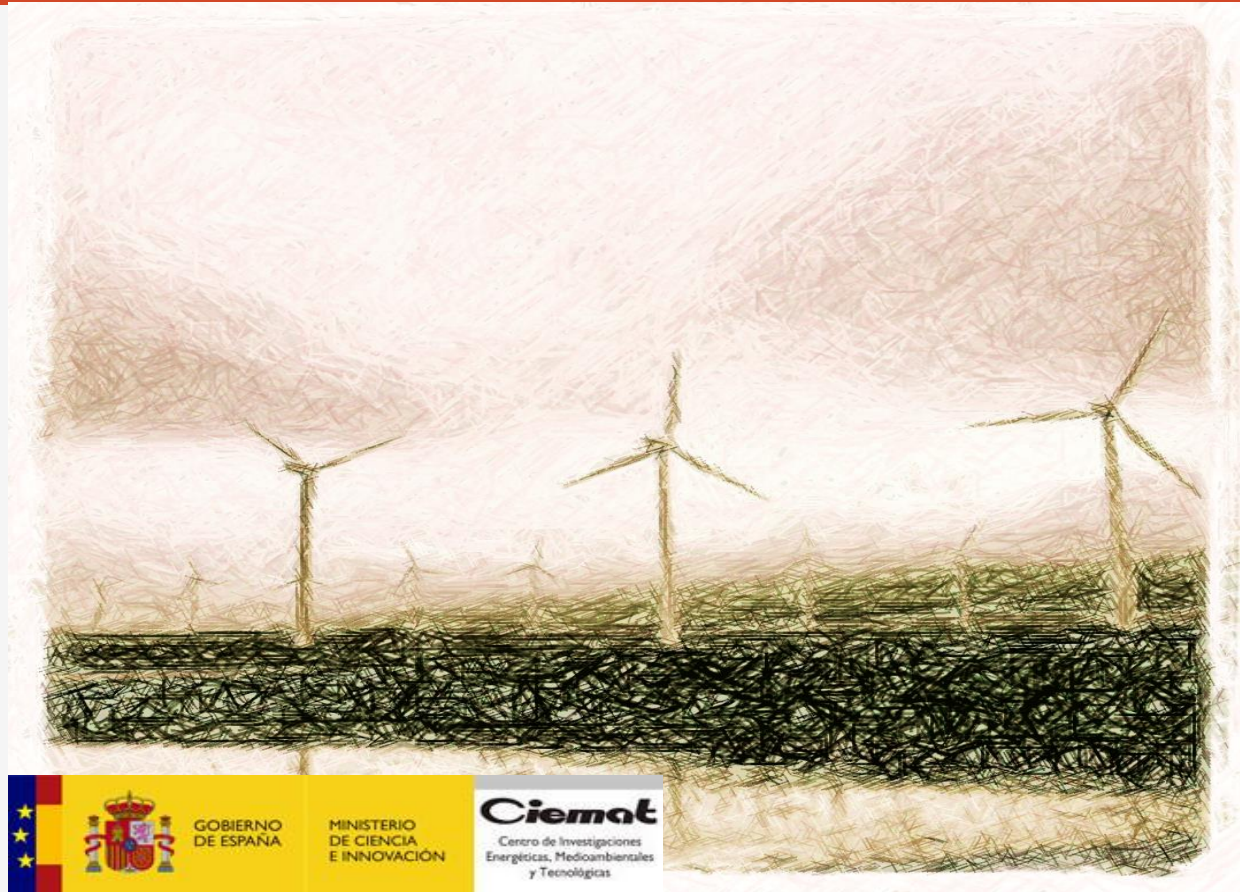


# Medidas del recurso eólico con LIDAR para simplificar y optimizar la generación eólica



JORNADA ANÁLISIS OPERATIVO DE PARQUES EÓLICOS

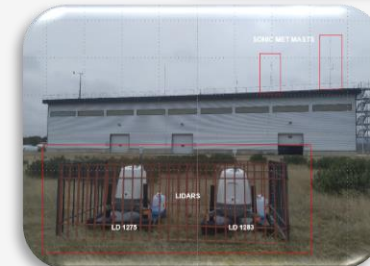
Madrid, 4 Octubre 2023



# CEDER-CIEMAT

## CIEMAT

## Centro de Desarrollo de Energías Renovables (**CEDER - CIEMAT**)



# NORMATIVA ACTUAL

## Gran evolución en la normativa actual

### 1 Para medición de potencia de aerogeneradores **IEC 61400-12-1 Ed. 3**

- Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines (2022)

### 2 Para medición de la velocidad del viento **IEC 61400-50 Ed. 1**

- Part 50: Wind measurements (2022)

**IEC 61400-12-2 Ed. 2**  
Anemometría en góndola

**IEC 61400-12-3 Ed. 1**  
Calibración del emplazamiento

**IEC 61400-12-4. Ed. 1**  
Calibración del emplazamiento numérica

**IEC 61400-12-5. Ed. 1**  
Evaluación de obstáculos y del terreno

**IEC 61400-50-1 Ed. 1**  
Torres meteorológicas, Nacele y spinner

**IEC 61400-50-2 Ed. 1**  
**RSD** en suelo

**IEC 61400-50-3 Ed. 1**  
**RSD** en nacele

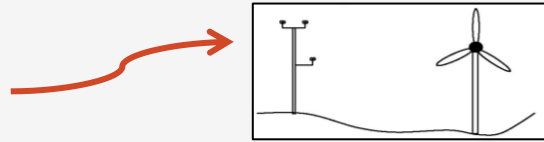
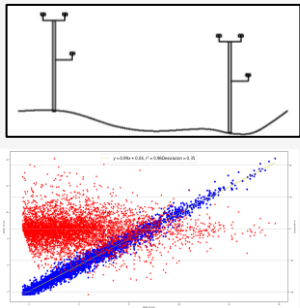
**IEC 61400-50-4 Ed. 1**  
**RSD** flotantes

**RSD**



# CALIBRACIÓN DEL EMPLAMIENTO

Torres meteorológicas → Anemometría de cazoletas

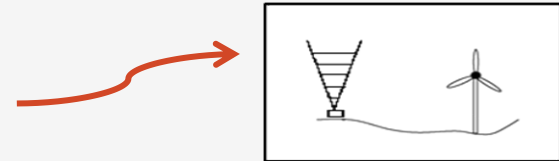
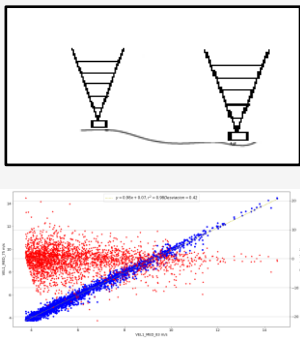


Incertidumbre Tipo A altura de buje HH anemómetros cazoletas

0.0009475585081199222



RSD → Equipos LIDAR suelo

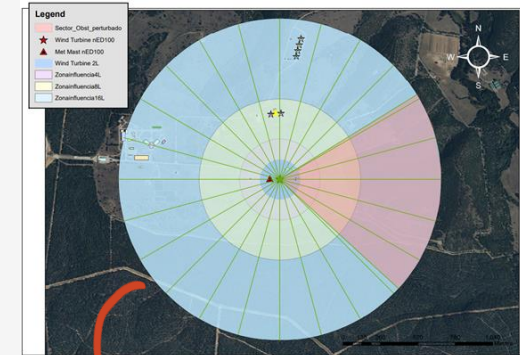


La incertidumbre tipo A según cálculos de REWS con LIDAR

0.000642033367000386



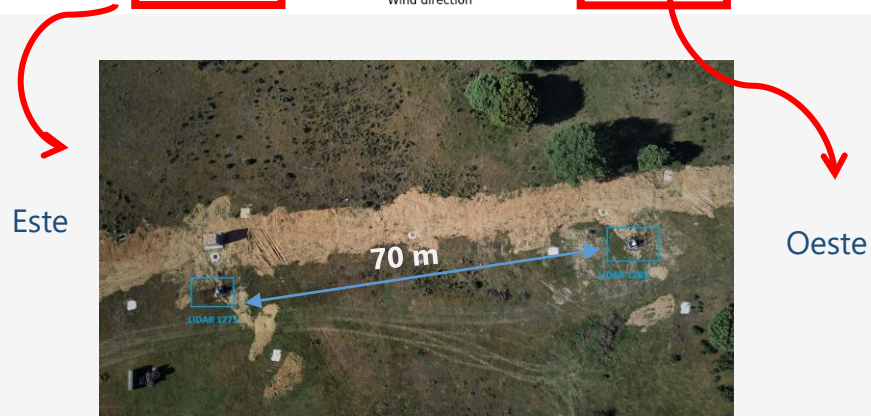
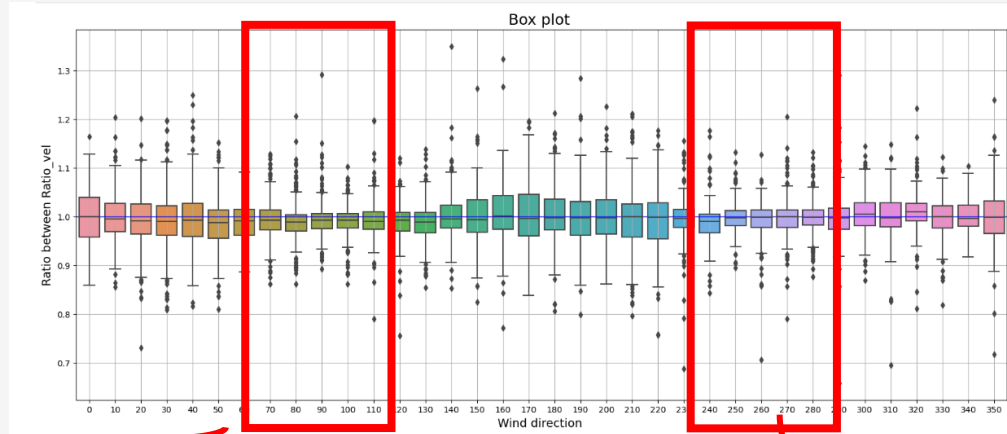
Terreno Complejo



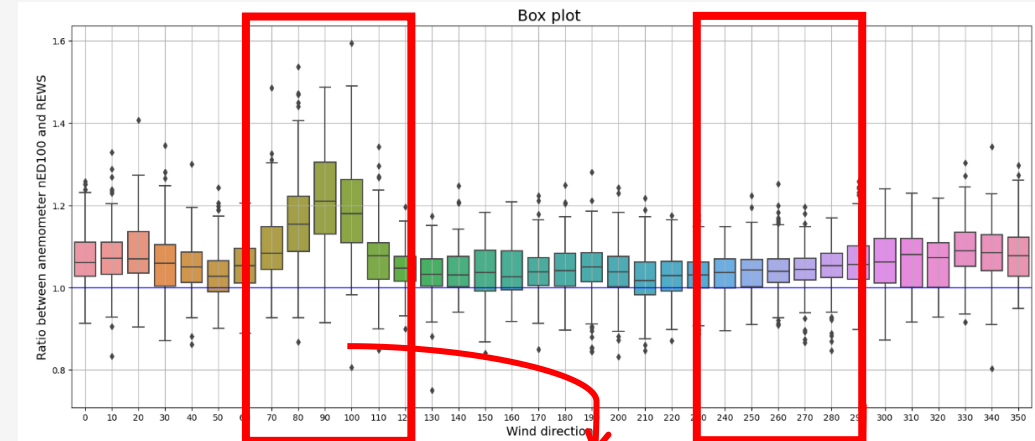
CALIBRACIÓN DE EMPLAZAMIENTO

# RATIOS DE VELOCIDAD

## Ratios de velocidades entre LIDARs



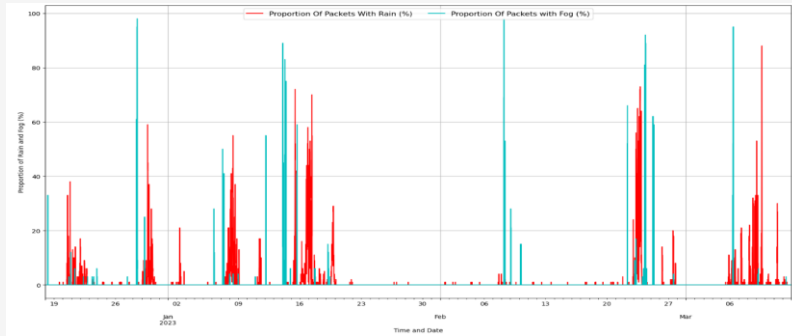
## Ratio entre velocidades SCADA/LIDAR



Aerogenerador a 90° respecto del Norte (y del LIDAR)

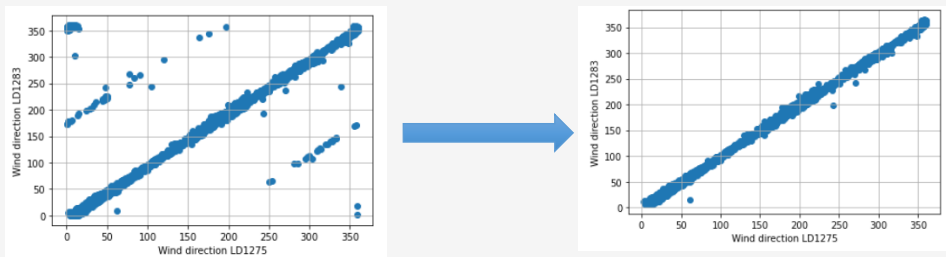
# FILTROS

## 1 Códigos de calidad sobre el LIDAR



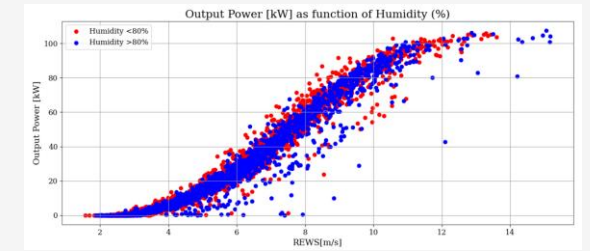
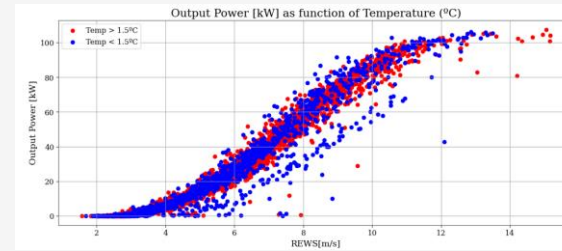
- **Código 9998**: condiciones atmosféricas.
- **Código 9999**: baja calidad de los datos.

## 2 Desviaciones en la Dirección del LIDAR

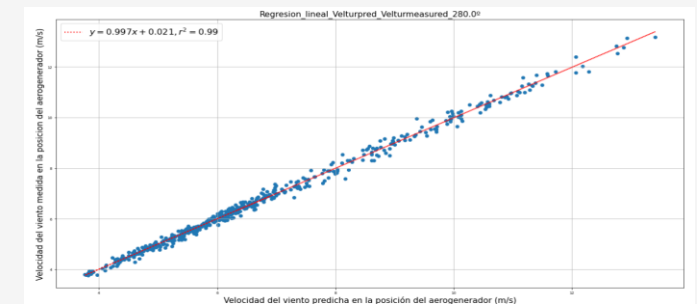
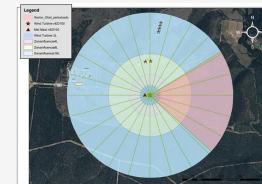


(detección homodina, bajas velocidades, obstáculos cercanos)

## 3 Influencia de la temperatura y humedad



## 4 Sector valido y corrección por distorsión de flujo

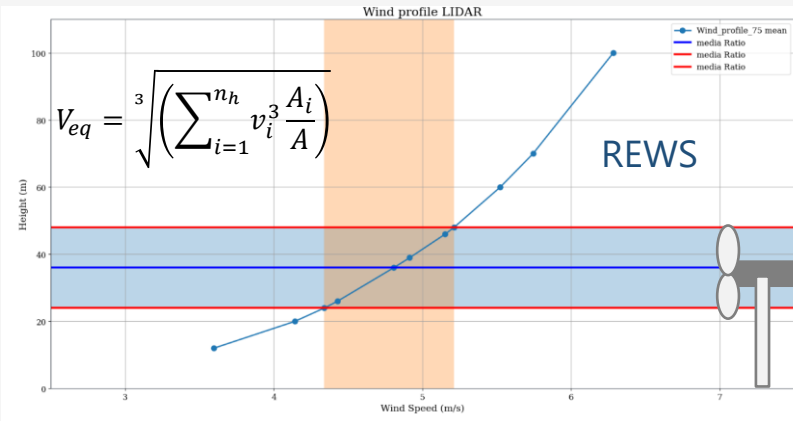


$$V_{Turb\_predicted} = F(WD, \alpha) * V_{ref\_measured}$$

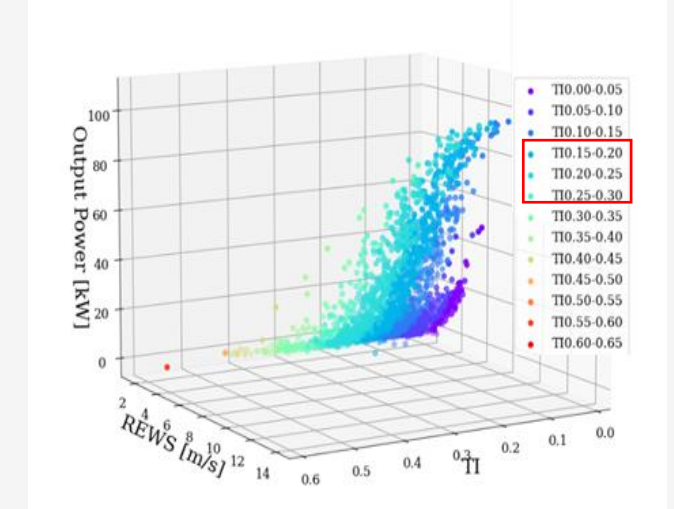
# CURVA DE POTENCIA



Perfil vertical → Velocidad Equivalente de Rotor (REWS)



Intensidad de Turbulencia

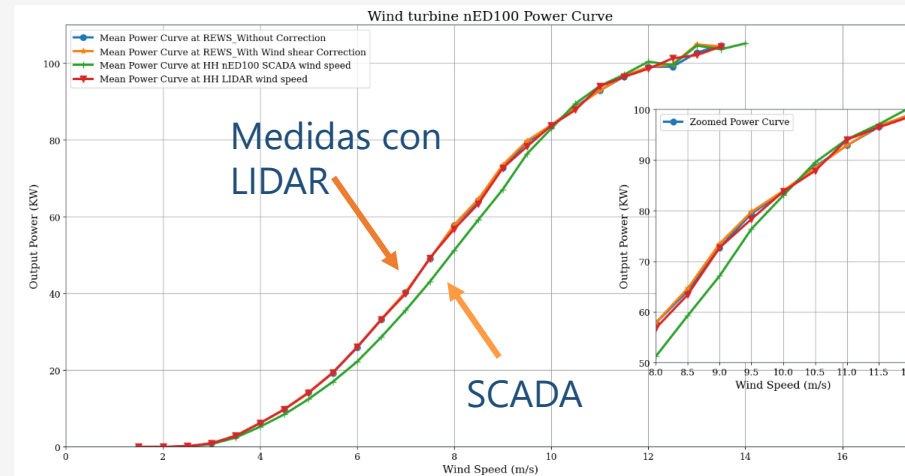


Normalización por velocidad según IEC 61400-12-1

$$V_n = V_{10min} \left( \frac{\rho_{10min}}{\rho_0} \right)$$

$$V_i = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} V_{n,i,j}$$

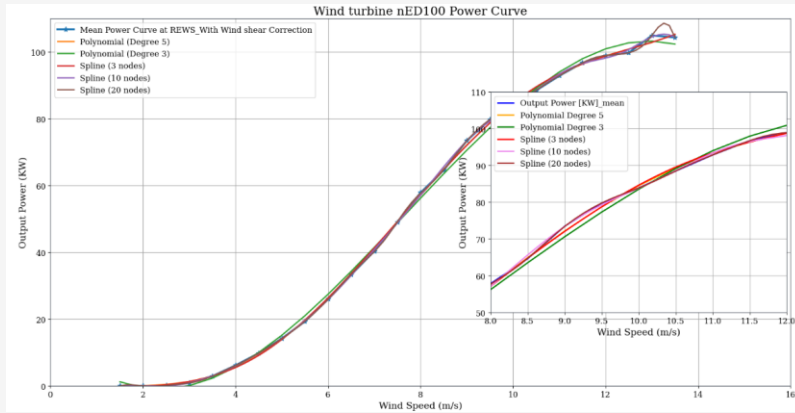
$$P_i = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} P_{n,i,j}$$





# MODELADOS DE CURVA DE POTENCIA

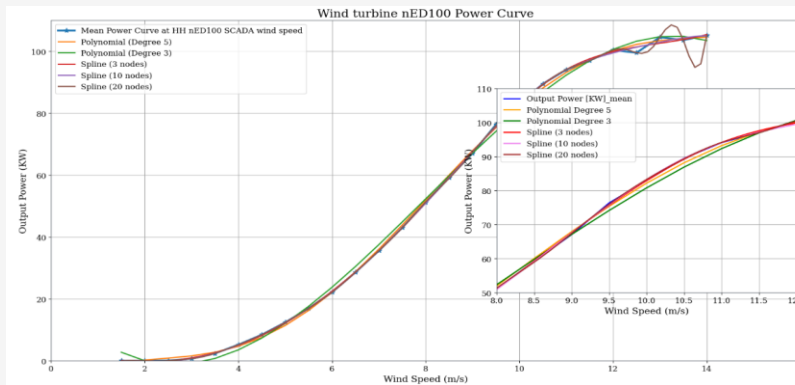
## Velocidad REWS



Aproximación	RMSE	NMAPE
Polynomial Degree 5	0.735	115.410
Polynomial Degree 3	1.467	660.856
Spline 3 nodes	0.763	58.323
Spline 10 nodes	0.416	22.108
Spline 20 nodes	0.062	0.074

Errores más bajos con REWS

## Velocidad SCADA

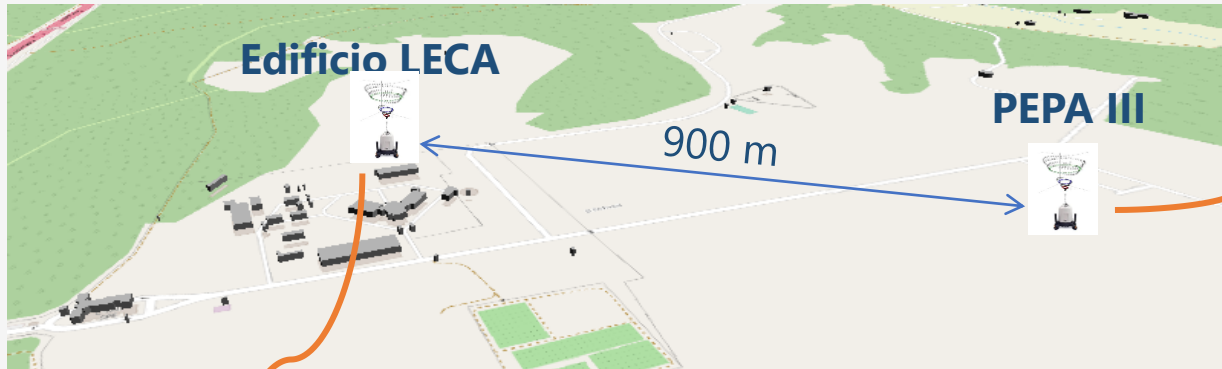


Aproximación	RMSE	NMAPE
Polynomial Degree 5	0.902	400.680
Polynomial Degree 3	1.658	1138.877
Spline 3 nodes	0.604	109.744
Spline 10 nodes	0.552	16.670
Spline 20 nodes	0.134	0.113

Errores más altos con la velocidad del SCADA



# CAMBIO DE EMPLAZAMIENTO

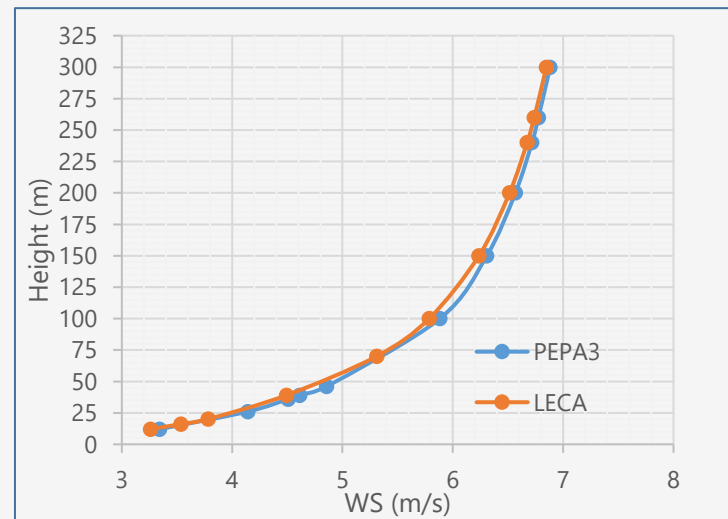


PEPA III

Variaciones en la velocidad

Height(m)	PEPA III WS(m/s)	Height (m)	LECA WS (m/s)	Variation (%)
12	3.34	12	3.26	2.52%
39	4.61	39	4.49	2.64%
100	5.88	100	5.79	1.65%
150	6.31	150	6.24	1.11%
200	6.57	200	6.52	0.79%
240	6.72	240	6.68	0.64%
260	6.78	260	6.74	0.53%
300	6.88	300	6.85	0.49%

Perfil vertical hasta 300 m

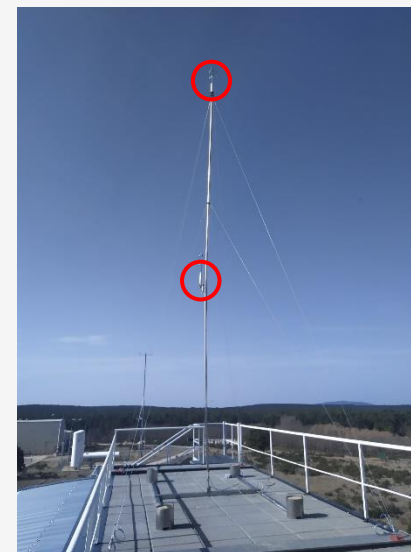
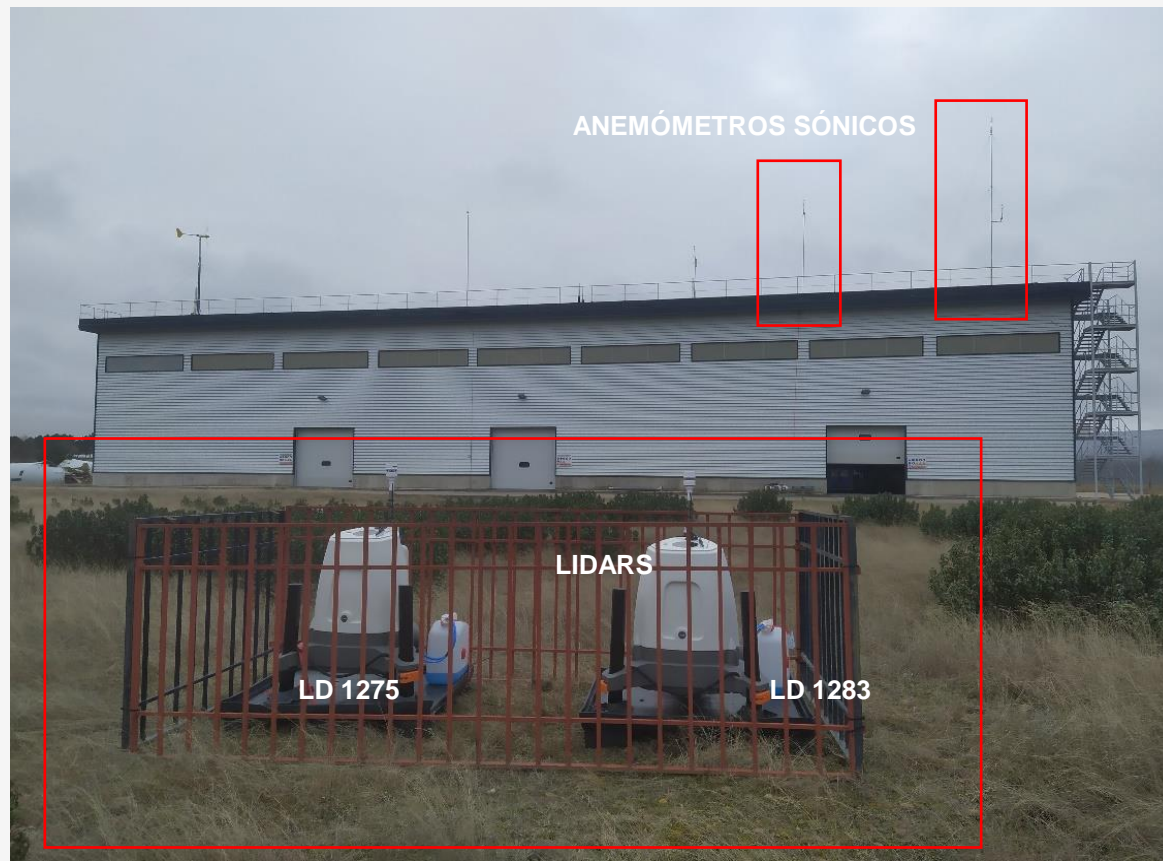


Edificio LECA



# LIDAR Y ANEMÓMETROS SÓNICOS

Equipos situados alrededor de edificio LECA( altura 11.40 m)



Torre de 10 m en la esquina del edificio. Anemómetro sónicos a 2 alturas:

- 5 m sobre el edificio.
- 10 m sobre el edificio.

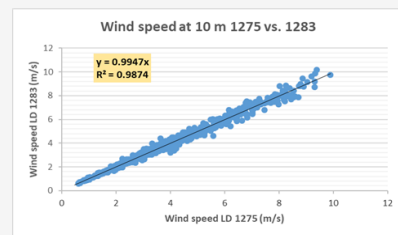
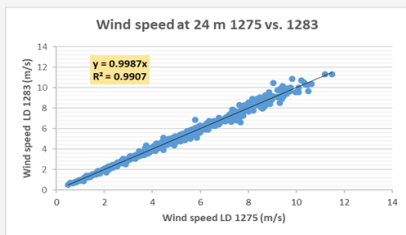
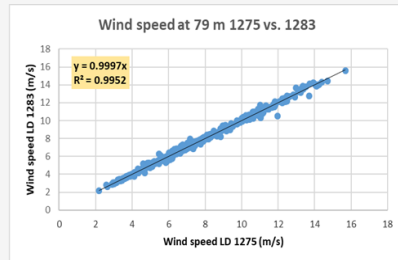
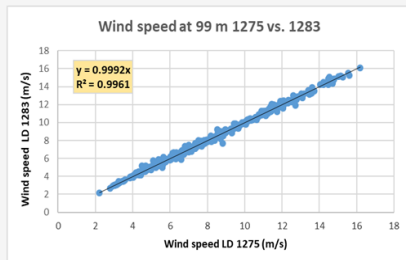
Torre con anemómetro sónico en el centro a 5 m.



# CORRELACIONES ENTRE ALTURAS

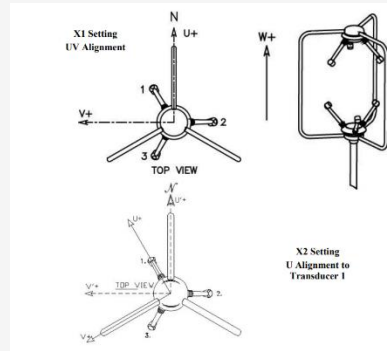
## 1 Comparaciones realizadas:

- entre LIDAR vs. LIDAR
- entre anemómetro sónico vs. anemómetro sónico
- entre LIDAR vs. anemómetro sónico



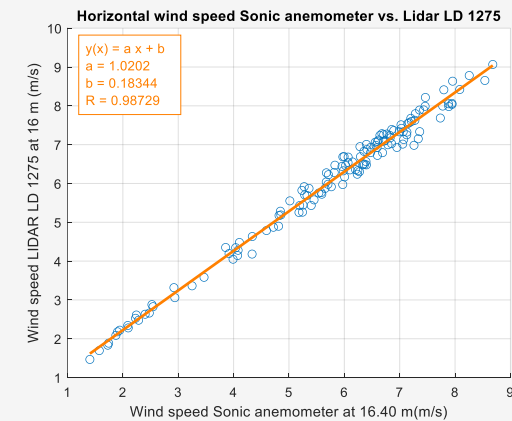
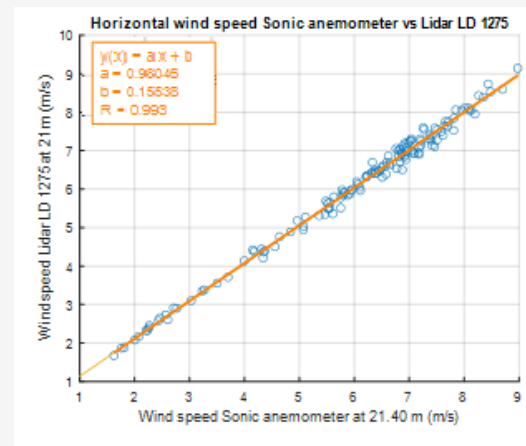
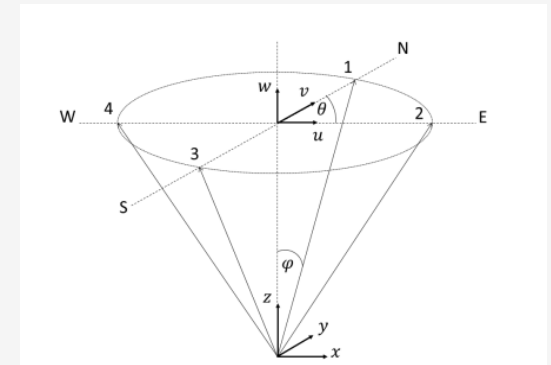
## 2

## Correlación entre anemómetros sónicos y LIDAR. Sistema de Coordenadas



$$U_{\text{sonic}} = V_{\text{lidar}}$$

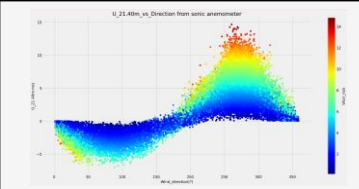
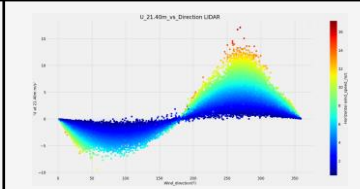
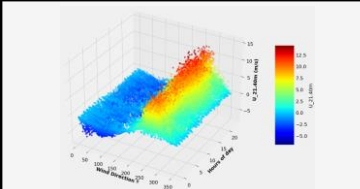
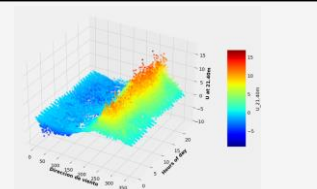
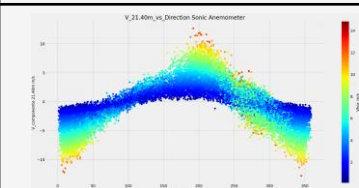
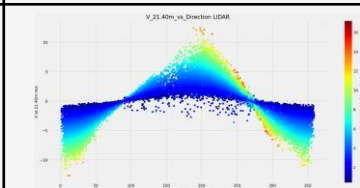
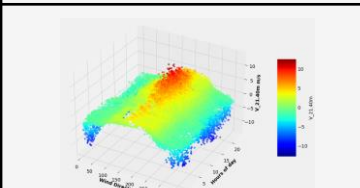
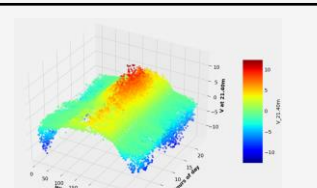
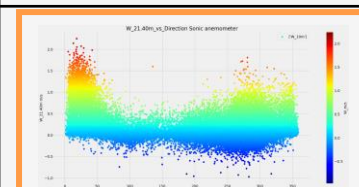
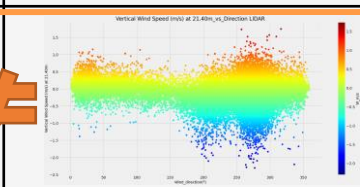
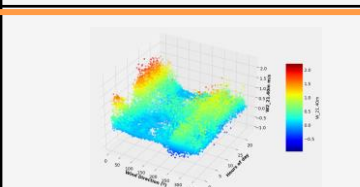
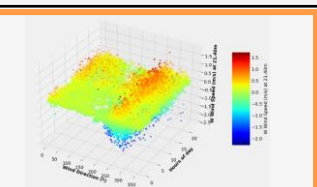
$$U_{\text{lidar}} = -V_{\text{sonic}}$$





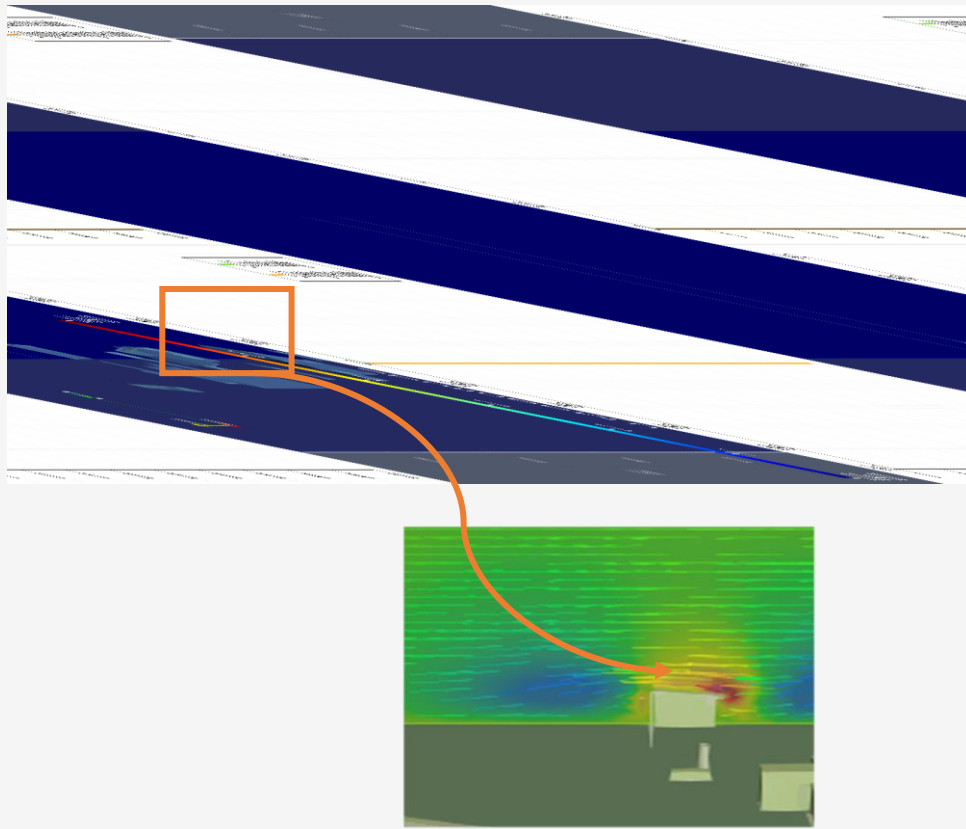
# COMPONENTES DE LA VELOCIDAD

- Comportamiento del viento junto al edificio para las diferentes componentes de la velocidad Sónico vs. LIDAR

Componentes de la velocidad	Anemómetro Sónico	LIDAR	Anemómetro Sónico 3D	LIDAR 3D
U (m/s)				
V (m/s)				
W (m/s)				

≠

# VELOCIDADES: U\_MAG Y U\_Z



WS (m/s)	LIDAR vs. Sónico a 21.40 m	LIDAR vs. Sónico a 16.40 m	Sónico central vs. Sónico en esquina
U-magnitud	<p>Line graph comparing LIDAR (blue) and Sónico (red) at 21.40m for U-magnitud. The y-axis is Wind Speed (m/s) from 0 to 5.0, and the x-axis is Direction (°) from 0 to 350. Both show similar peaks around 45° and 270°.</p>	<p>Line graph comparing LIDAR (blue) and Sónico (red) at 16.40m for U-magnitud. The y-axis is Wind Speed (m/s) from 2.0 to 5.5, and the x-axis is Direction (°) from 0 to 350. Both show similar peaks around 45° and 270°.</p>	<p>Line graph comparing Sónico central (blue) and Sónico en esquina (red) for U-magnitud. The y-axis is Wind Speed (m/s) from 2.0 to 5.5, and the x-axis is Direction (°) from 0 to 350. Both show similar peaks around 45° and 270°.</p>
U_Z Componente vertical	<p>Line graph comparing LIDAR (blue) and Sónico (red) at 21.40m for U_Z Componente vertical. The y-axis is Wind Speed (m/s) from -0.4 to 1.0, and the x-axis is Direction (°) from 0 to 350. The Sónico shows a large positive peak around 45°.</p>	<p>Line graph comparing LIDAR (blue) and Sónico (red) at 16.40m for U_Z Componente vertical. The y-axis is Wind Speed (m/s) from -0.4 to 1.0, and the x-axis is Direction (°) from 0 to 350. The Sónico shows a large positive peak around 45°.</p>	<p>Line graph comparing Sónico central (blue) and Sónico en esquina (red) for U_Z Componente vertical. The y-axis is Wind Speed (m/s) from -0.4 to 1.2, and the x-axis is Direction (°) from 0 to 350. The Sónico en esquina shows a large positive peak around 45°.</p>

# MUCHAS GRACIAS POR VUESTRA ATENCIÓN

Beatriz Ramos Hernández  
b.ramos@ciemat.es