

# “Integración de las Energías Renovables No Convencionales a los sistemas Eléctricos Tradicionales.”

Acad. Ing. Oscar FERREÑO



# Potencial de las Energías Renovables no Convencionales

El consumo eléctrico de Uruguay es hoy aproximadamente 10.500 GWh/año y se duplica cada veinte años

## Energía solar

La radiación solar media en la región se puede considerar del orden de 200 W/m<sup>2</sup>, esto es 1.75 MWh/m<sup>2</sup>/año

Solo a título indicativo, el consumo de Uruguay equivale a la radiación recibida por un cuadrado de nuestro territorio de 2.4 Km de lado. Si consideramos un rendimiento de 15 %, necesitamos un cuadrado de 6,2 Km. o el equivalente a 3840 hectáreas-

## Energía eólica

Un aerogenerador moderno de velocidad y paso variable, de 2 MW, 100 m de altura y 100 m diámetro, produce 11.7 GWh/km<sup>2</sup>/año

Solo a título indicativo, el consumo de Uruguay equivale a la energía producida por un parque eólico que ocupe un cuadrado de nuestro territorio de 30 km de lado, equivalente a 90.000 hectáreas.



# Potencial Eólico del Uruguay

En razón de las características geográficas de Uruguay, con abundantes llanuras y escasos obstáculos, tenemos que a 100 metros sobre el suelo el viento es prácticamente igual y cercano a los 8 m/s en todo el territorio de Uruguay.

Un aerogenerador con la tecnología actual que permite alturas de buje en el entorno de los 100 m puede producir al 40 % de su potencia.

En los distintos parques que hemos estudiado o desarrollado observamos una relación de 1 MW cada 30 hectáreas. Al día de hoy, con algo más de 350 MW eólicos operativos, superamos el 12 % de participación de la eólica en la matriz, con valores puntales mayores al 35 %

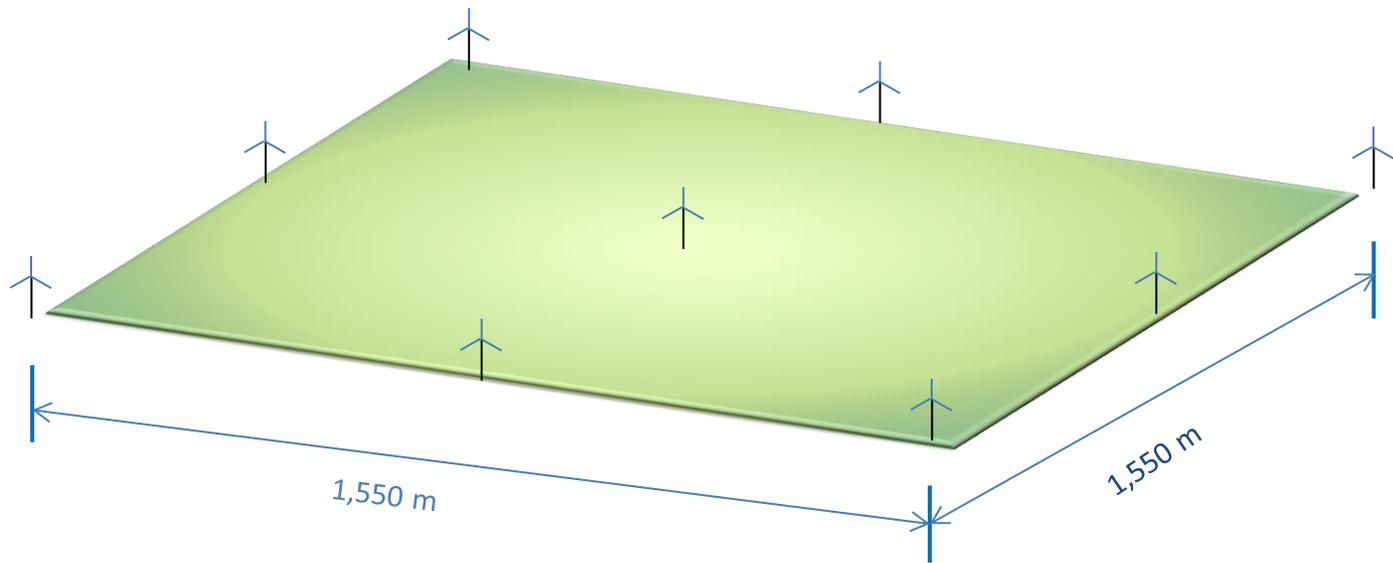
Se puede decir que el potencial eólico de Uruguay es de varios miles de MW.

Prácticamente todo el territorio nacional es apto para la instalación de molinos modernos con factor de utilización del 40 % y a razón de 1 MW cada 30 hectáreas.



# El potencial Eólico de Uruguay

↑  $h = 100 \text{ m}$  Aerogeneradores de 2 MW  
↑  $\theta = 100 \text{ m}$  1 MW cada 30 hectáreas



# Potencial Eólico del Uruguay

En el 1 % del territorio (los embalses de las presas o la superficie de plantaciones de arroz que son unas 200.000 hectáreas) se pueden instalar 6.000 MW.

En la superficie de las plantaciones de soja ( 900.000 hectáreas) se pueden instalar 30.000 MW.

En la superficie destinada a la ganadería ( 16:000.000 hectáreas) se pueden instalar 530.000 MW.

1 MW produce la energía que consumen 1.200 uruguayos

El crecimiento histórico de la matriz eléctrica uruguaya corresponden a 100 MW eólicos por año.

El problema de la eólica es la no gestión del recurso viento por lo que tiene que ser complementada por otras fuentes. Lo que lleva al otro paradigma, sin embargo, la generación con carbón o nuclear tampoco es gestionable.



# Costos de Generación ERNC y con Combustibles Fósiles

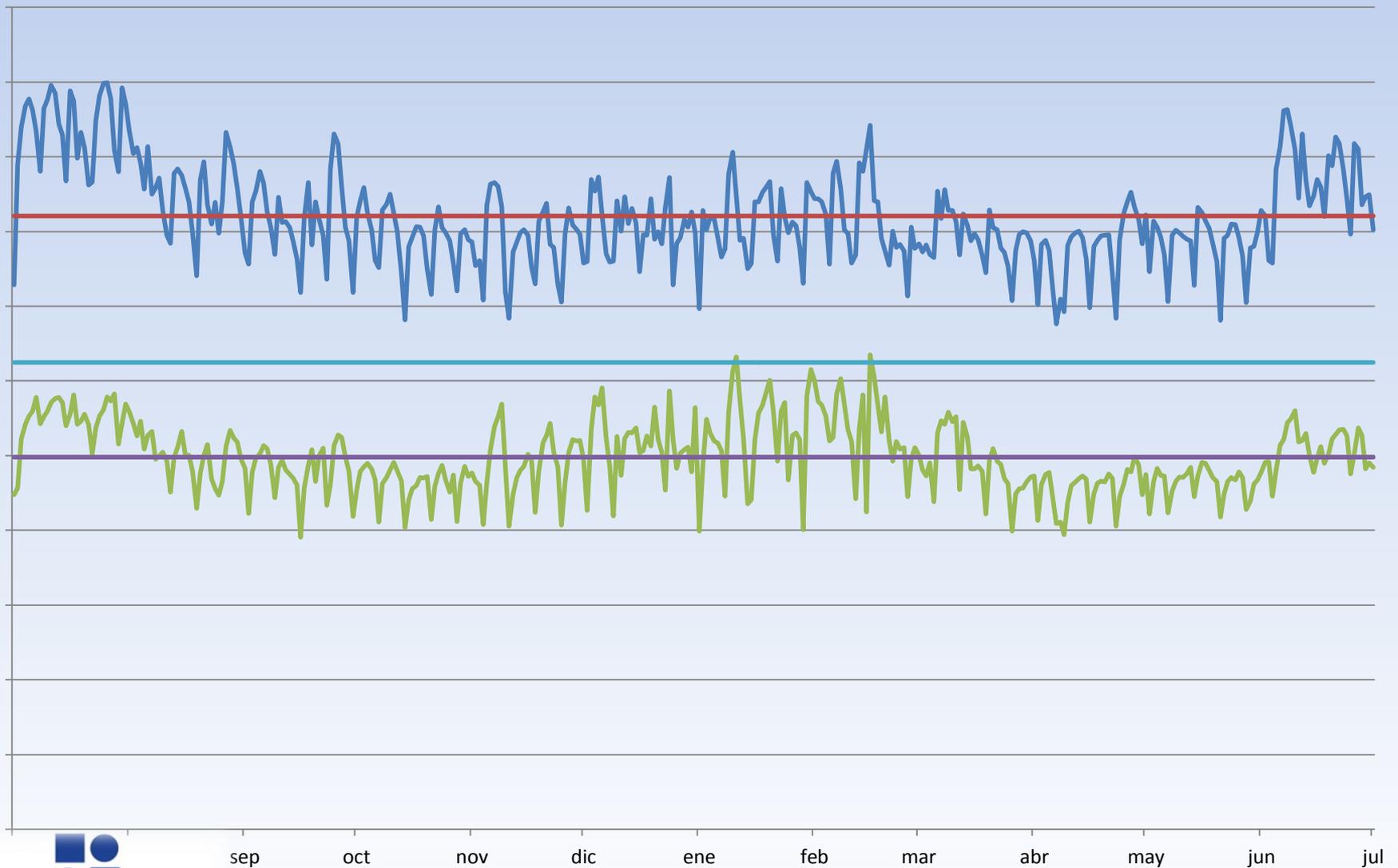
- ✓ A precios internacionales hoy la Generación Térmica está en el orden de 100 - 175 U\$S/MWh (GNL a 12 U\$S/:BTU o Barril de Petróleo a 100 U\$S).
- ✓ La Energía Eólica está en el orden de 65 - 75 U\$S/MWh
- ✓ La Fotovoltaica o la Solar Térmica en el orden de 90 – 120 U\$S/MWh
- ✓ La Biomasa se puede ubicar entre 60 – 90 U\$S/MWh

Esto no siempre fue así, 10 años atrás el barril de petróleo se ubicaba por debajo de los 25 U\$S y la Energía Eólica y la Biomasa por encima de 100 U\$S/MWh, mientras que la Fotovoltaica y Solar Térmica estaban por de 300 U\$S/MWh

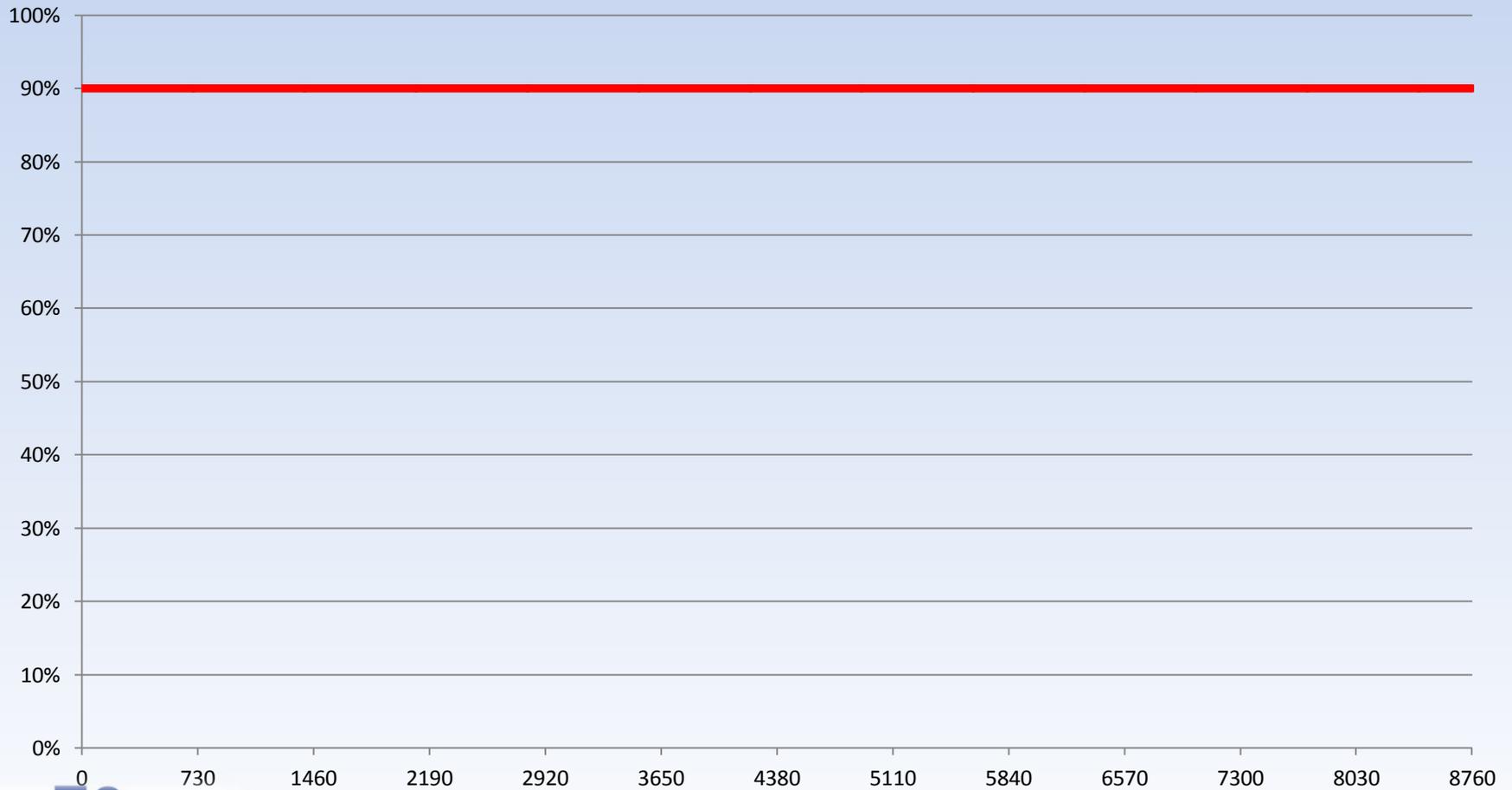
Ha habido un gran cambio tecnológico en la ERNC, tanto desde el punto de vista económico como de la calidad de producción, incluso se dudaba de cuanta ERNC podía inyectarse a un sistema



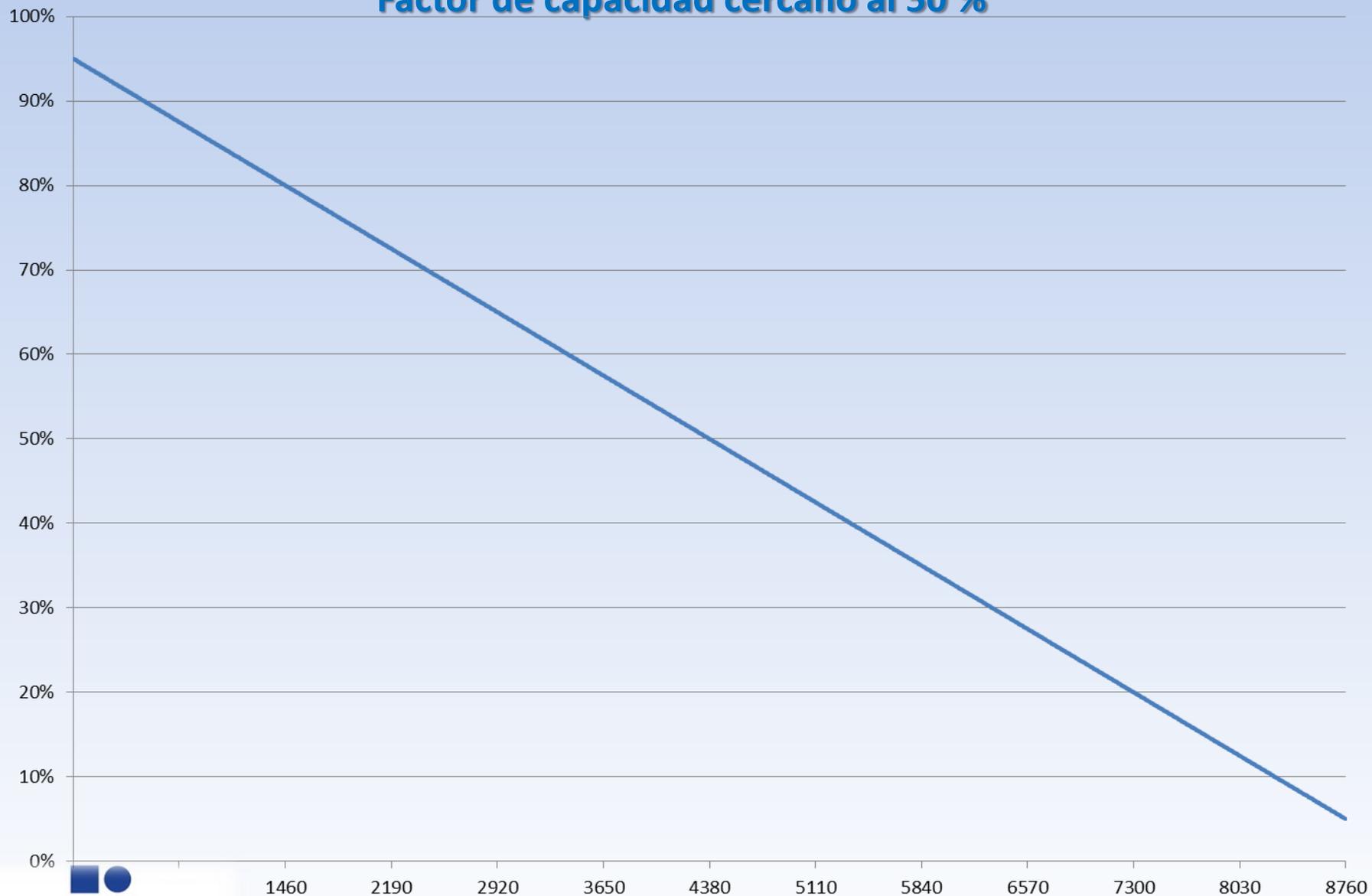
# Potencia máx - med - mín de un sistema eléctrico



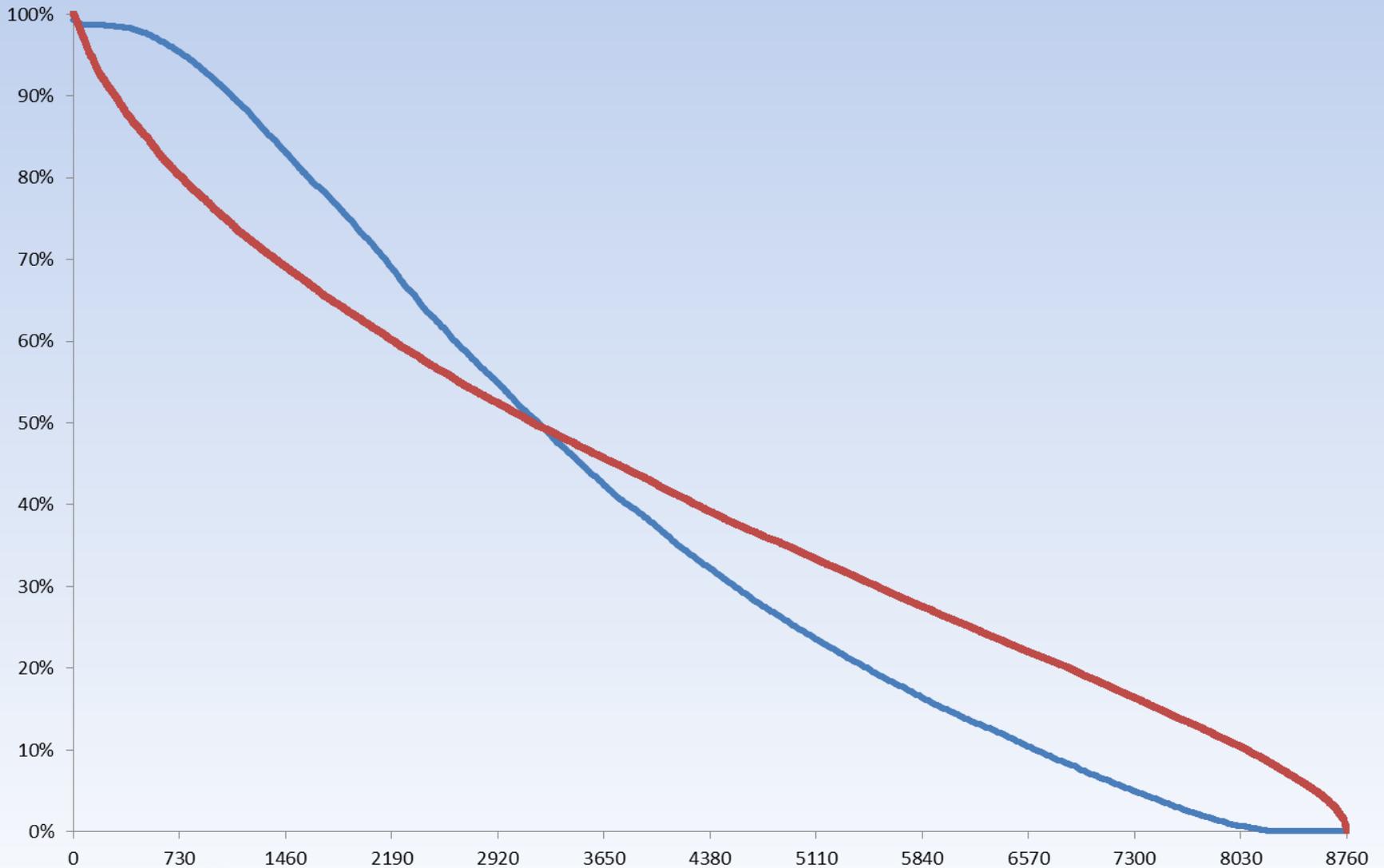
# Curva de excedencia de N centrales Térmicas con 90 % de factor de utilización



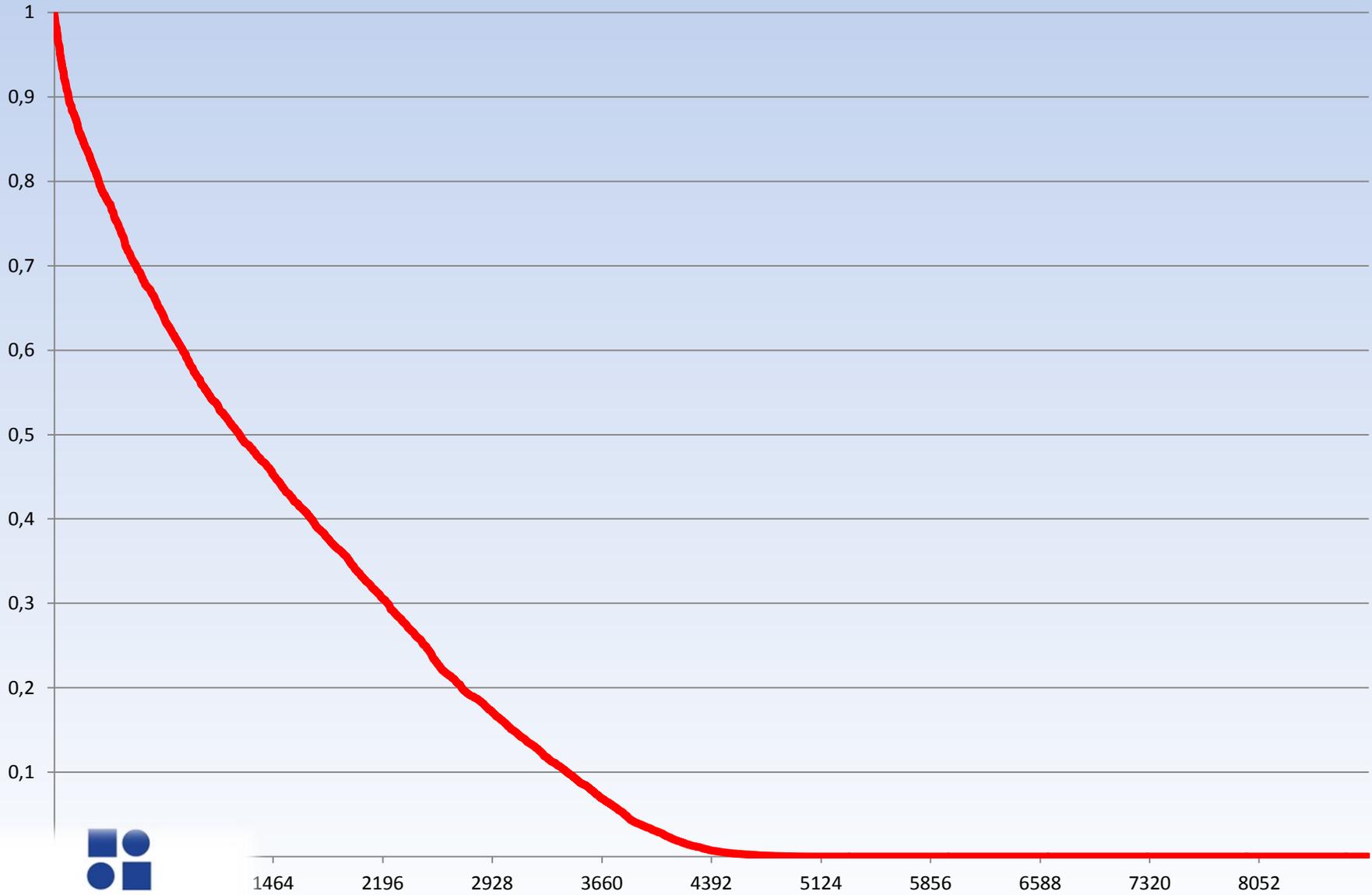
# Curva de frecuencia de excedencias de Centrales Hidroeléctricas Distribuidas . Factor de capacidad cercano al 50 %



# Curva de frecuencia de excedencias de Parque Distribuido – Parque concentrado. Factor de capacidad cercano al 50%



# Curva de frecuencia de excedencias de Parque Solar Distribuido . Factor de capacidad cercano al 15 %.



# Uso del sistema de transmisión por parte de las ERNC

- Los sistemas de transmisión nacieron para unir las hidroeléctricas con los centros de consumo, por lo tanto se diseñaron para un factor de utilización cercano al 50 %.
- La generación eólica en Uruguay tiene factores similares, por lo que el diseño de la transmisión se adapta bien a esta forma de generación.
- Por el contrario, la fotovoltaica presenta factores próximos al 15 %.
- Se puede decir que la generación eólica se adapta bien a la mega generación y la fotovoltaica a la generación distribuida.



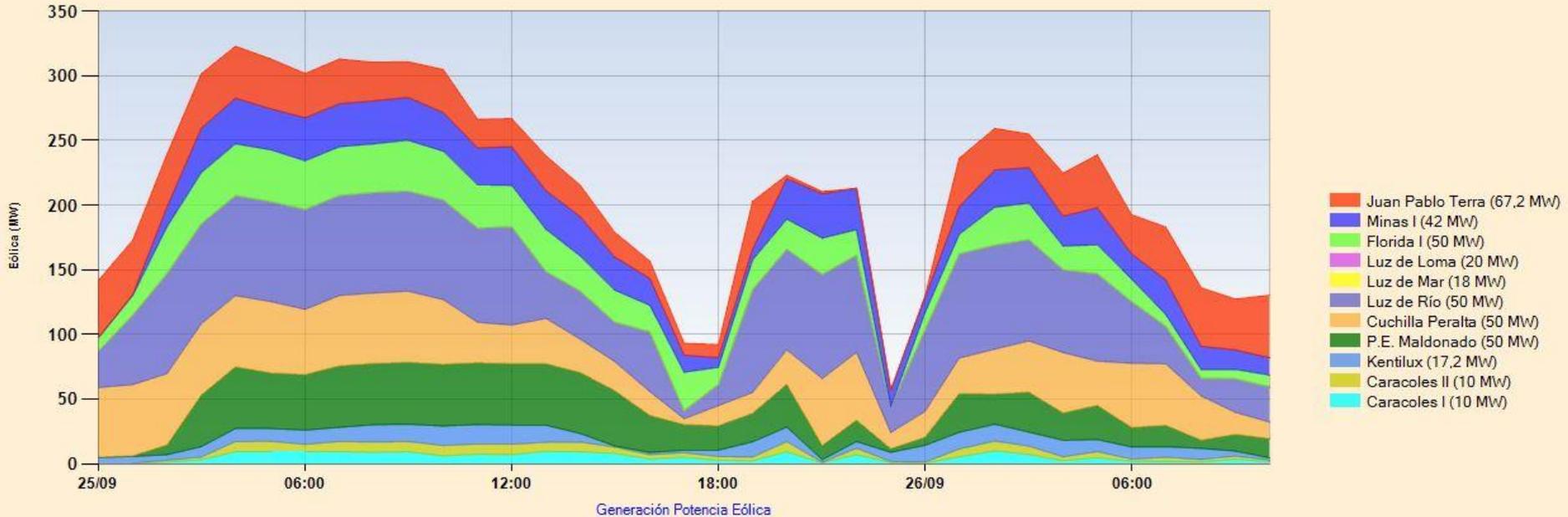
# Simultaneidad de la energía eólica

Módulo Operativo

SGE

Gráficas de Potencias Instantáneas de Generación Eólica

Fecha Desde 25/09/2014 Fecha Hasta 26/09/2014 Ver Valores Ver Todo Ver Detalle Eólico Aplicar



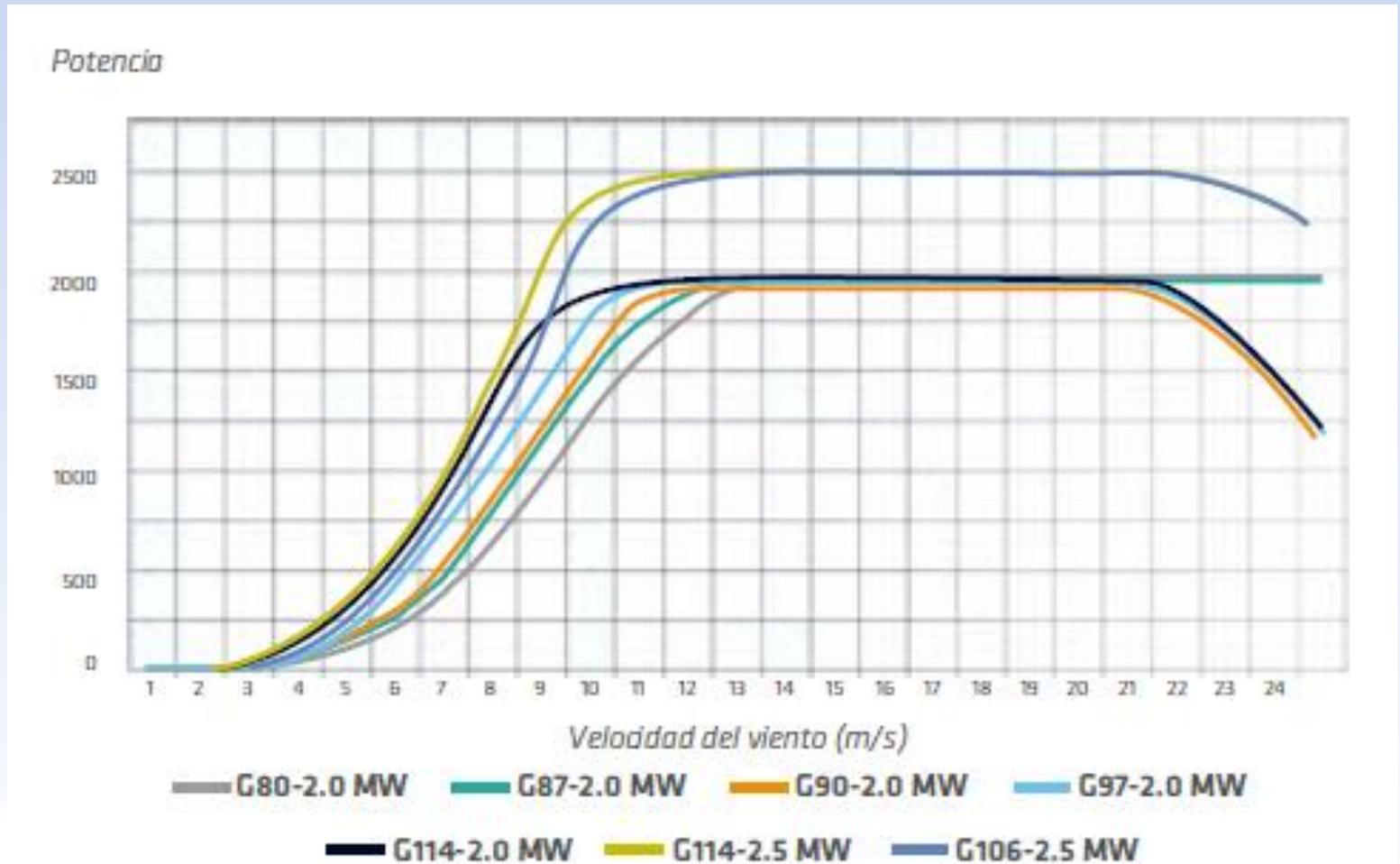
La Potencia Total considerada es de 384,4 MW

En forma provisoria la potencia de Luz de Mar y Luz de Loma se visualizan en Luz de Río



# Curvas de Potencia de la familia Gamesa de 2.0 -2.5 MW

Estas maquinas alcanzan su potencia nominal por encima de 8 m/s



# Clases de rugosidad

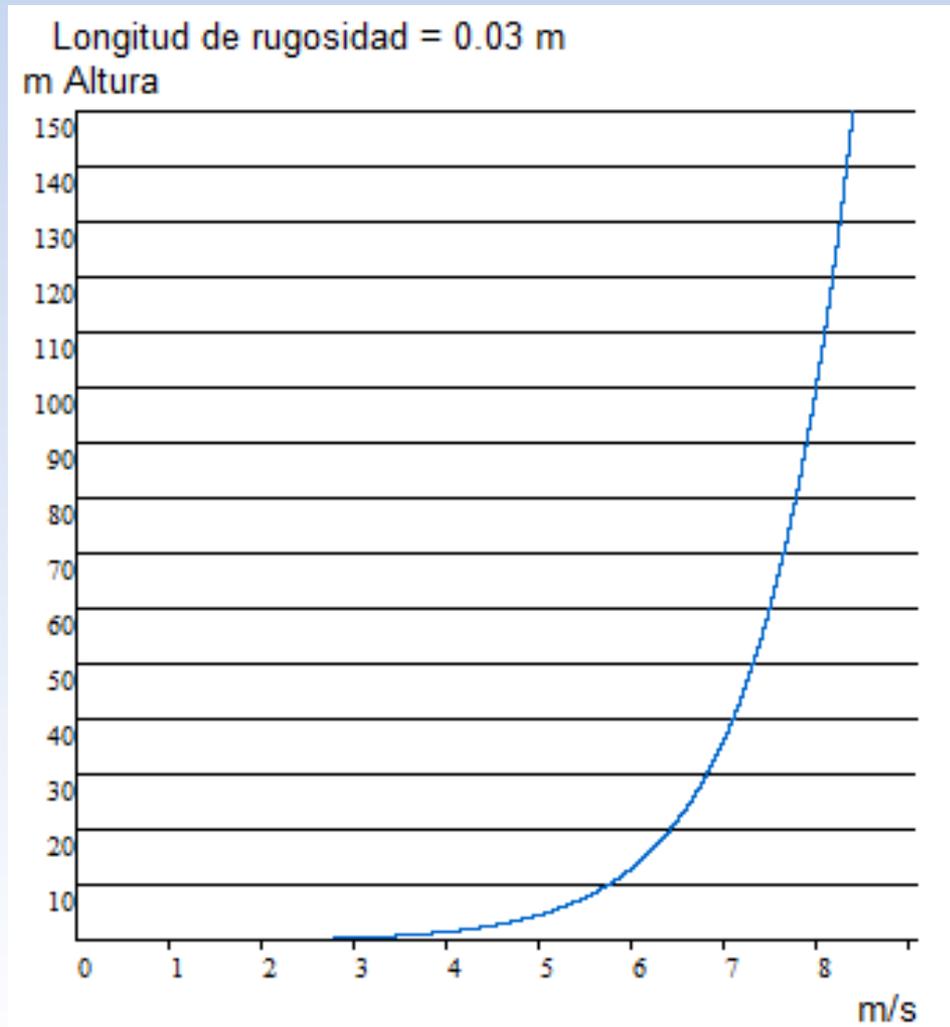
**Tabla de clases y de longitudes de rugosidad**

Clase de rugosidad	Longitud de rugosidad m	Índice de energía (%)	Tipo de paisaje
0	0,0002	100	Superficie del agua
0,5	0,0024	73	Terreno completamente abierto con una superficie lisa, p.ej., pistas de hormigón en los aeropuertos, césped cortado, etc.
1	0,03	52	Área agrícola abierta sin cercados ni setos y con edificios muy dispersos. Sólo colinas suavemente redondeadas
1,5	0,055	45	Terreno agrícola con algunas casas y setos resguardantes de 8 metros de altura con una distancia aproximada de 1250 m.
2	0,1	39	Terreno agrícola con algunas casas y setos resguardantes de 8 metros de altura con una distancia aproximada de 500 m.
2,5	0,2	31	Terreno agrícola con muchas casas, arbustos y plantas, o setos resguardantes de 8 metros de altura con una distancia aproximada de 250 m.



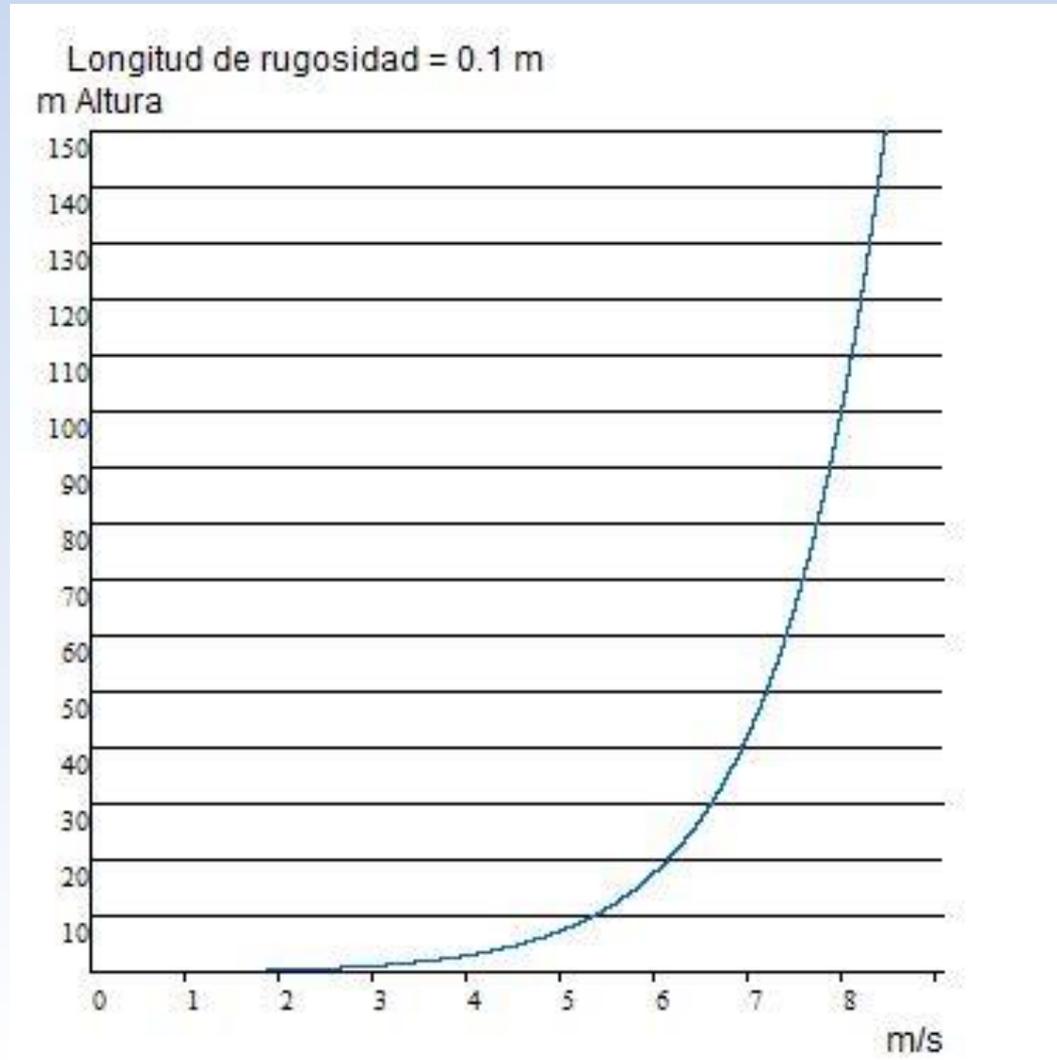
# Clase 1, área agrícola abierta sin cercados ni setos y con edificios muy dispersos. Sólo colinas suavemente redondeadas

Para una longitud de rugosidad 0.03 m (clase 1) si tenemos a 100 m 8 m/s, a 10 m habrá 5.33 m/s



# Clase 2, terreno agrícola con algunas casas y setos resguardantes de 8 metros de altura con una distancia aproximada de 500 m.

Para una longitud de rugosidad 0.1 m (clase 2) si tenemos a 100 m 8 m/s, a 10 m habrá 5.73 m/s



# Capacidad de un conductor Hawk

La capacidad de un conductor hawk depende del viento, de la temperatura ambiente y la radiación solar, normalmente se diseñan para un viento calmo, 30°C y radiación máxima.

Vel Viento (m/s)	Temp. Amb (°C)	Radiación Solar (W/m2)	I <sub>max</sub> (A)	Potencia máx(MW)
<b>0,61</b>	<b>30,0</b>	<b>1000</b>	377	98
5,33	30,0	1000		213
5,73	30,0	1000		218
5,33	30,0	0		235
5,73	30,0	0		239



# Capacidad de un conductor Hen

La capacidad de un conductor hen depende del viento, la temperatura ambiente y la radiación solar, normalmente se diseñan para un viento calmo, 30° C de temperatura y radiación máxima.

Vel Viento (m/s)	Temp. Amb (°C)	Radiación solar (W/m2)	I <sub>max</sub> (A)	Potencia máx(MW)	
<b>0,60</b>	<b>30,0</b>	<b>1000</b>	<b>375</b>	97	
5,33	30,0	1000	827	215	
5,77	30,0	1000	849	220	
5,33	30,0	0	911	236	
5,77	30,0	0	931	242	

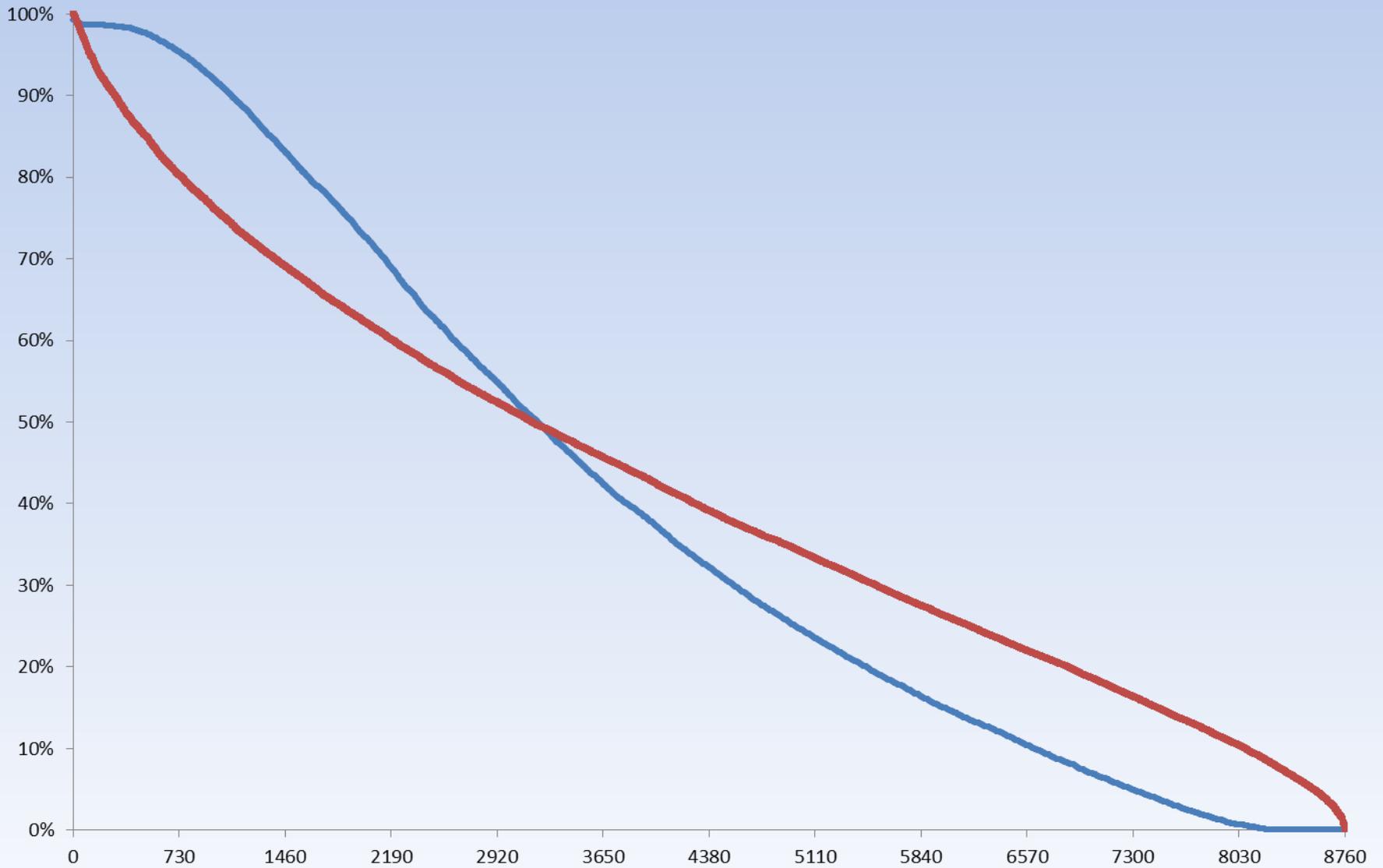


# Capacidad de Transmisión

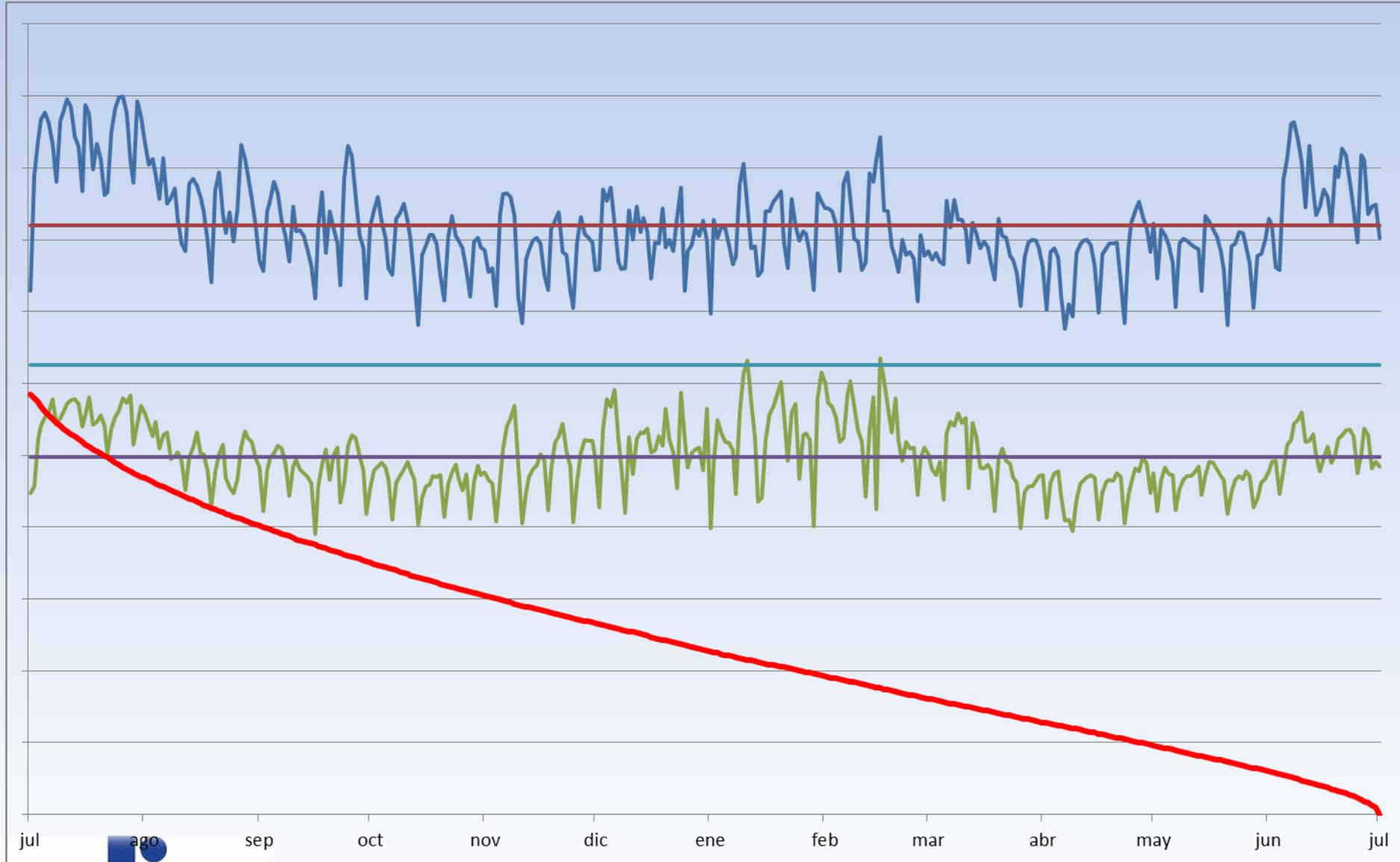
- El sistema de transmisión se diseñó con criterios estrictos en cuanto a las condiciones ambientales, y está bien que así sea ya que la generación convencional es independiente de la condición ambiental de un momento dado.
- Sin embargo, en el futuro, al diseñar nuevos sistemas de transmisión para transportar energía proveniente de parques eólicos podría revisarse tanto los criterios de diseño como de operación.
- En particular se deberá recurrir al monitoreo continuo del estado de los sistemas a efectos de sacarles el máximo provecho.



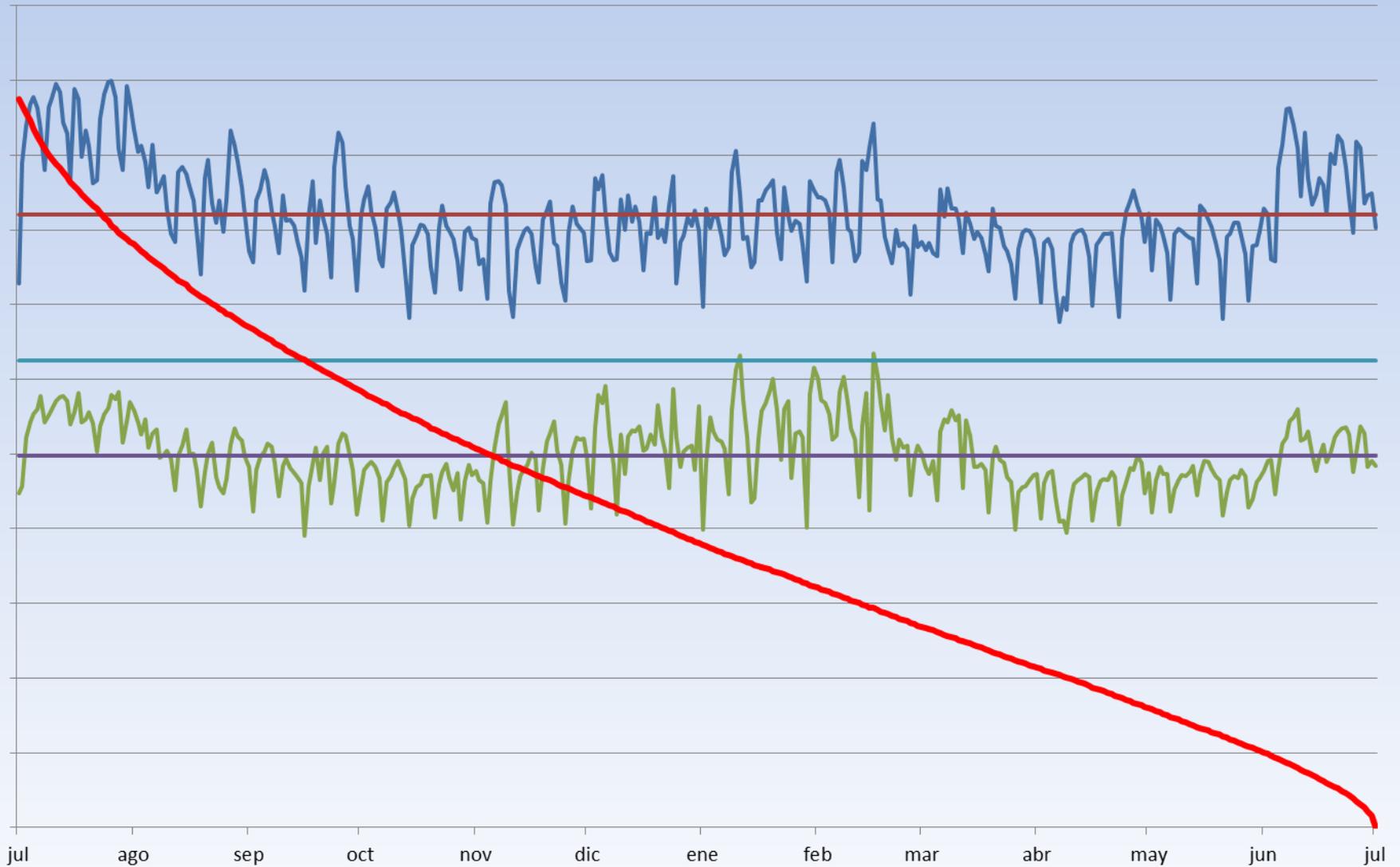
# Curva de frecuencia de excedencias de Parque Distribuido – Parque concentrado



# Potencia máx - med - mín / Potencia Eólica



# Potencia máx - med - mín / Potencia Eólica



# El exceso de energía Eólica se debe derramar o vender en mercados interconectados

- Cuando la potencia eólica instalada sea cercana a la potencia media de la demanda habrá en cada día horas de exceso de energía y horas en que la potencia eólica será menor a la demanda.
- El exceso de energía que no puede ser despachado debe ser repuesto con generación térmica.
- Para aprovechar esa energía en exceso se puede recurrir a tecnologías de almacenamiento, la más madura de ellas es la utilización de Plantas de Acumulación por Bombeo (PSP) o Centrales Hidroeléctricas Reversibles (CHR) con reservas de entre 4 y 12 horas.
- Esta tecnología se usó mucho a mediados del siglo pasado para gestionar las centrales térmicas de carbón o las centrales nucleares, tecnologías que no permiten variación de carga. Es más, no existen sistemas eléctricos que no tengan una importante componente hidroeléctrica.
- Han proliferado en Europa y en Norteamérica, pero prácticamente no existen en Latinoamérica, tal vez por la abundancia de generación hidroeléctrica convencional.



# Centrales de Bombeo Reversibles o Plantas de Acumulación por Bombeo

- Las PSP no son generadores de energía sino que son acumuladores, no tienen valor energético en si mismo, sino es un servicio de optimización y flexibilidad para la operación del sistema.
- Si son centrales de potencia firme, y en ese sentido deberían remunerarse por potencia como una turbina de gas.
- Deberían acumular energía cuando la potencia de las Eólica superan a la demanda para evitar derrames, y deberían devolver lo acumulado en la primer oportunidad en que la demanda supera a la Eólica.
- Estas centrales son de vasos pequeños por lo que no tienen los inconvenientes ambientales de las hidroeléctricas convencionales.
- En el norte de Uruguay hay muchas posibilidades geográficas para la realización de CHR.



# Vianden



# Centrales Reversibles Uruguay



## Especificaciones Generales de los 3 Sitios Seleccionados

	Potencia Media (MW)	Salto Medio (m)	Area de Vaso Inferior (km <sup>2</sup> )	Area de Vaso Superior (km <sup>2</sup> )	Costo Total Estimado (MMUSD)	Costo Total Estimado (USD/KW)
Cuchilla Negra 3 Opc. 1	248	167.5	1.4	1.2	303 - 323	1222- 1302
Sierra de Tambores Opc. 2	204	138.0	3.0	1.1	284 - 286	1393- 1405
Sierra de los Rios	304	205.5	1.2	0.5	459	1511



Cuchilla Negra 3 – Opción 1



Sierra de Tambores Opción 2



Sierra de los Rios



# Cuchilla de Haedo



# Cuchilla Negra



# Sierra de Aceguá



# Sierra de los Ríos



# Conclusiones

- Gran potencial de ERNC en Uruguay y a precios muy convenientes.
- La eólica parece adaptarse mejor a la “Mega Generación”.
- La fotovoltaica se adapta mejor a la “Mini generación distribuida” (medición comercial neta).
- Los criterios de diseño de los sistemas de transmisión resultan holgados cuando su función es solamente la de transportar energía eólica.
- En el futuro será necesario contar con capacidad de almacenamiento.



An aerial photograph taken from a high altitude, likely from a helicopter, showing a wind farm. The wind turbines are white with three blades each, and they are situated on a rocky, grassy ridge. The landscape is hilly and green, with a dirt road winding through the area. The sky is clear and blue. The text "MUCHAS GRACIAS" is overlaid in large, white, bold letters across the center of the image.

**MUCHAS GRACIAS**



**MUCHAS GRACIAS**

**MUCHAS GRACIAS**

