

Evaluación Modelo ADME de Parques Eólicos son R.O.

José Cataldo

3 de agosto de 2017

Actividades desarrolladas

- Análisis de modelos desarrollados por ADME
- Realizar aportes para ajustar estos modelos



Análisis de Modelos ADME

- **Modelo Empírico**

- Caja negra
- P_E , P_V , Dirección del viento
- Definición de clases Velocidad – Dirección
- Aproximación lineal
- Polinomios de Hermite entre puntos medios de segmentos
- Depuración
- Pesos de ponderación – cantidad de datos de cada clase

Análisis de Modelos ADME

- **Modelo Empírico - Aportes**

- Ampliar intervalo de direcciones
 - Incertidumbres veletas  Flujo turbulento
- Depuración
 - 10% de los datos  Apartamiento de 5% a 10%.
- Fuerza del viento
- Evaluación de bondad de ajuste

Análisis de Modelos ADME

- **Modelo Teórico**

- Describir flujo corriente arriba de cada aerogenerador
- Grilla – Malla $< D$
- Viento EM – Viento de corriente libre η_{EM}
- Interpolación de flujo corriente arriba α_{terreno} y $\gamma_{\text{atmósfera}}$
 - No uniformidad horizontal y vertical
- Cálculo de potencia generada
 - Curva característica
 - Viento en el aerogenerador η^k
- Intercambio de potencia Viento – Aerogenerador
 - f_{pv3PE}
- Condiciones
 - Potencia total \leq Potencia máxima
 - VientoEM = Viento calculado en EM
- Funcional
 - Diferencia Potencia total MT y ME para cada clase velocidad y dirección

Análisis de Modelos ADME

- **Modelo Teórico – Aportes**

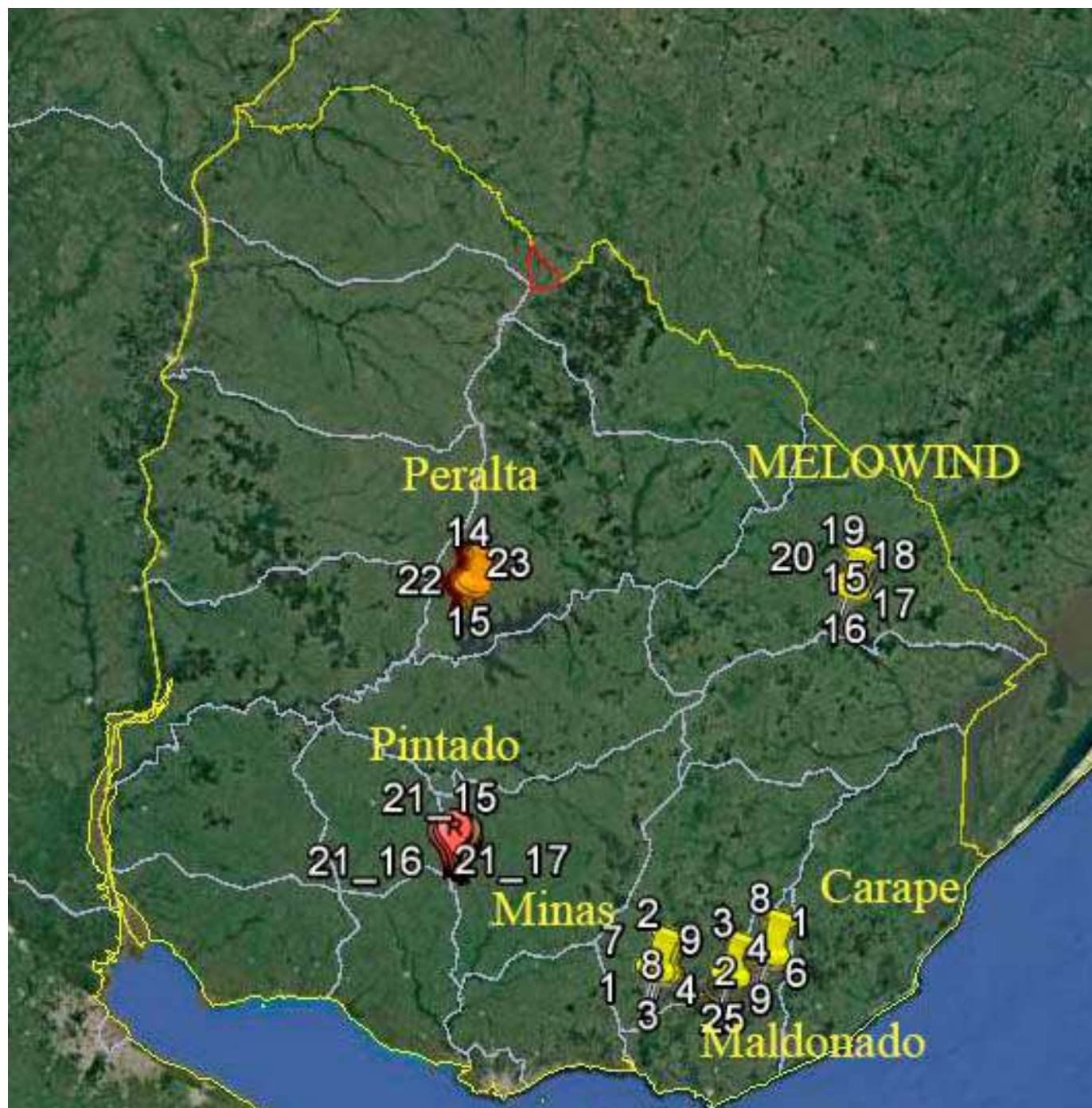
- Cambio cantidad de movimiento $\propto V^2$
- Efecto de estado termodinámico de la atmósfera
 - $\alpha_{\text{terreno}} \vee \gamma_{\text{atmósfera}}$
 - Modelos no, larga duración
- Ajuste de curva característica por densidad

$$P_E = \frac{\rho}{\rho_S} P_{E,S} \left(\left(\frac{\rho}{\rho_S} \right)^{1/3} V \right)$$

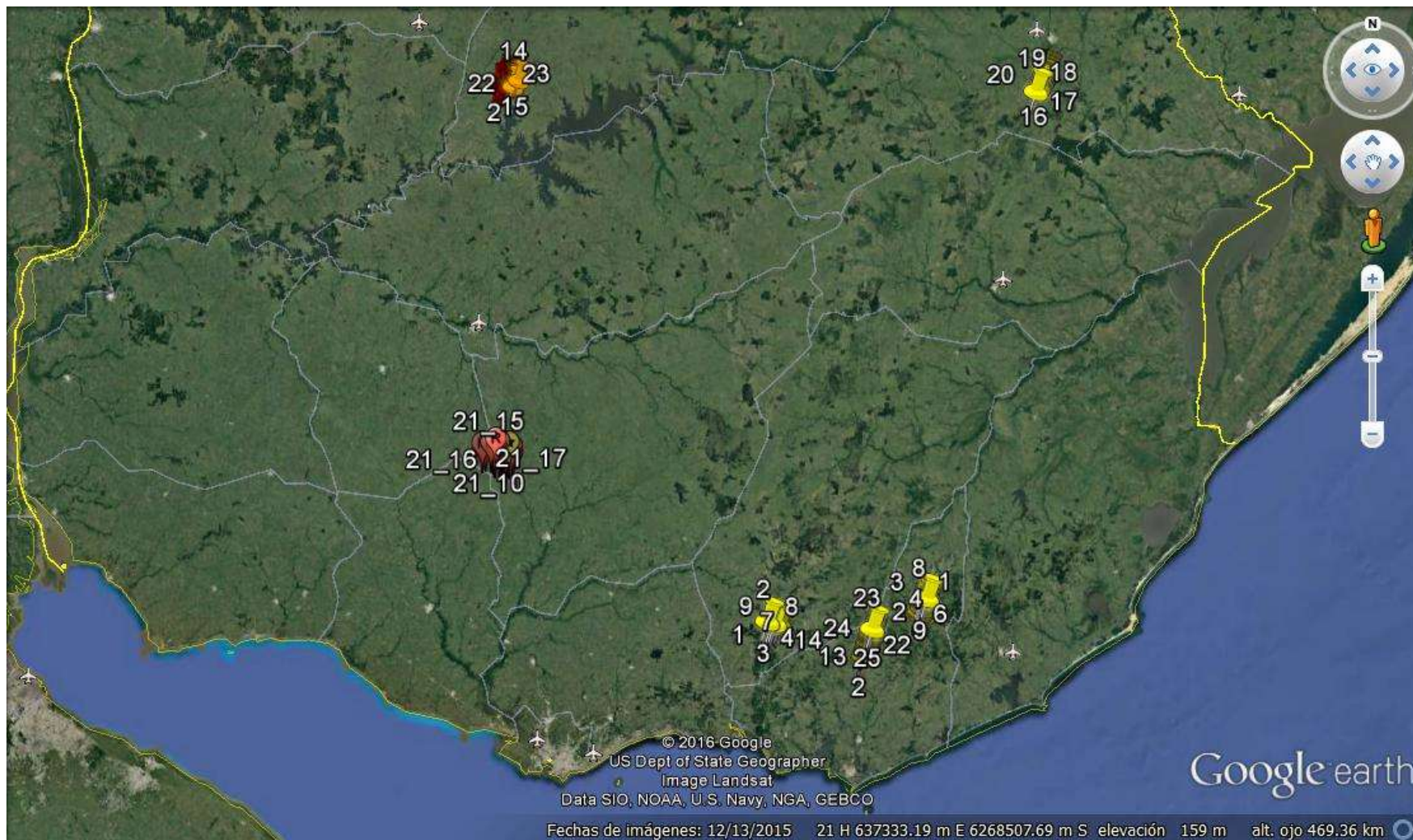
- Física del problema
- Evaluación de la bondad

Realizar aportes para ajustar estos modelos

- Metodología de cálculo
- Incorporar aspectos físicos
- Análisis de datos – Supervisados por la física



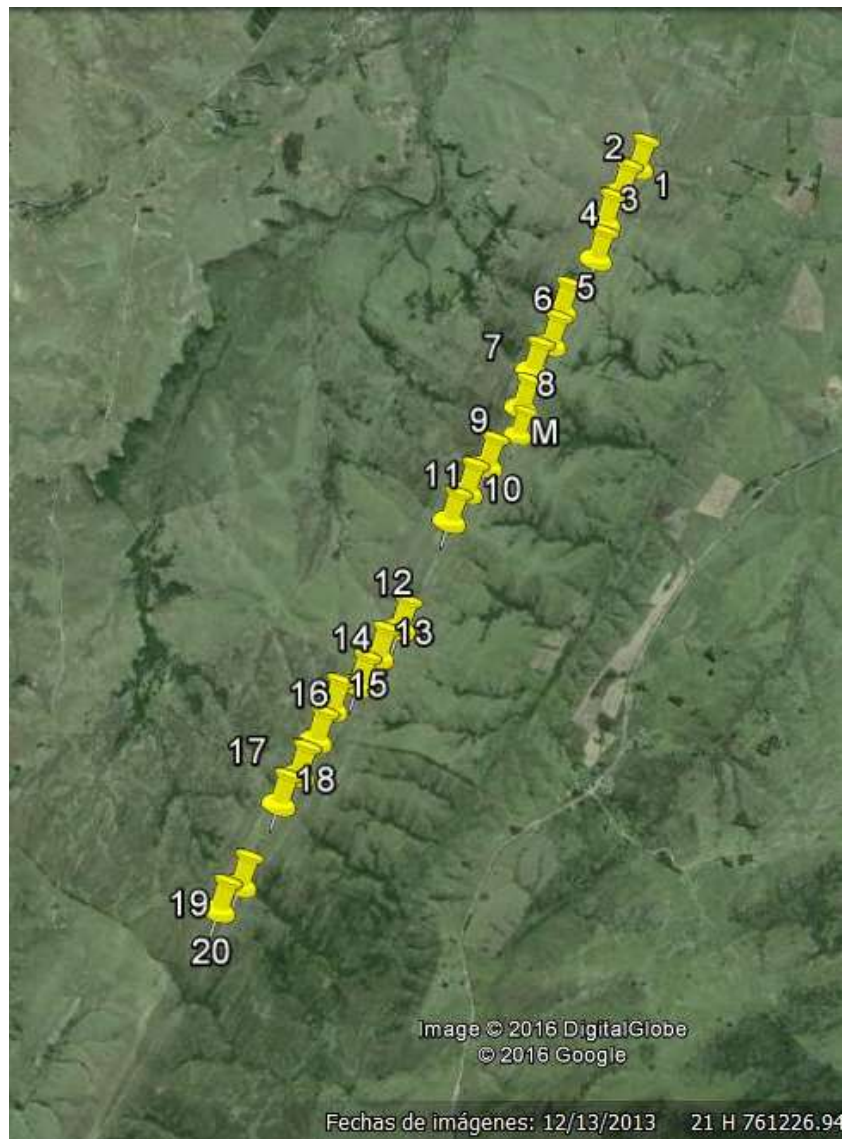
**Seis parques
eólicos**



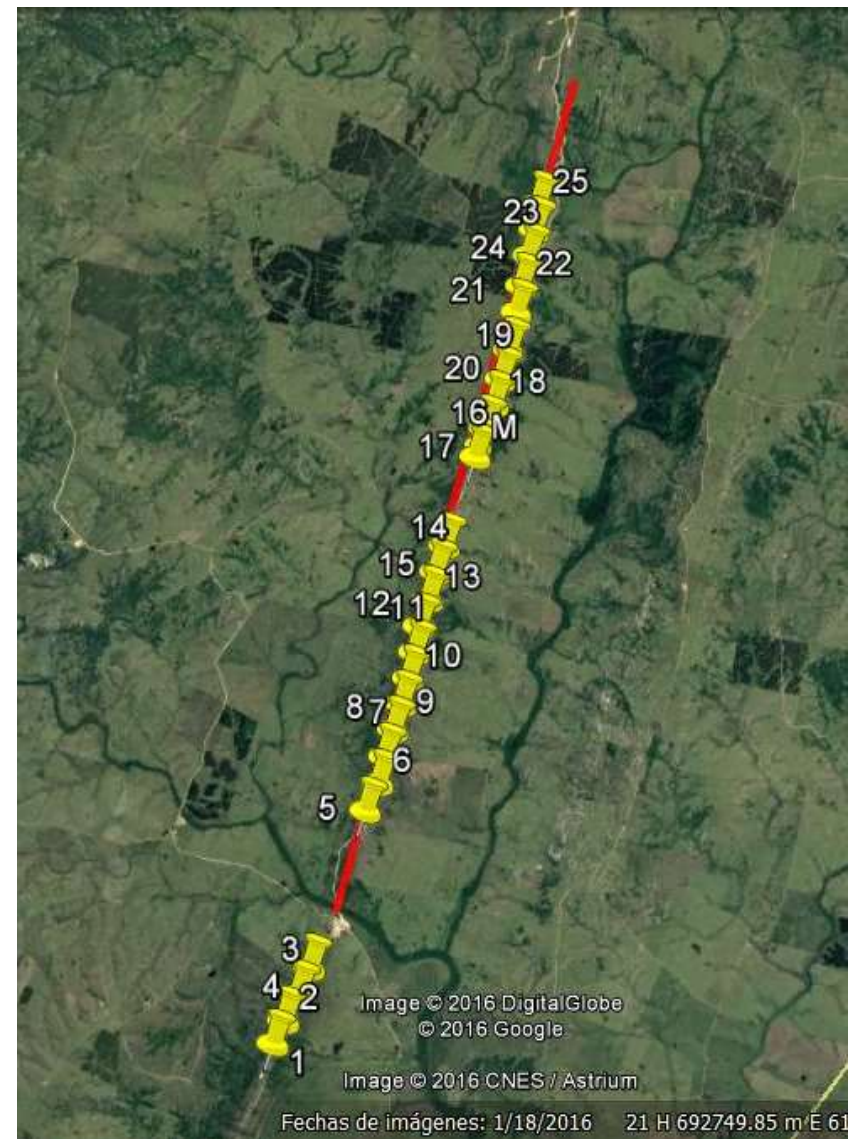
Parque Eólico	Inicio de serie histórica	Final de serie histórica
PINTADO	1/10/2015, 9:50	31/5/32106, 23:50
MELOWIND	30/10/2015, 20:30	31/5/2016, 23:50
CARAPÉ	3/12/2015, 0:00	31/5/2016, 23:50
MALDONADO	6/10/2015, 15:30	13/7/2016, 3:30
MINAS	8/10/2015, 0:00	21/4/2016, 7:10
PERALTA	30/10/2015, 17:00	27/6/201, 0:00

Parque Eólico	Potencia nominal (MW)	Cantidad de aerogeneradores	Marca/Modelo
Pintado	88	30	VESTAS/V112, 3MW
MELOWIND	50	20	NORDEX/N100
CARAPÉ	90	32	VESTAS/V112, 3MW
MALDONADO	50	25	GEMSA/G97
Minas	42	14	VESTAS/V112, 3MW
Peralta	100	48	ENERCON E92/2.35

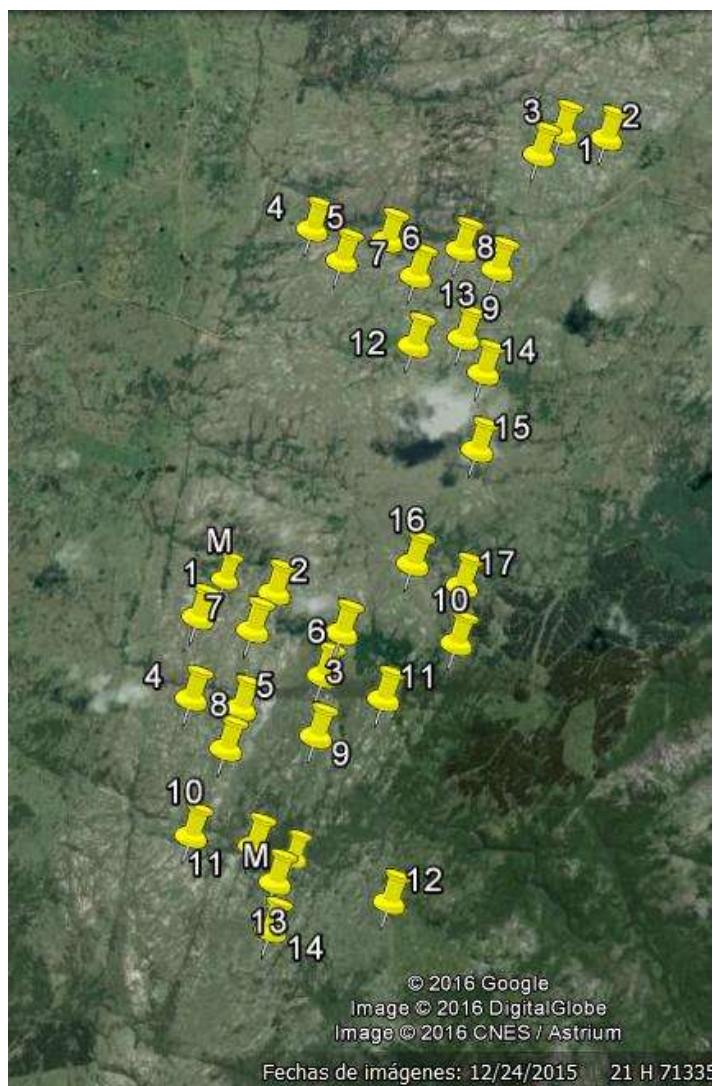
MELOWIND



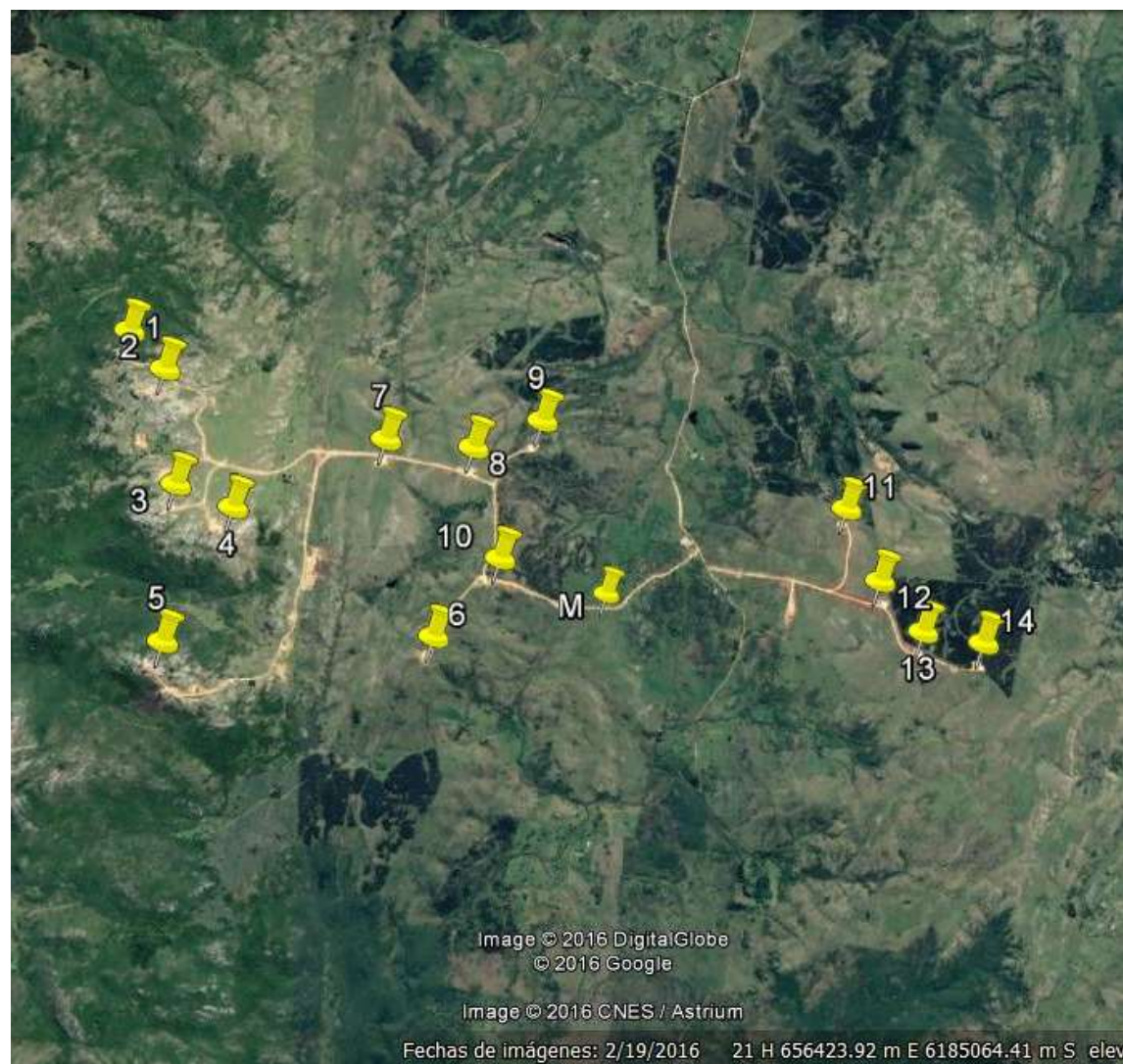
MALDONADO



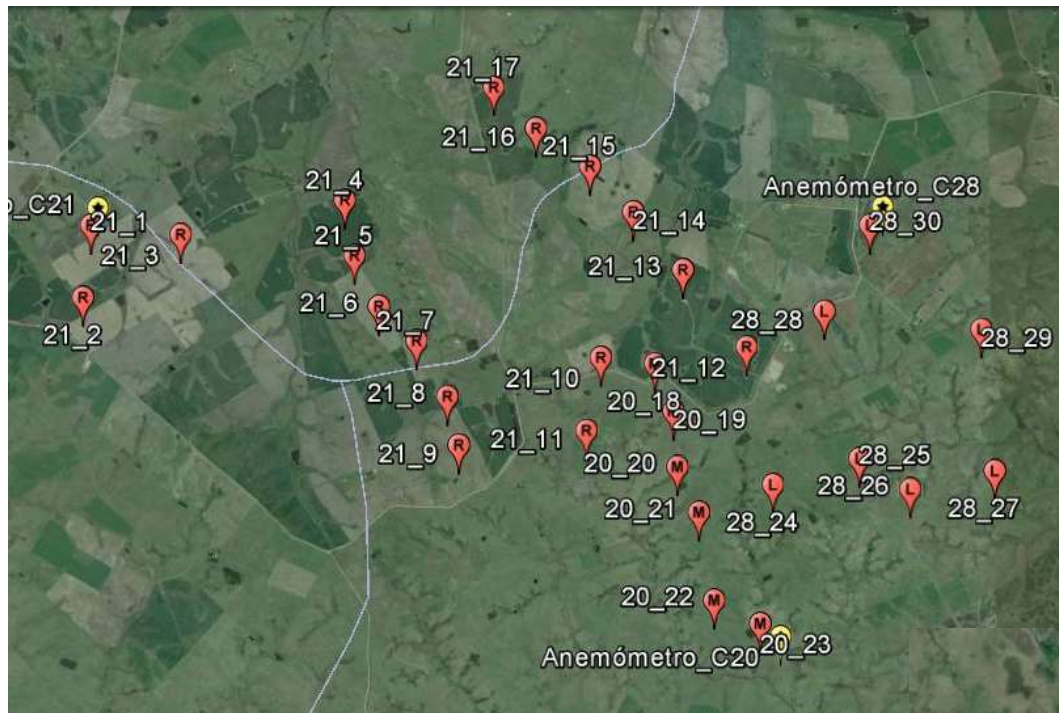
CARAPE



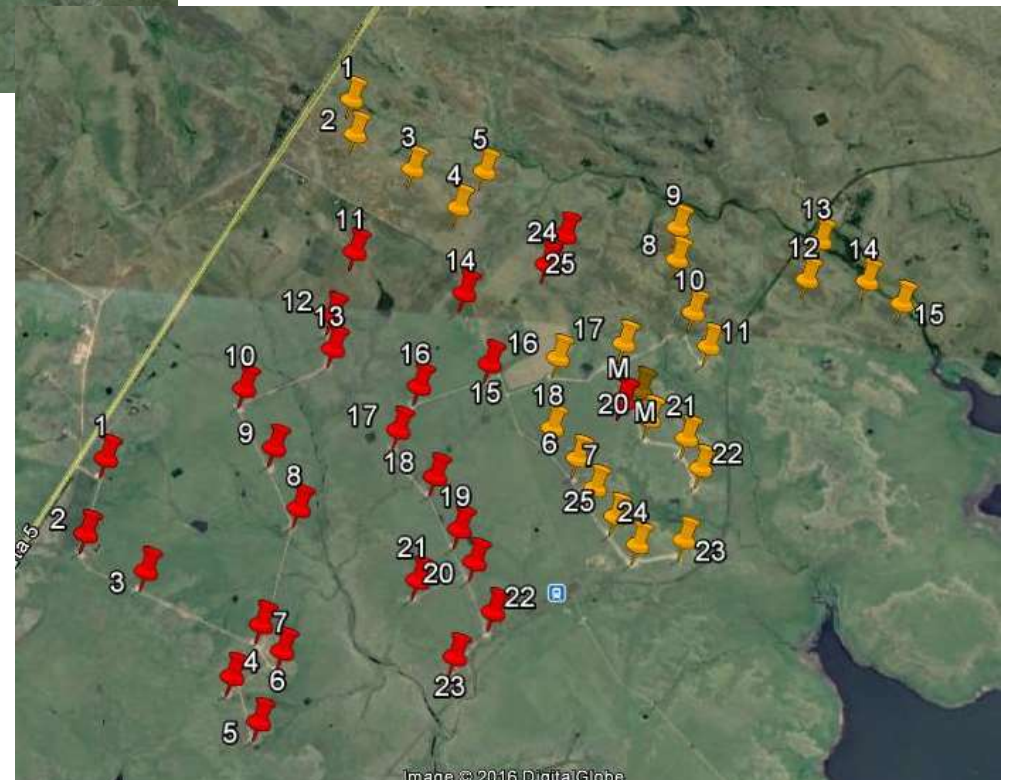
MINAS



PINTADO

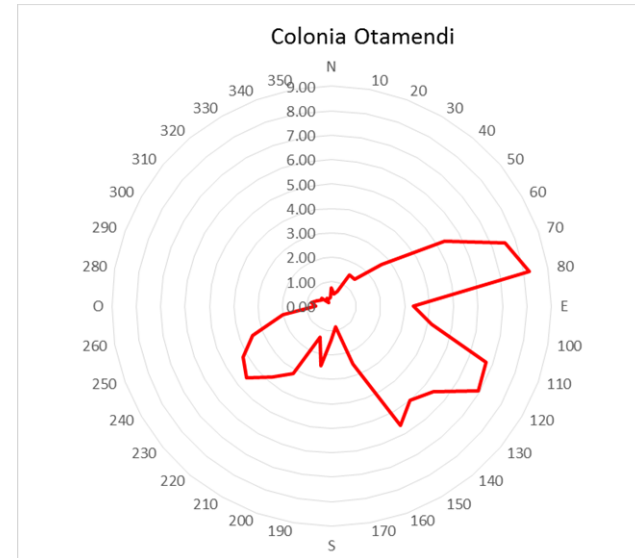
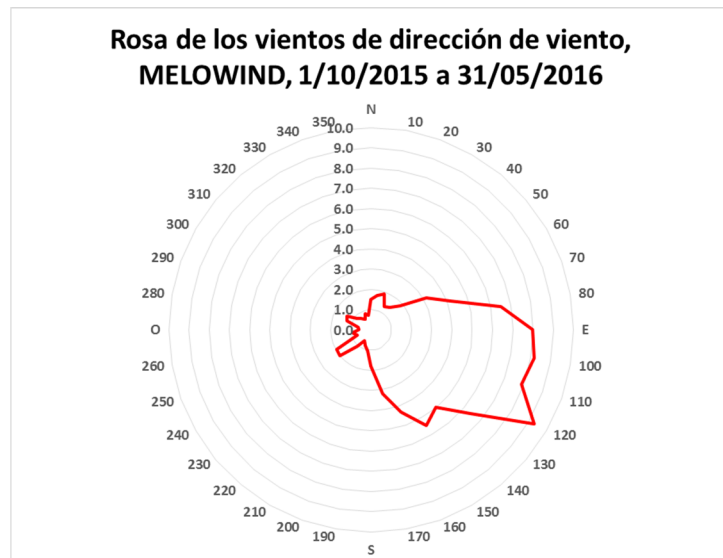
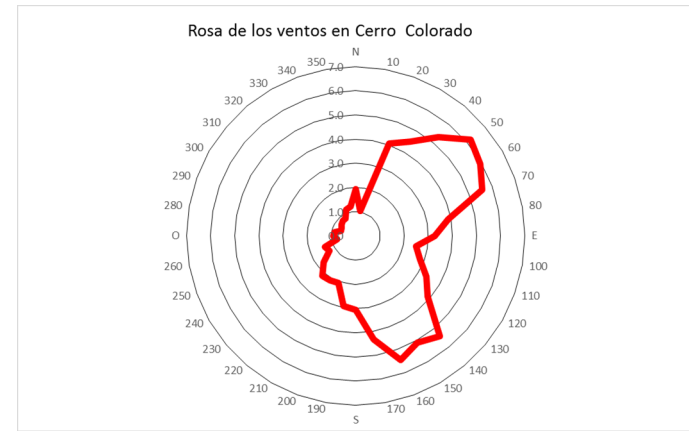
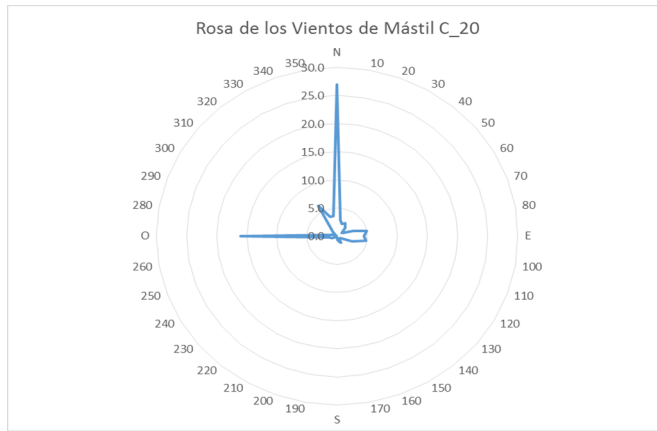


PERALTA

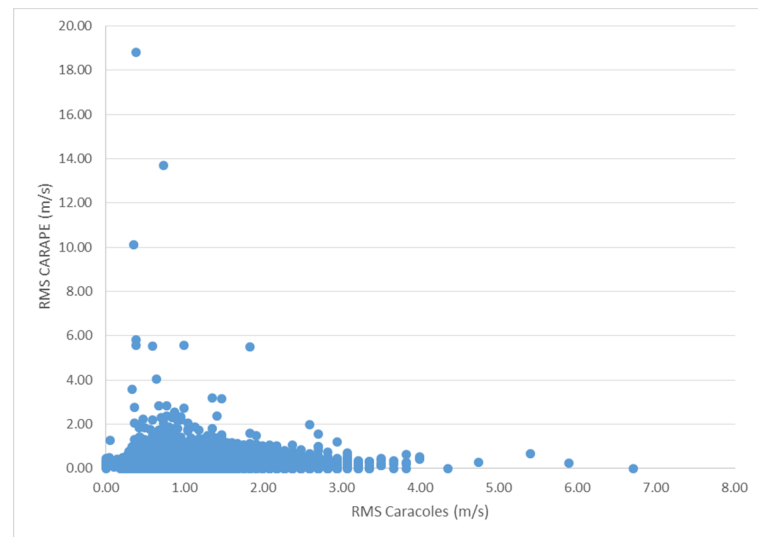
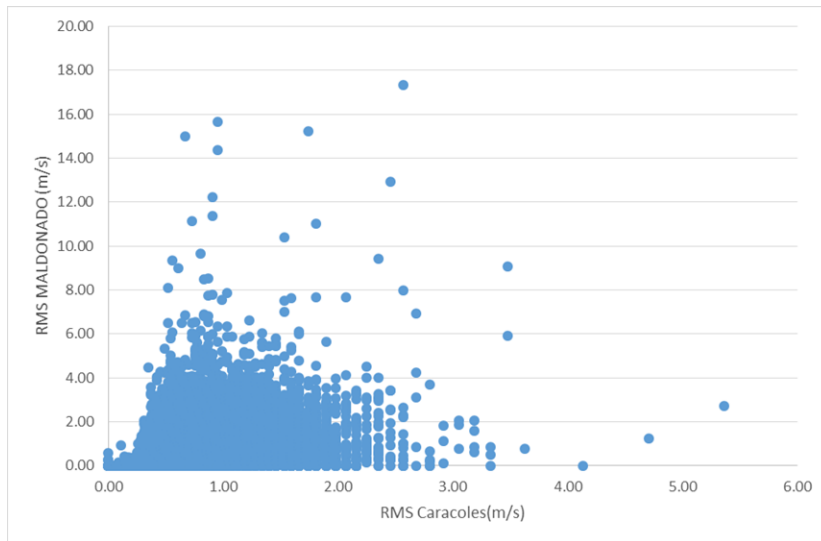


- Dos alineados
 - MELOWIND y MALDONADO
- Dos en terreno complejo
 - CARAPE y MINAS
- Dos en terreno plano
 - PINTADO y PERALTA
- Análisis de datos
 - SCADA de cada parque
 - Datos meteorológicos
 - Velocidad y dirección de viento
 - Temperatura
 - RMS de velocidad de viento
 - Datos de potencia
 - Disponibilidad
 - Potencia autorizada (RO)

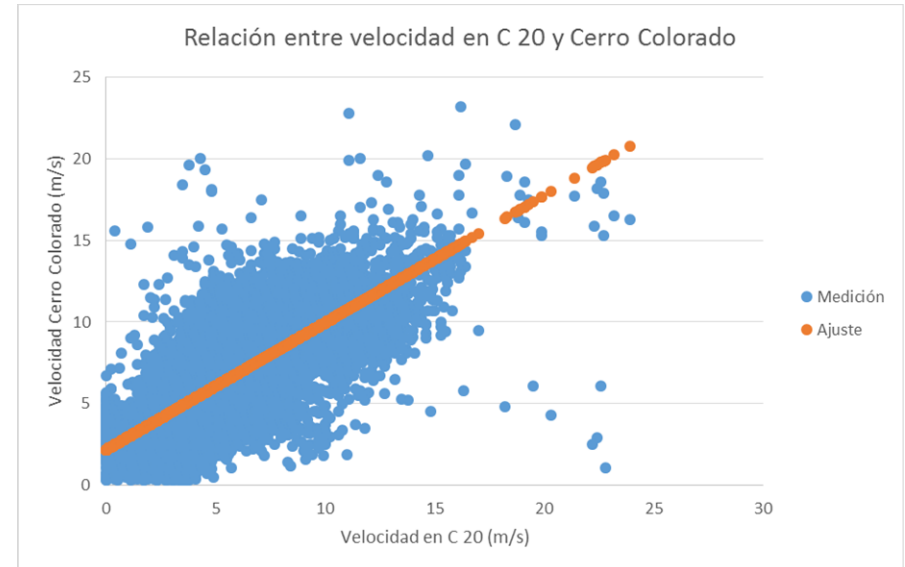
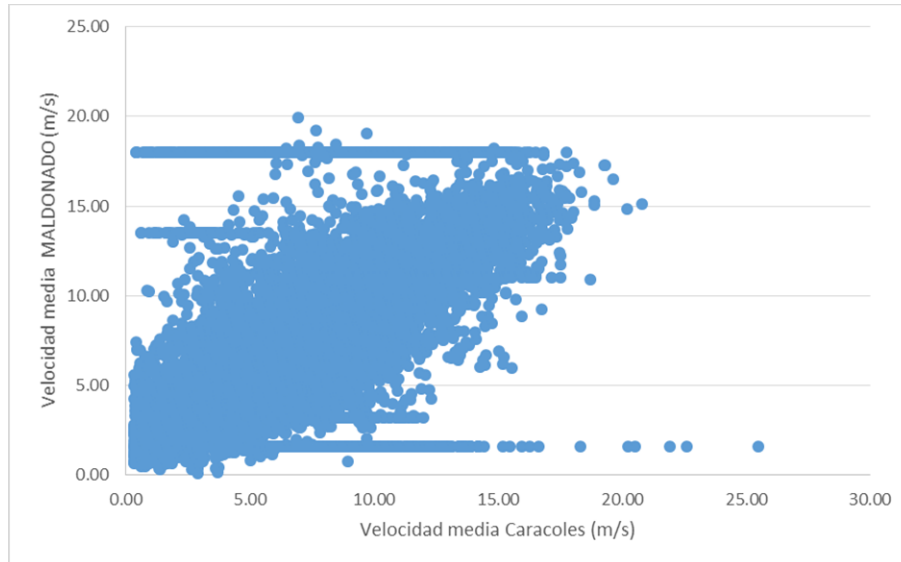
- Análisis de calidad de datos
 - Datos anómalos: 555555, -555555, 222222, -22222
 - Dirección de viento – Sustituida en algunos casos



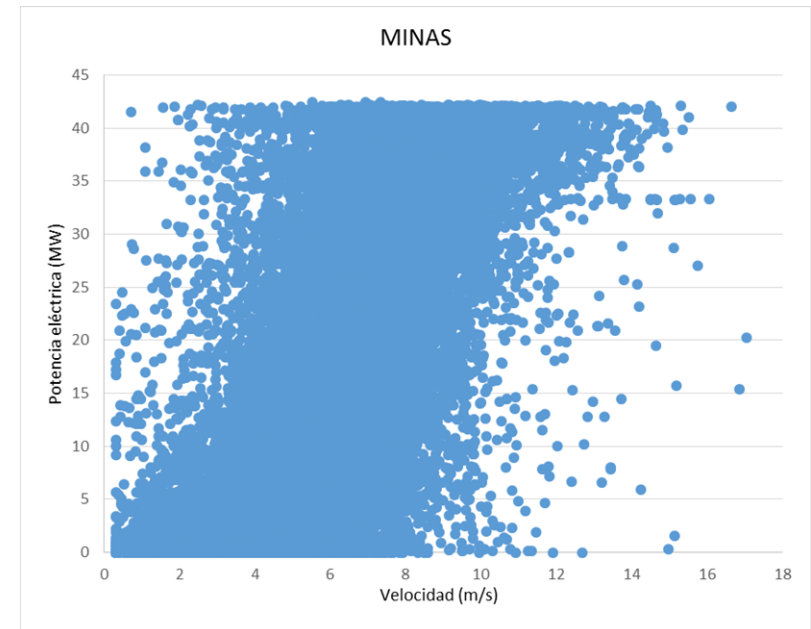
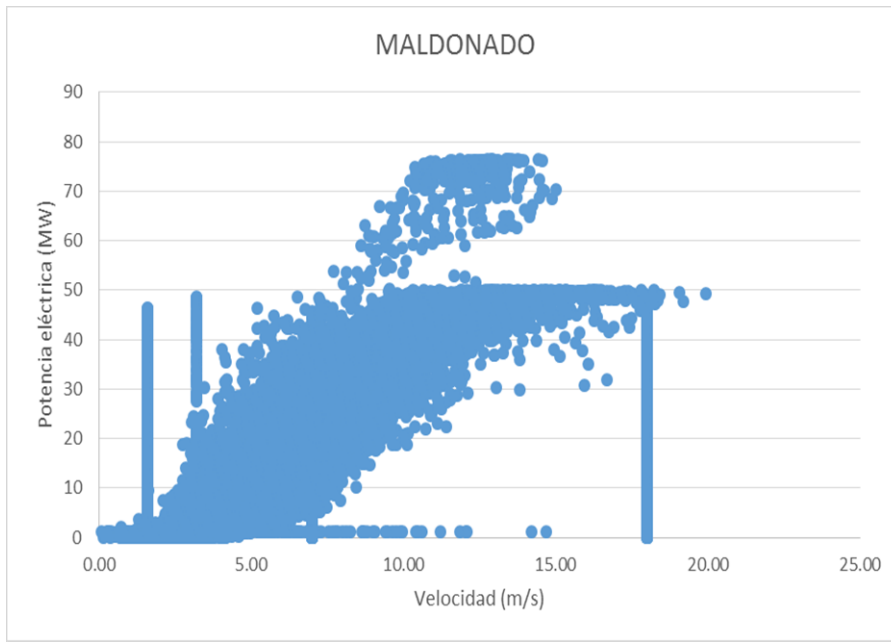
- Media cuadrática de la fluctuación de velocidad (RMS)
 - Sustituida



- Valor medio de la velocidad
 - Correcciones



- Potencia
 - Corrección - eliminación



Análisis de Patrones principales

- Matriz de correlación

PINTADO

Variables	Hora	PT	Vel	Dir	Temp	lu
Hora	1	0.093	0.051	0.129	0.351	0.080
PT	0.093	1	0.805	-0.023	-0.180	-0.188
Vel	0.051	0.805	1	-0.030	-0.188	-0.305
Dir	0.129	-0.023	-0.030	1	0.107	0.158
Temp	0.351	-0.180	-0.188	0.107	1	0.437
lu	0.080	-0.188	-0.305	0.158	0.437	1

PERALTA

Variables	Hora	Velocidad	Dirección	Potencia	Temperatura_1	DT/DZ	RMS
Hora	1	0.007	0.070	0.014	0.241	0.081	0.088
Velocidad	0.007	1	0.058	0.777	-0.115	0.015	0.382
Dirección	0.070	0.058	1	0.047	-0.201	0.029	0.146
Potencia	0.014	0.777	0.047	1	-0.044	0.079	0.399
Temperatura_1	0.241	-0.115	-0.201	-0.044	1	0.355	0.257
DT/DZ	0.081	0.015	0.029	0.079	0.355	1	0.606
RMS	0.088	0.382	0.146	0.399	0.257	0.606	1

MELOWIND

Variables	Hora	Velocidad	Dirección	Potencia	Temperatura	Iu
Hora	1	-0.164	0.115	-0.160	-0.203	0.136
Velocidad	-0.164	1	-0.010	0.962	-0.017	-0.513
Dirección	0.115	-0.010	1	0.002	-0.159	0.093
Potencia	-0.160	0.962	0.002	1	-0.053	-0.420
Temperatura	-0.203	-0.017	-0.159	-0.053	1	0.047
Iu	0.136	-0.513	0.093	-0.420	0.047	1

MALDONADO

Variables	Hora	Velocidad	Dirección	Potencia	Temperatura	RMS
Hora	1	-0.020	0.052	-0.046	0.102	0.015
Velocidad	-0.020	1	-0.062	0.571	0.160	0.078
Dirección	0.052	-0.062	1	-0.103	0.068	0.039
Potencia	-0.046	0.571	-0.103	1	-0.072	0.205
Temperatura	0.102	0.160	0.068	-0.072	1	0.036
RMS	0.015	0.078	0.039	0.205	0.036	1

CARAPE

Variables	Hora	Velocidad	Dirección	Potencia	Temperatura	Iu
Hora	1	0.017	-0.034	0.022	0.165	0.024
Velocidad	0.017	1	-0.212	0.944	-0.122	-0.462
Dirección	-0.034	-0.212	1	-0.213	-0.195	0.097
Potencia	0.022	0.944	-0.213	1	-0.127	-0.390
Temperatura	0.165	-0.122	-0.195	-0.127	1	0.215
Iu	0.024	-0.462	0.097	-0.390	0.215	1

MINAS

Variables	Hora	Velocidad	Dirección	Potencia	Temperatura	RMS
Hora	1	-0.007	0.076	-0.027	0.250	0.125
Velocidad	-0.007	1	-0.127	0.913	-0.179	0.522
Dirección	0.076	-0.127	1	-0.122	-0.200	0.086
Potencia	-0.027	0.913	-0.122	1	-0.246	0.534
Temperatura	0.250	-0.179	-0.200	-0.246	1	-0.061
RMS	0.125	0.522	0.086	0.534	-0.061	1

Valores propios

CARAPE

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Valor propio	2.343	1.297	0.950	0.721	0.637	0.052
Variabilidad (%)	39.051	21.624	15.828	12.018	10.611	0.868
% acumulado	39.051	60.675	76.503	88.521	99.132	100.000

MELOWIND

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Valor propio	2.354	1.307	0.903	0.766	0.639	0.032
Variabilidad (%)	39.234	21.776	15.044	12.766	10.654	0.526
% acumulado	39.234	61.010	76.054	88.820	99.474	100.000

Patrones principales

MINAS

	F1	F2	F3
Hora	0.000	0.491	0.266
Velocidad	0.876	0.005	0.010
Dirección	0.006	0.124	0.738
Potencia	0.900	0.000	0.009
Temperatura	0.096	0.615	0.020
RMS	0.518	0.041	0.094

PERALTA

	F1	F2	F3
Hora	0.027	0.121	0.041
Velocidad	0.539	0.293	0.033
Dirección	0.021	0.036	0.850
Potencia	0.589	0.221	0.041
Temperatura_1	0.061	0.552	0.078
DT/DZ	0.305	0.366	0.018
RMS	0.688	0.065	0.020

Análisis de la energía generada

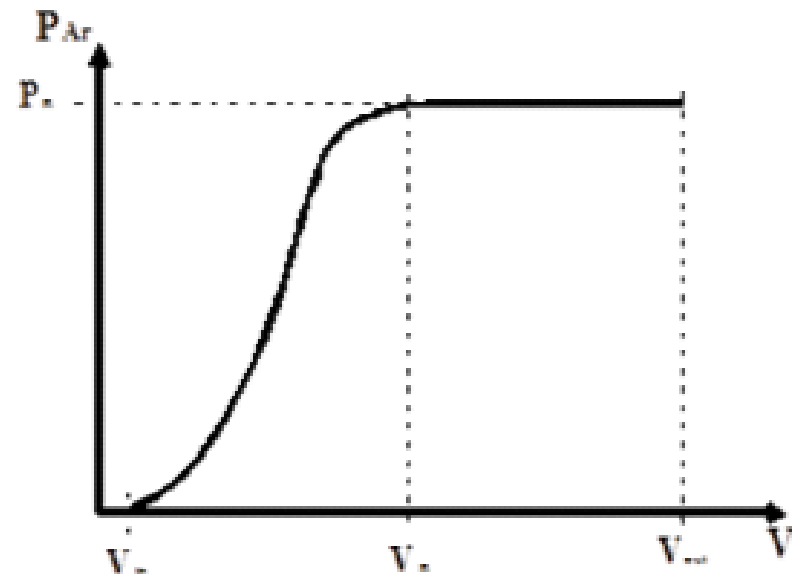
- Potencia eléctrica generado por el parque P_E
 - Valor medio de la velocidad de viento V
 - Media cuadrática de la velocidad del viento (σ)
 - Temperatura T .

Potencia
meteorológica

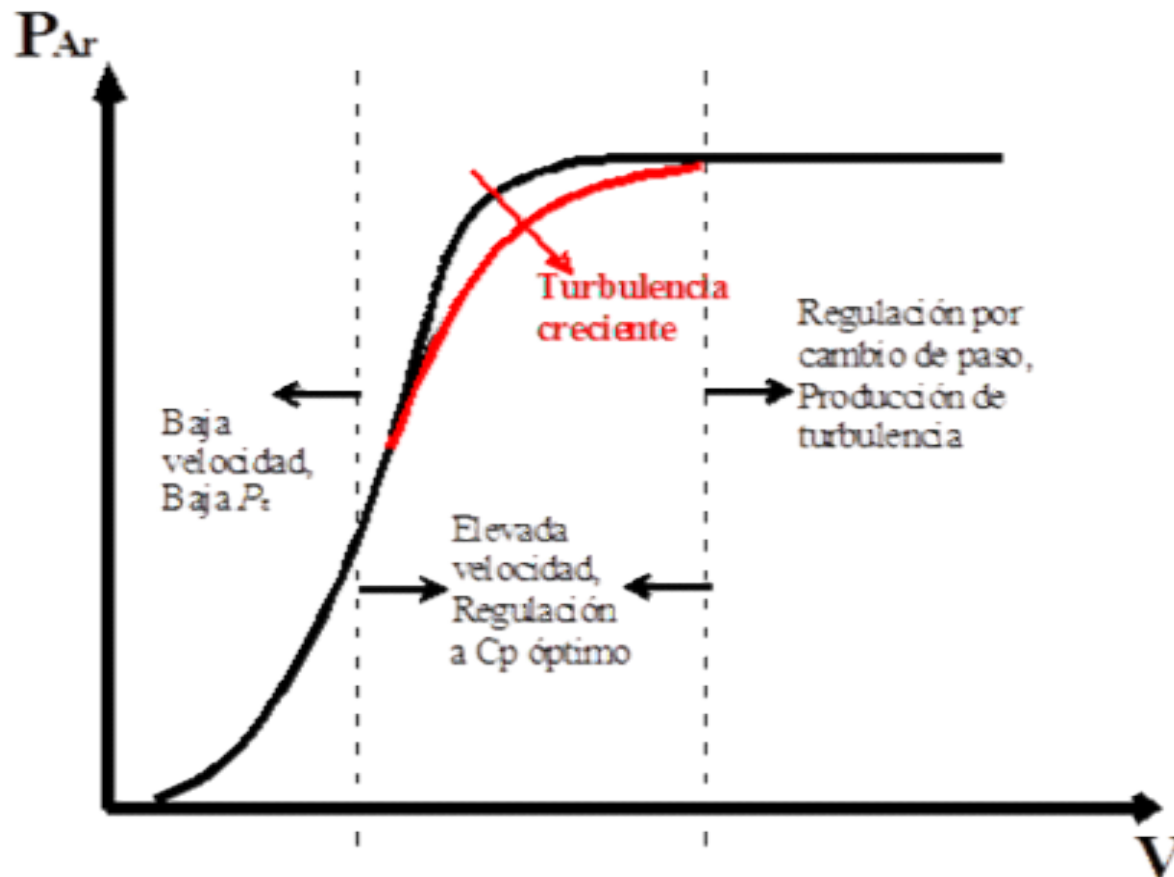


$$P_V = \frac{1}{2} \rho V^3$$

Aerogenerador



- Flujo turbulento – Intercambio de potencia
 - Flujo medio – Componente turbulenta



- Flujo turbulento – Intercambio de potencia
 - Flujo medio – Componente turbulenta
 - u - escala de la componente turbulenta de velocidad,
 - σ
 - ℓ - escala de longitud vórtices de la turbulencia
 - Dimensiones de la pala / 1000
 - V - el volumen en el cual se desarrolla la transferencia de potencia a la componente turbulenta

$$P_{\epsilon} = 2.5\rho\sigma^3\ell^2$$

- Potencia eléctrica del parque eólico

$$P_E = \mathcal{F}(P_V, P_\epsilon, P_{Ar})$$

- Dos abordajes

Análisis
dimensional



$$\frac{P_E}{P_\epsilon} = \mathcal{g}\left(\frac{1}{6I_u^3}, \frac{P_{Ar}}{P_\epsilon}\right)$$

Efecto sobre
el flujo

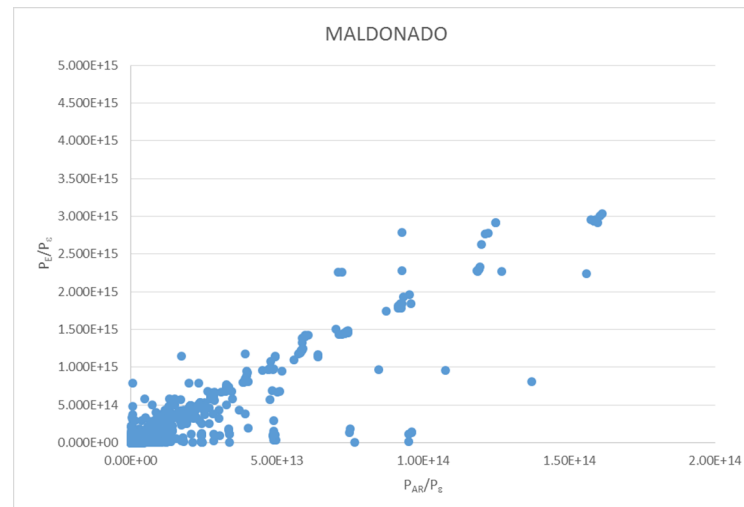
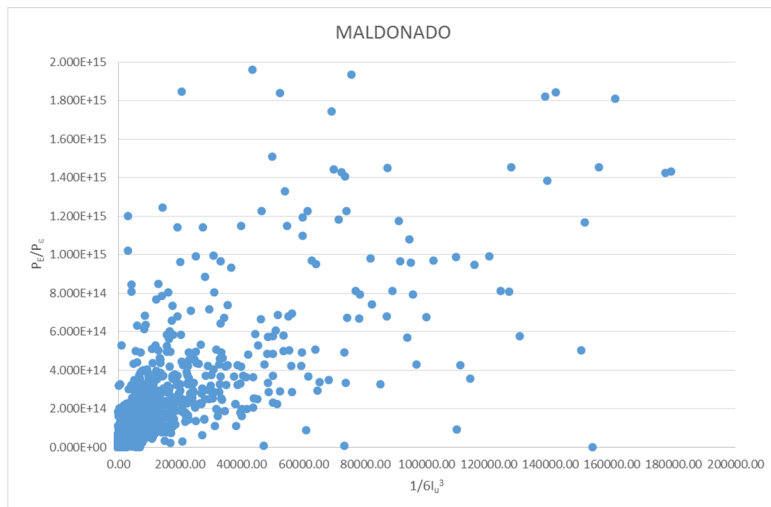
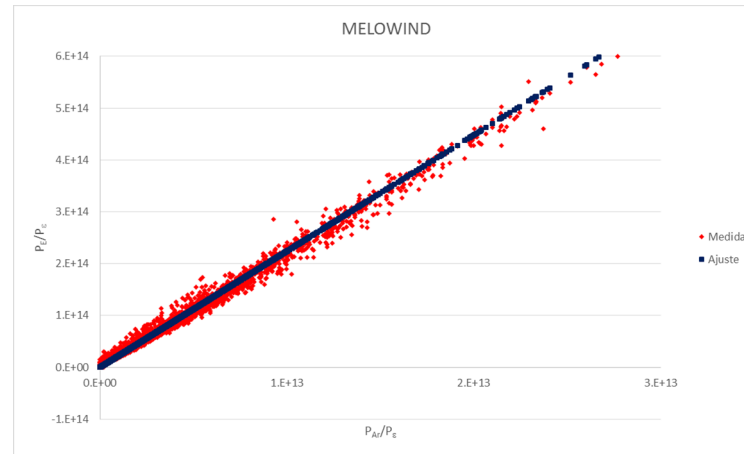
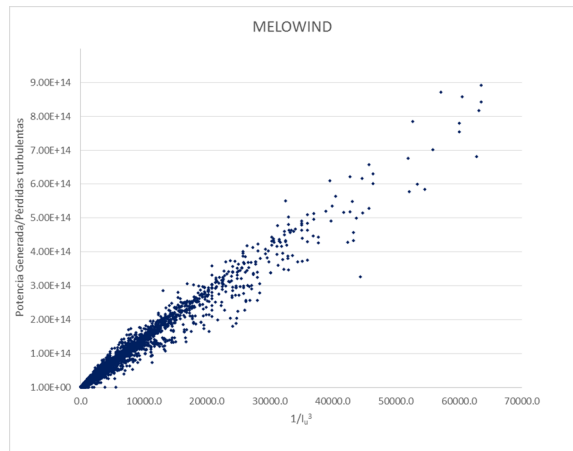


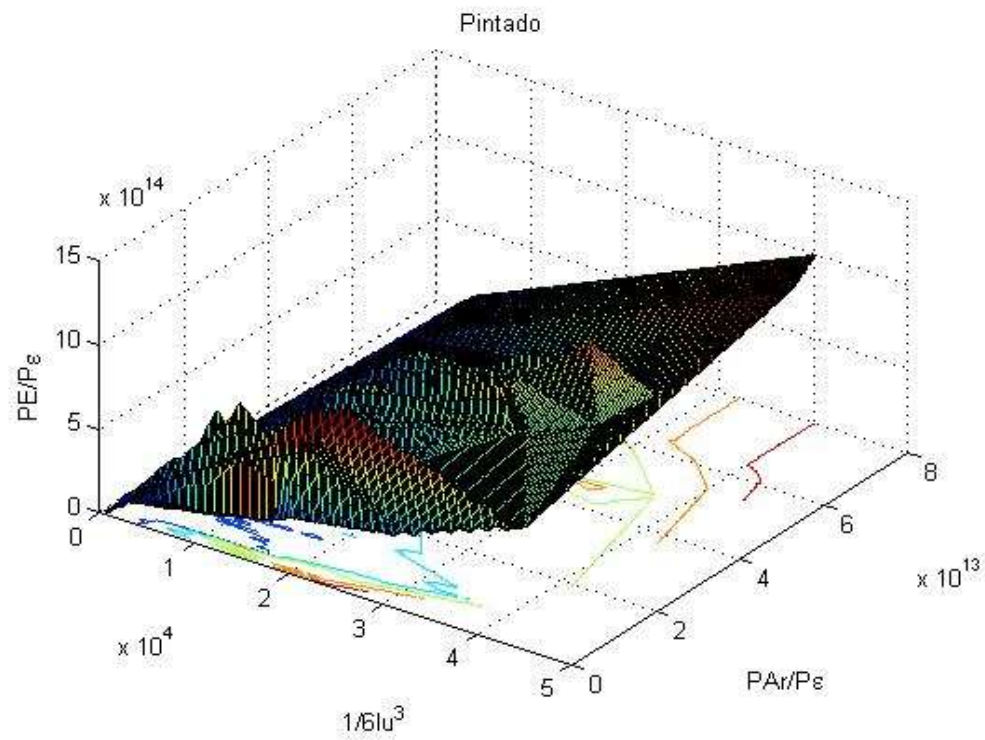
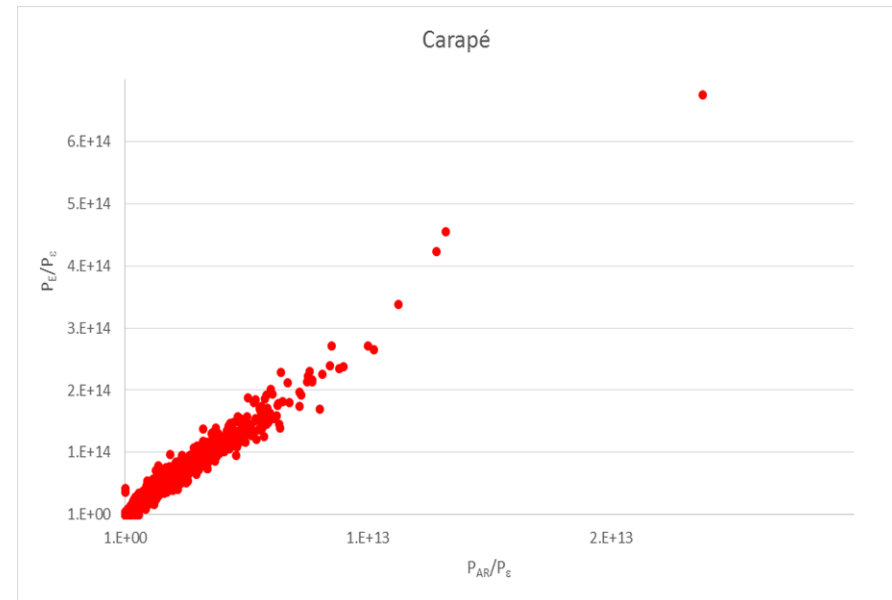
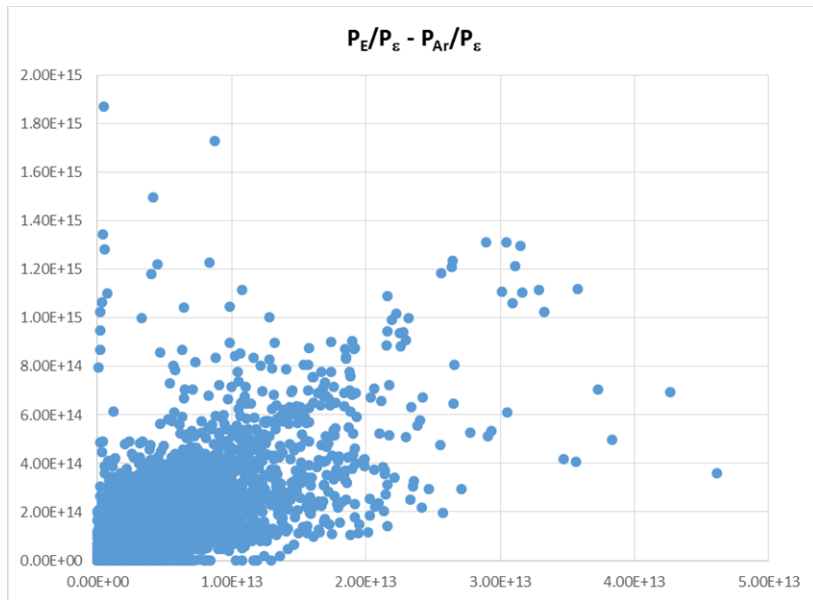
$$P'_V = P_V + \alpha P_\epsilon$$

$$V' = \left(\frac{2P'_V}{\rho D^2}\right)^{1/3}$$

$$P_E = A \cdot P'_{Ar} + B$$

Primer abordaje





$$\frac{P_E}{P_\epsilon} = A \cdot \frac{1}{6l_u^3} + B \cdot \frac{P_{Ar}}{P_\epsilon} + C$$

Evaluación del ajuste

$$EMC = \frac{\sqrt{\langle (P_{E,i} - P_{E,i,est})^2 \rangle}}{\langle P_{E,i} \rangle}$$

$$Error = \frac{\langle P_{E,i} - P_{E,i,est} \rangle}{\langle P_{E,i} \rangle}$$

$$Error\ Absoluto = \frac{\langle |P_{E,i} - P_{E,i,est}| \rangle}{\langle P_{E,i} \rangle}$$

MELOWIND

Parámetro	Valor de ajuste
A	-7.75×10^8
B	23.54
C	8.959×10^{10}

Parámetro	Valor (%)
EMC	10.1
Error	-1.8
Error Absoluto	11.2

MINAS

Parámetro	Valor de ajuste
A	3.58×10^{11}
B	-2.61×10^{-2}
C	8.44×10^{11}

Parámetro	Valor (%)
EMC	57
Error	19
Error Absoluto	45

Segundo abordaje - Dirección

MINAS

Parámetro	Valor (%)
EMC	22
Error	-0.3
Error Absoluto	17

MALDONADO

Parámetro	Valor (%)
EMC	25
Error	0.3
Error Absoluto	18

PERALTA

Parámetro	Valor (%)
EMC	49
Error	0
Error Absoluto	36

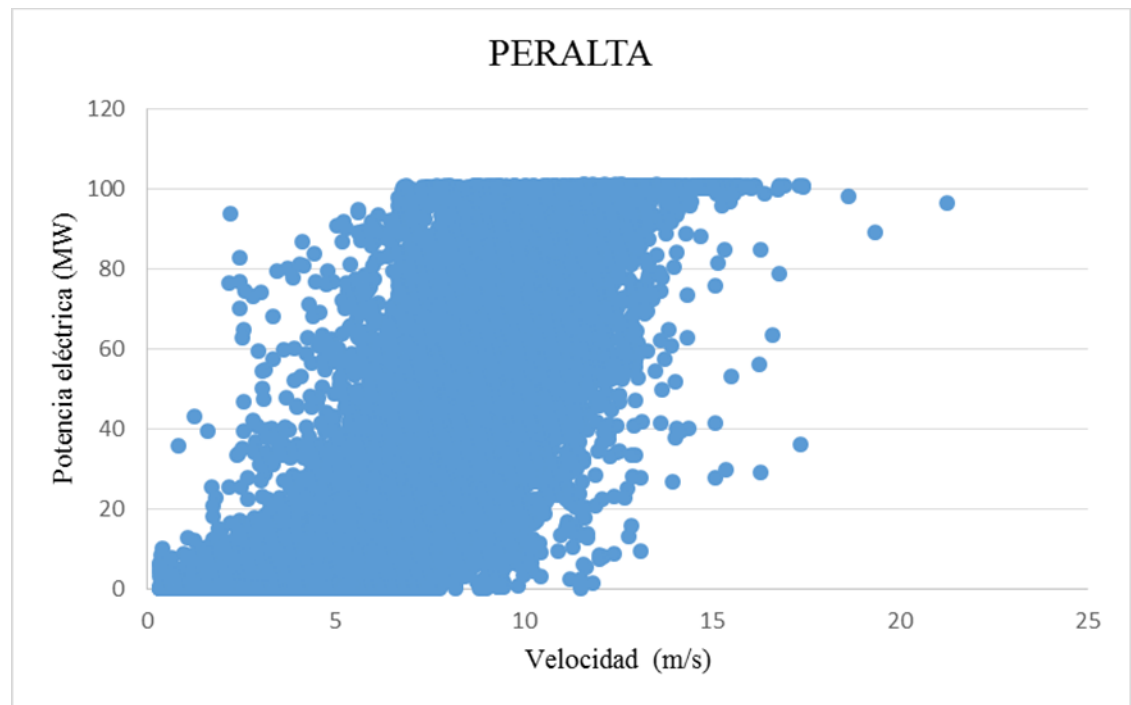
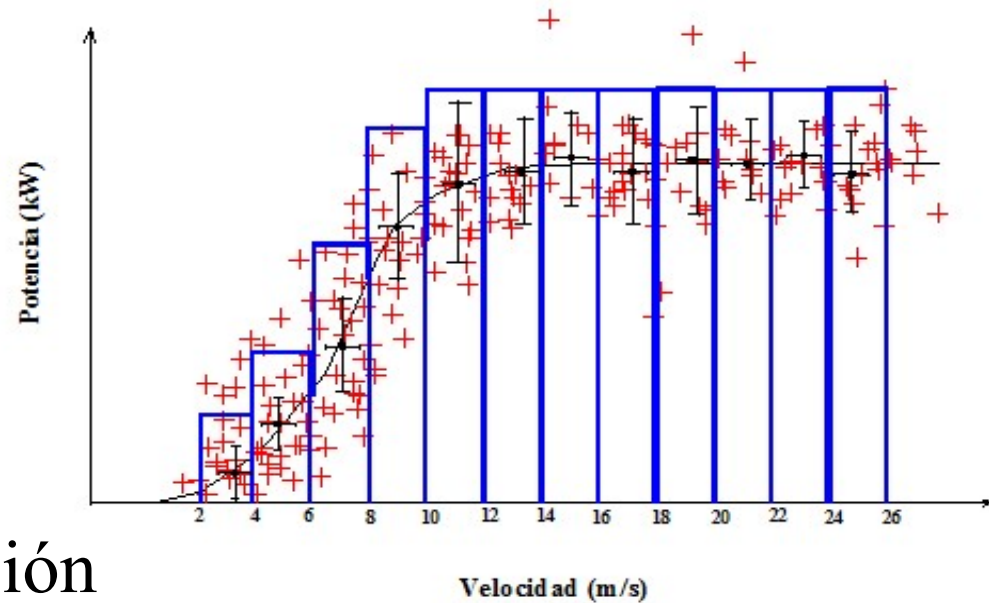
PINTADO

Parámetro	Valor (%)
EMC	32.9
Error	0.0
Error Absoluto	25.2

• Dispersión

ENSAYO

- Condiciones de operación
 - Operación
 - Anómalas



Metodología propuesta para considerar datos de ajuste

Depuración – Aspectos físicos

Curva de ajuste

$$P(V) = Ae^{-\frac{(V-V_0)^4}{B}}$$

Vector de
parámetros

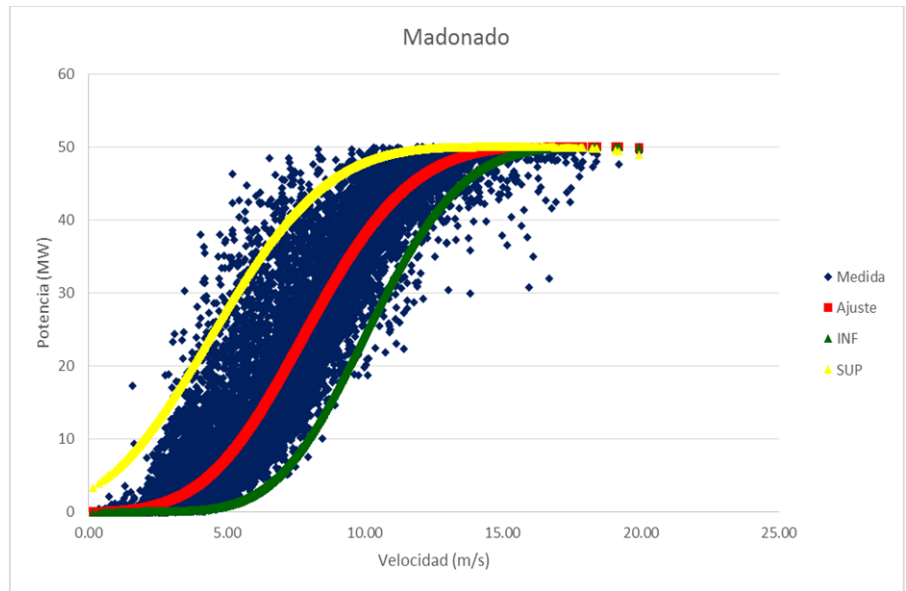
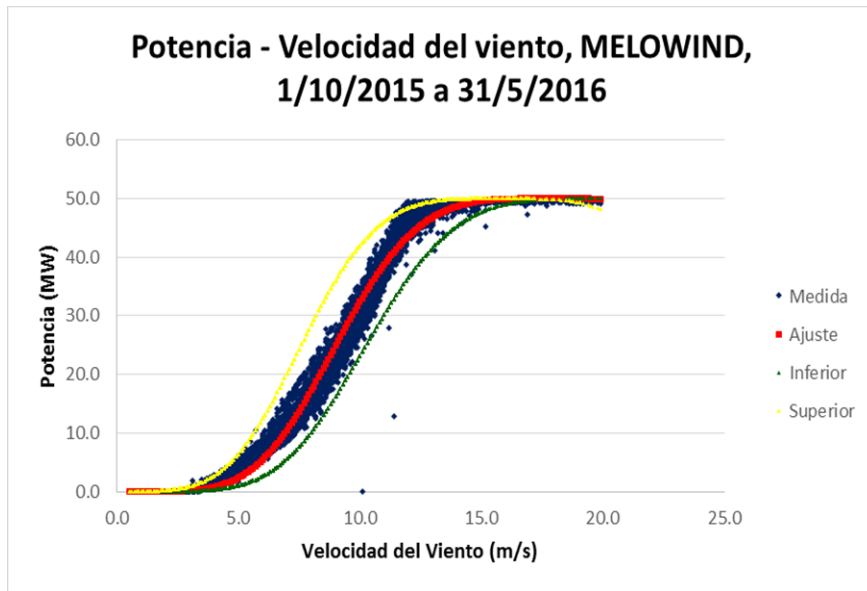
$$\theta = (A, B, V_0)$$

$$P_0 = P(V, \theta_0) \quad \text{Máxima verosimilitud}$$

$$P_1 = P(V, \theta_1)$$

$$P_2 = P(V, \theta_2)$$

θ_1 y θ_2 – Nivel de confianza



$$k_{SUP} = \frac{\langle P_1 - P_0 \rangle}{\langle P_0 \rangle}$$

$$k_{INF} = \frac{\langle P_2 - P_0 \rangle}{\langle P_0 \rangle}$$

Parque eólico	k_{SUP} (%)	k_{INF} (%)
MELOWIND	28.0	23.3
MALDONADO	64.4	42.1
CARAPE	40.7	60.3
MINAS	61.5	37.6
PERALTA	112.7	63.2
PINTADO	75.6	67.1

Conclusiones

- Análisis de la calidad de los datos
 - Meteorológicos – Potencia
- Comportamientos diferentes
 - Terreno: Plano, Complejo, Alineados