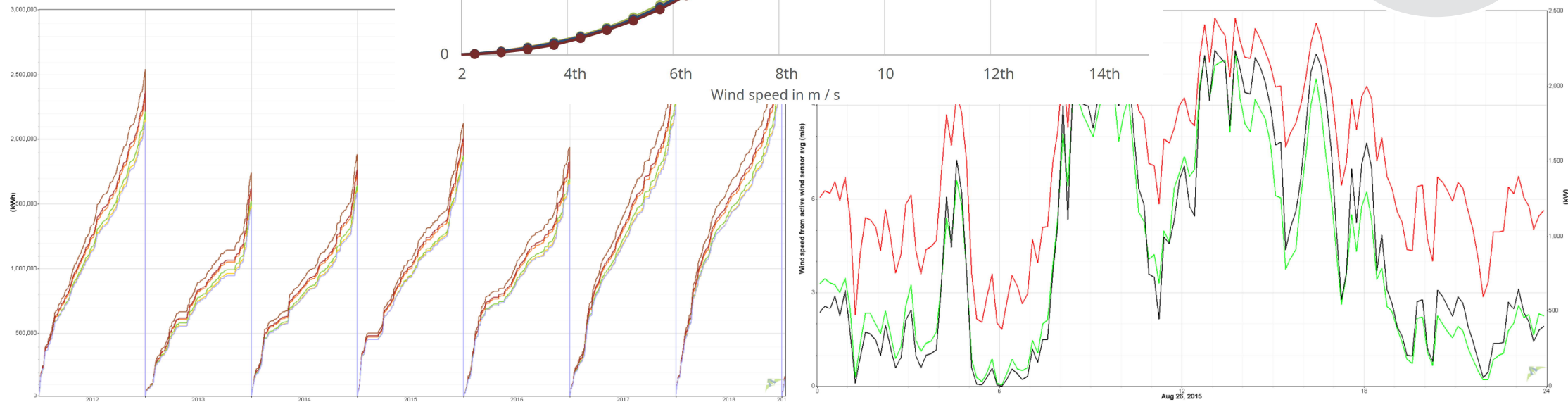


# Evaluación

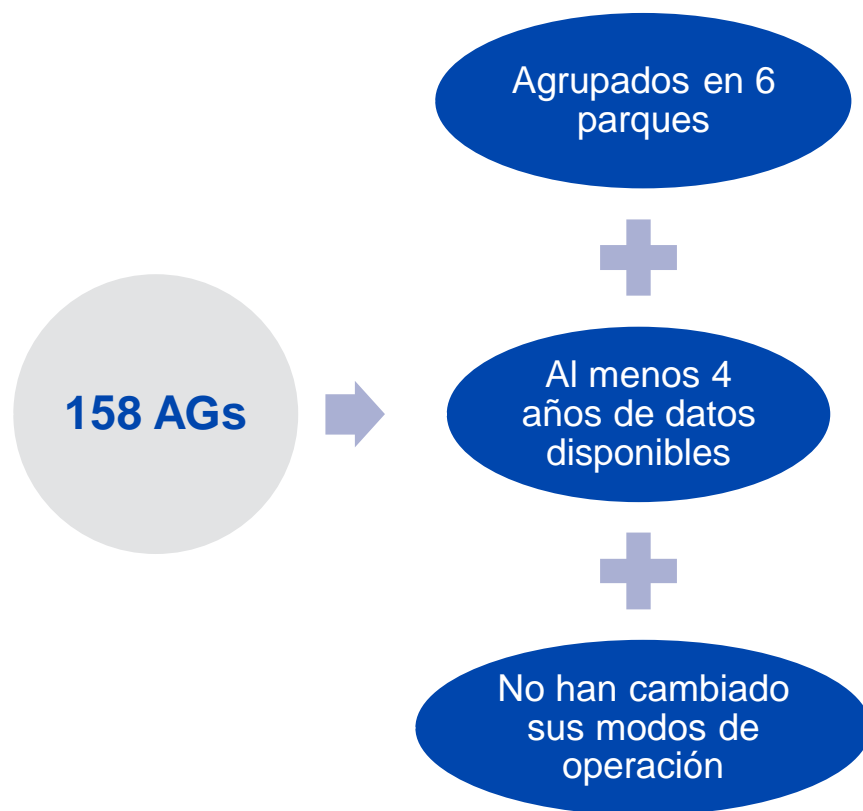
Annual performance curves



Reanálisis



# Caso práctico



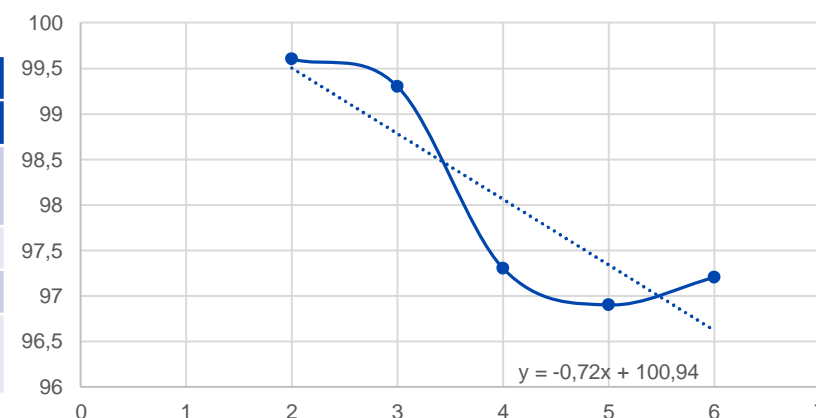
Parque	Nº de AGs	Modelo	Potencia Nominal [MW]	Altura de buje [m]	Clase	Periodo de estudio [años]	Años de operación
A	61	ECO74	1,67	80	IEC IA	4,5	1-4
B	22	SWT-101	2,3	80	IEC IIB	4,5	1-4
C	22	SWT-93	2,3	63	IEC IIB	4,5	1-4
D	35	G47	0,7	45	IEC IIIA	5,5	16-20
E	16	GE 2,5	2,5	139	IEC IIIA	4	3-6
F	2	E-82	2,0	108	IEC IIIA+	7	3-8

# Resultados

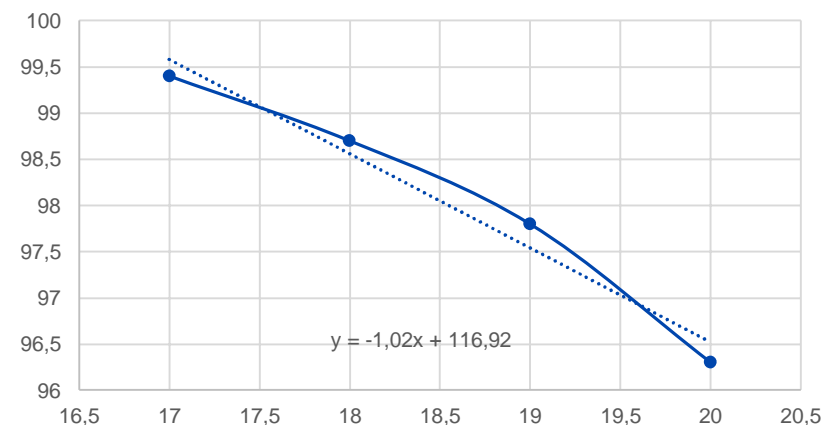
	Año								
Curva	2	3	4	5	6	17	18	19	20
Curva Potencia	0,1%	-1,4%	-2,0%	-1,3%	0,7%	-0,2%	-1,4%	-0,9%	-1,2%
Generador	0,1%	-0,2%	-0,6%	-0,3%	1,1%	1,0%	0,8%	1,1%	0,7%
Pitch	-3,3%	2,1%	-6,6%	11,2%	5,8%	15,4%	19,3%	13,5%	2,0%
Potencia salida	-0,4%	-0,3%	-2,0%	-0,4%	0,3%	-0,6%	-0,7%	-0,9%	-1,5%

Curva	Cambio medio calculado en %/año
Curva Potencia	-0,85%
Generador	0,40%
Pitch	6,59%
Potencia salida	-0,71%

Degradación en los primeros 6 años

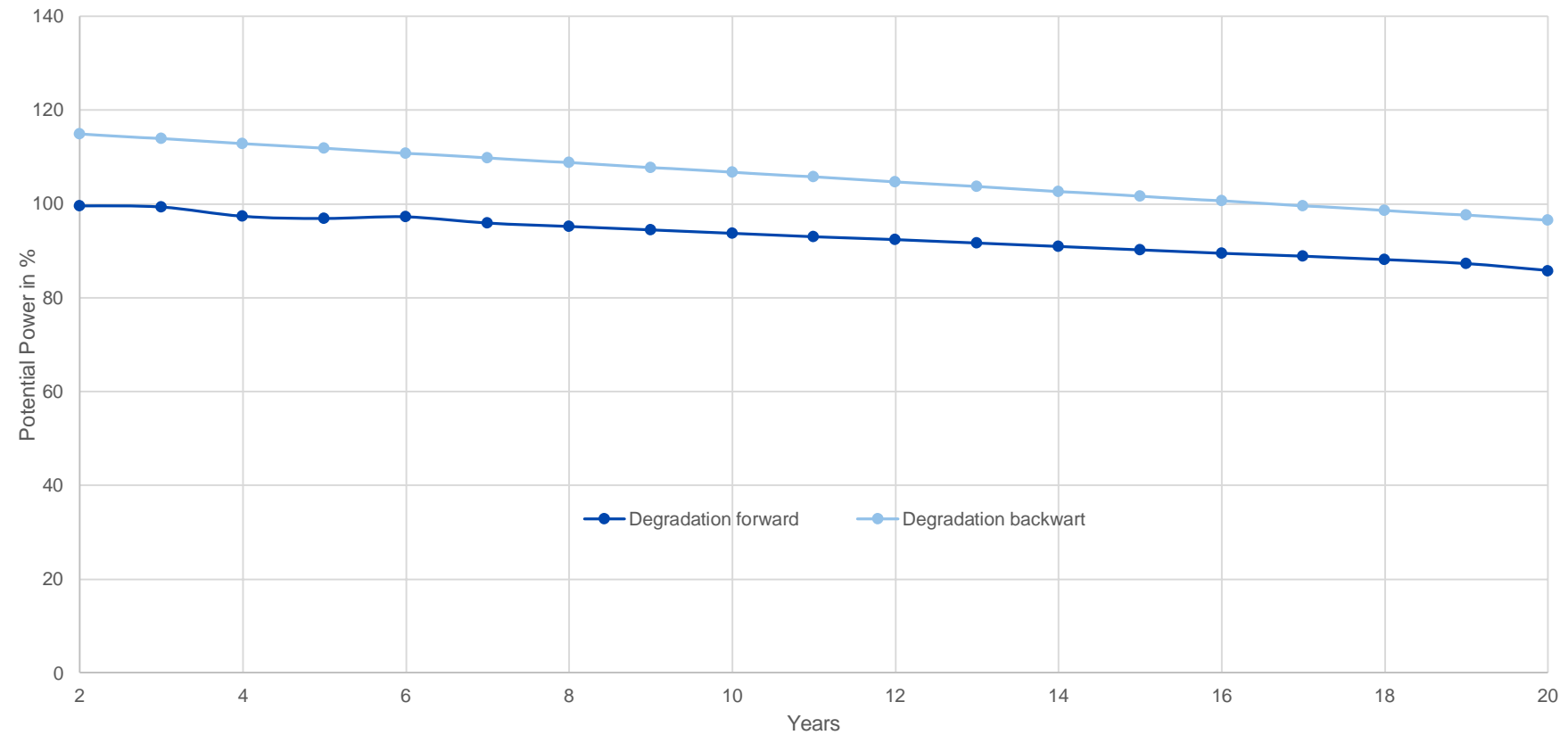


Degradación entre los años 17 y 20



# Resultados. Enfoque práctico

Degradación



# Conclusiones

1. Se demuestra que la degradación reduce la potencia de salida.
2. La degradación específica se puede determinar con 3-4 años de producción, ya sea para el futuro o hacia atrás en el pasado.

## Perspectiva

- Se necesita realizar una mejor estimación de las pérdidas debidas a la degradación.
- Introducción para el cálculo de la vida útil, cubriendo la variación de cargas estructurales debidas a la degradación.

# Contacto

David Torres

Wind Service Center (Spain)

Phone +34 691 68 38 53

[david.torres@tuvsud.com](mailto:david.torres@tuvsud.com)



**Add value.  
Inspire trust.**

**Más valor.  
Más confianza.**



Asociación Empresarial Eólica

TÜV SÜD IBERIA S.A.U. | Cómo cuantificar las pérdidas debido a la degradación aerodinámica de las palas

TÜV®